



Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi

Bagian 1 Kapal Samudra

Volume III

PERATURAN INSTALASI MESIN

Edisi Konsolidasi 2022

Biro Klasifikasi Indonesia



Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi

Bagian 1 Kapal Samudra

Volume III

PERATURAN INSTALASI MESIN

Edisi Konsolidasi 2022

Biro Klasifikasi Indonesia

Menggandakan seluruh atau sebagian isi dari Peraturan ini, harus mendapatkan ijin tertulis dari Kantor Pusat Biro Klasifikasi Indonesia.

Kata Pengantar

Peraturan ini adalah edisi konsolidasi 2022 dari Peraturan Instalasi Mesin Bagian 1 – Kapal Samudra, Volume III.

Dalam edisi ini tidak ada amendemen baru yang ditambahkan, hanya menggabungkan antara edisi 2021, RCN No.1, dan RCN No.2. Rangkuman dari edisi sebelumnya dan amandemen termasuk tanggal pemberlakukannya ditunjukkan pada Tabel berikut:

No.	Amendemen Peraturan	Tanggal efektif	Tautan
1.	Edition 2021	1 Januari 2021	
2.	RCN No.1, May 2021	1 Juli 2021	
3.	RCN No.2, November 2021	1 Januari 2022	

Catatan:

Versi lengkap amendemen Peraturan sebelumnya tersedia melalui tautan di atas.

Peraturan ini adalah versi terjemahan dari Rules for Machinery Installations (Pt.1, Vol.III) Consolidated Edition 2022. Jika terdapat perbedaan penafsiran agar merujuk ke versi asli yang tersedia dalam Bahasa Inggris. Referensi dalam Peraturan ini dapat mengacu ke versi terjemahannya, jika tersedia.

Peraturan ini dapat diunduh melalui www.bki.co.id. Setelah diunduh, Peraturan ini akan menjadi salinan yang tidak terkendali. Edisi terbaru dapat diperiksa melalui situs web BKI.

Pertanyaan atau komentar lebih lanjut tentang Peraturan ini disambut baik dan dapat dikomunikasikan ke Kantor Pusat BKI.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Isi

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi.....	v
Bab 1 Ketentuan dan Instruksi Umum.....	1–1
A. Umum	1–1
B. Dokumen-Dokumen Persetujuan	1–2
C. Kondisi Sekitar	1–2
D. Desain dan Konstruksi Instalasi Permesinan	1–9
E. Peralatan Kamar Mesin dan Boiler	1–12
F. Peralatan Keselamatan dan Tindakan Perlindungan.....	1–13
G. Peralatan Komunikasi dan sinyal	1–14
H. Peralatan penting	1–15
I. Analisa kegagalan sistem penggerak dan kemudi pada kapal penumpang.....	1–16
Bab 2 Mesin Pembakaran Dalam dan Kompressor Udara	2–1
A. Umum	2–1
B. Dokumen-Dokumen Persetujuan	2–4
C. Perhitungan Poros Engkol	2–7
D. Material	2–8
E. Pengujian dan Percobaan.....	2–13
F. Peralatan Keamanan	2–20
G. Sistem Bantu	2–28
H. Peralatan Penyalaan.....	2–32
I. Peralatan Kontrol	2–35
J. Alarm	2–36
K. Keselarasan Mesin/Dudukan.....	2–37
L. Perhitungan Perkiraan Suplai Udara Penyalaan	2–40
M. Kompresor Udara	2–41
N. Sistem Pembersihan Gas Buang	2–44
O. Mesin Berbahan Bakar Gas	2–49
Bab 3 Turbin Uap, Turbin Gas dan Turbocharger dari Gas Buang	3–1
I. Turbin Uap	3–1
A. Umum	3–1
B. Material	3–2
C. Prinsip Desain dan Konstruksi	3–2
D. Pergerakan Berlawanan arah, Operasi Darurat.....	3–3
E. Peralatan Manuver dan Keamanan	3–4
F. Peralatan Kontrol dan Monitor	3–5
G. Kondensor	3–5
H. Pengujian	3–6
I. Percobaan.....	3–7
II. Turbin Gas.....	3–7
A. Umum	3–7
B. Kontrol dan Keamanan Gas Turbin untuk Penggunaan Penggerak Marine.....	3–8
III. Turbocharger Gas Buang.....	3–9

A.	Umum.....	3–9
B.	Desain dan Instalasi.....	3–10
C.	Pengujian.....	3–11
D.	Persetujuan Pabrik (Shop Approvals)	3–15
E.	Sertifikasi	3–16
F.	Alarm & Pemantauan (Monitoring)	3–16
Bab 4	Sistem Poros Utama.....	4–1
A.	Umum.....	4–1
B.	Material	4–1
C.	Dimensi Poros.....	4–3
D.	Desain	4–6
E.	Uji Tekan.....	4–13
Bab 5	Roda Gigi, Kopling	5–1
A.	Umum	5–1
B.	Material	5–1
C.	Perhitungan Kapasitas Beban Bantalan Roda Gigi Silinder dan <i>Bevel</i>	5–2
D.	Poros Roda Gigi	5–10
E.	Peralatan	5–11
F.	Penyeimbangan dan Pengujian.....	5–11
G.	Desain dan Konstruksi Kopling	5–13
H.	<i>Load Capacity of Involute Parallel Axis Spur and Helical Gears</i>	5–17
Section 6	Propeler.....	6–1
A.	Umum	6–1
B.	Material	6–1
C.	Dimensi dan Desain Propeler	6–2
D.	Controllable Pitch Propeller	6–8
E.	Pemasangan Propeler	6–10
F.	Penyeimbangan dan Pengujian.....	6–12
Bab 7	Ketel Uap dan Sistem Minyak Termal.....	7–1
I.	Ketel Uap	7–1
A.	Umum	7–1
B.	Material	7–5
C.	Prinsip yang Berlaku dalam Pembuatan	7–6
D.	Perhitungan	7–9
E.	Peralatan dan Instalasi	7–40
F.	Pengujian Ketel Uap	7–49
G.	Sistem Generator Air Panas	7–52
H.	<i>Flue Gas Economizer</i>	7–52
II.	Sistem Minyak Termal	7–58
A.	Umum	7–58
B.	Pemanas	7–60
C.	Bejana.....	7–63
D.	Item Peralatan	7–65
E.	Penandaan.....	7–65
F.	Perlindungan Kebakaran	7–66
G.	Pengujian	7–66
Bab 8	Bejana Tekan dan Penukar Panas.....	8–1
A.	Umum	8–1

B.	Material	8–3
C.	Prinsip Pembuatan	8–6
D.	Perhitungan	8–7
E.	Peralatan dan Instalasi	8–10
F.	Pengujian	8–12
G.	Tabung gas	8–13
Bab 9	Pembakar Minyak dan Peralatan Berbahan Bakar Minyak.....	9–1
A.	Umum	9–1
B.	Persyaratan mengenai Peralatan Berbahan Bakar Minyak	9–2
C.	Persyaratan untuk Pembakar Minyak	9–3
D.	Pengujian	9–6
Bab 10	Penyimpanan Bahan Bakar Cair, Minyak Pelumas, Minyak Hidrolik dan Termal serta Minyak Residu 10–1	
A.	Umum	10–1
B.	Penyimpanan Bahan Bakar Cair	10–1
C.	Penyimpanan Minyak Pelumas dan Hidrolik	10–5
D.	Penyimpanan Minyak Termal	10–6
E.	Penyimpanan Minyak Residu	10–6
F.	Penyimpanan Botol Gas untuk Keperluan Domestik.....	10–7
Bab 11	Sistem Perpipaan, Katup dan Pompa	11–1
A.	General	11–1
B.	Material, Pengujian	11–3
C.	Perhitungan Tebal dinding dan Elastisitas	11–17
D.	Prinsip untuk Konstruksi Pipa, Katup, Perlengkapan dan Pompa	11–24
E.	Jalur Uap	11–37
F.	Air Umpam Boiler dan Susunan Sirkulasi, Resirkulasi Kondensat	11–39
G.	Sistem Bahan Bakar Minyak	11–41
H.	Sistem Minyak Pelumas	11–47
I.	Sistem Pendingin Air Laut	11–50
K.	Sistem Pendingin Air Tawar	11–53
L.	Jalur Udara Terkompresi	11–55
M.	Jalur Gas Buang	11–56
N.	Sistem Bilga	11–56
O.	Peralatan untuk Pengolahan dan Penyimpanan Air Bilga, Residu Bahan bakar/Minyak.....	11–65
P.	Sistem Balas	11–68
Q.	Sistem Minyak Termal	11–73
R.	Pipa Udara, Limpah, dan Duga	11–74
S.	Sistem Air Minum ⁸	11–79
T.	Sistem Limbah	11–80
U.	Rakitan Selang dan Kompensator	11–82
Bab 12	Proteksi Kebakaran dan Peralatan Pemadam Kebakaran	12–1
A.	Umum	12–1
B.	Perlindungan Kebakaran	12–3
C.	Deteksi Kebakaran	12–8
D.	Lingkup Peralatan Pemadam Kebakaran	12–11
E.	Peralatan pemadam kebakaran air umum (Pemadam Kebakaran dan Sistem Pembersih Geladak)	12–14
F.	Alat Pemadam Kebakaran Portabel dan Bergerak, Portabel aplikator <i>Foam</i> dan aplikator kabut air	12–21
G.	Sistem Pemadam Kebakaran CO ₂ Tekanan Tinggi	12–26

H.	Sistem Pemadam Kebakaran CO ₂ Tekanan Rendah	12-35
I.	Sistem pemadam kebakaran gas menggunakan gas selain CO ₂ untuk ruang mesin dan kamar pompa kargo.....	12-37
J.	Sistem Pemadam Kebakaran Lainnya.....	12-43
K.	Sistem Pemadam Kebakaran <i>Foam</i>	12-43
L.	Sistem Penyemprotan Air Bertekanan	12-45
M.	Sistem Pemadam Kebakaran Untuk Loker Cat, Loker Cairan Mudah Terbakar, Saluran Buang Dapur dan Peralatan Masak Deep-Fat	12-52
N.	Insinerator limbah	12-53
O.	Peralatan Pemadam Kebakaran untuk Geladak Pendaratan Helikopter	12-53
P.	Peralatan untuk Transportasi Muatan Berbahaya	12-55
Q.	Pengangkutan Kargo Curah Padat	12-69
Bab 13	Permesinan Kapal dengan Notasi Es	13-1
A.	Umum	13-1
B.	Daya Propulsi yang Diperlukan	13-1
C.	Permesinan Propulsi	13-1
D.	Penguatan yang diperlukan untuk Klas Es ES	13-28
Bab 14	Steering Gears, Unit Kemudi Propeler, Unit Pendorong Lateral, Winches, Sistem Kontrol Hidrolik, Sistem Kontrol Pintu Kebakaran, Stabilisator	14-1
A.	<i>Steering Gear</i>	14-1
B.	Unit Propeler Kemudi	14-11
C.	Unit Dorong Lateral.....	14-14
D.	Mesin Kerek	14-16
E.	Derek.....	14-25
F.	Sistem Hidrolik	14-25
G.	Sistem Kendali Pintu Kebakaran	14-33
H.	Stabiliser	14-35
Bab 15	Persyaratan Khusus Kapal Tangki	15-1
A.	Umum	15-1
B.	Persyaratan Umum untuk Kapal Tangki.....	15-3
C.	Kapal Tangki untuk Pengangkut Minyak dan Cairan yang Mudah Terbakar lainnya yang Memiliki Titik Nyala 60 °C atau lebih rendah.....	15-14
D.	Sistem Gas Lembar Kapal Tangki	15-18
E.	Persyaratan tambahan untuk Pemasangan Sistem Manajemen Air Balas	15-25
Bab 16	Getaran Puntir.....	16-1
A.	Definisi	16-1
B.	Perhitungan Getaran Puntir	16-1
C.	Tegangan Getaran Puntir yang Diperbolehkan	16-2
D.	Pengukuran Getaran Torsional	16-8
E.	Rentang Operasi yang Dilarang.....	16-8
F.	Permesinan Bantu	16-9
Bab 17	Suku Cadang	17-1
A.	Umum	17-1
B.	Jumlah Suku Cadang	17-1
Lampiran A	Penandaan Pipa	A-1
A.	Susunan Penandaan	A-1
B.	Tipe Penandaan	A-2

Bab 1 Ketentuan dan Instruksi Umum

A.	Umum.....	1–1
B.	Dokumen-Dokumen Persetujuan	1–2
C.	Kondisi Sekitar	1–2
D.	Desain dan Konstruksi Instalasi Permesinan	1–9
E.	Peralatan Kamar Mesin dan Boiler	1–12
F.	Peralatan Keselamatan dan Tindakan Perlindungan.....	1–13
G.	Peralatan Komunikasi dan sinyal	1–14
H.	Peralatan penting.....	1–15
I.	Analisa kegagalan sistem penggerak dan kemudi pada kapal penumpang.....	1–16

A. Umum

1. Peraturan untuk Instalasi Permesinan berlaku untuk instalasi propulsi kapal yang diklasikan oleh Biro Klasifikasi Indonesia termasuk semua mesin bantu dan peralatan lainnya yang diperlukan untuk operasi dan keselamatan kapal.

Peraturan ini juga berlaku untuk permesinan yang menurut BKI setara dengan permesinan yang diklasikan.

2. Selain permesinan dan peralatan yang dirincikan dibawah, Peraturan ini juga berlaku secara individual untuk permesinan dan peralatan lainnya jika hal tersebut diperlukan untuk keselamatan kapal atau muatannya.

3. Desain yang memiliki deviasi dari Peraturan untuk Instalasi Permesinan dapat disetujui jika desain tersebut telah diperiksa kesesuaianya oleh BKI dan telah diakui setara.

4. Instalasi permesinan yang dikembangkan dengan menggunakan prinsip-prinsip baru dan/atau yang belum cukup teruji dalam pelayanan kapal membutuhkan persetujuan khusus dari BKI.

Permesinan tersebut dapat diberi notasi "EXP" yang ditambahkan di belakang Karakter Klasifikasi dan menjadi objek survei yang intensif, jika bukti kehandalan yang cukup tidak dapat disajikan terhadap kesesuaian dan kesetaraannya sesuai dengan dimaksud pada point 3.

5. Dalam kasus yang disebutkan pada point 3. dan 4., BKI berhak untuk meminta dokumentasi tambahan untuk diserahkan dan uji coba khusus akan dilakukan.

6. Selain dari Peraturan ini, BKI memiliki hak untuk memberlakukan persyaratan lebih lanjut sehubungan dengan semua jenis mesin, jika hal ini tidak dapat dihindari karena temuan baru atau pengalaman operasional, atau BKI dapat mengizinkan deviasi dari Peraturan ini jika hal tersebut dijamin secara khusus.

7. Kapal penumpang yang memiliki panjang 120 m atau lebih atau memiliki tiga atau lebih zona kebakaran vertikal (Main Vertical Zone) utama harus juga mematuhi MSC.216 (82) dan MSC.1/Circ.1369¹. Regulasi 21 of SOLAS Chapter II-21 sebagaimana diubah dengan dengan Resolusi IMO hingga MSC.421 (98). Analisis kegagalan kualitatif untuk propulsi dan kemudi untuk kapal penumpang baru dijelaskan secara rinci dalam I.

8. Peraturan dan regulasi nasional diluar peraturan BKI tetap tidak terpengaruh.

¹ Berlaku untuk kapal penumpang dengan peletakan lunas pada atau setelah 1 Juli 2010

B. Dokumen-Dokumen Persetujuan

1. Sebelum memulai pembuatan, dokumen perencanaan yang menunjukkan rencana umum instalasi permesinan bersama dengan semua gambar dari bagian dan instalasi yang harus diuji, sebagaimana yang ditentukan dalam masing-masing Bab harus diserahkan dalam format elektronik.
2. Gambar-gambar harus berisi semua data yang diperlukan untuk persetujuan. Jika diperlukan, perhitungan dan deskripsi dari rencana harus juga diserahkan.
3. Setelah dokumen yang diserahkan telah disetujui oleh BKI, dokumen-dokumen tersebut mengikat eksekusi pekerjaan. Modifikasi selanjutnya memerlukan persetujuan BKI sebelum diberlakukan.
4. Ketika sebuah produk telah diuji dan disertifikasi berdasarkan standar yang menghasilkan setidaknya hasil yang setara seperti yang dipersyaratkan oleh Peraturan BKI yang berlaku, sertifikat produk termasuk suplemen yang relevan, jika memungkinkan, harus diserahkan. Dalam kasus tersebut, BKI memiliki hak untuk meminta dokumen evaluasi tambahan yang mendukung desain, seperlunya.

C. Kondisi Sekitar

1. Kondisi operasi, umum

1.1 Pemilihan, tata letak dan pengaturan semua permesinan kapal, peralatan dan perlengkapan harus sedemikian rupa untuk memastikan operasi terus menerus secara sempurna pada kondisi sekitar yang ditentukan dalam [Tabel 1.1](#) sampai [1.4](#).

BKI dapat mempertimbangkan penyimpangan dari sudut inklinasi (kemiringan) yang didefinisikan dalam [Tabel 1.1](#) dengan mempertimbangkan jenis, ukuran dan kondisi layanan kapal.

1.2 Pertimbangan yang harus diambil berkaitan dengan efek pada instalasi permesinan dari distorsi lambung kapal.

Tabel 1.1 Kemiringan

Instalasi, Komponen	Sudut inklinasi [°] ²⁾			
	Melintang kapal		Ujung depan dan belakang	
	statis	dinamis	statis	Dinamis
Permesinan utama dan bantu	15	22,5	5 ⁴⁾	7,5
Peralatan keselamatan kapal, seperti instalasi listrik darurat, pompa kebakaran darurat dan penggeraknya	22,5 ³⁾	22,5 ³⁾	10	10
Switchgear, peralatan listrik dan elektronik ¹⁾ dan sistem kontrol jarak jauh				

¹⁾ Hingga sudut inklinasi 45°, tidak ada operasi pemindahan yang tidak diinginkan atau perubahan fungsional yang dapat terjadi.

²⁾ Kemiringan kapal secara melintang dan ke ujung depan dan belakang dapat terjadi secara bersamaan.

³⁾ Pada kapal pengangkut gas cair dan bahan kimia, suplai daya darurat juga harus tetap beroperasi dengan kapal yang terendam banir hingga kemiringan akhir kapal hingga maksimum 30°.

⁴⁾ Jika panjang kapal melebihi 100 m, sudut kemiringan statis ujung depan dan belakang dapat diambil sebagai 500/L derajat.

Tabel 1.2 Temperatur Air

Pendingin	Temperatur [°C]
Air laut	+ 32 ¹⁾
Inlet pendingin udara pengisian hingga pendingin udara pengisian	+ 32 ¹⁾

¹⁾ BKI dapat menyetujui temperatur air yang lebih rendah untuk kapal yang beroperasi hanya di wilayah geografis khusus.

Tabel 1.3 Temperatur Udara

pada tekanan atmosfer = 1000 mbar
dan kelembaban relatif = 60%

Instalasi, komponen	Lokasi, pengaturan	Kisaran temperatur [°C]
Instalasi Permesinan dan kelistrikan ¹⁾	dalam ruang tertutup	0 sampai 45 ²⁾
	pada komponen permesinan, boiler	Sesuai dengan kondisi lokal tertentu
	di dalam ruangan, subyek terhadap temperatur yang lebih tinggi atau lebih rendah	
	di geladak terbuka	- 25 sampai + 45

¹⁾ Peralatan elektronik harus dirancang dan diuji untuk memastikan operasi bebas masalah bahkan pada temperatur udara konstan + 55°C.

²⁾ BKI dapat menyetujui temperatur udara lebih rendah untuk kapal yang dirancang hanya untuk beroperasi di wilayah geografis tertentu.

Tabel 1.4 Kondisi Sekitar Lainnya

Tempat	Kondisi
Dalam semua ruangan	Kemampuan untuk menahan uap minyak dan udara bergaram
	Operasi bebas masalah dalam rentang temperatur yang dinyatakan dalam Tabel 1.3, dan kelembaban hingga 100% pada temperatur referensi 45 °C
	Toleransi terhadap kondensasi diasumsikan
Di dalam ruang kontrol yang terlindungi khusus	80% kelembaban relatif pada temperatur referensi 45 °C.
Di geladak terbuka	Kemampuan untuk tahan terhadap banjir sementara dengan air laut dan percikan air bergaram

2. Getaran

2.1 Umum

2.1.1 Permesinan, peralatan dan struktur lambung biasanya mengalami tegangan getaran. Desain, konstruksi dan instalasi dalam setiap kasus harus memperhitungkan tegangan-tegangan tersebut.

Layanan jangka panjang tanpa masalah dari setiap komponen seharusnya tidak terpengaruhi oleh tegangan getaran.

2.1.2 Untuk getaran yang dihasilkan oleh sebuah mesin atau perangkat lain, intensitasnya harus tidak melebihi batas yang telah ditentukan. Tujuannya adalah untuk melindungi *vibration generator*, rakitan

terhubung, peralatan sekitar dan komponen lambung dari tambahan, *vibration stress* berlebih yang dapat menyebabkan kegagalan premature atau malfungsi.

2.1.3 Ketentuan berikut berhubungan dengan getaran dalam rentang frekuensi mulai 2 sampai 300 Hz. Asumsi yang mendasarinya adalah bahwa getaran dengan frekuensi osilasi dibawah 2 Hz dapat dianggap sebagai getaran benda tegar sementara getaran dengan frekuensi osilasi di atas 300 Hz biasanya hanya terjadi secara lokal dan dapat ditafsirkan sebagai kebisingan dari struktur. Dimana, pada kasus khusus, asumsi ini tidak valid (misalnya dimana getaran dihasilkan oleh pompa roda gigi dengan frekuensi tautan gigi di kisaran di atas 300 Hz) ketentuan berikut harus diterapkan dengan cara yang sama.

2.1.4 Perhatian harus diberikan kepada tegangan getaran pada seluruh rentang operasi yang relevan dari sumber getaran.

Saat getaran dihasilkan oleh sebuah mesin, pertimbangan harus diperluas ke seluruh rentang kecepatan operasi yang tersedia dan, bila sesuai, ke seluruh rentang daya.

2.1.5 Prosedur yang diuraikan di bawah ini sebagian besar sudah standar. Pada dasarnya, kuantitas pengganti dibentuk untuk tegangan getaran atau intensitas spektrum (lihat. 2.2.1). Kuantitas ini kemudian dibandingkan dengan nilai-nilai yang diijinkan atau dijamin untuk mengecek bahwa nilai tersebut dapat diterima.

2.1.6 Prosedur yang disebutkan dalam 2.1.5 hanya mengambil pertimbangan yang tidak lengkap dari fakta-fakta fisik. Tujuannya adalah untuk mengevaluasi tegangan atau gaya bolak-balik yang sebenarnya. Tidak ada hubungan sederhana yang ada antara pembebahan sebenarnya dengan kuantitas pengganti: amplitudo getaran, kecepatan getaran dan percepatan getaran pada bagian luar gading (*frame*). Namun prosedur ini diadopsi karena pada saat ini tampaknya menjadi satu-satunya cara yang dapat diimplementasikan dengan cara yang wajar. Untuk alasan ini, maka secara tegas ditunjukkan bahwa besarnya kuantitas pengganti yang diaplikasikan dalam kaitannya dengan batas yang relevan memungkinkan tidak ada kesimpulan yang bisa ditarik mengenai keandalan atau pembebahan komponen selama batas ini tidak melebihi. Hal ini khususnya tidak dapat diterima untuk membandingkan pembebahan komponen dari mesin torak yang berbeda dengan membandingkan kuantitas pengganti yang diukur pada rangka mesin.

2.1.7 Untuk permesinan torak (*reciprocating machinery*), pernyataan berikut hanya berlaku untuk keluaran daya (*output*) yang lebih dari 100 kW dan kecepatan dibawah 3000 Rpm.

2.2 Penilaian

2.2.1 Dalam menilai tegangan getaran yang terjadi pada mesin, peralatan dan struktur lambung, kecepatan getaran v pada umumnya digunakan sebagai kriteria untuk tegangan getaran yang terjadi. Kriteria yang sama digunakan untuk mengevaluasi intensitas spektrum getaran yang dihasilkan oleh sumber getaran (lihat. 2.1.2).

Dalam kasus osilasi sinusoidal murni, nilai efektif dari kecepatan getaran v_{eff} dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{eff} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \hat{s} \cdot \omega = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot v = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\hat{a}}{\omega} \quad (1)$$

Dimana

\hat{s} = amplitudo perpindahan getaran (*vibration displacement amplitude*)

v = kecepatan sudut getaran (*vibration velocity amplitude*)

V_{eff} = amplitudo kecepatan getaran (effective value of vibration velocity)

\hat{a} = nilai efektif kecepatan getaran (*vibration acceleration amplitude*)

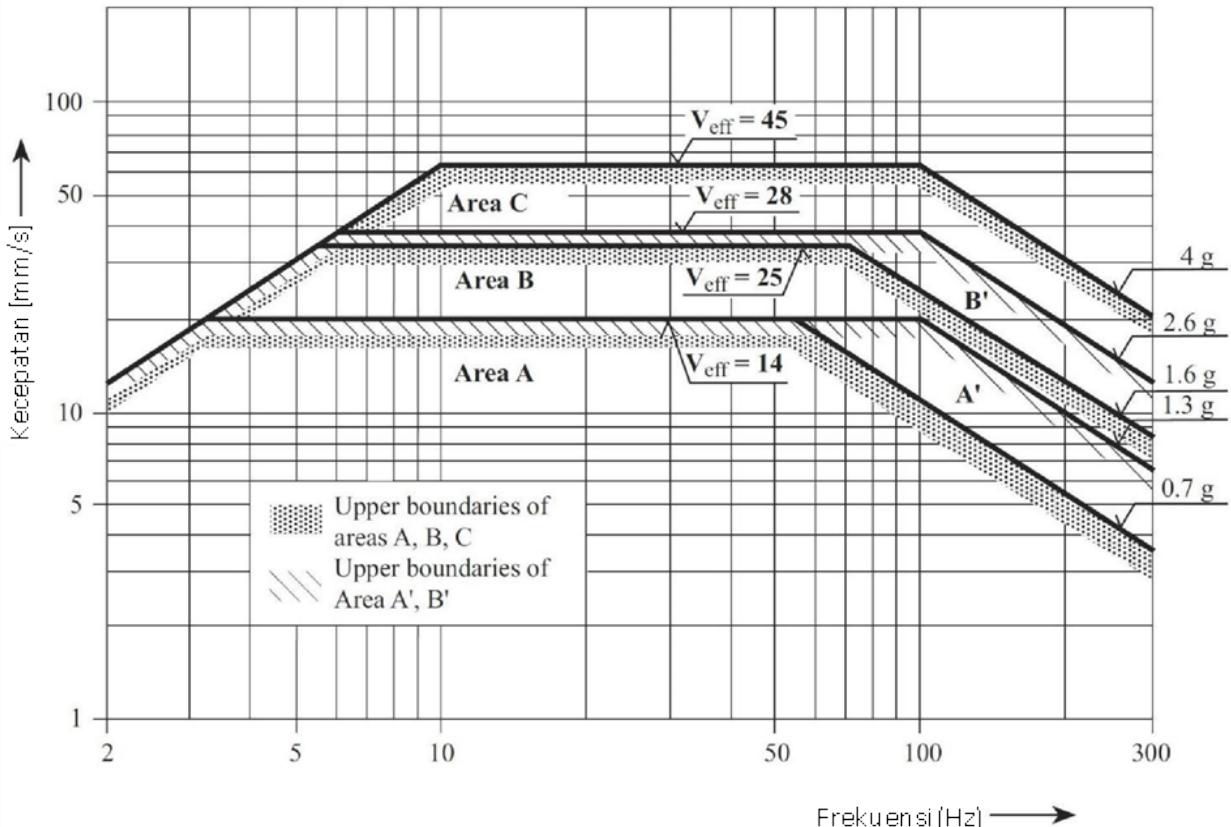
ω = amplitudo percepatan getaran (*angular velocity of vibration*)

Untuk setiap osilasi periodik dengan komponen harmonik individu 1, 2, ... n, nilai efektif dari kecepatan getaran dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{\text{eff}} = \sqrt{V_{\text{eff}_1}^2 + V_{\text{eff}_2}^2 + \dots + V_{\text{eff}_n}^2} \quad (2)$$

dimana V_{eff_i} adalah nilai efektif kecepatan getaran dari komponen harmonik ke-i. Menggunakan rumus (1), nilai-nilai individu V_{eff_i} harus dihitung untuk setiap harmonik.

Tergantung pada kondisi yang ada, nilai efektif dari kecepatan getaran diberikan oleh rumus (1) untuk osilasi sinusoidal murni atau dengan rumus (2) untuk setiap osilasi periodik.



Gambar 1.1 Area untuk penilaian beban getaran

2.2.2 Pengukuran beban getaran pada umumnya didasarkan pada **area A, B, dan C**, yang diapit oleh kurva-kurva batas seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 1.1](#). Kurva batas **area A, B, dan C** ditunjukkan pada [Tabel 1.5](#). Jika getaran yang akan diukur terdiri dari beberapa komponen harmonik, nilai efektif sesuai dengan [2.2.1](#) yang diterapkan. Pengukuran nilai ini adalah untuk memperhitungkan semua komponen harmonik yang penting dalam rentang mulai 2 sampai 300 Hz.

2.2.3 **Area A** dapat digunakan untuk pengukuran semua mesin, peralatan dan perlengkapan. Mesin, peralatan dan perlengkapan yang akan digunakan di atas kapal harus dirancang sebagai persyaratan minimum untuk menahan beban getaran yang sesuai dengan kurva batas **area A**.

Jika tidak, dengan persetujuan BKI, langkah-langkah harus diambil (peredam getaran dan lain-lain) untuk mengurangi beban getaran yang sebenarnya ke tingkat yang diizinkan.

2.2.4 Karena bertindak sebagai sumber getaran, mesin torak (*reciprocating machines*) harus dipertimbangkan secara terpisah. Baik getaran yang dihasilkan oleh mesin torak maupun tekanan yang mengenai secara langsung peralatan sekitarnya yang terkoneksi (misalnya *governor*, *turbocharger gas buang* dan pompa minyak pelumas) dan mesin atau sistem yang berdekatan (misalnya *generator*, sistem transmisi dan pipa-pipa), untuk tujuan Peraturan ini dan dengan memperhatikan keterbatasan yang dinyatakan dalam [2.1.6](#), dapat diukur dengan menggunakan kuantitas pengganti yang disajikan di [2.2.1](#).

Tabel 1.5 Definisi numerik dari area batas ditunjukkan pada Gambar. 1.1

Area	A	B	C	A'	B'
s [mm]	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
v [mm/s]	< 20	< 35	< 63	< 20	< 40
v_{eff} [mm/s]	< 14	< 25	< 45	< 14	< 28

.1 Dalam setiap kasus, pabrik pembuat mesin torak harus menjamin beban getaran yang diijinkan pada peralatan penting sekitar yang terhubung langsung. Pabrik pembuat mesin torak bertanggung jawab kepada BKI untuk membuktikan bahwa beban getaran berada dalam batas yang diizinkan sesuai dengan [2.3](#).

.2 Saat beban getaran mesin torak terletak di dalam **area A'**, pertimbangan terpisah atau bukti yang berkaitan dengan peralatan sekitar yang terhubung langsung (lihat [2.2.4](#)) tidak diperlukan. Hal yang sama berlaku untuk mesin dan sistem yang berada di dekat generator ([2.2.4](#)).

Dalam keadaan ini, peralatan sekitar yang terhubung langsung dalam setiap kasus harus dirancang untuk setidaknya untuk beban batas pada **area B'** dan mesin yang terletak di dekatnya untuk beban batas **area B**.

Jika beban getaran yang diijinkan dari peralatan individu sekitar yang terhubung langsung sesuai dengan [2.2.4.1](#) berada di bawah kurva batas **area B**, penerimaan harus dibuktikan dengan pengukuran beban getaran yang terjadi sebenarnya.

.3 Jika beban getaran mesin torak berada di luar **area A'** tapi masih dalam **area B'**, maka hal tersebut harus dibuktikan dengan pengukuran bahwa peralatan sekitar yang terhubung langsung tidak dibebani melebihi batas **area C**.

Dalam keadaan ini, peralatan sekitar yang terhubung langsung pada setiap kasus harus dirancang untuk setidaknya berada pada beban batas **area C**, dan mesin yang berada di dekatnya pada beban batas **area B**.

Bukti diperlukan bahwa mesin dan peralatan yang berada di dekat sumber utama tidak mengalami beban yang lebih tinggi dari yang ditetapkan oleh kurva batas **area B**. Jika beban getaran yang diijinkan pada peralatan individu sekitar yang terhubung langsung atau mesin sesuai dengan [2.2.4.1](#), berada di bawah nilai yang dinyatakan, penerimaannya harus dibuktikan dengan pengukuran beban getaran yang terjadi sebenarnya.

.4 Jika beban getaran mesin torak berada di luar **area B'** tapi masih dalam **area C**, perlu dipastikan bahwa beban getaran pada peralatan sekitar yang terhubung langsung masih tetap dalam **area C**. Jika kondisi ini tidak dapat dipenuhi, peralatan sekitar yang penting sesuai dengan [2.3](#), harus dirancang dapat digunakan untuk beban yang lebih tinggi.

Langkah yang tepat (peredam getaran, dan lain-lain) harus diambil untuk memastikan pencegahan yang tepat dari beban getaran yang berlebihan pada mesin dan peralatan yang berdekatan. Beban diizinkan yang dinyatakan pada [2.2.4.3](#) (**area B** atau nilai yang lebih rendah ditentukan oleh pabrik pembuat) terus menerus berlaku untuk unit-unit ini.

.5 Untuk peralatan sekitar yang terhubung langsung, BKI dapat menyetujui nilai yang lebih tinggi dari yang ditetapkan dalam 2.2.4.2, 2.2.4.3 dan 2.2.4.4 bila hal ini dijamin oleh pabrik pembuat mesin torak sesuai dengan 2.2.4.1 dan terbukti sesuai dengan 2.3. Secara analogi, hal yang sama berlaku untuk mesin yang berdekatan dan peralatan dimana pabrik pembuat yang bersangkutan menjamin nilai yang lebih tinggi dan memberikan buktinya sesuai dengan 2.3.

2.2.5 Untuk peralatan, perlengkapan dan komponen, karena instalasi mereka berada di kompartemen roda gigi kemudi atau pendorong haluan (*bow thruster*), terkena tekanan getaran yang lebih tinggi, meskipun diatur 2.2.3 hal tersebut dapat dinilai sesuai dengan batas-batas **area B**. Desain peralatan semacam itu harus memungkinkan untuk peningkatan beban seperti yang disebutkan diatas.

2.3 Pembuktian

2.3.1 Dimana sesuai dengan 2.2.4.1, 2.2.4.4, dan 2.2.4.5, BKI diminta untuk menyetujui nilai beban getaran yang lebih tinggi, maka yang biasanya diperlukan untuk hal ini adalah jaminan yang mengikat dari nilai-nilai yang diperbolehkan oleh pabrik pembuat atau pemasok.

2.3.2 BKI berhak untuk meminta bukti rinci (perhitungan, dokumen desain, pengukuran, dan lain-lain) dalam kasus dimana hal ini dijamin.

2.3.3 Jenis persetujuan sesuai dengan *Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use (Pt.1, Vol. W)*, Sec.3.T dianggap sebagai bukti diterimanya beban getaran yang diuji.

2.3.4 BKI dapat mengakui operasi bebas masalah jangka panjang (*long-term trouble free operation*) sebagai bukti yang cukup dari kehandalan yang dibutuhkan dan ketergantungan operasi.

2.3.5 Pabrik pembuat mesin torak dalam setiap kasus bertanggung jawab kepada BKI untuk semua bukti yang mungkin diperlukan berkaitan dengan tingkat spektrum getaran yang dihasilkan oleh mesin torak.

2.4 Pengukuran

2.4.1 Bukti yang berdasarkan pada pengukuran biasanya hanya diperlukan untuk mesin torak dengan keluaran (output) lebih dari 100 kW, dimana kondisi lain yang ditetapkan dalam 2.2.4.2 - 2.2.4.4 terpenuhi. Jika diperlukan, BKI juga mungkin memerlukan bukti-bukti berdasarkan pengukuran untuk keluaran yang lebih kecil.

2.4.2 Pengukuran harus dilakukan dalam setiap kasus pada kondisi layanan yang sesungguhnya pada titik instalasi. Selama verifikasi, keluaran yang dihasilkan oleh mesin torak harus tidak kurang dari 80% dari nilai yang diberikan. Pengukuran harus mencakup seluruh rentang kecepatan yang tersedia untuk memfasilitasi pendekripsi semua fenomena resonansi.

2.4.3 BKI dapat menerima bukti-bukti berdasarkan pengukuran yang belum dilakukan pada titik instalasi (misalnya *test bed*) atau pada titik instalasi tetapi pada kondisi pemasangan yang berbeda asalkan pemindahan hasil pengukuran dapat dibuktikan.

Hasil-hasil pengukuran ini biasanya dianggap dapat dipindahkan pada kasus mesin torak yang dipasang fleksibel dengan desain seperti biasa.

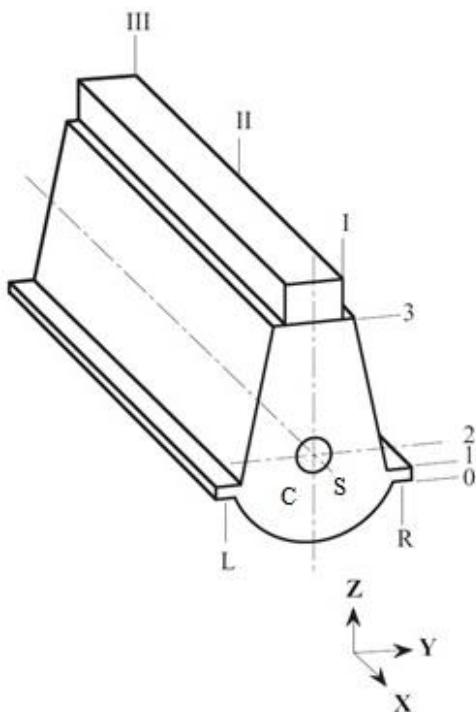
Jika mesin torak dipasang tidak fleksibel, pemindahan hasil pengukuran masih dapat diakui jika kondisi penting untuk hal ini (konstruksi lantai yang sama, instalasi serupa dan jalur pipa, dan lain-lain) terpenuhi.

2.4.4 Penilaian tekanan getaran yang mempengaruhi atau yang dihasilkan oleh mesin torak biasanya berhubungan dengan lokasi dimana beban getaran merupakan yang terbesar. *Gambar 1.2* menunjukkan

titik-titik pengukuran yang biasanya diperlukan untuk mesin dengan piston segaris. Pengukuran harus dilakukan pada tiga arah. Dalam kasus yang dapat dibenarkan, pengecualian dapat dilakukan mencakup semua titik pengukuran.

2.4.5 Pengukuran dapat dilakukan dengan menggunakan alat mekanik yang dioperasikan secara manual dengan ketentuan bahwa pengaturan instrumen sesuai dengan nilai-nilai yang diukur dengan mempertimbangkan akurasi pengukuran. Sensor-sensor linear yang selektif terarah dengan rentang frekuensi setidaknya 2 sampai 300 Hz biasanya harus digunakan. Sensor non-linear dapat juga digunakan asalkan pengukuran mempertimbangkan karakteristik respon.

Dengan mesin torak yang berjalan sangat lambat, pengukuran di kisaran 0,5 sampai 2 Hz dapat juga diperlukan. Hasil dari pengukuran semacam itu dalam kisaran yang dinyatakan tidak dapat dievaluasi sesuai dengan [2.2](#).



Sisi untuk pengukuran	L sisi kiri mengarah ke flensa kopling
Pengukuran tinggi	R sisi kanan mengarah ke flensa kopling
	0 dudukan
	1 dasar
	2 tinggi poros engkol
	3 gading atas
Pengukuran titik untuk panjang mesin	I sisi kopling (CS)
	II pusat mesin
	III sisi yang berlawanan terhadap kopling (OSC)

Gambar 1.2 Skema representasi mesin piston segaris

2.4.6 Rekaman pengukuran pada titik-titik dimana beban maksimum terjadi harus diserahkan ke BKI bersama dengan sebuah evaluasi dalam bentuk tabel.

D. Desain dan Konstruksi Instalasi Permesinan

1. Dimensi Komponen

1.1 Semua bagian harus mampu menahan tekanan-tekanan dan beban-beban yang tak biasa terhadap servis kapal, misalnya yang disebabkan oleh gerakan kapal, getaran, korosif yang semakin berat, perubahan temperatur dan terpaan gelombang, dan harus disesuaikan dengan persyaratan yang ditetapkan dalam bagian ini.

Dengan tidak adanya Peraturan yang mengatur tentang dimensi bagian-bagian, aturan praktik teknik yang diakui harus diterapkan.

1.2 Saat terdapat hubungan antara sistem atau item perangkat yang dirancang untuk kekuatan, tekanan, dan temperatur (tekanan) yang berbeda, perangkat keselamatan harus dipasang untuk mencegah tekanan berlebihan pada sistem atau item perangkat yang dirancang untuk parameter desain yang lebih rendah. Untuk mencegah kerusakan, sistem-sistem tersebut harus dilengkapi dengan perangkat yang memberikan perlindungan terhadap tekanan dan temperatur yang berlebih dan/atau terhadap *overflow*.

2. Material

Semua material komponen yang digunakan harus memenuhi [Rules for Materials \(Pt.1, Vol. V\)](#).

3. Pengelasan

Pembuatan komponen yang dilas, persetujuan perusahaan dan pengujian Juru las mengacu pada [Rules for Welding \(Pt.1, Vol. VI\)](#).

4. Pengujian

4.1 Permesinan dan bagian-bagian komponennya merupakan subyek pengujian-pengujian konstruksi dan material, pengujian-pengujian tekanan dan kebocoran, dan uji coba. Semua pengujian yang ditentukan dalam Bab berikut ini harus dilakukan di bawah pengawasan BKI.

Dalam hal bagian-bagian diproduksi secara berseri, metode-metode lain dari pengujian dapat disepakati dengan BKI selain dari pengujian yang telah ditentukan, asalkan metode-metode tersebut diakui setara oleh BKI.

4.2 Jika diperlukan, BKI berhak untuk memperluas cakupan pengujian dan juga untuk memasukkan pada pengujian bagian-bagian yang tidak secara tegas dinyatakan untuk diuji sesuai dengan Peraturan.

4.3 Komponen yang merupakan subyek yang wajib diuji harus diganti dengan bagian-bagian yang telah diuji.

4.4 Setelah instalasi diatas kapal dari permesinan utama dan bantu, fungsi operasional permesinan termasuk peralatan tambahan yang terkait harus diverifikasi. Semua peralatan keselamatan harus diuji, kecuali pengujian yang memadai telah dilakukan di bengkel pabrik pembuat dengan dihadiri surveyor BKI.

Selain itu, seluruh instalasi permesinan harus diuji selama percobaan dilaut (*sea trial*), se bisa mungkin pada kondisi servis yang dimaksudkan.

4.5 Untuk persyaratan selama percobaan dilaut, lihat [Guidance for Sea Trials of Motor Vessels \(Pt.1, Vol.B\)](#).

5. Perlindungan korosi

Bagian-bagian yang terkena korosi harus dijaga dengan diproduksi menggunakan bahan tahan korosi atau dilengkapi perlindungan korosi yang efektif.

6. Kesiapan Permesinan

6.1 Permesinan kapal harus diatur dan dilengkapi sedemikian rupa sehingga dapat dioperasikan dari kondisi "**dead ship**" dengan menggunakan sarana yang tersedia di atas kapal.

Kondisi "**dead ship**" berarti bahwa seluruh instalasi permesinan termasuk catu daya listrik tidak dapat dioperasikan dan sumber energi tambahan seperti *starting air*, arus yang disuplai oleh baterai, dan lain-lain, tidak tersedia untuk memulihkan sistem kelistrikan kapal, operasi penyalaan bantu dan mengembalikan instalasi penggerak untuk beroperasi.

Untuk mengatasi kondisi "**dead ship**" dapat digunakan sebuah generator darurat asalkan dapat dipastikan bahwa daya listrik untuk layanan darurat tersedia setiap saat. Diasumsikan bahwa sarana tersedia untuk *start* generator darurat setiap saat.

6.2 Dalam kasus kondisi "**dead ship**", harus dipastikan bahwa akan memungkinkan untuk sistem propulsi dan semua permesinan bantu dapat dinyalakan kembali dalam waktu 30 menit (lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec..3.C.1.4.](#))

7. Kontrol dan pengaturan

7.1 Permesinan harus dipasang perlengkapan agar dapat dikontrol sesuai dengan kebutuhan operasi sedemikian rupa sehingga kondisi pelayanan yang ditentukan oleh pabrik pembuat dapat dipenuhi.

7.1.1 Untuk peralatan kontrol mesin utama dan sistem yang penting untuk operasional (lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.B.4.](#))

7.2 Dalam hal terjadi kegagalan atau fluktuasi suplai daya listrik, daya pneumatik atau hidrolik yang mengatur dan mengendalikan sistem atau dalam kasus kerusakan sirkuit pengatur dan pengontrol, langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa:

- Peralatan dipertahankan pada pengaturan operasional awal atau jika perlu diubah ke pengaturan yang akan memiliki efek kerugian minimum pada operasi (*fail-safe condition*).
- Daya keluaran atau kecepatan mesin dari permesinan yang dikontrol atau diatur tidak meningkat dan
- Tidak terjadi inisiasi proses urutan penyalaan yang tidak disengaja.

7.3 Operasi manual

Setiap sistem yang penting secara fungsional, otomatis atau yang dikendalikan dari jarak jauh juga harus mampu dioperasikan secara manual.

8. Sistem Propulsi

8.1 Peralatan Manuver

Setiap platform kontrol mesin harus dilengkapi sedemikian rupa sehingga:

- sistem propulsi dapat disesuaikan ke pengaturan apapun,
- arah propulsi dapat dibalik (reversible), dan
- unit propulsi atau poros propeler dapat dihentikan.

8.2 Kontrol jarak jauh (*Remote Control*)

Kontrol jarak jauh sistem propulsi dari anjungan mengacu pada [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#).

8.3 Sistem Multi-Poros dan Multi-Mesin

Langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bila terjadi kegagalan mesin propulsi, operasi tetap dapat berjalan dengan menggunakan mesin lainnya, bila memungkinkan dengan menggunakan sistem *change-over* yang sederhana.

Untuk sistem multi-poros, masing-masing poros harus dilengkapi dengan alat pengunci yang ditujukan agar mencegah poros terseret/ ikut berputar (*dragging*), lihat [Bab 4, D.5.9](#)

9. Peralatan memutar

9.1 Permesinan harus dilengkapi dengan peralatan memutar yang mempunyai dimensi yang sesuai dan memadai.

9.2 Peralatan memutar harus bertipe terkunci sendiri (*self-locking*). Motor listrik harus dilengkapi dengan rem penahan yang sesuai.

9.3 Sebuah perangkat pengunci harus disiapkan untuk memastikan bahwa penggerak propulsi dan penggerak bantu tidak dapat menyalas ketika gigi pemutar (*turning gear*) terhubung. Dalam kasus instalasi pemutar manual, perangkat peringatan dapat disediakan sebagai alternatif.

10. Instruksi Operasi dan Pemeliharaan

10.1 Pabrik pembuat mesin, *boiler* dan peralatan bantu lainnya harus menyediakan informasi dan manual pengoperasian dan pemeliharaan dalam jumlah yang cukup bersama dengan peralatan tersebut.

Sebagai tambahan, sebuah papan yang mudah terbaca harus dipasang pada platform operasi *boiler* yang berisi petunjuk pengoperasian yang paling penting untuk *boiler* dan peralatan penyalaan.

11. Penandaan, identifikasi bagian-bagian permesinan

Untuk menghindari kesalahan pengoperasian dan peralihan yang tidak perlu, semua bagian permesinan yang fungsinya tidak dapat terlihat secara langsung harus ditandai dan diberi label.

12. Bahan bakar

12.1 Titik nyala² bahan bakar cair untuk pengoperasian *boiler* dan mesin diesel tidak boleh lebih kurang dari 60 °C.

Untuk perangkat pembangkit darurat dapat menggunakan bahan bakar dengan titik nyala ≥ 43 °C.

12.2 Dalam kasus yang luar biasa, untuk kapal yang ditujukan untuk beroperasi di wilayah geografis terbatas atau dimana tindakan pencegahan khusus sesuai dengan persetujuan BKI diambil, bahan bakar dengan titik nyala antara 43 °C dan 60 °C juga dapat digunakan. Hal ini tergantung pada persyaratan bahwa temperatur ruang dimana bahan bakar disimpan atau digunakan harus selalu 10 °C di bawah titik nyala.

12.3 Penggunaan bahan bakar gas yang diambil dari kargo harus sesuai dengan [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol.IX\)](#).

² Berdasarkan penentuan titik nyala (≤ 60 °C) dalam cawan tertutup (cup test).

12.4 Untuk penggunaan gas sebagai bahan bakar yang tidak diambil dari muatan, [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ships \(Pt.1, Vol.24\)](#) harus diperhatikan.

13. Instalasi pendingin

Instalasi Pendingin yang tidak memiliki Sertifikat Instalasi Pendingin yang akan dikeluarkan harus mengacu pada [Rules for Refrigeration \(Pt.1, Vol.VIII\) Sec.1, C., D., F., J.1, M.1.5](#) dan [M.2.3](#).

E. Peralatan Kamar Mesin dan Boiler

1. Peralatan operasi dan pemantauan

1.1 Instrumen, peringatan dan sistem indikasi serta peralatan operasi harus ditampilkan dengan jelas dan diletakkan ditempat yang sesuai. Tidak adanya pantulan cahaya, terutama di anjungan, harus dipastikan.

Peralatan operasi dan pemantauan harus dikelompokkan sedemikian rupa untuk memfasilitasi pengawasan dan kontrol yang mudah dari semua bagian penting instalasi.

Persyaratan berikut harus ditaati ketika menginstal sistem dan peralatan:

- perlindungan terhadap kelembaban dan penumpukan kotoran
- menghindari variasi temperatur yang berlebihan
- ventilasi yang memadai

Di konsol dan kabinet yang berisi peralatan listrik atau hidrolik atau jalur yang membawa uap atau air, roda gigi elektrik harus dilindungi dari kerusakan akibat kebocoran.

Sistem ventilasi redundan harus disiapkan pada kamar mesin dan ruang kontrol yang memiliki pendingin ruangan.

1.2 Pengukur tekanan

Skala dari pengukur tekanan harus memiliki dimensi sampai tekanan uji yang ditentukan. Tekanan operasi maksimum yang diizinkan harus ditandai pada alat pengukur tekanan untuk boiler, bejana tekan, dan dalam sistem yang dilindungi oleh katup pengaman.

Alat pengukur tekanan harus dipasang sedemikian rupa sehingga dapat diisolasi.

Jalur yang mengarah ke alat pengukur tekanan harus dipasang sedemikian rupa sehingga pembacaan tidak dipengaruhi oleh gelembung udara (*liquid heads*) dan *hydraulic hammer*.

2. Aksesibilitas permesinan dan boiler

2.1 Instalasi dan peralatan permesinan dan boiler harus dapat diakses untuk operasi dan pemeliharaan.

2.2 Pada tata letak ruang mesin (desain struktur pondasi, peletakan perpipaan dan saluran kabel, dll.) dan desain mesin serta peralatan (pemasangan saringan, pendingin, dll.), [2.1](#) harus dipenuhi.

3. Ruang kontrol mesin

Ruang kontrol mesin harus disediakan setidaknya dua pintu keluar, salah satunya dapat juga digunakan sebagai rute penyelamatan diri.

4. Penerangan

Semua ruang operasi harus diterangi secara memadai untuk memastikan instrumen kontrol dan pemantauan dapat dengan mudah dibaca. Berhubungan dengan ini, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.11](#).

5. Sumur Bilga/ Bilga

5.1 Sumur bilga dan bilga harus mudah diakses sewaktu-waktu, mudah dibersihkan dan mudah terlihat atau memiliki pencahayaan yang cukup.

5.2 Bilga di bawah mesin listrik harus dirancang sedemikian rupa untuk mencegah air bilga untuk melakukan penetrasi ke dalam mesin pada semua sudut kemiringan dan gerakan kapal yang sedang berlayar.

5.3 Untuk ruang berikut, sarana pemantauan level bilga harus disediakan dan nilai-nilai batas yang melebihi harus ditunjukkan pada titik alarm yang dijaga secara permanen:

- Kamar mesin tak berawak dari kategori "A" harus dilengkapi dengan minimal 2 indikator untuk pemantauan level bilga.
- Kamar mesin tak berawak lainnya, seperti pendorong haluan (*bow thruster*) atau kompartemen *steering gear* yang ditempatkan di bawah garis air sesuai kondisi pemuatan terlepas dari Notasi Kelas OT, harus dilengkapi setidaknya dengan satu indikator untuk pemantauan level bilga.

6. Ventilasi

Ventilasi permesinan harus dirancang dengan mempertimbangkan kondisi sekitar seperti yang disebutkan dalam [Tabel 1.3](#).

Ambang ventilasi ruang mesin harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak ada penutupan kedap yang perlu dipasang sesuai dengan ILLC 1966 sebagaimana telah diubah 1988 Reg. 19. Ruang permesinan adalah ruang-ruang yang didefinisikan dalam SOLAS II-1 Reg. 3.16.

7. Pembatasan tingkat kebisingan

Sesuai dengan peraturan nasional yang relevan, perhatian harus diberikan untuk memastikan bahwa pengoperasian kapal tidak terganggu oleh kebisingan mesin.

F. Peralatan Keselamatan dan Tindakan Perlindungan

Permesinan harus dipasang dan dijaga sedemikian rupa sehingga risiko kecelakaan sebagian besar dapat dihindari. Selain peraturan nasional, perhatian khusus yang harus diberikan adalah sebagai berikut:

1. Bagian yang bergerak, roda gila (*flywheels*), penggerak rantai dan sabuk, penghubung dan komponen lain yang dapat berkontribusi terhadap terjadinya bahaya kecelakaan untuk personil operasi, harus dilengkapi dengan pengaman untuk mencegah kontak. Hal yang sama berlaku untuk bagian mesin, pipa dan dinding yang panas dimana tidak terdapat isolasi termal, misalnya alur tekanan untuk kompresor udara.

2. Bila menggunakan engkol tangan untuk menyalakan mesin pembakaran dalam, langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa engkol dilepas seketika ketika mesin mulai menyala.

Sirkuit *Dead-Man* harus disediakan untuk peralatan berputar.

3. Fasilitas pembuangan dan drainase harus dirancang sedemikian rupa sehingga media yang dibuang dapat dengan aman dikeringkan.
4. Di dalam ruang operasi, pelat lantai anti selip dan penutup lantai harus digunakan.
5. Lorong (gangways), platform operasi, tangga dan daerah lainnya yang terbuka untuk diakses selama operasi harus diamankan dengan rel pengaman. Tepi luar platform dan area lantai harus dilengkapi dengan pembatas kecuali jika beberapa cara lain diadopsi untuk mencegah orang dan benda-benda dari terselip.
6. gelas ukur (glass water) untuk boiler uap harus dilengkapi dengan perangkat pelindung. perangkat pengosongan alat pengukur ketinggian air (blowing through) harus mampu dioperasikan dan diobservasi dengan aman.
7. Katup pengaman (safety valves) dan penyetop (shut-offs valve) harus dapat dioperasikan dengan aman. Undakan, tangga atau platform yang tetap harus dipasang jika diperlukan.
8. Katup pengaman harus dipasang untuk mencegah terjadinya tekanan operasi yang berlebihan.
9. Jalur uap dan air umpan, saluran gas buang, boiler dan peralatan lainnya serta pipa yang membawa uap atau air panas harus diisolasi secara efektif. Bahan isolasi harus tahan api. Tempat dimana cairan yang mudah terbakar atau uap air dapat menembus ke isolasi harus memiliki perlindungan yang sesuai, misalnya dengan menggunakan shielding.

G. Peralatan Komunikasi dan sinyal

1. Komunikasi suara (*voice communication*)

Sarana komunikasi suara harus disiapkan antara ruang anjungan, kamar mesin dan kompartemen roda gigi kemudi (*steering gear compartment*), dan harus dipastikan bahwa sarana ini dapat beroperasi pada semua kondisi dan tidak tergantung dari sumber listrik diatas kapal (lihat juga [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.9.C.5.](#)).

2. Alarm *engineer*

Dari kamar mesin atau ruang kontrol mesin harus dimungkinkan untuk mengaktifkan alarm di ruangan/kamar *engineer* (lihat juga [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.9.C.3](#))

3. Telegraf mesin (*engine telegraph*)

Permesinan yang dioperasikan dari kamar mesin harus dilengkapi dengan sebuah telegraf.

Dalam kasus instalasi multi-poros, telegraf harus disediakan untuk setiap unit.

Stasiun kontrol lokal harus dilengkapi dengan sebuah telegraf darurat.

4. Indikator putaran poros

Kecepatan dan arah rotasi dari poros propeller harus ditunjukkan di anjungan dan di kamar mesin. Dalam kasus unit propulsi kecil, indikator dapat ditiadakan.

Rentang kecepatan yang dilarang harus ditandai pada indikator putaran poros, lihat [Bab 16](#).

5. Desain komunikasi dan peralatan sinyal

Sarana operasi mundur, kontrol transmisi perintah dan operasi, dan sebagainya harus diletakkan bersama pada sebuah tempat yang nyaman pada platform kontrol.

Status yang ada, "Maju" atau "Mundur", dari kontrol balik harus jelas ditunjukkan pada platform kontrol sistem propulsi.

Perangkat sinyal harus kelihatan dengan jelas dari seluruh bagian kamar mesin saat permesinan sedang beroperasi penuh.

Untuk rincian desain dari perintah transmisi yang dioperasikan secara elektrik, sistem sinyal dan alarm, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.9](#) dan [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#).

H. Peralatan esensial

1. Yang esensial untuk operasi kapal adalah semua pembangkit propulsi utama.
2. Yang esensial (penting secara operasional) adalah pembangkit dan permesinan bantu, sebagai berikut:
 - diperlukan untuk propulsi dan manuver kapal
 - diperlukan untuk menjaga keselamatan kapal
 - serta melindungi keselamatan jiwa manusia
 - peralatan yang sesuai dengan Karakter khusus Klasifikasi dan Notasi Kelas
3. Permesinan bantu yang essensial dan sistem terdiri antara lain:
 - unit generator
 - pembangkit *steering gear*
 - unit suplai bahan bakar minyak
 - pompa minyak pelumas
 - pompa pendinginan air/pendingin media
 - kompressor udara penyalaan dan kontrol
 - instalasi penyalaan untuk mesin bantu dan utama
 - blower udara pengisian
 - turbocharger gas buang
 - instalasi *controllable pitch propeller*
 - penggerak asimut (azimuth drives)
 - kipas ventilasi kamar mesin
 - perangkat penghasil uap, air panas dan hangat
 - sistem minyak termal
 - peralatan berbahan bakar minyak
 - bejana tekan dan penukar kalor pada sistem penting
 - pompa hidrolik
 - unit pengolahan bahan bakar minyak
 - pompa transfer bahan bakar minyak

- unit pengolahan minyak pelumas
- pompa bilga dan balas
- sistem kompensasi kemiringan
- pompa kebakaran dan peralatan pemadam kebakaran
- mesin pengerek jangkar (anchor windlass)
- pendorong melintang
- kipas ventilasi untuk daerah berbahaya
- roda gigi pemutar untuk mesin utama
- rampa haluan dan buritan serta bukaan kulit
- peralatan penutupan pintu sekat
- pompa boiler air pengumpan (boiler feed water pumps)

4. Untuk kapal dengan peralatan sesuai dengan Karakter khusus Klasifikasi dan Notasi, perangkat tipe spesifik tertentu dapat dikelompokkan sebagai peralatan esensial.

I. Analisa kegagalan sistem penggerak dan kemudi pada kapal penumpang

1. Untuk kapal yang memiliki sekurang-kurangnya 2 cara mandiri dari sistem penggerak dan kemudi yang sesuai dengan persyaratan SOLAS agar aman kembali ke pelabuhan, kondisi berikut dapat diterapkan:

1.1 Berikan pengetahuan tentang efek dari kegagalan peralatan dan sistem yang diakibatkan oleh kebakaran pada ruang manapun atau banjir pada kompartemen kedap air yang dapat mempengaruhi kemampuan dari sistem penggerak dan kemudi.

1.2 Berikan solusi untuk menjamin kemampuan sistem penggerak dan kemudi jika terjadi kegagalan seperti pada 1.1

2. Kapal yang tidak diharuskan untuk memenuhi konsep aman kembali ke pelabuhan akan memerlukan analisis kegagalan pada peralatan tunggal dan kebakaran di ruang mana pun untuk memberikan pengetahuan dan solusi yang mungkin untuk meningkatkan kemampuan sistem penggerak dan kemudi.

3. Analisis kegagalan kualitatif adalah untuk mempertimbangkan proporsi dan peralatan kemudi dan semua sistem terkait yang mungkin mengganggu kemampuan proporsi dan kemudi.

4. Analisis kegagalan kualitatif harus mencakup:

- 1) Sistem penggerak dan daya penggerak elektrik seperti mesin diesel, dan motor elektrik.
- 2) Sistem transmisi daya seperti shaft, bantalan, konversi tenaga, trafo, dan *slip ring* sistem.
- 3) Perangkat kemudi seperti aktuator kemudi atau yang setara untuk propulsor azimuthing, tongkat kemudi dengan bantalan dan segel, kemudi, unit daya dan roda gigi kendali, sistem dan indikator kendali lokal, sistem dan indikator kendali jarak jauh, dan peralatan komunikasi.
- 4) Penggerak seperti propeller, pendorong azimuth, dan air bertekanan (*water jet*)
- 5) Sistem utama suplai daya seperti genset, dan sistem distribusi, penataan kabel, hidrolis, dan pneumatic.
- 6) Sistem bantu utama seperti udara bertekanan, minyak bahan bakar, minyak pelumas, pendingin air, ventilasi, dan sistem penyimpanan, dan suplai bahan bakar.
- 7) Kendali dan sistem pemantauan seperti sirkuit listrik bantu, suplai daya, sistem perlindungan keamanan, sistem manajemen daya, dan sistem kendali otomasi.

- 8) Sistem pendukung seperti, pencahayaan dan ventilasi

Agar mempertimbangkan efek dari kebakaran atau banjir pada satu kompartemen, analisanya untuk mengetahui lokasi dan tata letak peralatan dan sistem.

5. Kriteria Kegagalan

5.1 Kegagalan adalah deviasi dari kondisi operasi normal seperti kehilangan atau malfungsi dari komponen atau sistem seperti tidak dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang dibutuhkan atau yang diinginkan.

5.2 Analisa kegagalan kualitatif berdasarkan pada kriteria kegagalan tunggal (Bukan dari dua kegagalan mandiri yang terjadi secara bersamaan).

5.3 Jika kegagalan tunggal mengakibatkan kegagalan pada lebih dari satu komponen pada sistem (kegagalan umum), semua hasil kegagalan harus dipertimbangkan bersama-sama.

5.4 Dimana terjadinya kegagalan mengarah langsung ke kegagalan lebih lanjut, semua kegagalan tersebut harus dipertimbangkan bersama-sama.

6. Verifikasi Solusi

6.1 Galangan kapal harus menyerahkan laporan kepada BKI yang mengidentifikasi bagaimana tujuan telah ditangani. Laporan harus mencakup informasi berikut:

- 1) Mengidentifikasi standar yang digunakan untuk analisis desain.
- 2) Mengidentifikasi tujuan analisis.
- 3) Identifikasi asumsi yang dibuat dalam analisis.
- 4) Identifikasi peralatan, sistem atau sub-sistem, cara pengoperasian peralatan
- 5) Mengidentifikasi kemungkinan mode kegagalan dan penyimpangan yang dapat diterima dari fungsi yang dimaksudkan atau diperlukan
- 6) Evaluasi efek lokal (misalnya kegagalan injeksi bahan bakar) dan efek pada sistem secara keseluruhan (misalnya hilangnya daya penggerak) dari setiap mode kegagalan yang berlaku.
- 7) Mengidentifikasi uji coba dan pengujian yang diperlukan untuk membuktikan kesimpulan.

Catatan:

Semua pemangku kepentingan (misalnya, klas, pemilik, galangan kapal dan produsen) sejauh mungkin harus dilibatkan dalam pengembangan laporan.

6.2 Laporan harus diserahkan sebelum persetujuan rencana detail desain. Laporan dapat disampaikan dalam dua bagian:

- 1) Analisis pendahuluan segera setelah pengaturan awal kompartemen yang berbeda dan pembangkit penggerak diketahui yang dapat menjadi dasar diskusi. Ini termasuk penilaian terstruktur dari semua sistem penting yang mendukung pembangkit penggerak setelah kegagalan peralatan, kebakaran atau banjir di setiap kompartemen kejadian.
- 2) Laporan akhir yang merinci desain akhir dengan penilaian terperinci dari setiap sistem kritis yang diidentifikasi dalam laporan awal.

6.3 Verifikasi temuan laporan harus disepakati antara BKI dan galangan kapal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 2 Mesin Pembakaran Dalam dan Kompressor Udara

A.	Umum.....	2-1
B.	Dokumen-Dokumen Persetujuan	2-4
C.	Perhitungan Poros Engkol.....	2-7
D.	Material	2-8
E.	Pengujian dan Percobaan	2-13
F.	Peralatan Keamanan.....	2-20
G.	Sistem Bantu.....	2-28
H.	Peralatan Penyalaan	2-32
I.	Peralatan Kontrol.....	2-35
J.	Alarm	2-36
K.	Keselarasan Mesin/Dudukan.....	2-37
L.	Perhitungan Perkiraan Suplai Udara Penyalaan.....	2-40
M.	Kompresor Udara.....	2-41
N.	Sistem Pembersihan Gas Buang.....	2-44
O.	Mesin Berbahan Bakar Gas.....	2-49

A. Umum

1. Ruang Lingkup

Persyaratan yang terkandung dalam Bab ini berlaku untuk mesin pembakaran dalam yang digunakan sebagai unit propulsi utama dan unit tambahan (termasuk unit darurat) serta kompresor udara.

Untuk tujuan persyaratan ini, mesin pembakaran dalam adalah:

- mesin diesel, digerakkan dengan bahan bakar minyak
- mesin bahan bakar ganda, digerakkan dengan bahan bakar minyak dan/atau bahan bakar gas
- mesin gas, berbahan bakar gas

Persyaratan untuk mesin bahan bakar ganda dan mesin gas diatur pada Sub-bab O.

2. Kondisi Sekitar

Dalam menentukan daya semua mesin yang digunakan di kapal dengan jangkauan layanan tak terbatas, kondisi sekitar berikut harus digunakan:

Tekanan barometrik	1000	mbar
Suhu udara hisap	45	°C
Kelembaban udara relatif	60	%
Suhu air laut	32	°C

Suhu air laut yang ditetapkan terutama dianggap sebagai suhu inlet pada sistem pendingin yang menggunakan fluida pendingin air laut.

Catatan:

Pabrik pembuat mesin tidak diwajibkan untuk mensimulasikan kondisi referensi sekitari pada test bed.

3. Rated Power

3.1 Mesin diesel harus dirancang sedemikian rupa sehingga *rated power* ketika bekerja pada *rated speed* sesuai dengan definisi dari pabrik pembuat mesin pada kondisi sekitar sebagaimana didefinisikan dalam 2, dapat disalurkan sebagai daya terus menerus. Mesin diesel harus mampu beroperasi secara terus menerus dalam rentang daya ① pada [Gambar 2.1](#) dan secara intermittent pada rentang daya ②. Jangkauan rentang daya harus dinyatakan oleh pabrik pembuat mesin.

3.2 Daya secara terus menerus (*continuous power*) harus dipahami sebagai daya servis standar yang mampu diberikan secara terus menerus, asalkan perawatan yang ditentukan oleh pabrik pembuat mesin dilakukan dalam interval perawatan yang dinyatakan oleh pabrik pembuat mesin.

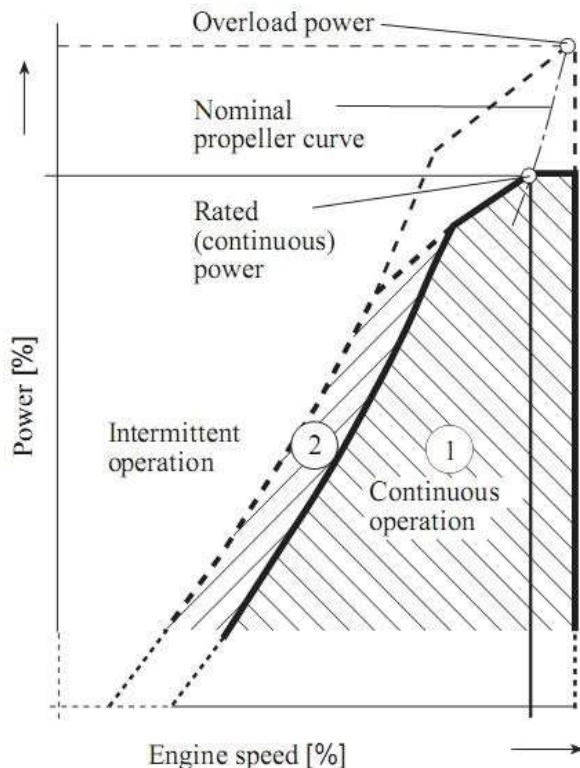
3.3 *Rated Power* harus ditentukan sedemikian sehingga daya berlebih 110% dari *rated power* dapat ditunjukkan pada kecepatan yang sesuai untuk periode menerus selama 1 jam. Penyimpangan dari nilai daya berlebih memerlukan persetujuan dari BKI.

3.4 Setelah pengujian pada test bed, sistem suplai bahan bakar mesin utama harus disetel sehingga daya berlebih tidak terjadi setelah dipasang diatas kapal. Pembatasan dari sistem suplai bahan bakar harus dikunci secara permanen.

3.5 Sesuai dengan persyaratan yang ditentukan, mesin diesel yang menggerakkan generator listrik harus mampu untuk operasi dengan beban berlebih bahkan setelah dipasang diatas kapal.

3.6 Mesin diesel untuk kapal-kapal khusus dan aplikasi khusus dirancang untuk daya secara terus menerus (*continuous power*) yang tidak dibatasi, dapat diterima atas persetujuan BKI.

3.7 Untuk mesin utama, diagram daya ([Gambar 2.1](#)) harus dipersiapkan yang menunjukkan rentang daya dimana mesin dapat beroperasi secara terus menerus dan dalam jangka waktu yang pendek pada kondisi servis.



Gambar 2.1 Contoh sebuah diagram daya

4. Bahan bakar

- 4.1 Penggunaan bahan bakar cair tunduk pada persyaratan yang tercantum dalam Bab 1, D.12.
- 4.2 Untuk pengolahan dan suplai bahan bakar, lihat Bab 11, G.
- 4.3 Penggunaan bahan bakar gas tunduk pada persyaratan [Rules for Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt. 1, Vol. IX\), Sec 16, dan Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#).
- 4.4 Mengenai penggunaan bahan bakar rendah sulfur, rekomendasi pabrik pembuat mesin sehubungan dengan misalnya proses *fuel change-over*, pelumasan, viskositas dan kompatibilitas harus diperhatikan.

5. Aksesibilitas mesin

Mesin harus diatur sedemikian rupa di ruang mesin sehingga semua *assembly hole* dan lubang inspeksi yang disediakan oleh pabrik pembuat mesin untuk inspeksi dan pemeliharaan dapat diakses. Penggantian komponen se bisa mungkin dapat dilakukan diatas kapal. Persyaratan yang berkaitan dengan ruang dan konstruksi untuk instalasi mesin harus dipertimbangkan.

6. Komponen dan sistem elektronik

- 6.1 Untuk komponen dan sistem elektronik yang diperlukan untuk kontrol mesin pembakaran dalam, hal berikut harus diperhatikan:
- 6.1.1 Komponen dan sistem elektronik harus mempunyai tipe yang disetujui sesuai dengan [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\) Sec. 3.T](#).
- 6.1.2 Untuk sistem komputer, [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 10](#) harus diperhatikan.
- 6.1.3 Untuk mesin penggerak utama, kegagalan salah satu sistem kontrol elektronik tidak boleh mengakibatkan kegagalan total atau perubahan daya secara mendadak. Dalam kasus tertentu, BKI dapat menyetujui kondisi kegagalan lainnya, asal dapat dipastikan bahwa tidak ada peningkatan kecepatan kapal yang terjadi.
- 6.2 Perilaku tak kritis dalam kasus kegagalan sistem kontrol elektronik harus dibuktikan dengan analisa yang terstruktur (misalnya FMEA), yang harus disiapkan oleh pabrik pembuat sistem. Hal ini harus mencakup dampak terhadap orang, lingkungan dan kondisi teknis.
- 6.3 Jika sistem kontrol elektronik tergabung dengan kontrol kecepatan, persyaratan [F.1.3](#) dan [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec 9.B.8](#) harus diperhatikan.

7. Stasiun kontrol lokal

- 7.1 Untuk stasiun kontrol lokal, persyaratan [I.](#) harus diperhatikan.
- 7.2 Indikator yang disebutkan dalam [I.](#) harus diwujudkan sedemikian rupa sehingga satu kegagalan hanya dapat mempengaruhi satu indikator. Jika indikator ini merupakan bagian integral dari sistem kontrol elektronik, tindakan harus diambil untuk menjaga indikasi-indikasi tersebut jika terjadi kegagalan pada sistem.
- 7.3 Jika indikator bersifat elektrik, catu daya instrumen dan sistem elektronik tersebut harus diwujudkan sedemikian rupa untuk memastikan perilaku yang dinyatakan dalam [7.2](#).

B. Dokumen-Dokumen Persetujuan

1. Umum

Untuk setiap jenis mesin, gambar dan dokumen yang tercantum dalam [Tabel 2.1](#) dan [Tabel 2.2](#), bilamana berlaku, dokumen tersebut diserahkan oleh pabrik pembuat mesin kepada BKI untuk persetujuan atau referensi. Bila dianggap perlu, BKI dapat meminta dokumen lebih lanjut untuk diserahkan. Hal ini juga berlaku untuk dokumentasi perubahan desain sesuai persyaratan [4](#). Dokumen harus diserahkan dalam format elektronik untuk persetujuan.

2. Mesin yang diproduksi di bawah lisensi

Untuk setiap jenis mesin yang diproduksi di bawah lisensi, pemegang lisensi harus menyampaikan dokumen-dokumen berikut kepada BKI sebagai persyaratan minimum:

- Perbandingan semua gambar dan dokumen sesuai [Tabel 2.1](#) dan [Tabel 2.2](#) jika berlaku yang menunjukkan gambar yang relevan digunakan oleh penerima lisensi dan pemegang lisensi tersebut.
- Semua gambar dari komponen yang dimodifikasi, jika ada, sesuai [Tabel 2.1](#) dan [Tabel 2.2](#) bersama-sama dengan deklarasi pemegang lisensi tentang persetujuan untuk modifikasi,
- Satu set gambar lengkap harus diserahkan untuk disimpan sebagai dasar untuk pengujian dan inspeksi.

3. Definisi dari jenis mesin Diesel

3.1 Jenis spesifikasi mesin pembakaran dalam didefinisikan oleh data berikut:

- type penandaan oleh pabrik pembuat
- diameter silinder
- panjang langkah
- metode injeksi (langsung, tidak langsung)
- operasi katup dan injeksi (dengan bubungan (*cams*) atau dikontrol secara elektronik)
- jenis bahan bakar (cair, bahan bakar ganda, gas)
- siklus kerja (4 langkah, 2 langkah)
- metode pertukaran gas (dihembuskan secara alami atau dengan supercharger)
- daya silinder, kecepatan dan tekanan silinder
- metode atau pengisian tekanan (sistem tekanan berdenyut atau sistem pengisian tekanan konstan)
- sistem pendingin udara pengisian (misalnya dengan atau tanpa intercooler)
- konfigurasi silinder (segaris atau V)

3.2 Deskripsi jenis mesin diesel

Definisi dari *rated speed* mesin dijelaskan sebagai berikut:

- Mesin Kecepatan Rendah (*Crosshead*) berarti mesin diesel dengan *rated speed* kurang dari 300 rpm.
- Mesin Kecepatan Menengah (*Trunk Piston*) berarti mesin diesel yang memiliki *rated speed* 300 rpm ke atas, tetapi kurang dari 1400 rpm.
- Mesin Kecepatan Tinggi (*Trunk Piston*) berarti mesin diesel yang memiliki *rated speed* 1400 rpm atau lebih

Untuk aplikasi lebih lanjut, atau pengecualian harus dinyatakan dan harus ditandai.

4. Modifikasi desain

Setelah persetujuan awal dari suatu jenis mesin oleh BKI, hanya dokumen-dokumen yang tercantum dalam [Tabel 2.1](#) dan [Tabel 2.2](#) yang perlu dikirim ulang untuk pemeriksaan yang mewakili modifikasi desain yang penting.

5. Persetujuan komponen mesin

Prosedur untuk persetujuan komponen mesin sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marines Use \(Pt.1, Vol.W\)](#).

Table 2.1 Dokumen yang harus diserahkan untuk Referensi

No	Deskripsi
1	Rincian mesin (misalnya Lembar Data dengan informasi umum mesin)
2	Penampang mesin
3	Bagian longitudinal mesin
4	Dudukan dan bak mesin dari desain cor
5	Rakitan bantalan dorong ¹
6	<i>Frame/framebox/gearbox</i> dari desain cor ²
7	Tie rod
8	Batang penghubung
9	Batang penghubung, rakitan ³
10	<i>Crosshead</i> , rakitan ³
11	Batang piston, rakitan ³
12	<i>Piston</i> , rakitan ³
13	Jaket silinder/blok desain cor ²
14	Penutup silinder, rakitan ³
15	<i>Cylinder liner</i>
16	Penggerak noken as, rakitan ³
17	Roda gila
18	Pompa injeksi bahan bakar
19	Perisai dan isolasi pipa buang dan bagian suhu tinggi lain yang mungkin muncul sebagai akibat dari kegagalan sistem bahan bakar, perakitan
Untuk mesin yang dikontrol secara elektronik, konstruksi, dan pengaturan dari:	
20	Katup kontrol
21	Pompa tekanan tinggi
22	Penggerak untuk pompa tekanan tinggi
23	Manual operasi dan perawatan ⁴
24	FMEA (untuk sistem kontrol mesin) ⁵
25	Spesifikasi produksi untuk pengecoran dan pengelasan (urutan)
26	Bukti sistem kontrol kualitas untuk desain mesin dan dalam pemeliharaan
27	Persyaratan kualitas untuk produksi mesin
28	Sertifikasi persetujuan tipe untuk pengujian lingkungan, komponen-komponen kontrol ⁶

Table 2.1 Dokumen yang harus diserahkan untuk Referensi (lanjutan)

No	Deskripsi
1	Jika bagian tak terpisahkan dari mesin dan tidak terintegrasi di dudukan.
2	Hanya untuk satu silinder atau konfigurasi satu silinder.
3	Termasuk identifikasi (misalnya nomor gambar) dari komponen-komponen.
4	Manual operasi dan perawatan harus berisi persyaratan pemeliharaan (perawatan dan perbaikan) termasuk rincian alat khusus dan alat pengukur yang harus digunakan dengan pemasangan/pengaturannya bersama dengan persyaratan uji apa pun saat penyelesaian pemeliharaan.
5	Ketika mesin bergantung pada kontrol hidrolik, pneumatik atau elektronik dari injeksi bahan bakar dan/atau katup, mode kegagalan dan analisis pengaruh (FMEA) harus diserahkan untuk menunjukkan bahwa kegagalan sistem kontrol tidak akan menghasilkan operasi mesin terdegradasi melampaui kriteria kinerja yang dapat diterima untuk mesin. Laporan FMEA yang diperlukan tidak secara eksplisit disetujui oleh BKI.
6	Pengujian harus menunjukkan kemampuan kontrol, perlindungan dan peralatan keselamatan berfungsi sebagaimana dimaksud dalam kondisi pengujian yang ditentukan sesuai Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec.9 .

Table 2.2 Dokumen yang harus diserahkan untuk Persetujuan

No	Deskripsi
1	Dudukan dan bak mesin dengan desain pengelasan, dengan detail pengelasan dan Instruksi pengelasan
2	Dudukan bantalan Dorong dari desain dengan pengelasan, dengan rincian pengelasan dan instruksi pengelasan ¹⁾
3	Gambar-gambar pengelasan dudukan/penampungan minyak ¹⁾
4	<i>Frame/framebox/gearbox</i> dari desain dengan pengelasan, dengan detail dan instruksi pengelasan ^{1) 2)}
5	Kerangka mesin, gambar-gambar pengelasan ^{1) 2)}
6	Poros engkol, detail, setiap no. silinder
7	Poros engkol, rakitan, setiap no. silinder
8	Perhitungan poros engkol (untuk setiap konfigurasi silinder) sesuai dengan Guidance for Calculation of Internal Combustion Engine Crankshaft (Pt.1, Vol.P)
9	Bantalan dorong atau poros antara (jika bagian tak terpisahkan dari mesin)
10	Baut kopling poros
11	Spesifikasi bahan dari bagian utama dengan informasi tentang pengujian bahan tak merusak dan uji tekanan ³⁾
Tata letak skematis atau dokumen lain yang setara pada mesin dari:	
12	Sistem udara start
13	Sistem bahan bakar
14	Sistem minyak pelumas
15	Sistem air pendingin
16	Sistem hidrolik
17	Sistem hidrolik (untuk pengangkat katup)
18	Kontrol mesin dan sistem keselamatan
19	Pelindung pipa bahan bakar bertekanan tinggi, rakitan ⁴⁾
20	Konstruksi akumulator (<i>common rail</i>) (untuk mesin yang dikontrol secara elektronik)

Table 2.2 Dokumen yang harus diserahkan untuk Persetujuan (lanjutan)

No	Deskripsi
21	Konstruksi akumulator umum (<i>common rail</i>) (untuk mesin yang dikontrol secara elektronik)
22	Pengaturan dan perincian katup pelepas bak mesin (lihat Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use, (Pt.1, Vol.W) Sec. 3.I)
23	Hasil perhitungan untuk katup peredam ledakan bak mesin (lihat Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use, (Pt.1, Vol.W) Sec. 3.I)
24	Rincian program uji tipe dan laporan uji tipe ⁷⁾
25	Bagian-bagian bertekanan tinggi untuk sistem injeksi bahan bakar ⁶⁾
26	Deteksi oil mist dan/atau pengaturan alarm alternatif (lihat Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use, (Pt.1, Vol.W) Sec. 3.J)
27	Rincian sambungan-sambungan mekanis sistem perpipaan (lihat Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use, (Pt.1, Vol.W) Sec. 3.Q)
28	Dokumentasi yang memverifikasi kepatuhan terhadap batas kemiringan (lihat Section 1)
29	Dokumen yang diperlukan dalam Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec.10.

¹⁾ Untuk persetujuan bahan dan spesifikasi prosedur las. Spesifikasi prosedur las harus memasukkan rincian pra dan pasca perlakuan panas pengelasan, bahan habis pakai (*weld consumable*) dan kondisi penyetelan.

²⁾ Untuk setiap silinder yang mempunyai dimensi dan detail berbeda.

³⁾ Untuk perbandingan dengan persyaratan Klasifikasi untuk bahan, NDT dan pengujian tekanan sebagaimana berlaku.

⁴⁾ Semua mesin.

⁵⁾ Hanya untuk mesin dengan diameter silinder 200 mm atau lebih atau volume bak mesin 0,6 m³ atau lebih.

⁶⁾ Dokumentasi berisi spesifikasi tekanan, dimensi pipa dan bahan.

⁷⁾ Laporan pengujian tipe dapat diajukan segera setelah kesimpulan uji tipe.

C. Perhitungan Poros Engkol

1. Poros Engkol

1.1 Poros engkol harus dirancang untuk menahan tekanan yang terjadi saat mesin bekerja pada nilai daya dan dokumentasi harus diserahkan untuk disetujui. Perhitungan harus didasarkan pada [Guidance for Calculation of Internal Combustion Engine Crankshaft \(Pt.1, Vol.P\) Sec.2](#). Metode lain perhitungan dapat digunakan asalkan metode tersebut tidak menghasilkan dimensi poros engkol yang lebih kecil dari yang diperoleh dengan menerapkan peraturan tersebut.

1.2 Di luar ujung bantalan, poros engkol dirancang sesuai dengan peraturan yang ditetapkan dalam [1.1](#) dapat disesuaikan dengan diameter poros (d) yang bersentuhan oleh generous fillet (r) ($r \geq 0,06 \cdot d$) atau sebuah tirus.

1.3 Metode desain untuk aplikasi poros engkol dengan konstruksi khusus dan dengan poros engkol dari mesin jenis khusus harus disetujui BKI.

2. Sambungan dengan metode penyusutan poros engkol built-up

Sambungan dengan metode penyusutan poros engkol built-up harus dirancang sesuai dengan [Guidance for Calculation of Internal Combustion Engine Crankshaft \(Pt.1, Vol.P\)](#).

3. Sambungan ulir

3.1 Poros engkol terpisah

Hanya *fitted bolts* yang dapat digunakan untuk perakitan poros engkol terpisah.

3.2 Power-end flange couplings

Baut yang digunakan untuk menghubungkan *Power-end flange couplings* biasanya dirancang sebagai *fitted bolts* sesuai dengan Bab 4.D.4.

Jika penggunaan *fitted bolt* tidak layak, BKI dapat menyetujui penggunaan transmisi hambatan gesek yang setara. Dalam hal ini, perhitungan yang sesuai harus diajukan untuk disetujui.

4. Getaran torsional, kecepatan kritis

Bab 16 harus diberlakukan.

D. Material

1. Material yang disetujui

1.1 Karakteristik mekanik material yang digunakan untuk komponen mesin diesel harus sesuai dengan *Rules for Materials (Pt. 1, Vol. V)*. Material yang disetujui untuk berbagai komponen ditunjukkan pada *Tabel 2.3* bersama-sama dengan karakteristik minimumnya dan sertifikat materialnya yang dibutuhkan.

1.2 Material dengan sifat yang memiliki deviasi dari yang ditetapkan hanya dapat digunakan dengan persetujuan khusus BKI. BKI memerlukan bukti kesesuaian material-material tersebut.

2. Sertifikasi Komponen Mesin

2.1 Umum

Pabrik pembuat mesin harus memiliki sistem kendali mutu yang sesuai untuk jenis mesin yang sebenarnya yang akan disertifikasi oleh BKI. Sistem kendali mutu juga berlaku untuk setiap sub-suplier. BKI berhak untuk meninjau sistem atau bagian-bagiannya. Material dan komponen harus diproduksi sesuai dengan semua instruksi produksi dan mutu yang berlaku yang ditentukan oleh pabrik pembuat. BKI mensyaratkan bahwa bagian-bagian tertentu diverifikasi dan didokumentasikan dengan menggunakan Sertifikat BKI (BC), Sertifikat Kerja (W) atau Laporan Uji (TR).

2.2 Sertifikat BKI (BC)

Sertifikat ini adalah dokumen yang dikeluarkan oleh BKI yang menyatakan:

- kesesuaian dengan persyaratan Peraturan Teknik BKI.
- bahwa pengujian dan inspeksi telah dilakukan pada produk jadi yang bersertifikat itu sendiri, atau pada sampel yang diambil dari tahapan awal proses produksi komponen, jika dapat dilakukan.
- bahwa inspeksi dan pengujian dihadiri oleh Surveyor atau sesuai dengan perjanjian khusus, yaitu *Alternative Certification Scheme (ACS)*.

2.3 Sertifikat Kerja (W)

Sertifikat ini adalah dokumen yang ditandatangani oleh pabrik pembuat yang menyatakan:

- kesesuaian dengan persyaratan.
- bahwa pengujian dan inspeksi telah dilakukan pada produk jadi yang bersertifikat itu sendiri, atau pada sampel yang diambil dari tahapan awal proses produksi komponen, jika dapat dilakukan.

- bahwa pengujian tersebut disaksikan dan ditandatangani oleh perwakilan yang berkualifikasi dari departemen terkait pabrik pembuat.

Sertifikat Kerja dapat dianggap setara dengan Sertifikat Klasifikasi dan disahkan oleh BKI jika:

- Pengujian ini disaksikan oleh Surveyor BKI; atau
- Perjanjian ACS berlaku antara BKI dan pabrik pembuat atau suplier material; atau
- Sertifikat Kerja dilengkapi dengan pengujian yang dilakukan pihak ketiga yang terakreditasi yang diterima oleh BKI dan terpisah dari pabrik pembuat dan/atau suplier material.

2.4 Laporan Uji (TR)

Sertifikat ini adalah dokumen yang ditandatangani oleh pabrik pembuat yang menyatakan:

- kesesuaian dengan persyaratan
- bahwa pengujian dan inspeksi telah dilakukan pada sampel dari seri produksi saat itu.

2.5 Dokumen-dokumen di atas digunakan untuk dokumentasi produk serta untuk dokumentasi inspeksi tunggal seperti deteksi retak, pengecekan dimensi, dll. Jika disepakati oleh BKI, dokumentasi pengujian dan inspeksi tunggal juga dapat diatur dengan mengisi hasil pada sebuah lembar kontrol yang mengikuti komponen selama produksi.

2.6 Surveyor akan meninjau TR dan W untuk pemenuhan spesifikasi yang telah disepakati atau disetujui. BC berarti bahwa Surveyor juga menyaksikan pengujian, kelompok atau individu, kecuali ACS memberikan pengaturan lain.

2.7 Pabrik pembuat tidak dibebaskan dari tanggung jawab untuk pengujian yang relevan dan inspeksi bagian-bagian yang mana dokumentasi tidak secara eksplisit diminta oleh BKI.

Proses dan perlengkapan manufaktur harus diatur sedemikian rupa sehingga semua material dan komponen dapat diproduksi secara konsisten sesuai dengan standar yang dipersyaratkan. Hal ini termasuk jalur produksi dan perakitan, unit permesinan, alat dan perangkat khusus, perlengkapan perakitan dan pengujian demikian juga semua alat angkat dan alat transportasi.

3. Bagian yang harus didokumentasikan

3.1 Cakupan bagian yang harus didokumentasikan tergantung pada jenis mesin, ukuran mesin dan kekritisan bagiannya.

3.2 Simbol-simbol yang digunakan tercantum dalam [Tabel 2.3](#). Ringkasan dokumentasi yang diperlukan untuk komponen mesin tercantum dalam [Tabel 2.4](#).

Tabel 2.3 Simbol yang digunakan pada Tabel 2.4

Simbol	Deskripsi
C	komposisi kimia
CD	deteksi retak dengan MPI atau DP
CH	mesin kepala silang
D	diameter silinder (mm)
GJL	besi cor kelabu
GJS	besi cor grafit spheroidal
GS	baja cor
M	sifat mekanis
BC	Sertifikat BKI
TR	laporan Uji
UT	pengujian ultrasonik
W	sertifikat kerja
X	pemeriksaan visual dari permukaan yang dapat diakses oleh Surveyor

3.3 Untuk komponen dan material yang tidak ditentukan dalam Tabel 2.4, pertimbangan akan diberikan oleh BKI setelah rincian lengkap diajukan dan ditinjau.

Tabel 2.4 Ringkasan dokumentasi yang diperlukan untuk komponen mesin

Bagian 4) 5) 6) 7) 8)	Sifat Material ¹⁾	NDE ²⁾	Pengujian hidrolik ³⁾	Inspeksi dimensi, termasuk kondisi permukaan	Inspeksi Visual	Berlaku untuk mesin	Sertifikat komponen
Bedplate dengan pengelasan	W(C+M)	W(UT+CD)			Penyetelan + pasca-pengelasan	Semua	BC
<i>Bearing transverse girders GS</i>	W(C+M)	W(UT+CD)			X	Semua	BC
<i>Welded frame box</i>	W(C+M)	W(UT+CD)			Penyetelan + pasca-pengelasan	All	BC
<i>Cylinder block GJL</i>			W ¹⁰⁾			>400 kW/cyl	
<i>Cylinder block GJS</i>			W ¹⁰⁾			>400 kW/cyl	
<i>Welded cylinder frames</i>	W(C+M)	W(UT+CD)			Penyetelan + pasca-pengelasan	CH	BC
<i>Engine block GJL</i>			W ¹⁰⁾			>400 kW/cyl	
<i>Engine block GJS</i>	W(M)		W ¹⁰⁾			>400 kW/cyl	
<i>Cylinder liner</i>	W(C+M)		W ¹⁰⁾			D>300mm	
<i>Cylinder head GJL</i>			W			D>300mm	
<i>Cylinder head GJS</i>			W			D>300mm	
<i>Cylinder head GS</i>	W(C+M)	W(UT+CD)	W		X	D>300mm	BC
<i>Forged cylinder head</i>	W(C+M)	W(UT+CD)	W		X	D>300mm	BC
<i>Piston crown GS</i>	W(C+M)	W(UT+CD)			X	D>400mm	BC
<i>Forged piston crown</i>	W(C+M)	W(UT+CD)			X	D>400mm	BC
<i>Crankshaft: dibuat utuh</i>	BC (C+M)	W(UT+CD)		W	Acak, fillets dan oil bores	Semua	BC
<i>Semi-built Crankshaft (Crank throw, forged main journal and journals with flange)</i>	BC (C+M)	W(UT+CD)			Acak, fillets dan shrink fittings fillet	Semua	BC
<i>Exhaust gas valve cage</i>			W			CH	
<i>Piston rod</i>	BC (C+M)	W(UT+CD)			Acak	D>400mm CH	BC
<i>Cross head</i>	BC (C+M)	W(UT+CD)			Acak	CH	BC
<i>Connecting rod with cap</i>	BC(C+M)	W(UT+CD)		W	Acak, dari fillet semua permukaan, khususnya shot peened	All	BC

Tabel 2.4 Ringkasan dokumentasi yang diperlukan untuk komponen mesin (*lanjutan*)

Bagian ^{4) 5) 6) 7) 8)}	Sifat Material ¹⁾	NDE ²⁾	Pengujian hidrolik ³⁾	Dimensi inspeksi, termasuk kondisi permukaan	Inspeksi Visual	Berlaku untuk mesin	Sertifikat komponen
<i>Coupling bolts for crankshaft</i>	BC(C+M)	W(UT+CD)		W	Acak, dari <i>interference fit</i>	All	BC
Baut dan kancing untuk bantalan utama	W(C+M)	W(UT+CD)				D>300mm	BC
Baut dan kancing untuk kepala silinder	W(C+M)	W(UT+CD)				D>300mm	BC
Baut dan kancing untuk batang penghubung	W(C+M)	W(UT+CD)		TR dari pembuatan ulir		D>300mm	BC
<i>Tie rod</i>	W(C+M)	W(UT+CD)		TR dari pembuatan ulir	Acak	CH	BC
Pompa bahan bakar injeksi tekanan tinggi	W(C+M)		W			D>300mm	
	W(C+M)		TR			D≤300mm	
Katup-katup injeksi bahan bakar bertekanan tinggi (hanya untuk yang tidak disetel otomatis)			W			D>300mm	
			TR			D≤300mm	
Pipa-pipa injeksi bahan bakar bertekanan tinggi termasuk rel bahan bakar umum	W(C+M)		W (untuk yang tidak disetel otomatis)			D>300mm	
	W(C+M)		TR (untuk yang tidak disetel otomatis)			D≤300mm	
Sistem minyak servo umum tekanan tinggi	W(C+M)		W			D>300mm	
			TR			D≤300mm	
Pendingin, kedua sisi ⁹⁾	W(C+M)		W			D>300mm	
Akumulator	W(C+M)		W			Semua mesin dengan akumulator dengan kapasitas >0,1 l	
Perpipaan, pompa, aktuator, dll. Untuk penggerak hidrolik katup, jika ada	W(C+M)		W			>800 kW/cyl	

Tabel 2.4 Ringkasan dokumentasi yang diperlukan untuk komponen mesin (*lanjutan*)

Bagian ⁴⁾ 5) 6) 7) 8)	Sifat Material ¹⁾	NDE ²⁾	Pengujian hidrolik ³⁾	Dimensi inspeksi, termasuk kondisi permukaan	Inspeksi Visual	Berlaku untuk mesin	Sertifikat komponen
Pompa penggerak mesin (minyak, air, bahan bakar, bilga) selain badan dan pompa pompa injeksi bahan bakar bertekanan tinggi untuk penggerak hidrolik katup			W			>800 kW/cyl	
<i>Bearings for main, crosshead, and crankpin</i>	TR(C)	TR (UT untuk kontak penuh antara bahan dasar dan bantalan metal)		W		>800 kW/cyl	

¹⁾ Sifat material termasuk komposisi kimia dan sifat mekanik, dan juga perlakuan terhadap permukaan seperti pengerasan permukaan (*hardness*, kedalaman dan cakupan), *peening* dan *rolling* (cakupan dan gaya yang diterapkan).

²⁾ Sarana pemeriksaan tak merusak mis. pengujian ultrasonik, deteksi retak dengan Magnetic Practicle Inspection (MPI) atau Dye Penetrant (DP).

³⁾ Pengujian hidrolik diterapkan pada sisi air/minyak dari komponen. Item harus diuji dengan tekanan hidrolik pada tekanan yang sama dengan 1,5 kali tekanan kerja maksimum. Bagian tekanan tinggi dari sistem injeksi bahan bakar harus diuji oleh tekanan hidrolik pada tekanan yang sama dengan 1,5 tekanan kerja maksimum atau tekanan kerja maksimum ditambah 300 bar, yang mana yang lebih kecil. Jika desain atau fitur pengujian mungkin memerlukan modifikasi persyaratan pengujian ini, pertimbangan khusus dapat diberikan.

⁴⁾ Persyaratan sertifikasi material untuk pompa dan komponen perpipaan bergantung pada tekanan dan suhu pengoperasian. Persyaratan yang diberikan dalam Tabel ini berlaku kecuali jika persyaratan alternatif secara eksplisit diberikan di tempat lain dalam peraturan ini.

⁵⁾ Untuk turbocharger, lihat Bab 3.III.C.

⁶⁾ Crankcase explosion relief valve harus uji tipe (*type tested*) sesuai dengan F.4.1

⁷⁾ Sistem deteksi kabut minyak harus diuji jenisnya sesuai dengan F.4.3

⁸⁾ Untuk *speed governor* dan perangkat pelindung kecepatan berlebih, lihat *Rules for Automation (Pt.1, Vol.VII)*

⁹⁾ Pendingin udara pengisian hanya perlu diuji pada sisi air.

¹⁰⁾ Pengujian hidrolik juga diperlukan untuk bagian-bagian yang diisi dengan air pendingin dan memiliki fungsi menahan air yang bersentuhan dengan silinder atau *cylinder liner*.

NDE: Pemeriksaan Tak Merusak (*Non-Destructive Examination*)

3.4 Sebagai tambahan, pengujian material harus dilakukan pada pipa dan bagian dari *starting air system* dan sistem tekanan lain yang merupakan bagian dari mesin, lihat Bab 11.

3.5 Material untuk penukar kalor pendingin udara (*charge air coolers*) harus dilengkapi dengan laporan uji pabrik.

3.6 *Welded seams* dari komponen penting dari mesin mungkin diperlukan untuk dikenakan metode persetujuan pengujian.

3.7 Apabila ada alasan yang meragukan terhadap kelaikan komponen mesin apa pun, pengujian tak merusak dengan metode yang disetujui mungkin diperlukan sebagai tambahan untuk pengujian yang disebutkan di atas.

3.8 Poros engkol yang dilas bersama-sama dari bagian yang ditempa atau dicor harus mendapatkan persetujuan khusus dari BKI. Baik pabrik pembuat maupun proses pengelasan harus disetujui. Material dan hasil pengelasan harus diuji.

E. Pengujian dan Percobaan

1. Persetujuan dari bengkel pabrik pembuat mesin

1.1 Setiap bengkel di mana mesin dirakit dan diuji harus disetujui oleh BKI ketika:

- Bengkel tersebut baru dibangun,
- Lini produksi baru dimulai,
- Tipe mesin baru diperkenalkan, atau
- Proses produksi baru diimplementasikan.

1.2 Persyaratan untuk persetujuan dari bengkel pabrik pembuat mesin:

- Bengkel pabrik pembuat harus telah diaudit oleh BKI.
- Bengkel pabrik pembuat harus memiliki fasilitas produksi dan pengujian yang cocok, staf yang kompeten dan sistem manajemen mutu, yang menjamin keseragaman kualitas produksi produk sesuai dengan spesifikasi.

Catatan:

Perangkat pabrik pembuat harus dilengkapi sedemikian rupa sehingga semua material dan komponen dapat diproses dengan mesin dan diproduksi dengan standar yang ditetapkan. Fasilitas Produksi dan unit perakitan, termasuk unit mesin, proses pengelasan, alat khusus, perangkat khusus, perakitan dan pengujian rig serta perangkat transportasi dan pengangkatan harus sesuai untuk jenis dan ukuran mesin, komponennya, dan tujuan yang dimaksudkan. Material dan komponen harus diproduksi sesuai dengan semua instruksi produksi dan kualitas yang ditentukan oleh pabrik pembuat dan diakui oleh BKI.

Fasilitas test bed yang cocok untuk uji beban harus disediakan, jika diperlukan juga untuk pengujian respon dinamik. Semua cairan yang digunakan untuk tujuan pengujian seperti bahan bakar minyak, minyak pelumas dan air pendingin harus sesuai untuk tujuan yang dimaksud, misalnya cairan tersebut harus bersih, dipanaskan jika perlu dan tidak membahayakan bagian-bagian mesin.

Personil terlatih harus tersedia untuk produksi komponen, perakitan, pengujian dan pembongkaran bagian untuk pengiriman, jika berlaku.

Penyimpanan, perakitan kembali dan proses pengujian untuk mesin diesel di galangan kapal harus sedemikian rupa sehingga risiko kerusakan mesin atau bagian-bagiannya dapat diminimalkan.

Bengkel pabrik pembuat mesin wajib memiliki Sistem Manajemen Mutu yang diakui oleh BKI.

2. Inspeksi Pabrik Pembuat

2.1 Secara umum, pembuatan mesin dengan Klasifikasi BKI harus mendapat pengawasan oleh BKI. Ruang lingkup pengawasan harus disepakati antara pabrik pembuat dan BKI.

2.2 Bila pabrik pembuat mesin telah mendapat persetujuan dari BKI sebagai "Suppliers of MASS Produced Engines", mesin ini harus diuji sesuai dengan [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marines Use \(Pt.1, Vol. W\) Section 5](#).

3. Uji tekan

Komponen-komponen individu mesin pembakaran dalam merupakan subjek uji tekan pada tekanan yang ditentukan dalam [Tabel 2.5](#). Sertifikat BKI harus dikeluarkan untuk hasil uji tekan.

Tabel 2.5 uji Tekan¹⁾

Komponen		Uji Tekan, p_p [bar] ²⁾
<i>Cylinder cover</i> , ruang air pendingin ³⁾		7
<i>Cylinder liner</i> , pada seluruh panjang ruang air pendingin ⁵⁾		7
<i>Cylinder jacket</i> , ruang air pendingin		4, setidaknya $1,5 \cdot p_{e,perm}$
<i>Exhaust Valve</i> , ruang air pendingin		4, setidaknya $1,5 \cdot p_{e,perm}$
<i>Piston</i> , ruang air pendingin (Setelah perakitan dengan batang <i>piston</i> , jika berlaku)		7
Sistem injeksi bahan bakar	Bodi pompa, sisi tekanan	$1,5 \cdot p_{e,perm}$ atau $p_{e,perm} + 300$ (manfaat yang lebih kecil)
	Katup-katup	$1,5 \cdot p_{e,perm}$ atau $p_{e,perm} + 300$ (manfaat yang lebih kecil)
	Pipa-pipa	$1,5 \cdot p_{e,perm}$ atau $p_{e,perm} + 300$ (manfaat yang lebih kecil)
Sistem hidrolik	Perpipaan tekanan tinggi untuk penggerak hidrolik katup gas buang	$1,5 \cdot p_{e,perm}$
Turbocharger gas buang, ruang air pendingin		4, setidaknya $1,5 \cdot p_{e,perm}$
Saluran gas buang, ruang air pendingin		4, setidaknya $1,5 \cdot p_{e,perm}$
Pendingin, kedua sisi ⁴⁾		4, setidaknya $1,5 \cdot p_{e,perm}$
Motor Pompa (Pompa minyak, air, bahan bakar dan bilga)		4, setidaknya $1,5 \cdot p_{e,perm}$
Sistem Starting dan kontrol udara		$1,5 \cdot p_{e,perm}$ sebelum dipasang

1) Secara umum, item-item harus diuji dengan tekanan hidrolik. Bila desain atau fitur pengujian mungkin memerlukan modifikasi persyaratan uji ini, pengaturan khusus dapat disetujui.

2) $p_{e,perm}$ [bar] = tekanan kerja maksimum yang diijinkan pada bagian yang diuji.

3) Untuk *cylinder cover* baja tempa metode uji selain pengujian tekanan dapat diterima, misalnya pemeriksaan tanpa merusak yang cocok dan kontrol dimensi harus direkam.

4) penukar kalor pendingin udara (*charge air coolers*) hanya perlu diuji disisi air.

5) Untuk *centrifugal cast cylinder liners*, uji tekan dapat diganti dengan uji retak.

4. Pengujian Persetujuan Tipe (TAT)

Mesin untuk instalasi di kapal harus diuji tipe oleh BKI. Untuk tujuan ini, persetujuan uji tipe sesuai dengan [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marines Use \(Pt.1, Vol.W\) Sec.3.H](#) harus dilakukan.

5. Uji Coba Kerja (Uji Penerimaan Pabrik/FAT)

5.1 Tujuan

Tujuan uji coba ini adalah untuk memverifikasi dasar desain seperti daya, keselamatan terhadap kebakaran, kepatuhan terhadap batas-batas yang disetujui (misalnya tekanan maksimum), dan fungsionalitas dan untuk menetapkan nilai referensi atau garis dasar untuk referensi kemudian hari dalam tahap operasional.

5.2 Rekaman

5.2.1 Kondisi pengujian lingkungan berikut ini harus direkam:

- Suhu udara sekitar
- Tekanan udara sekitar
- Kelembaban atmosfer

5.2.2 Untuk setiap titik beban yang diperlukan, parameter berikut biasanya direkam:

- Daya dan kecepatan
- Indeks bahan bakar (atau pembacaan yang setara)
- Tekanan pembakaran maksimum (hanya ketika kepala silinder terpasang yang didesain untuk pengukuran tersebut).
- Suhu gas buang sebelum turbin dan dari masing-masing silinder
- Suhu udara penukar kalor (*charge air temperature*)
- Tekanan udara penukar kalor (*charge air pressure*)
- Kecepatan Turbocharger

5.2.3 Rekaman kalibrasi untuk instrumentasi harus disampaikan atas permintaan Surveyor yang hadir.

5.2.4 Untuk semua tahap di mana mesin harus diuji, nilai operasional terkait harus diukur dan dicatat oleh pabrik pembuat mesin. Semua hasil harus dikompilasi dalam protokol penerimaan yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat mesin. Hal ini juga termasuk defleksi poros engkol jika dianggap perlu oleh perancang mesin.

5.2.5 Dalam setiap kasus, semua pengukuran yang dilakukan pada berbagai titik beban harus dilakukan pada kondisi siap operasi. Namun untuk semua poin beban, ketentuan harus dibuat mengenai waktu yang dibutuhkan oleh Surveyor untuk melakukan inspeksi visual. Pembacaan untuk MCR, yaitu 100% daya (rating dayakontinyu maksimum pada rpm yang sesuai) harus diambil setidaknya dua kali dengan selang waktu normal 30 menit.

5.3 Beban uji

5.3.1 Beban uji untuk berbagai aplikasi mesin diberikan di bawah ini. Selain itu, ruang lingkup uji coba dapat diperluas tergantung pada penggunaan mesin, pengalaman operasi, atau alasan relevan lainnya.

Catatan:

Alternatif detail pengujian dapat disepakati antara pabrik pembuat mesin dan BKI ketika keseluruhan lingkup pengujian dianggap setara.

5.3.2 Mesin propulsi sebagai penggerak propeler atau impeller.

1) daya 100% (MCR) pada kecepatan yang sesuai n_0 :

sekurang-kurangnya 60 menit.

2) daya 110% pada kecepatan mesin $1,032 \cdot n_0$:

Rekaman harus diambil setelah 15 menit atau setelah kondisi *steady* tercapai, mana yang lebih singkat.

Catatan:

Hanya diperlukan sekali untuk setiap konfigurasi mesin/turbocharger yang berbeda.

3) Beban berlebih sesaat yang disetujui (jika ada):

durasi pengujian yang disepakati dengan pabrik pembuat.

- 4) 90% (atau daya kontinyu jelajah normal), 75%, 50% dan 25% daya sesuai dengan kurva propeler nominal, urutan ditentukan oleh pabrik pembuat mesin.
- 5) Manuver mundur (jika ada).

Catatan:

Setelah pengujian di atas test-bed, sistem suplai bahan bakar harus disesuaikan sehingga daya yang berlebih tidak dapat diberikan saat beroperasi, kecuali daya beban berlebih sesaat disetujui oleh BKI. Dalam hal ini, sistem suplai bahan bakar harus dibatasi terhadap daya tersebut.

5.3.3 Mesin penggerak generator untuk propulsii elektrik.

- 1) daya 100% (MCR) pada kecepatan yang sesuai n_0 : sekurang-kurangnya 60 menit.
- 2) daya 110% pada kecepatan mesin n_0 : 15 menit. - setelah mencapai kondisi tunak.
- 3) Uji Governor untuk pemenuhan F.1.1.1 dan F.1.1.2 harus dilakukan.
- 4) 75%, 50% dan 25% daya dan *idle*, urutan ditentukan oleh pabrik pembuat mesin.

Catatan:

Setelah pengujian di atas test-bed, sistem suplai bahan bakar harus disesuaikan sehingga daya penuh ditambah margin 10% untuk pengaturan transien dapat diberikan saat beroperasi setelah dipasang di kapal. Kemampuan beban berlebih transien diperlukan sehingga karakteristik pengaturan transient yang diperlukan juga tercapai pada beban mesin 100%, dan juga agar sistem proteksi yang digunakan dalam sistem distribusi listrik dapat diaktifkan sebelum mesin berhenti.

5.3.4 Mesin penggerak generator untuk tujuan tambahan.

Pengujian yang harus dilakukan seperti pada 5.3.2. diatas

5.3.5 Mesin propulsii juga sebagai penggerak generator power take off (PTO).

- 1) daya 100% (MCR) pada kecepatan yang sesuai n_0 : sekurang-kurangnya 60 menit.
- 2) 110% daya pada kecepatan mesin n_0 : 15 menit. - setelah mencapai kondisi steady.
- 3) Beban berlebih sesaat yang disetujui (jika ada): durasi pengujian yang disepakati dengan pabrik pembuat
- 4) 90% (atau daya kontinyu jelajah normal), 75%, 50% dan 25% daya sesuai dengan kurva propeler nominal atau pada kecepatan n konstan, urutan ditentukan oleh pabrik pembuat mesin.

Catatan:

Setelah pengujian di atas test-bed, sistem suplai bahan bakar harus disesuaikan sehingga daya penuh ditambah margin untuk pengaturan transien dapat diberikan saat beroperasi setelah dipasang di kapal. Kemampuan beban berlebih transien diperlukan sehingga perlindungan listrik dari komponen sistem downstream dapat diaktifkan sebelum mesin berhenti. Margin ini dapat bernilai 10% dari daya mesin tetapi sekurang-kurangnya 10% dari daya PTO.

5.3.6 Mesin penggerak bantu.

- 1) daya 100% (MCR) pada kecepatan yang sesuai n_0 : sekurang-kurangnya 30 menit.
- 2) 110% daya pada kecepatan mesin n_0 : 15 menit. - setelah mencapai kondisi steady.
- 3) Beban berlebih sesaat yang disetujui (jika ada): durasi pengujian yang disepakati dengan pabrik pembuatan.
- 4) Untuk mesin kecepatan variabel, 75%, 50% dan 25% daya sesuai dengan kurva konsumsi daya nominal, urutan ditentukan oleh pabrik pembuat mesin.

Catatan:

Setelah pengujian di atas test-bed, sistem suplai bahan bakar biasanya disesuaikan sehingga daya yang berlebih tidak dieruskan saat beroperasi, kecuali jika beban berlebih sesaat disetujui. Dalam hal ini, sistem suplai bahan bakar harus dibatasi untuk daya tersebut.

5.4 Kesesuaian turbocharger dengan mesin

5.4.1 Diagram kompresor

Turbocharger memiliki karakteristik kompresor yang memungkinkan mesin, yang dimaksudkan, untuk beroperasi tanpa lonjakan selama semua kondisi operasi dan juga setelah periode yang panjang dalam operasi.

Untuk kondisi operasi yang abnormal, tetapi diperbolehkan, seperti *misfiring* dan penurunan beban secara tiba-tiba, tidak ada lonjakan berkelanjutan yang dapat terjadi.

Pada bab ini, lonjakan dan lonjakan berkelanjutan didefinisikan sebagai berikut:

- Lonjakan berarti fenomena, yang menghasilkan getaran nada tinggi dari tingkat yang dapat didengar atau suara seperti ledakan dari area pembilasan mesin.
- Lonjakan yang berkelanjutan berarti lonjakan terjadi berulang kali dan tidak hanya sekali.

5.4.2 Verifikasi margin lonjakan

Turbocharger kategori C yang digunakan pada mesin propulsi harus diperiksa margin lonjakannya selama pengujian mesin dibengkel seperti yang ditentukan di bawah ini. Pengujian-pengujian ini dapat dihilangkan jika berhasil diuji sebelumnya pada konfigurasi identik dari mesin dan turbocharger (termasuk cincin nozzle yang sama).

.1 Untuk mesin 4 (empat) langkah:

Berikut ini harus dilakukan tanpa indikasi lonjakan:

- Dengan daya dan kecepatan kontinyu maksimum (100%), kecepatan harus dikurangi dengan torsi konstan (indeks bahan bakar) hingga daya 90%.
- Dengan daya 50% pada kecepatan 80% (karakteristik propeler untuk langkah tetap), kecepatan harus dikurangi menjadi 72% sambil mempertahankan torsi konstan (indeks bahan bakar).

.2 Untuk mesin 2 (dua) langkah:

Batas lonjakan harus ditunjukkan oleh setidaknya salah satu metode berikut:

- 1) Karakteristik kerja mesin yang ditetapkan pada pengujian mesin dibengkel harus diplot ke dalam bagan kompresor turbocharger (dibuat di rig pengujian). Harus ada setidaknya 10% margin lonjakan

dalam rentang beban penuh, yaitu aliran kerja harus 10% di atas aliran (massa) teoritis pada batas lonjakan (tanpa fluktuasi tekanan).

- 2) Penghentian suplai bahan bakar tiba-tiba terhadap setidaknya satu silinder tidak akan mengakibatkan lonjakan terus menerus dan turbocharger harus distabilkan pada beban baru dalam waktu 20 detik. Untuk aplikasi dengan lebih dari satu turbocharger, bahan bakar harus hentikan (suplai bahan bakar) ke silinder terdekat dari hulu ke setiap turbocharger.

Pengujian ini harus dilakukan pada dua beban mesin yang berbeda:

- Daya maksimum yang diizinkan untuk satu silinder *misfiring*.
- Beban mesin sesuai dengan tekanan udara pengisian sekitar 0,6 bar (tetapi tanpa blower bantu yang berjalan).

- 3) Tidak ada lonjakan yang berkelanjutan dan turbocharger harus distabilkan pada beban baru dalam 20 detik ketika daya tiba-tiba berkurang dari 100% hingga 50% dari daya kontinyu maksimum.

5.5 Uji integrasi

Untuk mesin diesel yang dikontrol secara elektronik, uji integrasi harus dilakukan untuk menunjukkan bahwa respon dari sistem mekanik, hidrolik dan elektronik lengkap seperti yang diperkirakan untuk semua mode operasional dan pengujian yang dianggap sebagai sebuah sistem harus dilakukan di bengkel. Jika pengujian seperti itu secara teknis tidak layak di bengkel, bagaimanapun, pengujian ini dapat dilakukan selama uji coba dilaut. Ruang lingkup pengujian ini harus disetujui oleh BKI untuk kasus-kasus tertentu berdasarkan FMEA yang diperlukan dalam [B.5](#) di atas.

5.6 Inspeksi komponen

Pemeriksaan acak komponen yang harus disajikan untuk pemeriksaan setelah percobaan bengkel diserahkan kepada kebijaksanaan oleh BKI.

6. Uji coba di kapal

6.1 Tujuan

Tujuan pengujian dikapal adalah untuk memverifikasi kompatibilitas dengan transmisi daya dan mesin yang digerakkan dalam sistem, sistem kontrol dan sistem bantu yang diperlukan untuk mesin dan integrasi sistem kendali mesin/kapal, serta item lain yang belum ditangani di FAT (*Factory Acceptance Testing*). Lihat juga [Guidance for Ship Trials of Motor Vessels \(Pt.1, Vol.B\)](#)

6.2 Kapasitas *Starting*

starting manoeuvres harus dilakukan untuk memverifikasi bahwa kapasitas media *starting* memenuhi jumlah upaya *start* yang diperlukan.

6.3 Monitoring dan sistem alarm

Sistem monitoring dan alarm harus diperiksa sepenuhnya untuk semua mesin, kecuali barang-barang yang sudah diverifikasi selama uji coba.

6.4 Beban uji

6.4.1 Beban uji untuk berbagai aplikasi mesin diberikan di bawah ini. Selain itu, ruang lingkup uji coba dapat diperluas tergantung pada aplikasi mesin, pengalaman operasi, atau alasan relevan lainnya.

6.4.2 Kesesuaian mesin untuk beroperasi pada bahan bakar yang dimaksudkan untuk digunakan harus didemonstrasikan.

Catatan:

Pengujian selain yang tercantum di bawah ini mungkin diperlukan oleh instrumen statutory (misalnya verifikasi EEDI).

6.4.3 Mesin propulsi yang menggerakkan fixed pitch propeller atau impeller.

- 1) Pada *rated speed* mesin n_0 :
sekurang-kurangnya 4 jam.
- 2) Pada kecepatan mesin $1,032n_0$
(jika penyesuaian mesin memungkinkan, lihat [5.3.1](#)): 30 menit.
- 3) Pada beban berlebih sesaat yang disetujui (jika ada): durasi pengujian disepakati dengan pabrik pembuat.
- 4) Kecepatan mesin minimum harus ditentukan.
- 5) Kemampuan mesin *reversible* untuk dioperasikan berbalik arah harus didemonstrasikan.

Catatan:

Selama "stopping test" menurut Resolusi MSC.137 (76), lihat [4.5.1](#) untuk persyaratan tambahan dalam kasus barred speed range.

6.4.4 Mesin propulsi penggerak *controllable pitch propeller*

- 1) Pada rated engine speed n_0 :
dengan pitch propeller yang mengarah ke daya rated engine (atau daya maksimum yang dapat dicapai jika 100% tidak tercapai): minimal 4 jam.
- 2) Pada beban berlebih sesaat yang disetujui (jika ada): durasi pengujian disepakati dengan pabrik pembuat.
- 3) Dengan pitch balik arah yang sesuai untuk manuver, lihat [6.5.1](#) untuk persyaratan tambahan dalam kasus barred speed range.

6.4.5 Mesin penggerak generator untuk propulsi elektrik dan/atau catu daya utama

- 1) Pada daya 100% (rating daya listrik generator):
sekurang-kurangnya 60 mnt.
- 2) Pada daya 110% (rating daya listrik generator):
sekurang-kurangnya 10 mnt.

Catatan:

Setiap mesin harus diuji pada daya listrik 100% sekurang-kurangnya 60 menit dan 110% dari rating daya listrik generator sekurang-kurangnya selama 10 menit. Jika mungkin hal ini dapat dilakukan selama uji sistem propulsi elektrik, yang diperlukan untuk diuji dengan daya propulsi 100% (yaitu kapasitas motor listrik total untuk propulsi) dengan mendistribusikan daya pada generator sesedikit mungkin. Durasi pengujian ini cukup untuk mencapai suhu operasi yang stabil dari semua mesin yang bekerja atau sekurang-kurangnya selama 4 jam. Ketika beberapa genset tidak dapat diuji karena waktu yang tidak memadai selama uji sistem propulsi yang disebutkan di atas, tes yang diperlukan harus dilakukan secara terpisah.

- 3) Demonstrasi kemampuan penggerak utama dan governor genset untuk menangani langkah-langkah beban seperti yang dijelaskan dalam [F.1.1.2](#).

6.4.6 Mesin proporsi juga sebagai penggerak power take off (PTO) generator.

- 1) daya mesin 100% (MCR) yang sesuai pada kecepatan n_0 : sekurang-kurangnya 4 jam.
- 2) daya cabang propeler 100% pada kecepatan mesin n_0 : (kecuali sudah tercakup dalam A): 2 jam.
- 3) daya cabang PTO 100% pada putaran mesin n_0 : sekurang-kurangnya 1 jam.

6.4.7 Mesin penggerak peralatan bantu.

- 1) daya 100% (MCR) yang sesuai pada kecepatan n_0 : sekurang-kurangnya 30 mnt.
- 2) Beban berlebih sesaat yang disetujui: durasi pengujian yang disetujui.

6.5 Getaran torsional

6.5.1 *Barred speed range*

Ketika *barred speed range* (bsr) dipersyaratkan, maka harus didemonstrasikan kondisi yang melewati bsr baik pada percepatan maupun perlambatan. Waktu yang dibutuhkan harus dicatat dan harus sama dengan atau di bawah waktu yang ditetapkan dalam dokumentasi yang disetujui, jika ada. Hal ini juga termasuk ketika melewati bsr pada arah putaran berbalik, terutama selama *stopping test*.

Catatan:

Berlaku untuk sistem pengedaran manual dan otomatis.

Sarat dan kecepatan kapal selama semua demonstrasi ini harus direkam. Dalam kasus *controllable pitch propeller* juga harus direkam.

Mesin harus diperiksa untuk operasi yang stabil (indeks bahan bakar steady) di batas atas dan bawah dari bsr. Indeks bahan bakar steady berarti rentang osilasi kurang dari 5% dari *stroke* efektif (dari idle ke indeks penuh).

6.6 Pembumian

Hal ini diperlukan untuk memastikan bahwa batas yang ditentukan untuk mesin utama oleh pabrik pembuat mesin dalam hal perbedaan potensial listrik (tegangan) antara poros engkol/sistem poros dan lambung tidak terlampau dalam operasi. Peralatan pembumian yang sesuai termasuk monitor nilai batas potensi tegangan yang diizinkan harus disediakan.

F. Peralatan Keamanan

1. Kontrol kecepatan dan perlindungan mesin terhadap kecepatan berlebih

1.1 Mesin utama dan bantu

1.1.1 Setiap mesin diesel yang tidak digunakan untuk menggerakkan sebuah generator listrik harus dilengkapi dengan *speed governor* atau regulator yang diatur sedemikian sehingga kecepatan mesin tidak melebihi 15% dari nilai kecepatan.

1.1.2 sebagai tambahan pada *governor* normal, setiap mesin utama dengan daya 220 kW atau lebih yang dapat digunakan tanpa kopling dalam operasi atau yang mendorong *variable pitch propeller* harus dilengkapi dengan perangkat perlindungan kecepatan terpisah yang diatur sedemikian rupa sehingga kecepatan mesin tidak melebihi 20% dari nilai kecepatan.

Peralatan yang setara dapat disetujui oleh BKI.

1.2 Mesin penggerak generator listrik

1.2.1 Setiap mesin diesel yang digunakan untuk menggerakkan generator listrik utama atau darurat harus dilengkapi dengan sebuah *governor* yang akan mencegah variasi frekuensi transient dalam jaringan listrik lebih dari $\pm 10\%$ dari nilai frekuensi dengan waktu pemulihan untuk kondisi stabil tidak melebihi 5 detik ketika tahap bebanlistrik maksimum diaktifkan atau dimatikan.

Dalam hal ketika sebuah tahap bebansetara dengan nilai output dari generator dimatikan, variasi kecepatan sementara lebih dari 10% dari nilai kecepatan dapat diterima, asalkan hal ini tidak menyebabkan intervensi dari perangkat kecepatan berlebih sebagaimana dipersyaratkan oleh [1.2.2](#).

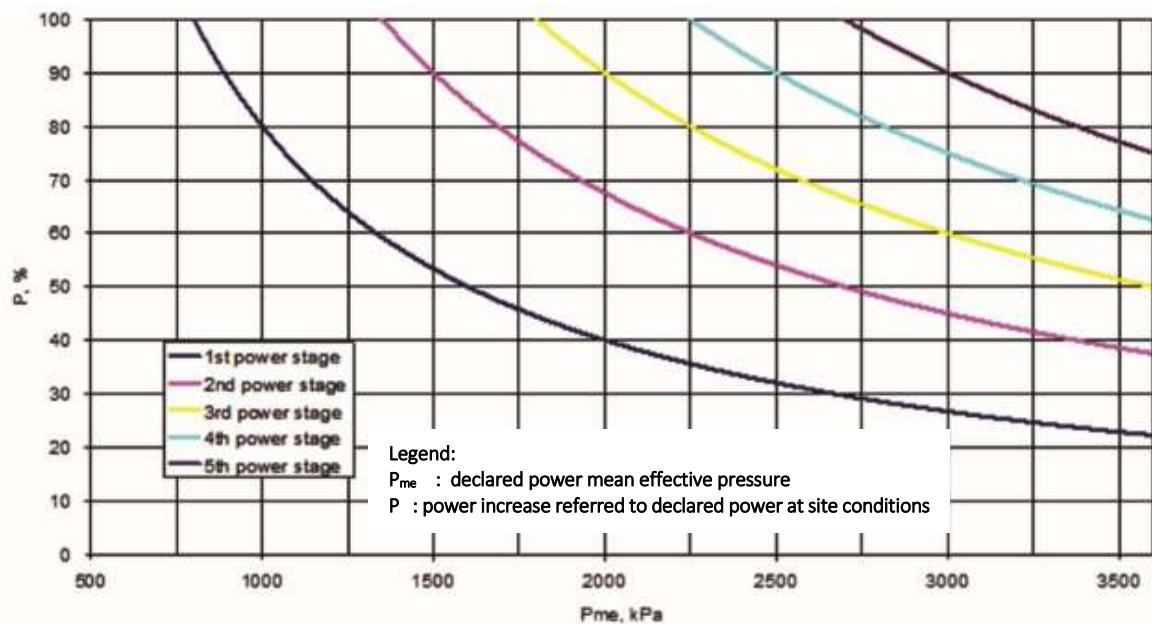
1.2.2 sebagai tambahan pada governor normal, setiap mesin diesel dengan nilai daya 220 kW atau lebih harus dilengkapi dengan perangkat perlindungan kecepatan berlebih independen dari governor normal yang mencegah kecepatan mesin melebihi 15% dari nilai kecepatan.

1.2.3 Mesin diesel harus sesuai dan dirancang untuk kebutuhan khusus dari sistem listrik kapal.

Ketika aplikasi dua tahap bebandipersyaratkan, prosedur berikut harus diterapkan: pembebanan mendadak dari tanpa beban sampai 50%, diikuti oleh 50% sisanya dari nilai daya generator, dengan tetap memperhatikan persyaratan [1.2.1](#) dan [1.2.4](#).

Penerapan beban lebih dari dua tahap (lihat [Gambar 2.2](#)) dapat diterima dengan syarat:

- sistem listrik kapal dirancang untuk penggunaan set generator dengan beban lebih dari dua tahap.
- aplikasi beban lebih dari dua tahap telah dipertimbangkan dalam desain sistem listrik kapal dan disetujui ketika gambar diperiksa.
- selama pengujian dikapal, uji fungsi wajib dilakukan. Disaat tersebut, pembebanan jaringan listrik kapal sementara yang menghubungkan peralatan penting secara berurutan setelah kegagalan dan selama pemulihan jaringan harus diperhitungkan
- keamanan sistem listrik kapal saat operasi generator paralel dan kegagalan sebuah generator harus didemonstrasikan.



Gambar 2.2 Kurva batasan untuk pembebahan mesin diesel 4 langkah, langkah demi langkah dari tidak ada beban untuk nilai daya sebagai fungsi tekanan efektif rem rata-rata

1.2.4 Kecepatan harus distabilkan dan dalam kondisi *steady-state* dalam waktu lima detik, dalam rentang yang diperbolehkan untuk variasi kecepatan permanen δ_r .

Kondisi *steady-state* dianggap tercapai ketika variasi kecepatan permanen tidak melebihi $\pm 1\%$ dari kecepatan yang terkait dengan daya yang telah ditetapkan.

1.2.5 Kurva karakteristik governor mesin diesel dari genset yang beroperasi secara paralel, harus tidak menunjukkan penyimpangan yang lebih besar dari yang ditentukan dalam *Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV), Sec. 1.F.1*.

1.2.6 Genset yang dipasang untuk melayani sirkuit *stand-by* harus memenuhi persyaratan yang sesuai bahkan ketika mesin dingin. Diasumsikan bahwa penyalakan dan urutan pembebahan selesai setelah sekitar 30 detik.

1.2.7 Genset darurat harus memenuhi kondisi *governor* sesuai item [1.2.1](#) dan [1.2.2](#) meskipun:

- 1) total beban yang dilayani diterapkan secara tiba-tiba, atau
- 2) total beban yang dilayani diterapkan secara bertahap, tergantung pada:
 - beban total yang disuplai dalam waktu 45 detik sejak kegagalan daya pada switchboard utama
 - tahap beban maksimum ditetapkan dan didemonstrasikan
 - sistem distribusi daya dirancang sedemikian rupa sehingga pembebahan bertahap maksimum yang ditetapkan tidak terlampaui
 - pemenuhan waktu tunda dan urutan pembebahan di atas harus didemonstrasikan pada saat uji coba dikapal.

1.2.8 *Governor* mesin yang disebutkan dalam [1.2](#) harus memungkinkan *rated speed* untuk disesuaikan pada seluruh rentang daya dengan deviasi maksimal 5%.

1.2.9 Tingkat variasi kecepatan dari mekanisme penyesuaian harus memungkinkan sinkronisasi yang memuaskan dalam waktu singkat. Karakteristik kecepatan harus bersifat selinier mungkin pada rentang seluruh daya. dalam hal genset yang ditujukan untuk operasi paralel, deviasi permanen dari linieritas

teoritis terhadap karakteristik kecepatan, .tidak boleh melebihi 1% dari rated speed pada semua rentang daya

Catatan yang terkait dengan 1.1 dan 1.2:

rated power dan rated speed yang berkaitan dengan kondisi dimana mesin dioperasikan dalam sistem terkait.

Perangkat perlindungan kecepatan berlebih yang independen adalah sebuah sistem di mana semua bagian komponennya, termasuk penggerak, berfungsi secara independen dari normal governor.

1.3 Penggunaan governor elektrik/electronic

1.3.1 Untuk mengendalikan masing-masing mesin, *governor* dan aktuator terkait harus sesuai untuk kondisi operasi yang ditetapkan dalam Peraturan Konstruksi dan persyaratan yang ditentukan oleh pabrik pembuat mesin.

Kondisi pengaturan yang diperlukan untuk setiap aplikasi individu seperti yang dijelaskan [1.1](#) dan [1.2](#) harus dipenuhi oleh sistem *governor*.

Governor elektronik dan aktuator terkait harus dilakukan uji tipe.

Untuk catu daya, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 9.B.8.](#)

1.3.2 Persyaratan yang berlaku untuk mesin utama

Untuk penggerak propulsi tunggal, harus dipastikan bahwa dalam hal terjadi kegagalan *governor* atau aktuator, kontrol mesin dapat diambil alih oleh perangkat kontrol lain. Untuk memastikan kontrol kecepatan kontinyu atau kontrol segera dilanjutkan kembali apabila terjadi kegagalan, setidaknya salah satu persyaratan berikut ini harus dipenuhi:

- 1) Sistem *governor* memiliki sistem cadangan independen, atau
- 2) Terdapat *redundant governor* yang dirakit untuk mengganti-mengubah secara manual dengan sebuah catu daya yang dilindungi terpisah, atau
- 3) Mesin memiliki sistem kontrol injeksi bahan bakar yang dioperasikan secara manual yang cocok untuk manuver.

Untuk sistem propulsi dengan beberapa mesin penggerak, persyaratan [Bab 1.D.8.3](#) harus dipenuhi.

Dalam hal terjadi kegagalan pada sistem *governor*, kondisi operasi mesin harus tidak menjadi berbahaya, yaitu kecepatan mesin dan daya tidak akan meningkat.

Alarm harus dipasang untuk menunjukkan kegagalan dalam sistem *governor*.

1.3.3 Persyaratan yang berlaku untuk mesin bantu penggerak generator listrik

Setiap mesin bantu harus dilengkapi dengan sistem *governor* sendiri.

Dalam hal terjadi kegagalan komponen atau fungsi yang penting untuk kontrol kecepatan dalam sistem *governor*, output permintaan kecepatan harus diatur ke "0" (yaitu pengaliran bahan bakar pada pompa injeksi harus diatur ke "0"). Alarm harus dipasang untuk menunjukkan kegagalan dalam sistem *governor*.

1.3.4 Kondisi khusus yang diperlukan untuk memulai operasi dari kondisi kapal mati (*dead ship*) harus diamati (lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 3.B.1.9.](#))

2. Pengaturan udara dan ventilasi *crankcase*

2.1 Pengaturan udara *crankcase*

Pengaturan udara *crankcase* dan setiap pengaturan tata letak yang dapat menghasilkan asupan udara di dalam *crankcase* tidak diperbolehkan. Untuk mesin gas, lihat [Rules for Ship Carrying Liquified Gase in Bulk \(Pt.1, Vol.IX\) Sec.16.](#)

2.2 Ventilasi *crankcase*

2.2.1 Ketika sistem ventilasi *crankcase* tersedia, bukaannya harus diberi ukuran sekecil mungkin.

2.2.2 Jika pengaturan telah dibuat untuk ekstraksi paksa kabut minyak pelumas, misalnya untuk memonitor konsentrasi kabut minyak, vakum didalam *crankcase* tidak boleh melebihi 2,5 mbar.

2.2.3 Pipa-pipa ventilasi dan pipa saluran minyak dari dua mesin atau lebih tidak dapat digabungkan. Pengecualian dapat disetujui jika interaksi dari sistem gabungan dapat dihindari dengan peralatan yang sesuai.

2.2.4 Dalam kasus mesin dua-langkah, kabut minyak pelumas dari *crankcase* tidak boleh masuk ke manifold pembilasan dan juga ke pipa saluran masuk udara mesin.

3. Peralatan keselamatan Crankcase

3.1 Relief Valve

3.1.1 Peralatan keselamatan *crankcase* harus tipe yang disetujui dalam konfigurasi yang menunjukkan pengaturan instalasi yang akan digunakan pada sebuah mesin sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use, \(Pt.1, Vol.W\) Sec. 3.1](#).

3.1.2 Katup pengaman untuk perlindungan terhadap tekanan berlebih di *crankcase* harus dipasang untuk semua mesin dengan bore silinder > 200 mm atau volume *crankcase* $\geq 0,6 \text{ m}^3$.

Semua ruang terpisah dalam *crankcase* misalnya selubung gigi atau rantai untuk camshafts atau penggerak yang serupa, harus dilengkapi dengan peralatan keamanan tambahan jika volume ruang melebihi $0,6 \text{ m}^3$.

3.1.3 Mesin dengan bore silinder > 200 mm dan ≤ 250 mm harus dilengkapi dengan setidaknya satu katup pada setiap ujung *crankcase*. Jika poros engkol memiliki lebih dari 8 crank throw, sebuah relief Valve tambahan harus dipasang di dekat pertengahan *crankcase*.

Mesin dengan bore silinder > 250 mm dan ≤ 300 mm harus memiliki setidaknya satu relief valve di dekat setiap crank throw alternatif, dengan jumlah minimum dua.

Mesin dengan bore silinder > 300 mm harus memiliki setidaknya satu safety valve di dekat setiap crank throw

3.1.4 Setiap katup pengaman harus mempunyai area pelepasan bebas setidaknya 45 cm^2 .

Total daerah pelepasan bebas dari semua katup pengaman yang dipasang ke mesin untuk menjaga terjadinya tekanan berlebih di *crankcase* minimum $115 \text{ cm}^2 / \text{m}^3$ volume kotor *crankcase*

Catatan yang berkaitan dengan 3.1.2 dan 3.1.3

*Dalam memperkirakan volume kotor *crankcase*, volume dari bagian tertutup tetap dapat dikurangi.*

Sebuah ruang yang berdampingan dengan crankcase melalui total area penampang bebas $> 115 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ dari volume tidak perlu dianggap sebagai ruang yang terpisah.

Setiap relief valve dipersyaratkan dapat digantikan dengan tidak lebih dari dua relief valve dengan daerah penampang yang lebih kecil asalkan luas penampang bebas atau setiap relief valve tidak kurang dari 45 cm^2 .

3.1.5 Peralatan keselamatan harus dapat bertindak cepat dan peralatan penutupan otomatis untuk melepaskan crankcase dari tekanan pada saat terjadi ledakan bacakrankcase. Dalam pengoperasian, peralatan tersebut harus kedap minyak ketika ditutup dan harus mencegah aliran udara masuk ke dalam crankcase. Aliran gas yang disebabkan oleh respon dari perangkat keamanan harus diblokir, misalnya melalui *baffle plate*, sedemikian rupa sehingga tidak membahayakan orang yang berdiri di dekatnya. Harus ditunjukkan bahwa *baffle plate*, tidak mempunyai pengaruh yang merugikan terhadap efektivitas operasional peralatan.

Untuk relief valve, cakram harus terbuat dari material liat yang mampu menahan beban kejut pada posisi katup terbuka penuh.

relief valve harus sepenuhnya dibuka pada tekanan diferensial pada crankcase yang tidak lebih dari 0,2 bar.

3.1.6 relief valve harus dilengkapi dengan *flame arrester* yang memungkinkan pelepasan tekanan pada crankcase dan mencegah lewatnya api saat terjadi ledakan crankcase.

3.1.7 Peralatan keselamatan harus disediakan dengan tanda yang sesuai yang mencakup informasi berikut:

- Nama dan alamat pabrik pembuat
- Tujuan penggunaan dan ukuran
- Area pelepasan
- Bulan/tahun pembuatan
- Orientasi instalasi yang disetujui

3.1.8 Peralatan keselamatan harus dilengkapi dengan petunjuk instalasi dan pemeliharaan pabrik pembuat yang berhubungan dengan ukuran dan jenis peralatan serta instalasi pada mesin. Salinan panduan ini harus disimpan di atas kapal.

3.1.9 Rencana yang menunjukkan rincian dan pengaturan peralatan keselamatan harus diajukan untuk persetujuan.

3.2 Pintu crankcase dan lubang pengamatan

3.2.1 Konstruksi crankcase dan pintu crankcase harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan tekanan crankcase yang diantisipasi yang mungkin timbul selama ledakan crankcase dengan mempertimbangkan pemasangan explosion relief valve yang dipersyaratkan oleh F.4. pintu crankcase harus diikat dengan cukup aman agar tidak mudah tergeser akibat ledakan crankcase.

3.2.2 crankcase dan lubang pengamatan berengsel harus dilengkapi dengan kait penahan yang sesuai sehingga secara efektif dapat mencegah penutupan yang tidak diinginkan.

3.2.3 Peringatan harus dipasang baik di papan kontrol atau, sebaiknya, pada pintu crankcase di setiap sisi mesin. Pemberitahuan peringatan harus menjelaskan bahwa pintu crankcase atau lubang pengamatan tidak boleh dibuka sebelum waktu yang tepat, cukup untuk memungkinkan pendinginan yang memadai setelah mesin dimatikan.

3.3 Deteksi/monitoring dan sistem alarm kabut minyak (detektor kabut minyak)

3.3.1 Mesin dengan diameter silinder > 300 mm atau daya 2250 kW keatas harus dilengkapi dengan detektor kabut minyak pada *crankcase* atau sistem alternatif lainnya.

Untuk mesin type *crosshead* 2-langkah metode alternatif tidak dapat menggantikan detektor kabut minyak. Detektor kabut minyak ini harus dipasang.

3.3.2 Untuk instalasi dengan beberapa mesin, setiap mesin harus dilengkapi dengan detektor dan alarm kabut minyak yang terpisah.

3.3.3 Detektor kabut minyak harus mempunyai tipe yang disetujui. Persyaratan mekanik didefinisikan dalam [Guidance for Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine use \(Pt.1, Vol. W\) Section 3 J.](#)

3.3.4 Detektor kabut minyak harus dipasang sesuai dengan instruksi dan rekomendasi desainer mesin dan Pabrik pembuat sistem.

3.3.5 Uji Fungsi harus dilakukan *engine test bed* pada bengkel pabrik pembuat dan di atas kapal pada kondisi tanpa bebander "mesin beroperasi pada kondisi normal" sesuai dengan prosedur pengujian yang disetujui oleh BKI.

3.3.6 Alarm-alarm dan pemutus untuk detektor harus sesuai dengan [Tabel 2.6](#).

3.3.7 Kegagalan fungsional pada perangkat dan peralatan harus diawasi dengan alarm.

Tabel 2.6 Alarm dan indikator

Deskripsi	Mesin propulsi	Mesin bantu	Mesin darurat
Kecepatan/arah rotasi	I		
Kecepatan berlebih mesin ⁵⁾	A, S	A, S	A, S
Tekanan minyak pelumas pada inlet mesin	I, L, S ⁵⁾	I, L, H ⁵⁾	I, L
Suhu minyak pelumas pada inlet mesin	I, A	I, H	I, H ⁵⁾
Tekanan bahan bakar minyak pada inlet mesin	I, L	I	
Temperatur bahan bakar minyak pada inlet mesin ¹⁾	I, A	I, A	
Kebocoran bahan bakar minyak dari pipa bertekanan tinggi	A	A	A
Tekanan air pendingin silinder pada inlet mesin	I ⁴⁾ , L ⁴⁾	I ⁴⁾ , L ⁴⁾	I, L ⁵⁾
Suhu air pendingin silinder pada outlet mesin	I, H	I, H, S	I, H
Tekanan pendingin piston pada inlet mesin	I, L		
Suhu pendingin piston pada outlet mesin	I, H		
Tekanan udara pengisian pada inlet silinder	I		
Suhu udara pengisian pada outlet pendingin udara pengisian	I, H		
Tekanan udara awal	I, L		
Tekanan udara kontrol	I, L		
Temperatur gas buang	I ²⁾ , H ⁸⁾		
Aktivasi pengaturan deteksi kabut minyak (atau aktivasi sistem monitoring suhu atau peralatan yang setara dari: - bagian utama mesin, crank dan outlet crosshead bearing oil - bagian utama mesin, crank dan crosshead bearing) ^{6) 7)}	I, A, S ⁸⁾	I, A, S ⁸⁾	I, A, S ⁸⁾

Tabel 2.6 Alarm dan indicator (lanjutan)

<p>1) Hanya untuk mesin yang bekerja dengan menggunakan bahan bakar HFO</p> <p>2) Dimanapun dimensi mengizinkan, disetiap outlet silinder</p> <p>3) Dimanapun dimensi mengizinkan, di inlet turbocharger, jika tidak di outlet</p> <p>4) Monitor level tangki expansi, dengan alarm pada level rendah, adalah alternatif yang dapat diterima untuk daya mesin < 130</p> <p>5) Hanya untuk outlet mesin ≥ 220 Kw</p> <p>6) Untuk mesin yang memiliki output ≥ 2250 kW atau bore silinder > 300 mm</p> <p>7) Metode alternatif untuk monitor dapat disetujui oleh BKI</p> <p>8) Perlambatan untuk mesin yang memiliki nilai kecepatan kurang dari 300 Rpm</p>	<p>I : Indikator A : Alarm H : Alarm untuk batas atas L : Alarm untuk batas bawah S : Shutdown</p>
--	--

3.3.8 Detektor kabut minyak harus mengindikasikan bahwa tabung (lens) yang terpasang telah tertutup sebagian pada level yang mempengaruhi keandalan informasi dan indikasi alarm yang digunakan dalam penentuan konsentrasi kabut minyak.

3.3.9 Jika detektor termasuk penggunaan sistem elektronik yang dapat diprogram, pengaturan harus sesuai dengan persyaratan [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 10](#).

3.3.10 Jika pengaturan deteksi/ monitoring kabut minyak yang berurutan disediakan, frekuensi dan waktu sampling harus sesingkat mungkin secara praktis.

3.3.11 Rencana yang menunjukkan rincian dan pengaturan dari detektor kabut minyak harus diajukan untuk disetujui. Keterangan berikut ini harus dimasukkan dalam dokumentasi:

- Skema tata letak detektor kabut minyak pada mesin yang menunjukkan lokasi dari titik sampel mesin crankcase dan pengaturan pipa bersama-sama dengan dimensi pipa ke detektor/monitor.
- Bukti penelitian untuk membenarkan lokasi yang dipilih dari titik sampel dan tingkat ekstraksi sampel (jika ada) dengan pertimbangan susunan dan geometri dan prediksi atmosfir crankcase di mana kabut minyak dapat menumpuk.
- Informasi manual pemeliharaan dan uji tentang persetujuan tipe dari sistem deteksi/monitroing atau uji fungsi pada mesin tertentu.

3.3.12 Salinan dokumentasi yang disuplai dengan sistem seperti manual pemeliharaan dan pengujian harus disediakan di kapal.

3.3.13 Pembacaan dan informasi alarm dari detektor kabut minyak harus mampu dibaca dari lokasi yang cukup jauh dari mesin.

3.3.14 Jika metode alternatif disediakan untuk pencegahan penambahan kondisi potensi ledakan dalam *crankcase* (terlepas dari alasannya, misalnya minyak kabut, gas, mesin panas, dan lain-lain), rincian harus diajukan untuk menjadi pertimbangan BKI. Informasi berikut harus dimasukkan dalam rincian yang akan diajukan untuk disetujui:

- Ukuran utama mesin - Jenis, kekuatan, kecepatan, langkah, bore dan volume *crankcase*
- Rincian pengaturan pencegahan penumpukan kondisi potensi ledakan dalam *crankcase*, misalnya pemantauan suhu bantalan, temperatur percikan minyak, monitoring tekanan *crankcase*, pengaturan resirkulasi, pemantauan atmosfer bak mesin.
- Bukti bahwa pengaturan efektif dalam mencegah penambahan kondisi yang berpotensi meledak bersama dengan rincian dalam pengalaman pelayanan.
- Instruksi pengoperasian dan instruksi pemeliharaan dan pengujian

3.4 Langkah-langkah keselamatan aktif

Ketika diusulkan untuk menggunakan teknologi alternatif aktif untuk meminimalkan risiko potensial ledakan pada *crankcase*, rincian pengaturan dan deskripsi fungsi harus diajukan ke BKI untuk disetujui.

4. Perangkat keamanan pada sistem udara awal

Peralatan berikut harus dipasang untuk menjaga sistem udara awal dari ledakan karena kegagalan katup awal:

- 4.1 Isolasi *non-return valve* harus dipasang pada jalur udara awal yang melayani setiap mesin.
- 4.2 Mesin dengan diameter silinder > 230 mm harus dilengkapi dengan flame arrestors sebagai berikut:
 - Pada mesin direct-reversibel segera di depan katup penyalaan dari masing-masing silinder
 - Pada mesin non-reversibel, segera di depan saluran masuk jalur udara awal utama untuk setiap mesin.
- 4.3 Perangkat keselamatan yang setara dapat disetujui oleh BKI.

5. Perangkat keamanan dalam sistem minyak pelumas

Setiap mesin dengan nilai daya 220 kW atau lebih harus dilengkapi dengan perangkat yang secara otomatis dapat mematikan mesin jika terjadi kegagalan pasokan minyak pelumas. Hal ini tidak berlaku untuk mesin yang semata-mata melayani penggerak set generator darurat dan pompa kebakaran darurat. Untuk mesin ini, alarm harus disediakan.

6. Perangkat keselamatan di saluran udara pembilasan

Untuk mesin 2 langkah saluran udara pembilasan harus dilindungi dari tekanan berlebih dengan menggunakan katup pengaman.

G. Sistem Bantu

1. Umum

Untuk sistem perpipaan dan pengaturan aksesoris filter, Bab 11 harus diterapkan, sebagai tambahan.

2. Sistem bahan bakar

2.1 Umum

2.1.1 Hanya sambungan pipa dengan *metal sealing surface* atau sambungan pipa yang setara dengan desain yang disetujui dapat digunakan untuk jalur injeksi bahan bakar.

2.1.2 Jalur umpan dan jalur balik harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak ada lonjakan tekanan yang tidak dapat diterima yang terjadi pada sistem suplai bahan bakar. Jika diperlukan, mesin harus dilengkapi dengan peredam lonjakan yang disetujui oleh BKI.

2.1.3 Semua komponen dari sistem bahan bakar harus dirancang untuk menahan tekanan puncak maksimum yang diperkirakan terjadi dalam sistem.

2.1.4 Jika bak penampung bahan bakar atau *damper* dengan masa pakai yang terbatas dipasang pada sistem bahan bakar, masa pakai dan instruksi perbaikan harus ditentukan oleh pabrik pembuat dalam manual terkait.

2.1.5 Saluran bahan bakar tidak boleh berada tepat di atas atau dekat dengan unit yang mempunyai suhu tinggi, pipa uap, saluran gas buang, peredam gas buang, instalasi listrik dan sumber api lainnya atau peralatan lain yang diperlukan untuk diisolasi oleh [7.1](#). Saluran tersebut harus dilindungi sehingga percikan atau kebocoran tidak mengenai sumber api. Jumlah sambungan dalam sistem perpipaan tersebut harus seminimum mungkin.

2.2 Pelindung

2.2.1 Terlepas dari penggunaan dan lokasi mesin, semua jalur injeksi bahan bakar eksternal (jalur tekanan tinggi antara pompa injeksi dan katup injeksi) harus terlindungi oleh pipa pelindung atau sarana lain yang setara yang disetujui oleh administrator sedemikian rupa sehingga setiap bahan bakar yang bocor adalah:

- Dikumpulkan dengan aman
- Terkuras habis tanpa tekanan, dan
- Dimonitor secara efektif dan diawasi dengan alarm

2.2.2 Jika variasi tekanan > 20 bar terjadi pada jalur umpan dan jalur balik bahan bakar, jalur ini juga harus dilindungi.

2.2.3 Pipa bahan bakar bertekanan tinggi dan pipa pelindung luar harus dirakit permanen.

2.2.4 Ketika selubung pipa dengan bentuk selang dijadikan sebagai pelindung, selang harus terbukti sesuai untuk tujuan ini dan disetujui oleh BKI.

2.3 Drainase kebocoran bahan bakar

Langkah-langkah desain yang sesuai harus dilakukan untuk memastikan secara umum bahwa bahan bakar yang bocor dapat dikeringkan secara efisien dan tidak bisa masuk ke dalam sistem minyak pelumas mesin.

2.4 Pemanas, isolasi panas, resirkulasi

Saluran bahan bakar, termasuk saluran injeksi bahan bakar, untuk mesin yang dioperasikan dengan bahan bakar yang dipanaskan harus diisolasi terhadap kehilangan panas dan, sejauh yang diperlukan, dilengkapi dengan pemanas.

Sarana resirkulasi bahan bakar juga harus disediakan.

2.5 Emulsi bahan bakar

Untuk mesin yang dioperasikan dengan emulsi dari bahan bakar dan cairan lain harus dipastikan bahwa operasional mesin dapat dilanjutkan setelah terjadi kegagalan pada sistem pengolahan (*treatment*) bahan bakar.

3. Pengaturan saringan untuk sistem bahan bakar dan minyak pelumas

3.1 Saringan bahan bakar dan minyak pelumas yang harus dipasang langsung pada mesin harus tidak berada di atas bagian yang berputar atau di dekat komponen yang panas.

3.2 Jika pengaturan yang tercantum dalam 3.1 tidak memungkinkan, maka bagian-bagian yang berputar dan komponen panas harus cukup terlindungi.

3.3 Saringan harus diatur sedemikian rupa sehingga cairan sisa dapat dikumpulkan dengan cara yang memadai. Hal yang sama berlaku untuk saringan minyak pelumas jika minyak dapat mengalir keluar ketika saringan dibuka.

3.4 *Change over filter* dengan dua atau lebih ruang bakar harus dilengkapi dengan sarana yang memungkinkan untuk pelepasan tekanan dengan aman sebelum pembukaan dan ventilasi yang tepat sebelum mengulang penyalaan dari ruang bakar manapun. Biasanya, perangkat penyetop akan digunakan. Harus terlihat jelas, ruang bakar mana yang sedang dan tidak beroperasi.

3.5 Saringan bahan bakar dipasang paralel agar memungkinkan pembersihan tanpa mengganggu suplai bahan bakar ke mesin (*misalnya duplex filter*) harus diberikan pengaturan yang dapat meminimalkan kemungkinan saringan mendapat tekanan akibat dibuka secara tidak sengaja. Saringan ruang bakar harus dilengkapi dengan sarana yang cocok untuk:

- Ventilasi ketika dioperasikan
- Penurunan tekanan sebelum dibuka
- Katup atau kran dengan pipa pengering yang mengarah ke tempat yang aman harus digunakan untuk tujuan ini.

3.6 Selain itu persyaratan pada Bab. 8 harus dipertimbangkan juga untuk saringan

4. Sistem minyak pelumas

4.1 Persyaratan umum yang berkaitan dengan sistem minyak pelumas dan pembersihan, pendinginan dan lain-lain dari minyak pelumas yang terkandung dalam [Bab 11.H](#). Untuk pengaturan pipa [2.1.5](#) harus diterapkan.

4.1.1 Mesin yang baknya berfungsi sebagai reservoir minyak harus dilengkapi, sehingga level minyak dapat ditentukan dan, jika perlu, dapat ditambah saat operasi. Sarana harus disediakan untuk menguras bak minyak sampai habis.

4.1.2 Kombinasi jalur drainase minyak dari crankcase dari dua atau lebih mesin tidak diizinkan.

4.1.3 Ujung keluar pipa kuras dari bak mesin harus berada di bawah level minyak di tangki kuras.

4.2 Peralatan mesin yang dilengkapi dengan pelumas pompa minyak harus sesuai dengan [Bab 11, H.3.](#)

4.2.1 Pompa minyak pelumas utama yang digerakkan oleh mesin harus dirancang untuk mempertahankan suplai minyak pelumas di seluruh rentang operasi.

4.2.2 Mesin utama yang menggerakkan pompa minyak pelumas utama harus dilengkapi dengan pompa cadangan yang digerakkan secara independen.

4.2.3 Pada instalasi dengan beberapa mesin yang mempunyai sistem pelumas minyak terpisah, persetujuan dapat diberikan untuk membawa pompa cadangan yang siap dipasang diatas kapal dengan ketentuan pengaturan pompa minyak pelumas utama memungkinkan dilaksanakan penggantian dengan sarana yang tersedia di kapal.

4.2.4 Sistem minyak pelumas untuk pelumasan silinder yang diperlukan untuk pengoperasian mesin dan yang dilengkapi dengan unit penakaran elektronik harus disetujui oleh BKI.

5. Sistem pendingin

5.1 Untuk peralatan mesin dengan pompa air pendingin dan untuk desain sistem air pendingin, lihat Bab 11.I. dan 11.K.

5.1.1 Pompa air pendingin utama yang digerakkan oleh mesin harus dirancang untuk dapat mempertahankan suplai air pendingin pada seluruh rentang operasi.

5.1.2 Mesin utama yang menggerakkan pompa air pendingin utama harus dilengkapi dengan pompa cadangan yang digerakkan secara independen atau dengan sarana untuk menghubungkan sistem air pendingin ke pompa cadangan yang digerakkan secara independen.

5.1.3 Pada instalasi dengan beberapa mesin yang memiliki sistem pendingin air tawar, persetujuan dapat diberikan untuk membawa pompa cadangan yang dipasang diatas kapal dengan ketentuan pengaturan pompa pendingin air tawar utama memungkinkan dilaksanakan penggantian dengan sarana yang tersedia di kapal. Katup penutup harus disediakan sehingga pompa utama dapat terisolasi dari sistem pendingin air tawar.

5.2 Jika udara pendingin diambil dari ruang mesin, desain sistem pendingin harus berdasarkan pada suhu kamar setidaknya 45 °C.

Saluran udara buang mesin berpendingin udara tidak boleh menimbulkan panas yang tidak dapat diterima dari ruang di mana sistem dipasang. Saluran udara buang biasanya akan diarahkan ke udara terbuka melalui saluran khusus.

5.3 Jika mesin yang dipasang di ruang di mana peralatan berbahan bakar minyak dioperasikan, Bab 9, A.5 juga harus dipenuhi.

6. Sistem pengisian udara

6.1 Turbocharger gas buang

6.1.1 Konstruksi dan pengujian turbocharger gas buang harus sesuai dengan Bab 3.II pada Peraturan ini.

6.1.2 Turbocharger gas buang tidak boleh menimbulkan rentang kecepatan kritis pada seluruh rentang operasi mesin.

6.1.3 Suplai minyak pelumas juga harus dipastikan selama penyalaan dan penghentian turbocharger gas buang.

6.1.4 meskipun pada kecepatan mesin rendah, mesin utama harus disuplai dengan udara pengisian dengan metode yang dapat memastikan operasi yang handal.

Jika diperlukan, mesin 2-tak harus dilengkapi dengan blower udara pembilasan yang digerakkan langsung atau secara independen.

6.1.5 Jika, dalam rentang kecepatan rendah atau saat digunakan untuk manuver, mesin dapat dioperasikan hanya dengan blower udara pengisian yang digerakkan secara independen dari mesin, blower udara pengisian cadangan harus dipasang atau perangkat yang setara dari desain yang disetujui.

6.1.6 Untuk mesin utama operasi darurat harus dimungkinkan dalam hal kegagalan turbocharger.

6.2 Pendingin udara pengisian

6.2.1 Sarana harus disediakan untuk mengatur suhu udara pengisian dalam kisaran suhu yang ditentukan oleh pabrik pembuat mesin.

6.2.2 Jalur udara pengisian dari mesin dengan pendingin udara pengisian harus dilengkapi dengan metode pengurasan yang memadai.

6.3 Peralatan pemadam kebakaran

udara yang masuk ke *crosshead engine* yang memiliki koneksi terbuka ke silinder harus terhubung ke sistem pemadaman kebakaran yang disetujui, yang independen dari sistem pemadam kebakaran ruang mesin (lihat [Tabel 12.1](#)).

7. Jalur pipa gas buang

7.1 Jalur pipa gas buang harus terisolasi dan/atau didinginkan sedemikian rupa sehingga suhu permukaan tidak dapat melebihi 220 °C pada kondisi apapun.

insulasi harus dari material yang tak mudah terbakar.

7.2 Peraturan umum yang berkaitan dengan jalur gas buang diatur dalam [Bab 11.M](#).

H. Peralatan Penyalaan

1. Umum

1.1 Peralatan penyalaan mesin harus memungkinkan mesin untuk dinyatakan dari kondisi "dead ship" menurut [Bab 1.D.6.1](#) hanya dengan menggunakan sarana yang tersedia di kapal.

1.2 Sarana harus disediakan untuk memastikan bahwa mesin diesel bantu dan mesin diesel darurat dapat dinyalakan setelah kondisi "black out" dan "dead ship". Hal ini harus dipertimbangkan terutama untuk mesin yang dikontrol secara elektronik (misalnya *common rail*).

2. Penyalaan dengan udara bertekanan

2.1 Sistem udara penyalaan untuk mesin utama harus dilengkapi dengan setidaknya dua kompresor udara penyalaan. Setidaknya satu dari kompresor udara tersebut harus digerakkan secara independen dari mesin utama dan harus dapat menyediakan setidaknya 50% dari total kapasitas yang dibutuhkan.

2.2 Total kapasitas kompresor udara penyalaan harus sedemikian rupa sehingga botol angin penyalaan yang dirancang sesuai dengan [2.4](#) atau [2.5](#), sebagaimana berlaku, dapat diisi dari tekanan atmosfer ke tekanan akhir dalam waktu satu jam.

Normalnya, kompresor dengan kapasitas sama yang harus dipasang.

Hal ini tidak berlaku untuk kompresor udara darurat yang mungkin disiapkan untuk memenuhi persyaratan yang tercantum dalam 1.

2.3 Jika mesin utama dinyalakan dengan udara bertekanan, udara penyalaan yang tersedia harus dibagi antara setidaknya dua botol angin penyalaan dengan ukuran mendekati sama yang dapat digunakan secara independen satu sama lain.

2.4 Total kapasitas botol angin harus cukup untuk menyediakan, tanpa diisi ulang, tidak kurang dari 12 kali penyalaan berturut-turut yang bergantian antara maju dan mundur dari masing-masing mesin utama jenis reversibel, dan tidak kurang dari 6 kali penyalaan dari setiap tipe mesin non-reversibel utama yang terhubung ke sebuah *controlable pitch propeller* atau perangkat lain yang memungkinkan penyalaan tanpa torsi yang berlawanan.

2.5 Untuk instalasi multi-mesin, jumlah operasi penyalaan per mesin dapat dikurangi sesuai dengan konsep perangkat propulsi sesuai yang disepakataidengan BKI, *Guidance for Sea Trial Motor Vessel (Pt. 1, Vol. B)* dapat dipertimbangkan.

2.6 Jika sistem udara penyalaan untuk sistem bantu atau untuk mensuplai peralatan pengaturan dan manuver yang dioperasikan secara pneumatik atau unit tyfon yang disuplai dari botol angin system udara penyalaan utama, perhatian harus diberikan pada konsumsi udara dari peralatan tersebut ketika menghitung kapasitas botol angin udara penyalaan utama

2.7 Pengguna lainnya dengan konsumsi udara yang tinggi selain dari yang disebutkan dalam **2.6** dapat tidak terhubung ke sistem udara awal utama. Persediaan udara terpisah harus disediakan untuk unit-unit ini. Deviasi dari persyaratan ini memerlukan persetujuan dari BKI.

2.8 Jika mesin bantu dinyalakan dengan udara bertekanan, kapasitas udara yang cukup untuk 3 kali penyalaan berturut-turut dari masing-masing mesin bantu harus disiapkan.

2.9 Jika sistem udara penyalaan dari mesin yang berbeda diberikan ke salah satu botol angin, harus dipastikan bahwa tekanan udara botol angin tidak boleh turun di bawah nilai tertinggi dari tekanan udara minimum sistem yang berbeda.

2.10 Perhitungan Perkiraan Suplai udara penyalaan

Untuk perhitungan perkiraan suplai udara awal, rumus berikut dapat digunakan.

2.10.1 Udara penyalaan untuk instalasi dengan mesin reversibel

Dengan asumsi tekanan awal 30 bar dan tekanan akhir 9 bar pada botol angin penyalaan, perhitungan awal suplai udara awal untuk mesin utama reversibel dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$J = a \cdot \sqrt[3]{\frac{H}{D}} \cdot (z + b \cdot p_{e,e} \cdot n_A + 0,9) \cdot V_h \cdot c$$

J = Kapasitas total botol angin penyalaan [dm³]

D = diameter cylinder [mm]

H = Langkah [mm]

V_h = *swept volume* satu silinder (dalam kasus mesin double-acting, *swept volume* dari bagian atas silinder) [dm³]

P_{e,perm} = Tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari botol angin penyalaan [bar]

Z = Jumlah silinder

P_{e,e} = Tekanan kerja efektif rata-rata dalam silinder pada daya rating [bar]

Nilai-nilai "a" berikut yang harus digunakan:

– untuk mesin dua-tak: a = 0,4714

– untuk mesin empat-tak: a = 0,4190

Nilai-nilai "b" berikut yang harus digunakan:

– untuk mesin dua-tak: b = 0,059

- untuk mesin empat-tak: $b = 0,056$

Berikut nilai-nilai "c" yang harus digunakan:

- $c = 1$, dimana $p_{e,perm} = 30$ bar

- $c = \frac{0,00584}{1 - e^{(0,11 - 0,05 \cdot \ln \cdot p_{e,perm})}}$, dimana $p_{e,perm} > 30$ bar, jika tidak ada katup penurun tekanan yang dipasang.

E = Angka Euler (2,718 ...)

dimana $P_{e,perm} > 30$ bar, jika katup penurun tekanan dipasang, yang mengurangi tekanan $p_{e,perm}$ tekanan awal P_A , nilai "c" yang ditunjukkan pada [Gambar 2.7](#) harus digunakan.

Berikut nilai-nilai n_A yang harus diterapkan:

– $n_A = 0,06 \cdot n_0 + 14$ dimana $n_0 \leq 1000$

– $n_A = 0,25 \cdot n_0 - 176$ dimana $n_0 > 1000$

n_0 = rated speed [rpm]

2.10.2 Udara penyalaan untuk instalasi untuk mesin non-reversibel

Untuk setiap mesin utama non-reversibel yang mengerakkan *controlable pitch propeller* atau di mana penyalaan tanpa tahanan torsi memungkinkan dihitung suplai udara penyalaannya dapat dikurangi menjadi $0,5 \cdot J$ meskipun tidak kurang dari yang dibutuhkan untuk 6 kali operasi penyalaan awal.

3. Peralatan penyalaan elektrik

3.1 Jika mesin utama dinyalakan secara elektrik, dua baterai penyala yang saling independen harus dipasang. Baterai harus sedemikian rupa sehingga dua baterai tersebut tidak dapat terhubung secara paralel satu sama lain. Setiap baterai harus dapat mengaktifkan mesin utama dari kondisi dingin.

Total kapasitas baterai penyala harus cukup untuk operasionali selama 30 menit, tanpa mengisi ulang baterai, dari jumlah yang sama dari operasi penyalaan seperti yang ditentukan dalam [2.4.](#) atau [2.5](#) untuk penyalaan dengan udara bertekanan.

3.2 Jika dua atau lebih mesin bantu dinyalakan secara elektrik, setidaknya dua baterai yang saling independen harus disediakan. Jika baterai penyala untuk mesin utama dipasang, penggunaan baterai tersebut dapat diterima.

Kapasitas baterai harus cukup untuk setidaknya tiga operasi penyalaan per mesin.

Jika hanya salah satu mesin bantu yang dinyalakan secara elektrik, satu baterai sudah cukup.

3.3 Baterai penyala hanya dapat digunakan untuk penyalaan (dan pemanasan awal jika berlaku) dan untuk peralatan pemantauan yang merupakan bagian dari mesin.

3.4 Langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa baterai terus diisi dan tingkat pengisian termonitor.

4. Penyalaan genset darurat

4.1 Genset darurat harus didesain sedemikian sehingga dapat dinyalakan dengan mudah meskipun pada suhu 0 °C.

Jika genset dapat dinyalakan hanya pada suhu yang lebih tinggi, atau di mana ada kemungkinan bahwa suhu lingkungan yang lebih rendah dapat terjadi, peralatan pemanas harus dipasang untuk memastikan kesiapan penyalaan yang handal.

Kesiapan operasional dari genset harus dijamin dalam semua kondisi cuaca dan pelayaran. Pemadam api yang diperlukan dalam bukaan inlet dan outlet udara hanya dapat ditutup dalam kasus kebakaran dan harus tetap terbuka pada setiap waktu yang lain. Tanda-tanda peringatan untuk efek ini harus dipasang. Dalam kasus aktuasi pemadam api otomatis tergantung pada operasi dari genset, tanda-tanda peringatan tidak diperlukan. Bukaan inlet dan outlet udara tidak boleh dipasangi dengan penutup tahan cuaca.

4.2 Setiap genset darurat yang diharuskan untuk mampu menyala otomatis harus dilengkapi dengan sistem penyalaan otomatis yang disetujui oleh BKI, kapasitas yang cukup untuk setidaknya tiga penyalaan berturut-turut (bandingkan dengan [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 7. D .6.](#)).

Selain itu, sumber energi kedua harus disiapkan yang mampu untuk tiga operasi penyalaan lebih lanjut dalam waktu 30 menit. Persyaratan ini tidak berlaku jika genset dapat dinyalakan secara manual.

4.3 Untuk menjamin ketersediaan peralatan penyalaan, langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa sistem penyalaan elektrik dan hidrolik dipasok dengan energi dari panel listrik darurat;

Sistem udara awal terkompresi dipasok melalui katup jenis *non-return valve* dari penerima kompresi udara utama dan bantu atau dengan kompresor udara darurat yang energinya dipasok melalui panel listrik darurat; dan

Peralatan penyalaan, pengisian dan penyimpanan energi diletakkan di ruang genset darurat.

4.4 Ketika penyalaan otomatis tidak ditentukan, sistem penyalaan manual yang handal dapat digunakan, misalnya dengan menggunakan engkol tangan, penyalaan pegas, penyalaan hidrolik yang dioperasikan dengan tangan atau penyala yang menggunakan kartrid pengapian.

4.5 Jika penyalaan manual langsung tidak memungkinkan, sistem penyalaan sesuai dengan [4.2](#) dan [4.3](#) harus disiapkan, dimana dalam hal operasi penyalaan dapat dinyalakan secara manual.

4.6 Penyala genset darurat harus digunakan hanya untuk tujuan menyalakan genset darurat.

5. Penyalaan pemadam kebakaran darurat

5.1 Mesin diesel penggerak pompa kebakaran darurat harus didesain sedemikian sehingga mesin tersebut masih bisa dinyalakan dengan handal dengan tangan pada suhu 0 °C.

Jika mesin dapat dinyalakan hanya pada suhu yang lebih tinggi, atau di mana ada kemungkinan bahwa suhu yang lebih rendah mungkin terjadi, peralatan pemanas harus dipasang untuk memastikan penyalaan yang handal.

5.2 Jika penyalaan manual menggunakan engkol tangan tidak memungkinkan, pemadam kebakaran darurat harus dilengkapi dengan perangkat penyalaan yang disetujui oleh BKI yang memungkinkan setidaknya 6 penyalaan yang dilakukan dalam waktu 30 menit, dua diantaranya dilakukan dalam 10 menit pertama.

I. Peralatan Kontrol

1. Umum

Untuk instalasi mesin tak berawak, [Rules for Automations \(Pt. 1, Vol.VII\)](#), harus diperhatikan di samping persyaratan sebagai berikut.

2 Mesin utama

2.1 Stasiun kontrol lokal

Untuk operasi lokal tanpa kontrol jarak jauh dari perangkat propulsi, stasiun kontrol lokal harus dipasang pada tempat sistem dapat dioperasikan dan dipantau.

2.1.1 Indikator sesuai dengan [Tabel 2.6](#) harus diletakkan dengan jelas di stasiun kontrol lokal mesin utama.

2.1.2 Indikator suhu harus disediakan di stasiun kontrol lokal atau langsung pada mesin.

2.1.3 Dalam kasus roda gigi dan sistem *controllable pitch propeller*, indikator kontrol lokal dan peralatan kontrol yang diperlukan untuk operasi darurat harus dipasang di stasiun kontrol lokal mesin utama.

2.1.4 Rentang kecepatan kritis harus ditandai dengan warna merah pada tachometer.

2.2 Pusat kontrol/ruang kontrol permesinan

Untuk instalasi permesinan yang dioperasikan atau dikendalikan dari jarak jauh, indikator yang tercantum dalam [Tabel 2.6](#) harus dipasang, lihat [Rules for Automations \(Pt. 1, Vol. VII\), Sec. 5.A](#).

2.3 Anjungan/pusat navigasi

2.3.1 Parameter operasi yang penting untuk sistem propulsi harus disediakan di area stasiun kontrol.

2.3.2 Peralatan kontrol yang berdiri sendiri berikut harus dipasang untuk menunjukkan:

- kecepatan/arah putaran mesin utama
- kecepatan/arah rotasi sistem poros
- propeller pitch (*controllable pitch propeller*)
- tekanan udara awal
- tekanan udara kontrol

2.3.3 Dalam kasus instalasi mesin dengan total output hingga 600 kW, penyederhanaan (*simplification*) dapat disepakati dengan BKI.

3. Mesin bantu dan darurat

System kontrol menurut [Tabel 2.6](#) harus disediakan sebagai persyaratan minimum pada mesin.

J. Alarm

1. Umum

1.1 Persyaratan berikut berlaku untuk instalasi mesin yang telah dirancang untuk operasi konvensional tanpa level otomatisasi apapun. Selanjutnya, untuk rincian tata letak alarm dan sistem keamanan dan instalasi mesin otomatis, [Rules for Automations \(Pt. 1, Vol.VII\)](#), harus diperhatikan.

1.2 Dalam konteks persyaratan ini, kata alarm harus dipahami sebagai peringatan visual dan suara pada parameter operasi yang tidak normal.

2. Cakupan alarm

Alarm harus disediakan untuk mesin utama, bantu dan darurat sesuai dengan [Tabel 2.6](#).

K. Keselarasan Mesin/Dudukan

1. Mesin harus dipasang dan diamankan ke pondasi kapal sesuai dengan [Guidance for Seating of Diesel Engine Installation \(Pt.1, Vol.U\) Sec. 4. D .5.8.](#)

2. Kesegaranan crankshaft harus diperiksa setiap kali mesin telah segaris pada pondasinya dengan pengukuran defleksi web engkol dan/atau dengan cara lain yang sesuai.

Untuk tujuan kesegaranan berikutnya, catatan harus diambil mengenai:

- Kondisi sarat/beban kapal,
- Kondisi mesin dingin/dipanaskan/panas.

3. Jika pabrik pembuat mesin belum menentukan nilai untuk defleksi web engkol yang diperbolehkan, penilaian harus sesuai pada point 4.

4. Nilai referensi untuk defleksi web engkol

4.1 Terlepas dari nilai defleksi web engkol yang dikutip oleh pabrik pembuat dari berbagai jenis mesin, nilai acuan untuk menilai defleksi web engkol dalam kaitannya dengan panjang defleksi r_0 dapat diambil dari [Gambar 2.3](#).

Asalkan nilai-nilai tersebut tidak melebihi, dapat diasumsikan bahwa crankshaft maupun bantalan crankshaft tidak mengalami tekanan tambahan apapun yang tidak dapat diterima.

4.2 Catatan pada pengukuran defleksi web engkol

Defleksi web engkol harus diukur pada jarak

$$R + \frac{dw}{2}$$

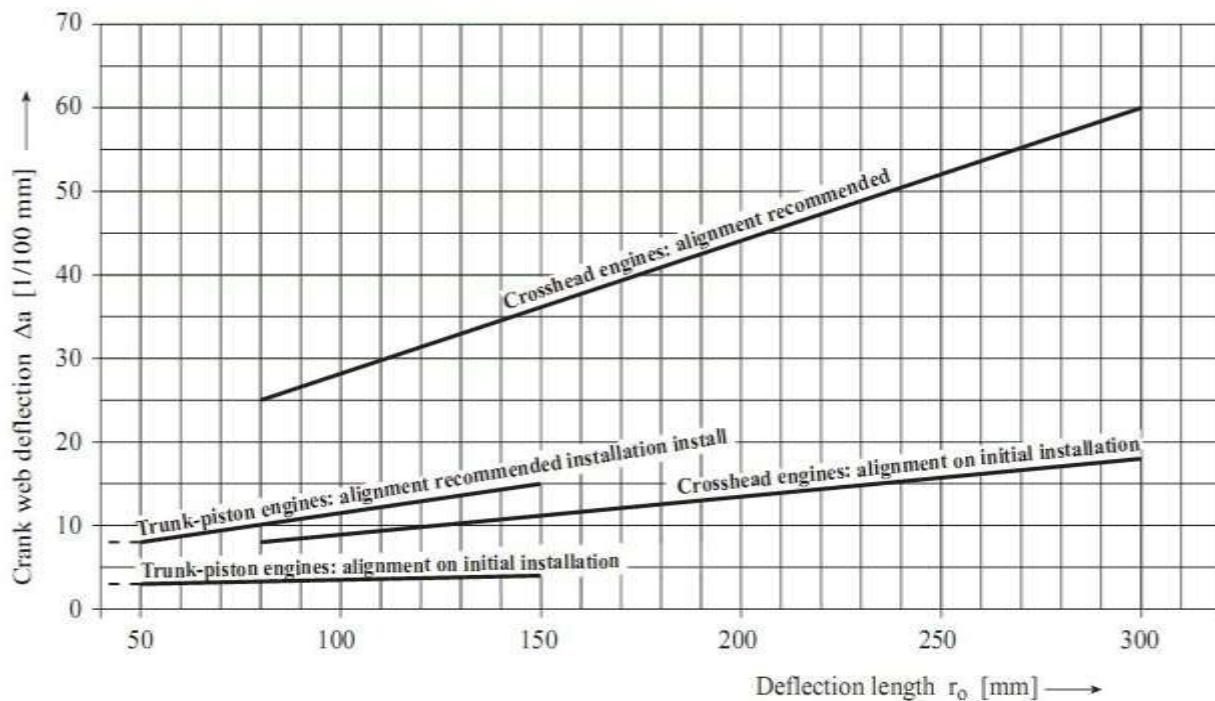
dari garis tengah pena engkol (lihat [Gambar 2.4](#))

Defleksi web engkol Δ_a hanya bermakna jika diukur antara posisi engkol berlawanan (lihat [Gambar 2.4](#)), yaitu antara 0-3 untuk mengevaluasi kesegaranan vertikal dan lokasi bantalan, dan antara 2 - 4 untuk mengevaluasi displasemen bantalan lateral ketika melakukan kesegaranan crankshaft dan menilai keausan bantalan. Untuk mengukur titik 0, yang terhalang oleh batang penghubung, nilai rata-rata dari pengukuran yang dilakukan pada 1' dan 1" harus diterapkan.

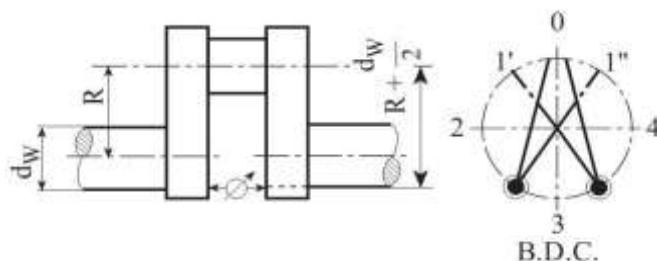
4.3 Penentuan panjang defleksi web engkol

Catatan penjelasan mengenai:

- *solid forged and drop forged crankshaft* pada [Gambar 2.5](#), sub gambar A, B dan C;
- *Crankshaft* setengah jadi, sub gambar D.



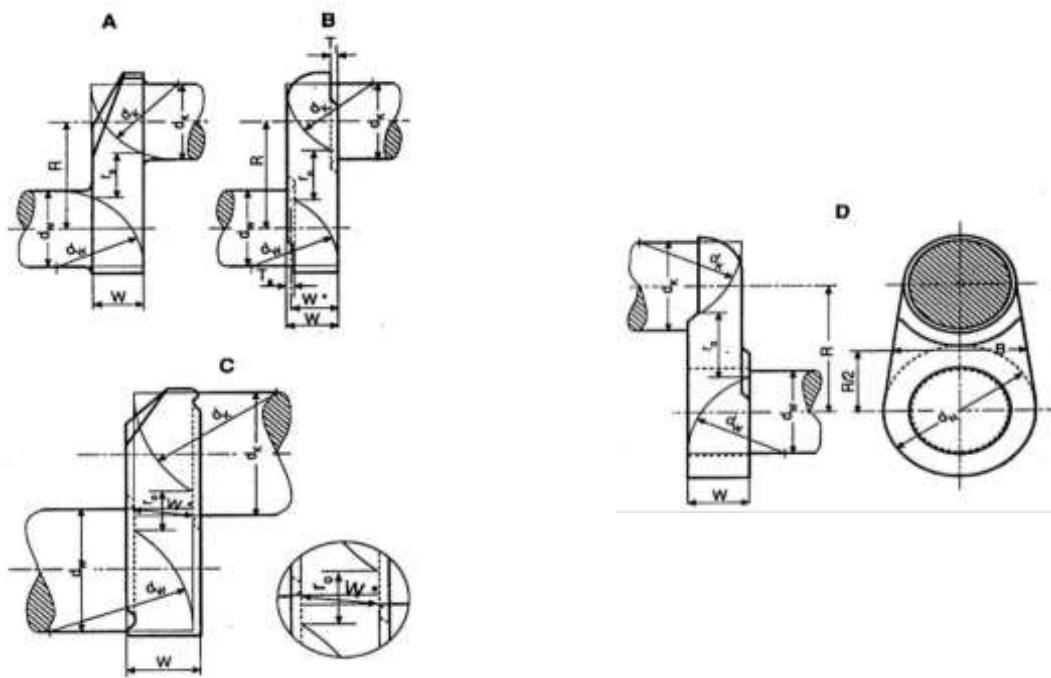
Gambar 2.3 Nilai referensi untuk defleksi web engkol



Gambar 2.4 Pengukuran defleksi web engkol

Simbol:

- R = Radius engkol [mm]
- H = Langkah ($2R$) [mm]
- d_k = Diameter pin engkol [mm]
- d_w = Diameter jurnal [mm]
- d_N = Diameter shrink annulus [mm]
- W = Ketebalan web aksial [mm]
- B = Lebar web pada jarak $R/2$ [mm]
- T_i = Kedalaman undercut web (di sisi pin engkol) [mm]
- T_a = Kedalaman undercut web (di sisi jurnal) [mm]



Gambar 2.5 Jenis poros engkol tempa (A, B dan C) dan setengah jadi (D)

$$\begin{aligned} s &= \text{Overlap pin/jurnal [mm]} \\ &= \frac{(d_k + d_w)}{2} - R \end{aligned}$$

Jika pin/jurnal negatif overlap ($s < 0$), panjang defleksi r_o sesuai dengan sub gambar A ditentukan dengan rumus:

$$r_o = 0,5 (H + d_k + d_w) - W \left(\sqrt{\frac{2d_k}{w}} - 1 + \sqrt{\frac{2d_w}{w}} - 1 \right) \quad (1)$$

Untuk kasus web *undercut*, W dalam rumus (1) harus diganti dengan:

$$W^* = W - \frac{(T_i + T_a)}{2} \quad (2)$$

Untuk kasus *cranksfahft* setengah jadi sesuai dengan sub gambar D, nilai d_w di radikan rumus (1) harus diganti dengan:

$$d_w^* = \frac{1}{3} (d_N - d_w) + d_w \quad (3)$$

Untuk kasus undercut web, W^* juga harus diganti untuk W sesuai dengan rumus (2).

Jika pin/jurnal positif overlap ($s \geq 0$) menurut sub gambar C, nilai W dalam rumus (1) harus diganti dengan:

$$W^* = \sqrt{(W - T_i - T_a)^2 + [0,5(d_k + d_w - H)]^2} \quad (4)$$

Untuk desain konvensional, di mana:

$B/d_w = 1,37 - 1,51$ untuk kasus *solid forged crankshaft*, dan

$B/d_w = 1,51 - 1,63$ dalam kasus *crankshaft* setengah jadi, pengaruh B di perhitungan normal r_o sudah diperhitungkan dalam nilai-nilai Δa pada [Gambar 2.3](#)

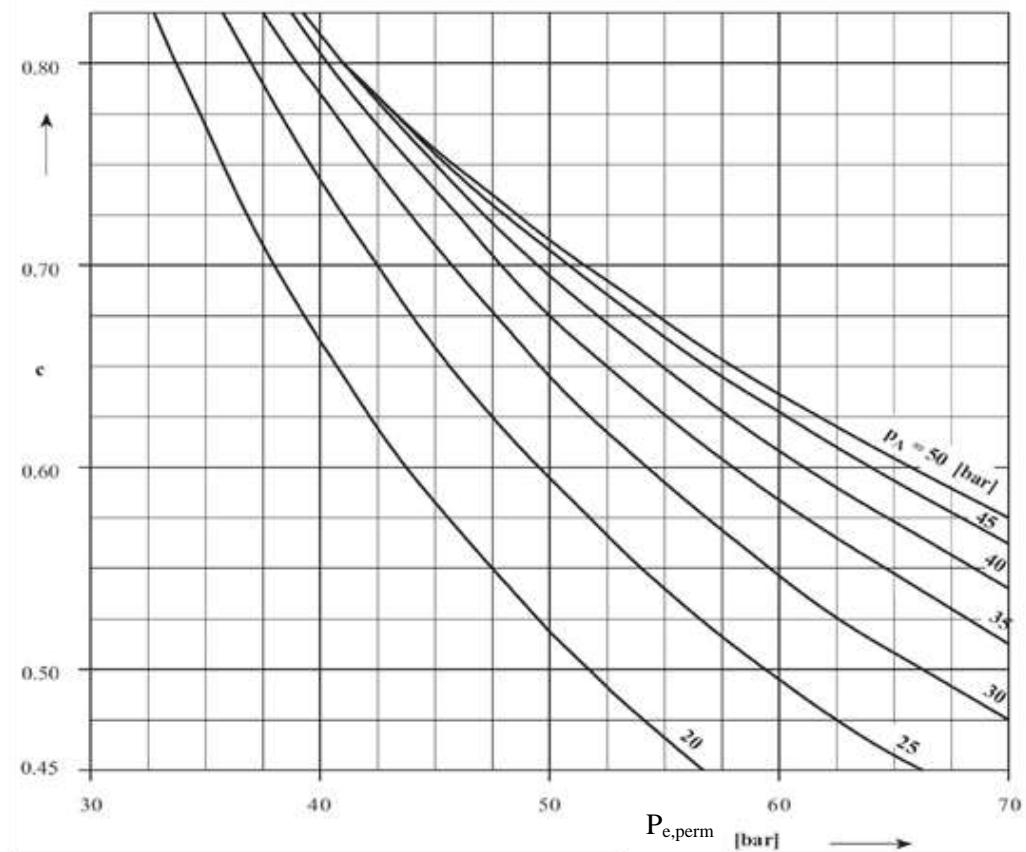
Jika nilai-nilai B/d_w berasal dari atas (misalnya dalam kasus web cakram oval dll), pengaruh penguat yang merupakan efek dari B diizinkan oleh ketebalan web fiktif W^{**} yang harus dihitung dengan menggunakan persamaan berikut dan harus disubtitusi untuk W dalam rumus (1):

$$W^{**} = W^* \sqrt[3]{\frac{B}{d_w} - 0,44} \quad (5)$$

untuk *solid forged crankshaft*

$$W^{**} = W^* \sqrt[3]{\frac{B}{d_w} - 0,57} \quad (6)$$

atau *crankshaft* setengah jadi



Gambar 2.6 Nilai "c" jika katup penurun tekanan dipasang

L. Perhitungan Perkiraan Suplai Udara Penyalaan

Perhitungan ini terintegrasi pada [H.2.10](#).

M. Kompresor Udara

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan ini berlaku untuk kompresor torak jenis penggunaan marine secara umum. Jika dimaksudkan untuk memasang kompresor dimana persyaratan dan rumus perhitungan berikut tidak dapat diterapkan, BKI memerlukan bukti kesesuaian compressor tersebut untuk penggunaannya di kapal.

1.2 Dokumen untuk persetujuan

Gambar-gambar yang menunjukkan potongan longitudinal dan transversal, crankshaft dan batang penghubung harus diserahkan kepada BKI untuk setiap jenis kompresor. Dokumen harus diserahteran dalam bentuk format elektronik untuk persetujuan.

2. Material

2.1 Material yang disetujui

Secara umum, crankshaft dan batang penghubung dari kompresor torak harus terbuat dari baja, baja cor atau besi cor nodular. Penggunaan paduan besi cor khusus harus disepakati dengan BKI2.2 Pengujian material

Uji material harus dilakukan pada engkol dengan diameter pin engkol yang terhitung $> 50 \text{ mm}$. Untuk diameter pin engkol $\leq 50 \text{ mm}$, Sertifikat Pemeriksaan pabrik pembuat sudah cukup.

3. Dimensi poros engkol

3.1 Diameter dari jurnal dan pin engkol harus ditentukan sebagai berikut:

$$d_k = 0,126 \cdot \sqrt[3]{D^2 \cdot p_c \cdot C_1 \cdot C_w \cdot (2 \cdot H + f \cdot L)}$$

Dimana:

d_k = Diameter Minimum pin/jurnal [mm]

D = Bore silinder untuk *single stage compressor* [mm]

= D_{Hd} Bore silinder dari tahap kedua pada *two-stage compressor* dengan piston terpisah

= $1,4 \cdot D_{Hd}$ untuk kompresor dua tahap dengan piston langkah seperti pada [Gambar 2.7](#)

= $\sqrt{(D_{Nd})^2 - (D_{Hd})^2}$ untuk kompresor dua tahap dengan piston diferensial seperti pada [Gambar 2.8](#)

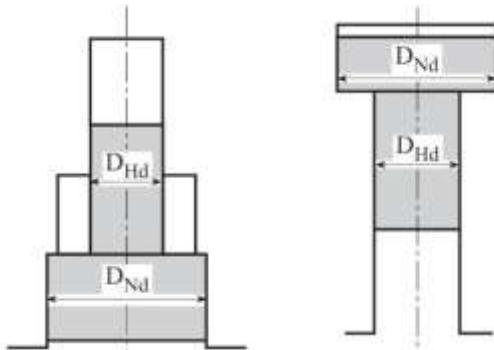
p_c = Tekanan desain PR, berlaku hingga 40 bar [bar]

H = Langkah piston [mm]

L = Jarak antara titik pusat bantalan utama di mana satu engkol terletak di antara dua bantalan. L harus diganti dengan $L_1 = 0,85 \cdot L$ dimana dua engkol pada sudut yang berbeda berada diantara dua bantalan utama, atau dengan $L_2 = 0,95 \cdot L$ dimana 2 atau 3 batang penghubung dipasang pada satu engkol [mm]

- f = 1,0, jika silinder segaris
= 1,2, jika silinder berada di 90° untuk jenis V atau W
= 1,5, jika silinder pada 60° untuk jenis V atau W
= 1,8, jika silinder berada di 45° untuk jenis V atau W
- C_1 = Koefisien menurut [Tabel 2.7](#)
- z = Jumlah silinder
- C_w = Faktor bahan sesuai dengan [Tabel 2.8](#) atau [2.9](#).
- R_m = Kekuatan tarik minimum [N/mm^2]

3.2 Jika peningkatan kekuatan dicapai dengan konfigurasi yang baik dari crankshaft, nilai-nilai yang lebih kecil dari d_k dapat disetujui.



Gambar 2.7

Gambar 2.8

Tabel 2.7 Nilai dari C_1

z	1	2	4	6	≥ 8
C_1	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

Tabel 2.8 Nilai dari C_w untuk poros baja

R_m	C_w
400	1,03
440	0,94
480	0,91
520	0,85
560	0,79
600	0,77
640	0,74
≥ 680	0,70
720 ¹⁾	0,66
$\geq 760^{1)}$	0,64

¹⁾ Hanya untuk drop-forged crankshafts

Tabel 2.9 Nilai dari C_w untuk poros besi cor nodular

R_m	C_w
370	1,20
400	1,10
500	1,08
600	0,98
700	0,94
≥ 800	0,90

4. Konstruksi dan peralatan

4.1 Umum

4.1.1 Dimensi pendingin harus didasarkan pada suhu air laut setidaknya 32 °C dalam kasus pendingin air, dan pada suhu udara setidaknya 45 °C dalam kasus pendingin udara, kecuali suhu yang lebih tinggi ditentukan oleh kondisi temperatur menurut jalur pelayaran atau dengan lokasi kompresor atau intake udara pendingin.

Jika pendingin air tawar digunakan, suhu inlet air pendingin tidak boleh melebihi 40 °C

4.1.2 Kecuali mereka mempunyai pembuangan terbuka, ruang air pendingin kompresor dan pendingin harus dilengkapi dengan katup pengaman atau *rupture disc* dengan luas penampang yang cukup.

4.1.3 Pendingin udara tahap tekanan tinggi harus tidak berada di ruang air pendingin kompresor.

4.2 Katup pengaman dan alat pengukur tekanan

4.2.1 Setiap *compressor stage* harus dilengkapi dengan katup pengaman yang sesuai yang tidak dapat terblokir dan yang mencegah tekanan kerja maksimum yang diizinkan terlampaui lebih dari 10% bahkan ketika jalur pipa telah dimatikan. Pengaturan katup pengaman harus diamankan untuk mencegah perubahan yang tidak terotorisasi.

4.2.2 Setiap *compressor stage* harus dilengkapi dengan pengukur tekanan yang sesuai, skala harus menunjukkan tekanan kerja maksimum relevan yang diijinkan.

4.2.3 Jika satu *compressor stage* terdiri dari beberapa silinder yang dapat dimatikan secara individual, masing-masing silinder harus dilengkapi dengan katup pengaman dan pengukur tekanan.

4.3 Kompresor udara dengan ruang tekanan berpelumas minyak

4.3.1 Suhu udara terkompresi, diukur secara langsung pada pembuangan dari stage individu, tidak dapat melebihi 160 °C untuk kompresor multi stage atau 200 °C untuk kompresor stage tunggal. Untuk tekanan buang hingga 10 bar, suhu dapat lebih tinggi dari 20 °C.

4.3.2 Kompresor dengan konsumsi daya lebih dari 20 kW harus dilengkapi dengan termometer di sambungan buangan individu, di mana pun hal ini memungkinkan. Jika hal ini tidak dilakukan, termometer harus dipasang pada ujung inlet dari jalur tekanan. Termometer harus ditandai dengan suhu maksimum yang diizinkan.

4.3.3 Setelah stage akhir, semua kompresor harus dilengkapi dengan sebuah *water trap* dan sebuah *aftercooler*.

4.3.4 *Water traps*, *aftercooler* dan ruang udara terkompresi antar stage harus dilengkapi dengan perangkat pembuangan pada titik-titik terendahnya.

4.4 Pelat nama

Setiap kompresor harus mempunyai pelat nama dengan informasi berikut:

- Pabrik pembuat
- Tahun pembuatan
- Laju hisap efektif [m^3/h]
- Tekanan buang [bar]
- Kecepatan [Rpm]
- Konsumsi daya [kW].

5. Uji

5.1 Uji tekanan

5.1.1 Silinder dan pelapis silinder harus dikenakan uji tekanan hidrolik pada 1,5 kali tekanan akhir dari stage yang bersangkutan.

5.1.2 Ruang udara terkompresi dari *intercooler* dan *aftercoolers* kompresor udara harus menjalani uji tekanan hidrolik pada 1,5 kali tekanan akhir dari stage yang bersangkutan.

5.2 pengujian dan Inspeksi akhir

Kompresor harus dikenai uji kinerja di bengkel pabrik pembuat di bawah pengawasan BKI dan harus ditunjukkan untuk pemeriksaan akhir.

N. Sistem Pembersihan Gas Buang

1. Umum

Sistem pembersihan gas buang harus memenuhi persyaratan statutoria yang berlaku. Dalam hal persyaratan kapal Samudra yang diatur dalam Konvensi MARPOL serta Pedoman lanjut IMO, sejauh berlaku, harus ditaati. Dalam hal sistem pembersihan gas buang basah (sistem scrubber) IMO Resolution MEPC.184 (59) berlaku.

1.1 Aplikasi

Persyaratan berikut berlaku untuk sistem pembersihan gas buang yang mengurangi jumlah nitrogen oksida (NOx), oksida sulphur (SOx) atau bahan partikulat dari gas buang mesin pembakaran dalam, insinerator atau ketel uap.

2. Persetujuan

Jika sistem pembersihan gas buang dipasang, rincian pengaturan dan deskripsi fungsi harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan. Untuk memfasilitasi proses persetujuan yang efisien, dokumen dapat disampaikan secara format elektronik untuk persetujuan..

2.1 Dokumen untuk persetujuan

Untuk persetujuan, gambar-gambar yang menunjukkan dimensi utama dari sistem harus diajukan termasuk dokumentasi berkaitan dengan persyaratan instalasi, konsep keselamatan yang menangani desain, masalah operasional dan fitur operasional. Sebuah manual operasi harus mencakup instruksi untuk pemeliharaan,

verifikasi parameter yang menunjukkan kebutuhan untuk pembersihan atau penggantian dan instruksi untuk operasi darurat, jika berlaku.

2.2 Sertifikat persetujuan

Setelah penilaian dokumen yang diperlukan sukses dan kesimpulan keberhasilan uji kapal di hadapan Surveyor BKI, BKI akan menerbitkan Sertifikat Persetujuan.

3. Layout

3.1 Tata letak dan instalasi sistem

Sistem pembersihan gas buang harus terpisah untuk setiap mesin pembakaran atau perangkat pembakaran sebagai prinsip dasar. Persyaratan umum penggunaan bahan yang mudah terbakar dan perlindungan kebakaran struktural harus diperhatikan. Ekspansi termal dari sistem dan koneksi mekaniknya baik ke struktur kapal maupun ke pipa buang harus dipertimbangkan. Persyaratan untuk jalur gas buang yang diatur dalam Bab 11.M harus dipertimbangkan. Sistem setelah perlakuan harus dilengkapi dengan setidaknya satu lubang inspeksi. Pengecualian dapat diberikan untuk aplikasi mesin dengan silinder kecil dan kecepatan tinggi yang diproduksi massal. Sistem pembersihan gas buang harus dapat diakses untuk pemeriksaan dan pemeliharaan. Penggantian atau penghapusan komponen internal harus memungkinkan jika berlaku.

3.2 Konsep Keselamatan

Konsep keselamatan adalah dokumen yang menjelaskan bahaya yang terkait dengan desain dan pengoperasian sistem pembersihan gas buang bersama dengan langkah-langkah yang sesuai untuk mengendalikan bahaya yang teridentifikasi. Konsep keselamatan harus menjadi dokumen mandiri yang meliputi:

- Deskripsi sistem dengan diagram skematik dari tata letak sistem
- Analisis bahaya untuk desain dan aspek operasional dari sistem pembersihan gas buang. Analisis harus membahas antara lain:
 - Sistem air tawar dan air laut (misalnya suhu tinggi/rendah, penyumbatan sistem, banjir)
 - Proses kimia (misalnya penyimpanan, ventilasi, suhu tinggi/rendah)
 - Sistem perpipaan gas buang (misalnya fluktuasi tekanan)
 - Bahaya kebakaran
 - Pemilihan material
 - Gerakan kapal
 - Langkah-langkah pengendalian untuk semua bahaya yang teridentifikasi

3.3 Bypass

Jika sistem pembersihan gas buang dipasang dengan mesin proporsi utama tunggal dengan sebuah bypass, yang dikendalikan dengan katup penutup atau perangkat pemotong yang sesuai lainnya, diperlukan untuk memungkinkan operasi mesin tak terbatas dalam hal terjadi kegagalan sistem. Bypass harus dirancang untuk aliran maksimum massa gas buang pada beban mesin penuh.

Dalam kasus sistem pembersihan gas buang dipasang pada mesin dengan perangkat multi mesin, sebuah sistem bypass dapat ditiadakan.

3.4 Kehilangan tekanan tambahan

Kehilangan tekanan total dalam sistem gas buang, termasuk hilangnya tekanan tambahan dari sistem pembersihan gas buang, harus tidak melebihi tekanan balik gas buang maksimum yang diijinkan sebagaimana ditentukan oleh pabrik pembuat mesin pada setiap kondisi beban.

3.5 Tekanan gas maksimum

Tekanan maksimum dalam sistem pipa buang seperti yang ditentukan oleh pabrik pembuat tidak boleh terlampaui. Perawatan harus dilakukan khususnya ketika sistem pembersihan gas buang terletak di hulu turbocharger dari mesin pembakaran (misalnya sistem Selective Catalytic Reduction dalam hubungannya dengan mesin diesel 2-tak bore besar).

3.6 Karakteristik osilasi kolom gas buang

Instalasi dan operasi sistem pembersihan gas buang tidak boleh memiliki efek buruk pada karakteristik osilasi kolom gas buang mesin pembakaran dalam untuk menghindari operasi mesin yang tidak aman.

3.7 Deposisi jelaga

Deposisi jelaga di dalam atau di dekat sistem pembersihan gas buang harus dihindari. Jika hal ini dapat menyebabkan bahaya kebakaran tambahan, pengendapan jelaga tidak dapat diterima.

3.8 Getaran dalam sistem perpipaan

Desain dan instalasi sistem pembersihan gas buang termasuk sistem perpipaan gas buang harus mempertimbangkan getaran yang disebabkan oleh mesin kapal, getaran dari gas buang atau getaran yang ditransmisikan melalui struktur kapal untuk mencegah kerusakan mekanis sistem perpipaan. Pertimbangan harus diberikan untuk instalasi sistem peredam dan/atau kompensator.

3.9 Monitoring parameter pengoperasian

Parameter pengoperasian utama dari sistem pembersihan gas buang harus dimonitor dan harus berfungsi sebagai indikator untuk kemungkinan adanya kelainan. Minimal, parameter pengoperasian berikut harus dimonitor:

- Temperatur gas hulu dari sistem pembersihan gas buang
- Temperatur gas hilir dari sistem pembersihan gas buang
- Penurunan tekanan pada sistem pembersihan gas buang
- Tekanan balik gas buang mesin
- Posisi katup penutup

4. Material

Semua material dari sistem pembersihan gas buang, pipa penghubung dan unit dosis agen kimia reaktif harus dari material yang tidak mudah terbakar. Jika pipa plastik dimaksudkan untuk digunakan dalam sistem penyaring basah, persyaratan di Bab 11.B.2.6 berlaku. Persyaratan yang berkaitan dengan jalur gas buang sebagaimana tercantum dalam Bab 11.M harus diperhatikan, sebagaimana berlaku.

5. Penanganan zat proses berbahaya

5.1 Larutan urea untuk SCR dan Penyimpanan

5.11 Reduktor menggunakan amonia berbasis urea (misalnya larutan urea/air 40%/60%)

.1 Ketika amonia berbasis urea (misalnya AUS 40 - larutan urea berair yang ditentukan dalam ISO 18611-1) digunakan, tangki penyimpanan harus diatur sehingga setiap kebocoran akan tertahan dan dicegah dari kontak dengan permukaan yang panas. Semua pipa atau penetrasi tangki lainnya harus dilengkapi dengan katup penutup manual yang melekat pada tangki. Pengaturan tangki dan perpipaan harus disetujui.

.2 Tangki penyimpanan dapat ditempatkan di dalam ruang mesin.

.3 Tangki penyimpanan harus dilindungi dari suhu yang terlalu tinggi atau rendah yang dapat terjadi pada konsentrasi larutan tertentu. Tergantung pada area operasional kapal, hal ini mungkin memerlukan pemasangan pemanas dan/atau sistem pendingin. Kondisi fisik yang direkomendasikan oleh standar yang berlaku dan diakui (seperti ISO 18611-3) harus diperhitungkan untuk memastikan bahwa isi dari tangki urea berair dipertahankan untuk menghindari gangguan apa pun dari solusi urea selama penyimpanan.

.4 Jika tangki penyimpanan urea dipasang dalam kompartemen tertutup, area tersebut harus dilayani oleh suplai mekanis yang efektif dan sistem ventilasi pembuangan yang menyediakan tidak kurang dari 6 perubahan udara per jam yang terpisah dari sistem ventilasi akomodasi, ruang layanan, atau stasiun kontrol. Sistem ventilasi harus dikontrol dari luar kompartemen dan harus dipertahankan beroperasi secara terus menerus kecuali ketika tangki penyimpanan kosong dan telah benar-benar dibersihkan dengan udara. Jika ventilasi berhenti, alarm suara dan visual harus disediakan di luar kompartemen yang berdekatan dengan setiap titik masuk dan di dalam kompartemen, bersama dengan pemberitahuan peringatan yang mengharuskan penggunaan ventilasi tersebut.

.5 Setiap tangki penyimpanan urea harus dilengkapi dengan pengaturan monitor suhu dan level. Alarm level tinggi dan rendah bersama dengan alarm suhu tinggi dan rendah juga harus disediakan.

.6 Ketika *ammonia solution* berbasis urea disimpan dalam tangki tak terpisahkan, berikut ini harus dipertimbangkan selama desain dan konstruksi:

- 1) Tangki-tangki ini dapat dirancang dan dibangun sebagai bagian tak terpisahkan dari lambung kapal, (misalnya dasar ganda, tangki sayap).
- 2) Tangki-tangki ini harus dilapisi dengan lapisan anti korosi yang tepat dan tidak ditempatkan berdekatan dengan setiap tangki bahan bakar dan tangki air tawar.
- 3) Tangki-tangki ini harus dirancang dan dibangun sesuai persyaratan struktural yang berlaku untuk lambung dan bagian pendukung utama untuk konstruksi *deep tank*
- 4) Tangki-tangki ini harus dilengkapi dengan tetapi tidak terbatas pada alat pengukur level, pengukur suhu, alarm suhu tinggi, alarm tingkat rendah, dll.
- 5) Tangki-tangki ini harus dimasukkan dalam perhitungan stabilitas kapal.

.7 Sistem perpipaan dan ventilasi *reductant* harus terpisah dari perpipaan dan/atau sistem layanan kapal lainnya. Sistem perpipaan *reductant* tidak dapat ditempatkan di akomodasi, ruang layanan, atau stasiun kontrol. Pipa ventilasi dari tangki penyimpanan harus berakhir di lokasi yang aman di dek cuaca dan sistem ventilasi tangki harus diatur untuk mencegah masuknya air ke tangki urea.

.8 Sistem perpipaan, tangki, dan komponen lain yang berhubungan dengan *reductant* yang mungkin bersentuhan dengan larutan *reductant* harus mempunyai kesesuaian dari bahan kompatibel yang tidak mudah terbakar yang ditetapkan agar sesuai untuk aplikasi.

.9 Untuk melindungi kru kapal, kapal harus memiliki peralatan pelindung personil yang sesuai. Pencuci mata dan *safety showers* harus disediakan, lokasi dan jumlah dari stasiun pencuci mata dan *safety shower* ini harus diperoleh dari pengaturan instalasi yang detail.

.10 Tangki penyimpanan urea harus diatur sehingga tangki tersebut dapat dikosongkan dari urea, dibersihkan dan dibuang.

5.2 Reductant menggunakan aqueous ammonia (konsentrasi amonia 28% atau kurang)

Aqueous ammonia tidak dapat digunakan sebagai reductant dalam SCR (*Selective Catalytic Reduction*) kecuali jika dapat ditunjukkan bahwa sistem tersebut tidak praktis untuk menggunakan reductant berbasis urea. Jika suatu aplikasi dibuat untuk menggunakan Aqueous ammonia sebagai reductant maka pengaturan untuk pemuatan, pengangkutan dan penggunaannya harus berbasis analisis risiko.

5.3 Reductant menggunakan anhydrous ammonia (99,5% atau konsentrasi amonia yang lebih besar berdasarkan berat)

Anhydrous ammonia tidak dapat digunakan sebagai reductant dalam SCR kecuali jika dapat ditunjukkan bahwa sistem tersebut tidak praktis untuk menggunakan reductant berbasis urea dan jika pihak Administrasi Negara Bendera setuju untuk penggunaannya. Ketika tidak praktis untuk menggunakan reductant urea maka itu juga harus dibuktikan bahwa sistem tersebut tidak praktis untuk menggunakan Aqueous ammonia. Ketika aplikasi dibuat untuk menggunakan anhidrat amonia sebagai reductant maka pengaturan untuk pemuatan, pengangkutan dan penggunaannya harus berbasis analisis risiko.

5.4 Larutan natrium hidroksida (NaOH) untuk penyaring basah

Tangki dapat dari jenis yang terintegrasi atau independen. Tangki dapat menjadi bagian dari lambung kapal.

Bahan struktural yang digunakan untuk konstruksi tangki, bersama-sama dengan pipa, pompa, katup, ventilasi yang terkait dan bahan sambungan harus terbuat dari baja tahan karat atau baja karbon dengan kelonggaran karat yang diijinkan. Untuk suhu di atas 50 °C bahan konstruksi yang disarankan adalah baja tahan karat. Tidak ada aluminium, seng atau bagian baja galvanis yang dapat digunakan.

Tangki-tangki harus dilengkapi dengan sebuah sistem pemanas.

Tangki-tangki harus dilengkapi dengan alarm suhu dan level tinggi (95 %) dan perangkat pengukuran.

Outlet sistem ventilasi tangki harus mengarah ke geladak terbuka dan terminal harus diatur di daerah yang biasanya tidak dapat diakses.

5.5 Slip Amonia

Jika jenis sistem pembersihan gas buang tipe *Selective Catalytic Reduction* (SCR) yang diterapkan, *excessive slip* dari amonia harus dicegah.

6. Kriteria air cucian

Jika gas buang dicuci dengan air, air cuci yang dibuang harus memenuhi kriteria sebagaimana ditetapkan dalam IMO Resolusi MEPC.184 (59).

7. Pengujian diatas kapal

Sistem pembersihan gas buang dan bypass harus sesuai pada uji inspeksi dan uji fungsi untuk setiap kasus di hadiri oleh Surveyor.

O. Mesin Berbahan Bakar Gas

1. Ruang lingkup dan aplikasi

1.1 Untuk mesin pembakaran dalam yang menggunakan gas sebagai bahan bakar, persyaratan berikut ini harus dipenuhi. Persyaratan ini berlaku untuk mesin berbahan bakar gas yang memenuhi kriteria sebagai berikut:

- mesin menggunakan gas alam sebagai bahan bakar
- mesin menggunakan gas selain gas alam akan secara khusus dipertimbangkan dan tambahan persyaratan yang diadopsi dapat berlaku
- mesin yang membakar bahan bakar gas dan bahan bakar minyak (mesin bahan bakar ganda), atau mesin bahan bakar gas tunggal (beroperasi hanya dengan gas)
- mesin dengan sistem suplai gas tekanan rendah atau tinggi
-

1.2 Fitur desain khusus akan dipertimbangkan pada kasus per kasus, dengan mempertimbangkan desain dasar mesin dan konsep keselamatan mesin.

2. Peraturan dan Pedoman lebih lanjut

2.1 Persyaratan dasar mesin berbahan bakar gas mengacu pada [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#), secara umum harus dipenuhi secara independen dari sumber gas (pendidihan kargo atau bahan bakar gas dari tangki penyimpanan).

2.2 Persyaratan untuk mesin pembakaran dalam sebagaimana didefinisikan dalam Bab ini dari A sampai N harus diikuti untuk mesin berbahan bakar gas sejauh berlaku.

2.3 [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#) berlaku untuk bahan bakar gas yang disuplai dari tangki penyimpanan bahan bakar gas

2.4 [Rules for Ship Carrying Liquefied Gas in Bulk \(Pt. 1, Vol. IX\)](#), berlaku untuk bahan bakar gas yang disuplai dari liquefied gas carrier cargo boil-off

Catatan:

Penggunaan gas sebagai bahan bakar untuk kapal saat ini tidak tercakup oleh konvensi internasional (kecuali boil-off dari kargo dicakup oleh IGC Code). Oleh karena itu, penerimaan oleh administrasi bendera diperlukan untuk setiap individual instalasi. Resolusi MSC.285 (86) 'Pedoman Intern tentang Keselamatan untuk Instalasi Mesin berbahan bakar Gas Alam di Kapal' memberikan petunjuk persyaratan keselamatan untuk instalasi ini. Kode Internasional Keselamatan untuk Kapal berbahan bakar Gas (IGF Code) saat ini sedang dalam pengembangan di IMO.

3. Definisi

3.1 Definisi penanganan gas sebagai bahan bakar seperti yang diberikan dalam [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#) berlaku.

3.2 Gas Admission Valve

Katup atau injektor pada mesin yang mengontrol suplai gas ke mesin sesuai dengan kebutuhan gas oleh mesin yang sebenarnya.

3.3 Konsep keselamatan

Konsep keselamatan adalah dokumen yang menjelaskan filosofi keselamatan yang berkaitan dengan gas sebagai bahan bakar. Dokumen ini menggambarkan bagaimana risiko yang terkait dengan jenis bahan bakar ini dikendalikan pada kondisi operasi normal serta skenario kegagalan yang mungkin dan langkah-langkah pengendaliannya.

3.4 Daerah berbahaya

Definisi daerah berbahaya dengan risiko ledakan serta definisi zona 0, 1 dan 2 lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol.IV\), Sec. 1.B.11](#).

4. Ketersediaan umum dan operasional

4.1 Keselamatan, kehandalan operasional, dan ketergantungan dari mesin berbahan bakar gas harus setara dengan mesin diesel penggunaan laut berbahan bakar minyak konvensional.

4.2 Mesin harus mampu beroperasi dengan aman dan handal di seluruh rentang daya pada semua kondisi operasi yang diharapkan.

4.3 Komposisi dan jumlah metana minimum bahan bakar gas yang disuplai ke mesin harus sesuai dengan spesifikasi pabrik pembuat mesin. Jika komposisi gas atau jumlah metana melebihi batas yang ditentukan, tidak boleh ada situasi yang berbahaya yang dapat terjadi.

4.4 Persyaratan umum mengenai redundansi sistem penting (propulsi utama, pembangkit daya listrik, dan lain-lain) harus dipertimbangkan. Persyaratan dasar yang sama berlaku untuk instalasi mesin berbahan bakar gas sebagaimana untuk instalasi mesin berbahan bakar minyak.

4.5 Pengaturan dari instalasi berbahan bakar gas untuk operasi berkelanjutan atau pemulihan yang mengikuti kondisi "blackout" dan "dead ship" harus dievaluasi secara hati-hati.

4.6 Ketersediaan operasional secara keseluruhan dari instalasi mesin berbahan bakar gas tidak mengurangi fungsi keselamatan mesin, seperti penyetopan otomatis suplai gas eksternal, ke tingkat yang lebih rendah dari yang dicapai oleh instalasi mesin berbahan bakar minyak. Selanjutnya, kebocoran gas di mana saja di sistem penyimpanan gas, sistem suplai gas, atau komponen mesin gas harus tidak menyebabkan penyetopan otomatis dari mesin lain guna mempertahankan fungsi-fungsi penting seperti pembangkitan daya propulsi utama dan daya listrik.

4.7 Untuk perangkat propulsi utama mesin tunggal, seluruh sistem termasuk suplai gas, konsep keselamatan ruang permesinan, dan desain mesin gas harus dievaluasi berkaitan dengan ketersediaan operasional dan redundansi.

4.8 Secara umum, mesin berbahan bakar ganda yang cocok untuk perubahan ke mode bahan bakar minyak dalam hal kegagalan dalam sistem suplai gas harus dianggap sebagai satu-satunya mesin berbahan bakar gas yang praktis untuk sistem propulsi utama mesin tunggal.

5. Dokumen yang harus diserahkan

5.1 Selain dokumen-dokumen yang ditetapkan dalam [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#). Dokumen-dokumen seperti yang tercantum pada [Tabel 2.9](#) harus diserahkan untuk disetujui setelah direview. Untuk memfasilitasi proses persetujuan yang lancar dan efisien mereka harus diserahkan dalam format elektronik.

Tabel 2.9 Dokumen yang harus diserahkan untuk mesin berbahan bakar gas

No. Item	Deskripsi
1	Konsep umum mesin yang berkaitan dengan gas sebagai bahan bakar (deskripsi)
2	Lembar spesifikasi mesin dan data teknis
3	Spesifikasi sifat bahan bakar gas yang diperbolehkan
4	Konsep keselamatan mesin, termasuk sistem FMEA yang berkaitan dengan gas sebagai bahan bakar
5	Definisi daerah berbahaya
6	Manual instalasi umum untuk jenis mesin yang berkaitan dengan tata ruang dan peralatan permesinan
7	Sistem bahan bakar gas untuk mesin, termasuk sistem perpipaan dinding ganda dan sistem ventilasi (skema tata letak, rincian, perakitan, deskripsi fungsional)
8	Sistem udara pengisian (skema tata letak, deskripsi fungsional, perakitan)
9	Sistem gas buang mesin (skema tata letak, perakitan)
10	Explosion relief valves untuk crankcase, manifold saluran masuk udara, dan manifold buang (spesifikasi, pengaturan, penetapan jumlah minimum dan ukuran yang dibutuhkan, parameter operasi dari manifold yang terlindungi) juga merujuk pada 8.3.3.4
11	Sistem kontrol mesin (skema tata letak, deskripsi fungsional, spesifikasi)
12	Sistem pengapian (skema tata letak, deskripsi fungsional, spesifikasi)
13	Sistem monitor pembakaran (skema tata letak, deskripsi fungsional, spesifikasi)
14	Sistem monitor mesin (skema tata letak, deskripsi fungsional, spesifikasi)
15	Sistem alarm dan keselamatan mesin (skema tata letak, deskripsi fungsional, spesifikasi)
16	Sistem deteksi gas untuk mesin (skema tata letak, deskripsi fungsional)
17	Komponen elektronik dari kontrol mesin, pengapian, alarm, keselamatan, sistem monitor, dan lain-lain (spesifikasi, persetujuan mesin)
18	Daftar peralatan dengan tipe yang disetujui
19	Daftar peralatan listrik tahan ledakan termasuk spesifikasi sertifikasi
20	Prosedur pengujian untuk sistem deteksi gas
21	Prosedur pengujian untuk kekedapan
22	Konsep umum mengenai langkah-langkah pelatihan untuk personil operasi

6. Persyaratan Umum

Persyaratan sebagaimana ditentukan dalam [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#) harus dipenuhi.

6.1 Konsep suplai gas

6.1.1 Mesin berbahan bakar gas harus dirancang baik sesuai dengan konsep Emergency Shut-down (ESD) ataupun Konsep Gas Safe (definisi dan persyaratan lihat [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#))

6.1.2 Prinsip desain umum (Konsep ESD atau Gas Safe) akan mempengaruhi berbagai aplikasi yang dapat diterima berkaitan dengan pengaturan kamar mesin, konsep keselamatan kamar mesin, konsep redundansi, perangkat propulsi, dan lain-lain.

6.2 Persyaratan untuk mesin berbahan bakar gas tunggal

6.2.1 Secara umum, mesin berbahan bakar gas tunggal hanya dianggap sesuai untuk perangkat pembangkit daya.

6.2.2 Penerapan bahan bakar mesin gas tunggal untuk penggerak propeller mekanik memerlukan evaluasi dan pertimbangan khusus.

6.3 Persyaratan untuk mesin berbahan bakar ganda

6.3.1 Mesin berbahan bakar ganda harus yang bertipe bahan bakar ganda yang mengaplikasikan pengapian bahan bakar pilot dan mampu melakukan ubah-ganti secara langsung ke bahan bakar minyak saja.

6.3.2 Hanya bahan bakar minyak yang dapat digunakan ketika menyalakan mesin.

6.3.3 Hanya bahan bakar minyak, pada prinsipnya, yang digunakan saat pengoperasian mesin tidak stabil, dan/atau selama manuver dan operasi pelabuhan.

6.3.4 Dalam kasus penyetopan suplai bahan bakar gas atau kegagalan mesin yang berhubungan dengan operasi gas, mesin harus mampu untuk terus beroperasi dengan bahan bakar minyak saja.

6.3.5 Secara umum, daya dan kecepatan mesin tidak boleh terpengaruh selama proses ubah-ganti bahan bakar. Sistem otomatis harus menyediakan prosedur ubah-ganti dengan fluktuasi minimal pada daya mesin dan kecepatan.

6.3.6 Proses ubah-ganti dari mode gas ke mode minyak harus memungkinkan pada semua kondisi operasi.

7. Sistem pendukung

Persyaratan sebagaimana ditentukan dalam [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#) harus dipenuhi.

7.1 Sistem air pendingin

7.1.1 Peralatan harus disediakan untuk menghilangkan gas pada sistem air pendingin dari bahan bakar gas jika ada kemungkinan bahan bakar gas bisa bocor langsung ke sistem air pendingin.

7.1.2 Detektor gas yang sesuai harus disiapkan.

7.1.3 *Flame arrestor* harus disiapkan pada pipa-pipa ventilasi.

7.2 Sistem minyak pelumas

7.2.1 Peralatan harus disediakan untuk menghilangkan gas pada sistem minyak pelumas dari bahan bakar gas jika ada kemungkinan bahan bakar gas bisa bocor langsung ke dalam sistem minyak pelumas.

7.2.2 Detektor gas yang sesuai harus disiapkan.

7.2.3 *Flame arrestor* harus disiapkan pada pipa-pipa ventilasi.

7.3 Sistem bahan bakar minyak

7.3.1 Peralatan harus disediakan untuk menghilangkan gas pada sistem bahan bakar minyak dari bahan bakar gas jika ada kemungkinan bahan bakar gas bisa bocor langsung ke sistem bahan bakar minyak.

7.3.2 Detektor gas yang sesuai harus disiapkan.

7.3.3 *Flame arrestor* harus disiapkan pada pipa-pipa ventilasi.

7.4 Sistem suplai gas eksternal

7.4.1 Sistem suplai gas eksternal harus dirancang sedemikian rupa sehingga kondisi dan sifat gas yang diperlukan (suhu, tekanan, dan lain-lain) sebagaimana ditentukan oleh pabrik pembuat mesin pada inlet mesin dapat dipatuhi dalam semua kondisi operasi yang memungkinkan.

7.4.2 Pengaturan harus dilakukan untuk memastikan bahwa tidak ada gas dalam keadaan cair yang disuplai ke mesin, kecuali jika mesin dirancang untuk beroperasi dengan gas dalam keadaan cair.

7.4.3 Selain katup penyetop suplai otomatis, sebuah katup yang dioperasikan secara manual harus dipasang secara seri di jalur suplai gas untuk setiap mesin.

7.5 Sistem gas pada mesin

7.5.1 Persyaratan umum

.1 Perpipaan gas pada mesin harus dirancang dan dipasang dengan mempertimbangkan getaran dan gerakan selama operasional mesin.

.2 Dalam kasus pecahnya pipa gas atau kehilangan tekanan yang berlebihan, penyetop otomatis suplai gas harus diaktifkan.

7.5.2 Suplai gas tekanan rendah

.1 *Flame arrestor* harus disediakan dalam sistem suplai gas pada mesin sebagaimana ditentukan oleh sistem FMEA.

.2 *Gas admission valve* harus ditempatkan langsung di setiap inlet silinder.

.3 Masuknya gas dengan sebuah *gas admission valve* umum dan pencampuran gas dengan udara pembakaran sebelum inlet silinder dapat diterima asalkan memenuhi tingkat risiko yang dapat diterima yang ditentukan dalam konsep keselamatan dan sistem FMEA.

7.5.3 Suplai gas Tekanan tinggi

.1 *Flame arrestor* harus disediakan di inlet ke manifold suplai gas dari mesin bahan bakar ganda.

.2 Gas tekanan tinggi harus dialirkan langsung ke dalam silinder tanpa pencampuran terlebih dahulu dengan udara pembakaran.

.3 Pipa gas tekanan tinggi pada mesin harus mempunyai desain dinding ganda untuk deteksi kebocoran. Pipa bagian luar harus dirancang untuk menahan kebocoran serius dari dalam pipa tekanan tinggi. Tekanan gas dan suhu harus diperhatikan.

7.5.4 Susunan sistem pipa gas pada mesin

.1 Susunan Normal "dinding ganda"

Sistem pipa gas pada mesin harus disusun sesuai dengan prinsip dan persyaratan pada [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt.1, Vol.1\), Sec. 9.6](#). Untuk pengangkut gas, [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1 Vol.IX\), Sec.16.4.3](#) berlaku.

Kriteria desain untuk pipa atau saluran (*duct*) ganda diatur dalam [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt.1, Vol.1\)](#), Sec. 7.4.1.4 dan Sec. 9.8.

Dalam hal ventilasi dengan dinding ganda, inlet ventilasi harus diletakkan sesuai dengan ketentuan dari [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt.1, Vol.1\) Sec.13.8.3](#). Untuk pengangkut gas, [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1 Vol.IX\)](#), Sec.16.4.3.2 berlaku.

Pipa atau saluran (*duct*) harus di uji tekan sesuai dengan [Bab 11 B.4.2](#) untuk memastikan integritas kekedapan gas dan untyuk menunjukkan bahwa hal tersebut dapat menahan tekanan maksimum yang diperkirakan ketika pipa gas pecah.

.2 Susunan Alternatif

Pipa gas dinding tunggal hanya dapat diterima:

- a) untuk mesin yang dipasang pada ruang mesin yang dilindungi dengan ESD, seperti yang didefinisikan pada [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt.1, Vol.1\) Sec. 5.4.1.2](#) dan kesesuaian yang lain dengan bagian lain dari [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt.1, Vol.1\)](#);
- b) dalam hal sebagai catatan terhadap [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt.1, Vol.1\) Sec.9.6.2](#). Untuk pengangkut gas, [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1 Vol.IX\)](#) berlaku.

Dalam hal kebocoran gas pada ruang mesin yang dilindungi dengan ESD, yang dapat mengakibatkan mesin dalam ruangan tersebut berhenti beroperasi, kemampuan propulsi dan manuver yang memadai termasuk sistem penting dan keselamatan harus terjaga.

Oleh karena itu konsep keselamatan mesin dengan jelas menunjukkan penerapan susunan "dinding ganda" atau "alternatif".

Daya minimum yang harus dipertahankan harus dinilai berdasarkan kasus per kasus dari karakteristik operasional kapal.

7.5.5 Gas admission valve

.1 Gas admission valve harus dikendalikan dengan sistem kontrol mesin sesuai dengan kebutuhan aktual gas dari mesin.

.2 Gas masuk yang tak terkendali harus dicegah dengan langkah-langkah desain atau ditunjukkan oleh sistem deteksi dan alarm yang sesuai. Tindakan yang harus diambil setelah deteksi dan alarm harus diperiksa sebagai bagian dari FMEA dari sistem.

.3 Gas admission valve harus disertifikasi sebagai berikut:

- a) bagian dalam dari katup berisi gas, sehingga harus disertifikasi untuk Zone 0.
- b) ketika katup ditempatkan didalam pipa atau saluran (*duct*) sesuai dengan [7.5.4.1](#). bagian luar dari katup harus disertifikasi untuk Zone 1
- c) Ketika katup disusun tanpa penutup sesuai dengan konsep "ruang mesin yang dilindungi ESD" (lihat [7.5.4.2](#)), tidak ada sertifikasi yang diperlukan untuk bagian luar katup, asalkan katup di non-aktifkan saat mendeteksi gas di dalam ruang.

Namun, jika katup tidak termasuk untuk zona yang dimaksudkan untuk peruntukannya, harus didokumentasikan bahwa katup tersebut cocok untuk zona itu. Dokumentasi dan analisis harus didasarkan pada IEC 60079-10-1 atau IEC 60092-502.

7.6 Sistem pengapian

7.6.1 Persyaratan umum

Sistem pengapian biasanya menggunakan colokan busi listrik (mesin bahan bakar gas tunggal) atau injeksi bahan bakar minyak pilot (mesin bahan bakar ganda).

.1 Sistem pengapian harus memastikan pengapian yang tepat dari gas pada semua kondisi operasi dan harus mampu menyediakan energi pengapian yang cukup.

.2 Sebelum menyalakan mesin, mesin harus diventilasi tanpa injeksi atau suplai bahan bakar apapun.

.3 Sebelum mengaktifkan masuknya gas ke mesin, sistem pengapian harus diperiksa secara otomatis untuk memverifikasi fungsi yang benar.

.4 Pembakaran setiap silinder harus dimonitor. kesalahan pembakaran dan ketukan pembakaran harus dideteksi.

.5 Operasi yang aman dan handal dari sistem pengapian harus ditunjukkan dan didokumentasikan dengan FMEA dari sistem.

.6 Selama penghentian mesin, suplai bahan bakar gas harus berhenti secara otomatis sebelum terjadi pengapian.

7.6.2 Penyalaan busi

Untuk mesin dengan penyalaan busi, jika pengapian belum terdeteksi oleh sistem monitor mesin pada setiap silinder dalam waktu tertentu setelah gas admission valve beroperasi, maka suplai gas harus secara otomatis terhenti dan urutan penyalaan dihentikan. Setiap campuran gas yang tidak terbakar harus dibersihkan dari sistem pembuangan.

7.6.3 Pengapian dengan injeksi pilot

.1 Sebelum masuknya bahan bakar gas, operasi yang benar dari sistem injeksi minyak pilot pada masing-masing silinder harus diverifikasi.

.2 Sebuah mesin harus selalu dinyalakan menggunakan bahan bakar minyak saja.

7.7 Sistem kelistrikan

7.7.1 Perhatian harus diberikan untuk mencegah kemungkinan sumber api yang disebabkan oleh peralatan listrik, sensor listrik, dan lain-lain yang dipasang di daerah berbahaya.

7.7.2 Untuk peralatan listrik dan sensor di daerah berbahaya, persyaratan perlindungan ledakan [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol. IV\), Sec. 1](#) harus dipenuhi.

7.7.3 Sistem yang harus tetap beroperasi ketika sistem keamanan memicu penghentian suplai gas harus ditentukan dengan sistem FMEA. Sistem harus dipertimbangkan untuk mencakup, tetapi tidak terbatas pada, sistem ventilasi, sistem gas *inert* dan sistem deteksi gas.

7.8 Sistem kontrol mesin, monitoring, alarm, dan keselamatan

7.8.1 Persyaratan umum

.1 Persyaratan umum mengenai suplai gas dan aktivasi otomatis katup suplai gas (*double block and bleed valves, master gas valve*) ke mesin seperti yang didefinisikan dalam [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol.1\)](#) dan [Rules for Ship Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt. 1, Vol. IX\)](#) harus dipenuhi.

.2 Ketukan pembakaran dan *kegagalan pembakaran* harus dideteksi dan kondisi pembakaran yang secara otomatis dikendalikan untuk mencegah ketukan dan *kegagalan pembakaran*.

.3 Mode operasi mesin harus selalu diindikasikan dengan jelas ke personil operasi.

.4 Petunjuk mengenai cakupan instrumentasi untuk sistem monitoring, alarm, dan sistem keamanan diberikan dalam [Tabel 2.10](#). Tergantung pada desain mesin, konsep keselamatan, dan sistem FMEA yang memeriksa semua mode kegagalan yang mungkin, penyimpangan dari [Tabel 2.10](#) dapat disepakati.

7.8.2 Deteksi gas

.1 Sebuah sistem deteksi gas kontinyu harus disediakan lihat [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#).

.2 Sistem deteksi gas harus beroperasi selama bahan bakar gas disuplai ke mesin.

.3 Sebagai petunjuk, sistem deteksi gas meliputi ruang mesin seperti yang ditentukan dalam [Tabel 2.10](#). Tergantung pada desain mesin, konsep keselamatan, dan sistem FMEA, penyimpangan dari [Tabel 2.10](#) dapat disepakati.

.4 Manual deteksi gas dapat dipasang sebagai pengganti deteksi gas kontinyu untuk ruang tertentu jika hal ini terbukti dapat diterima oleh sistem FMEA.

7.8.3 Kontrol Kecepatan dan penerimaan beban

.1 Secara umum, persyaratan di [F.1](#) harus dipenuhi.

.2 Persyaratan dasar pada [F.1.2.3](#) mengenai desain sistem manajemen daya kapal berlaku.

.3 Pengecualian dari kemampuan langkah pembebahan minimum yang diperlukan oleh mesin penggerak generator listrik seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 2.4](#) dapat disepakati untuk mesin berbahan bakar gas dengan kemampuan langkah pembebahan terbatas (*limited step loading capability*).

7.9 Sistem gas buang dan sistem ventilasi

7.9.1 Pipa gas buang dari mesin berbahan bakar gas harus dipasang secara terpisah satu sama lain, dengan mempertimbangkan persyaratan proteksi kebakaran struktural.

7.9.2 Mesin, termasuk sistem gas buang, harus berventilasi:

- sebelum penyalaan setiap mesin,
- setelah kegagalan penyalaan,
- setelah setiap operasi gas dari mesin berbahan bakar gas yang tidak diikuti dengan operasi bahan bakar minyak.

7.9.3 Pengendalian sistem ventilasi harus dimasukkan dalam sistem otomatisasi. Kegagalan harus memicu alarm.

Tabel 2.10 Cakupan indikatif instrumentasi untuk mesin berbahan bakar gas

	Indikator, alarm, shutdown ¹⁾	Penghentian suplai gas ke mesin individu (double block and bleed valves) ¹⁾	Penghentian suplai gas ke ruang bakar (master gas valve ¹⁾	Keterangan
Suplai gas				
Tekanan gas	I, L, H			
Suhu gas	I, L, H			
Kegagalan "Gas Admission Valve"	A, S ²⁾	X		Termasuk, kegagalan oil seal, pendidin gin dan lain-lain
Tekanan suplai gas inert	I, L			
Pecahnya pipa gas atau kebocoran gas berlebih	A, S	X	X	
Penahanan kegagalan atau vakum dari sistem perpipaan gas yang terlindungi	A, S ²⁾	X	X	gas safe concept
Deteksi gas				
Konsentrasi gas di manifold	H			
Konsentrasi gas di crankcase	H			
Konsentrasi gas di <i>exhaust manifold</i>	H			
Konsentrasi gas di bawah setiap piston ³⁾	H			
Konsentrasi gas dalam sistem pipa gas yang terlindungi	H, S ²⁾	X	X	
Konsentrasi gas di ruang mesin	H, S	X	X	
Crankcase				
Tekanan	H, S	X	X	
Suhu ⁴⁾	H, S	X	X	
Konsentrasi kabut minyak	H, S	X	X	
Monitoring pembakaran				
Kegagalan pembakaran, setiap silinder	A, S ²⁾	X		
Ketukan, setiap silinder	A, S ²⁾	X		
Tekanan silinder	H, L, S ²⁾	X		
Deviasi beban	A, S ²⁾	X		
Sistem pengapian busi atau kegagalan sistem injeksi pilot	A, S ²⁾	X		

Tabel 2.10 Cakupan indikatif instrumentasi untuk mesin berbahan bakar gas (lanjutan)

	Indikator, alarm, shutdown ¹⁾	Penghentian suplai gas ke mesin individu (double block and bleed valve ¹⁾	Penghentian suplai gas ke ruang bakar (master gas valve ¹⁾	Keterangan
Gas buang				
Temperatur gas buang turbocharger inlet dan outlet	I, H			
Temperatur gas buang, setiap silinder	I, L, H, S ²⁾	X		
Deviasi dari suhu gas buang rata-rata	L, H, S ²⁾	X		
Lainnya				
Kegagalan dalam sistem kontrol pembakaran gas	A, S ²⁾	X		
Kegagalan ventilasi sistem perpipaan gas yang terlindungi	A			<i>gas safe concept</i>
Kegagalan sistem ventilasi gas buang	A			
<i>Shutdown mesin</i>	A, S	X		Diaktifkan secara eksternal atau manual
<p>I : Indikator A : Alarm L : Alarm untuk batas bawah H : Alarm untuk batas atas S : Shutdown X : Aktivasi</p> <p>¹⁾ Secara umum, penghentian suplai gas dan <i>shutdown</i> mesin harus tidak diaktifkan pada level pemicu awal tanpa pralaran ²⁾ Penghentian otomatis harus digantikan dengan ubah-ganti otomatis ke mode bahan bakar minyak untuk mesin bahan bakar ganda yang dapat melakukan operasi yang aman secara kontinyu</p> <p>3) Jenis mesin - <i>Cross Head</i> 4) Suhu <i>liners</i> dan bantalan</p>				

8. Peralatan keselamatan dan sistem keselamatan

Persyaratan dasar sebagaimana ditentukan dalam [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#) harus dipenuhi.

8.1 Konsep keselamatan dan sistem FMEA

8.1.1 Konsep keselamatan harus menggambarkan filosofi keamanan yang berkaitan dengan gas sebagai bahan bakar dan utamanya membahas bagaimana risiko yang terkait dengan jenis bahan bakar yang terkendali. Konsep keamanan juga harus menjelaskan kemungkinan skenario kegagalan dan tindakan pengendalian terkait.

8.1.2 Dalam sistem FMEA, mode kegagalan yang mungkin terkait dengan gas sebagai bahan bakar harus diperiksa dan dievaluasi secara rinci sehubungan dengan konsekuensi system FMEA pada mesin dan sistem sekitarnya serta kemungkinan terjadi dan langkah-langkah mitigasinya. Uji verifikasi harus didefinisikan. Aspek yang diperiksa meliputi, tetapi tidak terbatas pada:

- Kebocoran gas, baik mesin internal maupun pelepasan gas ke ruang mesin
- Penghentian suplai gas (antara lain sehubungan dengan sistem yang harus tetap beroperasi, merujuk [7.7.3](#))
- Pembakaran tidak sempurna/ketukan
- Deviasi dari komposisi gas yang ditentukan
- Kerusakan sistem pengapian
- Masuknya gas secara tidak terkendali ke mesin
- Proses peralihan dari gas ke bahan bakar dan sebaliknya untuk mesin bahan bakar ganda
- Ledakan pada crankcase, sistem pembilasan udara dan sistem gas buang
- Proses pencampuran udara dan gas yang tidak terkendali, jika di luar silinder
- keterkaitan terhadap sistem lain di kapal misalnya, sistem kontrol, suplai gas

8.2 Peralatan keselamatan crankcase

8.2.1 Kegagalan piston

kegagalan piston dan kehilangan kompressi (blow-by) piston yang tidak normal harus terdeteksi dan memicu alarm.

8.2.2 crankcase

- .1 Pipa ventilasi crankcase harus dilengkapi dengan *flame arrestor*
- .2 Evaluasi secara detail mengenai akumulasi potensi bahaya bahan bakar gas pada crankcase harus dilakukan dan termasuk dalam konsep keselamatan (lihat [8.1](#)).

8.2.3 Pembersihan bahan bakar gas dari crankcase dan injeksi gas inert.

- .1 Sarana harus disediakan untuk mengukur konsentrasi gas yang terbakar pada crankcase.
- .2 Langkah yang tepat, seperti injeksi gas inert, harus disediakan untuk menghilangkan campuran bahan bakar gas-udara dari crankcase pada mesin yang terhenti.
- .3 Sarana yang cocok harus tersedia untuk membersihkan gas inert dari crankcase sebelum membuka crankcase untuk perawatan.
- .4 Tanda-tanda yang menginformasikan dibutuhkannya bahan bakar dan atmosfir bebas gas inert pada crankcase sebelum pembukaan pintu crankcase harus ditempatkan di lokasi yang mudah terlihat.

Catatan:

Sarana untuk injeksi otomatis gas inert ke dalam crankcase direkomendasikan, misalnya untuk kasus:

- Penghentian darurat mesin (emergency shutdown)
- Deteksi minyak kabut serta alarm bantalan dan suhu pelapis
- Deteksi kebakaran di ruang mesin

8.3 Katup pelepas ledakan (*Explosion relief valves*)

8.3.1 Persyaratan umum

- .1 Perangkat pelepas ledakan harus menutup secara langsung setelah peristiwa ledakan.

.2 bukaan perangkat pelepas ledakan harus membuang ke lokasi yang aman jauh dari sumber api. Pengaturan tersebut harus meminimalkan risiko cedera pada personil.

.3 Papan peringatan harus diletakkan di tempat yang cocok berdekatan dengan katup pelepas ledakan.

8.3.2 Katup pelepas ledakan *crankcase*

.1 Untuk perangkat keselamatan crankcase (misalnya katup pelepas ledakan, deteksi kabut minyak, dll) persyaratan yang ditentukan dalam [F.4](#). harus dipenuhi.

.2 Katup pelepas ledakan *crankcase* harus tersedia pada setiap *crank throw*.

.3 Total area pelepasan minimum yang diperlukan katup pelepas ledakan *crankcase* harus dievaluasi oleh pembuat mesin dengan mempertimbangkan ledakan dari bahan bakar campuran gas - udara dan kabut minyak.

.4 Untuk persetujuan tipe dari *crankcase explosion relief valves*, [Guidelines for Approval and Type Approval of Material and Equipment for Marine Use \(Pt. 1, Vol. W\) Sec 3.I](#) berlaku.

8.3.3 Katup pelepas ledakan lain

.1 Sejauh diperlukan dalam [Guidelines for The Use of Gas as Fuel for Ship \(Pt. 1, Vol. 1\)](#), katup pelepas ledakan harus disediakan untuk manifold slauran masuk dan buang udara pembakaran

.2 Katup ledakan umumnya harus disetujui oleh BKI untuk aplikasi pada manifold inlet dan manifold buang dari mesin berbahan bakar gas.

.3 Untuk persetujuan katup pelepas (relief valve), dokumentasi berikut harus disampaikan (biasanya oleh pabrik pembuat):

- gambar dari katup pelepas ledakan (gambar penampang, detail, perakitan, dan lain-lain)
- lembar data spesifikasi (termasuk. spesifikasi kondisi operasi seperti max. tekanan kerja, max. suhu kerja, tekanan pembukaan, daerah pelepasan efektif, dan lain-lain)
- laporan pengujian.

.4 Selain persetujuan pada .3 susunan katup pelepas ledakan harus disetujui untuk setiap jenis mesin. Berikut adalah dokumen yang harus diserahkan (biasanya oleh pabrik pembuat mesin):

- Gambar dari susunan katup pelepas ledakan (termasuk. jumlah, jenis, lokasi, dan lain-lain)
- Gambar komponen yang terlindungi (manifold udara masuk, manifold buang, dan lain-lain) (termasuk. spesifikasi max. tekanan kerja, max. suhu kerja, max. tekanan ledakan yang diijinkan, dan lain-lain)
- Bukti efektivitas flame arrestor pada pengaturan secara aktual
- Bukti efektivitas pelepasan tekanan saat ledakan (kecepatan pelepasan yang cukup, tekanan pelepasan yang cukup)

Catatan:

Bukti dapat disediakan dengan uji yang sesuai atau dengan analisis teoritis.

9. Pengujian

9.1 Uji persetujuan tipe untuk mesin berbahan bakar gas

9.1.1 Mesin berbahan bakar gas harus mempunyai persetujuan tipe dari BKI.

9.1.2 Ruang lingkup pengujian persetujuan tipe dinyatakan dalam E.4. berlaku sejauh yang berkaitan juga dengan mesin berbahan bakar gas. Persyaratan tambahan atau berbeda yang mencerminkan aspek gas tertentu tercantum di bawah ini. Program uji tipe harus disepakati dengan BKI.

Uji internal (Tahap A):

- mesin yang dioperasikan dengan sifat gas yang dibatasi sebagaimana yang ditentukan oleh pabrik pembuat mesin (jumlah metana, nilai kalor yang lebih rendah)
- Konsentrasi gas di crankcase pada kondisi operasi mesin yang berbeda

Hasil pengujian tersebut harus ditentukan dan ditetapkan dengan cara yang tepat.

9.1.3 Uji tipe (Tahap B):

- Uji penerimaan beban dan pemutusan beban
- Prosedur ubah-ganti bahan bakar (untuk mesin bahan bakar ganda)
- Monitoring pembakaran
- Sistem keselamatan
- Sistem alarm
- Sistem monitoring
- Sistem kontrol
- Deteksi gas
- Tes kekedapan pipa gas dan pipa dan saluran dinding ganda
- Sistem pengapian
- Penghentian gas otomatis
- Pintu buangan turbocharger, by-pass, dan lain-lain
- Sistem ventilasi
- Penyalaan, berhenti, berhenti darurat
- Uji verifikasi yang dihasilkan dari sistem FMEA
- Pengujian *start blocking*

9.2 Uji unjuk kerja

Selain persyaratan E.5, item berikut harus diuji selama uji unjuk kerja mesin berbahan bakar gas:

- Uji kekedapan sistem gas
- Pengujian sistem untuk monitoring pembakaran
- Pengujian penghentian gas dan prosedur ubah-ganti bahan bakar (mesin bahan bakar ganda)
- Pengujian *start blocking*

9.3 Uji coba di kapal

Selain persyaratan E.6, selama percobaan diatas kapal, item berikut harus diuji:

- Uji kekedapan sistem gas
- Pengujian sistem untuk monitoring pembakaran
- Pengujian penghentian gas dan prosedur ubah-ganti bahan bakar (mesin bahan bakar ganda)
- Pengujian sistem ventilasi dan sistem deteksi gas
- Pengujian *start blocking*

10. Ruang mesin

10.1 Pertukaran udara yang cukup dan aliran udara harus dipastikan disekitar mesin untuk mencegah akumulasi ledakan, mudah terbakar, atau konsentrasi gas beracun.

10.2 Arah aliran udara di ruang mesin harus diarahkan sedemikian rupa untuk menghindari aliran dari setiap kebocoran gas menuju sumber potensi api.

10.3 Ruang mesin harus memiliki bukaan keluar yang cukup untuk memungkinkan pelepasan tekanan dari ruang mesin ketika terjadi ledakan di dalam mesin berbahan bakar gas yang dipasang di ruang tersebut.

10.4 Papan penanda harus dipasang pada lokasi yang memadai untuk memberikan informasi tentang mesin berbahan bakar gas kepada orang yang memasuki ruang mesin terkait. Instruksi mengenai operasi serta penanganan jika terjadi kebocoran gas dan kegagalan mesin harus disiapkan pada posisi yang mudah terlihat di ruang mesin.

11. Pelatihan

Personil operasi untuk mesin berbahan bakar gas dikapal harus dilatih secara tepat tentang pengoperasian mesin secara spesifik, sistem suplai gas, sistem keamanan dan kontrol, dan lain-lain yang dipasang di kapal.

12. Suku cadang

Suku cadang, yang sangat penting untuk keselamatan dan kehandalan operasional dari mesin berbahan bakar gas, serta bagian dengan waktu pemakaian yang terbatas, harus disediakan di kapal selain yang dipersyaratkan dalam Bab 17.

13. Retrofit

Kriteria dan prosedur penerimaan untuk konversi dari mesin diesel berbahan bakar minyak yang ada menjadi mesin berbahan bakar gas atau berbahan bakar ganda harus disetujui secara individual oleh BKI.

Bab 3 Turbin Uap, Turbin Gas dan Turbocharger dari Gas Buang

I.	Turbin Uap	3–1
A.	Umum.....	3–1
B.	Material	3–2
C.	Prinsip Desain dan Konstruksi.....	3–2
D.	Pergerakan Berlawanan arah, Operasi Darurat.....	3–3
E.	Peralatan Manuver dan Keamanan	3–4
F.	Peralatan Kontrol dan Monitor.....	3–5
G.	Kondensor	3–5
H.	Pengujian.....	3–6
I.	Percobaan	3–7
II.	Turbin Gas.....	3–7
A.	Umum.....	3–7
B.	Kontrol dan Keamanan Gas Turbin untuk Penggunaan Penggerak Marine	3–8
III.	Turbocharger Gas Buang.....	3–9
A.	Umum.....	3–9
B.	Desain dan Instalasi.....	3–10
C.	Pengujian.....	3–11
D.	Persetujuan Pabrik (Shop Approvals)	3–15
E.	Sertifikasi	3–16
F.	Alarm & Pemantauan (Monitoring)	3–16

I. Turbin Uap

A. Umum

1. Ruang lingkup

Pedoman berikut berlaku untuk turbin uap utama dan bantu.

BKI berhak untuk mengijinkan deviasi dari ketentuan pada bab ini untuk turbin daya rendah.

2. Persetujuan Dokumen

Dokumen-dokumen di bawah ini harus diserahkan kepada BKI dalam format elektronik.

- gambar-gambar perakitan dan penampang turbin,
- gambar-gambar detail dari rotor, selubung, daun pemandu, daun-daun, katup-katup, dudukan mesin dan kondensor utama (untuk roda gigi, lihat Bab 5),
- detail karakteristik operasi dan kecepatan kritis,
- bukti margin keamanan yang cukup pada komponen yang mengalami beban yang paling berat; untuk suhu sampai sekitar 400 °C, karakteristik kekuatan yang relevan adalah batas regang pada temperatur tinggi; untuk suhu yang lebih tinggi, kekuatan melar jangka panjang untuk 100.000 jam pada suhu operasi,
- detail kondisi pengelasan yang berlaku untuk komponen-komponen yang dilas dan
- perhitungan yang berkaitan dengan getaran bilah sesuai permintaan.

Untuk turbin bantu berukuran kecil dengan suhu uap inlet hingga 250 °C, umumnya cukup untuk menyerahkan gambar turbin melintang. Diagram aliran panas untuk setiap instalasi turbin dan satu set instruksi operasi setidaknya untuk setiap jenis turbin harus diserahkan.

B. Material

1. Material yang disetujui

1.1 Komponen berputar

Rotor turbin, cakram dan poros harus dibuat dari baja tempa.

Rotor turbin kecil juga dapat dicor dalam baja *special grade*. Bilah turbin, pembungkus (*shroud*), kabel pengikat dan peredam harus terbuat dari bahan yang tahan korosi.

1.2 Komponen stasioner

Penutup turbin tekanan tinggi dan bodi dari gerakan manuver, katup penutupan cepat dan *throttle* harus terbuat dari baja suhu tinggi atau baja cor. Tergantung pada tekanan dan temperatur, penutup turbin antara dan tekanan rendah juga dapat terbuat dari besi cor nodular atau kelabu.

Diafragma (kipas pandu) harus dibuat dari baja, baja cor, nodular atau besi cor kelabu tergantung pada suhu dan beban. Konstruksi yang dilas juga dapat disetujui untuk komponen baja atau baja cor. Besi cor kelabu dan nodular dapat digunakan sampai suhu uap 300 °C.

2. Pengujian material

2.1 Bagian berikut harus menjalani pengujian sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol. V\)](#):

- bagian yang berputar seperti rotor, cakram, poros, cincin kerut, bilah, kopling bergigi dan komponen-komponen yang dibebani secara dinamis lainnya serta pengaman katup dan kerucut.
- bagian stasioner seperti selubung, daun pandu, nozel dan dada nozzle, kipas pandu, baut selubung turbin, bingkai dasar dan tiang bantalan.
- tabung kondensor dan pelat tabung.

Dalam kasus turbin bantu berukuran kecil dengan suhu uap inlet hingga 250 °C, ruang lingkup tes dapat dibatasi pada cakram dan material poros.

C. Prinsip Desain dan Konstruksi

1. Pondasi

Pondasi instalasi turbin bergigi harus dirancang sedemikian sehingga hanya gerakan relatif kecil yang dapat terjadi antara turbin dan gigi-gigi yang dapat dikompensasi dengan kopling yang sesuai.

Untuk desain pondasi, [Regulations for the Seating of Diesel Engine Installation \(Pt.1, Vol.U\)](#) harus dipertimbangkan.

2. Penggabungan permukaan yang bersentuhan

Flensa (*flanges*) bersentuhan dari penutup harus membentuk sambungan kedap tanpa menggunakan material sela.

3. Pelumasan bantalan

Pelumasan bantalan tidak boleh dirusak oleh bagian yang berdekatan dengan panas atau uap.

Untuk sistem minyak pelumas, lihat Bab 11, H.

4. Koneksi

Pipa harus terhubung ke turbin sedemikian rupa sehingga tidak ada gaya atau momen yang sangat tinggi yang dapat ditransmisikan ke turbin.

5. Drainase

Turbin dan sistem perpipaan terkait harus dilengkapi dengan sarana drainase yang memadai.

6. Roda gigi putar (*Turning gear*)

Turbin penggerak utama harus dilengkapi dengan roda gigi putar (*turning gear*) untuk kedua arah rotasi (searah atau berlawanan). Rotor turbin bantu setidaknya harus mampu diputar dengan tangan.

7. Pengukuran clearances rotor

Setelah perakitan setiap turbin didalam pabrik pembuat, posisi dan clearances rotor harus diukur. Clearances harus dicantumkan dalam instruksi pengoperasian.

8. Getaran

Rentang kecepatan operasional turbin tidak boleh menimbulkan getaran tekuk (*bending vibrations*) yang tidak dapat diterima atau getaran yang mempengaruhi seluruh instalasi¹.

D. Pergerakan Berlawanan arah, Operasi Darurat

1. Daya berlawanan arah untuk penggerak utama

1.1 Mesin penggerak utama harus memiliki daya yang cukup untuk bergerak berlawanan arah. Daya berlawanan arah dianggap cukup jika, saat bergerak bebas berlawanan arah, mampu mencapai putaran berlawanan arah yang setara dengan setidaknya 70% dari nilai putaran maju untuk jangka waktu minimal 30 menit.

1.2 Untuk mesin penggerak utama dengan roda gigi pembalik, baling-baling kendali daun (*Controlable pitch propeller*) atau sistem transmisi listrik, bergerak berlawanan arah tidak boleh menyebabkan beban berlebih pada permesinan propulsi.

2. Perencanaan untuk operasi darurat

Pada kapal baling-baling tunggal (Single screw ships) yang dilengkapi dengan turbin uap *cross compound*, perencanaan harus sedemikian rupa untuk memungkinkan operasi yang aman ketika pasokan uap ke salah satu turbin terisolasi. Untuk tujuan operasi darurat ini, uap dapat diarahkan langsung ke turbin tekanan rendah dan bagian tekanan tinggi ataupun menengah dapat membuang langsung ke kondensor. Perencanaan dan kontrol yang memadai harus disediakan untuk kondisi operasi ini sehingga tekanan dan suhu uap tidak akan melebihi tekanan dan suhu turbin dan kondensor rancangan, sehingga memungkinkan operasi kondisi darurat yang aman dalam jangka panjang.

¹ Penilaian dapat didasarkan pada ISO 10.816-3 "Mechanical vibration- Evaluation of machine vibrations by measurement on non-rotating parts" atau standar yang setara.

Untuk perencanaan pipa-pipa dan katup-katup yang diperlukan harus tersedia dan ditandai dengan benar. Tes kesesuaian dari semua kombinasi pipa-pipa dan katup-katup harus disampaikan kepada BKI sebelum *sea trials* pertama.

Kondisi operasi yang diperbolehkan (daya/kecepatan) saat beroperasi tanpa salah satu turbin (semua kombinasi) harus ditentukan dan dokumennya mudah diakses di atas kapal.

Pengoperasian turbin dalam kondisi darurat harus dinilai dengan perhitungan mengenai potensi pengaruh operasi tersebut pada kesegaranan poros (*shaft alignment*) dan kondisi pembebanan roda gigi. Dokumentasi yang sesuai harus diserahkan kepada BKI untuk penilaian.

E. Peralatan Manuver dan Keamanan

1. Peralatan manuver dan kontrol

1.1 Masuknya uap secara simultan ke bagian depan dan belakang turbin harus dicegah dengan *interlocks*. Saat bermanuver overlap singkat dari katup depan dan belakang dapat diizinkan.

1.2 Cairan untuk pengoperasian peralatan manuver hidrolik, sistem penutupan cepat dan sistem-sistem kontrol harus sesuai untuk semua suhu operasional dan tidak mudah terbakar.

1.3 Ketika instalasi turbin utama menggabungkan gigi pembalik, transmisi listrik, *controlable pitch propeller* atau pengaturan bebas kopling lainnya, sebuah *speed governor* terpisah selain perangkat pelindung kecepatan berlebih harus dipasang dan harus mampu mengendalikan kecepatan dari turbin yang tak dibebani tanpa membuat perangkat pelindung kecepatan tinggi bekerja.

1.4 Ketika uap pembuangan dari sistem bantu mengalir ke turbin utama maka aliran tersebut harus diputus dengan aktivasi perangkat perlindungan kecepatan berlebih.

1.5 Peningkatan kecepatan turbin penggerak generator listrik - kecuali turbin untuk penggerak propeller listrik yang dihasilkan dari perubahan beban penuh ke tanpa beban, tidak boleh melebihi 5% pada saat dimulainya kembali kondisi berjalan stabil. Peningkatan kecepatan transien yang dihasilkan dari perubahan mendadak dari beban penuh ke kondisi tanpa beban tidak boleh melebihi 10% dan harus dipisahkan dengan margin yang cukup dari kecepatan yang memicu terjadinya *trip*.

2. Perangkat keselamatan

2.1 Turbin propulsi utama harus dilengkapi dengan perangkat penutupan cepat yang secara otomatis mematikan pasokan uap dalam hal:

- a) kecepatan berlebih. Kecepatan lebih dari 15% di atas *rated value* harus dicegah. Ketika dua atau lebih turbin dipasangkan dengan set roda gigi yang sama, BKI dapat menyetujui bahwa hanya satu perangkat pelindung kecepatan tinggi yang disediakan untuk semua turbin.
- b) perpindahan aksial rotor yang tidak dapat diterima,
- c) peningkatan tekanan di kondensor tidak dapat diterima,
- d) peningkatan level air di kondensor tidak dapat diterima dan
- e) penurunan tekanan minyak pelumas tidak dapat diterima.

2.2 dalam kasus [2.1 a\)](#) dan [2.1 b\)](#), perangkat penutupan cepat harus digerakkan oleh poros turbin.

2.3 Pengoperasian perangkat penutupan cepat di turbin dan dari platform kontrol dimungkinkan secara manual.

2.4 Pengaturan ulang perangkat penutupan cepat hanya dapat dilakukan pada turbin atau dari platform kontrol jika katup kontrol dalam posisi tertutup.

2.5 Disarankan bahwa sistem alarm harus terpasang yang merespon kecepatan getaran yang berlebih¹⁾.

2.6 *Interlock* harus disediakan untuk memastikan bahwa turbin utama tidak dapat dinyalakan ketika gigi pemutar (*turning gear*) bergerak.

2.7 *Steam bleeder* dan jalur yang dilalui harus dilengkapi dengan perangkat otomatis yang mencegah uap mengalir ke turbin ketika katup masuk uap utama ditutup.

2.8 Turbin penggerak mesin bantu setidaknya harus dilengkapi dengan perangkat penutupan cepat untuk kemungkinan kondisi [2.1 a\)](#) dan [2.1 d\)](#). Kenaikan yang berlebih pada tekanan uap buang untuk memicu perangkat penutupan cepat.

2.9 Harus dimungkinkan untuk memulai setiap turbin hanya ketika perangkat penutupan cepat siap untuk operasi.

2.10 Saringan uap yang efisien harus disediakan dekat dengan lubang masuk turbin tekanan tinggi depan dan belakang atau sebagai alternatif di lubang masuk menuju katup manuver.

3. Persyaratan lainnya

Tergantung pada tingkat otomatisasi yang terpasang, lingkup dan desain peralatan juga mengacu pada [Rules for Automation \(Pt. 1, Vol. VII\)](#).

F. Peralatan Kontrol dan Monitor

1. Pengaturan

Peralatan kontrol dan monitor untuk setiap unit penggerak utama harus berada di platform kontrol.

2. Lingkup dan desain peralatan

Tergantung pada tingkat otomatisasi yang terpasang, ruang lingkup dan desain peralatan juga mengacu pada [Rules for Automation \(Pt. 1, Vol. VII\)](#).

3. Instrumen kontrol dan penunjuk

Ketika gigi pemutar (*turning gear*) bergerak, kondisi aktual harus ditunjukkan secara visual pada platform kontrol.

Turbin dan katup perpipaan drainase harus beroperasi baik secara otomatis atau digabungkan ke dalam kelompok yang dapat dioperasikan dari platform kontrol.

4. Peralatan untuk turbin bantu

Turbin penggerak mesin bantu harus dilengkapi dengan peralatan yang diperlukan berdasarkan [E](#).

G. Kondensor

1. Desain

Kondensor harus didesain sedemikian rupa sehingga kecepatan uap pada lubang masuk tidak mengakibatkan tekanan yang dilarang dari tabung kondensor. Pelengkungan (*sagging*) berlebih dari tabung dan getaran harus dihindari, misalnya dengan menambahkan pelat penguat tabung.

Bilik air dan ruang uap harus dilengkapi dengan bukaan untuk inspeksi dan pembersihan. Perlindungan anti korosi harus disediakan di sisi air.

Dalam kasus instalasi turbin tunggal, langkah-langkah yang sesuai harus diambil untuk mencegah kondensat mengalir kembali ke turbin tekanan rendah.

2. Suplai air pendingin

Pasokan air pendingin ke kondensor mengacu pada persyaratan dalam [Bab 11.I.](#)

H. Pengujian

1. Pengujian rotor turbin

1.1 Pengujian stabilitas termal

Rotor yang ditempa dari satu potongan dan rotor yang dilas harus diuji terhadap stabilitas aksial dengan tes stabilitas termal.

1.2 Penyeimbangan

Rotor yang telah selesai, lengkap dengan daun-daun dan bagian-bagian yang berputar yang terkait dan siap untuk perakitan, harus diseimbangkan secara dinamis di saksikan oleh Surveyor².

1.3 Pengujian kecepatan dingin berlebih

Rotor turbin harus diuji pada kecepatan minimal 15% di atas kecepatan yang ditetapkan (*rated speed*) selama tidak kurang dari tiga menit. BKI dapat menerima pembuktian matematis dari tegangan-tegangan pada bagian-bagian yang berputar pada kecepatan berlebih sebagai pengganti tes kecepatan berlebih itu sendiri asalkan telah di desain sedemikian rupa sehingga memungkinkan dilakukan perhitungan yang handal dan rotor telah dilaksanakan pengujian tak rusak untuk memastikan bebas dari cacat.

2. Pengujian tekanan dan kekedapan

2.1 Semua komponen dinding yang telah selesai harus menjalani pengujian hidrostatik di saksikan Surveyor.

Tekanan uji p_p dihitung sebagai berikut:

$$p_p = 1,5 p_{e,perm}$$

dimana $p_{e,perm} \leq 80$ bar

$p_{e,perm}$ = tekanan kerja maksimum yang diijinkan [bar]

$$p_p = p_{e,perm} + 40 \text{ bar}$$

dimana $p_{e,perm} > 80$ bar

Untuk bodi katup penutupan cepat, manuver dan kontrol, tekanan uji adalah 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari boiler (tekanan yang disetujui). Efisiensi penutup katup ini ketika ditutup harus diuji pada $1,1 p_{e,perm}$

2.2 Bagian dinding pada sisi buang turbin tekanan rendah yang dikenai tekanan kondensor selama operasi harus diuji pada $p_p = 1,0$ bar.

² Penilaian tersebut dapat didasarkan pada ISO 1940-1 standar "Mechanical vibration – Balance quality requirements of rigid rotors" sebuah standar yang setara.

2.3 Kondensor harus menjalani pengujian hidrostatik terpisah di sisi uap dan air. Tekanan uji p_p seharusnya:

$$\begin{aligned} p_p &= 1,0 \text{ bar} && \text{di sisi uap} \\ p_p &= 1,5 p_{e,perm} && \text{di sisi air} \end{aligned}$$

I. Percobaan

1. Percobaan pabrik

Ketika turbin uap menjalani uji coba di pabrik, fungsi yang memuaskan dari peralatan manuver, keselamatan dan kontrol harus diverifikasi selama uji coba, dan verifikasi tersebut di setiap kasus harus dilakukan tidak boleh setelah penyerahan perangkat diatas kapal.

2. Percobaan diatas kapal

2.1 Pada Turbin utama harus dilakukan *dock trial* dan tes berikut harus dilakukan sesudahnya selama uji saat berlayar :

- operasi pada nilai *rated rpm* selama minimal 6 jam
- manuver mundur
- selama *dock trial* atau *sea trial*, nilai putaran mundur sama untuk setidaknya 70% dari nilai *rated rpm* maju selama sekitar 20 menit.

Selama pengoperasian mundur dan selanjutnya pengoperasian maju, tekanan uap dan suhu dan ekspansi relatif tidak boleh mencapai nilai yang membahayakan keselamatan operasional.

2.2 Turbin penggerak generator listrik atau mesin bantu harus dijalankan selama minimal 4 jam pada *rated power* dan selama 30 menit pada 110% *rated power*.

II. Turbin Gas

A. Umum

1. Ruang Lingkup

Pedoman berikut berlaku untuk turbin gas utama dan bantu.

BKI berhak untuk mengijinkan deviasi dari ketentuan pada bab ini untuk turbin daya rendah.

2. Dokumen untuk persetujuan

Dokumen untuk persetujuan turbin gas utama dan bantu harus diserahkan dalam format elektronik ke Kantor Pusat BKI.

Persetujuan akan diberikan oleh Kantor Pusat BKI.

B. Kontrol dan Keamanan Gas Turbin untuk Penggunaan Penggerak Marine

1. Governor dan perangkat pelindung kecepatan berlebih

1.1 Turbin gas utama harus dilengkapi dengan perangkat pelindung kecepatan berlebih untuk mencegah kecepatan turbin melebihi lebih dari 15% dari kecepatan kontinyu maksimum.

1.2 Ketika turbin gas utama menggabungkan gigi mundur, transmisi listrik, *controllable pitch propeller* atau pengaturan bebas kopling lainnya, *speed governor* yang tidak tergantung pada perangkat pelindung kecepatan berlebih harus dipasang dan harus mampu mengendalikan kecepatan turbin gas yang tidak dibebani tanpa mengaktifkan perangkat pelindung kecepatan berlebih.

2. Perangkat keamanan lain

2.1 Rincian perangkat keselamatan otomatis yang diusulkan pabrik pembuat untuk melindungi dari kondisi berbahaya yang timbul dalam hal malfungsi instalasi turbin gas harus diserahkan ke BKI bersama dengan mode kegagalan dan analisis efek.

2.2 Turbin gas utama harus dilengkapi dengan perangkat penutup cepat (*shut down device*) yang secara otomatis menutup pasokan bahan bakar ke turbin setidaknya dalam hal:

- Kecepatan berlebih
- Penurunan tekanan minyak pelumas yang tidak dapat diterima
- Kehilangan pengapian selama pengoperasian
- Getaran yang berlebih
- Perpindahan aksial yang berlebih dari masing-masing rotor (Kecuali untuk turbin gas dengan bantalan rol)
- Suhu tinggi gas buang yang berlebih
- Penurunan tekanan minyak pelumas yang tidak dapat diterima dari gigi reduksi
- Tekanan vakum tinggi yang berlebih pada saluran masuk kompresor.

2.3 Pengoperasian turbin harus dilengkapi dengan kontrol suhu otomatis sehingga dapat menjaga kondisi tunak (*Steady State*) di seluruh rentang pengoperasian normal dari turbin gas utama:

- Suplai minyak pelumas
- Suplai bahan bakar minyak (atau kontrol otomatis viskositas bahan bakar minyak sebagai alternatif)
- Gas buang

2.4 Sarana otomatis atau penguncian harus disediakan untuk pembersihan semua bagian dari turbin gas utama dari akumulasi bahan bakar cair atau pembersihan untuk bahan bakar gas, sebelum pengapian dilakukan saat memulai atau memulai kembali setelah kegagalan sebelumnya.

2.5 Tuas manual untuk memutus aliran bahan bakar dalam keadaan darurat harus disediakan di *manouvering station*.

2.6 Perangkat penyalaan harus diatur sedemikian sehingga operasi pembakaran dihentikan dan katup bahan bakar utama ditutup dalam waktu yang telah ditentukan sebelumnya, ketika pengapian gagal.

3. Persyaratan Lainnya

Tergantung pada tingkat otomatisasi yang terpasang, tingkat dan desain peralatan juga mengacu pada persyaratan dalam [Rules for Automation \(Pt. 1, Vol. VII\)](#).

III. Turbocharger Gas Buang

A. Umum

1. Aplikasi

1.1 Peraturan ini berlaku untuk persetujuan dari turbocharger yang dipasang pada mesin diesel dan menjelaskan prosedur yang diperlukan untuk persetujuan gambar, pengujian, dan persetujuan pabrik pembuat.

1.2 Persyaratan meningkat sesuai dengan ukuran *turbocharger*. Parameter untuk ukuran adalah daya mesin (pada MCR) yang dipasok oleh kelompok silinder yang dilayani oleh turbocharger yang sebenarnya, (misalnya untuk mesin-V dengan satu turbocharger untuk setiap *cylinder bank* ukurannya adalah setengah dari total daya mesin).

1.3 Turbocharger dikategorikan dalam tiga kategori tergantung pada daya yang dilayani oleh kelompok silinder dengan:

- Kategori A : $\leq 1000 \text{ kW}$
- Kategori B : $> 1000 \text{ kW}$ dan $\leq 2500 \text{ kW}$
- Kategori C : $> 2500 \text{ kW}$

2. Persetujuan Tipe

Turbocharger harus disetujui, baik secara terpisah atau sebagai bagian dari mesin. Persyaratan ini ditulis untuk turbocharger yang digerakkan oleh gas buang, tetapi berlaku juga untuk pengisi daya yang digerakkan oleh mesin.

Untuk persetujuan turbocharger gas buang, lihat [Guidance For The Approval And Type Approval Of Materials And Equipment For Marine Use \(Pt. 1 Vol. W\) Sec. 3.K](#).

2.1 Dokumen untuk diserahkan

2.1.1 Kategori A

Berdasarkan permintaan

- Laporan pengujian *containment*.
- Gambar potongan melintang dengan dimensi utama dan nama-nama komponen.
- Program pengujian.

2.1.2 Kategori B dan C

- Gambar potongan melintang dengan dimensi utama dan material *housing* untuk evaluasi *containment*.
- Laporan *containment* dalam hal cakram retak (fracture disk), lihat [C.7](#).
- Data operasional dan batasan seperti :
 - Kecepatan operasi maksimum yang diizinkan (rpm)
 - Level alarm untuk kecepatan berlebih
 - Suhu gas buang maksimum yang diizinkan sebelum turbin
 - Level alarm untuk suhu gas buang sebelum turbin
 - Tekanan minimum inlet minyak pelumas
 - Titik setel alarm rendah untuk tekanan inlet minyak pelumas

- Suhu maksimum outlet minyak pelumas
- Titik setel alarm tinggi untuk suhu outlet minyak pelumas
- Tingkat getaran maksimum yang diizinkan, yaitu getaran yang dihasilkan internal dan eksternal (Level alarm diperbolehkan sama dengan batas yang diizinkan tetapi tidak boleh tercapai saat pengoperasian mesin pada daya 110% atau pada beban berlebih intermiten yang disetujui melebihi 110%)
- Pengaturan sistem pelumasan, semua varian dalam rentang.
- Laporan uji tipe.
- Program uji.

2.1.3 Kategori C

- Gambar-gambar *housing* dan bagian yang berputar termasuk detail pemasangan daun.
- Spesifikasi material (komposisi kimia dan sifat mekanik) dari semua bagian yang disebutkan di atas.
- Rincian pengelasan dan prosedur pengelasan dari bagian yang disebutkan di atas, jika berlaku.
- Dokumentasi³ dari transmisi torsi aman ketika disk dihubungkan ke poros dengan interferensi yang sesuai, lihat [B.6](#).
- Informasi tentang masa pakai yang diharapkan, mempertimbangkan pemuaian, kelelahan siklus rendah dan kelelahan siklus tinggi.
- Manual operasi dan pemeliharaan³

B. Desain dan Instalasi

1. Umum

Turbocharger harus dirancang untuk beroperasi setidaknya pada kondisi yang diberikan dalam [Bab 1, C](#).

2. Dasar pertimbangan desain

Dasar penerimaan dan sertifikasi berikutnya dari turbocharger adalah persetujuan gambar dan uji tipe terdokumentasi serta verifikasi integritas ketahanan (*containment integrity*).

Rotor turbocharger perlu dirancang sesuai dengan kriteria kecepatan untuk letusan natural. Secara umum, kecepatan letusan turbin harus lebih rendah dari kecepatan letusan kompresor untuk menghindari kecepatan berlebih turbin yang berlebihan setelah kompresor meletus akibat hilangnya penyerapan energi di kompresor.

3. Inlet udara

Inlet udara turbocharger harus dilengkapi dengan sebuah filter untuk meminimalkan masuknya kotoran atau air.

4. Permukaan Panas

Menurut SOLAS Rules and Regulations, Chapter II-2, Part. B – Prevention of the fire and explosions, Regulation 4, paragraph 2.3, bagian-bagian dengan suhu permukaan di atas 220 °C harus terisolasi dengan benar untuk meminimalkan resiko kebakaran jika minyak yang mudah terbakar, minyak pelumas, atau bahan bakar bersentuhan dengan permukaan ini.

³ Berlaku untuk dua ukuran dalam sebuah rentang generik turbocharger

Sambungan pipa harus berada atau dilindungi dengan pelindung sambungan (collar) sedemikian rupa sehingga kebocoran minyak baik berupa semprotan atau tetesan tidak dapat bersentuhan dengan permukaan panas yang lebih dari 220 °C.

Komponen panas dalam jangkauan lorong-lorong atau didalam wilayah kerja turbocharger harus diisolasi atau dilindungi sehingga sentuhan tidak akan menyebabkan luka bakar.

5. Pelumasan bantalan

Pelumasan bantalan tidak boleh terganggu oleh gas buang atau oleh komponen-komponen panas yang berdekatan.

Minyak bocor dan uap minyak harus dievakuasi sedemikian rupa sehingga tidak bersentuhan dengan bagian-bagian disekitarnya pada suhu yang sama atau lebih dari suhu penyalakan sendiri (*self-ignition*).

Untuk turbocharger yang berbagi sistem pelumasan yang sama dengan mesin diesel dan yang telah mendapat pasokan pompa listrik minyak pelumas, dianjurkan untuk menginstal tangki darurat minyak pelumas.

Aliran gas dari turbocharger ke komponen sekitar yang mengandung gas yang dapat meledak, misalnya selubung poros engkol harus dicegah oleh sebuah sistem ventilasi yang memadai.

6. Disc shaft shrinkage fit

6.1 Berlaku untuk Kategori C

6.2 Dalam kasus di mana cakram (*disc*) dihubungkan ke poros dengan suaian sesak (*interference fit*), harus membuktikan perhitungan transmisi torsi yang aman selama semua kondisi operasi yang relevan seperti kecepatan maksimum, torsi maksimum dan gradien suhu maksimum dikombinasikan dengan jumlah *shrinkage* minimum.

C. Pengujian

1. Pengujian Material

1.1 Umum

Pengujian material diperlukan untuk *housing*, poros, roda kompresor dan turbin, termasuk daun propeller.

Material yang digunakan untuk komponen turbocharger gas buang harus sesuai dengan penggunaannya dan harus memenuhi persyaratan minimum dari spesifikasi pabrik pembuat yang telah disetujui.

Semua material harus diproduksi dengan menggunakan teknik yang telah cukup terbukti menurut level tertinggi (*state of the art*), dimana dapat dipastikan bahwa sifat yang diperlukan tercapai. Ketika teknologi baru diterapkan, bukti awal dari kesesuaian harus disampaikan ke BKI. Berdasarkan keputusan BKI, hal ini mungkin dapat dilakukan dalam hal tes khusus untuk prosedur dan/atau dengan presentasi dari hasil tes pekerjaan sendiri maupun oleh keahlian dari lembaga pengujian independen.

Housing turbocharger yang berasal dari material ulet (minimum struktur feritik 90%) dan telah diolah dengan panas untuk mencapai struktur mikro dan keuletan material yang diperlukan serta untuk menghilangkan tegangan sisa. Deviasi dari standar perlakuan panas harus disetujui secara terpisah oleh BKI.

1.2 Kondisi Suplai dan Perlakuan Panas

Material harus disediakan dalam kondisi telah diberi perlakuan panas (*heat-treated*) yang ditentukan. Dimana perlakuan panas akhir akan dilakukan oleh pensuplai, kondisi aktual saat bahan disediakan harus dinyatakan secara jelas dalam Sertifikat yang relevan. Verifikasi akhir dari sifat bahan untuk komponen perlu disesuaikan dan dikoordinasikan sesuai prosedur produksi. Deviasi dari prosedur perlakuan panas harus disetujui oleh BKI secara terpisah.

1.3 Komposisi Kimia dan Sifat Mekanik

Material dan produk harus memenuhi persyaratan yang berkaitan dengan komposisi kimia dan sifat mekanik seperti yang ditentukan dalam [Rules for Materials \(Pt.1, Vol. V\)](#) atau, jika berlaku, dalam spesifikasi pabrik pembuat yang relevan dan telah disetujui untuk masing-masing tipe.

1.4 Pengujian Tak Merusak

Pengujian tak merusak harus diterapkan untuk roda-roda, propeller dan sambungan las dari bagian yang berputar. Kontrol produksi lain yang sama mungkin dapat diterima untuk sambungan las. Pengujian harus dilakukan oleh pabrik pembuat dan hasilnya bersama-sama dengan rincian metode uji harus dievaluasi sesuai dengan kriteria kualitas yang diakui dan didokumentasikan dalam Sertifikat.

1.5 Sertifikat Material

Sertifikat material harus berisi setidaknya informasi berikut:

- kuantitas, tipe produk, dimensi jika berlaku, jenis bahan, kondisi suplai dan berat.
- nama pemasok bersama dengan nomor pemesanan dan pekerjaan, jika berlaku
- nomor konstruksi, jika diketahui
- proses pembuatan
- angka kalor (*heat number*) dan komposisi kimia
- kondisi pasokan dengan rincian perlakuan panas
- tanda identifikasi
- hasil tes sifat mekanik yang dilakukan pada material di suhu lingkungan.

Sertifikat uji bahan harus dikeluarkan oleh produsen atau BKI, tergantung pada komponen turbocharger yang diproduksi. Sertifikat yang diperlukan diringkas dalam [Tabel 3.1](#).

Tabel 3.1 Sertifikat Bahan

Komponen Turbocharger	Jenis Sertifikat ¹⁾
Poros	Sertifikat Bahan BKI
Rotor (kompresor dan turbin)	Sertifikat Bahan BKI
<i>Disc blades</i>	Sertifikat Bahan BKI
<i>Housing</i>	Laporan Uji Produsen

¹⁾ Sertifikat uji harus dikeluarkan sesuai dengan [Rules for Materials, \(Pt. 1, Vol.V\) Sec. 1.](#)

Material harus sesuai dengan spesifikasi yang disetujui berkaitan dengan persetujuan tipe dalam setiap kasus. Sertifikat uji harus dikeluarkan sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol. V\) Sec. 1.](#)

Jika pabrik pembuat telah disetujui sesuai dengan D.2. sebagai pabrik pembuat turbocharger gas buang yang diproduksi massal yang dipasang pada mesin diesel dan memiliki bore silinder ≤ 300 mm, sifat material dari bagian-bagian ini dapat dicakup oleh Sertifikat Inspeksi Produsen dan tidak perlu diverifikasi oleh Surveyor BKI.

2. Pengujian Komponen

Pengujian berikut seperti yang diuraikan dalam 3 sampai 5 dapat dilakukan dan disertifikasi oleh pabrik pembuat untuk semua turbocharger gas buang. Harus dipastikan bahwa identifikasi komponen mengacu pada pengujian. Atas permintaan, dokumentasi tes, termasuk pengujian dari subkontraktor, harus diberikan kepada Surveyor BKI untuk pemeriksaan.

pengujian sebagaimana ditentukan dalam 6 sampai 8 harus dilakukan di hadapan Surveyor BKI.

BKI berhak untuk meninjau kinerja yang layak dan hasil tes setiap saat atas kepuasan persetujuan Surveyor.

3. Pengujian Tekanan

Ruang air pendingin serta sistem darurat untuk minyak pelumas pada selubung saluran masuk dan keluar gas harus dikenai pengujian tekanan hidrostatik dengan $p_p = 4$ bar, tetapi tidak kurang dari $p_p = 1.5 \times p_c$ (p_p : tekanan uji; p_c : tekanan desain).

4. Pengujian Kecepatan Berlebih (Overspeed)

Semua roda (kompresor dan turbin) harus menjalani pengujian kecepatan berlebih selama 3 menit pada 20% diatas kecepatan operasional maksimum pada suhu kamar, atau 10% diatas kecepatan maksimum yang diizinkan pada suhu kerja maksimum yang diizinkan. Jika setiap roda diperiksa secara individual menggunakan metode pengujian tak merusak yang disetujui oleh BKI, pengujian kecepatan berlebih tidak diperlukan. Deviasi harus disetujui secara terpisah oleh BKI.

5. Penyeimbang Dinamis

Setiap poros dan roda berdaun serta rakitan lengkap yang berputar, harus diseimbangkan secara dinamis sesuai dengan prosedur kontrol kualitas yang disetujui. Untuk penilaian kondisi keseimbangan DIN ISO 1940 atau peraturan yang sebanding dapat dirujuk.

6. Bench Test

Setiap *turbocharger* harus lolos pengujian unjuk kerja.

Pengujian unjuk kerja akan dilakukan selama 20 menit dengan beban berlebih (110% dari nilai *rated* mesin diesel) pada mesin yang dimaksudkan untuk menggunakan *turbocharger*.

Pengujian unjuk kerja ini dapat diganti dengan pengujian unjuk kerja terpisah dari unit *turbocharger* selama 20 menit pada kecepatan operasional maksimum dan suhu kerja maksimum.

Dalam hal verifikasi yang cukup dari kinerja *turbocharger* pada saat pengujian, pembongkaran selanjutnya diperlukan hanya dalam hal terjadinya kelainan seperti getaran tinggi atau kebisingan yang berlebihan atau penyimpangan lainnya dari parameter operasional seperti suhu, kecepatan, tekanan terhadap data operasional yang seharusnya.

Di sisi lain, *turbocharger* harus ditunjukkan kepada Surveyor BKI untuk pemeriksaan ditempat (spot check) yang disetujui.

Jika pabrik pembuat telah disetujui sebagai pabrik pembuat turbocharger yang diproduksi massal menurut D.2., *bench test* dapat dilakukan berdasarkan sampel yang disepakati. Dalam hal ini, kehadiran Surveyor saat pengujian tidak diperlukan.

7. Pengujian *Containment*

Turbocharger harus memenuhi persyaratan *containment* pada saat letusan rotor. Artinya ketika letusan rotor, tidak ada bagian yang mungkin dapat menembus selubung *turbocharger* atau lolos melalui saluran udara masuk. Untuk tujuan dokumentasi (pengujian/perhitungan), harus diasumsikan bahwa *disc* hancur dengan cara yang seburuk mungkin.

Persyaratan berikut berlaku untuk persetujuan tipe *turbocharger*.

Untuk kategori B dan C, *containment* harus didokumentasikan dengan pengujian. Pemenuhan persyaratan ini dapat diberikan ke berbagai *turbocharger* generik⁴ berdasarkan pengujian satu unit khusus. Pengujian unit besar lebih disukai karena hal ini dianggap konservatif untuk semua unit yang lebih kecil dalam kisaran generik. Dalam hal apapun, hal tersebut harus didokumentasikan (misalnya dengan perhitungan) bahwa unit tes yang dipilih benar-benar mewakili seluruh rentang generik.

Kecepatan minimum untuk pengujian *containment* didefinisikan sebagai berikut:

- Kompresor : $\geq 120\%$ dari kecepatan yang diizinkan
- Turbin : $\geq 140\%$ dari kecepatan maksimum yang diizinkan atau kecepatan letusan natural (mana yang lebih rendah)

Pengujian *containment* harus dilakukan pada suhu kerja.

Kecepatan letusan natural secara teoritis (desain) dari kompresor dan turbin harus disampaikan sebagai informasi.

Bukti numerik tentang integritas *containment* yang cukup dari housing berdasarkan perhitungan dengan menggunakan model simulasi dapat diterima sebagai pengganti pengujian *containment* secara aktual, asalkan:

- model simulasi numerik telah diuji dan penerapan/akurasinya telah terbukti dengan perbandingan langsung antara hasil perhitungan dan hasil pengujian *containment* secara aktual yang digunakan sebagai referensi. Tes ini harus dilakukan setidaknya sekali oleh pabrik pembuat untuk penerimaan metode simulasi numerik sebagai pengganti tes.
- simulasi numerik yang berkaitan dengan *containment* harus dilakukan pada kecepatan yang sama, seperti yang ditentukan untuk pengujian *containment* (lihat di atas).
- sifat material untuk deformasi kecepatan tinggi harus diterapkan dalam simulasi numerik. Korelasi antara sifat normal dan sifat pada kecepatan deformasi yang bersangkutan harus dibuktikan.
- desain *turbocharger* yang berkaitan dengan geometri dan kinematika harus serupa dengan *turbocharger* yang lolos dari pengujian *containment*. Secara umum, desain yang baru sama sekali akan membutuhkan pengujian *containment* yang baru.
- penerapan model simulasi mungkin memberikan petunjuk bahwa kecepatan *containment* yang lebih rendah daripada kecepatan minimum untuk pengujian *containment* mungkin lebih mempengaruhi untuk integritas *housing*, karena fitur desain khusus dan perilaku kinematika yang berbeda. Dalam kasus seperti ini, sifat integritas *containment* untuk *housing* harus dibuktikan untuk kasus yang terburuk.

Secara umum, surveyor BKI atau Kantor Pusat harus dilibatkan untuk pengujian *containment*. Dokumentasi pengujian *containment* fisik maupun laporan dari hasil simulasi harus diserahkan ke BKI dalam lingkup prosedur persetujuan.

⁴ Rentang generik berarti serangkaian *turbocharger* yang memiliki desain yang sama, tetapi berbeda ukuran terhadap satu sama lain.

8. Pengujian Tipe

Untuk persyaratan pengujian tipe, merujuk [Guidance Of The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt. 1 Vol. W\) Sec. 3.K](#)

9. Suku Cadang

Bagian rakitan yang berputar (rotor, roda dan *disc blades*) serta *housing turbocharger* harus diganti dengan suku cadang yang diproduksi oleh pabrik pembuat yang telah disetujui oleh BKI sesuai dengan gambar dan spesifikasi bahan yang telah disetujui sebelumnya. Pabrik pembuat tersebut harus diakui oleh pemegang persetujuan tipe yang asli.

D. Persetujuan Pabrik (Shop Approvals)

1. Material dan Produksi

Pabrik pembuat material serta prosedur produksi untuk bagian-bagian yang berputar dan *housing* harus disetujui oleh BKI.

2. Turbocharger Gas Buang yang diproduksi massal

Pabrik pembuat *turbocharger* yang diproduksi secara massal, yang mengoperasikan sistem manajemen mutu dan memproduksi *turbocharger* gas buang yang dipasang pada mesin diesel diproduksi massal yang disetujui oleh BKI dan memiliki bore silinder ≤ 300 mm dapat mengajukan untuk persetujuan *shop approval* ke Kantor Pusat BKI.

Setelah persetujuan *shop approval* memuaskan, pengujian material sesuai dengan [C.1](#). untuk bagian-bagian tersebut dapat di cakup oleh Sertifikat Inspeksi Pabrik pembuat dan tidak perlu diverifikasi oleh Surveyor

Selain itu, *bench test* menurut [C.6](#) dapat dilakukan pada sampel dan tidak perlu diverifikasi oleh Surveyor BKI.

Persetujuan *shop approval* ini berlaku selama 3 tahun dengan audit tindak lanjut tahunan.

Tidak ada sertifikat BKI yang akan dikeluarkan untuk *turbocharger* yang diproduksi secara massal. *Turbocharger* yang diproduksi massal akan disebutkan dengan nomor seri di sertifikat akhir yang dimaksudkan untuk mesin diesel.

3. Pembuatan turbocharger gas buang dibawah perjanjian lisensi

Produsen yang memproduksi *turbocharger* gas buang di bawah perjanjian lisensi harus mendapatkan pengakuan pemasok dari Kantor Pusat BKI.

Pengakuan pemasok dapat diterbitkan disamping perjanjian lisensi yang berlaku jika persyaratan berikut terpenuhi:

- *turbocharger* yang diproduksi memiliki persetujuan tipe BKI yang berlaku untuk pemberi lisensi
- gambar dan spesifikasi bahan serta prosedur kerja sesuai dengan gambar dan spesifikasi yang disetujui yang berkaitan dengan persetujuan *turbocharger* dari tipe untuk pemberi lisensi tersebut.

Setelah penilaian yang memuaskan dengan kombinasi dengan uji laboratorium yang dilakukan pada sampel dengan kehadiran Surveyor BKI, persetujuan gambar dan uji sesuai dengan [C.7](#) dan [C.8](#) tidak diperlukan. Ruang lingkup pengujian untuk bahan dan komponen harus dipenuhi dengan tanpa perubahan sesuai dengan [C.1](#) sampai [C.6](#). Pengakuan pemasok ini berlaku selama tiga tahun dengan audit tindak lanjut tahunan dan dapat diberikan, jika diperlukan bersama dengan persetujuan sebagai produsen *turbocharger*

yang diproduksi secara massal. Pengakuan pemasok menjadi tidak berlaku jika perjanjian lisensi berakhir. Pemberi lisensi wajib menginformasikan ke Kantor Pusat BKI tentang tanggal kadaluwarsanya.

E. Sertifikasi

1. Pabrik pembuat harus mematuhi sistem mutu yang dirancang untuk memastikan bahwa spesifikasi perancangan terpenuhi, dan fabrikasi tersebut sesuai dengan gambar yang disetujui.
2. Untuk kategori C, hal ini harus diverifikasi dengan menggunakan audit produk berkala dari Alternative Certification Scheme (ACS) oleh BKI
3. Audit ini harus fokus pada:
 - Komposisi bahan kimia untuk bagian yang berputar.
 - Sifat mekanis material dari spesimen representatif untuk bagian berputar dan *housing*.
 - UT dan deteksi retak dari bagian yang berputar.
 - Pemeriksaan dimensi bagian yang berputar.
 - Penyeimbangan rotor.
 - Pengujian hidrolik ruang-ruang pendingin hingga 4 bar atau 1,5 kali tekanan kerja maksimum, mana yang lebih tinggi.
 - Uji kecepatan berlebih dari semua roda kompresor selama 3 menit baik pada 20% di atas kecepatan yang mengaktifkan alarm pada suhu kamar atau pada 10% di atas kecepatan yang mengaktifkan alarm pada suhu inlet 45 °C saat diuji di *housing* aktual dengan rasio tekanan yang sesuai. Tes kecepatan berlebih dapat diabaikan untuk roda tempa yang secara individual dikontrol dengan metode tak merusak yang disetujui.
4. Turbocharger harus dikirim dengan:
 - Untuk kategori C, sertifikat klasifikasi, yang minimal mencantumkan persetujuan tipe yang berlaku dan ACS, ketika ACS berlaku.
 - Untuk kategori B, sertifikat kerja, yang minimal mencantumkan persetujuan tipe yang berlaku, yang mencakup penilaian produksi.
5. Hal yang sama berlaku untuk penggantian bagian yang berputar dan *housing*.
6. Alternatif lain untuk audit produk periodik di atas, sertifikasi individual dari turbocharger dan bagian-bagiannya dapat dilakukan atas kebijaksanaan BKI. Akan tetapi, sertifikasi individu dari turbocharger kategori C dan bagian-bagiannya juga harus didasarkan pada persyaratan pengujian yang ditentukan dalam poin-poin tersebut di atas.

F. Alarm & Pemantauan (Monitoring)

1. Untuk semua turbocharger Kategori B dan C, indikasi dan alarm seperti yang tercantum pada [Tabel 3.2](#) dipersyaratkan.
2. Indikasi dapat diberikan baik di lokasi lokal ataupun jarak jauh.

Tabel 3.2 Alarm dan indikasi untuk turbocharger kategori B dan C

Pos.	Parameter yang Dipantau	Kategori Turbocharger				Catatan	
		B		C			
		Alarm	Indikasi	Alarm	Indikasi		
1	Kecepatan	Tinggi ⁽⁴⁾	X ⁽⁴⁾	Tinggi ⁽⁴⁾	X ⁽⁴⁾		
2	Gas buang di setiap inlet turbocharger, suhu	Tinggi ⁽⁴⁾	X ⁽¹⁾	Tinggi	X	Alarm temperatur tinggi untuk setiap silinder pada mesin dapat diterima ⁽²⁾	
3	Minyak pelumas di setiap outlet turbocharger, suhu			Tinggi	X	Jika sistem tidak dipaksa, suhu minyak pelumas di dekat bantalan	
4	Minyak pelumas pada setiap intlet turbocharger, tekanan	Rendah	X	Rendah	X	Hanya untuk sistem pelumasan paksa ⁽³⁾	

⁽¹⁾ Sebagai alternatif Untuk turbocharger Kategori B, suhu gas buang dapat dipantau di outlet turbocharger, asalkan level alarm diatur ke tingkat yang aman untuk turbin dan korelasi antara suhu inlet dan outlet terbukti.
⁽²⁾ Alarm dan indikasi suhu gas buang di inlet turbocharger dapat ditiadakan jika alarm dan indikasi untuk setiap suhu gas buang disediakan untuk setiap silinder dan level alarm diatur ke nilai yang aman untuk turbocharger.
⁽³⁾ Sensor terpisah harus disediakan jika sistem minyak pelumas turbocharger tidak terintegrasi dengan sistem minyak pelumas mesin diesel atau jika dipisahkan oleh throttle atau katup pengurang tekanan dari sistem minyak pelumas mesin diesel.
⁽⁴⁾ Pada sistem turbocharger di mana turbocharger diaktifkan secara berurutan, pemantauan kecepatan tidak diperlukan untuk turbocharger yang diaktifkan terakhir dalam urutan, asalkan semua turbocharger berbagi filter udara masuk yang sama dan mereka tidak dilengkapi dengan pintu limbah.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 4 Sistem Poros Utama

A.	Umum.....	4-1
B.	Material	4-1
C.	Dimensi Poros	4-3
D.	Desain	4-6
E.	Uji Tekan.....	4-13

A. Umum

1. Ruang Lingkup

Peraturan berikut berlaku untuk poros tipe standar dan umum yang digunakan untuk propulsi utama dan bantu serta untuk pendorong samping (lateral). Deviasi desain memerlukan persetujuan khusus BKI.

BKI berhak untuk meminta dimensi propeler poros yang lebih dari yang ditentukan dalam Bab ini jika hasil pemasangan propeler mengakibatkan peningkatan tegangan bending.

2. Dokumen persetujuan

Gambar umum seluruh poros, dari flensa kopling mesin utama ke propeler, dan gambar detail poros, kopling dan bagian komponen lainnya yang mentransmisikan torsi mesin pendorong, dan di samping gambar detail dan pengaturan segel tabung buritan dan resin cor yang dipasang untuk tabung buritan dan bantalan poros harus diserahkan dalam format elektronik.

Untuk pengaturan bantalan poros sistem propulsi, perhitungan kesegaranan, termasuk instruksi kesegaranan, harus diserahkan, [lihat D.5.6](#). Dengan persetujuan BKI untuk sistem poros dengan diameter poros antara < 200 mm perhitungan kesegaranan dapat diabaikan.

Dokumentasi harus berisi semua data yang diperlukan dalam mengevaluasi tegangan yang terjadi.

B. Material

1. Material yang disetujui

Propeler, poros antara dan pendorong bersama dengan flensa dan penjepit kopling harus terbuat dari baja yang ditempa; bila memungkinkan, kopling dapat dibuat dari baja cor. Baja bulat yang digulung dapat digunakan untuk poros yang polos, tanpa flensa.

Secara umum, kekuatan tarik baja yang digunakan untuk sistem poros (poros, flensa kopling, baut/baut pas) harus berada diantara 400 N/mm^2 dan 800 N/mm^2 . Untuk bagian sistem poros yang dibebani secara dinamis, yang dirancang sesuai dengan rumus yang diberikan pada [C](#) dan [D](#), dan secara eksplisit untuk poros sendiri serta untuk baut yang menghubungkan/dipasang untuk koneksi flensa pada umumnya baja didinginkan dan dipanaskan harus digunakan dengan kekuatan tarik lebih dari 500 N/mm^2 .

Namun, nilai R_m yang digunakan untuk perhitungan faktor material C_w sesuai dengan rumus [\(2\)](#) harus tidak melebihi

- 600 N/mm^2 untuk poros propeler (pengecualian perlu persetujuan khusus BKI).
- 760 N/mm^2 untuk poros yang terbuat dari baja karbon atau karbon mangan kecuali poros propeler
- 800 N/mm^2 untuk poros yang terbuat dari baja paduan kecuali poros propeler.

Jika bahan dengan kekuatan tarik yang ditentukan atau yang sebenarnya lebih tinggi dari batasan yang diberikan di atas yang digunakan, maka dimensi poros yang diturunkan dari rumus (1) dan (2) harus tidak dikurangi.

Pada kasus khusus dimana paduan tembaga tempa yang tahan terhadap air laut akan digunakan untuk sistem poros, maka persetujuan dari BKI harus diperoleh.

2. Pengujian material

Semua bagian komponen dari sistem poros yang berperan dalam mentransmisikan torsi dari sistem propulsi kapal merujuk pada [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol. V\)](#), dan [Rules for Welding \(Pt. 1, Vol. VI\)](#), harus diuji. Persyaratan ini juga mencakup pelapis poros propeler yang terbuat dari logam. Jika poros propeler yang beroperasi di air laut akan dilindungi terhadap penetrasi air laut tidak dengan menggunakan pelapis logam tetapi dengan pelapis plastik, teknik pelapisan yang digunakan harus disetujui oleh BKI.

3. Persetujuan Khusus untuk baja paduan yang digunakan untuk material shaft antara

3.1. Aplikasi

Bagian ini digunakan untuk persetujuan baja paduan dimana tensile strength lebih dari 800 N/mm^2 , tetapi kurang dari 950 N/mm^2 dikhkususkan untuk material shaft antara.

3.2. Uji kelelahan torsional

Uji kelelahan torsional harus ditunjukkan untuk memverifikasi bahwa material yang diuji usia kelelahan setara dengan baja konvensional. Kekuatan kelelahan torsional bisa setara atau lebih dari permissible torsional tegangan vibrasi τ_1 pada formula di [Bab 16.C.1](#).

Pengujian harus dilakukan dengan masing-masing spesimen berlekuk dan tidak berlekuk. Untuk perhitungan faktor konsentrasi tegangan dari spesimen berlekuk, faktor reduksi β kekuatan lelah harus dievaluasi dengan mempertimbangkan konsentrasi tegangan puntir terberat dalam kriteria desain.

3.2.1 Kondisi Pengujian

Kondisi pengujian harus sesuai dengan [Tabel 4.1](#). Kekasaran permukaan rata-rata harus $<0,2\mu\text{m}$ Ra dengan tidak adanya tanda pemesinan lokal yang diverifikasi oleh pemeriksaan visual pada perbesaran rendah ($\times 20$) seperti yang dipersyaratkan oleh Bagian 8.4 dari ISO 1352:2011.

Prosedur pengujian harus sesuai dengan Bagian 10 dari ISO 1352:2011.

Tabel 4.1 Kondisi Uji

Tipe Pembebaan	Torsion
Rasio Tegangan	$R = -1$
Beban waveform	<i>Constant-amplitude sinusoidal</i>
Evaluasi	S-N curve
Jumlah siklus untuk penghentian pengujian	1×10^7 siklus

3.2.2 Kriteria Persetujuan

Kekuatan kelelahan torsi siklus tinggi terukur τ_{C1} dan kekuatan kelelahan torsi siklus rendah τ_{C2} harus sama dengan atau lebih besar dari nilai yang diberikan oleh rumus berikut:

$$\tau_{c1} \geq \tau_{c,\lambda} = 0 = \frac{R_m + 160}{6} \cdot c_K \cdot c_D$$

$$\tau_{c2} \geq 1,7 \cdot \frac{1}{\sqrt{c_K}} \cdot \tau_{c1}$$

Dimana:

- c_K = Faktor untuk fitur desain shaft tertentu, lihat [Bab 16.C.1](#)
- scf = Faktor Konsentrasi tegangan, Lihat [Bab 16.C.1 Tabel 16.1](#) (Untuk specimen tanpa lekuk, 1,0)
- c_D = Faktor ukuran, Lihat [Bab 16.C.1](#)
- R_m = Tensile strength minimum kekuatan dalam N/mm² dari material shaft

3.3. Cleanliness requirements

Baja harus memiliki tingkat kebersihan seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 4.2](#) saat diuji menurut metode ISO 4967:2013 A. Sampel representatif harus diperoleh dari setiap panas produk tempa atau canai. Baja umumnya memenuhi persyaratan minimum [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\) Sec.6.B, Table 6.2b](#), dengan perhatian khusus diberikan untuk meminimalkan konsentrasi belerang, fosfor dan oksigen untuk memenuhi persyaratan kebersihan. Komposisi baja spesifik harus disetujui oleh Klas.

Tabel 4.2 Persyaratan kebersihan

Inclusion group	Series	Limiting chart diagram index I
Type A	Fine	1
	Thick	1
Type B	Fine	1,5
	Thick	1
Type C	Fine	1
	Thick	1
Type D	Fine	1
	Thick	1
Type DS	-	1

4. Inspection

Pengujian ultrasonik yang disyaratkan oleh [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\) Sec.6.H.6](#) harus dilakukan sebelum penerimaan. Kriteria penerimaan harus sesuai dengan Rekomendasi IACS No. 68 atau standar nasional atau internasional yang diakui.

C. Dimensi Poros

1. Umum

Persyaratan berikut berlaku untuk poros propulsi seperti poros antara dan propeler dari desain tradisional yang langsung ditempa dan yang digerakkan oleh mesin berputar seperti mesin diesel, turbin atau motor listrik.

Untuk poros yang merupakan bagian integral peralatan, seperti *gear boxes* (lihat Bab 5), penggerak dengan pod, motor listrik dan/atau generator, pendorong (thruster), turbin dan yang pada umumnya menggabungkan fitur desain tertentu, kriteria tambahan dalam kaitannya dengan dimensi yang dapat diterima harus diperhitungkan. Untuk poros dalam peralatan seperti itu, persyaratan berikut hanya dapat diterapkan untuk poros yang terutama terkena torsi dan memiliki fitur desain tradisional. Batasan lainnya, seperti desain untuk kekakuan, suhu tinggi, dan lain-lain, harus dipertimbangkan sebagai tambahan.

Secara eksplisit, akan ditekankan bahwa aplikasi berikut tidak dicakup oleh persyaratan dalam Bab ini:

- penguatan tambahan untuk poros di kapal yang diperkuat untuk navigasi dalam es (lihat Bab 13)
- poros roda gigi (lihat Bab 5)
- poros motor listrik dan rotor generator
- poros rotor turbin (lihat Bab 3.I dan 3.II)
- poros engkol untuk mesin pembakaran dalam (lihat Bab 2)

Selain itu, semua bagian dari sistem poros harus dirancang untuk memenuhi persyaratan yang berkaitan dengan getaran torsional, yang diatur dalam Bab 16.

Secara umum, penentuan dimensi pada sistem poros harus didasarkan pada nilai total daya terpasang.

Jika geometri sebuah bagian sedemikian rupa sehingga tidak dapat diberi ukuran sesuai dengan rumus tersebut, bukti khusus kekuatan mekanik dari bagian yang tersebut harus diserahkan ke BKI.

Setiap perhitungan alternatif harus mencakup semua beban yang relevan pada sistem poros dinamis lengkap pada semua kondisi operasi yang diperbolehkan. Perhatian harus diberikan terhadap dimensi dan pengaturan dari semua koneksi poros. Selain itu, perhitungan alternatif harus memperhitungkan desain kriteria untuk beban operasi kontinyu dan transien (dimensi untuk kekuatan lelah) dan untuk beban operasi puncak (pendimensian untuk kekuatan lelah). Analisis kekuatan lelah dapat dilakukan secara terpisah untuk asumsi beban yang berbeda, misalnya:

- Kriteria kelelahan siklus rendah (biasanya $< 10^4$), yaitu siklus primer yang direpresentasikan oleh beban nol ke beban penuh dan kembali ke nol, termasuk torsi balik jika berlaku. Hal ini dibahas oleh rumus (1).
- Kriteria kelelahan siklus tinggi (biasanya $\geq 10^7$), yaitu tekanan getaran torsional yang diizinkan untuk operasi terus menerus serta tegangan bending balik. Batas tegangan getaran torsional diberikan dalam Bab 16. Pengaruh tegangan bending balik diatasi dengan margin keamanan yang melekat dalam rumus (1).
- Akumulasi kelelahan karena getaran torsional ketika melewati *barred speed range* atau kondisi transien lainnya dengan tegangan di luar batas yang diizinkan untuk beroperasi terus menerus dibahas oleh kriteria untuk tegangan transien dalam Bab 16.

2. Diameter minimum

Diameter poros minimum harus ditentukan dengan rumus (1).

$$d_a \geq d \geq F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{n \cdot \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a} \right)^4 \right]} \cdot C_w} \quad (1)$$

d = diameter minimum poros luar yang diperlukan [mm]

d_a = diameter poros luar aktual

d_i = diameter aktual dari diameter poros. jika diameter di poros adalah $\leq 0,4 \cdot d_a$, ekspresi

$$= 1 - \left(\frac{d_i}{d_a} \right)^4 \text{ dapat diambil sebagai } 1,0$$

P_w = rating daya motor penggerak, rugi daya *gear box* dan bantalan tidak boleh dikurangi [kW]

n = kecepatan poros pada rating daya [Rpm]

F = Faktor untuk jenis instalasi propulsi

a) Poros propeller

= 100 untuk semua jenis instalasi

b) Poros antara dan dorong

= 95 untuk instalasi turbin, instalasi mesin diesel dengan kopling slip hidrolik, instalasi propulsi elektrik

= 100 untuk semua instalasi propulsi lainnya

C_w = Faktor material

$$\frac{560}{R_m + 160} \quad (2)$$

R_m = kekuatan tarik minimum yang ditentukan dari material poros (lihat juga B.1) [N/mm²]

k = faktor untuk jenis poros

a) Poros antara

$k = 1,0$ untuk bagian polos dari poros antara dengan flensa kopling yang ditempa utuh atau dengan flensa kopling shrink fitted tanpa pasak. Untuk poros dengan torsi getaran tinggi, diameter untuk kopling shrink fitted harus sedikit ditingkatkan, misalnya 1 sampai 2%.

$k = 1,10$ untuk poros antara dimana flensa kopling yang dipasang pada ujung poros dengan bantuan pasak. Pada jarak setidaknya $0,2 \cdot d$ dari ujung jalan pasak, poros tersebut dapat dikurangi dengan diameter yang dihitung dengan $k = 1,0$.

$k = 1,10$ untuk poros antara dengan lubang radial yang diameternya tidak melebihi $0,3 \cdot d$. Persimpangan antara lubang radial dan aksial eksentrik memerlukan pertimbangan kekuatan khusus.

$k = 1,15$ untuk poros antara yang dirancang sebagai poros multi alur (multi-splined) dimana d adalah diameter luar poros beralur. Di luar bagian beralur, poros dapat dikurangi ke diameter yang dihitung dengan $k = 1,0$.

$k = 1,20$ untuk poros antara dengan slot memanjang dalam batasan berikut:

- panjang slot hingga $0,8 \cdot d$
- diameter dalam hingga $0,8 \cdot d$
- lebar slot e hingga $0,1 \cdot d$
- bulatan akhir setidaknya $0,5 \cdot e$
- 1 slot atau 2 slot pada 180° atau 3 slot pada 120°

Slot yang melampaui batasan ini memerlukan pertimbangan kekuatan khusus.

b) Poros dorong

$k = 1,10$ untuk poros dorong yang merupakan bagian eksternal dari mesin didekat bantalan polos di kedua sisi dari lengkungan pendorong, atau dekat bantalan aksial dimana bantalan rol digunakan.

c) Poros propeler

$k = 1,22$ untuk poros propeler dengan flensa terpasang atau propeler yang dipasangi tirus tanpa pasak (keyless taper), berlaku untuk bagian poros antara sisi depan bantalan poros belakang dan sisi depan dari hub propeller atau flensa poros, tetapi tidak kurang dari $2,5d$.

Dalam kasus kelengkapan berupa tirus tanpa pasak, metode koneksi harus disetujui oleh BKI.

$k = 1,26$ untuk poros propeler didaerah yang ditentukan untuk $k = 1,22$, jika propeler dikunci ke propeler poros *taper*.

$k = 1,40$ untuk poros propeler di daerah yang ditentukan untuk $k = 1,22$, jika poros di dalam tabung buritan dilumasi dengan *grease*.

$k = 1,15$ untuk poros propeler antara akhir ujung depan dari bagian belakang bantalan dan ujung akhir depan segel tabung buritan. Bagian dari poros propeler yang terletak didepan segel tabung buritan dapat secara bertahap dikurangi sampai ukuran poros antara

D. Desain

1. Umum

Perubahan diameter harus dilakukan dengan taper atau penambahan radius. Radius harus setidaknya sama dengan perubahan diameter

Untuk poros antara dan dorong, radius pada flensa tempa harus setidaknya 8% dari diameter minimum yang dihitung untuk keseluruhan poros di lokasi yang relevan. *Fillet* harus memiliki hasil akhir yang halus dan tidak boleh dirusak menggunakan mur dan kepala baut.

Fillet dapat dibentuk dari multi-radius sedemikian rupa sehingga faktor konsentrasi tegangan tidak akan lebih besar dari yang untuk fillet melingkar dengan radius 0,08 kali diameter poros aktual.

Untuk flensa poros belakang propeler, radius harus setidaknya 12,5% dari diameter minimum yang dihitung untuk keseluruhan poros di lokasi yang relevan.

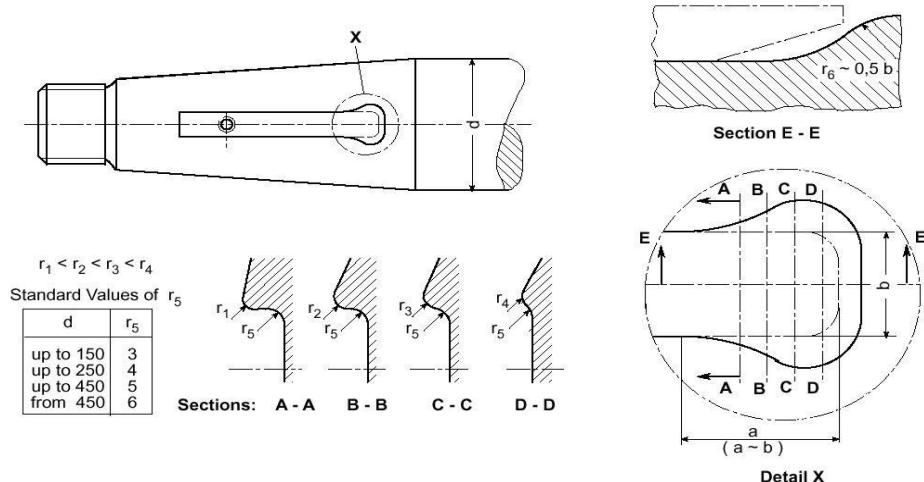
2. *Taper* Poros dan ulir mur

Alur Pasak pada umumnya tidak dapat digunakan pada instalasi dengan rentang *barred speed range*.

Alur pasak pada *taper* poros untuk propeler harus dirancang sedemikian rupa sehingga ujung depan alur membuat transisi bertahap ke seluruh bagian poros. Selain itu, ujung depan alur pasak harus *spoon shaped*. Tepi alur pasak pada permukaan *taper* poros propeler tidak tajam. Ujung depan alur pasak bulat harus berada pada posisi yang baik dalam dudukan bos propeller. Lubang berulir untuk mengamankan sekrup dari kunci propeller harus terletak hanya pada paruh belakang atau pada pasak, lihat [Gambar. 4.1](#).

umumnya, taper untuk mengamankan kopling flensa yang disambung dengan pasak harus memiliki konis antara 1 : 12 dan 1 : 20. Lihat [Bab 6](#) untuk rincian propeler poros yang mengecil pada sisi propeler.

Diameter luar ujung berulir untuk mur penahan propeler tidak boleh kurang dari 60% dari diameter *taper* besar yang dihitung.



Gambar 4.1. Desain pasak pada poros propeller

3. Perlindungan poros propeller

3.1 Penyegelan

Pada ujung tabung buritan, poros propeler dengan minyak atau pelumas *grease* harus dilengkapi dengan segel yang terbukti efisiensinya dan disetujui oleh BKI, lihat juga persyaratan yang berlaku untuk penyegelan eksternal dari tabung buritan dalam konteks survei poros propeller yang ditentukan dalam [Rules for Classification and Surveys \(Pt. 1, Vol. I\), Section 3](#).

Pengamanan pada tabung buritan, jalur poros (shaft line) atau propeler (misalnya pelapis baja krom) harus menjamin kerapatan permanen. BKI berhak untuk meminta verifikasi yang sesuai.

Untuk perlindungan dari penyegelan, sebuah tali pengaman harus disiapkan.

Dudukan bos propeller harus dilindungi secara efektif terhadap masuknya air laut. Segel ini dapat diitiadakan jika poros propeller terbuat dari bahan tahan korosi.

Dalam kasus Kelas Notasi **IW**, segel harus dilengkapi dengan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengukur jarak bantalan ketika kapal tersebut mengapung.

3.2 Pelapis Poros

3.2.1 Poros propeler yang tidak terbuat dari bahan tahan korosi dan yang beroperasi di air laut harus dilindungi dari masuknya air laut dengan pelapis logam tahan air laut atau pelapis lain yang disetujui oleh BKI dan dengan segel yang terbukti efektif pada propeler.

3.2.2 Pelapis logam sesuai dengan [3.2.1](#) yang beroperasi di air laut, harus dibuat dalam satu potongan. Dengan persetujuan yang dinyatakan oleh BKI, pelapis tersebut dapat terdiri dari dua bagian atau lebih, asalkan tepi yang berbatasan dengan bagian-bagian tambahan disegel dan dilindungi setelah pemasangan dengan metode yang disetujui oleh BKI untuk menjamin kekedapan air. Salah satu metode yang dapat diterima adalah menggunakan pelapisan khusus. Sambungan tersebut harus menjalani uji khusus untuk membuktikan efektivitasnya.

3.2.3 Ketebalan dinding minimum pelapis poros

Ketebalan dinding minimum s [mm] pelapis poros logam berdasarkan [3.2.1](#) harus ditentukan sebagai berikut:

$$s = 0,03 \cdot d + 7,5 \quad (3)$$

dimana:

d = diameter poros dibawah pelapis [mm]

Dalam kasus pelapis menerus, ketebalan dinding antara bantalan dapat dikurangi menjadi 0,75 s.

4. Koneksi kopling

4.1 Untuk poros antara, poros dorong dan ujung bawah dari poros propeller, flensa harus memiliki ketebalan minimum 0,20 kali aturan diameter d dari poros antara atau ketebalan dari diameter baut kopling yang dihitung untuk material yang memiliki kekuatan tarik yang sama sebagai poros yang sesuai, mana yang lebih besar.

Jika propeller melekat pada flensa yang ditempa pada poros propeller, flensa harus memiliki ketebalan minimal 25% dari diameter minimum dihitung dari poros di lokasi yang relevan.

Pertimbangan khusus akan diberikan oleh BKI untuk flensa yang memiliki permukaan non-paralel, tetapi pada kondisi apapun, ketebalan flensa tidak boleh kurang dari diameter baut kopling.

Pada rumus (4), (5), (6), dan (7), definisi simbol berikut digunakan :

- A = luas efektif dudukan *shrink fit* [mm²]
 c_A = koefisien untuk sambungan *shrink fit*, tergantung pada jenis unit penggerak
= 1,0 untuk penggerak mesin diesel dan turbin dengan roda gigi
= 1,2 untuk penggerak mesin diesel yang dikopel langsung
C = konisitas ujung poros
= perbedaan diameter kerucut/panjang kerucut
d = diameter poros di daerah kopling tipe penjepit [mm]
 d_s = diameter baut pas [mm]
 d_k = diameter leher dari baut bagian bawah (*necked down*) [mm]
D = diameter lingkaran pitch baut [mm]
f = koefisien untuk sambungan *shrink fit*
Q = kekuatan sekitar pada diameter sambungan tengah dari *shrink fit* [N]
n = kecepatan poros [Rpm]
p = tekanan kontak dari *shrink fit* [N/mm²]
 P_w = rating daya motor penggerak [KW]
 S_{f1} = ketebalan flensa di daerah lingkaran pitch baut [mm]
S = faktor keamanan dari slip *shrink fit* pada sistem poros
= 3,0 antara motorik dan gigi
= 2,5 untuk semua aplikasi lainnya
T = daya dorong propeller dan juga gaya aksial [N]
z = jumlah baut pas atau baut bagian bawah
 R_m = kekuatan tarik material baut pas atau baut bagian bawah [N/mm²]
 μ_0 = koefisien gesek statis
= 0,15 untuk *shrink fit* hidrolik
= 0,18 untuk *shrink fit* kering

Θ = setengah konisitas ujung poros
 $= C / 2$

4.2 Baut yang digunakan untuk menghubungkan kopling flensa biasanya dirancang sebagai baut pas. Diameter minimum d_s baut pas pada muka flensa kopling harus ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$d_s = 16 \cdot \sqrt{\frac{10^6 \cdot P_w}{n \cdot D \cdot z \cdot R_m}} \text{ [mm]} \quad (4)$$

4.3 Jika dalam keadaan khusus, penggunaan baut pas tidak layak, BKI dapat menyetujui penggunaan transmisi gesek yang setara.

4.4 Diameter akar ulir minimum d_k dari baut penghubung yang digunakan untuk kopling tipe penjepit harus ditentukan dengan rumus:

$$d_k = 12 \cdot \sqrt{\frac{10^6 \cdot P_w}{n \cdot d \cdot z \cdot R_m}} \text{ [mm]} \quad (5)$$

4.5 Poros dari baut bagian bawah tidak boleh kurang dari 0,9 kali diameter akar ulir. Jika, selain torsi, koneksi baut harus mentransmisikan gaya tambahan yang cukup besar, maka baut harus diperkuat.

4.6 Mur untuk baut kopling yang dipasang dan poros mur untuk flensa kopling harus diamankan dengan benar dari terlepas tanpa disengaja. Poros mur untuk kopling yang dipasang tanpa pasak harus diamankan pada poros.

4.7 Kopling *shrink fit*

Jika poros dihubungkan dengan kopling *shrink fit* tanpa pasak (tipe flensa atau sleeve), dimensi *shrink fit* ini harus dipilih sedemikian rupa bahwa maksimum von mises yang setara tegangan pada semua bagian tidak akan melebihi 80% dari kekuatan mulur bahan tertentu selama operasi dan 95% selama pemasangan dan pembongkaran.

Untuk perhitungan margin keselamatan dari koneksi terhadap selip, jarak maksimum harus diterapkan. Jarak ini harus diperoleh dari perbedaan antara diameter terendah dan diameter tertinggi untuk diameter dan poros sesuai dengan gambar manufaktur. Tekanan kontak p [N/mm^2] di *shrink fit* untuk mencapai margin keamanan yang dibutuhkan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus (6) dan (7).

$$p = \frac{\sqrt{\Theta^2 \cdot T^2 + f \cdot (c_a^2 \cdot Q^2 + T^2)} - \Theta \cdot T}{A \cdot f} \quad (6)$$

T harus dituliskan sebagai nilai positif jika daya dorong propeler meningkatkan tekanan permukaan pada *taper*. Perubahan arah dari daya dorong propeler akan diabaikan asalkan kekuatan dan daya dorong pada dasarnya kecil.

T harus dituliskan sebagai nilai negatif jika daya dorong propeler mengurangi tekanan permukaan pada *taper*, misalnya untuk propeler traktor.

$$f = \left(\frac{\mu_o}{s} \right)^2 - \Theta^2 \quad (7)$$

Untuk sistem propulsi yang dikopel secara langsung dengan rentang *barred speed range*, harus dikonfirmasi dengan perhitungan terpisah bahwa torsi pada getaran resonansi utama ditransmisikan dengan aman. Sebagai bukti hal ini, keamanan terhadap selip untuk transmisi torsi harus setidaknya $S = 1,8$ (bukan $S = 2,5$), koefisien c_A dapat diatur untuk 1,0. Untuk bukti tambahan ini, pengaruh masing-masing daya dorong dapat diabaikan.

5. Bantalan sistem poros

5.1 Susunan bantalan poros

Gambar yang menunjukkan semua bantalan poros, seperti bantalan tabung buritan, bantalan antara dan bantalan dorong, harus diajukan untuk disetujui secara terpisah, jika detil desain tidak terlihat pada gambar susunan sistem poros. Beban bantalan yang diperbolehkan harus ditunjukkan. Kecepatan poros terendah yang diijinkan juga harus dipertimbangkan.

Bantalan poros baik didalam dan diluar tabung buritan harus disusun sedemikian rupa sehingga masing-masing bantalan terkena gaya reaksi positif terlepas dari kondisi pembebasan kapal ketika perangkat ini berada pada kondisi suhu pengoperasian.

Dengan jarak bantalan yang tepat dan dengan penyelarasan sistem poros dalam kaitannya dengan flensa kopling pada mesin atau roda gigi, kehati-hatian harus diambil untuk memastikan bahwa tidak ada gaya geser yang tidak semestinya atau momen lentur yang diberikan pada poros engkol atau poros gigi ketika sistem ini pada kondisi suhu pengoperasian. Dengan jarak bantalan yang terpisah cukup jauh, langkah-langkah juga harus diambil untuk memastikan bahwa gaya reaksi dari jalur atau gigi bantalan poros tidak signifikan dipengaruhi ketika penyelarasan dari satu atau lebih bantalan diubah oleh defleksi lambung atau oleh perpindahan atau keausan bantalan itu sendiri.

Pedoman nilai-nilai untuk jarak maksimum yang diizinkan antara bantalan l_{max} [mm] dapat ditentukan dengan rumus (8)

$$l_{max} = K_1 \cdot \sqrt{d} \quad [\text{mm}] \quad (8)$$

d = diameter poros antar bantalan [mm]

K_1 = 450 untuk bantalan *white metal* dengan pelumasan minyak

= 280 untuk besi cor kelabu, bantalan tabung buritan dengan pelumasan *grease*

= 280-350 untuk bantalan karet dengan pelumasan air dalam tabung buritan dan *bracket* poros (nilai atas hanya untuk desain khusus)

Jika kecepatan putaran poros melebihi 350 rpm, dianjurkan jarak bantalan maksimum ditentukan sesuai dengan rumus (9) untuk menghindari beban berlebihan karena getaran *bending*. Dalam kasus tertentu, analisis getaran lentur untuk sistem sistem poros dianjurkan.

$$l_{max} = K_2 \cdot \sqrt{\frac{d}{n}} \quad [\text{mm}] \quad (9)$$

n = kecepatan poros [rpm]

K = 8400 untuk bantalan *white metal* dengan pelumasan minyak

= 5200 dengan pelumasan *grease*, bantalan besi cor kelabu dan untuk bantalan karet di dalam tabung buritan dan *bracket* poros.

Secara umum, jarak antara bantalan tidak boleh kurang dari 60% dari jarak maksimum yang diizinkan seperti yang dihitung dengan menggunakan masing-masing rumus (8) atau (9).

5.2 Bantalan tabung buritan

5.2.1 Dalam tabung buritan poros, propeler normalnya harus didukung oleh dua titik bantalan. Secara singkat, sebuah bantalan tabung buritan *forward* dapat dihilangkan, sehingga pada kasus tersebut, setidaknya satu bantalan *journal* yang berdiri bebas harus disiapkan.

5.2.2 Jika poros propeler dalam tabung buritan yang bekerja di bantalan *white metal* dengan pelumasan minyak atau karet sintetis atau resin yang diperkuat atau bahan plastik yang disetujui untuk

digunakan dalam bantalan tabung buritan dengan pelumasan minyak, panjang dari bantalan tabung buritan belakang dan depan harus diperkirakan masing-masing sekitar $2 \cdot d_a$ dan $0,8 \cdot d_a$.

Panjang bantalan tabung buritan belakang dapat dikurangi menjadi $1,5 \cdot d_a$ jika beban kontak, yang dihitung dari beban statis dan memungkinkan untuk berat propeler kurang dari 0,8 MPa dalam kasus poros ditumpu pada bantalan *white metal* dan kurang 0,6 MPa dalam kasus bantalan yang terbuat dari material sintetis. Material sintetis harus dari tipe yang disetujui.

5.2.3 Jika poros propeler di dalam tabung buritan bekerja pada bantalan yang terbuat dari *lignum vitae*, karet atau plastik yang disetujui untuk digunakan dalam bantalan tabung buritan dengan pelumasan air, panjang bantalan tabung buritan belakang harus sekitar $4 \cdot d_a$ dan panjang bantalan tabung buritan depan sekitar $1,5 \cdot d_a$.

Pengurangan panjang bantalan dapat disetujui jika bantalan ditunjukkan dengan cara uji laboratorium sehingga memiliki kapasitas menahan beban yang cukup.

Untuk bantalan dengan pelumasan air dari desain bahan sintetis yang diperkuat dengan percobaan yang memuaskan berdasarkan pertimbangan BKI dapat diberikan untuk panjang bantalan yang tidak kurang dari 2,0 kali diameter perhitungan poros pada jalur bantalan.

5.2.4 Jika poros propeler bekerja pada cincin penyekat dengan pelumasan *grease*, terbuat dari besi cor kelabu, panjang dari bantalan tabung buritan belakang dan depan masing-masing diperkirakan $2,5 \cdot d_a$ dan $1,0 \cdot d_a$.

Kecepatan periferal poros propeler tidak boleh melebihi:

- 2,5 sampai maksimal 3,0 m/s untuk bantalan besi cor kelabu dengan pelumasan *grease*
- 6,0 m/s untuk bantalan karet
- 3,0 sampai maksimal 4,0 m/s untuk bantalan *lignum vitae* dengan pelumasan air

5.2.5 Jika terdapat bantalan rol, persyaratan [5.3.2](#) harus dipertimbangkan.

5.3 Bantalan antara

5.3.1 Bantalan biasa

Untuk bantalan antara, panjang bantalan yang lebih pendek atau beban tertentu yang lebih tinggi seperti yang didefinisikan dalam [5.2](#) dapat disepakati dengan BKI.

5.3.2 Bantalan rol

Untuk kasus penerapan bantalan rol untuk jalur poros, desain harus memadai untuk kebutuhan spesifik. Untuk jalur poros, defleksi dan kemiringan signifikan harus diperhitungkan. Keberadaannya harus tidak boleh menimbulkan konsekuensi yang merugikan.

Untuk penerapan bantalan rol beban minimum yang diperlukan sebagaimana ditentukan oleh pabrik pembuat harus diperhatikan.

Umur minimum L_{10a} (sesuai ISO 281) harus sesuai dengan *overhaul interval* yang ditentukan.

5.4 Pelumasan bantalan

5.4.1 Pelumasan dan pencocokan material dari bantalan biasa dan rol untuk sistem poros harus memenuhi tuntutan operasional kapal samudra. Pelumasan dan pendinginan yang cukup juga harus dipastikan pada putaran poros lambat dan kecepatan kapal lambat.

5.4.2 Minyak pelumas atau *grease* harus dimasukkan ke dalam tabung buritan sedemikian rupa sehingga menjamin pasokan minyak atau *grease* terhadap bantalan tabung buritan depan dan belakang.

Dengan pelumasan *grease*, bantalan depan dan belakang masing-masing harus dilengkapi dengan koneksi *grease*. Jika memungkinkan, sebuah pistol *grease* yang digerakkan oleh poros harus digunakan untuk mengamankan kelangsungan penyediaan *grease*. *Grease* yang mudah terurai harus didahulukan untuk digunakan.

Jika poros bekerja didalam tabung buritan yang berisi minyak, sebuah tangki penampungan (*header tank*) harus dipasang pada ketinggian yang cukup di atas garis muat kapal. Harus dimungkinkan untuk memeriksa pengisian tangki tersebut setiap saat.

Suhu bantalan tabung buritan belakang (pada umumnya dekat tepi belakang bantalan yang lebih rendah) harus diindikasikan. Sebagai alternatif, dengan diamater poros propeler yang kurang dari 400 mm, suhu minyak tabung buritan dapat diindikasikan. Dalam hal ini, sensor suhu harus berada di sekitar bantalan tabung buritan belakang.

5.4.3 Dalam kasus kapal dengan permesinan otomatis, [Rules for Automation \(Pt. 1, Vol. VII\)](#), harus dipenuhi.

5.5 Koneksi tabung buritan

Tabung buritan dengan pelumasan minyak harus dilengkapi dengan pipa koneksi pengisian, pengujian, drainase serta dengan pipa ventilasi.

Jika poros propeler bekerja dengan air laut, sebuah jalur pembilasan harus dipasang di depan bantalan tabung buritan bagian depan bukan dari pipa koneksi pengisian. Jika dipersyaratkan, jalur pembilasan ini harus juga berperan sebagai pelumasan air paksa.

5.6 Monitoring kondisi poros propeler di tabung buritan

5.6.1 Jika poros propeler bekerja didalam tabung buritan dengan minyak, terdapat kemungkinan untuk memperpanjang interval antara penarikan poros. Untuk tujuan ini, langkah-langkah desain berikut harus dilakukan:

- perangkat untuk pengukuran suhu bantalan tabung buritan belakang (dan dokumentasi reguler dari nilai yang diukur), bandingkan [5.4.2](#)
- kemungkinan untuk menentukan konsumsi minyak dalam tabung buritan (dan dokumentasi reguler)
- pengaturan untuk mengukur keausan dibawah bantalan belakang
- sebuah sistem untuk mengambil sampel minyak di ujung belakang tabung buritan pada kondisi sedang bekerja untuk analisis kualitas minyak (efek penuaan dan kandungan H₂O, besi, tembaga, timah, silikon, bantalan logam, dan lain-lain) dan wadah yang cocok untuk mengirim sampel ke laboratorium yang terakreditasi. (Sampel harus diambil setidaknya setiap enam bulan).
- keterangan tertulis tentang prosedur yang tepat untuk mengambil sampel minyak
- perangkat tes untuk mengevaluasi kadar air dalam minyak pelumas di atas kapal (untuk digunakan sebulan sekali).
- Jika bantalan rol (*roller bearing*) tersedia, pengukuran getaran tambahan harus dilakukan secara teratur dan didokumentasikan. Ruang lingkup pengukuran dan dokumentasi harus disepakati bersama dengan BKI khususnya untuk sistem.

5.6.2 Persyaratan untuk survei awal dari sistem ini serta untuk pemeriksaan pada saat Survei Tahunan dan Pembaharuan Kelas diatur dalam [Rules for Classification and Surveys \(Pt. 1, Vol. I\), Sec. 3, B.1.3.8](#)

5.6.3 Jika persyaratan sesuai dengan [5.6.1](#) dan [5.6.2](#) terpenuhi, Kelas Notasi **CM-PS** dapat diberikan.

5.7 Pemasangan resin cor

Pemasangan tabung buritan dan bantalan tabung buritan yang terbuat dari resin cor dan juga dudukan bantalan poros antara pada bagian resin cor harus dilakukan oleh perusahaan yang disetujui oleh BKI dengan dihadiri Surveyor BKI.

Hanya resin cor yang disetujui oleh BKI yang dapat digunakan untuk tempat dudukannya.

Instruksi instalasi yang dikeluarkan oleh pabrik pembuat resin cor harus diperhatikan.

Untuk keterangan lebih lanjut, lihat [Guidelines for the Seating of Diesel Engines Installation \(Pt. 1, Vol. U\)](#).

5.8 Kesegaranan poros

Harus diverifikasi dengan perhitungan kesegaranan bahwa persyaratan untuk poros, *gearbox*, dan bantalan mesin terpenuhi pada semua kondisi kerja yang relevan dari sistem propulsi. Pada semua hal ini, pengaruh statis, dinamis dan termal harus diperhitungkan.

Laporan perhitungan yang akan disampaikan harus menyertakan cakupan lengkap input data yang digunakan dan harus menunjukkan poros defleksi yang terjadi, tegangan *bending* dan beban bantalan dan harus mendokumentasikan pemenuhan persyaratan tertentu dari pabrik pembuat komponen.

Untuk pelaksanaan kesegaranan di atas kapal, harus dibuat instruksi yang berisi daftar nilai *gap* dan *sag* yang diperbolehkan untuk koneksi flensa terbuka dan juga beban "Jack-up" untuk pengukuran beban bantalan.

Sebelum pemasangan poros propeler, kesegaranan yang benar dari bantalan tabung buritan harus diperiksa.

Kesegaranan akhir di atas kapal harus diperiksa dengan metode yang tepat dalam kondisi mengapung hadir Surveyor BKI.

5.9 Perangkat penguncian poros

Sebuah alat pengunci sesuai [Bab 1, D.8.3](#) harus disiapkan di setiap jalur poros dari sistem multi-poros.

Perangkat penguncian setidaknya harus dirancang untuk mencegah poros yang terkunci berputar ketika kapal beroperasi dengan poros yang lainnya pada daya yang lebih rendah. Daya yang lebih rendah ini harus memastikan kecepatan kapal dapat mempertahankan kemampuan manuver kapal dalam kemampuan penuh, pada umumnya tidak kurang dari 8,0 knot.

Jika perangkat penguncian tidak dirancang untuk daya/kecepatan penuh dari poros yang ada, pembatasan operasional ini harus diketahui oleh operator dengan tanda-tanda yang memadai.

5.10 Pembumian poros

Pembumian poros harus dilakukan sesuai dengan [Bab 2, E.6.6](#).

E. Uji Tekan

1. Pelapis poros

Sebelum pemasangan, pelapis poros harus di uji kekedapan hidrolik pada tekanan 2,0 bar di kondisi untuk digunakan.

2. Tabung buritan

Sebelum pemasangan, tabung buritan yang dicor dan bagian tabung buritan yang dicor harus di uji kekedapan hidrolik pada tekanan 2,0 bar dalam kondisi untuk digunakan. Uji kekedapan lanjutan harus dilakukan setelah pemasangan.

Untuk tabung buritan yang dibuat dari pelat baja yang dilas, untuk uji kekedapan saat uji tekan sudah cukup pelaksanaanya pada ruang lambung yang terpasang tabung buritan.

Bab 5 Roda Gigi, Kopling

A.	Umum.....	5-1
B.	Material	5-1
C.	Perhitungan Kapasitas Beban Bantalan Roda Gigi Silinder dan <i>Bevel</i>	5-2
D.	Poros Roda Gigi.....	5-10
E.	Peralatan.....	5-11
F.	Penyeimbangan dan Pengujian.....	5-11
G.	Desain dan Konstruksi Kopling	5-13
H.	<i>Load Capacity of Involute Parallel Axis Spur and Helical Gears</i>	5-17

A. Umum

1. Ruang Lingkup

1.1 Persyaratan ini berlaku untuk roda gigi lurus (*spur*), roda gigi planet (*planetary*), roda gigi yang di *bevel* (*bevel gears*) dan semua jenis kopling yang dipasang pada sistem propulsi utama atau mesin bantu sesuai dengan [Bab 1.H](#). Persyaratan desain yang ditetapkan di Bab ini juga dapat diterapkan pada roda gigi dan kopling mesin bantu selain yang ada di [Bab 1.H](#).

1.2 Penerapan persyaratan ini untuk kopling mesin bantu yang disebutkan dalam [1.1](#) biasanya terbatas pada persetujuan gambar dari jenis kopling tertentu oleh BKI. Mengenai desain kopling elastis untuk digunakan dalam genset, sesuai referensi di [G.2.4.6](#).

1.3 Untuk desain dimensional dari roda gigi dan kopling untuk kapal dengan klas es, lihat [Bab 13](#).

2. Dokumen persetujuan

Gambar perakitan dan gambar penampang bersama dengan gambar detail dan daftar komponen harus diajukan kepada BKI dalam bentuk elektronik. Dokumen tersebut harus berisi semua data yang diperlukan untuk memungkinkan perhitungan beban yang akan diperiksa.

B. Material

1. Material yang disetujui

1.1 Poros, roda gigi *pinion*, roda dan velg gigi di sistem propulsi utama sebaiknya dibuat dari baja tempa. Batangan baja gulungan juga dapat digunakan untuk poros polos tanpa flensa. Badan roda gigi dapat dibuat dari besi cor kelabu¹, besi cor nodular atau dapat dibuat dari pelat baja yang dilas dengan baja atau hub baja cor. Untuk material roda gigi, persyaratan sesuai dengan ISO 6336 bagian 5 harus dipertimbangkan.

1.2 Kopling pada sistem penggerak utama harus terbuat dari baja, baja cor atau besi cor nodular dengan sebagian besar *ferritic matrix*. Besi cor kelabu atau paduan aluminium cor yang sesuai juga dapat diizinkan untuk komponen eksternal tekanan ringan kopling dan rotor serta selubung kopling slip hidrolik.

1.3 Roda gigi dari esensial mesin bantu sesuai [Bab 1.H](#), harus juga memenuhi persyaratan yang sama seperti yang ditentukan pada [1.1](#) berkaitan dengan material yang digunakan. Untuk roda gigi yang ditujukan untuk mesin bantu selain yang disebutkan pada [Bab 1.H](#), material lain juga dapat diizinkan.

¹ Kecepatan periferal pada roda gigi besi cor umumnya tidak melebihi 60 m/s, klem kopling besi cor atau manguk 40 m/s.

1.4 Kopling fleksibel untuk mesin bantu sesuai Bab 1.H, secara umum dapat terbuat dari besi cor kelabu dan untuk kopling luar paduan aluminium yang sesuai juga dapat digunakan. Namun, untuk genset sebaiknya hanya digunakan kopling yang terbuat dari besi cor nodular dengan sebagian besar dari *ferritic matrix*, baja atau baja cor, untuk memastikan bahwa kopling juga mampu menahan torsi kejutan yang disebabkan oleh arus pendek. BKI berhak memberlakukan persyaratan yang sama pada unit penggerak tambahan tertentu pada kopling.

2. Pengujian material

Semua komponen roda gigi dan kopling yang terlibat dalam transmisi torsi dan yang akan dipasang di sistem propulsi utama harus diuji sesuai dengan Rules for Material (Pt. 1, Vol. V), hal yang sama berlaku untuk material yang digunakan untuk komponen roda gigi dengan fungsi transmisi torsi utama dan kopling dalam penggerak generator.

Hasil pengujian material yang sesuai harus diserahkan untuk material yang digunakan untuk komponen utama dari kopling dan roda gigi dari semua mesin bantu lain yang penting secara fungsional sesuai dengan Bab 1. Hasil pengujian ini berupa Sertifikat Inspeksi Pabrik Pembuat dari pabrik pembuat baja.

C. Perhitungan Kapasitas Beban Bantalan Roda Gigi Silinder dan Bevel

1. Umum

1.1 Kapasitas beban bantalan yang cukup pada sistem gigi dari roda gigi utama dan bantu dalam sistem propulsi kapal harus ditunjukkan dengan perhitungan kapasitas beban bantalan sesuai dengan standar internasional ISO 6336, ISO 9083 atau DIN 3990 untuk roda gigi lurus (*spur*) dan juga ISO 10300 atau DIN 3991 untuk roda gigi *bevel* dengan tetap menjaga margin keselamatan yang tercantum dalam Tabel 5.1 untuk tekanan sisi (*flank*) dan pangkal (*root*).

Tabel 5.1 Margin keamanan minimum untuk tekanan sisi (*flank*) dan pangkal (*root*)

Kasus	Aplikasi	Kondisi batas	S_H	S_F
1.1	Sistem roda gigi pada sistem propulsi kapal dan sistem penggerak generator	Modulus $m_n < 16$	1,3	1,8
1.2		Modulus $m_n < 16$	$0,024 m_n + 0,916$	$0,02 m_n + 1,48$
1.3		Dalam kasus dua sistem propulsi utama yang saling independen satu sama lain, torsi masukan hingga 8.000 Nm	1,2	1,55
2.1	Roda gigi di sistem penggerak bantu yang terkena beban dinamis		1,2	1,4
2.2	Roda gigi di sistem penggerak bantu yang digunakan untuk posisi dinamis (Notasi Kelas DP)		1,3	1,8
2.3	Roda gigi di sistem penggerak bantu yang terkena beban statis	$N_L \leq 10^4$	1,0	1,0

Catatan:

Jika kelelahan bending stress pangkal (*root*) gigi ditingkatkan dengan teknik khusus yang disetujui oleh BKI, misalnya dengan shot peening, untuk kasus permukaan tautan gigi yang diperkeras dengan modulus $m_n \leq 10$, margin keselamatan minimum S_F dapat dikurangi hingga 15% dengan persetujuan BKI

1.2 Untuk roda gigi dalam sistem propulsi utama, bukti kekuatan mekanik yang cukup dari pangkal (*root*) dan sisi-sisi (*flanks*) dari gigi sesuai dengan formula yang tercantum dalam Bab ini terkait dengan

persyaratan bahwa akurasi gigi harus memastikan operasi roda gigi yang cukup halus yang dikombinasikan dengan penggunaan yang memuaskan dari kapasitas pembebanan dinamis dari gigi.

Untuk tujuan ini, besarnya kesalahan *individual pitch* f_p dan dari total kesalahan profil F_f untuk kecepatan periferal di lingkaran *pitch* di atas 25 m/s umumnya memenuhi setidaknya kualitas 5 sebagaimana didefinisikan dalam DIN 3962 atau 4 untuk ISO 1328, dan dalam kasus kecepatan periferal yang lebih tinggi umumnya memenuhi setidaknya kualitas 4 sebagaimana didefinisikan dalam DIN 3962 atau 3 untuk ISO 1328. Total kesalahan tapak gigi f_{HB} harus sesuai setidaknya kualitas 5 untuk DIN 3962, sementara kesejajaran dari sumbu paling sedikit memenuhi persyaratan kualitas 5 menurut DIN 3964 atau 4 sesuai dengan ISO 1328.

Sebelum pengoperasian, kekasaran permukaan R_z dari sisi gigi-gigi yang dibuat dengan *milling* atau dengan pembentukan umumnya tidak melebihi 10 μm . Dalam kasus di mana profil gigi dihasilkan misalnya dengan *grinding* atau *lapping*, kekasaran permukaan umumnya tidak melebihi 4 μm . Akar gigi radius r_{ao} pada referensi alat profil minimal 0,25 m_n .

BKI berhak untuk meminta bukti akurasi pembuatan mesin pemotongan roda gigi yang digunakan dan untuk pengujian metode yang digunakan untuk mengeraskan gigi.

1.3 Input data yang diperlukan untuk melaksanakan evaluasi kapasitas beban bantalan dirangkum dalam [Tabel 5.2](#).

Tabel 5.2 Daftar input data untuk mengevaluasi kapasitas beban bantalan

Galangan/ No. Pembangunan					Reg. No.			
Pabrik pembuat				Tipe				
Aplikasi				Gigi silinder <input type="checkbox"/>	Gigi bevel ¹ <input type="checkbox"/>			
Daya nominal rata-rata	P			kW	Klas Es			-
Jumlah putaran	n_1			Rpm	Jumlah planet			-
Faktor aplikasi	K_A			-	Faktor dinamis	K_V		
Faktor distribusi beban permukaan	K_{HB}			-	Faktor distribusi beban	K_Y		
	$K_{HB-be}^{1)}$			-	Faktor distribusi beban melintang	$K_{H\alpha}$		
	K_{FB}			-		$K_{F\alpha}$		
Jumlah gigi	z			-	Tambahan Koefisien modifikasi	$x/x_{hm}^{1)}$		
Modul normal	$m_n/m_{nm}^{1)}$			mm	Koefisien ketebalan modifikasi	$x_{sm}^{1)}$		
Sudut tekanan normal	α_n			°	Koefisien addendum alat	r_{ao}^*		
Jarak tengah	a			mm	Koefisien addendum alat	h_{ao}^*		
Sudut poros	$\Sigma^{1)}$			°	Koefisien addendum terpakai alat	h_{fo}^*		
Lebar permukaan efektif relatif	$b_{eh}/b^{1)}$			-	Koefisien addendum terpakai alat	h_{Ffo}^*		
Sudut heliks	$\beta/\beta_m^{1)}$			°	Tonjolan	pr		
					Sudut tonjolan	α_{pr}		
Lebar permukaan	b			mm	Toleransi penggeraan bubut	q		
Diameter tip	d_a			mm	Pengukuran pada alat	B_{zo}		
Diameter pangkal	d_{fe}			mm	Kelonggaran/toleransi backlash			

Tabel 5.2 Daftar input data untuk mengevaluasi kapasitas beban bantalan (lanjutan)

Data Pelumasan				Kualitas			
kin. viscosity 40° C	ν_{40}			mm^2/s	Akurasi Kualitas sesuai DIN	Q	-
kin. viscosity 100° C	ν_{100}			mm^2/s	<i>Mean peak to valley roughness of flank</i>	R_{zH}	μm
Temperatur minyak	θ_{oil}			°C	<i>Mean peak to valley roughness of root</i>	R_{zF}	μm
FZG class				-	<i>Initial equivalent misalignment</i>	$F\beta_x$	μm
Material data					Kesalahan normal pitch	f'_{pe}	μm
Jenis material					Kesalahan bentuk pitch	f'_f	μm
Batas ketahanan untuk tegangan kontak	$\sigma_{H \text{ lim}}$			N/mm^2	Date:		
Batas ketahanan untuk tegangan bending	$\sigma_{F \text{ lim}}$			N/mm^2	Signature:		
Kekerasan permukaan				HV			
Kekerasan inti				HV			
Metode perlakuan panas				-			
1) Deklarasi untuk roda gigi <i>bevel</i>							

2. Simbol, persyaratan dan ringkasan input data

2.1 Indeks

- 1 = Pinion
- 2 = Roda
- m = Pertengahan lebar permukaan
- n = Bidang normal
- t = Bidang melintang
- o = Alat

2.2 Parameter

- a = jarak pusat [mm]
- b = lebar permukaan [mm]
- b_{eff} = lebar permukaan efektif (roda gigi *bevel*) [mm]
- Bz_0 = ukuran untuk pergeseran garis datum [mm]
- D = diameter pitch standar [mm]
- d_a = diameter ujung (*tip*) [mm]
- d_f = diameter pangkal (*root*) [mm]

F _t	= gaya melingkar pada lingkaran referensi [N]
F _{βx}	= ketidakselarasan ekuivalen awal [μm]
f' _{pe}	= kesalahan pitch normal [μm]
f' _f	= kesalahan bentuk profil [μm]
h _{a0*}	= Koefisien addendum alat
h _{fo*}	= Koefisien dedendum alat
h _{F fpo*}	= Koefisien dedendum terpakai alat
K _A	= Faktor penggunaan
K _{Fα}	= Faktor distribusi beban transversal (tegangan pangkal)
K _{Fβ}	= Faktor distribusi beban permukaan (tegangan pangkal)
K _{Hα}	= Faktor distribusi beban transversal (tegangan kontak)
K _{Hβ}	= Faktor distribusi beban permukaan (tegangan kontak)
K _{Hβ-be}	= Faktor bantalan (roda gigi <i>bevel</i>)
K _v	= Faktor dinamis
K _y	= Faktor distribusi beban
m _n	= modul normal [mm]
m _{nm}	= rata-rata modul normal (roda gigi <i>bevel</i>) [mm]
n	= jumlah putaran [Rpm]
N _L	= jumlah siklus beban [Rpm]
P	= daya yang ditransmisikan [kW]
pr	= tonjolan di alat [mm]
Q	= kualitas gigi, berdasarkan DIN
q	= Toleransi penggeraan bubut [mm]
R _a	= kekasaran aritmatika rata-rata [μm]
R _{zF}	= mean peak to valley roughness of root [μm]
R _{zH}	= mean peak to valley roughness of flank [μm]
S _F	= faktor keamanan terhadap kerusakan gigi
S _L	= faktor keamanan terhadap lubang-lubang (<i>pitting</i>)
T	= torsi [Nm]
u	= rasio gigi
x	= koefisien modifikasi addendum
X _{hm}	= koefisien modifikasi addendum rata-rata (gigi <i>bevel</i>)
X _{sm}	= koefisien modifikasi ketebalan (gigi <i>bevel</i>)
Y _F	= faktor bentuk gigi (<i>root</i>)
X _{NT}	= faktor umur (<i>root</i>)
Y _{δ rel T}	= faktor sensitivitas takikan (<i>notch</i>) relatif
Y _{R rel T}	= faktor kondisi permukaan relatif

Y_S	= faktor koreksi tegangan
Y_{ST}	= faktor koreksi tegangan untuk gigi tes acuan
Y_X	= faktor ukuran untuk tegangan pangkal gigi
Y_β	= faktor sudut heliks untuk tegangan pangkal gigi [°]
Z	= jumlah gigi
Z_E	= faktor elastisitas
Z_H	= faktor zona (tegangan kontak)
Z_L	= faktor pelumas
Z_{NT}	= faktor hidup (tegangan kontak)
Z_V	= faktor kecepatan
Z_R	= faktor kekasaran
Z_W	= faktor kerja pengerasan
Z_X	= faktor ukuran (tegangan kontak)
Z_β	= faktor sudut heliks (tegangan kontak)
Z_ϵ	= faktor rasio kontak (tegangan kontak)
α_n	= sudut tekanan normal [°]
α_{pr}	= sudut tonjolan [°]
β	= sudut heliks [°]
β_m	= sudut heliks rata-rata (gigi bevel) [°]
ϑ_{oil}	= temperatur minyak [°C]
ν_{40}	= viskositas kinematik minyak pada 40 °C [mm ² /s]
ν_{100}	= viskositas kinematik minyak pada 100 °C [mm ² /s]
$\rho a^\circ*$	= koefisien radius ujung alat
Σ	= sudut poros (gigi bevel) [°]
Σf	= tegangan lentur pangkal [N/mm ²]
σ_{FE}	= tegangan pangkal [N/mm ²]
σ_{FG}	= batas tegangan pangkal [N/mm ²]
σ_{FO}	= tegangan nominal pangkal [N/mm ²]
$\sigma_{F\ lim}$	= batas ketahanan untuk tegangan lentur [N/mm ²]
σ_{FP}	= tegangan pangkal yang diizinkan [N/mm ²]
σ_H	= tegangan kontak nominal [N/mm ²]
σ_{HG}	= batas tegangan kontak modifikasi [N/mm ²]
$\sigma_{H\ lim}$	= batas ketahanan untuk tegangan kontak [N/mm ²]
σ_{HP}	= tegangan kontak yang diizinkan [N/mm ²]
σ_{HO}	= tegangan kontak nominal [N/mm ²]

3. Faktor pengaruh untuk perhitungan beban

3.1 Faktor penggunaan KA

Faktor penggunaan KA memperhitungkan kenaikan torsi rata-rata yang disebabkan oleh superposisi beban dinamis atau beban dampak. KA ditentukan untuk sistem utama dan tambahan sesuai dengan [Tabel 5.3](#).

Tabel 5.3 Faktor Aplikasi

Tipe sistem	K _A
Sistem utama: Turbin dan sistem penggerak elektrik	1,1
Sistem penggerak mesin diesel dengan kopling fluida antara mesin dan roda gigi	1,1
Sistem penggerak mesin diesel dengan kopling yang sangat fleksibel antara mesin dan roda gigi	1,3
Sistem penggerak mesin diesel tanpa kopling fleksibel antara mesin dan roda gigi	1,5
Penggerak generator	1,5
Sistem tambahan: Thruster dengan penggerak elektrik	1,1 (20.000 h) ¹
Penggerak thruster dengan mesin diesel	1,3 (20.000 h) ¹
Mesin jangkar	0,6 (300 h) ¹ 2,0 (20 h) ²
Kombinasi jangkar dan derek penambat	0,6 (1.000 h) ¹ 2,0 (20h) ²

¹⁾ Jam operasional yang diasumsikan

²⁾ Beban maksimum yang diasumsikan untuk mesin jangkar

Untuk jenis lain dari sistem K_A harus ditetapkan secara terpisah.

3.2 Faktor distribusi beban Ky

Faktor distribusi beban Ky mempertimbangkan nilai penyimpangan distribusi beban misalnya di roda gigi dengan distribusi beban ganda atau lebih atau roda gigi planet dengan lebih dari tiga roda planet. Nilai berikut berlaku untuk roda gigi planet:

Roda gigi dengan:

- hingga 3 roda planet Ky = 1,0
- 4 roda planet Ky = 1,2
- 5 roda planet Ky = 1,3
- 6 roda planet Ky = 1,6

Di roda gigi yang tidak memiliki distribusi beban Ky = 1,0 digunakan.

Untuk semua kasus lain, Ky harus disepakati dengan BKI.

3.3 Faktor distribusi beban permukaan $K_{H\beta}$ dan $K_{F\beta}$

Faktor distribusi beban permukaan mempertimbangkan efek dari distribusi beban yang tidak merata pada sayap gigi pada tegangan kontak ($K_{H\beta}$) dan tegangan pangkal ($K_{F\beta}$).

Dalam kasus koreksi sayap yang telah ditentukan dengan metode perhitungan yang diakui, nilai $K_{H\beta}$ dan $K_{F\beta}$ dapat diatur. Dengan demikian, pengaruh khusus dari operasi kapal pada distribusi beban harus diperhitungkan.

3.4 Faktor distribusi beban transversal $K_{H\alpha}$ dan $K_{F\alpha}$

Faktor distribusi beban transversal $K_{H\alpha}$ dan $K_{F\alpha}$ memperhitungkan efek dari distribusi yang tidak merata dari kekuatan beberapa pasang gigi yang terlibat pada waktu yang sama.

Dalam kasus gigi di sistem propulsi utama dengan kualitas tautan dijelaskan dalam [1.2](#), $K_{H\alpha} = K_{F\alpha} = 1,0$ dapat diterapkan. Untuk gigi lainnya, faktor distribusi beban transversal harus dihitung sesuai dengan standar DIN/ISO yang didefinisikan dalam [1.1](#).

4. Tegangan kontak

4.1 Tegangan kontak yang dihitung σ_H seharusnya tidak melebihi tegangan kontak yang diizinkan σ_{HP} (tegangan kontak Hertzian).

$$\sigma_H = \sigma_{HO} \cdot \sqrt{K_A K_\gamma K_v K_{H\beta} K_{H\alpha}} \leq \sigma_{HP}$$

$$\text{dengan } \sigma_{HO} = Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 \cdot b} \cdot \frac{u+1}{u}}$$

4.2 Tegangan kontak yang diperbolehkan σ_{HP} harus mencakup margin keamanan S_H seperti yang diberikan dalam [Tabel 5.1](#) terhadap batas tegangan kontak σ_{HG} yang ditentukan dari batas ketahanan material

Batas σ_{Flim} seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 5.4](#) memungkinkan untuk faktor pengaruh $Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_R \cdot Z_V \cdot Z_W \cdot Z_x$

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{HG}}{S_H}$$

$$\text{dengan } \sigma_{HG} = \sigma_{H\lim} \cdot Z_{NT} \cdot Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_x.$$

Tabel 5.4 batas Ketahanan² untuk tegangan kontak

Material	σ_{Hlim} [N/mm ²]
Baja permukaan keras, permukaan keras	1500
Baja nitridasi, gas nitridasi	1250
Baja paduan dengan pemanasan, gas nitridasi	850-1.000
Baja paduan dengan pemanasan, pengerasan induksi	0,7 HV10 + 800
Baja paduan dengan pemanasan	1,3 HV10 + 350
Baja tanpa paduan dengan pemanasan	0,9 HV10 + 370
Baja struktural	1,0 HB + 200
Baja cor, besi cor dengan cor grafit nodular	1,0 HB + 150

Tabel 5.5 Batas ketahanan² untuk tegangan lentur pangkal gigi

$$\sigma_{FE} = \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} \text{ dengan } Y_{ST} = 2$$

Material	$\sigma_{FE} = \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST}$ dengan Y_{ST} [N/mm ²]
Baja permukaan keras, permukaan keras	860 - 920
Baja nitridasi, gas nitridasi	850
Baja paduan dengan pemanasan, gas nitridasi	740
Baja paduan dengan pemanasan, pengerasan induksi	700
Baja paduan dengan pemanasan	0,8 HV10 + 400
Baja tanpa paduan dengan pemanasan	0,6 HV10 + 320
Baja struktural	0,8 HB + 180
Baja cor, besi cor dengan cor grafit nodular	0,8 HB + 140

Catatan : Untuk tegangan bolak balik, tautan gigi hanya 70% dari nilai-nilai ini yang diperbolehkan.

5. Tegangan lentur pangkal gigi

5.1 Perhitungan tegangan lentur maksimum pangkal gigi σ_F seharusnya tidak melebihi tegangan pangkal gigi yang diizinkan σ_{FP} .

Tegangan pangkal gigi harus dihitung secara terpisah untuk pinion dan roda.

$$\sigma_F = \sigma_{FO} \cdot K_A \cdot K_V \cdot K_\gamma \cdot K_\beta \cdot K_{Fa} < \sigma_{FP}$$

$$\text{dengan } \sigma_{FO} = \frac{F_t}{b \cdot m_n} \cdot Y_F \cdot Y_S \cdot Y_\beta$$

5.2 Tegangan lentur pangkal yang diijinkan σ_{FP} harus memiliki margin keamanan S_F seperti ditunjukkan pada [Tabel 5.1](#) untuk batas tegangan pangkal σ_{FG} yang ditentukan dari kekuatan kelelahan material σ_{FE} atau σ_{Flim} sesuai dengan [Tabel 5.2](#), memungkinkan faktor koreksi tegangan Y_{ST} , Y_{NT} , $Y_{\delta relT}$, $Y_{R relT}$, Y_X

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FG}}{S_F}$$

$$\text{dengan } \sigma_{FG} = \sigma_{Flim} \cdot Y_{ST} \cdot Y_{NT} \cdot Y_{\delta relT} \cdot Y_{R relT} \cdot Y_X$$

Tegangan gigi alternatif nilainya sesuai dengan [Table 5.5](#), dapat dikurangi pada:

² Dengan persetujuan BKI untuk permukaan baja yang dikeraskan dengan kualitas yang telah terbukti, batas ketahanan yang lebih tinggi dapat diterima

- 70% pada kasus tegangan reversal pada masing-masing putaran (seperti : roda pembalik, roda *idler*, planet roda gigi)
- 85% pada kasus tegangan reversal setelah beberapa putaran (seperti: gaya dorong lateral dengan daun propeller tetap)

Tidak ada pengurangan yang diperlukan jika satu arah rotasi adalah yang biasa dan operasi mundur jarang terjadi, dengan jam operasi yang lebih sedikit dan pada daya yang berkurang (contoh: tahap keluaran gearbox mundur untuk penggerak utama kapal biasa).

Mengenai tegangan getar, juga pada kondisi beban parsial dan tanpa beban, [Bab 16](#) harus diperhatikan.

D. Poros Roda Gigi

1. Diameter minimum

Dimensi poros roda gigi mundur dan reduksi harus dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$d \geq F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n \cdot \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a} \right)^4 \right]} \cdot C_w} \quad (5)$$

jika $\frac{d_i}{d_a} \leq 0,4$; maka rumus

$$\left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a} \right)^4 \right] \text{ dapat dijadikan } 1,0$$

dimana,

- d = Diameter luar dari poros yang disyaratkan [mm]
d_i = Diameter bore poros untuk poros berongga [mm]
d_a = Diameter poros yang sebenarnya [mm]
P = Kekuatan penggerak poros [kW]
n = Kecepatan poros [Rpm]
F = Faktor untuk jenis penggerak
= 95 untuk sistem turbin, penggerak elektrik dan mesin pembakaran dalam dengan slip kopling
= 100 untuk semua jenis penggerak. BKI berhak untuk menentukan nilai F yang lebih tinggi jika diperlukan dengan melihat pembebahan sistem.
C_w = Faktor material sesuai dengan [Bab 4](#), rumus (2). Namun, untuk poros roda, nilai yang diterapkan untuk R_m dalam formula tidak boleh lebih tinggi dari 800 N/mm². Untuk poros pinion nilai kekuatan tarik sebenarnya biasanya dapat digantikan untuk R_m.
k = 1,10 untuk poros gigi
= 1,15 untuk poros gigi

Di area pinion atau badan roda, jika mereka dikaitkan ke poros dan untuk poros multi-spline.

Nilai-nilai yang lebih tinggi dari k dapat ditentukan oleh BKI dimana peningkatan tekanan lentur pada poros dapat terjadi karena susunan bantalan, desain selubung, sistem gigi, dan lain-lain.

E. Peralatan

1. Indikator level minyak

Untuk memantau level minyak pelumas di roda gigi utama dan bantu, peralatan harus dipasang untuk dapat menentukan level minyak.

2. Kontrol Tekanan dan temperatur

Pengukur temperatur dan tekanan harus dipasang untuk memonitor tekanan dan temperatur minyak pelumas di sisi keluar minyak pendingin sebelum minyak memasuki roda gigi. Lengkungan bantalan luncur polos juga harus dilengkapi dengan indikator temperatur.

Jika roda gigi dilengkapi dengan bantalan anti-gesek, indikator temperatur ini harus dipasang pada titik yang sesuai. Untuk roda gigi dengan dinilai sampai dengan 2000 kW, pengaturan khusus dapat disepakati dengan BKI.

Jika kapal dilengkapi dengan mesin otomatis, persyaratan [Rules for Automation \(Pt. 1, Vol.VII\)](#), harus dipenuhi.

3. Pompa minyak pelumas

Pompa minyak pelumas yang digerakkan dengan sistem roda gigi harus dipasang sedemikian rupa sehingga mereka dapat diakses dan dapat diganti.

Untuk pompa yang harus dipasang, lihat [Bab 11.H.3](#).

4. Selubung gigi

Selubung gigi sistem penggerak utama dan bantu harus dilengkapi dengan penutup inspeksi yang dapat dilepas sehingga tautan gigi dapat diperiksa, kelonggaran bantalan dorong harus diukur dan bak minyak harus dibersihkan.

5. Dudukan gigi

Dudukan gigi pada baja atau ganjalan resin cor harus mematuhi [Regulations for the Seating of Diesel Engine Installations \(Pt. 1, Vol. U\)](#).

Dalam kasus, dudukan resin cor, gaya dorong harus bisa diserap dengan menggunakan penyumbat (stopper). Hal yang sama berlaku untuk dudukan resin cor dengan bantalan tekan terpisah.

F. Penyeimbangan dan Pengujian

1. Penyeimbangan

1.1 Roda gigi, pinion, poros, kopling dan di mana berlaku, kopling fleksibel kecepatan tinggi harus dirakit dalam kondisi yang seimbang.

1.2 Secara umum, ketidakseimbangan residu yang diperbolehkan U untuk setiap bidang penyeimbangan dari gigi dimana penyeimbangan statis atau dinamis perlu diberikan dengan metode produsen dan dengan kondisi operasi dan pembebanan dapat ditentukan dengan menerapkan rumus:

$$U = \frac{9,6 \cdot Q \cdot G}{z \cdot n} \quad [\text{kgmm}]$$

Dimana:

- G = Massa komponen yang akan diseimbangkan [kg]
n = Kecepatan operasi komponen yang akan diseimbangkan [Rpm]
z = Jumlah bidang penyeimbangan
Q = Tingkat keseimbangan
= 6,3 untuk poros gigi, pinion dan kopling untuk gigi mesin
= 2,5 untuk poros torsi dan kopling gigi, pinion dan roda gigi yang terkait transmisi turbin

2. Pengujian roda gigi

2.1 Pengujian di bengkel produsen

Ketika pengujian material dan tes komponen telah dilakukan, sistem roda gigi untuk sistem penggerak utama dan untuk sistem tambahan sesuai dengan [Bab 1](#), harus ditunjukkan kepada BKI untuk pemeriksaan akhir dan pengujian operasional di bengkel produsen. Untuk pemeriksaan Selubung gigi lasan, lihat [Rules for Welding \(Pt. 1, Vol. VI\)](#).

Inspeksi akhir harus digabungkan dengan pengujian pengoperasian yang berlangsung selama beberapa jam pada kondisi beban sebagian atau penuh, dimana kelonggaran roda gigi dan pola kontak tautan gigi harus diperiksa. Dalam kasus percobaan beban penuh, operasi apapun yang diperlukan dari roda gigi harus diselesaikan terlebih dahulu. Jika tidak ada fasilitas pengujian yang tersedia untuk pengujian operasional dan pembebanan penggerak gigi besar, tes ini juga dapat dilakukan di kapal pada saat uji dok.

Tes kekedapan harus dilakukan pada komponen-komponen yang pengujiannya diperlukan. Pengurangan ruang lingkup tes memerlukan persetujuan dari BKI.

2.2 Tes selama uji coba laut

2.2.1 Sebelum dimulainya uji coba laut, gigi roda gigi yang berkaitan dengan sistem penggerak utama harus diwarnai dengan pewarna yang cocok untuk mengecek pola kontak. Selama uji coba laut, roda gigi harus diperiksa pada semua kecepatan maju dan mundur untuk efisiensi operasional dan kelancarannya selama bekerja serta temperatur bantalan dan kemurnian dari minyak pelumas. Pada kesimpulan akhir uji coba laut, sistem roda gigi harus diperiksa melalui bukaan inspeksi dan pola kontak diperiksa. Jika memungkinkan, pola kontak harus diperiksa setelah kesimpulan dari setiap langkah beban. Penilaian pola kontak harus didasarkan pada nilai-nilai panduan untuk daerah proporsional dari kontak dalam arah aksial dan radial dari gigi yang diberikan dalam [Tabel 5.6](#) dan harus mempertimbangkan waktu pengoperasian dan pembebanan roda gigi selama uji coba laut.

2.2.2 Pada kasus penggerak roda gigi dengan beberapa langkah dan roda gigi planet diproduksi untuk akurasi tingkat tinggi yang telah teruji, pemeriksaan pola kontak setelah uji coba laut dengan persetujuan dari BKI, dapat dikurangi.

Tabel 5.6 Persentase area kontak

Material/ pembuatan tautan gigi	Kedalaman gigi kerja (tanpa pelepas ujung)	Lebar gigi (tanpa pelepas akhir)
Dipanaskan, digiling, dibentuk	Rata-rata 33%	70%
Permukaan dikeraskan, digurinda, dikikis	Rata-rata 40%	80%

2.2.3 Untuk pemeriksaan roda gigi dari propeller kemudi sebagai penggerak utama, lihat Bab 14.B.

2.2.4 Persyaratan lebih lanjut untuk uji coba laut tercantum dalam [Guidance for Sea Trials of Motor Vessels \(Pt.1, Vol.B\)](#).

G. Desain dan Konstruksi Kopling

1. Kopling gigi

1.1 Untuk kapasitas beban bantalan yang cukup dari sisi-sisi gigi kopling gigi yang diapit lurus berlaku:

$$p = \frac{2,55 \cdot 10^7 \cdot P \cdot K_A}{b \cdot h \cdot d \cdot z \cdot n} \leq p_{perm}$$

p = Tekanan kontak yang sebenarnya dari sayap gigi [N/mm²]

P = Kekuatan penggerak pada kopling [kW]

K_A = Faktor penggunaan sesuai dengan C.3.1

z = Jumlah gigi

n = Kecepatan dalam rev/min [Rpm]

h = Kedalaman kerja tautan gigi [mm]

b = Lebar gigi beban bantalan [mm]

d = Diameter pitch standar [mm]

P_{perm} = 0,7 . ReH untuk baja liat [N/mm²]

P_{perm} = 0,7 . ReH untuk baja rapuh [N/mm²]

σ_{HP} = Tegangan kontak yang diperbolehkan menurut C.4.2 [N/mm²]

Bila metode perhitungan yang diakui oleh BKI digunakan untuk menentukan tegangan Hertzian di sisi-sisi dari kopling gigi dengan sisi-sisi gigi cembung, tegangan Hertzian yang diperbolehkan sama dengan 75% dari nilai σ_{HP} yang ditunjukkan pada C.4.2 dengan faktor pengaruh Z_{NT} sampai Z_X dijadikan 1,0:

$$P_{perm} = 400 - 600 \text{ N/mm}^2$$

untuk tautan gigi yang terbuat dari baja yang ditemperkan dan didinginkan mendadak (quenching). Nilai yang lebih tinggi berlaku untuk baja kekuatan tarik tinggi dengan pembuatan gigi dan kualitas permukaan akhir superior.

$$P_{perm} = 800 - 1,000 \text{ N/mm}^2$$

untuk tautan gigi dari baja yang dikeraskan (selubung atau nitrogen). Nilai yang lebih tinggi berlaku untuk pembuatan gigi dan kualitas permukaan akhir superior.

1.2 Gigi kopling harus secara efektif dilumasi. Untuk tujuan ini, tingkat minyak konstan yang dipertahankan di kopling secara umum dapat dianggap memadai, jika

$$d \cdot n^2 < 6 \cdot 10^9 \quad [\text{mm}/\text{min}^2] \quad (8)$$

Untuk nilai-nilai yang lebih tinggi dari $d \cdot n^2$, kopling pada perangkat propulsi utama harus diberikan sistem minyak pelumas paksa.

1.3 Untuk desain dimensi dari lengan kopling, flensa dan baut gigi kopling, rumus yang diberikan di [Bab 4](#) harus digunakan.

1.4 Inspeksi partikel magnetik atau penetrasi pewarna harus dilakukan untuk mendeteksi retak di daerah permukaan yang dikeraskan dengan tingkat stres yang meningkat serta di permukaan yang meyusut. Produsen harus mengeluarkan Sertifikat Inspeksi Produsen.

Kopling untuk perangkat propulsi kapal, untuk set generator dan pendorong melintang harus ditunjukkan kepada BKI untuk pemeriksaan akhir. Mengenai kopling untuk pendorong melintang, hanya berlaku untuk tingkat kekuatan 100 kW dan lebih.

2. Kopling fleksibel

2.1 Ruang Lingkup

Kopling fleksibel harus disetujui untuk beban yang ditentukan oleh produsen dan untuk digunakan pada sistem propulsi utama dan mesin bantu yang penting. Secara umum, kopling fleksibel harus dari jenis yang disetujui.

Persyaratan rinci untuk persetujuan jenis dari kopling fleksibel didefinisikan dalam [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt. 1 Vol. W\)](#).

2.2 Dokumen persyaratan

Dokumen persyaratan yang harus diserahkan meliputi:

- 1) Gambar-gambar perakitan
- 2) Gambar rinci termasuk karakteristik material
- 3) Definisi parameter utama
 - Kekerasan karet (rubber shore)
 - Torsi nominal T_{KN}
 - Torsi yang diperbolehkan T_{Kmax1} untuk kondisi transient normal seperti mulai/berhenti, melewati resonansi, keterlibatan listrik atau mekanis, dampak es, dan lain-lain.
 - Torsi yang diperbolehkan T_{Kmax2} untuk beban dampak yang tak normal seperti hubungan arus pendek, berhenti darurat, dan lain-lain
 - Torsi getaran yang diijinkan + T_{KW} untuk operasi berkelanjutan
 - Kehilangan daya yang diijinkan P_{KV} karena pembuangan panas
 - Kecepatan rotasi yang diperbolehkan n_{max}
 - Kekakuan torsional dinamis C_{TdvN} , radial C_{rdvN}
 - Kedaman relatif ψ masing-masing karakteristik redaman
 - Perpindahan aksial, radial dan sudut yang diperbolehkan
 - Puntiran (twist) permanen yang diperbolehkan
- 4) Perhitungan desain
- 5) Laporan pengujian

2.3 Pengujian

Spesifikasi yang disebutkan di [2.2](#) harus dibuktikan dan didokumentasikan dengan pengukuran yang memadai saat pelaksanaan tes. Persyaratan tes tercantum pada [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt. 1 Vol. W\)](#). Untuk persetujuan tunggal, ruang lingkup tes dapat dikurangi dengan persetujuan BKI.

2.4 Desain

2.4.1 Berkaitan dengan Selubung, flensa dan baut, persyaratan yang ditentukan dalam [Bab 4.D](#). harus dipenuhi.

2.4.2 Unsur fleksibel kopling karet harus didesain sehingga tegangan geser rata-rata di permukaan ikatan karet / logam yang berkaitan dengan TKN tidak melebihi nilai $0,5 \text{ N/mm}^2$.

2.4.3 Untuk tegangan geser dengan elemen karet, akibar T_{KN} maka dianjurkan untuk tidak melebihi nilai kekerasan karet menurut [Tabel 5.7](#).

Nilai-nilai yang lebih tinggi dapat diterima jika kekuatan yang sesuai dari material karet telah didokumentasikan dengan cara pengujian dan perhitungan yang relevan.

Tabel 5.7 Batas tegangan geser

Kekerasan karet [-]	Batas tegangan geser [N/mm ²]
40	0,4
50	0,5
60	0,6
70	0,7

Untuk material khusus, misalnya silikon, nilai-nilai batas yang sesuai harus diturunkan dari percobaan dan pengalaman.

2.4.4 Kopling fleksibel pada perangkat propulsi utama dan pada perangkat pembangkit listrik harus mempunyai dimensi sedemikian sehingga mampu bertahan untuk waktu operasi yang wajar dengan salah satu mesin satu silinder tidak dapat melayani, lihat [Bab 16.C.4.2](#). Beban dinamis tambahan untuk kapal dengan klas es harus dipertimbangkan sesuai dengan [Bab 13.C](#).

2.4.5 Jika kopling fleksibel dirancang sedemikian sehingga menimbulkan sebuah dorongan aksial pada komponen berpasangan dari mekanisme penggerak, ketentuan harus dibuat untuk penyerapan dorongan ini.

Jika perangkat pembatas torsi dapat diterapkan, fungsi tersebut harus diverifikasi.

2.4.6 Kopling fleksibel untuk set generator diesel harus mampu menyerap momen dampak akibat arus pendek listrik dengan nilai hingga 6 kali torsi nominal sistem.

3. Flensa dan kopling tipe penjepit

Dalam desain dimensi badan kopling, flensa dan baut flensa serta kopling tipe penjepit, persyaratan yang ditentukan dalam [Bab 4](#) harus dipenuhi.

4. Kampas Kopling (Clutches)

4.1 Umum

4.1.1 Definisi dan aplikasi

Kampas adalah kopling yang dapat bergerak dan terlepas secara mekanis, hidrolik atau pneumatik. Persyaratan berikut berlaku untuk penggunaan kampas dalam garis poros dan sebagai bagian terpadu dari kotak roda gigi. Kampas kopling yang dimaksudkan untuk operasi pemancingan merupakan subyek dari pertimbangan khusus.

4.1.2 Dokumen persyaratan

Untuk semua jenis baru dari kampas kopling, dokumen lengkap harus diserahkan kepada BKI untuk disetujui dalam rangkap tiga. Dokumen ini harus mencakup misalnya:

- Gambar perakitan
- Gambar detail dari komponen transmisi torsi termasuk sifat material
- Dokumen sistem terkait pengikatan/pelepasan
- Definisi dari parameter teknis utama berikut
 - Tekanan kerja maksimum dan minimum untuk sistem hidrolik atau pneumatik [bar]
 - Torsi gesekan statis dan dinamis [kNm]
 - Diagram waktu untuk prosedur pencengkeraman
 - Operasi manual dengan definisi frekuensi pengalihan yang diperbolehkan
- kasus khusus, perhitungan dari keseimbangan kalor, jika diminta oleh BKI.

4.2 Material

Karakteristik mekanik material yang digunakan untuk elemen kampas kopling harus sesuai dengan [Rules for Material \(Pt. 1, Vol.V\)](#).

4.3 Persyaratan desain

4.3.1 Faktor keamanan

Untuk koneksi ke poros di kedua sisi kopling dan semua bagian transmisi torsi, persyaratan [Bab 4](#) harus dipertimbangkan.

Bagian mekanik kampas kopling dapat terdiri dari beberapa jenis piringan. Semua komponen harus dirancang untuk beban statis dengan faktor gesek aman antara 1,8 dan 2,5 dalam kaitannya dengan torsi nominal sistem penggerak.

Sebuah torsi yang dapat diubah dinamis saat beroperasi 1,3 kali torsi nominal sistem penggerak secara umum harus dipertimbangkan. Untuk sistem gabungan beberapa mesin, persyaratan torsi yang sebenarnya harus dipertimbangkan.

4.3.2 Klas es

Untuk kopling-kopling yang digunakan untuk penggerak kapal dengan klas es, penguatan yang didefinisikan pada [Bab 13.C.4.2.4](#) harus dipertimbangkan.

4.3.3 Paket multi cakram harus dijaga tetap bebas dari gaya aksial eksternal.

4.3.4 Langkah-langkah untuk pengalihan yang terkendali dari kopling dan pendinginan yang memadai di semua kondisi kerja harus disediakan.

4.3.5 Sistem tambahan untuk pengikatan/pelepasan

Jika sistem hidrolik atau pneumatik digunakan untuk mengikat/melepas kampas kopling dalam sistem propulsi kapal dengan sistem propulsi tunggal, operasi darurat harus memungkinkan. Hal ini dapat dilakukan dengan sistem daya berlebih untuk pengikatan/pelepasan atau dengan cara mekanis, misalnya dengan memasang baut penghubung. Untuk kampas kopling terpadu (built-in), berarti biasanya baut penghubung harus dipasang pada sisi sistem penggerak yang dilengkapi dengan fasilitas memutar.

Prosedur untuk melaksanakan layanan darurat harus dijelaskan dalam manual operasi kampas kopling dan harus dilaksanakan dalam waktu yang wajar.

4.3.6 Kontrol dan alarm

Operasi lokal kampas kopling yang dikendalikan dari jarak jauh untuk sistem propulsi harus memungkinkan. Tekanan dari medium pengaktifan kampas kopling harus ditunjukkan secara lokal. Alarm sesuai dengan [Rules for Automation \(Pt. 1, Vol.VII\)](#), harus disediakan.

4.4 Tes

4.4.1 Tes di Bengkel produsen

Inspeksi partikel magnetik atau penetrasi pewarna harus dilakukan untuk mendeteksi retak di zona permukaan yang dikeraskan dengan tingkat tegangan yang meningkat serta di permukaan yang menyusut. Produsen harus mengeluarkan Sertifikat Inspeksi Produsen.

Kampas kopling untuk sistem propulsi kapal, untuk set generator dan pendorong melintang harus ditunjukkan kepada BKI untuk pemeriksaan akhir dan, bila sesuai, untuk kinerja tes fungsional dan kekedapan.

Persyaratan untuk persetujuan tipe, jika diminta, akan ditentukan kasus per kasus oleh Kantor Pusat BKI.

4.4.2 Tes diatas Kapal

Sebagai bagian dari uji coba laut, kampas kopling yang terpasang harus diuji untuk kesesuaian fungsinya saat berlayar dengan kehadiran seorang surveyor BKI, lihat juga Petunjuk untuk Pengujian Laut Kapal Motor.

H. *Load Capacity of Involute Parallel Axis Spur and Helical Gears*

1. Prinsip dasar - pengenalan dan faktor pengaruh umum

1.1 Pendahuluan

Definisi berikut ini merujuk pada standar ISO 6336 (selanjutnya disebut "standar referensi") untuk perhitungan kapasitas beban roda gigi lurus dan heliks.

1.2 Lingkup

Persyaratan ini berlaku untuk roda gigi tertutup, baik ditujukan untuk penggerak utama maupun untuk peralatan bantu penting, yang mengumpulkan sejumlah besar siklus beban (dalam juta), yang set roda giginya dimaksudkan untuk mengirimkan daya kontinu maksimum sama dengan, atau lebih besar dari:

- 220 kW untuk roda gigi yang ditujukan untuk penggerak utama
- 110 kW untuk roda gigi yang ditujukan untuk peralatan bantu penting

Persyaratan ini, bagaimanapun, dapat diterapkan pada roda gigi tertutup, yang set roda giginya dimaksudkan untuk mengirimkan daya kontinu maksimum kurang dari yang ditentukan di atas sesuai permintaan BKI.

Definisi berikut berhubungan dengan penentuan kapasitas beban roda gigi lurus dan heliks eksternal dan internal yang memiliki sumbu paralel, berkaitan dengan daya tahan permukaan (berlubang-lubang) dan kekuatan lentur akar gigi dan untuk tujuan ini persamaan dasar yang relevan disediakan dalam [Bab H.2](#) dan [H.3](#).

Faktor-faktor pengaruh umum untuk persamaan tersebut dijelaskan dalam [Bab H.1](#) ini.

Definisi lain yang diperkenalkan yang berhubungan dengan setiap persamaan dasar, dijelaskan dalam [Bab H.2](#) dan [H.3](#) berikut.

Semua faktor pengaruh didefinisikan berkaitan dengan interpretasi fisiknya. Beberapa faktor pengaruh ditentukan oleh geometri gigi atau telah ditetapkan oleh konvensi. Faktor-faktor ini harus dihitung sesuai dengan persamaan yang diberikan. Faktor-faktor lain, yang merupakan perkiraan, dapat dihitung sesuai dengan metode yang dapat diterima oleh BKI.

1.3 Simbol dan satuan

Simbol utama yang digunakan tercantum di bawah ini.

Simbol lain yang diperkenalkan yang berkaitan dengan definisi faktor-faktor pengaruh dijelaskan di bagian yang sesuai.

Unit SI telah diadopsi.

a	= jarak pusat [mm]
b	= lebar permukaan umum [mm]
$b_{1,2}$	= lebar muka pinion, roda [mm]
d	= diameter referensi [mm]
$d_{1,2}$	= diameter referensi pinion, roda [mm]
$d_{a1,2}$	= diameter ujung pinion, roda [mm]
$d_{b1,2}$	= diameter dasar pinion, roda [mm]
$d_{f1,2}$	= diameter akar pinion, roda [mm]
$d_{w1,2}$	= diameter kerja pinion, roda [mm]
F_t	= beban tangensial nominal [N]
F_{bt}	= nominal beban tangensial pada silinder dasar di bagian melintang [N]
h	= kedalaman gigi [mm]
m_n	= modul normal [mm]
m_t	= modul melintang [mm]
$n_{1,2}$	= kecepatan rotasi pinion, roda rev/min (rpm)
P	= daya kontinu maksimum yang ditransmisikan oleh set roda gigi [kW]

- $T_{1,2}$ = torsi pada jalan pinion, roda [Nm] = rasio roda gigi
- v = kecepatan linier pada diameter pitch [m/s]
- $x_{1,2}$ = koefisien modifikasi perubahan pinion, roda
- z = jumlah gigi-gigi
- $z_{1,2}$ = jumlah gigi-gigi pinion, roda
- z_n = jumlah virtual gigi-gigi
- α_n = sudut tekanan normal pada silinder referensi [$^\circ$]
- α_t = sudut tekanan melintang pada silinder referensi [$^\circ$]
- α_{tw} = sudut tekanan melintang pada silinder pitch kerja [$^\circ$]
- β = sudut heliks pada silinder referensi [$^\circ$]
- β_b = sudut heliks pada silinder dasar [$^\circ$]
- ε_α = rasio kontak melintang
- ε_β = rasio tumpang tindih
- ε_y = rasio kontak total

1.4 Definisi geometris

Untuk peralatan roda gigi internal, z_2 , a , d_2 , d_{a2} , d_{b2} dan d_{w2} adalah negatif. Pinion didefinisikan sebagai roda gigi dengan jumlah gigi yang lebih kecil, oleh karena itu nilai absolut rasio roda gigi, yang didefinisikan berikut, selalu lebih besar atau sama dengan satu:

$$U = z_2/z_1 = d_{w2}/d_{w1} = d_2/d_1$$

Untuk roda gigi eksternal, U adalah positif, untuk roda gigi internal, U adalah negatif.

Dalam persamaan daya tahan permukaan, b adalah lebar permukaan umum pada diameter pitch. Pada persamaan tegangan lentur akar gigi, b_1 atau b_2 adalah lebar muka pada akar gigi masing-masing. Dalam kasus apa pun, b_1 dan b_2 tidak harus diambil lebih besar dari b oleh lebih dari satu modul (m) di kedua sisinya.

Lebar permukaan umum b dapat digunakan juga dalam persamaan tegangan lentur akar gigi jika mahkota atau pelepasan akhir yang signifikan telah diadopsi.

$$\tan \alpha_t = \frac{\tan \alpha_n}{\cos \beta}$$

$$\tan \beta_b = \tan \beta \cdot \cos \alpha_t$$

$$d_{1,2} = \frac{z_{1,2} m_n}{\cos \beta}$$

$$d_{b1,2} = d_{1,2} \cos \alpha_t$$

$$\left. \begin{aligned} d_{wl} &= \frac{2a}{u+1} \\ d_{w2} &= \frac{2au}{u+1} \end{aligned} \right\} \text{where } a = 0,5 (d_{wl} + d_{w2})$$

$$z_{n1,2} = \frac{z_{1,2}}{\cos^2 \beta_b \cdot \cos \beta}$$

$$m_t = \frac{m_n}{\cos \beta}$$

$$\text{inv } \alpha = \text{inv } \alpha - \frac{\pi \alpha}{180}; \quad \alpha [^\circ]$$

$$\text{Inv } \alpha_{tw} = \text{inv } \alpha_t + 2 \tan \alpha_n \frac{x_1 + X_2}{z_1 + z_2} \text{ or } \cos \alpha_{tw} = \frac{m_t(z_1 + z_2)}{2a} \cos \alpha_t$$

$$\varepsilon_a = \frac{0,5\sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2}}{\pi \cdot m_t \cdot \cos \alpha_t} \pm 0,5\sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} - a \cdot \sin \alpha_{tw}$$

tanda positif digunakan untuk roda gigi eksternal, tanda negatif untuk roda gigi internal

$$\varepsilon_\beta = \frac{b \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m_n}$$

untuk heliks ganda, b harus diambil sebagai lebar satu heliks

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta$$

$$V = \pi \cdot d_{1,2} \cdot n_{1,2} / 60 \cdot 10^3$$

1.5 Nominal beban tangensial, F_t

Nominal beban tangensial, F_t , tangensial terhadap silinder referensi dan tegak lurus terhadap bidang aksial yang relevan, dihitung langsung dari daya kontinyu maksimum yang ditransmisikan oleh roda gigi yang disetel dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T_{1,2} = \frac{30 \cdot 10^3 P}{\pi \cdot n_{1,2}}$$

$$F_t = 2000 \cdot T_{1,2} / d_{1,2}$$

1.6 Faktor pengaruh umum

1.6.1 Faktor aplikasi,

Faktor aplikasi, K_A , memberikan kelebihan beban dinamis dari sumber eksternal ke roda gigi.

K_A , untuk roda gigi yang dirancang untuk umur kerja tak terbatas didefinisikan sebagai rasio antara torsi siklik berulang maksimum yang diterapkan pada set roda gigi dan rating nominal torsi.

Rating nominal torsi ditentukan oleh daya dan kecepatan rating dan torsi yang digunakan dalam perhitungan rating.

Faktor utamanya tergantung pada:

- karakteristik mesin penggerak dan yang digerakkan;
- rasio massa;
- jenis kopling;
- kondisi pengoperasian (kecepatan berlebih, perubahan kondisi beban propeller, dll.).

Ketika beroperasi dekat dengan kecepatan kritis dari sistem penggerak, analisis kondisi yang cermat harus dilakukan.

Faktor aplikasi, K_A , harus ditentukan oleh pengukuran atau dengan analisis sistem yang dapat diterima oleh BKI. Jika nilai yang ditentukan sedemikian rupa tidak dapat diberikan, nilai berikut dapat dipertimbangkan.

- 1) Penggerak utama
 - mesin diesel dengan kopling slip hidraulik atau elektromagnetik : 1,00
 - mesin diesel dengan kopling elastisitas tinggi : 1,30
 - mesin diesel dengan kopling lainnya : 1,50
- 2) Roda gigi peralatan bantu
 - motor listrik, mesin diesel dengan hidrolik atau : 1,00
 - kopling slip elektromagnetik : 1,20
 - mesin diesel dengan kopling elastisitas tinggi : 1,20
 - mesin diesel dengan kopling lainnya : 1,40

1.6.2 Faktor pembagian beban, K_y

Faktor pembagian beban, K_y memberikan maldistribusi beban dalam beberapa jalur transmisi (tandem ganda, episiklik, heliks ganda, dll.)

K_y didefinisikan sebagai rasio antara beban maksimum melalui jalur yang sebenarnya dan beban yang dibagi bersama secara merata. Faktor utamanya tergantung pada akurasi dan fleksibilitas cabang-cabang.

Faktor pembagian beban, K_y , harus ditentukan oleh pengukuran atau dengan analisis sistem. Ketika nilai yang ditentukan sedemikian rupa tidak dapat diberikan, nilai-nilai berikut dapat dipertimbangkan untuk roda gigi episiklik:

- hingga 3 roda gigi planet : 1,00
- 4 roda gigi planet : 1,20
- 5 roda gigi planet : 1,30
- 6 roda gigi planet atau lebih : 1,40

1.6.3 Faktor dinamis internal, K_v

Faktor dinamis internal, K_v , menyumbang beban dinamis internal yang dihasilkan karena getaran pinion dan roda terhadap satu sama lain.

K_v didefinisikan sebagai rasio antara beban maksimum yang secara dinamis bekerja pada sisi-sisi gigi dan beban maksimum yang diaplikasikan secara eksternal ($F_t K_A K_y$).

Faktor utamanya tergantung pada:

- Kesalahan transmisi (tergantung pada pitch dan kesalahan profil);
- massa pinion dan roda;
- variasi kekakuan mesh roda gigi saat gigi gigi melewati siklus meshing;
- beban yang ditransmisikan termasuk faktor aplikasi;
- kecepatan jalur pitch;
- ketidakseimbangan dinamis roda gigi dan poros;
- kekakuan poros dan bantalan;
- karakteristik redaman sistem roda gigi.

Faktor dinamis, K_v , harus dihitung sebagai berikut:

Metode ini dapat diterapkan hanya untuk kasus-kasus di mana semua kondisi berikut dipenuhi:

- kecepatan berjalan dalam rentang subkritis, yaitu:

$$\frac{Vz_1}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}} < 10 \text{ m/s}$$

- roda gigi lurus ($\beta = 0^\circ$) dan roda gigi heliks dengan $\beta \leq 30^\circ$
- pinion dengan jumlah gigi yang relatif rendah, $z_1 < 50$
- roda cakram padat atau pelek roda gigi baja berat

Metode ini dapat diterapkan untuk semua jenis roda gigi jika

$$\frac{Vz_1}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}} < 3 \text{ m/s}$$

serta roda gigi heliks di mana $\beta > 30^\circ$.

Untuk roda gigi selain dari yang di atas, referensi harus dibuat untuk **Metode B** yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-1.

A) Untuk roda gigi lurus dan untuk roda gigi heliks dengan rasio tumpangan $\varepsilon\beta \geq 1$

$$K_v = 1 + \left(\frac{\frac{K_1}{K_A F_t}}{b} + K_2 \right) \cdot \frac{Vz_1}{100} K_3 \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}}$$

Jika $K_A F_t / b$ kurang dari 100 N/mm, nilai ini diasumsikan sama dengan 100 N/mm.

Nilai numerik untuk faktor K_1 harus seperti yang ditentukan dalam [Tabel 5.8](#)

Tabel 5.8 Nilai faktor K_1 untuk perhitungan K_v

No.	K1 Nilai akurasi ISO ³					
	3	4	5	6	7	8
Roda gigi lurus	2,1	3,9	7,5	14,9	26,8	39,1
Roda gigi heliks	1,9	3,5	6,7	13,3	239	34,8

³ Nilai akurasi ISO sesuai dengan ISO 1328. Dalam hal roda gigi berpasangan dengan nilai akurasi yang berbeda, nilai yang sesuai dengan akurasi yang lebih rendah harus digunakan.

Untuk semua nilai akurasi, faktor K_2 harus sesuai dengan yang berikut:

- roda gigi lurus, $K_2 = 0,0193$
- roda gigi heliks, $K_2 = 0,0087$

Faktor K_3 harus sesuai dengan berikut:

$$\text{Jika } \frac{Vz_1}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}} \leq 0,2 \quad \text{maka } K_3 = 2,0$$

$$\text{Jika } \frac{Vz_1}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}} > 0,2 \quad \text{maka } K_3 = 2,071 - 0,357 \cdot \frac{Vz_1}{100} \sqrt{\frac{u^2}{1+u^2}}$$

- B) Untuk roda gigi heliks dengan rasio tumpangan $\epsilon_\beta < 1$ nilai K_v ditentukan dengan interpolasi linier antara nilai yang ditentukan untuk roda gigi lurus ($K_{v\alpha}$) dan roda gigi heliks ($K_{v\beta}$) sesuai dengan:

$$K_v = K_{v\alpha} - \epsilon_\beta (K_{v\alpha} - K_{v\beta})$$

Dimana:

$K_{v\alpha}$ adalah nilai K_v untuk roda gigi lurus, sesuai dengan A);

$K_{v\beta}$ adalah nilai K_v untuk roda gigi heliks, sesuai dengan A).

1.6.4 Faktor distribusi beban muka, $K_{H\beta}$ dan $K_{F\beta}$

Faktor distribusi beban muka, $K_{H\beta}$ untuk tegangan kontak, $K_{F\beta}$ untuk tegangan lentur akar gigi, menyumbang efek distribusi beban yang tidak seragam di seluruh lebar muka.

$K_{H\beta}$ didefinisikan sebagai berikut:

$$K_{H\beta} = \frac{\text{beban maksimum per unit lebar muka}}{\text{rata-rata beban per satuan lebar muka}}$$

$K_{F\beta}$ didefinisikan sebagai berikut:

$$K_{F\beta} = \frac{\text{tegangan lentur maksimum pada akar gigi per unit lebar muka}}{\text{rata-rata tegangan lentur pada akar gigi per unit lebar muka}}$$

Tegangan lentur rata-rata pada akar gigi berhubungan dengan lebar muka yang dipertimbangkan b_1 dan juga b_2 .

$K_{F\beta}$ dapat dinyatakan sebagai fungsi dari faktor $K_{H\beta}$.

Faktor $K_{H\beta}$ dan $K_{F\beta}$ terutama bergantung pada:

- keakuratan manufaktur roda gigi;
- kesalahan dalam pemasangan karena kesalahan bore;
- jarak kerenggangan bantalan;
- kesalahan penyejajaran roda dan pinion poros;
- defleksi elastis dari elemen roda gigi, poros, bantalan, housing dan pondasi yang mendukung elemen roda gigi;
- ekspansi termal dan distorsi karena temperatur operasi;
- elemen-elemen desain kompensasi (mahkota gigi, kontur, dll.).

Faktor distribusi beban muka, $K_{H\beta}$ untuk tegangan kontak, dan $K_{F\beta}$ untuk tegangan lentur akar gigi, harus ditentukan sesuai dengan **Metode C** yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-1.

Metode alternatif yang dapat diterima oleh BKI dapat diterapkan.

- Dalam hal posisi pertemuan paling keras berada di ujung lebar muka K_{FB} diberikan oleh persamaan berikut:

$$K_{FB} = K_{HB}^N$$

$$N = \frac{(b/h)^2}{1 + (b/h) + (b/h)^2}$$

(b / h) = rasio lebar wajah/ketinggian gigi, minimum dari b_1/h_1 atau b_2/h_2 .

Untuk roda gigi spiral ganda, lebar muka hanya satu heliks yang digunakan.

Ketika $b/h < 3$, nilai $b/h = 3$ yang digunakan.

- Dalam hal roda gigi di mana ujung-ujung lebar muka dibebani ringan atau tak dibebani (pelepasan akhir atau pencekungan):

$$K_{FB} = K_{HB}$$

1.6.5 Faktor distribusi beban transversal, K_{HB} dan K_{FB}

Faktor distribusi beban transversal, K_{HB} untuk tegangan kontak dan K_{FB} untuk tegangan lentur akar gigi, menyumbang efek pitch dan kesalahan profil pada distribusi beban melintang antara dua pasang atau lebih gigi dalam mesh.

Faktor K_{HB} dan K_{FB} terutama bergantung pada:

- kekakuan mesh total;
- beban tangensial total F_t , K_A , K_β , K_v , K_{HB} ;
- kesalahan pitch dasar;
- tip kontur;
- running-in margin

Faktor distribusi beban transversal, K_{HB} untuk tegangan kontak dan K_{FB} untuk tegangan lentur akar gigi, harus ditentukan sesuai dengan **Metode B** yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-1.

2. Ketahanan permukaan (berlubang-lubang)

2.1 Ruang lingkup dan catatan permukaan

Kriteria untuk daya tahan permukaan didasarkan pada tekanan Hertz pada titik pitch operasi atau pada titik dalam dari kontak pasangan tunggal. Tegangan kontak σ_H harus sama dengan atau kurang dari tegangan kontak yang diizinkan σ_{HP} .

2.2 Persamaan dasar

2.2.1 Tegangan kontak

$$\sigma_H = \sigma_{H0} \sqrt{K_A \cdot K_y \cdot K_v \cdot K_{Ha} \cdot K_{HB}} \leq \sigma_{HP}$$

dimana:

σ_{H0} = nilai dasar tegangan kontak untuk pinion dan roda

$$\sigma_{HO} = Z_B \cdot Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 \cdot b}} \frac{(u+1)}{u} \quad \text{untuk pinion}$$

$$\sigma_{HO} = Z_D \cdot Z_H \cdot Z_E \cdot Z_\epsilon \cdot Z_\beta \cdot \sqrt{\frac{F_t}{d_1 \cdot b}} \frac{(u+1)}{u} \quad \text{untuk roda}$$

dimana:

- Z_B = faktor kontak gigi pasangan tunggal untuk pinion (lihat [bab H.2.3](#))
- Z_D = faktor kontak gigi pasangan tunggal untuk roda (lihat [bab H.2.3](#))
- Z_H = faktor zona (lihat [bab H.2.4](#))
- Z_E = faktor elastisitas (lihat [bab H.2.5](#))
- Z_ϵ = faktor rasio kontak (lihat [bab H.2.6](#))
- Z_β = faktor sudut heliks (lihat [bab H.2.7](#))
- F_t = beban tangensial nominal pada silinder referensi di bagian transversal (lihat [bab H.1.5](#))
- b = lebar muka umum
- d_1 = diameter referensi pinion
- u = rasio roda gigi (untuk roda gigi eksternal u positif, untuk roda gigi internal u negatif)

Terkait faktor K_A , K_y , K_v , $K_{H\alpha}$ dan $K_{H\beta}$, lihat [bab H.1](#).

2.2.2 Tegangan kontak yang diizinkan

Tegangan kontak yang diizinkan σ_{HP} harus dievaluasi secara terpisah untuk pinion dan roda:

$$\sigma_{HP} = \frac{(\sigma_{Hlim} \cdot Z_N)}{S_H} \cdot Z_L \cdot Z_V \cdot Z_R \cdot Z_W \cdot Z_X$$

dimana,

- σ_{Hlim} = batas daya tahan untuk tegangan kontak (lihat [bab H.2.8](#))
- Z_N = faktor umur kerja untuk tegangan kontak (lihat [bab H.2.9](#))
- Z_L = faktor lubrikasi (lihat [bab H.2.10](#))
- Z_V = faktor kecepatan (lihat [bab H.2.10](#))
- Z_R = faktor kekasaran (lihat [bab H.2.10](#))
- Z_W = faktor rasio kekerasan (lihat [bab H.2.11](#))
- Z_X = faktor ukuran untuk tegangan kontak (lihat [bab H.2.12](#))
- S_H = faktor keamanan untuk tegangan kontak (lihat [bab H.2.13](#))

2.3 Faktor kontak gigi pasangan tunggal, Z_B dan Z_D

Faktor kontak gigi pasangan tunggal, Z_B untuk pinion dan Z_D untuk roda, memperhitungkan pengaruh kelengkungan *flank* permukaan gigi pada tegangan - tegangan kontak pada titik dalam kontak pasangan tunggal dalam kaitannya dengan Z_H .

Faktor-faktor tersebut mengubah tegangan-tegangan kontak yang ditentukan di titik pitch terhadap tegangan-tegangan kontak dengan mempertimbangkan kelengkungan *flank* permukaan gigi di titik dalam kontak pasangan tunggal.

Faktor kontak gigi pasangan tunggal, Z_B untuk pinion dan Z_D untuk roda, harus ditentukan sebagai berikut:

Untuk roda gigi lurus, $\epsilon_\beta = 0$

$$Z_B = M_1 \text{ atau } 1 \text{ mana yang lebih besar nilainya}$$

$$Z_D = M_2 \text{ atau } 1 \text{ yang mana yang lebih besar nilainya}$$

$$M_1 = \frac{\tan \alpha_{tw}}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{d_{b1}^2}} - 1 - \frac{2\pi}{z_1}\right) \left(\sqrt{\frac{d_{a2}^2}{d_{b2}^2}} - 1 - (\epsilon_\alpha - 1) \frac{2\pi}{z_2}\right)}}$$

$$M_2 = \frac{\tan \alpha_{tw}}{\sqrt{\left(\sqrt{\frac{d_{a2}^2}{d_{b2}^2}} - 1 - \frac{2\pi}{z_2}\right) \left(\sqrt{\frac{d_{a1}^2}{d_{b1}^2}} - 1 - (\epsilon_\alpha - 1) \frac{2\pi}{z_1}\right)}}$$

Untuk roda gigi heliks saat $\epsilon_\beta \geq 1$

$$Z_B = 1$$

$$Z_D = 1$$

Untuk roda gigi heliks ketika $\epsilon_\beta < 1$ nilai Z_B dan Z_D ditentukan dengan interpolasi linier antara Z_B dan Z_D untuk roda gigi lurus dan Z_B dan Z_D untuk roda gigi heliks yang memiliki $\epsilon_\beta \geq 1$.

Maka:

$$Z_B = M_1 - \epsilon_\beta (M_1 - 1) \text{ dan } Z_B \geq 1$$

$$Z_D = M_2 - \epsilon_\beta (M_2 - 1) \text{ dan } Z_D \geq 1$$

Untuk roda gigi internal, Z_D harus dianggap sama dengan 1.

2.4 Faktor zona, Z_H

Faktor zona, Z_H , termasuk pengaruh tekanan Hertzian kelengkungan *flank* permukaan gigi pada titik pitch dan mengubah beban tangensial pada silinder referensi ke beban normal pada silinder pitch.

Faktor zona, Z_H , harus dihitung sebagai berikut:

$$Z_H = \sqrt{\frac{2 \cos \beta_b}{\cos^2 \alpha_t \tan \alpha_{tw}}}$$

2.5 Faktor elastisitas, Z_E

Faktor elastisitas, Z_E , termasuk pengaruh sifat material E (modulus elastisitas) dan v (ratio Poisson) pada tegangan kontak.

Faktor elastisitas, Z_E , untuk roda gigi baja ($E = 206000 \text{ N/mm}^2$, $v = 0,3$) sama dengan:

$$Z_E = 189,8 \sqrt{\text{N/mm}^2}$$

Dalam kasus lain, referensi harus dibuat ke standar referensi ISO 6336-2.

2.6 Faktor rasio kontak, Z_ϵ

Faktor rasio kontak, Z_ϵ , termasuk pengaruh rasio kontak transversal dan rasio tumpangan pada beban permukaan spesifik roda gigi.

Faktor rasio kontak, Z_ϵ , harus dihitung sebagai berikut:

Roda gigi lurus:

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3}}$$

Roda gigi heliks:

- untuk $\epsilon_\beta < 1$

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{4 - \epsilon_\alpha}{3}} (1 - \epsilon_\beta) + \frac{\epsilon_\beta}{\epsilon_\alpha}$$

- untuk $\epsilon_\beta \geq 1$

$$Z_\epsilon = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_\alpha}}$$

2.7 Faktor sudut Heliks, Z_β

Faktor sudut heliks, Z_β , termasuk pengaruh sudut heliks pada daya tahan permukaan, memungkinkan variabel-variabel seperti itu sebagai distribusi beban sepanjang garis kontak. Z_β hanya bergantung pada sudut heliks.

Faktor sudut heliks, Z_β , harus dihitung sebagai berikut:

$$Z_\beta = \sqrt{\frac{1}{\cos \beta}}$$

Dimana β adalah referensi sudut heliks.

2.8 Batas daya tahan untuk tegangan kontak, σ_{Hlim}

Untuk material yang diberikan, σ_{Hlim} adalah batas dari tegangan kontak berulang yang dapat ditahan secara permanen. Nilai σ_{Hlim} dapat dianggap sebagai tingkat tegangan kontak yang materialnya akan bertahan tanpa berlubang-lubang untuk setidaknya 5×10^7 siklus beban.

Untuk tujuan ini, lubang-lubang didefinisikan dengan:

- roda gigi yang permukaannya tidak dikeraskan;
- daerah lubang-lubang $> 2\%$ dari total area *flank* permukaan gigi aktif;
- roda gigi yang permukaannya dikeraskan;
- daerah lubang-lubang $> 0,5\%$ dari total area *flank* permukaan gigi aktif, atau $> 4\%$ dari satu area *flank* permukaan gigi tertentu.

Nilai σ_{Hlim} harus sesuai dengan probabilitas kegagalan 1% atau kurang.

Batas ketahanan terutama tergantung pada:

- komposisi material, kebersihan dan cacat;
- sifat mekanis;

- tegangan sisa;
- proses pengerasan, kedalaman zona yang dikeraskan, gradien kekerasan;
- struktur material (ditempa, digulung, dicor).

Batas ketahanan untuk tegangan kontak σ_{Hlim} , harus ditentukan, secara umum, membuat referensi ke nilai yang ditunjukkan dalam standar ISO 6336-5, untuk kualitas material MQ.

2.9 Faktor umur, Z_N

Faktor umur Z_N , termasuk tegangan kontak yang lebih tinggi yang diizinkan dalam hal umur yang terbatas (jumlah siklus) diperlukan.

Faktor utamanya tergantung pada:

- material dan perlakuan panas;
- jumlah siklus;
- faktor pengaruh (Z_R , Z_v , Z_L , Z_w , Z_x).

Faktor umur, Z_N , harus ditentukan sesuai dengan **Metode B** yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-2.

2.10 Faktor pengaruh lapisan pelumasan pada tegangan kontak, Z_L , Z_v dan Z_R

Faktor pelumas, Z_L , termasuk pengaruh jenis pelumas dan viskositasnya. Faktor kecepatan, Z_v , termasuk pengaruh kecepatan garis pitch. Faktor kekasaran, Z_R , termasuk pengaruh kekasaran permukaan pada kapasitas daya tahan permukaan.

Faktor-faktor dapat ditentukan untuk material yang lebih lembut di mana pasangan gigi memiliki kekerasan yang berbeda.

Faktor utamanya tergantung pada:

- viskositas pelumas di zona kontak;
- total kecepatan sesaat dari permukaan gigi-gigi;
- beban;
- jari-jari relatif kelengkungan di titik pitch;
- kekasaran *flank* permukaan gigi;
- kekerasan pinion dan gigi.

Faktor pelumas, Z_L , faktor kecepatan, Z_v , dan faktor kekasaran Z_R harus dihitung sebagai berikut:

a) Faktor Pelumas, Z_L

Faktornya, Z_L , harus dihitung dari persamaan berikut:

$$Z_L = C_{ZL} + \frac{4(1 - C_{ZL})}{\left(1,2 + \frac{134}{V_{40}}\right)^2}$$

Dalam kisaran $850 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{\text{Hlim}} \leq 1200 \text{ N/mm}^2$, C_{ZL} harus dihitung sebagai berikut:

$$C_{ZL} = \left(0,08 \frac{\sigma_{\text{Hlim}} - 850}{350}\right) + 0,83$$

Jika $\sigma_{\text{Hlim}} < 850 \text{ N/mm}^2$, ambil $C_{ZL} = 0,83$

Jika $\sigma_{Hlim} > 1200 \text{ N/mm}^2$, ambil $C_{ZL} = 0,91$

Dimana :

v_{40} = viskositas kinematik nominal dari minyak pada 40°C , mm^2/s

- b) Faktor kecepatan, Z_v

Faktor kecepatan, Z_v , harus dihitung dari persamaan berikut:

$$Z_v = C_{Zv} + \frac{2(1 - C_{Zv})}{\sqrt{0,8 + \frac{32}{v}}}$$

Dalam kisaran $850 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{Hlim} \leq 1200 \text{ N/mm}^2$, C_{Zv} harus dihitung sebagai berikut:

$$C_{Zv} = C_{ZL} + 0,02$$

- c) Faktor kekasaran, Z_R

Faktor kekasaran, Z_R , harus dihitung dari persamaan berikut:

$$C_R = \left(\frac{3}{R_z Z_{10}} \right)^{C_{ZR}}$$

dimana:

$$R_z = \frac{R_{z1} + R_{z2}}{2}$$

Kekasaran puncak ke lembah ditentukan untuk pinion R_{z1} dan untuk roda R_{z2} adalah nilai rata-rata untuk kekasaran puncak ke lembah R_z yang diukur pada beberapa sisi gigi (R_z sebagaimana didefinisikan dalam standar referensi ISO 6336-2).

$$R_{z10} = R_z \sqrt[3]{\frac{10}{\rho_{red}}}$$

jari-jari relatif kelengkungan:

$$\rho_{red} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$$

dimana:

$$\rho_{1,2} = 0,5 \cdot d_{b1,2} \cdot \tan \alpha_{tw}$$

(Juga untuk roda gigi internal, d_b bertanda negatif)

Jika kekasaran yang dinyatakan adalah kekasaran rata-rata aritmetika, yaitu nilai R_a (= nilai CLA) (= nilai AA), hubungan perkiraan berikut dapat diterapkan:

$$R_a = CLA = AA = R_z / 6$$

Dalam kisaran $850 \text{ N/mm}^2 \leq \sigma_{Hlim} \leq 1200 \text{ N/mm}^2$, C_{ZR} harus dihitung sebagai berikut:

$$C_{ZR} = 0,32 - 0,0002 \cdot \sigma_{Hlim}$$

Jika $\sigma_{Hlim} < 850 \text{ N/mm}^2$, ambil $C_{ZR} = 0,150$

Jika $\sigma_{H\lim} > 1200 \text{ N/mm}^2$, ambil $C_{ZR} = 0,080$

2.11 Faktor rasio kekerasan, Z_w

Faktor rasio kekerasan, Z_w , termasuk peningkatan daya tahan permukaan dari *meshing* gigi baja lunak dengan gigi yang lebih keras secara signifikan dengan permukaan halus dalam kasus berikut:

- Pinion permukaan yang dikeraskan melalui roda yang dikeraskan

Jika $HB < 130$

$$Z_w = 1,2 \cdot \left(\frac{3}{R_{zH}} \right)^{0,15}$$

Jika $130 \leq HB \leq 470$

$$Z_w = \left(1,2 - \frac{HB - 130}{1700} \right) \cdot \left(\frac{3}{R_{zH}} \right)^{0,15}$$

Jika $HB > 470$

$$Z_w = \left(\frac{3}{R_{zH}} \right)^{0,15}$$

dimana:

HB = kekerasan Brinell dari sisi-sisi gigi dari roda gigi yang lebih lembut dari pasangan

R_{zH} = kekerasan ekuivalen, μm

$$R_{zH} = \frac{R_{z1} \cdot (10/\rho_{red})^{0,33} \cdot (R_{z1}/R_{z2})^{0,66}}{V \cdot V_{40}/1500}^{0,33}$$

ρ_{red} = jari-jari kelengkungan relatif (lihat 2.10 c)

- Melalui pinion dan roda yang dikeraskan

Ketika pinion secara substansial lebih keras daripada roda, efek pengerasan kerja meningkatkan kapasitas beban dari sisi roda. Z_w berlaku untuk roda saja, bukan ke pinion.

Jika $HB_1/HB_2 < 1,2$

$$Z_w = 1$$

Jika $1,2 \leq HB_1/HB_2 \leq 1,7$

$$Z_w = 1 + \left(0,00898 \frac{HB_1}{HB_2} - 0,00829 \right) \cdot (u - 1)$$

Jika $HB > 470$

$$Z_w = 1 + 0,00898 \cdot (u - 1)$$

Jika rasio roda gigi $u > 20$ maka nilai $u = 20$ harus digunakan.

Dalam hal apapun, jika dihitung $Z_w < 1,0$ maka nilai $Z_w = 1,0$ harus digunakan.

2.12 Faktor ukuran, Z_x

Faktor ukuran, Z_x , termasuk pengaruh dimensi gigi pada tegangan kontak yang diizinkan dan mencerminkan sifat material yang tidak seragam.

Faktor utamanya tergantung pada:

- material dan perlakuan panas;
- dimensi gigi dan roda gigi;
- rasio kedalaman selubung terhadap ukuran gigi;
- rasio kedalaman selubung terhadap jari-jari kelengkungan yang setara.

Untuk roda gigi yang diperkeras dan untuk gigi yang permukaannya dikeraskan dengan kedalaman selubung relatif terhadap ukuran dan jari-jari gigi yang memadai dari kelengkungan relatif $Z_x = 1$. Ketika kedalaman selubung relatif dangkal maka nilai yang lebih kecil dari Z_x harus dipilih.

2.13 Faktor keamanan untuk tegangan kontak, S_H

Faktor keamanan untuk tegangan kontak, S_H , dapat diasumsikan oleh BKI dengan mempertimbangkan jenis aplikasi.

Nilai petunjuk berikut dapat diadopsi:

- Roda gigi propulsi utama: 1,20 hingga 1,40
- Roda gigi tambahan: 1,15 hingga 1,20

Untuk peralatan roda gigi dari mesin propulsi independen atau bantu yang diduplikasi, diduplikasi di luar yang diperlukan untuk kelas, nilai yang dikurangi dapat diasumsikan dengan kebijaksanaan BKI.

3. Kekuatan lentur akar gigi

3.1 Lingkup dan catatan umum

Kriteria untuk kekuatan lentur akar gigi adalah batas kekuatan tarik lokal yang diperbolehkan pada kelengkungan akar. Tegangan akar σ_F dan tegangan akar yang diizinkan σ_{FP} harus dihitung secara terpisah untuk pinion dan roda.

σ_F tidak boleh melebihi σ_{FP} .

Rumus dan definisi berikut berlaku untuk roda gigi yang memiliki ketebalan roda gigi lebih dari $3,5 m_n$.

Hasil penghitungan nilai rating yang dibuat dengan mengikuti metode ini dapat diterima untuk sudut tekanan normal hingga 25° dan sudut heliks referensi hingga 30° .

Untuk sudut tekanan yang lebih besar dan sudut-sudut heliks yang besar, hasil yang dihitung harus dikonfirmasi dengan pengalaman seperti pada **Metode A** dari standar referensi ISO 6336-3.

3.2 Persamaan dasar

3.2.1 Tegangan lengkungan akar gigi untuk pinion dan roda

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_{m_n}} Y_F Y_S Y_\beta Y_B Y_{DT} Y_A Y_\gamma Y_v K_{Fa} K_{F\beta} \leq \sigma_{FP}$$

dimana:

- | | | |
|--|------------------------------|------------------------------------|
| Y_F | = faktor bentuk gigi | (lihat bab H.3.3) |
| Y_S | = faktor koreksi tegangan | (lihat bab H.3.4) |
| Y_β | = faktor sudut heliks | (lihat bab H.3.5) |
| Y_B | = faktor ketebalan roda gigi | (lihat bab H.3.6) |
| Y_{DT} | = faktor gigi dalam | (lihat bab H.3.7) |
| F_t , K_A , K_γ , K_v , K_{Fa} , $K_{F\beta}$ | | (lihat bab H.1) |
| b | | (lihat bab H.1.4) |
| m_n | | (lihat bab H.1.3) |

3.2.2 Tegangan lengkungan akar gigi yang diperbolehkan untuk pinion dan roda

$$\sigma_{FP} = \frac{\sigma_{FE} Y_d Y_N}{S_F} Y_{\delta_{relT}} Y_{R_{relT}} Y_X$$

dimana:

- σ_{FE} = batas ketahanan kelengkungan
- Y_d = faktor desain
- Y_N = faktor umur
- $Y_{\delta_{relT}}$ = faktor sensitivitas takik relatif
- $Y_{R_{relT}}$ = faktor permukaan relatif
- Y_X = faktor ukuran
- S_F = faktor keamanan untuk tegangan lentur akar gigi

3.3 Faktor bentuk gigi, Y_F

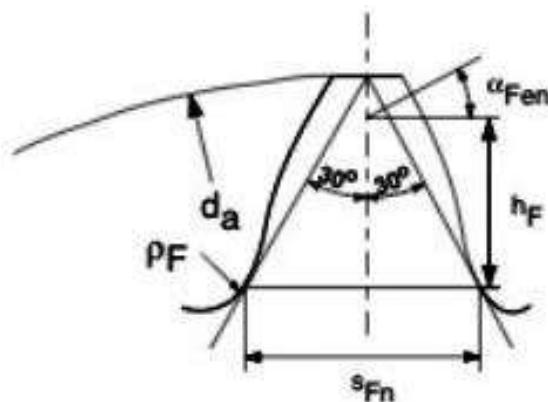
Faktor bentuk gigi, Y_F , mewakili pengaruh pada nominal tegangan lentur dari bentuk gigi dengan beban yang diterapkan pada titik terluar kontak gigi pasangan tunggal. Y_F harus ditentukan secara terpisah untuk pinion dan roda. Dalam hal roda gigi heliks, faktor bentuk untuk roda gigi harus ditentukan pada bagian normal, yaitu untuk roda gigi lurus virtual dengan jumlah virtual gigi Z_n .

Faktor bentuk gigi, Y_F , harus dihitung sebagai berikut:

$$Y_F = \frac{6 \frac{h_F}{m_n} \cos \alpha_{Fen}}{\left(\frac{s_{Fn}}{m_n} \right)^2 \cos \alpha_n}$$

dimana:

- h_F = lengan momen lentur untuk tegangan lentur akar gigi untuk aplikasi beban pada titik terluar kontak pasangan gigi tunggal [mm]
- s_{Fn} = chord normal akar gigi di bagian kritis [mm]
- α_{Fen} = sudut tekanan pada titik terluar kontak pasangan gigi tunggal di bagian normal [°]



Gambar 5.1 Dimensi h_F , s_{Fn} dan α_{Fen} untuk roda gigi eksternal

Untuk perhitungan h_F , s_{Fn} dan α_{Fen} , prosedur yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-3 (**Metode B**) harus digunakan.

3.4 Faktor koreksi tegangan, Y_s

Faktor koreksi tegangan Y_s , digunakan untuk mengubah nominal tegangan lentur ke tekanan akar gigi lokal, dengan mempertimbangkan bahwa tidak hanya tekanan lentur yang timbul pada akar.

Y_s berlaku untuk aplikasi beban di titik luar dari kontak pasangan gigi tunggal.

Y_s harus ditentukan secara terpisah untuk pinion dan untuk roda. Faktor koreksi tegangan, Y_s , harus ditentukan dengan persamaan berikut (memiliki rentang validitas: $1 \leq q_s \leq 8$):

$$Y_s = (1,2 + 0,13L)q_s^{\left(\frac{1}{1,21+2,3/L}\right)}$$

dimana:

$$q_s = \frac{s_{Fn}}{2\rho_F}$$

q_s = parameter takik,

ρ_F = radius kelengkungan akar di bagian kritis [mm]

L = s_{Fn}/h_F

Untuk h_F dan s_{Fn} lihat [bab 3.1](#)

Untuk perhitungan ρ_F prosedur yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-3 harus digunakan.

3.5 Faktor sudut Heliks, Y_β

Faktor sudut heliks, Y_β , mengubah tegangan yang dihitung untuk sebuah titik yang dibebani balok kantilever yang mewakili gigi roda pengganti ke tegangan yang diinduksi oleh beban sepanjang garis beban miring ke dalam pelat kantilever yang mewakili gigi roda gigi heliks.

Faktor sudut heliks, Y_β dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y_\beta = 1 - \varepsilon_\beta \frac{\beta}{120}$$

dimana:

β = referensi sudut heliks dalam derajat.

Nilai 1,0 disubstitusi untuk ε_β ketika $\varepsilon_\beta > 1,0$, dan 30° diganti untuk $\beta > 30^\circ$.

3.6 Faktor ketebalan rim, Y_B

Faktor ketebalan rim, Y_B , adalah faktor yang disederhanakan yang digunakan untuk mengurangi laju roda gigi berbingkai tipis. Untuk aplikasi yang dibebani secara kritis, metode ini harus diganti dengan analisis yang lebih komprehensif. Faktor Y_B harus ditentukan sebagai berikut:

- roda gigi eksternal:

$$\text{jika } S_R / h \geq 1,2 \quad Y_B = 1$$

$$\text{jika } 0,5 < S_R / h < 1,2 \quad Y_B = 1,6 \cdot \ln \left(2,242 \frac{h}{S_R} \right)$$

dimana:

s_R = ketebalan *rim* roda gigi eksternal [mm]

h = tinggi gigi [mm]

Kasus $s_R/h \leq 0,5$ harus dihindari.

- roda gigi internal:

$$\text{jika } s_R/m_n \geq 3,5 \quad Y_B = 1$$

$$\text{jika } 1,75 < s_R/m_n \quad Y_B = 1,15 \cdot \ln \left(8,324 \frac{m_n}{s_R} \right)$$

dimana:

s_R = ketebalan *rim* gigi internal [mm]

Kasus $s_R/m_n \leq 1,75$ harus dihindari.

3.7 Faktor kedalaman gigi, Y_{DT}

Faktor kedalaman gigi, Y_{DT} , menyesuaikan tekanan akar gigi untuk memperhitungkan roda gigi presisi tinggi dan rasio kontak di dalam kisaran rasio kontak virtual $2,05 \leq \varepsilon_{an} \leq 2,5$, di mana:

$$\varepsilon_{an} = \frac{\varepsilon_a}{\cos^2 \beta_b}$$

Faktor Y_{DT} ditentukan sebagai berikut:

$$\text{jika tingkat akurasi ISO} \leq 4 \text{ dan } \varepsilon_{an} > 2,5 \quad Y_{DT} = 0,7$$

$$\text{jika tingkat akurasi ISO} \leq 4 \text{ dan } 2,05 < \varepsilon_{an} \leq 2,5 \quad Y_{DT} = 2,366 - 0,666 \cdot \varepsilon_{an}$$

$$\text{untuk kasus lainnya} \quad Y_{DT} = 1,0$$

3.8 Batas ketahanan lentur, σ_{FE}

Untuk material tertentu, σ_{FE} adalah tegangan akar gigi lokal yang dapat ditahan secara permanen. Sesuai standar referensi ISO 6336-5, jumlah 3×10^6 siklik dianggap sebagai awal dari batas ketahanan.

σ_{FE} didefinisikan sebagai *unidirectional pulsating stress* dengan tegangan minimum nol (mengabaikan tegangan sisa karena perlakuan panas). Kondisi lain seperti tegangan bolak-balik atau prategangan dll. ditutupi oleh faktor desain Y_d .

Nilai σ_{FE} harus sesuai dengan probabilitas kegagalan 1% atau kurang.

Batas ketahanan terutama tergantung pada:

- komposisi material, kebersihan dan cacat;
- sifat mekanis;
- tegangan sisa;
- proses pengerasan, kedalaman zona yang dikeraskan, gradien kekerasan;
- struktur material (ditempa, digulung, di cor).

Batas ketahanan lentur, σ_{FE} harus ditentukan, secara umum, membuat referensi ke nilai yang ditunjukkan dalam standar referensi ISO 6336-5, untuk kualitas material MQ.

3.9 Faktor desain, Y_d

Faktor desain, Y_d , memperhitungkan pengaruh pembalikan beban dan prategangan susut pada kekuatan akar gigi, relatif terhadap kekuatan akar gigi dengan beban searah sebagaimana didefinisikan untuk σ_{FE} .

Faktor desain, Y_d , untuk pembalikan beban, ditentukan sebagai berikut:

$$Y_d = 1,0 \quad \text{secara umum};$$

$$Y_d = 0,9 \quad \text{untuk roda gigi dengan beban bagian sesekali dalam arah terbalik, seperti roda utama dalam membalikkan gearbox};$$

$$Y_d = 0,7 \quad \text{untuk roda gigi diam (*idle*)}$$

3.10 Faktor umur, Y_N

Faktor umur, Y_N , termasuk tekanan lentur akar gigi yang lebih tinggi yang diijinkan dalam kasus umur yang terbatas (jumlah siklik) diperlukan.

Faktor utamanya tergantung pada:

- material dan perlakuan panas;
- jumlah siklik beban (masa pakai);
- faktor pengaruh ($Y_{\delta_{relT}}$, $Y_{R_{relT}}$, Y_X).

Faktor umur, Y_N , ditentukan sesuai dengan **Metode B** yang diuraikan dalam standar referensi ISO 6336-3.

3.11 Faktor sensitivitas takik relatif, $Y_{\delta_{relT}}$

Faktor sensitivitas takik relatif, $Y_{\delta_{relT}}$, menunjukkan sejauh mana tegangan terkonsentrasi teoritis terletak di atas batas ketahanan lelah. Faktor ini terutama tergantung pada material dan gradien tegangan relatif.

Faktor sensitivitas takik relatif, $Y_{\delta_{relT}}$, ditentukan sebagai berikut:

$$Y_{\delta_{relT}} = \frac{1 + \sqrt{0,2\rho' (1+2q_s)}}{1 + \sqrt{1,2\rho'}}$$

dimana:

$$q_s = \text{parameter takik (lihat 3.4)}$$

$$\rho' = \text{ketebalan lapisan selip [mm], dari Tabel 5.9 berikut}$$

Tabel 5.9 Ketebalan Lapisan Selip

Material	$\rho' [\text{mm}]$
selubung baja keras, baja pengerasan api atau induksi	0,0030
melalui baja yang dikeraskan ¹⁾ , titik leleh $R_e =$	500 N/mm ²
	600 N/mm ²
	800 N/mm ²
	1000 N/mm ²
baja nitridasi	0,1005

¹⁾ Nilai-nilai ρ yang diberikan dapat diinterpolasi untuk nilai-nilai R_e yang tidak disebutkan di atas

3.12 Faktor permukaan relatif, Y_{RrelT}

Faktor permukaan relatif, Y_{RrelT} , memperhitungkan ketergantungan kekuatan akar pada kondisi permukaan di lengkungan akar gigi, terutama ketergantungan pada puncak ke kekasaran permukaan lembah.

Faktor permukaan relatif, Y_{RrelT} ditentukan sesuai [Tabel 5.10](#) berikut:

Tabel 5.10 Faktor permukaan relatif

$R_z < 1$	$1 < R_z < 40$	Material
1,120	$1,674 - 0,529 (R_z+1)0,1$	baja yang dikeraskan selubung, melalui baja yang dikeraskan ($\sigma_B > 800 \text{ N/mm}^2$)
1,070	$5,306 - 4,203 (R_z+1)0,01$	baja yang dinormalkan ($\sigma_B > 800 \text{ N/mm}^2$)
1,025	$4,299 - 3,259 (R_z+1)0,0058$	baja nitridasi

dimana:

R_z = rata-rata kekasaran puncak ke lembah dari lengkungan akar gigi [μm]

σ_B = kekuatan tarik [N/mm^2]

Metode yang diterapkan di sini hanya valid ketika goresan atau cacat serupa yang lebih dalam dari $2R_z$ tidak ada.

Jika kekasaran yang dinyatakan adalah kekasaran rata-rata aritmetika, yaitu nilai R_a (= nilai CLA) (= nilai AA), hubungan perkiraan berikut dapat diterapkan:

$$R_B = CLA = AA = R_z/6$$

3.13 Faktor ukuran, Y_x

Faktor ukuran, Y_x , memperhitungkan penurunan kekuatan dengan meningkatnya ukuran.

Faktor utamanya tergantung pada:

- material dan perlakuan panas;
- dimensi gigi dan roda gigi;
- rasio kedalaman selubung terhadap ukuran gigi.

Faktor ukuran, Y_x , ditentukan sebagai berikut [Tabel 5.11](#):

Table 5.11. Faktor Ukuran Y_x

$Y_x = 1,00$	Untuk $m_n \leq 5$	Secara umum
$Y_x = 1,03 - 0,06 mn$	Untuk $5 < m_n < 30$	baja yang dinormalisasi dan melalui pengerasan
$Y_x = 0,85$	Untuk $m_n \geq 30$	
$Y_x = 1,05 - 0,010 mn$	Untuk $5 < m_n < 25$	baja permukaan yang dikeraskan
$Y_x = 0,80$	Untuk $m_n \geq 25$	

3.14 Faktor keamanan untuk tegangan lentur akar gigi, S_F

Faktor keamanan untuk tegangan lentur akar gigi, S_F , dapat diasumsikan oleh BKI dengan mempertimbangkan jenis aplikasi.

Nilai petunjuk berikut dapat diadopsi:

- Roda gigi propulsi utama: 1,55 hingga 2,00
- Roda gigi bantu : 1,40 hingga 1,45

Untuk roda gigi duplikasi pada mesin penggerak independen atau permesinan bantu, duplikasi di luar yang dipersyaratkan oleh klas, pengurangan nilai dapat di asumsikan atas kebijakan BKI.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 6 Propeler

A.	Umum.....	6-1
B.	Material	6-1
C.	Dimensi dan Desain Propeler.....	6-2
D.	Controllable Pitch Propeller.....	6-8
E.	Pemasangan Propeler	6-10
F.	Penyeimbangan dan Pengujian	6-12

A. Umum

1. Ruang Lingkup

Peraturan ini berlaku untuk propeler tipe ulir (*controllable pitch* dan *fixed pitch*). Pengaturan dimensi dan material propeler untuk kapal-kapal dengan kelas es dijelaskan pada Bab 13.

2. Dokumen untuk persetujuan

2.1 Gambar-gambar desain dari propeler pada mesin penggerak utama yang mempunyai daya output mesin lebih dari 300 kW dan pada unit pendorong melintang yang lebih dari 500 kW, serta gambar rencana umum harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan. Gambar-gambar harus mencakup semua detail yang diperlukan untuk melaksanakan pemeriksaan sesuai dengan Peraturan. Gambar-gambar diserahkan dalam format elektronik.

2.2 Untuk sistem *controllable pitch propeller*, rencana umum dan gambar penampang sistem *controllable pitch propeller* secara keseluruhan harus diserahkan dalam format elektronik samping gambar desain untuk daun, boss dan mekanisme kontrol pitch. Kontrol dan diagram hidrolik harus diserahkan bersama dengan deskripsi panduan fungsional. Untuk desain baru atau sistem controllable pitch propeller yang akan dipasang untuk pertama kalinya pada kapal dengan Kelas BKI, deskripsi dari sistem controllable pitch propeler juga harus diserahkan.

B. Material

1. Propeler dan hub propeler

Propeler harus dibuat dari paduan tembaga cor atau paduan baja cor tahan air laut dengan kekuatan tarik minimum 440 N/mm², sesuai dengan [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#). Untuk tujuan persyaratan desain berikut yang mengatur tentang ketebalan daun propeler, ketahanan terhadap air laut yang disyaratkan dari paduan tembaga cor atau paduan baja cor dianggap tercapai jika paduan yang digunakan mampu menahan uji lelah dengan tegangan *bending* bervariasi dan berulang (*alternating bending stress*) yang terdiri dari 108 siklus beban yang setara dengan sekitar 20% dari kekuatan tarik minimum dan dilakukan dalam larutan NaCl 3%, dan dapat dibuktikan bahwa nilai kekuatan lelah pada tegangan bending bervariasi dan berulang dalam air laut murni tidak kurang dari sekitar 65% dari nilai yang ditetapkan pada 3% larutan NaCl. Kekuatan lelah yang cukup pada tegangan bending yang bervariasi dan berulang harus dibuktikan dengan metode yang diakui oleh BKI.

2. Komponen untuk *controllable pitch propeller* dan *fixed pitch* yang dirakit

Material komponen utama dari mekanisme kontrol pitch, daun dan baut penahan *boss* harus mematuhi [Rules for Material \(Pt. 1, Vol. V\)](#).

Baut penahan daun pada fixed pitch propeller yang dirakit atau controllable pitch propeller harus dibuat dari material tahan air laut, selama baut tersebut tidak dilindungi terhadap kontak dengan air laut.

3. Material baru

Jika material propeler yang digunakan tidak cukup terbukti keandalannya, kesesuaian material tersebut harus dibuktikan terutama kepada BKI.

4. Pengujian material

Material dari propeler, boss propeler dan semua komponen penting yang terlibat dalam transmisi torsi harus diuji sesuai dengan [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#). Hal ini juga berlaku untuk komponen yang digunakan untuk mengontrol pitch daun dan juga untuk propeler pada sistem propulsi utama yang mempunyai daya kurang dari 300 kW dan sistem pendorong melintang kurang dari 500 kW.

C. Dimensi dan Desain Propeler

1. Simbol dan istilah

- A = luas efektif dari *shrink fit* [mm²]
B = lebar potongan silindris daun propeller pada radius 0,25 R, 0,35 R dan 0,6 R yang diproyeksikan secara melebar dalam tampilan bukaan [mm]
 c_A = koefisien untuk *shrink joint*
= 1,0 untuk mesin diesel dengan gigi dan turbin serta untuk penggerak motor listrik
= 1,2 untuk penggerak mesin diesel langsung
 C_G = faktor ukuran sesuai dengan rumus (2)
 C_{Dyn} = faktor dinamis sesuai dengan rumus (3)
 C_w = nilai karakteristik material untuk material propeler seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 6.1](#), berhubungan dengan kekuatan tarik minimum R_m dari material propeler di mana kekuatan lelah yang cukup pada tegangan bending bervariasi dan berulang (*alternating bending stresses*) menurut [B.1](#) terbukti.
C = ketirusan ujung poros
= $\frac{\text{perbedaan diameter tirus}}{\text{panjang tirus}}$

Tabel 6.1 Nilai Karakteristik Material C_w

Material	Deskripsi ¹⁾	C_w
Cu 1	Kuningan mangan cor	440
Cu 2	Nikel mangan kuningan cor	440
Cu 3	Perunggu aluminium nikel cor	590
Cu 4	Perunggu aluminium mangan cor	630
Fe 1	Baja cor tanpa paduan	440
Fe 2	Baja cor paduan rendah	440
Fe 3	Baja krom martensitic cor 13/1-6	600
Fe 4	Baja krom martensitic cor 17/4	600

Tabel 6.1 Nilai Karakteristik Material C_w (lanjutan)

Material	Deskripsi ¹⁾	C_w
Fe 5	Baja cor ferritic-austenitic 24/8	600
Fe 6	Baja cor austenitic 18/8-11	500

¹⁾ Untuk komposisi kimia dari paduan, lihat [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#), dan [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#).

- d = diameter *pitch circle* dari daun atau baut pengencang propeler [mm]
- d_i = diameter dalam poros [mm]
- d_k = diameter pangkal daun atau baut pengencang propeler [mm]
- D = diameter propeler [mm]
- = $2 \cdot R$
- d_m = rata-rata diametertirus [mm]
- D_N = rata-rata diameter luar hub propeler [mm]
- e = *rake* daun ke buritan sesuai dengan [Gambar 6.1](#) [mm]
- = $R \cdot \tan \varepsilon$
- E_T = faktor stimulan thrust sesuai dengan rumus (5)
- E_N = modulus elastisitas untuk material hub [N/mm^2]
- E_w = modulus elastisitas untuk material poros [N/mm^2]
- f, f_1, f_2 = faktor dalam rumus (2), (4) dan (10)
- H = *pressure side pitch* dari daun propeler di radius 0,25 R, 0,35 R dan 0,6 R [mm]
- H_m = rata-rata *effective pressure side pitch* untuk pitch dengan radius bervariasi [mm]
- =
$$\frac{\sum(R \cdot B \cdot H)}{\sum(R \cdot B)}$$
- R, B dan H adalah pengukuran yang sesuai dari berbagai bagian.
- k = koefisien untuk berbagai bentuk profil sesuai dengan [Tabel 6.2](#)
- K_N = rasio diameter hub = $\frac{d_m}{D_N}$
- K_w = rasio diameter poros = $\frac{d_i}{d_m}$
- L_M = 2/3 dari bagian *leading edge* dari lebar daun di 0,9 R, tapi setidaknya 1/4 dari total lebar daun di 0,9 R untuk propeler dengan daun ber-skew tinggi [mm]
- L = panjang propeler *pull-up* pada *cone* [mm]
- L_{act} = jarak *pull-up* terpilih [mm]

Tabel 6.2 Nilai dari k untuk berbagai bentuk profil

Bentuk profil	Nilai k			
	0,25R	0,35R	0,60R	
Segmental profile with circular arced suction side		73	62	44
Segmental profiles with parabolic suction		77	66	47
Blade profiles as for Wageningen B Series propellers		80	66	44

- L_{mech} = panjang *pull-up* pada $t = 35^\circ\text{C}$ [mm]
 L_{temp} = bagian terkait suhu dari panjang *pull-up* pada $t < 35^\circ\text{C}$ [mm]
 n_2 = putaran propeler [Rpm]
 P_w = daya nominal mesin penggerak [kW]
 p = tekanan permukaan pada *shrink joint* antara propeler dan poros [N/mm^2]
 p_{act} = tekanan permukaan pada *shrink joint* di L_{act} [N/mm^2]
 Q = *peripheral force* pada diameter tirus rata-rata [N]
 $R_{p,0,2}$ = 0,2% *proof stress* [N/mm^2]
 R_{eH} = kekuatan mulur [N/mm^2]
 R_m = kekuatan tarik [N/mm^2]
 S = batas aman terhadap propeler slip pada *cone*
 = 2,8
 t = ketebalan maksimum potongan silindris daun pada jari-jari 0,25R ($t_{0,25}$), 0,35R ($t_{0,35}$), 0,6R ($t_{0,6}$) dan 1,0R ($t_{1,0}$) [mm]
 T = dorongan propeler [N]
 T_M = momen tubrukan [Nm]
 V_s = kecepatan kapal [kn]
 w = fraksi arus ikut
 $W_{0,35R}$ = modulus penampang potongan silindris daun pada radius 0,35R [mm^3]
 $W_{0,6R}$ = modulus penampang potongan silindris daun pada radius 0,6R [mm^3]
 Z = jumlah total baut yang digunakan untuk mengencangkan satu daun atau propeler

z = jumlah daun

α = sudut pitch dari profil di jari-jari 0,25R, 0,35R dan 0,6R [°]

$$\alpha_{0,25} = \text{arc tan} \frac{1,27 \cdot H}{D}$$

$$\alpha_{0,35} = \text{arc tan} \frac{0,91 \cdot H}{D}$$

$$\alpha_{0,60} = \text{arc tan} \frac{0,53 \cdot H}{D}$$

α_A = faktor pengencangan untuk baut pengencang tergantung pada metode pengencangan yang digunakan (lihat VDI 2230 atau standar yang setara)

Nilai-nilai petunjuk:

1,2 untuk kontrol sudut

1,3 untuk kontrol perpanjangan baut

1,6 untuk kontrol torsi

α_N = koefisien ekspansi termal linier material hub [1/°C]

α_W = koefisien ekspansi termal linier material poros [1/°C]

ε = sudut antara garis-garis permukaan generatrix dan normal [°]

Θ = setengah kekerucutan

$$\frac{C}{2}$$

μ_o = koefisien gesek statis

0,13 untuk *shrink joint* minyak hidrolik

0,15 untuk *shrink joint* perunggu/baja terpasang kering

0,18 untuk *shrink joint* perunggu/baja terpasang kering

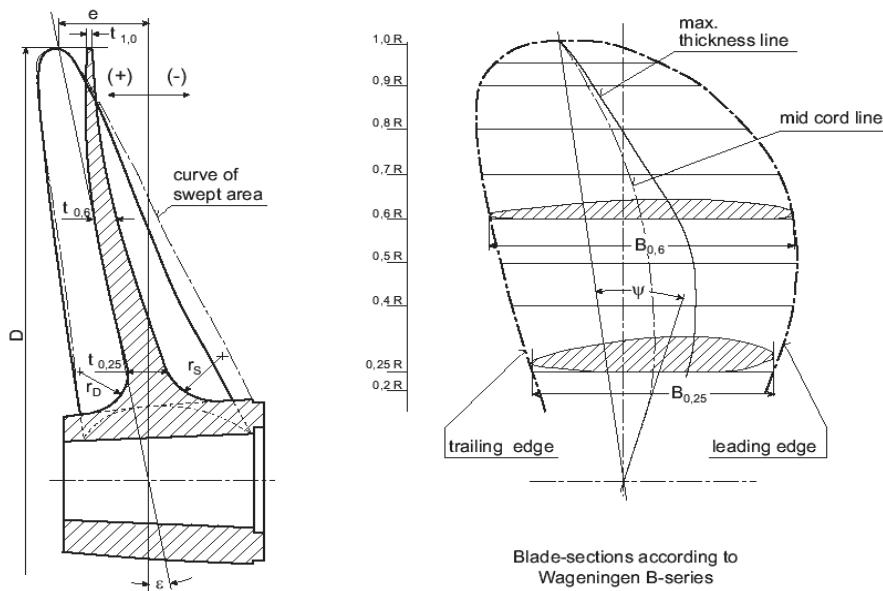
V_N = rasio Poisson material hub

V_W = rasio Poisson material poros

Ψ = sudut skew menurut [Gambar 6.1](#) [°]

$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m}$ = rasio maksimum terhadap tekanan rata-rata pada *pressure side* daun

σ_v = von Mises' equivalent stress [N/mm²]



Gambar 6.1 Penampang daun

2. Perhitungan ketebalan daun

2.1 Pada radius $0,25 R$ ($t_{0,25}$) dan $0,6 R$ ($t_{0,6}$), ketebalan daun maksimum propeler padat harus setidaknya memenuhi rumus (1)

$$t \geq K_o \cdot k \cdot K_i \cdot C_G \cdot C_{dyn} \quad (1)$$

$$K_D = 1 + \frac{e \cdot \cos \alpha}{H} + \frac{n_2}{15000}, \text{ K sebagaimana dalam Tabel 6.2}$$

$$K_1 = \sqrt{\frac{P_w \cdot 10^5 \cdot \left(2 \cdot \frac{D}{H_m} \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \right)}{n_2 \cdot B \cdot z \cdot C_w \cdot \cos^2 \varepsilon}}$$

C_G = faktor ukuran

$$= \sqrt{\frac{f_1 + \frac{D}{1000}}{12,2}}$$

C_G harus memenuhi kondisi berikut

$$1,1 \geq C_G \geq 0,85 \quad (2)$$

f_1 = 7,2 untuk propeler padat

= 6,2 untuk daun *variable pitch propeller* atau *built-up propeller* yang dicor secara terpisah

C_{dyn} = faktor dinamis

$$= \sqrt{\frac{(\sigma_{max}/\sigma_m - 0,8)}{0,7}} \geq 1,0 \quad (3)$$

$$\text{untuk } \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m} > 15, \text{ jika tidak } C_{\text{Dyn}} = 1,0$$

σ_{\max}/σ_m umumnya diambil dari perhitungan rinci menurut C.2.5. Jika, dalam kasus luar biasa, tidak ada perhitungan seperti itu, rasio tekanan dapat diperkirakan menggunakan rumus (4)

$$\frac{\sigma_{\max}}{\sigma_m} = f_2 \cdot E_T + 1 \quad (4)$$

$$E_T = 4,3 \cdot 10^{-9} \frac{V_s \cdot n_2 \cdot (1 - w) \cdot D^3}{T} \quad (5)$$

f_2 = 0,4 - 0,6 untuk kapal dengan propeler ulir tunggal, nilai batas bawah harus dipilih untuk bentuk buritan dengan *clearance* ujung propeler yang besar dan tidak mempunyai sepatu kemudi, sedangkan nilai batas atas untuk buritan dengan *clearance* kecil dan mempunyai sepatu kemudi. Nilai tengah disesuaikan dari dua nilai tersebut.

= 0,2 untuk kapal dengan propeler ulir ganda

2.2 Ketebalan daun controllable pitch propeler harus ditentukan pada jari-jari 0,35R dan 0,6R dengan menerapkan rumus (1).

Untuk *controllable pitch propeller* pada kapal tunda, kapal pukat serta kapal tugas khusus dengan profil operasi yang serupa, diameter/rasio pitch D/H_m untuk tarikan tambatan maksimum harus digunakan dalam rumus (1).

Untuk kapal-kapal lain, diameter/rasio pitch D/H_m yang berlaku untuk navigasi perairan terbuka pada daya mesin maksimum ($MCR = Maximum Continuous Rating$) dapat digunakan dalam rumus (1).

2.3 Ketebalan daun yang dihitung dengan menggunakan rumus (1) mewakili nilai-nilai terendah yang dapat diterima untuk propeler yang dibuat dengan mesin.

2.4 Jari-jari *fillet* pada area transisi dari *pressure side* dan *suction side* daun ke *boss* propeler untuk propeler tiga dan empat daun harus sebesar sekitar 3,5% dari diameter propeler. Untuk propeler dengan jumlah daun yang lebih banyak, jari-jari *fillet* harus diusahakan mencapai nilai semaksimal mungkin, tapi nilai-nilai yang dipilih ini tidak boleh kurang dari 40% dari ketebalan pangkal daun.

Jari-jari *fillet* bervariasi yang bertujuan untuk distribusi tegangan yang seragam dapat diterapkan jika bukti tekanan yang memadai diberikan untuk kasus per kasus. Tegangan maksimum yang dihasilkan dari perhitungan tidak boleh melebihi nilai yang timbul dari desain dengan radius fillet konstan sesuai dengan paragraf pertama dari [C.2.4](#).

2.5 Untuk desain khusus seperti propeler dengan sudut kemiringan (*skew angle*) $\psi \geq 25^\circ$, propeler ujung daun melengkung (*tip fin propeller*), propeler dengan profil khusus, dan lain-lain, perhitungan kekuatan khusus harus diserahkan kepada BKI.

Untuk perhitungan tekanan daun propeler desain khusus ini, data geometri daun dan detail dari pengukuran arus ikut (*wake field*) harus diserahkan kepada BKI bersama-sama dengan dokumentasi desain. File ini harus dikirim dalam format teks biasa (*plain text*). Informasi tambahan untuk proses Klasifikasi desain khusus dapat diminta oleh BKI.

2.6 Jika propeler tersebut terpengaruh keausan yang signifikan misalnya karena abrasi pada dataran pasang surut atau pemakaian pada kapal keruk, tambahan ketebalan akibat keausan harus diberikan pada nilai yang ditentukan oleh [C.2.1](#) untuk mencapai umur pemakaian yang setara. Jika ketebalan aktual pada saat beroperasi berkurang hingga di bawah 50% pada ujung daun atau 90% pada radius lain dari aturan ketebalan yang diperoleh dari [C.2.1](#), langkah-langkah penanggulangan yang efektif harus diambil. Untuk

geometri daun yang tidak konvensional sebagaimana didefinisikan dalam C.2.5, ketebalan desain seperti yang ditunjukkan pada gambar yang disetujui menggantikan ketebalan yang diminta sesuai dengan C.2.1.

3. Desain propeler

Propeler harus dilindungi terhadap korosi elektrokimia sesuai dengan Rules for Hull (Pt.1, Vol.II), Sec. 38.

D. Controllable Pitch Propeller

1. Peralatan kontrol hidrolik

Jika mekanisme pengontrolan pitch dioperasikan secara hidrolik, dua set pompa berpenggerak yang saling independen harus dipasang. Untuk perangkat proporsi hingga 200 kW, satu set pompa berpenggerak sudah mencukupi asalkan, di samping itu, pompa yang dioperasikan dengan tangan juga disediakan yang mampu mengontrol pitch daun dan mampu memindahkan daun dari posisi maju ke posisi mundur dalam waktu yang cukup singkat guna manuver yang aman.

Pemilihan dan penataan filter harus memastikan suplai yang tak terganggu dari minyak terfilter, termasuk selama pembersihan atau penggantian filter. Secara umum, filter utama harus dipasang pada sisi bertekanan langsung setelah pompa. Sebagai tambahan, filtrasi kasar dari minyak hidrolik di sisi hisap, sebelum pompa, harus disediakan.

Bab 11.A sampai D. harus diterapkan untuk pipa-pipa dan pompa hidrolik.

2. Mekanisme kontrol pitch

Untuk mekanisme kontrol pitch, bukti harus disediakan bahwa komponen individu ketika mengalami dampak beban masih memiliki faktor keamanan 1,5 terhadap kekuatan mulur material yang digunakan. Momen impact T_M harus dihitung menurut rumus (6) dan tekanan setara yang dihasilkan di berbagai komponen harus dibandingkan dengan kekuatan mulurnya.

$$T_M = 1,5 \cdot \frac{R_{p0,2} \cdot W_{0,6R}}{\sqrt{\left(\frac{0,15 \cdot D}{L_M}\right)^2 + 0,75}} \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

$W_{0,6R}$ dapat dihitung dengan menggunakan rumus (7)

$$W_{0,6R} = 0,11 \cdot (Bt^2)_{0,6R} \quad (7)$$

3. Baut pengikat daun

3.1 Baut pengikat daun harus dirancang sedemikian rupa sehingga aman untuk menahan kekuatan yang terinduksi saat terjadi deformasi plastik pada $0,35R$ yang disebabkan oleh gaya yang bekerja pada daun di $0,9R$. Pada kondisi ini, material baut harus memiliki margin keselamatan 1,5 terhadap kekuatan mulur.

Diameter inti ulir dari baut pengikat daun tidak boleh kurang dari:

$$d_k = 2,6 \cdot \sqrt{\frac{M_{0,35R} \cdot \sigma_A}{d \cdot Z \cdot R_{eH}}} \quad (8a)$$

$$M_{0,35R} = W_{0,35R} \cdot R_{p0,2}$$

$W_{0,35R}$ dapat dihitung dengan rumus (7) atau (8b).

Untuk potongan mendekati elips di daerah pangkal daun, rumus berikut dapat digunakan sebagai pengganti:

$$W_{0,35R} = 0,10 \cdot (B \cdot t^2)_{0,35R} \quad (8b)$$

3.2 Baut pengikat daun harus diketatkan dengan cara yang terkontrol sehingga ketegangan awal pada baut bernilai sekitar 60 - 70% dari kekuatan mulurnya.

Diameter minimal tangkai yang tidak berulir dari baut pengikat daun dapat dikurangi menjadi 0,9 kali diameter pangkal bagian yang berulir.

3.3 Baut pengikat daun harus diamankan agar tidak terlepas tanpa disengaja.

4. Indikator

4.1 Sistem controllable pitch propeller harus dilengkapi dengan indikator yang bekerja langsung dalam ruang mesin yang menunjukkan pengaturan aktual dari daun. Indikator posisi daun lain yang berkaitan harus dipasang di anjungan, lihat juga [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#) dan [Rules for Electrical Installation \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.9](#).

4.2 Sistem kontrol pitch hidrolik harus dilengkapi dengan sarana untuk memantau level minyak. Pengukur untuk tekanan minyak kontrol pitch harus dipasang. Indikator yang cocok untuk menunjukkan penyumbatan filter harus disediakan. Indikator temperatur minyak harus dipasang pada posisi yang sesuai. Jika kapal dilengkapi dengan permesinan otomatis, persyaratan [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#), harus dipenuhi.

5. Kegagalan sistem kontrol

Perangkat yang tepat harus dapat mencegah terjadinya perubahan pengaturan pitch daun yang dapat menyebabkan kelebihan beban atau macetnya mesin penggerak.

Harus dipastikan bahwa saat terjadi kegagalan sistem kontrol, pengaturan daun

- Tidak berubah, atau
- Bergeser ke posisi akhir dengan cukup lambat sehingga memungkinkan sistem kontrol darurat untuk dioperasikan.

6. Kontrol darurat

Perangkat controllable pitch propeller harus dilengkapi dengan sarana yang memungkinkan kontrol darurat untuk mempertahankan fungsi controllable pitch propeller saat terjadi kegagalan sistem kontrol jarak jauh. Dianjurkan untuk menyediakan perangkat yang memungkinkan daun propeler terkunci dalam posisi pengaturan "maju".

E. Pemasangan Propeler

1. Koneksi cone

1.1 Jika koneksi cone antara poros dan propeler dipasang dengan pasak, propeler harus dipasang pada poros yang ditiruskan sedemikian rupa sehingga sekitar 120% dari torsi rata-rata dapat disalurkan dari poros ke propeler dengan gesekan.

Koneksi pasak pada umumnya tidak digunakan dalam instalasi yang dioperasikan pada rentang kecepatan yang dilarang (*barred speed range*).

1.2 Jika koneksi antara cone poros propeler dan propeler dilakukan dengan teknik minyak hidrolik tanpa menggunakan pasak, jarak tarikan yang diperlukan (L) pada poros yang ditiruskan harus ditentukan sesuai dengan rumus (9). Apabila diperlukan, cadangan untuk kehalusan permukaan juga harus dipertimbangkan saat menghitung L .

$$L = L_{\text{mech}} + L_{\text{temp}} \quad (9)$$

L_{mech} ditentukan menggunakan rumus teori elastisitas yang diterapkan pada *shrink joint* untuk tekanan permukaan spesifik p [N/mm^2] pada diameter rata-rata tirus yang didapatkan dengan menerapkan rumus (10) pada suhu air 35°C .

$$p = \frac{\sqrt{\Theta^2 \cdot T^2 + f \cdot (C_A^2 \cdot Q^2 + T^2)} - \Theta \cdot T}{A \cdot f} \quad (10)$$

T harus memiliki nilai positif jika dorongan propeler meningkatkan tekanan permukaan pada tirus. Perubahan arah dari thrust propeler harus diabaikan selama daya dan dorongan yang diserap pada dasarnya kurang.

T harus memiliki nilai negatif jika thrust propeler mengurangi tekanan permukaan pada tirus, misalnya untuk propeler traktor.

$$f = \left(\frac{\mu_o}{S} \right)^2 - \Theta^2 \quad (10a)$$

$$L_{\text{temp}} = \frac{d_m}{C} (\alpha_N - \alpha_W) \cdot (35 - t) \quad (11)$$

t = Suhu dimana propeler dipasang [$^\circ\text{C}$]

Nilai untuk α_N dan α_W dapat diambil dari [Tabel 6.3](#). Sekurang-kurangnya kisaran suhu antara 0°C dan 35°C harus dipertimbangkan

Tabel 6.3 Nilai material sesuai dengan IACS UR K3

Material	Modulus elastisitas E [N/mm^2]	Rasio Poisson ν	Koefisien ekspansi termal linier $\alpha[1/\text{C}]$
Baja	205000	0.9	$12,0 \cdot 10^{-6}$
Tembaga berbasis paduan Cu1 dan Cu2	105000	0.33	$17,5 \cdot 10^{-6}$
Tembaga berbasis paduan Cu3 and Cu4	115000	0.33	$17,5 \cdot 10^{-6}$
Catatan: untuk baja tahan karat austenitic, lihat spesifikasi produsen			

Untuk perangkat sistem propulsi yang dipasang langsung dan dioperasikan pada rentang kecepatan yang dilarang (*barred speed range*), torsi getaran di resonansi utama harus ditransmisikan dengan aman, yang dikonfirmasi dengan perhitungan terpisah. Untuk membuktikan hal tersebut, batas aman dari terjadinya slip untuk transmisi torsi harus setidaknya $S = 1,8$, koefisien c_A dapat diatur menjadi 1,0. Untuk pembuktian tambahan ini, pengaruh yang berasal dari gaya dorong dapat diabaikan.

1.3 Untuk pemasangan propeler tanpa pasak tanpa selubung antara, jarak tarikan yang diperlukan dan tekanan terkait pada hub propeler dan poros dapat dihitung sebagai berikut.

Faktor kekakuan sambungan:

$$K_{el} = \frac{d_m}{C} \cdot \left[\frac{1}{E_N} \cdot \left(\frac{1+K_N^2}{1-K_N^2} + V_N \right) + \frac{1}{E_W} \cdot \left(\frac{1+K_W^2}{1-K_W^2} - V_W \right) \right] \quad (12)$$

Nilai untuk E_N , E_W , V_N dan V_W dapat diambil dari [Tabel 6.3](#)

Jarak tarikan minimum yang diperlukan pada suhu pemasangan 35 °C:

$$L_{mech} = p \cdot K_{el} \quad (13)$$

Jarak tarikan minimum yang diperlukan pada suhu pemasangan t [°C]:

$$L = L_{mech} + L_{temp} \quad (14)$$

Tekanan permukaan pada diameter tirus rata-rata pada jarak tarikan yang dipilih L_{act} [mm]:

$$P_{act} = \frac{L_{act}}{K_{el}} \quad (15)$$

Von Mises' *equivalent stress* yang terkait:

$$\sigma_V = \frac{P_{act}}{1 - K_N^2} \cdot \sqrt{3 + K_N^4} \quad (\text{hub}) \quad (16a)$$

$$\sigma_V = P_{act} \quad (\text{poros padat}) \quad (16b)$$

$$\sigma_V = \frac{P_{act} \cdot 2}{1 - K_W^2} \quad (\text{poros berongga}) \quad (16c)$$

1.4 Von Mises' *equivalent stress* yang dihasilkan dari tekanan permukaan maksimum p dan tekanan tangensial di bore hub propeler tidak boleh melebihi 75% dari 0,2% tekanan bukti atau kekuatan mulur material propeler dalam kondisi terpasang dan 90% selama pemasangan dan pembongkaran.

1.5 Cone propeler yang dipasang pada poros propeler dengan menggunakan teknik minyak hidrolik tidak boleh lebih curam dari 1: 15 dan tidak kurang dari 1: 25. Untuk koneksi pasak, kerucut tidak boleh lebih curam dari 1: 10.

1.6 Mur propeler harus dikencangkan dengan kuat pada poros propeler.

2. Koneksi flensa

2.1 Propeler berflensa dan hub controllable pitch propeller harus terhubung melalui pin-pin pas dan baut pengikat (sebaiknya menggunakan baut *necked down*).

2.2 Diameter pin yang dipasang harus dihitung dengan menggunakan rumus (4) yang disebutkan dalam Bab 4.D.4.2.

2.3 Baut pengikat propeler harus dirancang sesuai dengan D.3, namun diameter inti ulir tidak boleh kurang dari

$$d_K = 4,4 \sqrt{\frac{M_{0,35R} \cdot \alpha_A}{d \cdot Z \cdot R_{eH}}} \quad (17)$$

2.4 Baut pengikat propeler harus diamankan agar tidak terlepas tanpa disengaja.

F. Penyeimbangan dan Pengujian

1. Penyeimbangan

Propeler blok tunggal (monobloc) yang siap untuk pemasangan serta daun dari *controllable pitch propeller* dan *built-up fixed pitch propeller* diwajibkan untuk menjalani penyeimbangan statis sehingga perbedaan massa antara daun *controllable pitch propeller* dan *fixed pitch built up propeller* tidak boleh lebih dari 1,5%.

2. Pengujian

2.1 *Fixed pitch propeller*, *controllable pitch propeller* dan sistem *controllable pitch propeller* harus ditunjukkan kepada BKI untuk pemeriksaan akhir dan verifikasi dimensi.

BKI berhak untuk meminta tes tak merusak (NDT) untuk mendeteksi keretakan permukaan atau cacat pada pengecoran. Selain itu, sistem *controllable pitch propeller* harus menjalani uji tekanan, kekedapan dan uji fungsi.

2.2 Tutup boss propeler dari bahan cor, yang juga berfungsi sebagai perlindungan terhadap korosi, harus diuji kekedapannya di bengkel pabrik pembuat. BKI berhak untuk meminta uji kekedapan penyegelan boss propeler belakang dalam kondisi dirakit.

2.3 Jika propeler dipasang pada poros dengan koneksi *shrink fit* hidrolik, uji *blue print* yang menunjukkan setidaknya 70% area kontak harus ditunjukkan kepada Surveyor. Pola *blue print* tidak boleh menunjukkan daerah tanpa kontak yang lebih besar, terutama pada ujung cone depan. Bukti harus ditunjukkan menggunakan komponen yang akan dipasang.

Jika sistem kaliber male/female digunakan sebagai alternatif, area kontak antara kaliber setidaknya 80% dari luas cone harus ditunjukkan dan disertifikasi. Setelah sepuluh kali aplikasi atau lima tahun, bukti cetak biru harus diperbaharui.

Bab 7 Ketel Uap dan Sistem Minyak Termal

I.	Ketel Uap	7-1
A.	Umum.....	7-1
B.	Material.....	7-5
C.	Prinsip yang Berlaku dalam Pembuatan.....	7-6
D.	Perhitungan.....	7-9
E.	Peralatan dan Instalasi.....	7-40
F.	Pengujian Ketel Uap.....	7-49
G.	Sistem Generator Air Panas.....	7-51
H.	<i>Flue Gas Economizer</i>	7-52
II.	Sistem Minyak Termal	7-58
A.	Umum.....	7-58
B.	Pemanas.....	7-60
C.	Bejana.....	7-63
D.	Item Peralatan.....	7-65
E.	Penandaan.....	7-65
F.	Perlindungan Kebakaran.....	7-66
G.	Pengujian.....	7-66

I. Ketel Uap

A. Umum

1. Ruang lingkup

1.1 Untuk tujuan persyaratan ini, istilah "ketel uap" termasuk semua bejana tertutup dan sistem perpipaan yang digunakan untuk:

- menghasilkan uap dengan tekanan di atas tekanan atmosfer (generator uap) - uap yang dihasilkan akan digunakan dalam suatu sistem di luar generator uap
- menaikkan temperatur air di atas titik didih yang sesuai dengan tekanan atmosfer (generator air panas, temperatur buang > 120 °C) - air panas yang dihasilkan akan digunakan dalam suatu sistem di luar generator air panas

Istilah "generator uap" juga termasuk peralatan yang terhubung langsung ke bejana yang disebutkan sebelumnya atau sistem perpipaan di mana uap dipanaskan lebih lanjut atau didinginkan, drum eksternal, jalur peredaran dan pelindung dari pompa sirkulasi yang melayani ketel sirkulasi paksa.

1.2 Generator uap sebagaimana yang didefinisikan dalam [1.1](#) harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam [I.B](#), hingga [I.F](#). Untuk generator air panas, persyaratan yang ditetapkan dalam [I.G](#), berlaku sebagai tambahan

Economizers gas buang harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam [I.H](#). Dalam hal material, pembuatan dan desain, persyaratan yang ditentukan dalam [I.B](#), [I.C](#) dan [I.D](#) berlaku sesuai kondisi.

1.3 Untuk generator air hangat dengan temperatur buang yang diijinkan tidak lebih dari 120 °C dan generator uap atau air panas yang dipanaskan hanya dengan uap atau cairan panas, [Bab 8](#) berlaku.

2. Peraturan lainnya

2.1 Peraturan lain yang berlaku

Sebagai tambahan, Pedoman dan Peraturan BKI yang didefinisikan berikut harus diterapkan, dengan prinsip yang sama:

- Bab 9 untuk pembakar minyak dan sistem pemantik minyak
- Bab 11, A sampai D, E, dan F untuk katup pipa dan pompa
- Rules for Electrical Installation (Pt.1, Vol.IV) untuk item-item peralatan listrik
- Rules for Automation (Pt.1, Vol.VII) untuk sistem permesinan otomatis [OT]
- Rules for Material (Pt.1, Vol.V) dan Rules for Welding (Pt.1, Vol.VI) untuk pembuatan ketel uap
- Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use (Pt.1, Vol.W) untuk komponen dengan tipe yang disetujui, Komponen yang memerlukan persetujuan tipe

2.2 Konstruksi, peralatan dan pengoperasian sistem ketel uap juga diwajibkan untuk mematuhi peraturan nasional yang berlaku.

3. Dokumen untuk persetujuan

3.1 Dokumen-dokumen berikut harus diserahkan untuk persetujuan kepada BKI dalam format elektronik:

- Gambar-gambar dari semua bagian ketel yang mendapat tekanan, seperti dinding, drum, header, pengaturan tabung, lubang lalu orang dan penutup lubang lalu orang, dan lain-lain
- Gambar-gambar bejana ekspansi dan bejana tekan lainnya untuk sistem penghasil air panas
- Diagram-diagram peralatan dan fungsional dengan deskripsi sistem ketel uap
- Diagram-diagram sirkuit dari sistem kontrol listrik, atau perangkat pemantauan dan keamanan dengan nilai batas

3.2 Gambar-gambar tersebut harus memuat semua data yang diperlukan untuk perhitungan kekuatan dan asesmen desain, seperti tekanan kerja maksimum yang diijinkan, permukaan panas, *lowest water level* (LWL), kapasitas uap yang diperbolehkan, kondisi uap, temperatur uap yang dipanaskan lebih lanjut, serta material yang akan digunakan dan rincian lengkap dari pengelasan.

3.3 Selanjutnya dokumen harus memuat informasi mengenai peralatan ketel uap serta deskripsi sistem ketel dengan data ketel yang penting, informasi tentang lokasi instalasi dalam kaitannya dengan sumbu memanjang kapal dan data tentang peralatan pengumpulan dan pemantik minyak.

4. Definisi

4.1 Dinding ketel uap adalah dinding ruang uap dan ruang air yang terletak di antara perangkat pengisolasi ketel. Bodi dari perangkat pengisolasi ini termasuk dalam dinding ketel.

4.2 Tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB adalah tekanan uap yang disetujui dalam satuan bar (tekanan alat pengukur) dalam ruang uap jenuh sebelum masuk ke pemanas lanjut. Untuk *once-through forced flow boiler*, tekanan kerja maksimum yang diijinkan adalah tekanan di outlet pemanas lanjut atau, dalam kasus ketel aliran kontinyu tanpa pemanas lanjut, tekanan uap di outlet penghasil uap.

4.3 Permukaan panas adalah bagian dari dinding ketel yang dilalui oleh panas yang disuplai ke sistem, yaitu:

- luasan [m^2] yang diukur pada sisi yang terkena api atau gas pemanas, atau
- untuk pemanas listrik, permukaan panas yang setara:

$$H = \frac{P \cdot 860}{18000} \text{ [m}^2\text{]}, \text{ dimana } P \text{ adalah daya listrik dalam kW.}$$

4.4 Output uap yang diijinkan adalah jumlah uap maksimum per jam yang dapat diproduksi secara kontinyu oleh generator uap yang beroperasi pada kondisi desain uap.

5. Lowest water level (LWL) – highest flue (HF) – waktu turun (dropping time)

5.1 *Lowest water level* (LWL) harus berada setidaknya 150 mm di atas *highest flue* bahkan ketika kapal miring 4° untuk kedua sisi.

Highest Flue (HF) harus tetap basah bahkan ketika kapal berada pada sudut kecondongan statis yang ditetapkan dalam [Bab 1, Tabel 1.1](#).

Ketinggian permukaan air krusial untuk respon dari pembatas ketinggian air.

5.2 "Dropping time" adalah waktu yang dibutuhkan oleh level air untuk turun dari *lowest water level* ke level *highest flue* pada kondisi umpan terganggu dan produksi uap yang diijinkan.,

$$T = \frac{60 \cdot V}{D \cdot v'}$$

T = dropping time[min]

V = volume air di ketel uap antara lowest water level dan highest flue [m^3]

D = keluaran uap yang diijinkan [kg/h]

v' = volume spesifik air pada temperatur saturasi [m^3/kg]

Lowest water level harus diatur sehingga *dropping time* bernilai tidak kurang dari 5 menit.

5.3 Highest Flue (HF)

- adalah titik tertinggi di sisi permukaan panas yang bersentuhan dengan air dan yang terkena radiasi nyala api dan
- harus didefinisikan oleh pabrik pembuat ketel dengan cara sedemikian rupa sehingga setelah penghentian pembakar dari kondisi beban penuh atau pengurangan suplai panas dari mesin, temperatur gas flue atau temperatur gas buang masing-masing berkurang ke nilai dibawah $400^\circ C$ pada level *highest flue*. Hal ini harus dicapai sebelum level air turun dari *lowest water level* ke level 50 mm di atas HF pada kondisi pasokan air umpan terganggu.,

Highest flue pada ketel tabung air dengan drum uap atas adalah sisi atas dari tabung gravitasi tertinggi.

5.4 Persyaratan yang berkaitan dengan *highest flue* tidak berlaku untuk

- riser ketel tabung air dengan diameter luar hingga 102 mm

- *once-through forced flow boiler*
- pemanas lanjut
- Bagian yang dipanaskan dari gas *flue* dan gas buang dimana temperatur gas pemanasan tidak melebihi 400 °C pada daya maksimum kontinyu

5.5 Panas yang terakumulasi dalam tungku dan bagian lain ketel yang dipanaskan tidak boleh memicu terjadinya penurunan level air yang tidak dapat diterima karena penguapan berikutnya ketika pembakar minyak dimatikan.

Persyaratan tersebut di atas dapat terpenuhi misalnya, jika sudah dibuktikan dengan perhitungan atau percobaan, setelah *shut-down* pembakar dari kondisi beban penuh atau pengurangan pasokan panas dari mesin, temperatur gas *flue* atau temperatur gas buang masing-masing berkurang ke nilai dibawah 400 °C pada level *highest flue*, sebelum level air turun dari *lowest water level* (LWL) ke level 50 mm di atas *highest flue* (HF), pada kondisi pasokan air umpan terganggu.

Indikator level air harus diatur sedemikian rupa sehingga jarak 50 mm di atas HF dapat diidentifikasi.

5.6 Level air terendah yang ditentukan harus ditunjukkan secara permanen pada dinding ketel menggunakan *pointer* level air. Lokasi *pointer* harus termuat dalam dokumentasi untuk operator. Papan referensi harus dilampirkan sebagai tambahan di samping atau di belakang alat pengukur ketinggian yang menunjuk pada *lowest water level*.

6. Operasi manual

6.1 Untuk ketel uap yang dioperasikan secara otomatis, sarana untuk operasi dan supervisi harus disediakan yang memungkinkan operasi manual dengan persyaratan minimum berikut dengan menggunakan kontrol level tambahan.

6.2 Pada ketel dengan *highest flue* yang ditetapkan pada permukaan panasnya (misalnya ketel uap berbahan bakar minyak dan ketel gas buang dengan temperatur gas buang > 400 °C) setidaknya pembatas level air dan untuk generator air panas, pembatas temperatur harus tetap aktif.

6.3 Ketel gas buang dengan temperatur gas buang < 400 °C dapat dioperasikan tanpa pembatas level air.

6.4 Pemantauan kadar minyak kondensat atau masuknya benda asing ke dalam air umpan tidak boleh menyebabkan *shutdown* pompa umpan selama operasi manual.

6.5 Peralatan keselamatan yang tidak diperlukan untuk operasi manual hanya dapat dinonaktifkan menggunakan saklar yang dioperasikan dengan kunci. Aktuasi dari saklar yang dioperasikan dengan kunci harus diindikasikan.

6.6 Untuk persyaratan rinci yang berhubungan dengan operasi manual dari sistem pemantik minyak, lihat Bab. 9.

6.7 Operasi manual menuntut supervisi konstan dan langsung terhadap perangkat ketel uap

7. Daya perangkat penggerak uap

Pada kapal yang digerakkan dengan uap, perangkat harus dirancang sedemikian sehingga, jika satu ketel utama gagal, kapasitas penggerak yang tersisa cukup untuk mempertahankan kemampuan manuver yang memadai dan untuk memasok permesinan bantu.

8. Generator air panas

8.1 *Once-through hot water generator* adalah generator dimana temperatur kerja yang diijinkan dapat dilampaui ketika pompa sirkulasi sistem dihentikan.

8.2 Generator air panas yang bersirkulasi menjamin aliran air melalui generator dengan menggunakan pompa sirkulasi terpisah atau dengan aliran natural.

B. Material

1. Persyaratan Umum

Sehubungan dengan kemampuan kerja selama pembuatan dan karakteristik selanjutnya dalam operasi, material yang digunakan untuk pembuatan ketel uap harus memenuhi persyaratan teknis, terutama yang berkaitan dengan kekuatan temperatur tinggi dan mampu las.

2. Material yang disetujui

Persyaratan yang ditentukan dalam [1.](#) telah memenuhi jika material yang ditunjukkan pada [Tabel 7.1](#) digunakan.

Material yang tidak ditentukan dalam [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#), dapat digunakan asalkan bukti kesesuaian dan sifat material dilampirkan.

3. Pengujian material

3.1 Material dari bagian ketel yang dipengaruhi oleh tekanan, termasuk tabung *economizer* gas buang, harus diuji di bawah supervisi BKI sesuai dengan [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#) dan [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#) (lihat. [Tabel 7.1](#)). Untuk material-material ini sertifikat tipe A¹ harus dikeluarkan.

3.2 Pengujian material dibawah supervisi BKI dapat diabaikan pada kasus

- 1) Bagian kecil dari ketel yang terbuat dari baja bukan paduan, seperti baut pengikat dengan diameter ≤ 100 mm, pelat penguat, penutup lubang tangan dan lubang lalu orang, flensa tempa hingga DN 150 dan *nozzle* hingga DN 150 dan
- 2) Tabung asap (tabung yang dipengaruhi oleh tekanan eksternal).

Untuk bagian-bagian yang disebutkan dalam a) dan b), sifat-sifat material harus dibuktikan dengan Sertifikat Inspeksi Pabrik Pembuat¹.

3.3 Jika temperatur desain 450°C atau lebih tinggi atau tekanan desain 32 bar atau lebih tinggi, pipa harus diuji tidak merusak (NDT) sesuai dengan [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\) Section 5.C.4.7](#).

3.4 Persetujuan khusus dapat dibuat mengenai pengujian baja bukan paduan dengan standar yang diakui.

3.5 Material katup dan *fitting* harus diuji dibawah pengawasan BKI sesuai dengan data yang ditentukan dalam [Tabel 7.2](#). Untuk material-material ini, Sertifikat tipe A harus dikeluarkan.

3.6 Bagian yang tidak memerlukan pengujian material, seperti penguat eksternal, *lifting bracket*, penumpu, dan lain-lain harus dirancang untuk tujuan yang dimaksudkan dan harus dibuat dari material yang sesuai.

¹ Lihat [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#)

C. Prinsip yang Berlaku dalam Pembuatan

1. Proses pembuatan yang diterapkan untuk material ketel

Material harus diperiksa untuk memastikan tidak ada cacat selama proses pembuatan. Perhatian harus diberikan untuk memastikan bahwa bahan-bahan yang berbeda tidak tertukar. Selama proses, perhatian juga perlu diberikan untuk memastikan bahwa tanda dan stempel inspeksi pada bahan tetap utuh atau dipindahkan sesuai dengan peraturan.

Bagian ketel uap yang strukturnya telah terpengaruh oleh pembentukan panas atau dingin diwajibkan untuk dilakukan perlakuan panas dan diuji sesuai dengan [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\), Sec.9.A](#).

2. Pengelasan

2.1 Ketel uap harus dibuat dengan pengelasan.

2.2 Semua pabrik pembuat yang akan melaksanakan pengelasan untuk ketel uap harus disetujui oleh BKI. Persetujuan untuk pekerjaan tersebut harus didaftarkan bersama dengan informasi dan dokumentasi sesuai dengan [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#), Persyaratan umum, bukti kualifikasi, persetujuan, sebelum dimulainya kegiatan pengelasan.

Tabel 7.1 Material yang disetujui

Material dan bentuk produk	Batasan aplikasi	Kelas material sesuai dengan Rules for Material (Pt.1, Vol.V)
Baja pelat dan baja strip	-	Baja Pelat dan strip temperatur tinggi, Bab 4, E
Pipa baja	-	Pipa baja feritik tanpa las dan dilas, Bab 5, B dan C
Bagian yang ditempa dan dibentuk: drum, header dan komponen berongga serupa tanpa sambungan memanjang penutup, flensa, <i>nozzle</i> , pelat penutup	-	Penempaan untuk ketel, bejana dan jalur pipa Bab 6, E Bagian-bagian yang dibentuk dan ditekan Bab 9, A. dan B.
Mur dan baut	-	Pengencang, Bab 9, C Baut temperatur tinggi DIN 17 240
	$\leq 300^{\circ}\text{C}$ $\leq 40 \text{ bar}$ $\leq \text{M}30$	DIN 267 Parts 3 dan 4 atau standar yang setara
Baja cor	-	Baja cor untuk ketel, bejana tekan dan pipa Bab 7, D
	$\leq 300^{\circ}\text{C}$	Termasuk GS 38 dan GS 45 mengacu pada DIN 1681 GS 16 Mn5 dan GS 20 Mn5 mengacu pada DIN 17182
Besi cor nodular	$\leq 300^{\circ}\text{C}$ $\leq 40 \text{ bar}$ $\leq \text{DN } 175$ untuk katup dan <i>fitting</i>	besi cor nodular Bab 8, B

Tabel 7.1 Bahan yang disetujui (*lanjutan*)

Material dan bentuk produk	Batasan aplikasi	Kelas material sesuai dengan Rules for Material (Pt.1, Vol.V)
Besi cor <i>lamellar</i> (kelabu): Bagian ketel (hanya untuk permukaan yang tidak dipanaskan dan bukan untuk pemanas dalam sistem minyak termal)	$\leq 200^\circ\text{C}$ $\leq 10 \text{ bar}$ diameter $\leq 200 \text{ mm}$	besi cor kelabu Bab 8, C
Katup dan fitting (kecuali katup yang mendapat tekanan dinamis)	$\leq 200^\circ\text{C}$ $\leq 10 \text{ bar}$ $\leq \text{DN } 175$	
<i>Economizer</i> gas buang	$\leq 52 \text{ bar}$ temperatur gas asap $\leq 600^\circ\text{C}$ temperatur air pada sisi outlet $\leq 245^\circ\text{C}$	
	$\leq 100 \text{ bar}$ temperatur gas asap $\leq 700^\circ\text{C}$ temperatur air pada sisi outlet $\leq 260^\circ\text{C}$	Besi cor kelabu setidaknya kelas CG-25 Bab 8, C
Katup dan <i>fitting</i> dari tembaga cor paduan	$\leq 225^\circ\text{C}$ $\leq 25 \text{ bar}$	Tembaga cor paduan Bab 5, B

Tabel 7.2 Pengujian material untuk katup dan *fitting*

Jenis material ¹⁾	Temperatur layanan [°C]	Pengujian yang diperlukan untuk: PB [bar] DN [mm]
Baja, baja cor	> 300	DN > 50
Baja, baja cor, Besi cor nodular	≤ 300	PB x DN > 2.500 2) atau DN > 250
Tembaga paduan	≤ 225	PB x DN > 1.500 2)
¹⁾ Tidak ada tes yang dipersyaratkan untuk besi cor kelabu		
²⁾ Pengujian dapat diitiadakan jika DN $\leq 50 \text{ mm}$.		

2.3 Referensi yang digunakan adalah [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#) terutama yang berkaitan dengan pengelasan pada Berbagai Bidang Aplikasi, Bab 2.

3. Ekspansi Tabung

Lubang tabung harus dibor dan diperhalus dengan hati-hati. Tepi tajam harus ditumpulkan (dihaluskan). Lubang tabung harus sedekat mungkin ke arah radial, khususnya pada ketebalan dinding yang kecil.

Ujung tabung yang dikembangkan harus dibersihkan dan diperiksa ukurannya dan cacat yang mungkin ada. Jika diperlukan, ujung tabung harus di anil sebelum dikembangkan.

Tabung asap dengan koneksi las antara tabung dan plat tabung pada pintu masuk jalur kedua harus dikembangkan dengan rol sebelum dan setelah pengelasan.

4. Penguat, tabung penguat dan baut penguat

4.1 Penguat, tabung penguat dan baut penguat harus diatur agar tidak mengalami bending atau gaya geser yang tidak semestinya.

Konsentrasi tegangan pada perubahan penampang, mur dan las harus diminimalkan dengan komponen geometri yang tepat.

4.2 Batang penguat dan baut penguat sebaiknya dilas dengan penetrasi penuh. Setiap tegangan vibrasi harus dipertimbangkan pada penguat longitudinal.

4.3 Batang penguat dan baut penguat harus dibor di kedua ujungnya sedemikian rupa sehingga lubang memanjang setidaknya 25 mm ke dalam ruang air atau uap. Jika ujung telah rusak, penguat tengah harus diberi menerus dengan jarak minimal 25 mm (lihat [Gambar 7.22](#))

4.4 Sudut yang dibentuk oleh penguat *gusset* dan sumbu longitudinal dari ketel tidak boleh melebihi 30°. Konsentrasi tegangan pada lasan dari penguat *gusset* harus diminimalkan dengan menggunakan komponen geometri yang sesuai. Lasan yang digunakan harus berupa lasan penetrasi penuh. Pada ketel tabung api, penguat *gusset* harus berada minimal 200 mm dari tabung api tersebut.

4.5 Jika permukaan datar yang terkena nyala api diperkuat dengan baut penguat, jarak antara pusat-pusat baut penguat tidak boleh melebihi 200 mm.

5. Penegar, sabuk dan lubang pengait

5.1 Jika permukaan ujung datar diperkuat oleh *profile section* atau *rib*, penguat tersebut harus meneruskan beban langsung (yaitu tanpa sabuk yang dilas) ke kulit ketel.

5.2 Pelat ganda tidak boleh dipasang di bagian tekanan yang terkena radiasi nyala api.

Apabila diperlukan untuk melindungi dinding ketel, penguatan pelat harus dipasang dibawah braket pendukung dan pengangkat.

6. Pengelasan ujung tanpa bingkai datar ke kulit ketel

Ujung datar tanpa bingkai (ujung cakram) pada kulit ketel hanya diizinkan sebagai ujung yang dilas soket dengan proyeksi kulit dari ≥ 15 mm. Rasio ketebalan dinding ujung/kulit s_B/s_M , tidak boleh lebih besar dari 1,8. Ujungnya harus dilas ke kulit dengan las penetrasi penuh.

7. Nozzle dan flensa

Nozzle dan flensa harus mempunyai desain yang kokoh dan sesuai, sebaiknya dengan penetrasi penuh ke kulit. Ketebalan dinding *nozzle* harus cukup besar agar aman menahan beban eksternal tambahan. Ketebalan dinding *nozzle* yang dilas harus sesuai dengan ketebalan dinding dimana *nozzle* tersebut dilas.

Flensa dengan pengelasan leher harus terbuat dari bahan yang ditempa dengan orientasi butiran yang baik.

8. Bukaan pembersihan dan inspeksi, *cut out* dan selubung.

8.1 Ketel uap harus dilengkapi dengan buaan untuk ruang lalu sehingga ruangan didalam dapat dibersihkan dan diperiksa. Khususnya lasan yang kritis dan mempunyai tegangan tinggi, bagian yang terkena nyala radiasi dan daerah dengan level air yang bervariasi harus mempunyai akses yang cukup untuk pemeriksaan. Bejana ketel dengan diameter dalam lebih dari 1.200 mm dan mempunyai diameter lebih dari 800 mm dengan panjang 2.000 mm, harus dilengkapi dengan sarana akses. Bagian dalam drum tidak boleh menghalangi pemeriksaan dalam atau harus dapat dilepas.

8.2 Bukaan inspeksi dan akses harus memiliki dimensi minimum sebagai berikut:

Lubang lalu orang 300 x 400 mm atau diameter 400 mm, dimana ketinggian *annular* adalah > 150 mm
ukuran bukaan harus 320 x 420 mm.

Lubang kepala 220 x 320 mm atau diameter 320 mm

Lubang tangan 90 x 120 mm

Lubang pengamatan wajib memiliki diameter minimal 50 mm. Akan tetapi, lubang pengamatan ini harus disiapkan hanya bila desain peralatan membuat pembuatan lubang tangan tidak praktis untuk dilakukan.

8.3 Tepi lubang lalu orang dan bukaan lainnya, misalnya untuk kubah, harus diperkuat dengan efektif jika pelat mengalami pelemahan yang tidak dapat diterima akibat pelubangan. Tepi bukaan yang ditutup dengan penutup harus diperkuat dengan penegar tepi yang dilas.

8.4 Pelat penutup, bingkai lubang lalu orang dan crossbar harus terbuat dari bahan yang liat (bukan besi cor kelabu atau besi tempa *malleable*). Besi cor kelabu (setidaknya GG-20) dapat digunakan untuk *crossbar* penutup lubang tangan dari *header* dan penampang *header*, asalkan *crossbar* tidak berada pada aliran gas pemanas. Tutup pelat harus disediakan pada sisi eksternal dengan *rim* atau *spigot* untuk mencegah paking terdorong keluar kecuali jika menggunakan paking logam. Celaht antara *rim* atau *spigot* ini dengan tepi bukaan harus seragam pada sekeliling tepi bukaan tersebut dan tidak boleh melebihi 2 mm untuk ketel dengan tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB kurang dari 32 bar, atau 1 mm jika PB 32 bar atau lebih. Ketinggian *rim* atau cerat harus minimal 5 mm lebih besar dari ketebalan paking.

8.5 Hanya cincin-cincin kontinyu yang dapat digunakan sebagai paking. Bahan yang digunakan harus sesuai untuk kondisi operasi yang diberikan.

9. Drum ketel, penampang kulit, *header* dan tabung api

Lihat [Rules for Welding\(Pt.1, Vol.VI\), Welding in the Various Fields of Application, Section 2](#).

D. Perhitungan

1. Prinsip desain

1.1 Rentang aplikasi formula desain

1.1.1 Perhitungan kekuatan berikut mewakili persyaratan minimum untuk kondisi operasi normal yang utamanya mendapat pembebanan statis. Toleransi khusus harus diberikan untuk gaya dan momen tambahan yang besarnya signifikan, misalnya yang dihasilkan oleh pipa yang terhubung atau dari pergerakan kapal di laut. Hal ini harus dijelaskan dalam dokumentasi.

1.1.2 Ketebalan dinding yang dihitung dengan rumus-rumus merupakan persyaratan minimal. Toleransi dibawah ukuran yang diizinkan oleh [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#), harus ditambahkan ke nilai-nilai yang telah dihitung.

1.2 Tekanan desain p_c

1.2.1 Tekanan desain sekurang-kurangnya harus sama dengan tekanan kerja maksimum yang diijinkan. Toleransi tambahan harus diberikan untuk tekanan statis lebih dari 0,5 bar.

1.2.2 Dalam merancang ketel *once-through forced flow*, tekanan yang harus diterapkan adalah tekanan kerja maksimum yang diantisipasi pada bagian ketel utama yang mendapat beban maksimum kontinyu yang diijinkan.

1.2.3 Tekanan desain yang berlaku untuk jalur uap panas lanjut dari ketel adalah tekanan kerja maksimum berlebih yang diantisipasi oleh katup pengaman.

1.2.4 Dalam kasus bagian-bagian ketel yang mengalami tekanan internal dan eksternal pada saat operasi, misalnya di *attemporator* dalam drum ketel, desain dapat didasarkan pada tekanan diferensial, asalkan dapat dipastikan bahwa dalam operasi kedua tekanan tersebut akan selalu terjadi secara bersamaan. Namun, tekanan desain dari bagian-bagian ini harus sekurang-kurangnya 17 bar. Desain juga harus mempertimbangkan beban yang dikenakan selama uji tekanan hidrostatik.

Tabel 7.3 Temperatur desain

Temperatur acuan	Toleransi yang harus ditambahkan		
	Bagian tak dipanaskan	Bagian yang dipanaskan terutama dengan	
		Kontak	Radiasi
Temperatur saturasi pada MAWP	0 °C	25 °C	50 °C
Temperatur uap panas lanjut	15 °C ¹⁾	35 °C	50 °C

¹⁾ Toleransi temperatur dapat diturunkan menjadi 7 °C asalkan langkah-langkah khusus diambil untuk memastikan bahwa temperatur desain tidak terlampaui

1.3 Temperatur desain t

Perhitungan kekuatan berdasarkan temperatur pada pusat ketebalan dinding dari komponen yang bersangkutan. Temperatur desain terdiri dari temperatur referensi dan toleransi temperatur sesuai dengan [Tabel 7.3](#). Nilai minimum yang harus diambil adalah 250 °C.

1.4 Tegangan yang diijinkan

Desain komponen struktural harus berdasarkan pada tegangan yang diijinkan σ_{perm} [N / mm²]. Pada masing-masing kondisi, nilai minimum yang dihasilkan oleh hubungan berikut ini berlaku:

1.4.1 Baja gulung dan tempa

Untuk temperatur desain sampai 350 °C

$$\frac{R_{eH,t}}{1,6} \quad \text{dimana } R_{eH,t} = \begin{array}{l} \text{Titik mulur yang dijamin atau minimum 0,2\% proof pada} \\ \text{temperatur desain t [N/mm}^2\text{]} \end{array}$$

$$\frac{R_{m,20^\circ}}{2,7} \quad \text{dimana } R_{m,20^\circ} = \text{Kekuatan tarik minimum yang dijamin pada temperatur ruang [N/mm}^2]$$

Untuk temperatur desain lebih dari 350 °C

$$\frac{R_{m,100000, t}}{1,5} \quad \text{dimana } R_{m,100000, t} = \text{Creep strength rata-rata 100000 jam pada temperatur desain t [N/mm}^2]$$

$$\frac{R_{eH,t}}{1,6} \quad \text{dimana } R_{eH,t} = \text{Titik mulur yang dijamin atau minimum 0,2% proof pada temperatur desain t [N/mm}^2]$$

1.4.2 Material cor

1) Baja cor : $\frac{R_{m,20^\circ}}{3,2}; \frac{R_{eH,t}}{2,0}; \frac{R_{m,100000, t}}{2,0}$

2) Besi cor nodular : $\frac{R_{m,20^\circ}}{4,8}; \frac{R_{eH,t}}{3,0}$

3) Besi cor kelabu : $\frac{R_{m,20^\circ}}{11}$

1.4.3 Pengaturan khusus dapat disepakati untuk baja austenitik dengan keuletan tinggi.

1.4.4 Untuk dinding silinder dengan pelubangan dan mengalami kontak dengan air, tegangan nominal 170 N/mm² tidak boleh terlampaui dilihat dari lapisan magnetit pelindung.

1.4.5 Karakteristik mekanik harus diambil dari [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#), atau dari standar yang ditentukan di dalamnya.

1.5 Toleransi untuk korosi dan keausan

Toleransi korosi dan keausan adalah c = 1,0 mm. Untuk ketebalan plat 30 mm atau lebih dan untuk material *stainless*, toleransi ini dapat ditiadakan.

1.6 Kasus khusus

Jika bagian-bagian ketel tidak dapat dirancang sesuai dengan persyaratan berikut, dimensi harus dirancang mengikuti standar yang diakui oleh BKI, misalnya EN 12952, EN 12953 atau yang setara. Pada kasus-kasus individu, dimensi ditentukan dengan pengujian, misalnya dengan pengukuran regangan.

2. Dinding silinder dibawah tekanan internal

2.1 Ruang lingkup

Persyaratan desain berikut berlaku untuk drum, *shell ring* dan header hingga rasio diameter Da/Di ≤ 1,7. Rasio diameter hingga Da/Di ≤ 2 dapat diizinkan asalkan ketebalan dinding ≤ 80 mm.

2.2 Simbol

P_c = tekanan desain [bar]

s = ketebalan dinding [mm]

D_i = diameter dalam [mm]

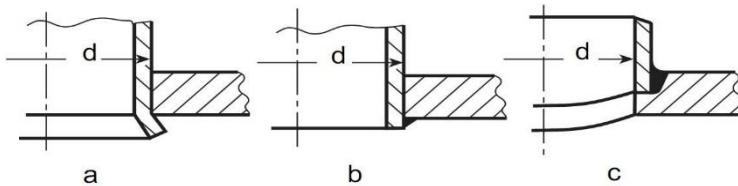
D_a = diameter luar [mm]

c = toleransi korosi dan keausan [mm]

d = diameter bukaan atau pelubangan [mm]

diameter lubang untuk tabung yang dikembangkan dan untuk tabung yang dikembangkan dan dilas (lihat [Gambar 7.1 a](#) dan [7.1 b](#))

diameter dalam tabung untuk *nipple* pipa dan soket yang dilas ([Gambar 7.1 c](#))



Gambar 7.1 Diameter lubang dan diameter tabung dalam

t, t_i, t_u = pitch lubang tabung (diukur pada pusat ketebalan dinding untuk sambungan lingkar) [mm]

v = faktor pelemahan (lihat [Tabel 7.4](#))

untuk las:

faktor las

untuk lubang yang dibor di dinding:

rasio dari bagian pelat yang dilemahkan terhadap yang tidak dilemahkan

σ_{perm} = tegangan yang diijinkan (lihat [1.4](#)) [N/mm^2]

S_A = ketebalan dinding yang diperlukan di tepi bukaan atau pelubangan [mm]

S_S = ketebalan dinding pipa cabang [mm]

b = panjang pendukung komponen induk [mm]

l = lebar ligamen antara dua pipa cabang [mm]

l_s = panjang pendukung pipa cabang [mm]

l'_s = proyeksi internal pipa cabang [mm]

A_p = daerah dibawah tekanan [mm^2]

A_o = luas penampang pendukung [mm^2]

2.3 Perhitungan

2.3.1 Ketebalan dinding yang diperlukan, dihitung dengan rumus:

$$s = \frac{D_a \cdot p_c}{20 \cdot \sigma_{perm} \cdot v + p_c} + c \quad (1)$$

2.3.2 Untuk drum yang dipanaskan dan header dengan tekanan kerja maksimum yang lebih dari 25 bar, perhatian khusus harus diberikan kepada tegangan termal. Untuk drum dipanaskan yang tidak terletak di jalur pertama (Temperatur gas maksimum hingga 1.000°C), pembuktian dengan sertifikasi khusus sehubungan dengan tegangan termal dapat ditiadakan dengan tunduk pada ketentuan berikut: Ketebalan dinding hingga 30 mm dan pendinginan dinding yang memadai berdasarkan pengaturan tabung berdekatan.

Deskripsi "pengaturan tabung berdekatan" berlaku jika ligamen tegak lurus dengan arah aliran gas dan sejajar dengan arah aliran gas masing-masing tidak melebihi 50 mm dan 100 mm.

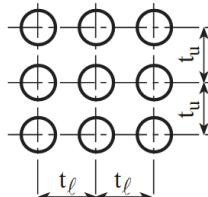
2.3.3 Faktor pelemahan v

Faktor pelemahan v ditunjukkan pada [Tabel 7.4](#).

Tabel 7.4 Faktor pelemahan v

Konstruksi	Faktor pelemahan v
<i>Shell ring</i> dan drum kulit mulus	1,0
<i>Shell ring</i> dan drum dengan lasan longitudinal	Faktor las, lihat Rules for Welding (Pt.1, Vol.VI)
Deretan lubang ¹⁾ pada :	
arah memanjang	$\frac{t_{\ell} - d}{t_{\ell}}$
arah melingkar	$2 \cdot \frac{t_u - d}{t_u}$

¹⁾ Nilai v untuk deretan lubang tidak dapat dibuat lebih besar dari 1,0 dalam perhitungan. Untuk pitch terhubung, lihat [Gambar 7.27](#). Lihat juga [Gambar 7.1](#) pada [pasal 2.2](#)



2.3.4 Efek pelemahan akibat pelubangan atau masing-masing pipa cabang harus diperhitungkan dengan kompensasi luasan sesuai dengan rumus:

$$\frac{p_c}{10} \cdot \left\{ \frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2} \right\} \leq \sigma_{\text{perm}} \quad (2)$$

Daerah dibawah tekanan A_p dan luasan penampang pendukung A_σ didefinisikan pada [Gambar 7.2](#).

Nilai-nilai dari panjang pendukung tidak boleh melebihi:

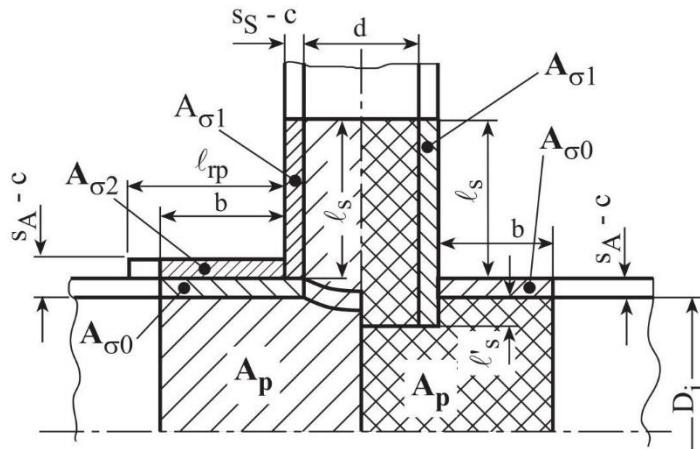
untuk komponen induk

$$b = \sqrt{(D_i + s_A - c)} \cdot (s_A - c)$$

untuk pipa cabang

$$l_s = 1,25 \sqrt{(D + s_s - c)} \cdot (s_s - c)$$

Jika cabang diproyeksikan masuk ke dalam, nilai yang digunakan dalam perhitungan sebagai fungsi pendukung tidak boleh melebihi $|l|' \leq 0,5 \cdot l_s$



Gambar 7.2 Bukaan dalam dinding silinder

Jika material dengan kekuatan mekanis yang berbeda digunakan untuk komponen induk dan cabang atau pelat penguat, hal ini harus diperhitungkan dalam perhitungan. Namun, tegangan yang diijinkan dalam penguatan tidak boleh lebih besar dari tegangan untuk bahan induk dalam perhitungan.

Penguatan berbentuk cakram harus dipasang di luar dan tidak boleh lebih tebal dari ketebalan komponen induk aktual. Ketebalan ini adalah ketebalan maksimum yang dapat diperbolehkan untuk perhitungan dan lebar penguat harus lebih dari tiga kali ketebalan dinding aktual.

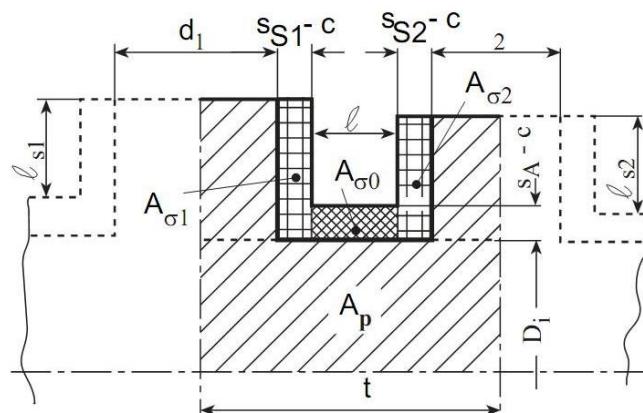
Ketebalan dinding pipa cabang tidak boleh lebih dari dua kali ketebalan dinding yang diperlukan di tepi pelubangan tersebut.

Pelubangan memunculkan efek bersama jika ligamen adalah

$$I \leq 2\sqrt{(D_i + s_A - c) \cdot (s_A - c)}$$

Kompensasi luasan adalah seperti ditunjukkan pada [Gambar 7.3](#).

Pelubangan r yang memberikan suatu efek penguatan bersama dengan proyeksi internal pipa cabang maupun pelat penguatan juga harus diperhitungkan.



Gambar 7.3 Efek bersama pada bukaan

2.4 Ketebalan dinding minimum yang diijinkan

Untuk *shell ring* yang dilas dan tanpa sambungan, ketebalan dinding minimum yang diijinkan adalah 5 mm. Untuk logam non ferro, *stainless steel* dan silinder diameter hingga 200 mm, ketebalan dinding yang lebih

kecil dapat diizinkan. Ketebalan dinding drum dimana tabung dikembangkan harus sedemikian rupa sehingga memberikan panjang ekspansi silinder minimal 16 mm.

3. Dinding silindris dan tabung dengan diameter luar lebih dari 200 mm yang mengalami tekanan eksternal

3.1 Ruang lingkup

Persyaratan berikut berlaku untuk desain dinding silinder polos dan bergelombang dan tabung dengan diameter luar lebih dari 200 mm yang mengalami tekanan eksternal. Komponen ini akan diistilahkan dalam penjelasan berikut sebagai pipa api jika terkena radiasi nyala api.

3.2 Simbol

p_o	=	tekanan desain [bar]
s	=	ketebalan dinding [mm]
d	=	diameter rata-rata tabung polos [mm]
d_s	=	diameter luar tabung polos [mm]
d_i	=	diameter dalam minimum pipa api bergelombang [mm]
ℓ	=	panjang tabung atau jarak antara dua penegar efektif [mm]
h	=	ketinggian cincin penegar [mm]
b	=	ketebalan cincin penegar [mm]
u	=	ketidakbulatan tabung (<i>out-of-roundness</i>) [%]
a	=	penyimpangan terbesar dari bentuk silinder (lihat Gambar 7.5) [mm]
σ_{perm}	=	tegangan yang diijinkan [N/mm^2]
E_t	=	modulus elastisitas pada temperatur desain [N/mm^2]
S_K	=	faktor keamanan terhadap <i>buckling</i> elastis
v	=	faktor elongasi melintang (0,3 untuk baja)
c	=	toleransi korosi dan keausan [mm]

3.3 Perhitungan

3.3.1 Dinding silinder dan tabung api polos

Perhitungan ketahanan terhadap deformasi plastis:

$$p_c \leq 10 \cdot \sigma_{perm} \cdot \frac{2 \cdot (s - c)}{d} \cdot \frac{1 + 0,1 \cdot \frac{d}{\ell}}{1 + 0,03 \cdot \frac{d}{s - c} \cdot \frac{u}{1 + 5 \cdot \frac{d}{\ell}}} \quad (3)$$

Perhitungan ketahanan terhadap *buckling* elastis:

$$p_c \leq 20 \cdot \frac{E_t}{S_k} \cdot \left\{ \frac{\frac{s-c}{d_a}}{(n^2 - 1) \cdot \left[1 + \left(\frac{n}{Z} \right)^2 \right]} + \frac{\left(\frac{s-c}{d_a} \right)^3}{3 \cdot (1-v^2)} \cdot \left[n^2 - 1 + \frac{2 \cdot n^2 - 1 - v}{1 + \left(\frac{n}{Z} \right)^2} \right] \right\} \quad (4)$$

dimana $Z = \frac{\pi \cdot d_a}{2 \cdot \ell}$

dan $n \geq 2$

$n > Z$

n (bilangan bulat) harus dipilih untuk menurunkan p_c ke nilai minimumnya. n merupakan jumlah lipatan melengkung (*buckled fold*) yang terjadi di sekitar pinggiran pada saat terjadi kegagalan. n dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus pendekatan berikut:

$$n = 1,63 \cdot \sqrt{\left(\frac{d_a}{\ell} \right)^2} \cdot \frac{d_a}{s-c}$$

3.3.2 Dalam kasus tabung bergelombang dari jenis Fox atau Morrison, ketebalan dinding s yang diperlukan diberikan oleh rumus:

$$s = \frac{p_c}{20} \cdot \frac{d_i}{\sigma_{perm}} + 1,0 \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

3.4 Tegangan yang diijinkan

Berbeda dengan 1.4, nilai-nilai untuk tegangan yang diijinkan dari tabung api yang digunakan dalam perhitungan menjadi sebagai berikut:

Tabung api polos, horizontal $\frac{R_{eH,t}}{2,5}$

Tabung api polos, vertikal $\frac{R_{eH,t}}{2,0}$

Tabung api bergelombang $\frac{R_{eH,t}}{2,8}$

Tabung yang dipanaskan oleh gas buang dengan temperatur $> 400^\circ\text{C}$ $\frac{R_{eH,t}}{2,0}$

3.5 Temperatur desain

Berbeda dengan 1.3, temperatur desain yang digunakan untuk tabung api dan tabung yang dipanaskan ditunjukkan pada [Tabel 7.5](#).

Tabel 7.5 Temperatur desain untuk komponen yang dipanaskan dibawah tekanan eksternal

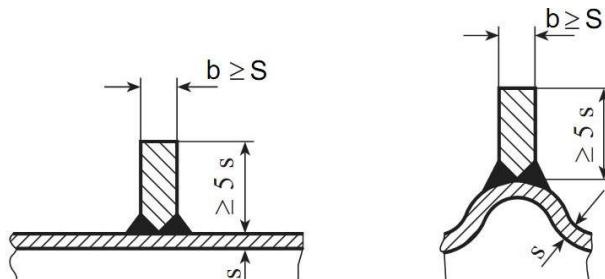
Untuk tabung yang terpapar api (<i>fire tubes</i>):		sekurang-kurangnya 250 °C
Tabung polos	$t [^{\circ}\text{C}] = \text{Temperatur saturasi} + 4 . s + 30 ^{\circ}\text{C}$	
Tabung bergelombang	$t [^{\circ}\text{C}] = \text{Temperatur saturasi} + 3 . s + 30 ^{\circ}\text{C}$	
Untuk tabung yang dipanaskan dengan gas buang		
$t [^{\circ}\text{C}] = \text{Temperatur saturasi} + 2 . s + 15 ^{\circ}\text{C}$		

3.6 Penegaran

3.6.1 Selain pelat ujung tabung api dan *firebox*, jenis struktur yang ditunjukkan pada [Gambar 7.4](#) juga dapat dianggap memberikan penegaran yang efektif.

3.6.2 Pada tabung api yang terdiri dari tabung polos dan tabung bergelombang untuk perhitungan tabung polos 1,5 kali dari panjang bagian polos harus digunakan.

3.6.3 Bagian datar tabung api bergelombang, tidak perlu dihitung secara terpisah asalkan panjang yang bertekanan, diukur dari tengah tambahan pelat ujung ke awal gelombang (*corrugation*) pertama, tidak melebihi 250 mm.



Gambar 7.4 Penegaran efektif

3.7 Faktor keamanan S_k

Sebuah faktor keamanan S_k 3,0 harus digunakan dalam perhitungan tahanan terhadap *buckling* elastis. Nilai ini berlaku untuk ketidakbulatan 1,5% atau kurang. Jika ketidakbulatan lebih dari 1,5% sampai dengan 2%, faktor keamanan S_k yang diterapkan adalah 4,0.

3.8 Modulus elastisitas

[Tabel 7.6](#) menunjukkan modulus elastisitas baja dalam kaitannya dengan temperatur desain.

Tabel 7.6 Modulus elastisitas untuk baja

Temperatur Desain [°C]	$E_t^{(1)}$ [N/mm ²]
20	206.000
250	186.400
300	181.500
400	171.700
500	161.900
600	152.100

¹⁾ Nilai tengah harus diinterpolasi

3.9 Toleransi korosi dan keausan

Toleransi 1 mm untuk korosi dan keausan harus ditambahkan ke ketebalan dinding s. Dalam kasus tabung bergelombang, s adalah ketebalan dinding ujung tabung.

3.10 Ketebalan dinding minimum dan maksimum yang diijinkan

Ketebalan dinding tabung api polos harus minimal 7,0 mm, sedangkan tabung api bergelombang setidaknya 10 mm. Untuk ketel kecil, logam non ferro dan *stainless steel*, tebal dinding yang lebih kecil diijinkan. Ketebalan dinding maksimum tidak boleh melebihi 20 mm. Tabung yang dipanaskan oleh gas flue < 1.000 °C dapat memiliki ketebalan dinding maksimum hingga 30 mm.

3.11 Panjang maksimum tanpa penegar

Untuk tabung api, panjang l antara dua penegar tidak boleh melebihi $6,0 \cdot d$. Panjang terbesar yang tidak ditumpu tidak boleh melebihi 6 m, sedangkan panjang jalur pertama dari ujung pelat depan, 5 m. Penegaran dari jenis yang ditunjukkan pada [Gambar 7.4](#) harus dihindari di zona api, yaitu sampai kira-kira $2,0 \cdot d$ dibelakang pelapis.

3.12 Ketidakbulatan (Out-of-roundness)

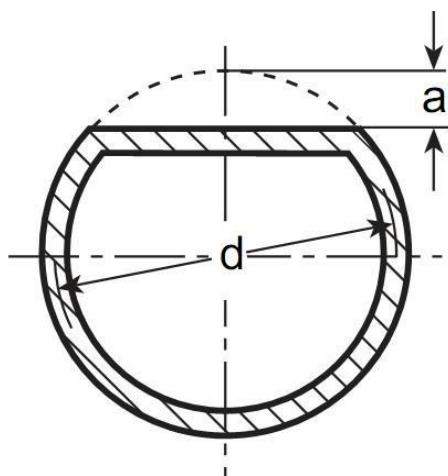
Ketidakbulatan [%]

$$u = \frac{2 \cdot (d_{\max} - d_{\min})}{d_{\max} + d_{\min}} \cdot 100$$

untuk tabung polos baru harus diberikan nilai $u = 1,5\%$ dalam rumus desain.

Dalam kasus tabung api bekas, ketidakbulatan tersebut harus ditentukan dengan pengukuran diameter sesuai dengan [Gambar 7.5](#).

$$u = \frac{4 \cdot a}{d} \cdot 100$$



Gambar 7.5 Parameter ketidakbulatan

3.13 Jarak antara tabung api

Jarak bebas antara tabung api dan kulit ketel pada titik terdekat harus sekurang-kurangnya 100 mm. Jarak antara dua tabung api harus sekurang-kurangnya 120 mm.

4. Pelat ujung melengkung (*dished endplate*) dibawah tekanan internal dan eksternal

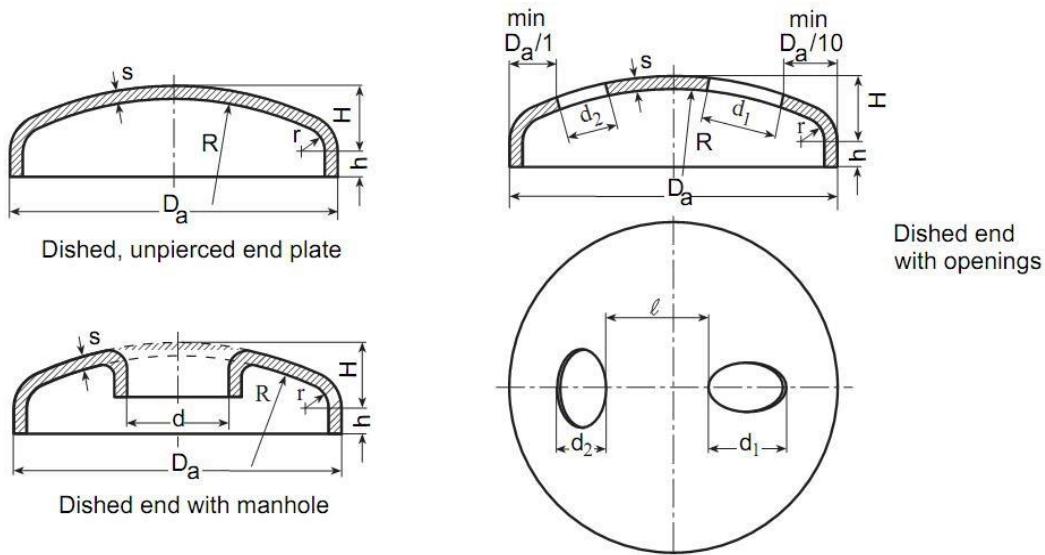
4.1 Ruang lingkup

4.1.1 Persyaratan berikut berlaku untuk desain pelat ujung melengkung tanpa penguat dibawah tekanan internal atau eksternal (lihat [Gambar 7.6](#)). Persyaratan berikut harus dipenuhi:

Radius R dari ujung lengkungan tidak boleh melebihi diameter luar pelat ujung D_a , dan jari-jari bengkokan (*knuckle*) r tidak kurang dari $0,1 \cdot D_a$.

Ketinggian H tidak boleh kurang dari $0,18 \cdot D_a$

Ketinggian porsi silindris h , dengan pengecualian pelat ujung berbentuk setengah bola, harus sekurang-kurangnya $3,5 \cdot s$, dimana s adalah ketebalan pelat tanpa lubang bahkan jika pelat ujung dilengkapi dengan lubang lalu orang. Bagaimanapun, ketinggian porsi silindris tidak perlumelebihinya nilai yang ditunjukkan pada [Tabel 7.7](#).



Gambar 7.6 Parameter untuk pelat ujung melengkung (*dished endplate*) tanpa penguat

Tabel 7.7 Ketinggian h bagian silindris

Ketebalan dinding s [mm]	h [mm]
$s \leq 50$	150
$50 < s \leq 80$	120
$80 < s \leq 100$	100
$100 < s \leq 120$	75
$s > 120$	50

4.1.2 Persyaratan ini juga berlaku untuk pelat ujung melengkung yang dilas. Faktor pelemahan las harus dipertimbangkan (lihat 4.5).

4.2 Simbol

P_c = tekanan desain [bar]

s = ketebalan dinding dari pelat ujung [mm]

D_a	=	diameter luar pelat ujung [mm]
H	=	ketinggian kelengkungan pelat ujung [mm]
R	=	radius dalam ujung yang melengkung [mm]
h	=	ketinggian bagian silindris [mm]
d	=	diameter bukaan yang diukur sepanjang garis yang memotong pusat pelat ujung dan bukaan, atau diameter bukaan maksimal untuk bukaan yang konsentris dengan pelat ujung, [mm]
σ_{perm}	=	tegangan yang diijinkan (lihat 1.4) [N/mm^2]
β	=	koefisien tegangan di flensa
β_0	=	koefisien tegangan di bagian berbentuk bola
v	=	faktor pelemahan
c	=	toleransi korosi dan keausan [mm]
E_t	=	modulus elastisitas pada temperatur desain [N/mm^2]
S_A	=	ketebalan dinding yang diperlukan di tepi bukaan [mm]
S_S	=	ketebalan dinding pipa cabang [mm]
b	=	panjang pendukung komponen induk [mm]
ℓ	=	lebar ligamen antara dua pipa cabang [mm]
ℓ_s	=	panjang pendukung pipa cabang [mm]
ℓ'_s	=	proyeksi internal pipa cabang [mm]
A_p	=	luasan yang mengalami tekanan [mm^2]
A_σ	=	luas penampang pendukung [mm^2]
S_k	=	faktor keamanan terhadap <i>buckling</i> elastis
S'_k	=	faktor keamanan terhadap <i>buckling</i> elastis pada tekanan uji

4.3 Perhitungan untuk tekanan internal

4.3.1 Ketebalan dinding yang diperlukan diberikan oleh rumus:

$$S = \frac{D_a \cdot p_c \cdot \beta}{40 \cdot \sigma_{perm} \cdot v} + c \quad (6)$$

Ketebalan dinding akhir dari bagian silindris harus sekurang-kurangnya sama dengan ketebalan dinding yang dipersyaratkan untuk kulit silindris tanpa pelemahan.

4.3.2 Koefisien desain β dan β_0

Hubungan koefisien desain dengan rasio H/D_a dan parameter $d / \sqrt{D_a \cdot s}$ dan s / D_a ditunjukkan pada [Gambar 7.7](#)

Untuk ujung yang melengkung dengan bentuk normal, ketinggian H dapat ditentukan sebagai berikut:

Ujung melengkung dangkal ($R = D_a$):

$$H \approx 0,1935 \times D_a + 0,55 s$$

Ujung melengkung yang dalam, bentuk elipsoidal ($R = 0,8 D_a$)

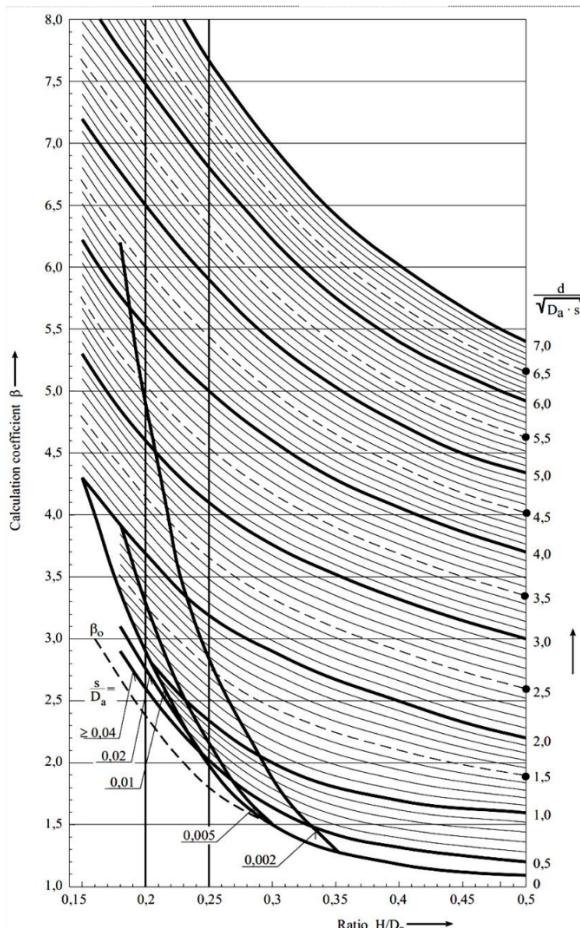
$$H \approx 0,255 \times D_a + 0,36 s$$

Nilai-nilai β untuk pelat ujung tanpa bukaan juga berlaku terhadap ujung melengkung dengan bukaan yang ujung-ujungnya terletak di dalam bagian berbentuk bola dengan diameter maksimal bukaan sebesar $d \leq 4 \cdot s$, atau bukaan yang ujung-ujungnya diperkuat secara memadai. Lebar ligamen antara dua bukaan yang berdekatan tanpa penguat harus sekurang-kurangnya sama dengan penjumlahan dari jari-jari bukaan diukur sepanjang garis yang menghubungkan pusat-pusat bukaan. Jika lebar ligamen kurang dari yang didefinisikan di atas, ketebalan dinding harus dibuat sedemikian sehingga seakan-akan tidak ada ligamen, atau tepi bukaan harus diperkuat dengan memadai.

4.3.3 Penguatan bukaan di bagian berbentuk bola

Bukaan di bagian berbentuk bola dianggap diperkuat dengan memadai jika rumus yang berkaitan dengan luasan yang relevan berikut dipenuhi.

$$\frac{p_c}{10} \cdot \left[\frac{A_p}{A_\sigma} + \frac{1}{2} \right] \leq \sigma_{\text{perm}} \quad (7)$$



Gambar 7.7 Nilai dari β koefisien untuk desain ujung cakram

Luasan yang mengalami tekanan A_p dan luas penampang pendukung A_σ ditunjukkan pada [Gambar 7.8](#).

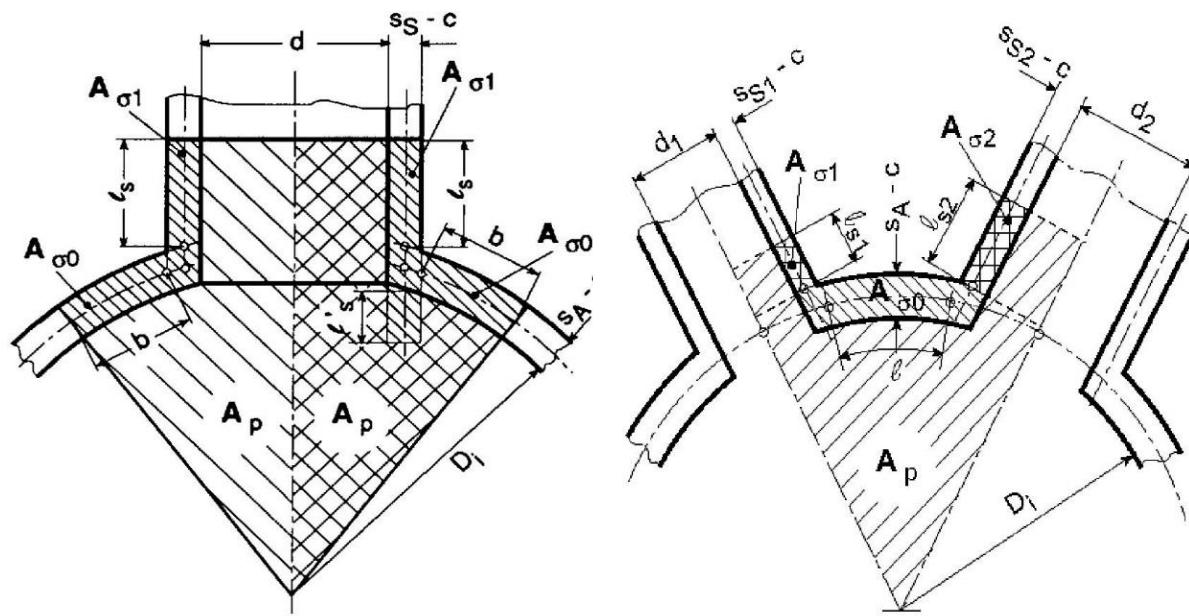
Untuk perhitungan penguatan dan panjang pendukung, rumus dan prasyarat pada [2.3.4](#) berlaku.

Hubungan antara luasan dari masing-masing pelubangan yang memunculkan efek bersama ditunjukkan pada [Gambar 7.9](#).

Tepi penguat berbentuk cakram tidak diizinkan untuk melampaui $0,8 \cdot D_a$.

Pada penguat tubular, rasio ketebalan dinding berikut berlaku:

$$\frac{S_s - c}{S_A - c} \leq 2$$



Gambar 7.8 Bukaan pada pelat ujung melengkung

Gambar 7.9 Efek bersama pada bukaan

4.4 Perhitungan desain untuk tekanan eksternal

4.4.1 Rumus yang sama harus diterapkan pada pelat ujung melengkung yang mengalami tekanan eksternal seperti pada pelat ujung yang mengalami tekanan internal. Namun, faktor keamanan yang digunakan untuk menentukan tegangan yang diijinkan sesuai dengan 1.4.1 harus dinaikkan sebesar 20%.

4.4.2 Pengecekan juga diperlukan untuk menentukan apakah bagian berbentuk bola dari pelat ujung aman terhadap *buckling* elastis.

Hubungan berikut harus diterapkan:

$$p_c \leq 3,66 \cdot \frac{E_t}{S_k} \cdot \left[\frac{s - c}{R} \right]^2$$

(8) Modulus elastisitas E_t untuk baja dapat diambil dari [Tabel 7.6](#).

Koefisien keselamatan S_k terhadap *buckling* elastis dan koefisien keselamatan yang diperlukan S_k' pada tekanan uji ditunjukkan pada [Tabel 7.8](#).

Tabel 7.8 Koefisien Keselamatan terhadap *buckling* elastis

$\frac{s - c}{R}$	$S_k^{(1)}$	$S_k'^{(1)}$
0,001	5,5	4,0
0,003	4,0	2,9
0,005	3,7	2,7
0,01	3,5	2,6
0,1	3,0	2,2

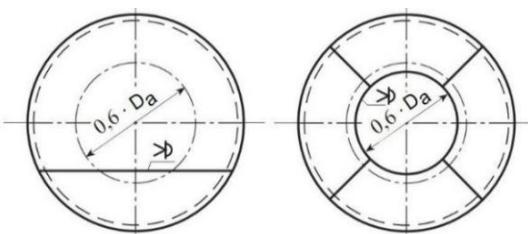
¹⁾ Nilai antara harus diinterpolasi

4.5 Faktor pelemahan

Faktor pelemahan dapat diambil dari Tabel 7.4 pada 2.3.3. Terlepas dari nilai tersebut, untuk ujung melengkung yang dilas - kecuali untuk ujung berbentuk setengah bola - nilai $v = 1$ dapat diterapkan terlepas dari ruang lingkup tes, asalkan sambungan las menimpa area di dalam puncak yang didefinisikan oleh $0,6 \cdot D_a$. (Lihat Gambar 7.10).

4.6 Ketebalan dinding minimum yang diijinkan

Ketebalan dinding minimum yang diijinkan untuk pelat ujung yang memiliki *welding neck* adalah 5 mm. Ketebalan dinding minimum yang lebih kecil diperbolehkan untuk logam non ferro dan *stainless steel*.



Gambar 7.10 Pengelasan sambungan dalam daerah puncak

5. Permukaan datar

5.1 Ruang lingkup

Persyaratan berikut berlaku untuk permukaan datar dengan penguat dan tanpa penguat, pelat ujung dengan flensa dan permukaan datar yang hanya ditumpu, di baut, atau dilas pada tepiannya dan yang mengalami tekanan internal atau eksternal.

5.2 Simbol

- P_c = tekanan desain [bar]
 s = ketebalan dinding [mm]
 s_1 = ketebalan dinding dalam alur pelepas tegangan [mm]
 s_2 = ketebalan dinding dari header silindris atau persegi pada koneksi ke pelat ujung datar dengan alur pelepas tegangan [mm]
 D_b = diameter dalam pelat ujung datar dengan flensa atau diameter desain bukaan yang harus dilengkapi sarana penutup [mm]

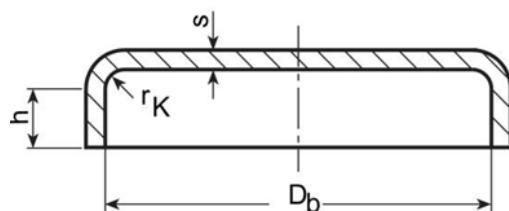
- D₁, D₂ = diameter pelat cincin [mm]
D_b = diameter lingkaran lubang baut dari pelat yang mendapat momen *bending* tambahan [mm]
d_e = diameter lingkaran terbesar yang dapat digambarkan di atas pelat datar di dalam setidaknya tiga titik acuan [mm]
d_a = diameter luar dari tabung yang dikembangkan [mm]
a, b = pendukung bebas atau lebar desain dari pelat persegi panjang atau elips, b selalu menunjuk sisi atau sumbu yang lebih pendek [mm]
t₁, t₂ = pitch dari penguat atau baut penguat dengan jarak seragam [mm]
e₁, e₂ = jarak antara pusat dari penguat dan baut penguat dengan jarak tak seragam [mm]
f = luas penampang ligamen [mm²]
r_K = radius lengkungan dalam flensa, atau radius alur pelepas tekanan [mm]
h = kedalaman bagian dalam pelat ujung datar dengan *welding neck* [mm]
h = tinggi bagian silindris dari pelat ujung berflensa atau kedalaman bagian dalam pelat ujung datar dengan *welding neck* [mm]
C = koefisien desain (untuk permukaan tanpa penguat lihat [Tabel 7.11](#) dan untuk permukaan dengan penguat lihat [Tabel 7.12](#))
γ = rasio
σ_{perm} = tegangan yang diijinkan (lihat [1.4](#)) [N/mm²]
c = toleransi korosi dan keausan [mm]

5.3 Perhitungan permukaan tanpa penguat

5.3.1 Pelat ujung datar, melingkar, berflensa (lihat [Gambar 7.11](#)).

Ketebalan dinding s yang dipersyaratkan diberikan oleh rumus:

$$s = C \cdot (D_b - r_k) \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}}} + c \quad (9)$$



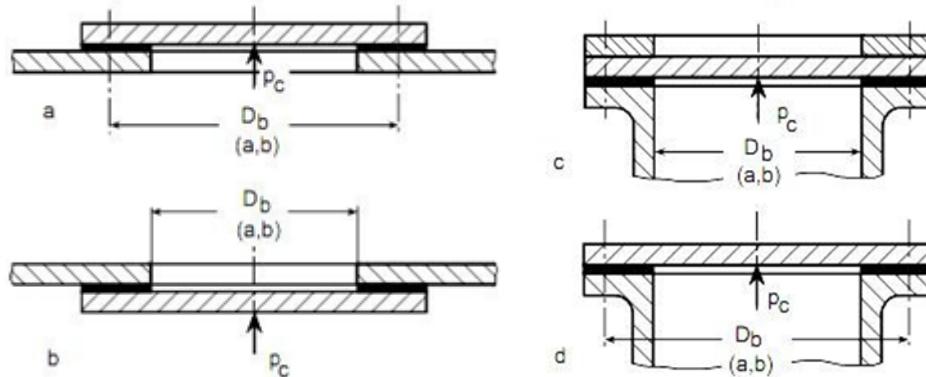
Gambar 7.11 Pelat ujung datar, melingkar, berflensa

Ketinggian bagian silindris h harus sekurang-kurangnya 3,5 . s

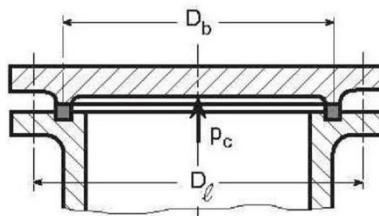
5.3.2 Pelat melingkar

Ketebalan dinding yang dipersyaratkan s dengan mempertimbangkan [Gambar 7.12 - 7.14](#) dihitung dengan rumus:

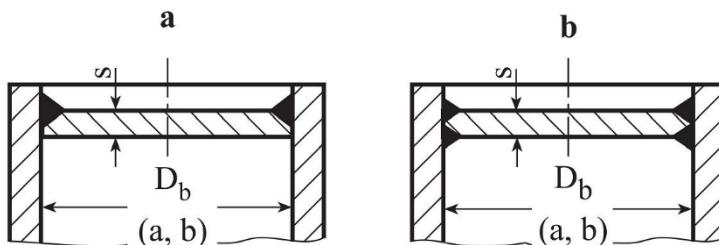
$$s = C \cdot D_b \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}}} + c \quad (10)$$



Gambar 7.12 a - d Pelat melingkar dengan penyegelan datar

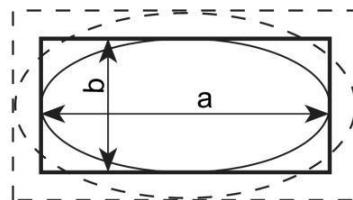


Gambar 7.13 Pelat melingkar dengan cincin penyegel



Gambar 7.14 Pelat ujung melingkar yang di las

5.3.3 Pelat persegi panjang dan elips



Gambar 7.15 Parameter pelat persegi panjang dan elips

Ketebalan dinding s yang dipersyaratkan dengan mempertimbangkan [Gambar 7.15](#) dihitung dengan rumus:

$$s = C \cdot b \cdot y \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}}} + c \quad (11)$$

5.3.4 Pelat ujung dengan *welding neck*

Untuk pelat ujung dengan *welding neck* pada header, persyaratan tambahan dapat ditemukan di [5.5.2](#).

Ketebalan pelat ditentukan dengan rumus (10) atau (11) sesuai kebutuhan.

Pada pelat ujung dengan alur pelepas tekanan, pelepasan efektif sambungan las harus terjamin. Oleh karena itu, ketebalan dinding s_1 pada pelepas tekanan alur harus memenuhi persyaratan sebagai berikut, lihat [Gambar 7.17](#):

Untuk ujung pelat bundar: $s \leq 0,77 \cdot s_2$

Untuk ujung pelat persegi panjang: $s \leq 0,55 \cdot s_2$

Disini s_2 mewakili ketebalan dinding silindris atau header persegi panjang dalam [mm]. Selain itu, harus dipastikan bahwa gaya geser yang terjadi di penampang alur dapat diserap dengan aman.

Oleh karena itu pelat ujung bundar harus memenuhi rumus:

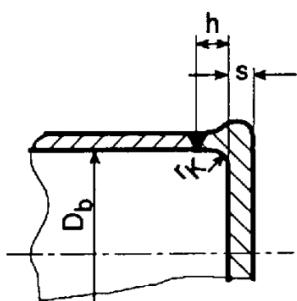
$$s_1 \geq \frac{p_c}{10} \cdot \left(\frac{D_b}{2} - r_k \right) \cdot \frac{1,3}{\sigma_{\text{perm}}} \quad (12)$$

Dan untuk pelat ujung persegi panjang:

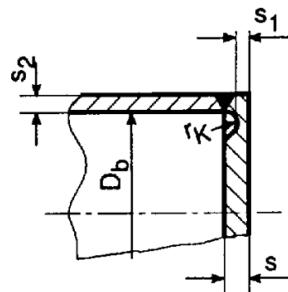
$$s_1 \geq \frac{p_c}{10} \cdot \frac{a \cdot b}{a+b} \cdot \frac{1,3}{\sigma_{\text{perm}}} \quad (13)$$

Radius r_k harus sekurang-kurangnya $0,2 \cdot s$ dan tidak kurang dari 5 mm. Ketebalan dinding s_1 harus sekurang-kurangnya 5 mm.

Jika pelat ujung dengan *welding neck* sesuai dengan [Gambar 7.16](#) atau [Gambar 7.17](#) dibuat dari pelat, area sambungan ke kulit harus diuji laminasinya, misalnya dengan ultrasonik.



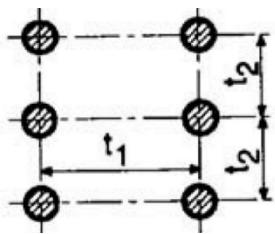
Gambar 7.16 Pelat ujung dengan *welding neck*



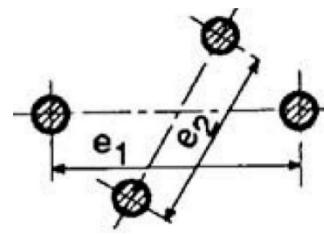
Gambar 7.17 Pelat ujung *welding neck* dengan alur pelepas

5.4 Perhitungan desain permukaan yang diperkuat

5.4.1 Untuk permukaan datar yang diperkuat secara seragam dengan baut penguat, penguat melingkar atau tabung penguat, lihat [Gambar 7.18](#).



Gambar 7.18 Pelat yang diperkuat secara seragam



Gambar 7.19 Pelat yang diperkuat secara tak seragam

Ketebalan dinding s yang dipersyaratkan dalam daerah yang diperkuat dihitung dengan rumus:

$$s = C \cdot \sqrt{\frac{p_c \cdot (t_1^2 + t_2^2)}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}}} \quad (14)$$

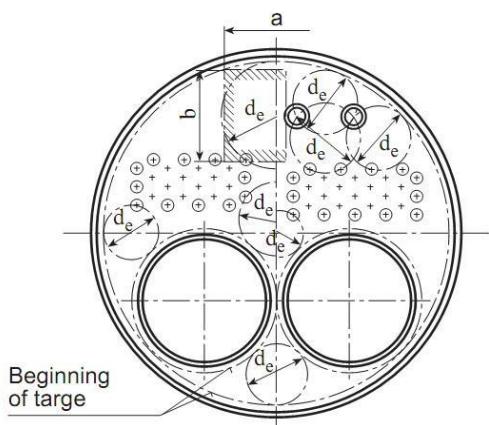
5.4.2 Untuk pelat datar yang diperkuat secara tidak seragam dengan baut penguat, penguat melingkar dan tabung penguat, lihat [Gambar 7.19](#).

Ketebalan dinding s yang dipersyaratkan dalam daerah yang diperkuat dihitung dengan rumus:

$$s = C \cdot \frac{e_1 + e_2}{2} \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}}} + c \quad (15)$$

5.4.3 Untuk pelat datar yang diperkuat dengan penguat *gusset*, pendukung (*support*) atau cara lain dan pelat datar antara susunan penguat dan tabung, lihat [Gambar 7.20](#).

Perhitungan desain harus didasarkan pada diameter lingkaran d_e , atau panjang sisi yang lebih pendek b dari persegi panjang yang dapat ditentukan didalam area bebas tanpa penegar, posisi yang paling tidak menguntungkan dari sudut pandang tegangan menjadi penentu pada setiap kasus.



Gambar 7.20 Pelat datar yang diperkuat

Ketebalan dinding s yang dipersyaratkan dihitung dengan rumus:

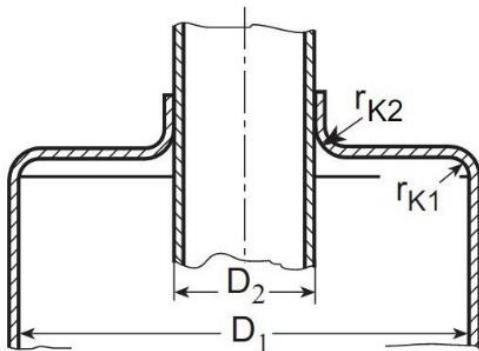
$$s = C \cdot d_e \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}}} + c \quad (16)$$

atau

$$s = C \cdot b \cdot y \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}} + c} \quad (17)$$

Nilai yang digunakan adalah nilai terbesar di antara hasil perhitungan menggunakan rumus di atas.

5.4.4 Pelat datar berbentuk lingkaran dengan penguatan *longitudinal* pusat, lihat [Gambar 7.21](#).



Gambar 7.21 Pelat datar annular dengan penguatan *longitudinal* pusat

Ketebalan dinding s yang dipersyaratkan dihitung dengan rumus:

$$s = 0,25 \cdot (D_1 \cdot D_2 \cdot r_{K1} \cdot r_{K2}) \cdot \sqrt{\frac{p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}}} + c} \quad (18)$$

5.5 Persyaratan untuk flensa

5.5.1 Penerapan rumus di atas untuk pelat ujung berflensa dan flensa sebagai sarana penguatan dipengaruhi oleh ketentuan bahwa jari-jari sudut flensa harus memiliki nilai minimal berikut dalam kaitannya dengan diameter luar pelat ujung (lihat [Tabel 7.9](#)).

Sebagai tambahan, jari-jari flensa r_K ([Gambar 7.11, 7.20 dan 7.21](#)) harus sama dengan sekurang-kurangnya 1,3 kali tebal dinding.

5.5.2 Pada pelat ujung dengan *welding neck* tanpa alur pelepas tekanan untuk header, jari-jari flensa harus $r_K \geq 1/3 \cdot s$, dengan nilai minimal 8 mm, dan kedalaman bagian dalam pelat ujung adalah $h \geq s$, s adalah ketebalan untuk pelat ujung dengan bukaan yang disamakan dengan ketebalan pelat ujung tanpa bukaan dengan dimensi yang sama, lihat [Gambar 7.16](#).

Tabel 7.9 Jari-jari lengkungan minimum flensa

Diameter luar ujung pelat D_a [mm]	Radius sudut flensa r_K [mm]
$D_a \leq 500$	30
$500 < D_a \leq 1.400$	35
$1.400 < D_a \leq 1.600$	40
$1.600 < D_a \leq 1.900$	45
$D_a > 1.900$	50

5.6 Tekanan dan temperatur desain yang diijinkan

5.6.1 Tegangan yang diijinkan untuk permukaan datar tanpa pemanasan harus ditentukan sesuai dengan [1.4](#).

5.6.2 Untuk permukaan datar yang dipanaskan dengan radiasi, *flue* atau gas buang, temperatur desain harus ditetapkan sesuai dengan [Tabel 7.5](#). Dalam hal ini tegangan yang diijinkan ditentukan dengan $R_{eH,t}/2.0$

5.7 Koefisien rasio y

Koefisien rasio y memperhitungkan peningkatan tegangan, sebagaimana dibandingkan dengan pelat bundar, sebagai fungsi dari rasio sisi b/a pelat persegi panjang dan elips tanpa penguatan dan dari persegi panjang yang dapat ditentukan dalam permukaan daerah tanpa penguatan yang bebas dari pelat datar yang diperkuat, lihat [Tabel 7.10](#).

Tabel 7.10 Koefisien rasio y

Rasio	Rasio $b/a^1)$				
	1,0	0,75	0,5	0,25	$\leq 0,1$
Persegi panjang	1,10	1,26	1,40	1,52	1,56
Elips	1,00	1,15	1,30	----	----

¹⁾ Nilai antara harus diinterpolasi linier.

5.8 Koefisien perhitungan C

Koefisien perhitungan C mempertimbangkan tipe pendukung, koneksi tepi dan tipe penegar. Nilai C yang digunakan dalam perhitungan ditunjukkan pada [Tabel 7.11 atau 7.12](#).

Jika nilai C yang berlaku untuk bagian-bagian dari pelat berbeda-beda karena penggunaan berbagai jenis penegar menurut [Tabel 7.12](#), koefisien C ditentukan oleh rata-rata nilai koefisien yang dihitung untuk jenis penegar yang berbeda-beda.

Tabel 7.11 Nilai koefisien C untuk permukaan datar tanpa penguatan

Tipe pelat ujung atau penutup	C
Datar, ditempa dan pelat atau pelat ujung dengan ceruk yang dibentuk dengan mesin untuk header dan pelat ujung datar berflensa	
Pelat dengan selubung yang didukung dengan erat dan dibaut pada kelilingnya	0,35
Pelat datar yang dimasukkan dan dilas pada kedua sisi	
Pelat ujung dengan <i>welding neck</i> dan alur pelepas tekanan	0,40
Pelat yang didukung dengan longgar, seperti penutup lubang lalu orang; pada peralatan penutupan, disamping tekanan kerja, toleransi juga harus diberikan untuk gaya tambahan yang dapat diberikan ketika baut dikencangkan (pengencangan yang diizinkan dari baut atau baut didistribusikan pada area penutup).	0,45
Pelat datar yang dimasukkan dan dilas pada satu sisi	
Pelat yang dibaut pada kelilingnya dan dengan demikian mengalami momen <i>bending</i> tambahan sesuai dengan rasio: $D_e/Db = 1,0$	
$= 1,1$	0,45
$= 1,2$	0,50
$= 1,3$	0,55
Nilai antara harus diinterpolasi linier	0,60

Tabel 7.12 Nilai koefisien C untuk permukaan yang diperkuat

Tipe penegar dan/atau penguat	C
Kulit ketel, header atau dinding ruang bakar, pelat penguat atau luasan tabung	0,35
Baut penguat pada susunan dengan jarak pusat baut penguat maksimum 200 mm	0,40
Penguat dan tabung bundar diluar susunan tabung, terlepas dari apakah penguat dan tabung tersebut dilas, dibaut atau dikembangkan	0,45

5.9 Ligamen minimum dengan tabung yang dikembangkan

Lebar ligamen minimum tergantung pada teknik ekspansi yang digunakan. Penampang ligamen f antara dua lubang tabung untuk tabung yang dikembangkan sesuai dengan material adalah:

$$\text{baja} \quad f = 15 + 3,4 \cdot d_a \quad [\text{mm}^2]$$

$$\text{tembaga} \quad f = 25 + 9,5 \cdot d_a \quad [\text{mm}^2]$$

5.10 Ketebalan dinding minimum dan maksimum

5.10.1 Untuk tabung yang dikembangkan, ketebalan pelat minimum adalah 12 mm. Ketentuan terkait dengan perlindungan terhadap pencabutan tabung yang dikembangkan, lihat 6.3.2.

5.10.2 Ketebalan dinding pelat ujung datar tidak boleh melebihi 30 mm pada bagian yang dipanaskan dengan radiasi.

5.11 Penguatan bukaan

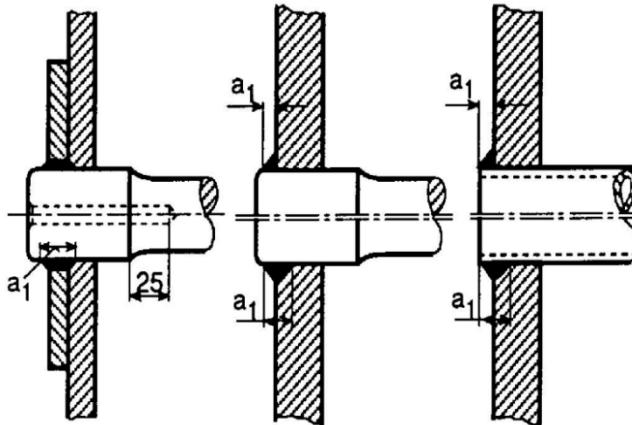
Ketika menghitung ketebalan, toleransi khusus harus dipertimbangkan untuk pelubangan-pelubangan, cabang-cabang, dan lain-lain pada permukaan datar yang menyebabkan pelemahan pelat yang tidak semestinya.

Dimensi dari permukaan datar dengan pelubangan harus dihitung mengikuti Standard yang diakui oleh BKI, misalnya EN 12953 atau yang setara.

6. Penguat, tabung penguat dan baut penguat

6.1 Ruang lingkup

Persyaratan berikut berlaku untuk penguat longitudinal, penguat *gusset*, tabung penguat, baut penguat dan penegar girder baja atau tembaga dan dipengaruhi oleh persyaratan yang ditetapkan dalam 5.



Gambar. 7.22

Gambar. 7.23

Gambar. 7.24

Parameter untuk pengelasan penguat, tabung penguat, dan baut penguat.

6.2 Simbol

p_c	= tekanan desain [bar]
F	= beban pada penguat, tabung penguat atau baut penguat [N]
A_1	= daerah penampang hasil perhitungan yang dipersyaratkan dari penguat, tabung penguat dan baut penguat [mm^2]
A_2	= daerah yang ditumpu dari tabung yang dikembangkan [mm^2]
A_p	= daerah pelat yang ditumpu oleh satu penguat, baut penguat atau tabung penguat [mm^2]
d_a	= diameter luar penguat, baut tabung penguat atau baut penguat [mm]
d_i	= diameter dalam tabung penguat [mm]
l_o	= panjang bagian tabung yang dikembangkan [mm]
a_1	= tinggi las dalam arah beban [mm]
σ_{perm}	= tegangan yang diijinkan [N/mm^2]

6.3 Perhitungan

Tindakan penguatan bagian ketel lainnya dapat dipertimbangkan ketika menghitung ukuran penguat, tabung penguat dan baut penguat. Untuk pelat ujung datar, beban hingga setengah jarak dapat diasumsikan ditumpu oleh kulit ketel yang berbatasan langsung.

Jika daerah batas pelat ujung berflensa menjadi perhatian, perhitungan area pelat (A_p) harus didasarkan pada permukaan datar yang memanjang ke permulaan flensa pelat ujung.

6.3.1 Untuk penguat longitudinal, tabung penguat atau baut penguat, area penampang yang diperlukan dihitung dengan rumus:

$$A_1 = \frac{F}{\sigma_{\text{perm}}} \quad (19)$$

6.3.2 Jika tabung yang dikembangkan digunakan, margin keamanan tambahan yang cukup harus diterapkan untuk mencegah tabung tertarik keluar dari pelat tabung. Margin keamanan tersebut dianggap tercapai jika beban yang diizinkan pada daerah pendukung tidak melebihi nilai yang ditentukan dalam [Tabel 7.13](#).

Untuk tujuan perhitungan, luas daerah pendukung dihitung dengan rumus:

$$A_2 = (d_a - d_i) \cdot \ell_o$$

Dengan nilai maksimum:

$$A_2 = 0,1 \cdot d_a \cdot \ell_o$$

Tabel 7.13 Pembebanan koneksi tabung yang dikembangkan

Tipe koneksi yang dikembangkan	Beban yang diijinkan pada daerah pendukung [N/mm ²]
Polos	$\frac{F}{A_2} \leq 150$
Dengan alur	$\frac{F}{A_2} \leq 300$
Dengan flensa	$\frac{F}{A_2} \leq 400$

Untuk menghitung luas area pendukung, panjang bagian tabung yang dikembangkan (ℓ_o) tidak boleh melebihi 40 mm.

6.3.3 Jika penguat, tabung penguat atau baut penguat dilas, penampang dari las yang mengalami geseran harus sekurang-kurangnya 1,25 kali penampang baut atau tabung penguat yang dipersyaratkan:

$$d_a \cdot \pi \cdot a_1 \geq 1,25 \cdot A_1 \quad (20)$$

6.3.4 Bentuk dan perhitungan penguat *gusset* harus dilakukan mengikuti Standard yang diakui oleh BKI, misalnya EN 12953-3 atau yang setara, tetapi tegangan yang diijinkan dan bagian yang berdekatan harus dihitung menurut [B.](#) dan [D.](#)

6.4 Tegangan yang diijinkan

Tegangan yang diijinkan harus ditentukan sesuai dengan [1.4.1](#). Jika terjadi penyimpangan dari aturan ini, nilai $\frac{R_{eH,t}}{1,8}$ harus diterapkan di daerah las pada penguat, tabung penguat dan baut penguat yang terbuat dari baja digulung dan ditempa.

6.5 Toleransi untuk ketebalan dinding

Untuk perhitungan penampang penguat, tabung penguat dan baut penguat yang diperlukan berdasarkan rumus (19) toleransi korosi dan keausan harus dipertimbangkan.

7. Ketel dan tabung pemanas lanjut

7.1 Ruang lingkup

Perhitungan desain berlaku untuk tabung yang mengalami tekanan internal dan, diameter luar hingga 200 mm, juga untuk tabung yang mengalami tekanan eksternal.

7.2 Simbol

p_c	=	tekanan desain [bar]
s	=	ketebalan dinding [mm]
d_a	=	diameter luar tabung [mm]
σ_{perm}	=	tegangan yang diijinkan [N/mm^2]
v	=	rating kualitas las tabung yang dilas longitudinal

7.3 Perhitungan ketebalan dinding

Ketebalan dinding yang diperlukan s dihitung dengan rumus:

$$s = \frac{d_a \cdot p_c}{20 \cdot \sigma_{perm} \cdot v + p_c} \quad (21)$$

7.4 Temperatur desain t

Temperatur desain harus ditentukan sesuai dengan berdasarkan [1.3](#).

Dalam kasus ketel *once through forced flow*, perhitungan ketebalan dinding tabung harus berdasarkan temperatur maksimum media yang diharapkan mengalir melalui masing-masing bagian utama ketel pada kondisi operasi ditambah toleransi temperatur tambahan yang diperlukan.

7.5 Tegangan yang diijinkan

Tegangan yang diijinkan harus ditentukan berdasarkan [1.4.1](#).

Untuk tabung yang mengalami tekanan eksternal, nilai $\frac{R_{EH,t}}{2,0}$ harus diterapkan.

7.6 Faktor pengelasan v

Untuk tabung yang dilas longitudinal, nilai v yang diterapkan harus sesuai dengan uji persetujuan.

7.7 Toleransi ketebalan dinding

Pada tabung yang mengalami gangguan mekanis atau kimia yang cukup parah, toleransi ketebalan dinding yang tepat harus disepakati dan akan ditambahkan ke ketebalan dinding hasil perhitungan dengan menggunakan rumus (21). Nilai toleransi berupa pengurangan yang diperbolehkan pada ketebalan dinding (lihat [1.1.2](#)) hanya perlu dipertimbangkan untuk tabung yang mempunyai diameter luar melebihi 76,1 mm.

7.8 Ketebalan dinding maksimum tabung ketel

Ketebalan dinding tabung ketel yang dipanaskan secara intens (misalnya ketika temperatur gas pemanas melebihi $800^\circ C$) tidak boleh lebih besar dari 6,3 mm. Persyaratan ini dapat ditiadakan dalam kasus khusus, misalnya untuk tabung pendukung pemanas lanjut.

8. Tabung persegi panjang polos dan *sectional header*

8.1 Simbol

p_c	=	Tekanan desain [bar]
s	=	ketebalan dinding [mm]
$2 \cdot m$	=	lebar bersih dari tabung persegi panjang paralel dengan dinding yang dimaksud [mm]
$2 \cdot n$	=	lebar bersih dari tabung persegi panjang tegak lurus ke dinding yang dimaksud [mm]
Z	=	koefisien berdasarkan rumus (23) [mm^2]
a	=	jarak yang relevan pada lubang dari pusat ke sisi (lihat gambar 7.25) [mm]
t	=	pitch lubang [mm]
d	=	diameter lubang [mm]
v	=	faktor pelemahan untuk deretan lubang dibawah tegangan tarik
v'	=	faktor pelemahan untuk deretan lubang dibawah tegangan bending
r	=	radius dalam pada sudut-sudut [mm]
σ_{perm}	=	tekanan yang diijinkan [N/mm^2]

8.2 Perhitungan

8.2.1 Ketebalan dinding harus dihitung untuk pusat sisi dan untuk ligamen antara lubang. Ketebalan dinding maksimum hasil perhitungan akan digunakan sebagai ketebalan dinding keseluruhan tabung persegi panjang.

Metode perhitungan berikut didasarkan pada asumsi bahwa sambungan koneksi tabung telah dipasang dengan benar, sehingga dinding telah ditegarkan dengan memadai.

8.2.2 Ketebalan dinding yang dipersyaratkan didapat dengan menggunakan rumus:

$$s = \frac{p_c \cdot n}{20 \cdot \sigma_{\text{perm}} \cdot v} + \sqrt{\frac{4,5 \cdot Z \cdot p_c}{10 \cdot \sigma_{\text{perm}} \cdot v^1}} \quad (22)$$

Jika ada beberapa deretan lubang yang berbeda-beda, ketebalan dinding yang diperlukan harus ditentukan untuk setiap deret.

8.2.3 Z dihitung dengan menerapkan rumus:

$$Z = \left| \frac{1}{3} \cdot \frac{m^3 + n^3}{m+n} - \frac{1}{2} \cdot (m^2 - a^2) \right| \quad (23)$$

8.3 Faktor pelemahan v

8.3.1 Jika hanya ada satu deret lubang, atau jika ada beberapa deret paralel dengan lubang yang segaris dalam hubungannya satu sama lain, faktor pelemahan v dan v' harus ditentukan sebagai berikut:

$$v = \frac{t-d}{t}$$

$$v^1 = v = \frac{t-d}{t} \quad \text{untuk lubang dengan } d < 0,6 \text{ m}$$

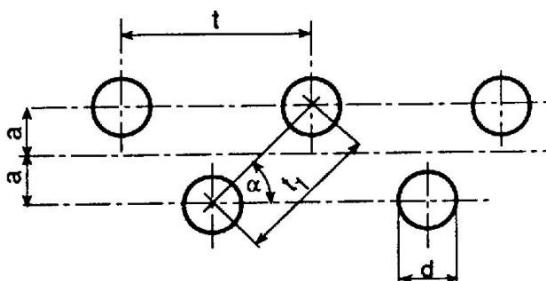
$$v^1 = \frac{t-0,6 \cdot m}{t} \quad \text{untuk lubang dengan } d \geq 0,6 \text{ m}$$

8.3.2 Untuk menentukan nilai-nilai v dan v' untuk lubang elips, d harus diambil sebagai lebar bersih dari lubang pada arah longitudinal dari tabung persegi panjang. Namun, untuk tujuan menentukan rumus yang akan digunakan untuk menghitung v' , nilai d dalam persyaratan $d < 0,6$ m dan $d \geq 0,6$ m adalah diameter dalam lubang yang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal.

8.3.3 Dalam menghitung faktor pelemahan untuk deret lubang yang diagonal, t dalam rumus harus diganti dengan t_1 untuk ligamen miring ([Gambar 7.25](#)).

8.3.4 Untuk ligamen miring, Z dihitung dengan menerapkan rumus:

$$Z = \left| \frac{1}{3} \cdot \frac{m^3 + n^3}{m+n} - \frac{1}{2} \cdot (m^2 - a^2) \right| \cdot \cos \alpha$$



Gambar 7.25 Panjang ligamen untuk deret bertumpuk dari lubang

8.4 Tegangan pada sudut

Untuk menghindari tegangan yang tidak semestinya pada bagian sudut, kondisi berikut ini harus dipenuhi:

$r \geq 1/2$, dengan nilai minimal:

- 3 mm untuk tabung persegi panjang dengan lebar bersih sampai dengan 50 mm.
- 8 mm untuk tabung persegi panjang dengan lebar bersih 80 mm atau lebih.

Nilai antara harus di interpolasi linier. Jari-jari harus menggunakan nilai rata-rata dari ketebalan dinding nominal pada kedua sisi sudut. Ketebalan dinding di sudut-sudut tidak boleh kurang dari ketebalan dinding yang ditentukan dengan rumus (22).

8.5 Ketebalan dinding minimum dan lebar ligamen

8.5.1 Ketebalan dinding minimum untuk tabung yang dikembangkan harus sebesar 14 mm.

8.5.2 Lebar sebuah ligamen antara dua bukaan atau lubang tabung tidak boleh kurang dari 1/4 dari jarak antara pusat-pusat tabung.

9. Tali dan girder

9.1 Ruang lingkup

Persyaratan berikut berlaku untuk girder baja yang digunakan untuk penegaran pelat datar.

9.2 Umum

Girder pendukung harus dilas dengan tepat ke ruang pembakaran secara kontinyu. Girder-girder tersebut harus diatur sedemikian rupa sehingga lasan dapat dilakukan dengan kompeten dan sirkulasi air tidak terhalang.

9.3 Simbol

p_c = Tekanan desain [bar]

F = Beban yang ditahan oleh salah satu girder [N]

e = Jarak antara garis pusat girder [mm]

l = Panjang bebas antara girder pendukung [mm]

b = Ketebalan girder [mm]

h = Ketinggian girder [mm]

W = Section modulus sebuah girder [mm^3]

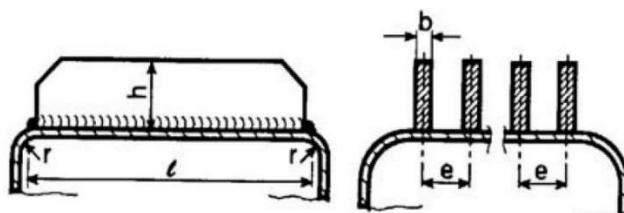
M = Momen bending yang bekerja pada girder pada beban tertentu [Nmm]

z = Koefisien untuk section modulus

σ_{perm} = Tegangan yang diijinkan (lihat 1.4) [N/mm²]

9.4 Perhitungan

9.4.1 Girder yang tidak ditumpu yang ditunjukkan pada [Gambar 7.26](#) harus diperlakukan sebagai balok yang ditumpu sederhana dengan panjang l . Tumpuan yang diberikan oleh material plat juga dapat dipertimbangkan.



Gambar 7.26 Girder yang tidak ditumpu

9.4.2 Section modulus yang dipersyaratkan untuk ceiling girder dihitung dengan rumus:

$$W = \frac{M_{\max}}{1,3 \cdot \sigma_{\text{perm}} \cdot Z} \leq \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (24)$$

Koefisien Z untuk section modulus memperhitungkan peningkatan section modulus karena pelat datar menjadi bagian dari pelat *ceiling*. Hal ini secara umum berarti $Z = 5/3$.

Untuk tinggi h , digunakan nilai yang tidak melebihi $8 \cdot b$ dalam rumus.

9.4.3 Momen bending maksimum dihitung dengan rumus:

$$M_{\max} = \frac{F \cdot I}{8} \quad (25)$$

dimana

$$F = \frac{p_c \cdot l \cdot e}{10} \quad (26)$$

10. Baut

10.1 Ruang lingkup

Persyaratan berikut berhubungan dengan baut-baut, yang sebagai elemen penghubung transmisi kekuatan, mengalami tegangan tarik karena tekanan internal. Baut-baut ini diasumsikan berada pada kondisi operasi normal.

10.2 Umum

Jika flensa pipa standar digunakan, persyaratan kekuatan untuk flensa dianggap terpenuhi jika flensa tersebut sesuai dengan standar yang diakui oleh BKI, misalnya EN 1092-1 atau yang setara dan sesuai dengan spesifikasi yang terkandung di dalamnya dalam hal material yang digunakan. Tekanan kerja dan temperatur servis maksimum yang diperbolehkan dan material dari sekrup-sekrup telah dipilih sesuai dengan EN 1515-1 dan EN 1515-2.

Baut dengan diameter batang kurang dari 10 mm tidak diperbolehkan.

Baut tidak boleh berada di jalur gas-gas pemanas.

Sekurang-kurangnya 4 baut harus digunakan untuk membentuk sambungan.

Untuk mendapatkan gaya penyegelan yang kecil, bahan penyegelan harus dibuat seketat mungkin.

Baut necked-down harus digunakan untuk koneksi elastis yang menggunakan baut, terutama dimana baut mendapat tegangan tinggi (*highly stressed*), atau terpapar temperatur servis lebih dari 300 °C, atau harus menahan tekanan internal > 40 bar.

Semua baut > ukuran metrik M 30 harus berupa baut necked-down.

Baut *necked-down* adalah baut dengan diameter batang tidak berulir $d_s = 0,9 \cdot d_k$. Koneksi dengan baut *necked-down* harus dirancang sesuai dengan standar yang diakui oleh BKI, misalnya DIN 2510 atau yang setara. Dalam perhitungan, toleransi khusus harus dibuat untuk diameter batang tidak berulir $< 0,9 \cdot d_k$.

10.3 Simbol

p_c = tekanan desain [bar]

p' = tekanan uji [bar]

F_s = total beban pada koneksi baut dalam servis [N]

F'_s = total beban pada koneksi baut pada tekanan uji [N]

F_{so} = total beban pada koneksi baut dalam kondisi dirakit tanpa tekanan [N]

- F_B = beban yang dikenakan pada koneksi baut oleh tekanan kerja [N]
 F_D = gaya untuk menutup segel dalam kondisi servis [N]
 F_{Do} = gaya untuk menutup segel dalam kondisi dirakit [N]
 F_Z = gaya tambahan karena kondisi dibebani pada pipa yang terhubung [N]
 D_b = diameter penyegelan atau diameter *pitch circle* baut [mm]
 d_i = diameter dalam pipa yang terhubung [mm]
 d_s = diameter batang tidak berulir dari baut necked-down [mm]
 d_k = diameter dasar ulir [mm]
 n = jumlah baut pembentuk koneksi
 σ_{perm} = tegangan yang diijinkan [N/mm²]
 ϕ = koefisien permukaan akhir (*surface finish coefficient*)
 c = toleransi tambahan [mm]
 k_1 = faktor penyegelan untuk kondisi servis [mm]
 k_o = faktor penyegelan untuk kondisi dirakit [mm]
 K_D = faktor deformasi bahan penyegelan [N/mm²]

10.4 Perhitungan

10.4.1 Sambungan yang dibaut harus dirancang untuk kondisi beban berikut:

- Kondisi servis (tekanan desain p_c dan temperatur desain t),
- Beban pada tekanan uji (tekanan uji p' , $t = 20^\circ\text{C}$) dan
- Kondisi dirakit pada tekanan nol ($p = 0$ bar, $t = 20^\circ\text{C}$).

10.4.2 Diameter dasar ulir yang diperlukan dari sebuah baut dalam sambungan yang terdiri dari n baut didapatkan dengan rumus:

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot F_s}{\pi \cdot \sigma_{perm} \cdot \phi \cdot n}} + c \quad (27)$$

10.4.3 Total beban pada sambungan dibaut harus dihitung sebagai berikut:

untuk kondisi servis

$$F_S = F_B + F_D + F_Z \quad (28)$$

$$F_B = \frac{D_b^2 \cdot \pi \cdot p_c}{4} \cdot \frac{10}{10} \quad (29)$$

$$F_D = D_b \cdot \pi \cdot k_1 \cdot \frac{p_c}{10} \cdot 1,2 \quad (30)$$

(Ketika susunan baut menyimpang secara signifikan dari bentuk melingkar, toleransi harus diberikan untuk tegangan khusus yang terjadi)

Gaya tambahan F_z harus dihitung karena kondisi beban pipa yang terhubung. F_z bernilai 0 pada sambungan baut tanpa pipa yang terhubung. Jika pipa penghubung dipasang dengan cara normal dan temperatur servis < 400 °C, pendekatan nilai F_z dapat ditentukan dengan menerapkan rumus:

$$F_z \approx \frac{d_i^2 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{p_c}{10}$$

untuk tekanan uji:

$$F'_s = \frac{p_p}{p_c} \cdot \left(F_B + \frac{F_D}{1,2} \right) + F_z \quad (31)$$

Untuk menghitung diameter dasar ulir, F_s harus diganti dengan F'_s dalam rumus (27).

untuk tekanan nol, kondisi dirakit:

$$F_{so} = F_{do} + F_z \quad (32)$$

$$F_{do} + D_b \cdot \pi \cdot k_0 \cdot K_D \quad (33)$$

Untuk menghitung diameter dasar ulir, F_s harus diganti dengan F_{so} dalam rumus (27).

Pada tekanan nol, kondisi dirakit, gaya F_{do} harus diberikan pada baut selama perakitan untuk menghasilkan penggabungan dengan bahan sambungan dan untuk menutup jarak di permukaan berflensa.

Jika gaya yang bekerja pada perakitan $F_{do} > F_s$, nilai ini dapat digantikan oleh nilai berikut jika menggunakan bahan sambungan *malleable* dengan atau tanpa unsur logam:

$$F'_{do} = 0,2 \cdot F_{do} + 0,8 \cdot \sqrt{F_s \cdot F_{do}} \quad (34)$$

Faktor k_o , k_1 dan K_D bergantung pada tipe, desain dan bentuk sambungan dan jenis cairan. Nilai-nilai yang relevan ditunjukkan pada [Tabel 7.16](#) dan [7.17](#).

10.4.4 Desain baut harus didasarkan pada diameter dasar ulir terbesar yang ditentukan berdasarkan tiga kondisi beban yang ditentukan dalam [10.4.1 a\)](#) sampai [10.4.1 c\)](#).

10.5 Temperatur desain t

Temperatur desain baut bergantung pada tipe sambungan dan isolasi. Jika tidak ada bukti khusus untuk temperatur, temperatur desain berikut harus diterapkan:

- flensa longgar + flensa longgar temperatur uap – 30 °C
- flensa tetap + flensa longgar temperatur uap – 25 °C
- flensa tetap + flensa tetap temperatur uap -15 °C

Pengurangan temperatur memungkinkan penurunan temperatur pada koneksi yang terinsulasi dan dibaut. Untuk sambungan dibaut tak terinsulasi, pengurangan temperatur lebih lanjut tidak diizinkan karena tegangan termal lebih tinggi yang dikenakan pada seluruh sambungan baut.

10.6 Tegangan yang diijinkan

Nilai-nilai tegangan yang diijinkan σ_{perm} ditunjukkan pada [Tabel 7.14](#).

10.7 Koefisien kualitas ϕ

10.7.1 Baut-baut batang penuh dipersyaratkan memiliki permukaan akhir minimal kelas mg menurut DIN EN ISO 898. Baut necked-down harus dibubut seluruhnya.

10.7.2 Pada *plane-parallel bearing surface* dibubut, $\phi = 0,75$. Jika *bearing surface* dari bagian berpasangan dibubut, nilai $\phi = 1,0$ dapat digunakan. *Bearing surface* yang bukan merupakan *plane-parallel* (misalnya pada bagian sudut) tidak diizinkan.

Tabel 7.14 Tegangan yang diijinkan σ_{perm}

Kondisi	untuk baut necked-down	untuk baut batang penuh
Kondisi servis	$\frac{R_{eH}, t}{1,5}$	$\frac{R_{eH}, t}{1,6}$
Kondisi tekanan tes dan kondisi dirakit tekanan nol	$\frac{R_{eH}, 20^\circ}{1,1}$	$\frac{R_{eH}, 20^\circ}{1,2}$

10.8 Toleransi c

Toleransi c dapat dilihat pada [Tabel 7.15](#)

Tabel 7.15 Kelonggaran

Kondisi	c [mm]
Untuk kondisi servis: M 27 sampai dengan M 24 M 48 sampai dengan M 45 dan lebih	3 $5 - 0,1 \cdot d_k$ 1
Untuk tekanan uji	0
Untuk kondisi dirakit	0

E. Peralatan dan Instalasi

1. Umum

1.1 Persyaratan berikut berlaku untuk ketel uap yang tidak dimonitor secara terus-menerus dan langsung selama operasi.

1.2 Pada ketel uap yang dipantau secara terus-menerus dan langsung selama operasi, beberapa pengurangan terhadap persyaratan berikut dapat diizinkan, dengan tetap menjaga keselamatan operasional ketel tersebut.

1.3 Pada ketel uap yang memiliki volume air maksimum 150 liter, tekanan kerja maksimum 10 bar dan dimana perkalian volume air dan tekanan kerja maksimum kurang dari 500 [bar x liter], pengurangan dari persyaratan berikut dapat diizinkan.

1.4 Berkenaan dengan instalasi listrik dan peralatan, [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\)](#), dan [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#) juga harus ditaati.

Peralatan ketel uap harus cocok untuk digunakan pada ketel uap dan kapal

2. Katup pengaman

2.1 Setiap generator ketel uap yang memiliki ruang uap sendiri harus dilengkapi dengan setidaknya dua katup pengaman berpegas yang telah mendapatkan persetujuan tipe. Setidaknya satu katup pengaman harus diatur untuk merespon jika tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui.

Secara bersama-sama, katup pengaman harus mampu membuang uap sesuai jumlah maksimum yang dapat diproduksi oleh pembangkit uap selama operasi secara kontinyu tanpa menyebabkan tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui lebih dari 10%.

2.2 Setiap generator uap yang memiliki penyetop tapi tidak memiliki ruang uap sendiri harus memiliki sekurang-kurangnya satu katup pengaman berpegas yang telah mendapatkan persetujuan tipe yang terpasang di *outlet*-nya. Setidaknya satu katup pengaman harus diatur untuk merespon jika tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui. Katup pengaman harus dirancang sedemikian rupa sehingga jumlah maksimum uap yang dapat diproduksi oleh ketel uap selama operasi kontinyu dapat dibuang tanpa menyebabkan tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui lebih dari 10%.

2.2.1 Generator uap dengan ruang air luas yang dipanaskan dengan gas buang dan dapat ditutup yang memiliki permukaan pemanasan hingga 50 m² harus dilengkapi dengan satu katup pengaman berpegas yang cocok dengan dan telah mendapat persetujuan tipe, sedangkan generator uap dengan permukaan pemanas di atas 50 m² harus dilengkapi dengan setidaknya dua katup pengaman dengan ketentuan yang sama. Katup-katup pengaman harus didesain sedemikian rupa sehingga aktivasi katup-katup tersebut juga dijamin saat terdapat sedimen kompak antara pasak (*spindle*) dan bos (*bushing*). Jika tidak, katup harus didesain dengan cara sedemikian sehingga sedimen kompak dalam katup dan antara pasak dan bos dapat dihindari (misalnya katup bellow).

2.2.2 Jika ketel uap dengan ruang air luas yang dipanaskan dengan gas buang dan dapat ditutup tidak dilengkapi dengan katup pengaman sesuai dengan [2.2.1](#), cakram ledakan (*burst disc*) harus disediakan selain katup pengaman yang ada. Cakram ini harus menguras uap sesuai jumlah maksimum yang dihasilkan selama operasi kontinyu. Tekanan aktivasi dari cakram ledakan tidak boleh melebihi 1,25 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

2.3 Drum uap eksternal harus dilengkapi dengan setidaknya dua katup pengaman berpegas yang telah mendapat persetujuan tipe. Setidaknya satu katup pengaman harus diatur untuk merespon jika tekanan kerja yang diijinkan terlampaui. Secara bersama-sama, katup pengaman harus mampu membuang uap sesuai jumlah maksimum yang dapat diproduksi dalam operasi kontinyu dengan semua generator uap terhubung tanpa menyebabkan tekanan kerja maksimum drum uap yang diijinkan terlampaui lebih dari 10%.

2.4 Setiap generator air panas harus dilengkapi dengan setidaknya dua katup pengaman berpegas yang telah mendapat persetujuan tipe. Setidaknya satu katup pengaman harus diatur untuk merespon jika tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui.

Untuk ukuran katup pengaman, pembuangan uap pada kondisi uap jenuh yang sesuai dengan tekanan yang ditetapkan dari katup pengaman seharusnya juga untuk katup pengaman yang biasanya dibawah tekanan air. Secara bersama-sama, katup pengaman harus mampu membuang uap sesuai jumlah maksimum berdasarkan daya pemanas yang diijinkan dari generator air panas selama operasi kontinyu tanpa menyebabkan tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui lebih dari 10%.

2.5 Tekanan penutupan katup pengaman tidak boleh lebih dari 10% dibawah tekanan respon.

2.6 Diameter minimum aliran dari katup pengaman harus sekurang-kurangnya 15 mm.

2.7 Katup pengaman yang dikendalikan dengan servo diizinkan asalkan dapat dioperasikan dengan handal tanpa sumber energi eksternal.

2.8 Katup pengaman harus dipasang pada bagian uap jenuh atau pada ketel uap yang tidak memiliki ruang uap sendiri, dipasang pada titik tertinggi dari ketel atau langsung di sekitarnya. Pada generator air panas, katup pengaman juga dapat dipasang di jalur buangan langsung di sekitar generator. Pada generator air panas *once-through* katup pengaman harus dipasang langsung di sekitar koneksi dari jalur buang ke generator.

2.9 Pada generator uap yang dilengkapi dengan pemanas lanjut tanpa kemampuan untuk tertutup, satu katup pengaman harus berada di bagian pembuangan dari pemanas lanjut. Katup pengaman pada bagian pembuangan dari pemanas lanjut harus dirancang untuk sekurang-kurangnya mempunyai kapasitas 25% dari kapasitas buang yang diperlukan.

Pemanas lanjut dengan kemampuan untuk tertutup harus dilengkapi dengan setidaknya satu katup pengaman yang dirancang untuk kapasitas uap penuh pemanas lanjut.

Ketika merancang kapasitas katup pengaman, toleransi harus dibuat terkait peningkatan volume uap yang disebabkan oleh pemanasan lanjut.

- 2.10** Uap tidak boleh dipasok ke katup pengaman melalui pipa dimana air dapat terkumpul.
- 2.11** Katup pengaman harus mudah diakses dan dapat dibuka dengan aman selama operasi.
- 2.12** Katup pengaman harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak mungkin terjadi pengaitan atau kemacetan dari bagian yang bergerak bahkan ketika dipanaskan sampai ke temperatur yang berbeda. Segel yang dapat mencegah operasi katup pengaman karena gaya gesek tidak diizinkan.
- 2.13** Katup pengaman harus diatur sedemikian rupa untuk mencegah perubahan yang tidak diizinkan.
- 2.14** Pipa-pipa atau rumah-rumah katup harus memiliki fasilitas pembuangan yang dipasang pada titik terendah pada buang samping (*blow-offside*) yang tidak memiliki kemampuan tertutup.
- 2.15** Jalur pembuangan kombinasi dari beberapa katup pengaman tidak boleh mengganggu kemampuan pembuangan. Media pelepasan harus terkuras habis dengan aman.

3. Indikator level air

3.1 Generator uap yang memiliki ruang uap sendiri harus dilengkapi dengan dua perangkat yang memungkinkan pembacaan langsung level air.

3.2 Generator uap yang memiliki ruang uap sendiri yang dipanaskan oleh gas buang dan dimana temperatur tidak melebihi 400 °C, harus dilengkapi dengan setidaknya satu perangkat yang memungkinkan pembacaan langsung level air.

3.3 Drum uap eksternal dari generator uap yang tidak memiliki ruang uap sendiri harus dilengkapi dengan dua perangkat yang menyediakan pembacaan langsung dari permukaan air.

3.4 Sebagai pengganti indikator level air, ketel *once-through forced flow* harus dilengkapi dengan dua perangkat saling independen yang memicu alarm segera saat kekurangan aliran air terdeteksi. Alat otomatis yang mematikan pembakar minyak dapat disediakan sebagai pengganti perangkat peringatan kedua.

3.5 Generator air panas harus dilengkapi dengan kran uji di titik tertinggi dari generator atau dekat di sekitarnya.

3.5.1 Sebagai tambahan, indikator level air harus disediakan. Indikator level air ini harus berada pada generator air panas atau pada jalur pembuangan.

3.5.2 Indikator level air di generator ini dapat ditiadakan pada sistem penghasil air panas dengan bejana ekspansi membran (membrane expansion vessel) jika pembatas tekanan rendah dipasang (di bejana ekspansi membran atau dalam) yang terpicu saat level air turun dibawah level air terendah yang ditentukan pada bejana ekspansi membran.

3.5.3 Sebuah pembatas aliran rendah harus dipasang pada generator air panas sekali jalan (once-through), bukan indikator level air (lihat 8.8.5).

3.6 Alat pengukur ketinggian air silindris yang terbuat dari kaca tidak diizinkan.

3.7 Indikator level air harus dipasang sehingga pembacaan permukaan air dimungkinkan ketika kapal tersebut mengalami gerakan mengangguk dan selama pergerakan kapal saat berada di laut. Batas bawah untuk jangkauan visual harus sekurang-kurangnya 30 mm di atas *highest flue*, tapi setidaknya 30 mm dibawah permukaan air terendah. Level air terendah tidak boleh berada di atas pusat jangkauan visual. Indikator level air harus diterangi dan terlihat dari ruang kontrol ketel dan juga dari ruangan untuk mengontrol level air.

3.8 Pipa-pipa sambungan antara generator uap dan indikator level air harus memiliki diameter dalam minimal 20 mm. Pipa-pipa tersebut harus dipasang sedemikian rupa sehingga tidak ada lengkungan tajam untuk mencegah air dan uap terperangkap, dan harus dilindungi dari efek gas yang dipanaskan dan juga terhadap pendinginan.

Ketika indikator level air dihubungkan menggunakan jalur koneksi umum atau dimana pipa sambungan pada sisi air lebih panjang dari 750 mm, pipa sambungan pada sisi air harus memiliki diameter dalam minimal 40 mm.

3.9 Indikator level air harus terhubung ke air dan ruang uap ketel menggunakan perangkat penutup dengan reaksi cepat yang mudah diakses dan dikontrol.

3.10 Perangkat yang digunakan untuk mengalirkan melalui indikator level air harus dirancang sedemikian rupa sehingga perangkat-perangkat tersebut aman untuk beroperasi dan buangan sisi dapat dipantau. Media pembuangan harus terkuras habis dengan aman.

3.11 Indikator level air jarak jauh dan peralatan tampilan dari jenis yang sesuai untuk memberikan pembacaan tak langsung dapat disetujui sebagai perangkat tampilan tambahan.

3.12 Kran dan katup indikator level air yang tidak dapat dicapai secara langsung menggunakan tangan dari pelat lantai atau platform kontrol harus memiliki fasilitas kontrol yang menggunakan batang tarik (*pull rod*) atau tarikan rantai (*chain pull*).

4. Indikator tekanan

4.1 Sekurang-kurangnya satu pengukur tekanan yang terhubung langsung ke ruang uap harus dipasang pada masing-masing ketel. Tekanan kerja maksimum yang diijinkan harus ditandai pada pembacaan dengan menggunakan tanda merah yang permanen dan mudah terlihat. Jangkauan pembacaan dari pengukur tekanan harus mencakup tekanan pengujian.

4.2 Sekurang-kurangnya satu indikator tekanan tambahan yang memiliki sensor independen terhadap pengukur tekanan harus ditempatkan di ruang kontrol mesin atau di beberapa tempat lain yang sesuai.

4.3 Jika beberapa ketel uap digunakan pada satu kapal dengan ruang uap yang dihubungkan bersama, satu pengukur tekanan yang ditempatkan di ruang kontrol mesin atau di beberapa lokasi lain yang sesuai sudah cukup memadai, sebagai tambahan dari alat pengukur tekanan pada setiap ketel.

4.4 Pipa ke pengukur tekanan harus memiliki perangkap air dan harus dari jenis pembuangan (*blow-off*). Koneksi untuk perangkat tes harus dipasang dekat pengukur tekanan. Pada alat pengukur tekanan

yang berada pada posisi yang lebih rendah, koneksi tes harus disediakan dekat dengan pengukur tekanan dan juga dekat dengan bagian sambungan pipa pengukur tekanan.

4.5 Alat pengukur tekanan harus dilindungi terhadap radiasi panas dan harus diberi pencahayaan yang baik.

5. Indikator temperatur

5.1 Indikator temperatur harus dipasang pada outlet *flue gas* dari ketel uap yang dijalankan.

5.2 Indikator temperatur harus dipasang pada inlet gas buang dan outlet ketel uap yang dipanaskan oleh gas buang.

5.3 Indikator temperatur harus dipasang di outlet dari pemanas lanjut atau bagian dari pemanas lanjut, pada inlet dan outlet dari attemporator, dan juga di outlet ketel *once-through forced flow*, jika hal ini diperlukan untuk menilai perilaku material yang digunakan.

5.4 Indikator temperatur harus dipasang di jalur pembuangan dan jalur kembali (*return line*) masing-masing generator air panas sedemikian rupa sehingga mereka menunjukkan temperatur outlet dan inlet yang sebenarnya.

5.5 Temperatur maksimum yang diijinkan harus ditandai pada indikator

6. Perangkat pengatur (Kontroler)

6.1 Dengan pengecualian untuk ketel yang dipanaskan dengan gas buang, ketel uap harus dioperasikan dengan pembakar minyak kontrol-cepat otomatis. Pada ketel utama, fasilitas kontrol harus mampu mengendalikan semua tingkat kecepatan dan manuver dengan aman sehingga tekanan uap dan temperatur uap panas lanjut tetap dalam batas aman dan pasokan air umpan terjamin. Ketel tambahan dipengaruhi oleh persyaratan yang sama dalam lingkup perubahan beban potensial.

6.2 Tekanan uap harus diatur secara otomatis dengan mengendalikan pasokan kalor. Tekanan uap ketel yang dipanaskan dengan gas buang juga dapat diatur dengan kondensasi uap lebih.

6.3 Dalam kasus generator uap yang memiliki level air minimum tertentu, level air harus diatur secara otomatis dengan mengendalikan pasokan air umpan.

6.4 Dalam kasus generator uap sirkulasi paksa (*forced-circulation*) yang permukaan pemanasnya terdiri dari kumparan uap dan generator uap *once-through forced flow*, pasokan air umpan dapat diatur sebagai fungsi dari pasokan bahan bakar.

6.5 Dalam kasus generator uap yang dilengkapi dengan pemanas lanjut, temperatur uap yang dipanaskan lanjut harus diatur secara otomatis kecuali temperatur terhitung lebih tinggi dari temperatur maksimum yang dicapai dinding pemanas lanjut.

6.6 Temperatur pembuangan masing-masing generator air panas harus diatur secara otomatis dengan mengendalikan pasokan kalor. Pengontrolan temperatur buang untuk generator air panas yang dipanaskan oleh gas buang juga dapat dilakukan menggunakan pendingin pembuangan (*dumping cooler*).

7. Perangkat pemantauan (Alarm)

7.1 Bukti kesesuaian transmpter alarm misalnya untuk tekanan, level air, temperatur dan aliran untuk penggunaan di ketel uap dan kapal-kapal harus ditunjukkan dengan pemeriksaan persetujuan tipe sesuai dengan persyaratan Peraturan BKI yang tercantum dalam [I.A.2.1](#).

7.2 Perangkat peringatan harus dipasang yang terpicu ketika level air maksimum yang ditentukan terlampaui.

7.3 Pada generator uap yang dipanaskan dengan gas buang, perangkat peringatan harus dipasang yang terpicu sebelum tekanan kerja maksimum yang diijinkan tercapai.

7.4 Pada generator uap yang dipanaskan dengan gas buang dengan level air minimum yang ditentukan, perangkat peringatan yang sesuai untuk tujuan ini harus dipasang yang terpicu ketika air turun dibawah level ini.

7.5 Ketel gas buang dengan tabung bersirip harus memiliki monitor temperatur yang dipasang pada pipa gas buang yang memicu alarm saat terjadi kebakaran.

7.6 Ketika ada kemungkinan minyak atau gemuk masuk ke sistem uap atau kondensat atau air panas, unit otomatis yang sesuai dan beroperasi kontinyu harus dipasang, yang akan memicu alarm dan menghentikan pasokan air umpan atau sirkulasi ketika minyak atau gemuk tersebut melebihi konsentrasi yang menimbulkan resiko terhadap operasi ketel. Perangkat kontrol pencegah masuknya minyak dan juga gemuk dapat ditiadakan untuk sistem sirkulasi ganda.

7.7 Ketika ada kemungkinan asam, alkali atau air laut masuk ke sistem uap, kondensat atau air panas, unit otomatis yang sesuai dan beroperasi kontinyu harus dipasang, yang memicu alarm dan menghentikan pasokan air umpan ketika asam, alkali atau air laut tersebut melampaui konsentrasi yang menimbulkan resiko terhadap operasi ketel beresiko. Perangkat kontrol pencegah masuknya minyak dan juga gemuk dapat ditiadakan untuk sistem sirkulasi ganda

7.8 Pengujian fungsi perangkat pemantauan harus dimungkinkan, bahkan selama operasi, jika derajat keselamatan yang setara tidak dicapai oleh pemantauan mandiri dari peralatan tersebut.

7.9 Perangkat pemantauan harus memicu peringatan kesalahan secara visual dan audio di panel kontrol ketel uap.

8. Perangkat keselamatan (Limiter)

8.1 Bukti kesesuaian *limiter* misalnya untuk tekanan, level air, temperatur dan aliran untuk penggunaan di ketel uap dan kapal-kapal harus ditunjukkan dengan pemeriksaan persetujuan tipe sesuai dengan persyaratan Peraturan BKI yang tercantum dalam [I.A.2.1](#).

8.2 Generator uap pembakaran harus dilengkapi dengan *limiter* tekanan yang menghentikan dan mengunci pembakar minyak jika tekanan kerja maksimum yang diijinkan tercapai.

8.3 Untuk generator uap dimana pada permukaan pemanasnya ditetapkan *highest flue*, dua *limiter* ketinggian air yang saling independen harus merespon dengan menghentikan dan mengunci sistem pembakaran ketika ketinggian air turun dibawah batas minimum yang ditentukan.

Limiter level air harus independen terhadap perangkat kontrol level air.

8.4 Bejana untuk *limiter* ketinggian air yang berada di luar ketel uap harus terhubung ke ketel dengan menggunakan jalur yang memiliki diameter dalam minimal 20 mm. Perangkat penutup pada jalur-jalur ini harus memiliki diameter nominal minimal 20 mm dan harus memiliki indikasi posisi terbuka atau tertutup. Ketika *limiter* ketinggian air terhubung dengan menggunakan jalur koneksi umum, pipa sambungan pada sisi air harus memiliki diameter dalam minimal 40 mm.

Operasi pembakar minyak harus dimungkinkan hanya bila perangkat penutup terbuka atau setelah penutupan perangkat penutup membuka kembali secara otomatis dan dengan cara yang andal.

Bejana limiter level air yang terletak di luar ketel harus dirancang sedemikian rupa sehingga buangan wajib dan periodik melalui bejana dan jalur dapat dilakukan.

8.5 Pada generator uap bersirkulasi paksa dengan level air terendah yang ditentukan, dua perangkat keselamatan yang saling independen harus dipasang sebagai tambahan selain pembatas ketinggian air sesuai ketentuan, yang akan menghentikan dan mengunci pembakar minyak pada saat terjadi pengurangan sirkulasi air yang tidak dapat diterima.

8.6 Pada generator uap sirkulasi paksa dimana permukaan pemanasnya terdiri dari *coil* tunggal dan generator uap once-through forced flow, dua perangkat keselamatan yang saling independen harus dipasang mengantikan pembatas level air untuk memberikan sarana yang pasti untuk mencegah pemanasan permukaan pemanas yang berlebihan dengan menghentikan dan mengunci pembakar minyak.

8.7 Pada ketel uap dengan pemanas lanjut, pembatas temperatur harus dipasang yang menghentikan dan mengunci sistem pemanas jika batas temperatur uap yang dipanaskan lanjut terlampaui. Pada bagian ketel yang membawa uap yang dipanaskan lanjut dan telah dirancang dengan nilai ketahanan jangka panjang, satu alat perekam temperature sudah cukup memadai.

8.8 Generator air panas harus dilengkapi dengan peralatan keselamatan berikut

8.8.1 Sebuah pembatas tekanan, yang mematikan dan mengunci pembakar minyak pada saat tekanan kerja maksimum yang diperbolehkan terlampaui (pembatas tekanan tinggi). Peralatan ini harus disediakan pada setiap generator air panas dengan bejana ekspansi membran. Pembatas tekanan ini harus ditetapkan untuk setiap perangkat khusus jika selain mematikan pembakar minyak, pompa sirkulasi harus juga dimatikan.

8.8.2 Sebuah pembatas tekanan, yang mematikan dan mengunci pembakar minyak apada saat tekanan sistem turun dibawah tekanan minimum yang terkait dengan sistem tersebut (pembatas tekanan rendah). Peralatan ini harus disediakan dalam sistem yang menghasilkan tekanan eksternal.

8.8.3 Sebuah pembatas level air, yang mematikan dan mengunci pembakar minyak dan pompa sirkulasi pada saat level air turun dibawah level terendah yang diijinkan. Peralatan ini harus disediakan pada generator air panas. Pembatas level air ini harus dipasang di generator air panas atau di jalur pembuangan.

Instalasi pembatas level air rendah dapat ditiadakan untuk sistem dengan bejana ekspansi membran jika pembatas tekanan rendah diatur sehingga terpicu pada saat level air di bejana ekspansi membran turun dibawah tingkat terendah yang ditentukan.

8.8.4 Pada generator air panas dengan sirkulasi alami, pembatas level air rendah harus diganti dengan pembatas aliran rendah jika pembatas temperatur atau pembatas level air rendah tidak bisa mematikan pembakar minyak secepat mungkin untuk mencegah penguapan yang tidak dapat diterima.

8.8.5 Pada generator air panas *once-through* pembatas aliran rendah harus dipasang sebagai pengganti pembatas level air rendah, yang mematikan dan mengunci pembakar minyak pada saat aliran air berkurang dibawah nilai terendah yang ditentukan.

8.8.6 Setiap generator air panas harus dilengkapi dengan pembatas temperatur. Tempat pemasangan sensor dari pembatas temperatur harus sedemikian rupa sehingga dalam setiap keadaan, temperatur tertinggi pada generator air panas akan terdeteksi pada semua kondisi operasi, bahkan ketika pompa sirkulasi dihentikan.

Immersion pipe harus disediakan dekat dengan sensor dari pembatas temperatur untuk memeriksa setelan temperatur.

8.9 Perangkat keselamatan harus memicu alarm visual dan suara di panel kontrol ketel uap.

8.10 Perangkat listrik yang terkait dengan pembatas harus dirancang sesuai dengan prinsip sirkuit tertutup sehingga, bahkan dalam hal kegagalan daya, pembatas akan menghentikan dan mengunci sistem kecuali derajat keselamatan yang setara dapat dicapai dengan cara lainnya.

8.11 Untuk mengurangi efek kondisi laut, pembatas level air dapat dilengkapi dengan fungsi tunda asalkan hal ini tidak menyebabkan penurunan yang berbahaya pada level air.

8.12 Penguncian elektrik dari pembakar minyak yang diakibatkan oleh pemicuan perangkat keselamatan hanya dapat dibatalkan di panel kontrol sistem pembakar minyak itu sendiri.

8.13 Jika derajat keamanan yang setara tidak dapat dicapai oleh peralatan pemantauan mandiri, pengujian fungsional dari perangkat keselamatan harus dapat dilakukan bahkan selama operasi. Dalam hal ini, pengujian operasional pembatas level air harus dimungkinkan tanpa menurunkan level air di bawah level air terendah.

8.14 Untuk rincian persyaratan tambahan yang berkaitan dengan aliran ketel uap once-through forced flow, lihat [3.4](#).

9. Perangkat umpan dan sirkulasi

9.1 Untuk rincian perangkat umpan dan sirkulasi ketel, lihat [Bab 11.F](#). Persyaratan berikut juga harus diperhatikan:

9.2 Perangkat umpan harus dipasang pada generator uap sedemikian rupa sehingga tidak dapat dikuras lebih rendah dari 50 mm di atas *highest flue* ketika *non-return valve* tidak kedap.

9.3 Air umpan harus dimasukkan ke pembangkit uap sedemikian rupa untuk mencegah efek merusak pada dinding ketel dan permukaan yang dipanaskan.

9.4 Perlakuan yang tepat dan pemantauan yang memadai dari air umpan dan ketel harus dilakukan.

9.5 Pada generator air panas jalur buang harus diatur pada titik tertinggi dari generator.

9.6 Pada jalur kembali air panas yang mengarah ke generator, *check-valve* harus dipasang. Valve ini dapat ditiadakan jika jalur kembali terhubung ke generator setidaknya 50 mm di atas *highest flue*.

10. Perangkat penyetop

10.1 Setiap ketel uap harus dimatikan dari semua pipa yang terhubung. Perangkat penyetop harus dipasang sedekat mungkin dengan dinding ketel dan dapat dioperasikan tanpa resiko.

10.2 Jika beberapa ketel yang memiliki tekanan kerja maksimum yang berbeda mengalirkan uap ke jalur umum, harus dipastikan bahwa tekanan kerja maksimum yang diijinkan pada masing-masing ketel tidak terlampaui.

10.3 Jika ada beberapa ketel yang dihubungkan oleh pipa dan perangkat penyetop umum untuk jalur uap, umpan dan pengeringan dilas ke ketel, untuk alasan keamanan saat ketel beroperasi, dua perangkat penyetop yang dipasang secara berurutan dan dilindungi dari operasi yang tidak semestinya masing-masing harus dilengkapi dengan perangkat ventilasi sela.

10.4 Untuk sistem yang terdiri dari ketel tanpa ruang uap sendiri, yang menggunakan ketel berbahan bakar minyak atau drum uap untuk pemisahan uap, perangkat penyetop di jalur sirkulasi harus disegel dalam posisi terbuka.

10.5 Perangkat penyetop dijalur buang dan kembali di generator air panas harus disegel dalam posisi terbuka

11. Perangkat pembersihan kotoran (*scum*), pembuangan lumpur, pengurasan dan pengambilan sampel

11.1 Ketel uap dan drum uap eksternal harus dilengkapi dengan perangkat untuk menguras dan menghilangkan lumpur. Jika diperlukan, ketel harus dilengkapi dengan perangkat pembersihan kotoran.

11.2 Perangkat penguras dan koneksinya harus dilindungi dari efek pemanasan gas dan mampu dioperasikan tanpa resiko. Katup pembuangan lumpur yang dapat tertutup sendiri harus dapat dikunci ketika ditutup atau sebagai alternatif, perangkat penutup tambahan harus dipasang dalam pipa.

11.3 Jika pembersihan kotoran, pembuangan lumpur atau saluran pembuangan dari beberapa ketel digabungkan, *non-return valve* harus dipasang di masing-masing jalur ketel.

11.4 Pembersihan kotoran, pembuangan lumpur, jalur pengurasan atau ventilasi, ditambah katup dan *fitting*, harus dirancang untuk memungkinkan tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari ketel.

11.5 Dengan pengecualian untuk generator uap *once-through forced flow*, perangkat untuk mengambil sampel dari air yang terkandung dalam generator uap harus dipasang pada generator.

11.6 Perangkat pembersihan kotoran, pembuangan lumpur, pengeringan dan pengambilan sampel harus mampu beroperasi dengan aman. Media yang dibuang harus terkuras habis dengan aman.

12. Pelat nama

12.1 Sebuah pelat nama harus secara permanen ditempelkan pada setiap ketel uap, menampilkan informasi berikut:

- nama dan alamat pabrik pembuat
- nomor seri dan tahun konstruksi
- tekanan kerja maksimum yang diijinkan [bar]
- produksi uap yang diijinkan [kg / h] atau [t / h] untuk generator uap
- temperatur maksimum yang diijinkan dari uap panas lanjut dalam °C asalkan generator uap dilengkapi dengan pemanas lanjut tanpa kemampuan berhenti
- temperatur buang maksimum yang diijinkan [°C] untuk generator air panas
- daya pemanas maksimum yang diijinkan [kW atau MW] untuk generator air panas

12.2 Pelat nama ini harus melekat secara permanen pada bagian terbesar dari ketel atau rangka ketel sehingga dapat terlihat.

13. Katup dan *fitting*

13.1 Material

Katup dan *fitting* untuk ketel harus terbuat dari bahan ulet sebagaimana ditentukan dalam [Tabel 7.1](#) dan semua komponennya harus mampu menahan beban yang dikenakan dalam operasi, terutama beban termal dan tegangan yang mungkin terjadi akibat getaran. Besi cor kelabu dapat digunakan dalam batas yang ditentukan dalam [Tabel 7.1](#), tetapi tidak boleh digunakan untuk katup dan fitting yang dikenai beban dinamis, misalnya katup pengaman dan katup *blow-off*.

Pengujian material untuk katup dan *fitting* harus dilakukan sebagaimana ditentukan dalam [Tabel 7.2](#).

13.2 Tipe Desain

Perhatian harus diberikan untuk memastikan bahwa bodi *shut-off gate valve* tidak dapat dikenakan tekanan terlalu tinggi akibat pemanasan air tertutup. Katup dengan *bonnet* dibaut harus dijaga untuk mencegah *bonnet* terlepas tanpa disengaja.

13.3 Uji tekanan dan kekedapan

13.3.1 Semua katup dan *fitting* harus dikenai uji tekanan hidrostatik pada 1,5 kali tekanan nominal sebelum mereka dipasang. Katup dan *fitting* yang tidak ditentukan tekanan nominalnya harus diuji pada dua kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan. Dalam hal ini, faktor keamanan sehubungan dengan nilai kekuatan luluh pada 20 °C tidak boleh turun dibawah 1,1.

13.3.2 Efisiensi penyegelan katup tertutup harus diuji pada tekanan nominal atau 1,1 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan, sebagaimana berlaku.

Katup dan fitting yang terbuat dari coran (*casting*) dan dikenai temperatur operasi lebih dari 300 °C harus menjalani salah satu uji kekedapan berikut:

- uji kekedapan dengan udara (tekanan tes sekitar 0,1 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan; maksimum 2 bar)
- uji kekedapan dengan uap jenuh atau pemanasan lanjut (tekanan tes tidak boleh melebihi tekanan kerja maksimum yang diijinkan)
- uji kekedapan dapat ditiadakan jika uji tekanan dilakukan dengan minyak atau cairan lain yang memiliki sifat yang mirip.

13.3.3 Katup pengaman harus dikenai uji tekanan setelan. Setelah pengujian, kekedapan dudukan harus diperiksa pada tekanan 0,8 kali tekanan setelan. Penyetelan ini harus diamankan dari perubahan yang tidak semestinya.

13.3.4 Uji tekanan dan uji kekedapan katup dan *fitting* dan tes tekanan set katup pengaman harus dilakukan di hadapan Surveyor BKI.

14. Instalasi ketel

14.1 Pemasangan

Ketel harus dipasang di kapal dengan hati-hati dan harus diamankan untuk memastikan bahwa ketel tidak dapat berpindah akibat keadaan yang timbul saat kapal berlayar. Sarana harus disediakan untuk mengakomodasi ekspansi termal dari ketel dalam pelayanan. Ketel dan dudukannya harus dapat diakses dengan baik dari semua sisi atau harus dibuat mudah diakses.

14.2 Tindakan pencegahan kebakaran

Lihat Bab 12.

F. Pengujian Ketel Uap

1. Pemeriksaan konstruksi

Setelah selesai dibuat, ketel harus menjalani pemeriksaan konstruksi.

Pemeriksaan konstruksi meliputi verifikasi bahwa ketel uap sesuai dengan gambar yang disetujui dan konstruksinya memuaskan. Untuk tujuan ini, semua bagian dari ketel harus dapat diakses untuk

memungkinkan pemeriksaan yang memadai. Jika perlu, pemeriksaan konstruksi harus dilakukan pada beberapa tahapan pembuatan. Dokumen-dokumen berikut harus disampaikan: sertifikat uji material meliputi material yang digunakan, laporan pengujian las tak merusak dan, jika ada, hasil tes penggerjaan dan bukti perlakuan panas yang diterapkan.

2. Uji tekanan hidrostatik

2.1 Uji tekanan hidrostatik harus dilakukan pada ketel sebelum *refractory*, insulasi, dan selubung dipasang. Jika hanya beberapa bagian komponen yang dapat diakses dengan memadai untuk memungkinkan inspeksi visual yang tepat, uji tekanan hidrostatik dapat dilakukan secara bertahap. Permukaan ketel uap harus dapat menahan tekanan uji tanpa terjadi kebocoran atau mengalami deformasi permanen.

2.2 Tekanan uji umumnya dipersyaratkan sebesar 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan, lihat A.4.2. Jika tekanan kerja maksimum yang diijinkan kurang dari 2 bar, tekanan uji harus minimal 1 bar lebih tinggi dari tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

Generator air panas dikenakan tekanan uji minimal 4 bar

2.3 Dalam kasus ketel once-through forced flow, tekanan uji harus setidaknya 1,1 kali tekanan inlet air ketika beroperasi pada tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan output uap maksimum. Ketika terdapat bahaya sehingga bagian dari ketel mungkin mengalami tegangan melebihi 0,9 dari kekuatan luluh, uji hidrostatik dapat dilakukan pada bagian terpisah. Tekanan kerja maksimum yang diijinkan kemudian dianggap sebagai tekanan yang menjadi acuan perancangan bagian-bagian tertentu dari ketel

2.4 Untuk bagian ketel uap yang mengalami tekanan internal dan eksternal yang selalu terjadi secara bersamaan dalam pelayanan, tekanan tes tergantung pada tekanan diferensial. Akan tetapi, dalam keadaan ini tekanan uji setidaknya harus sama dengan 1,5 kali tekanan desain yang ditentukan dalam I.D.1.2.4.

3. Uji penerimaan setelah instalasi di kapal

3.1 Uji fungsional dari peralatan yang relevan terhadap keselamatan

Fungsi dari peralatan yang relevan terhadap keselamatan harus diuji, sejauh mungkin, pada ketel uap yang tidak dipanaskan, dan tanpa tekanan.

3.2 Uji katup pengaman

3.2.1 Tekanan aktuasi dari katup pengaman harus dibuktikan dengan uji pembuangan (*blow-off*) atau Sertifikat penyesuaian pabrik pembuat harus ditunjukkan untuk katup tersebut.

3.2.2 Kinerja pembuangan (*blow-off*) yang memadai dari katup pengaman harus dibuktikan dengan tes pembuangan (*blow-off*). Untuk ketel uap berbahan bakar minyak, kinerja pembuangan (*blow-off*) yang cukup juga dapat ditunjukkan dengan perhitungan.

Untuk ketel uap yang dipanaskan dengan gas buang, tes pembuangan (*blow-off*) harus dilakukan pada 100% MCR (maximum continuous rating).

Untuk ketel uap kombinasi dan sistem ketel uap kombinasi dengan ketel uap berbahan bakar minyak dan ketel gas buang tanpa ruang uap sendiri, harus dijamin bahwa tekanan kerja maksimum yang diijinkan tidak lebih dari 10% untuk kinerja pembakar 100% dan kondisi yang dinyatakan diatas untuk pengoperasian ketel gas buang.

3.3 Uji fungsi

Peralatan lengkap dari ketel, termasuk perangkat kontrol dan monitor, harus dikenai uji fungsi.

4. Pemeriksaan konstruksi dan uji tekanan hidrostatik dan uji penerimaan harus dilakukan oleh atau di hadapan Surveyor BKI.

G. Sistem Generator Air Panas

1. Umum

1.1 Material, perhitungan desain dan prinsip-prinsip manufaktur untuk generator air panas yang dipanaskan oleh uap atau cairan panas dipengaruhi oleh persyaratan dalam Bab 8.

1.2 Untuk generator air panas, sirkulasi paksa harus digunakan. Sistem dengan sirkulasi alami tidak diperbolehkan.

1.3 Sistem pembangkit air panas harus dirancang dengan proses pembangkit tekanan eksternal (misalnya dengan bejana ekspansi membran atau bejana ekspansi dengan *nitrogen blanket* tanpa membran). Sistem yang terbuka ke atmosfer atau dengan proses pembangkit tekanan internal tidak diperbolehkan.

1.4 Proses pembangkit tekanan harus dilakukan sedemikian rupa sehingga mencegah proses pembangkit uap kritis untuk keselamatan perangkat.

1.5 Setiap sistem pembangkit air panas harus memiliki volume yang memadai untuk ekspansi, sehingga dapat mengakomodasi peningkatan volume air dari sistem pembangkit air panas dan sistem yang mengkonsumsi panas yang dihasilkan dari perubahan temperatur. Bejana ekspansi dan jalur penghubungnya harus dilindungi agar tidak membeku

2. Bejana ekspansi *pre-pressurized*

2.1 Pembatas level air rendah harus disediakan di bejana ekspansi yang mematikan dan mengunci pembakar minyak dan pompa sirkulasi pada saat level air turun dibawah level minimum yang diijinkan.

2.2 Perangkat penyetop di jalur yang menghubungkan antara sistem dan bejana ekspansi harus disegel dalam posisi terbuka.

2.3 Perangkat pembangkit air panas dengan bejana ekspansi membran

2.3.1 Instalasi dari pembatas level air rendah (lihat 2.1) di bejana ekspansi membran dapat ditiadakan jika perangkat pembatas tekanan rendah diaktifkan pada nilai tekanan ketika level air turun dibawah tingkat minimum yang diijinkan.

2.3.2 Sarana untuk memeriksa tekanan pengisian yang benar dari ruang gas harus disediakan pada bejana ekspansi membran *pre-pressurized*.

2.3.3 Katup pengaman dan indikator tekanan harus disediakan pada bejana ekspansi membran dimana tekanan gas dari *blanket* dikendalikan dengan regulator tekanan.

2.4 Pembangkit air panas dengan bejana ekspansi dengan *nitrogen blanket* tanpa membran

2.4.1 Lowest water level (LWL) di bejana ekspansi harus sekurang-kurangnya 50 mm di atas tepi atas pipa yang menghubungkan bejana ekspansi dengan sistem.

2.4.2 Masing-masing bejana ekspansi bertekanan harus dilengkapi dengan indikator tekanan.

2.4.3 Setiap bejana ekspansi bertekanan harus dilengkapi dengan katup pengaman yang disetel ke tekanan di bawah tekanan setelan dari katup pengaman pada generator air panas. Untuk penentuan

dimensi dari katup pengaman daya generator air panas terbesar pada sistem dapat dijadikan pertimbangan. Peralatan pemanas tambahan harus dipertimbangkan jika diperlukan.

2.4.4 Ketinggian air harus dikendalikan dengan regulator permukaan air, jika perlu menguras atau memberi umpan air ke bejana ekspansi dikarenakan perubahan volume air dari sistem. Jika level air terlalu tinggi atau terlalu rendah alarm harus terpicu.

2.4.5 Dalam kasus level air di atas permukaan air tertinggi yang ditentukan untuk sistem, pembakar minyak dan pasokan air umpan harus dimatikan dan dikunci. Pemicuan ini dapat digerakkan dengan sensor dari kontroler level air.

3. Pasokan air umpan

3.1 Setiap sistem pembangkit air panas harus dilengkapi dengan setidaknya satu pasokan air umpan.

3.2 Aliran pasokan air umpan harus sedemikian rupa sehingga berkurangnya air di seluruh sistem dapat dikompensasi.

3.3 Pasokan air umpan harus mampu memasok aliran yang dibutuhkan untuk generator pada kondisi 1,1 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

4. Pompa sirkulasi

4.1 Pembangkit air panas harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya dua pompa sirkulasi. Pompa umum *stand-by* dapat dianggap memadai untuk sistem pembangkit air panas, jika pompa ini dapat dihubungkan ke generator air panas. mana saja dalam sistem.

4.2 Alarm harus terpicu pada saat terjadi gangguan dari salah satu pompa sirkulasi. Alarm harus terpicu dan melakukan *shutdown* dan mengunci pembakar minyak pada pembangkit air panas berbahan bakar minyak jika aliran turun dibawah nilai minimum yang ditentukan.

H. Flue Gas Economizer

1. Definisi

Flue gas economizer adalah pemanas awal yang diatur dalam saluran gas buang dari ketel yang digunakan untuk pemanasan awal air umpan tanpa menghasilkan uap dalam pelayanan. *Economizer* ini dapat dilepaskan dari sisi air ketel.

Permukaan pemanas awal terdiri dari dinding ruang air yang terletak di antara perangkat penyetop ditambah selubung dari perangkat penyetop tersebut. Penarikan air dari *economizer* hanya diperbolehkan jika sistem umpan ketel dirancang khusus untuk tujuan ini.

2. Material

Lihat sub section I.B.

3. Perhitungan

Rumus yang diberikan pada I.D harus diterapkan dalam perhitungan. Tekanan desain harus sekurang-kurangnya sebesar tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari *economizer*.

Temperatur desain adalah temperatur air umpan maksimum ditambah 25 °C untuk *economizer* tabung polos dan ditambah 35 °C untuk *economizer* tabung bersirip.

Temperatur air umpan di outlet *economizer* harus 20°C dibawah temperatur saturasi sesuai dengan tekanan kerja dari ketel.

4. Peralatan

4.1 Pengukur tekanan

Sisi inlet masing-masing *economizer* harus dilengkapi dengan pengukur tekanan serta koneksi untuk pengukur tekanan uji. Tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari *economizer* tersebut harus ditandai dengan garis merah pada skala pengukur tekanan.

4.2 Katup pengaman

Masing-masing *economizer* harus dilengkapi dengan katup pengaman berpegas dengan diameter dalam minimal 15 mm yang harus disetel sehingga katup tersebut mulai menghembus (*blow-off*) jika tekanan kerja maksimum yang diijinkan terlampaui.

Katup pengaman harus dirancang sedemikian sehingga bahkan jika perangkat penyetop antara *economizer* dan ketel ditutup, tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari *economizer* tidak terlampaui lebih dari 10%.

4.3 Perangkat Indikasi Temperatur

Masing-masing *economizer* harus dilengkapi dengan perangkat indikasi temperatur. Temperatur keluar air umpan yang diizinkan harus ditandai dengan warna merah pada skala temperatur.

4.4 Perangkat penyetop

Masing-masing *economizer* harus dilengkapi dengan perangkat penyetop pada inlet dan outlet air umpan. Katup umpan ketel dapat dianggap sebagai salah satu perangkat penyetop ini.

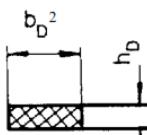
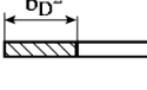
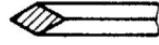
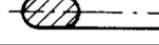
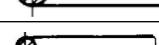
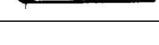
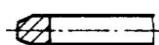
4.5 Peralatan pembuangan dan ventilasi

Masing-masing *economizer* harus dilengkapi dengan sarana drainase dan ventilasi pada semua titik dimana udara dapat berkumpul yang memungkinkan *economizer* untuk terventilasi dengan memadai bahkan ketika beroperasi.

4.6 Sarana untuk mencegah pembentukan uap pada *economizer*

Peralatan yang sesuai harus dipasang untuk mencegah uap dihasilkan pada *economizer*, misalnya ketika suplai uap tiba-tiba berhenti. Hal ini dapat berupa sebuah jalur yang bersirkulasi dari *economizer* ke tangki air umpan untuk memungkinkan *economizer* didinginkan, atau berupa *by-pass* yang memungkinkan *economizer* menjadi sepenuhnya terisolasi dari aliran gas buang.

Tabel 7.16 Faktor Gasket

Tipe Gasket	Bentuk	Dekripsi	Material	Faktor Gasket ¹⁾						
				Untuk cairan			Untuk gas dan uap			
				Perakitan ²⁾		Layanan	Perakitan ²⁾		Layanan	
				k_o [mm]	$k_o \cdot K_D$ [N/m m]	k_1 [mm]	k_o [mm]	$k_o \cdot K_D$ [N/mm]	k_1 [mm]	
Gaskets lunak		Gasket datar sesuai DIN EN 1514-1	Bahan penyegelan	-	20 b_D	b_D	-	-	-	
			Karet	-	b_D	0,5 b_D	-	2 b_D	0,5 b_D	
			Teflon	-	20 b_D	1,1 b_D	-	25 b_D	1,1 b_D	
			It ⁴⁾	-	15 b_D	b_D	-	$200 \sqrt{\frac{d_b}{h_d}} 3$	1,3 b_D	
logam gabungan dan gasket lunak		Gasket gulungan spiral	Baja tanpa paduan	-	15 b_D	b_D	-	50 b_D	1,3 b_D	
			Al	-	8 b_D	0,6 b_D	-	30 b_D	0,6 b_D	
		Gasket bergelombang	Cu, Ms	-	9 b_D	0,6 b_D	-	35 b_D	0,7 b_D	
			Baja ringan	-	10 b_D	0,6 b_D	-	45 b_D	1,0 b_D	
			Al	-	10 b_D	b_D	-	50 b_D	1,4 b_D	
		Gasket selubung logam	Cu, Ms	-	20 b_D	b_D	-	60 b_D	1,6 b_D	
			Baja ringan	-	40 b_D	b_D	-	70 b_D	1,8 b_D	
Gasket logam		gasket datar sesuai DIN EN 1514-4		-	0,8 b_D		$b_D + 5$	b_D	-	$b_D + 5$
		Gasket belah ketupat		-	0,8	-	5	1	-	5
		Gasket oval		-	1,6	-	6	2	-	6
		Gasket bulat		-	1,2	-	6	1,5	-	6
		Gasket Cincin		-	1,6	-	6	2	-	6
		Gasket berbentuk U sesuai DIN 2696			1,6	-	6	2	-	6
		Gasket bergelombang sesuai DIN 2697		-	$0,4\sqrt{Z}$	-	$9+0,2-Z$	$0,4\sqrt{Z}$	-	$9+0,2-Z$
		Membran dilas		-	0	-	0	0	-	0

Tabel 7.16 Faktor Gasket(*lanjutan*)

Tipe Gasket	Bentuk	Dekripsi	Material	Faktor Gasket ¹⁾					
				Untuk cairan			Untuk gas dan uap		
				Perakitan ²⁾		Layanan	Perakitan ²⁾		Layanan
				k_o	$k_o \cdot K_D$	k_1	k_o	$k_o \cdot K_D$	k_1
				[mm]	[N/m m]	[mm]	[mm]	[N/mm]	[mm]
1)	Berlaku untuk permukaan datar, dimesin, mulus, tersegel								
2)	Jika k_o tidak dapat ditentukan, perkalian $k_o \cdot K_D$ diberikan di sini								
3)	Kelas kedap gas diasumsikan								
4)	Bahan sambungan fiber terkompresi bukan asbes								

Tabel 7.17 Faktor Deformasi

Material	Faktor deformasi K_D [N/mm ²]
aluminium, lunak	92
tembaga, lunak	185
besi lunak,	343
baja St 35	392
baja paduan, 13 Cr Mo 44	441
baja austenitik	491
Catatan	
Pada temperatur ruang K_D harus diganti dengan faktor deformasi pada kompresi 10% atau dengan kekuatan tarik R_m sebagai alternatif	

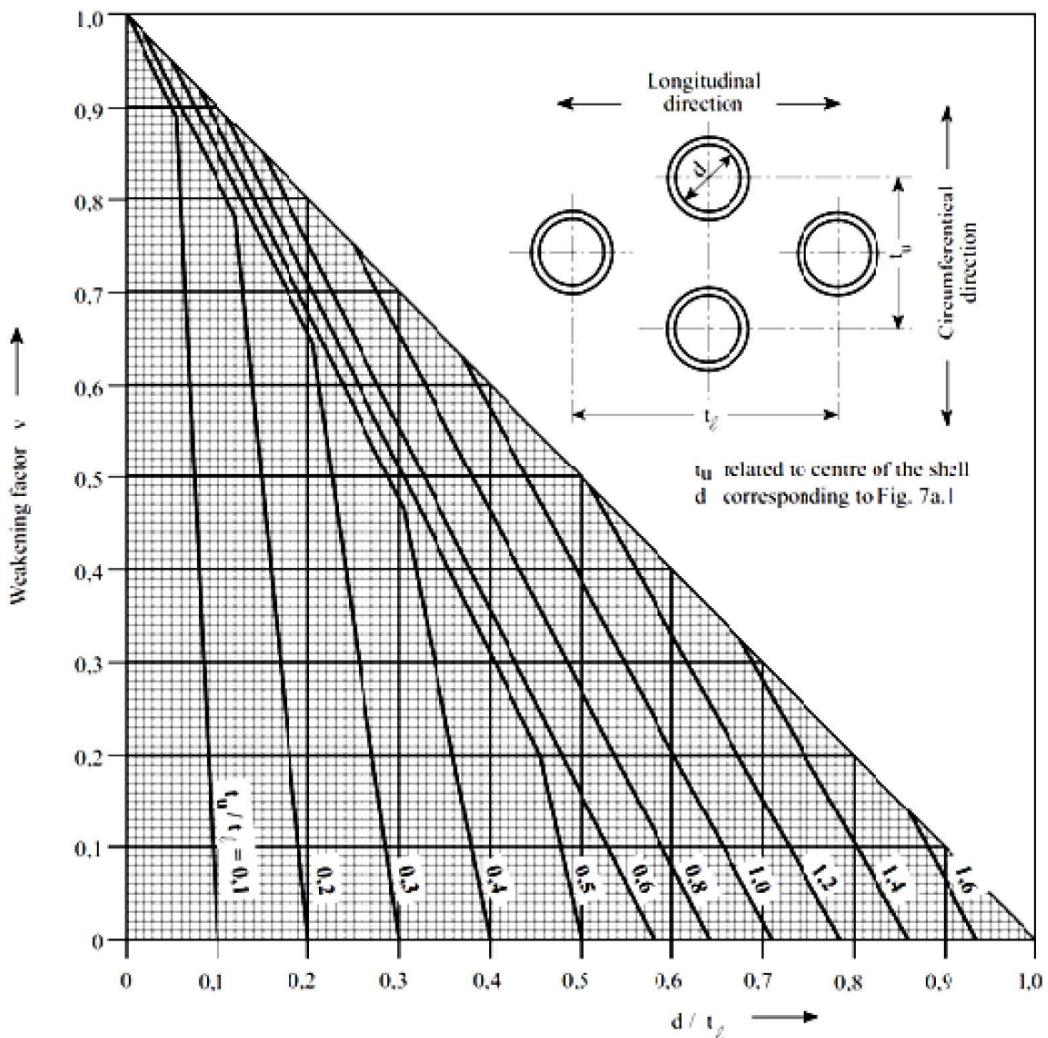
5. Pelat nama

Pelat nama yang memberikan rincian berikut harus dipasang untuk setiap *economizer*:

- nama dan alamat pabrik pembuat
- nomor seri dan tahun pembuatan
- tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari *economizer* dalam satuan bar

6. Pengujian

Sebelum dipasang, *economizer* yang telah selesai harus menjalani pemeriksaan konstruksi dan uji tekanan hidrostatik pada bengkel pembuat pada 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diperbolehkan dengan disaksikan Surveyor BKI.



Gambar 7.27 Faktor pelemahan v untuk dinding silindris dengan lubang deret diagonal simetris

7. *Economizer Tipe Cangkang yang Dipanaskan dengan Gas Buang*

Ketentuan berikut berlaku untuk *economizer* tipe cangkang yang dipanaskan dengan gas buang yang dimaksudkan untuk dioperasikan dalam kondisi penuh air dan yang dapat diisolasi dari sistem perangkat uap.

Semua *economizer* tipe cangkang yang dipanaskan dengan gas buang yang dapat diisolasi dari sistem perangkat uap dalam kondisi penuh air dan yang dipasang pada kapal yang dikontrak untuk konstruksi pada atau setelah 1 Januari 2007 harus mematuhi bab ini.

7.1 Desain dan Konstruksi

Desain dan konstruksi *economizer* tipe cangkang harus memberikan perhatian khusus pada pengelasan, perlakuan panas dan pengaturan inspeksi pada sambungan pelat tabung ke cangkang.

7.2 Pelepasan Tekanan

7.2.1 Jika *economizer* tipe cangkang mampu diisolasi dari sistem perangkat uap, maka harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya satu katup pengaman, dan ketika *economizer* tersebut memiliki total permukaan pemanas 50 m^2 atau lebih, harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya dua katup pengaman sesuai dengan persyaratan badan klasifikasi.

7.2.2 Untuk menghindari akumulasi kondensat pada sisi outlet katup pengaman, pipa pembuangan dan/atau *housing* katup pengaman harus dilengkapi dengan sarana drainase dari bagian terendah, diarahkan untuk jatuh secara terus-menerus ke posisi yang bebas dari *economizer* di mana sarana tersebut tidak akan menimbulkan bahaya baik bagi personel ataupun mesin. Katup atau kran tidak boleh dipasang pada pengaturan drainase.

7.2.3 Detail lengkap dari perencanaan yang diusulkan harus dikirimkan untuk disetujui

7.3 Indikasi Tekanan

Setiap *economizer* tipe cangkang harus dilengkapi dengan sarana untuk mengindikasikan tekanan internal. Sarana untuk mengindikasikan tekanan internal harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga tekanan dapat dengan mudah dibaca dari posisi manapun dimana tekanan tersebut dapat dikendalikan.

7.4 Lagging

Setiap *economizer* tipe cangkang harus dilengkapi dengan *lagging* yang dapat dilepas pada keliling pelat ujung tabung untuk memungkinkan pemeriksaan ultrasonik terhadap sambungan pelat tabung ke cangkang.

7.5 Air Umpam

Setiap *economizer* harus dilengkapi dengan sarana untuk pemanasan awal dan de-aerasi, penambahan pengolahan air atau kombinasi daripadanya untuk mengontrol kualitas air umpan agar tetap dalam jangkauan rekomendasi pabrik pembuat.

7.6 Instruksi Pengoperasian

Pabrik pembuat harus menyediakan instruksi operasi untuk setiap *economizer* yang berisi referensi mengenai:

- Pengolahan air umpan dan sarana pengambilan sampel.
- Temperatur operasi - gas buang dan temperatur air umpan.
- Tekanan operasi.
- Prosedur inspeksi dan pembersihan.
- Rekaman perawatan dan inspeksi.
- Kebutuhan untuk mempertahankan aliran air yang cukup melalui *economizer* pada semua kondisi operasi.
- Pengecekan operasional secara berkala terhadap perangkat keselamatan harus dilakukan oleh personel operasi dan didokumentasikan dengan baik.
- Prosedur untuk menggunakan *economizer* gas buang dalam kondisi kering.
- Prosedur untuk pemeliharaan dan pembukaan katup pengaman secara lengkap.

II. Sistem Minyak Termal

A. Umum

1. Ruang lingkup

Ketentuan berikut berlaku untuk komponen-komponen dalam sistem minyak termal dimana cairan organik (minyak termal) dipanaskan oleh pemanas minyak atau listrik pada temperatur di bawah titik didih awalnya pada tekanan atmosfer.

2. Persyaratan lainnya yang berlaku

Sebagai tambahan, Pedoman dan Peraturan BKI berikut harus diterapkan dengan prinsip yang sama:

- Bab 7.I, B, C, dan D Untuk material, fabrikasi dan desain pemanas
- Bab 8, B, C dan D Untuk material, fabrikasi dan desain bejana ekspansi dan tangki
- Bab 9, A dan B Untuk pembakar minyak dan sistem *oil firing* (kriteria *shutdown* tambahan lihat II.B.4 dan II.C.4)
- Bab 10, A, B dan D Untuk tangki minyak termal
- Bab 11, A. sampai D, Q dan R Untuk pipa, katup dan pompa
- Bab 12 Untuk proteksi kebakaran dan peralatan pemadam kebakaran
- Rules for Electrical Installation (Pt.1, Vol.IV) untuk item-item peralatan listrik
- Rules for Automation (Pt.1, Vol.VII) untuk sistem permesinan otomatis
- Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use (Pt.1, Vol.W) untuk komponen dari tipe yang disetujui

3. Definisi

3.1 "Tekanan kerja maksimum yang diijinkan" adalah tekanan maksimum yang dapat terjadi pada bagian-bagian individu peralatan pada kondisi servis.

3.2 "Temperatur minyak termal" adalah temperatur minyak termal di bagian tengah penampang aliran.

3.3 "Temperatur buang" adalah temperatur minyak termal di outlet pemanas.

3.4 "Temperatur balik" adalah temperatur minyak termal di inlet pemanas.

3.5 "Temperatur lapisan" adalah temperatur dinding di sisi minyak termal. Pada permukaan yang dipanaskan, hal ini mungkin berbeda secara signifikan dari temperatur minyak termal.

4. Dokumen untuk persetujuan

Dokumen-dokumen berikut harus dikirimkan untuk persetujuan kepada BKI dalam format elektronik:

- deskripsi dari sistem yang menyatakan temperatur keluar dan kembali, temperatur lapisan maksimum yang diijinkan, volume total sistem dan karakteristik fisik dan kimia minyak termal
- gambar dari pemanas, bejana ekspansi dan bejana tekan lainnya
- diagram sirkuit dari sistem kontrol listrik, dan juga perangkat pemantauan dan keamanan dengan nilai-nilai batasnya
- diagram fungsi dengan informasi tentang perangkat keamanan dan monitor dan katup-katup yang tersedia (untuk informasi)

Jika secara khusus diminta, bukti perhitungan matematis dari temperatur lapisan maksimal sesuai dengan DIN 4754 harus dikirimkan.

5. Minyak termal

5.1 Minyak termal harus tetap dapat digunakan selama minimal 1 tahun pada temperatur minyak termal sesuai spesifikasi. Kesesuaian minyak untuk digunakan lebih lanjut harus diverifikasi pada interval waktu yang sesuai, tapi sekurang-kurangnya setahun sekali.

5.2 Minyak termal hanya dapat digunakan dalam batas-batas yang ditetapkan oleh pabrik pembuat. Toleransi keamanan sekitar 50 °C harus dipertahankan antara temperatur keluar dan temperatur lapisan maksimum yang diijinkan sesuai ketentuan pabrik pembuat.

5.3 Tindakan pencegahan harus dilakukan untuk melindungi minyak termal dari oksidasi.

5.4 Tembaga dan paduan tembaga yang dapat mempercepat penuaan dari minyak termal karena efek katalitiknya, harus dihindari atau minyak dengan zat tambahan khusus harus digunakan.

6. Operasi manual

6.1 Untuk pemanas minyak termal yang dioperasikan secara otomatis sarana untuk operasi dan supervisi harus disediakan sehingga memungkinkan operasi manual dengan persyaratan minimum berikut dengan menggunakan level kontrol tambahan.

6.1.1 Sekurang-kurangnya pembatas temperatur di sisi minyak dan pembatas aliran harus tetap beroperasi pada pemanas berbahan bakar minyak.

6.1.2 Pemanas yang dipanaskan dengan gas buang dapat dioperasikan tanpa monitor temperatur dan aliran jika nilai temperatur keluar yang diijinkan dapat dijaga.

6.1.3 Peralatan keselamatan yang tidak diperlukan untuk operasi manual hanya dapat dinonaktifkan dengan menggunakan saklar yang dioperasikan dengan kunci. Aktuasi saklar yang dioperasikan dengan kunci harus diindikasikan.

6.1.4 Untuk detail ketentuan yang berhubungan dengan operasi manual dari peralatan *oil firing*, lihat Bab 9.

6.2 Operasi manual menuntut pengawasan sistem secara langsung dan terus menerus.

B. Pemanas

1. Material yang dapat diterima

Pemanas sistem minyak termal harus dibuat dari material yang sama seperti ketel sesuai I.B.2.

2. Pengujian material

Material dari bagian-bagian pemanas yang bersentuhan dengan minyak termal harus diuji sesuai dengan I.B.3.

Untuk kumparan dengan tekanan kerja maksimum yang diijinkan hingga 10 bar dan temperatur operasi yang diijinkan hingga 300 °C, Sertifikat Inspeksi Pabrik Pembuat² dapat diterima sebagai pengganti pengujian bahan.

3. Desain

3.1 Desain pemanas dari aspek termodinamika dan konstruksi harus sedemikian sehingga baik permukaan maupun minyak termal tidak dapat menjadi terlalu panas pada kondisi apapun. Aliran minyak termal harus dipastikan dengan sirkulasi paksa.

3.2 Permukaan yang bersentuhan dengan minyak termal harus dirancang untuk tekanan kerja maksimum yang diijinkan dengan *gauge pressure* minimal 10 bar.

3.3 Pemanas yang dipanaskan dengan gas buang harus dirancang sehingga kerusakan akibat resonansi yang dihasilkan oleh osilasi kolom gas buang tidak dapat terjadi.

3.4 Pipa masuk gas buang harus diatur sehingga minyak termal tidak dapat mengalir ke mesin atau turbocharger pada saat terjadi kebocoran pada pemanas demikian pula dengan media pembersihan selama pembersihan pemanas dilakukan.

3.5 Pemanas yang dipanaskan dengan gas buang harus dilengkapi dengan lubang lalu orang yang berfungsi sebagai bukaan pemeriksaan pada saluran masuk dan keluar gas buang.

3.6 Pemanas berbahan bakar minyak harus dilengkapi dengan bukaan pemeriksaan untuk pemeriksaan ruang bakar.

3.7 Sensor untuk mengukur temperatur dan perangkat monitor harus digunakan di dalam sistem melalui pipa rendam yang dilas.

3.8 Pemanas harus dilengkapi dengan sarana yang memungkinkannya untuk dapat dikuras dengan tuntas.

3.9 Untuk pemanas yang dipanaskan dengan listrik, persyaratan harus diterapkan dengan prinsip yang sama dengan pemanas minyak.

4. Peralatan

4.1 Umum

4.1.1 Peralatan pada pemanas harus cocok untuk digunakan di pemanas minyak termal dan di atas kapal. Bukti kesesuaian pembatas dan pengirim sinyal alarm misalnya untuk temperatur, aliran dan deteksi

² Lihat Rules for Material (Pt.1, Vol.V), Sec. 1.

kebocoran harus ditunjukkan dengan pemeriksaan persetujuan tipe sesuai dengan persyaratan dan Peraturan BKI yang tercantum dalam [II.A.2.](#)

4.1.2 Alarm dan aktivasi pembatas harus mengirimkan sinyal kegagalan optik dan akustik pada panel sistem minyak termal.

4.2 Katup pengaman

Masing-masing pemanas harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya satu katup pengaman yang memiliki kapasitas penghembusan minimal sama dengan peningkatan volume minyak termal pada daya pemanasan maksimal. Selama penghembusan, tekanan tidak diperbolehkan meningkat melampaui 10% dari tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

4.3 Perangkat indikasi temperatur, tekanan dan aliran

4.3.1 Perangkat indikasi tekanan harus dipasang pada jalur keluar dan kembali baik pada pemanas berbahan bakar minyak maupun pemanas yang dipanaskan dengan gas buang. Tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB harus ditunjukkan pada skala dengan menggunakan tanda merah yang dipasang permanen dan dapat terlihat dengan baik. Rentang indikasi harus mencakup tekanan uji.

4.3.2 Perangkat indikasi temperatur harus dipasang pada jalur masuk dan kembali baik pada pemanas berbahan bakar minyak maupun pada pemanas yang dipanaskan dengan gas buang.

4.3.3 Perangkat indikasi temperatur juga harus dipasang masing-masing pada outlet gas *flue* atau pada gas buang di pemanas.

4.3.4 Aliran minyak termal harus diindikasikan.

4.4 Kontrol temperatur

4.4.1 Untuk kontrol otomatis dari temperatur buang, pemanas berbahan bakar minyak harus dilengkapi dengan suplai panas otomatis yang dapat disesuaikan dengan cepat sesuai dengan [Bab 9](#).

4.4.2 Temperatur buang dari pemanas yang dipanaskan dengan gas buang harus dikendalikan dengan regulasi otomatis dari input panas atau dengan pendinginan kembali minyak termal dalam pendingin pembuangan, namun terpisah dari kontrol output mesin.

4.5 Monitor temperatur

4.5.1 Pada pemanas berbahan bakar minyak, jika temperatur buang (hasil pemanasan) yang diijinkan terlampaui, pembakar minyak harus dimatikan dan dikunci oleh pembatas temperatur.

Permukaan pemanas yang terhubung secara paralel harus dipantau secara individual di sisi buang dari masing-masing kumparan. Pada pemanas berbahan bakar minyak, pembakar minyak harus dimatikan dan dikunci oleh pembatas temperatur pada saat temperatur buang yang diijinkan terlampaui pada sekurang-kurangnya satu kumparan. Pengawasan tambahan terhadap temperatur buang yang diijinkan dari pemanas tidak diperlukan.

4.5.2 Jika temperatur keluar yang diijinkan terlampaui untuk pemanas yang dipanaskan dengan gas buang, alarm harus terpicu.

Permukaan pemanas yang terhubung secara paralel harus dipantau secara individu di sisi buang masing-masing kumparan. Pada pemanas yang dipanaskan dengan gas buang, alarm harus terpicu pada saat temperatur buang yang diijinkan terlampaui pada sekurang-kurangnya satu kumparan. Pengawasan tambahan terhadap temperatur buang yang diijinkan dari pemanas tidak diperlukan.

Pada pemanas yang dipanaskan dengan gas buang, pemantauan secara individu untuk permukaan pemanas yang terhubung secara paralel dapat dihindakan jika temperatur maksimum gas buang lebih rendah dari temperatur lapisan maksimum minyak termal yang diperbolehkan.

4.5.3 Jika temperatur maksimum gas *flue* pemanas yang ditentukan terlampaui, sistem pembakaran harus dimatikan dan dikunci.

4.5.4 Pemanas yang dipanaskan dengan gas buang harus dilengkapi dengan saklar temperatur yang mengirimkan sinyal ketika temperatur desain maksimum gas buang terlampaui, berupa sebuah alarm yang menyalakan permukaan panas dalam kondisi sangat kotor.

4.6 Monitor aliran

4.6.1 Tindakan pencegahan harus dilakukan untuk memastikan bahwa temperatur lapisan maksimum minyak termal yang diijinkan tidak terlampaui.

4.6.2 Monitor aliran yang beralih sebagai pembatas harus tersedia pada pemanas berbahan bakar minyak. Jika laju aliran turun di bawah nilai minimum, sistem pembakaran harus dimatikan dan dikunci.

4.6.3 Penyalakan pembakar harus dicegah dengan kuncian jika pompa sirkulasi dalam kondisi berhenti.

4.6.4 Monitor aliran harus tersedia di pemanas yang dipanaskan dengan gas buang. Alarm harus terpicu saat kecepatan aliran turun di bawah nilai minimum.

4.6.5 Alarm harus tersedia pada kondisi dimana aliran melalui pemanas yang dipanaskan dengan gas buang turun di bawah nilai minimum (misalnya pompa sirkulasi terhenti, katup penyetop tertutup), ketika mesin yang mengirimkan gas buang untuk pemanasan dari pemanas akan dinyalakan.

4.7 Monitor kebocoran

4.7.1 Pemanas berbahan bakar minyak harus dilengkapi dengan detektor kebocoran yang ketika diaktifkan melakukan *shut down* pada dan mengunci pembakar minyak. Jika pemanas berbahan bakar minyak pada posisi "stand by", penyalakan pembakar minyak harus diblokir jika detektor kebocoran diaktifkan.

4.7.2 Pemanas yang dipanaskan dengan gas buang harus dilengkapi dengan detektor kebocoran yang memicu alarm ketika diaktifkan.

4.8 Perangkat penyetop

4.8.1 Pemanas harus dilengkapi dengan perangkat penyetop dan jika perlu dengan katup *by-pass* yang dapat dioperasikan dari posisi di luar area dimana pemanas dipasang.

4.8.2 Pemanas harus dapat dikuras dan juga terventilasi dari posisi di luar area dimana pemanas dipasang.

4.9 Sistem deteksi dan pemadam kebakaran

4.9.1 Saklar temperatur untuk deteksi kebakaran, yang diperlukan sesuai Bab 12.C.4.3 harus disediakan sebagai tambahan dari saklar temperatur sesuai dengan 4.4.5 dan harus disetel pada temperatur 50 sampai 80 °C lebih tinggi.

4.9.2 Pemanas minyak termal yang dipanaskan dengan gas buang harus dilengkapi dengan sistem permanen untuk memadamkan dan mendinginkan jika terjadi kebakaran, misalnya sistem penyemprotan air bertekanan. Untuk detail lihat Bab 12, Tabel 12.1 dan L.2.2.

C. Bejana

1. Material yang disetujui

Bejana harus dibuat dari material-material sesuai dengan [Bab 8.B.3](#), dengan kelas bejana tekan yang sesuai untuk digunakan pada sistem minyak termal.

2. Pengujian material

Material-material bejana harus diuji sesuai dengan [Bab 8.B.4](#)

3. Desain

3.1 Semua bejana, termasuk yang terbuka ke udara bebas, harus dirancang untuk tekanan sekurang-kurangnya 2 bar, kecuali terdapat ketentuan yang harus dipenuhi untuk tekanan kerja lebih tinggi. Tangki yang dirancang dan diukur sesuai dengan [Rules for Hull \(P.1, Vol.II\)](#), [Sec.12](#) dikecualikan dari persyaratan ini.

3.2 Bejana ekspansi harus diletakkan pada level yang tinggi dalam sistem. Ruang yang disediakan untuk ekspansi harus sedemikian rupa sehingga peningkatan volume minyak termal pada temperatur minyak termal maksimum dapat diakomodasi dengan aman. Hal berikut ini harus dianggap sebagai persyaratan minimum: peningkatan volume 1,5 kali untuk volume sampai 1.000 liter, dan peningkatan 1,3 kali untuk volume lebih dari 1.000 liter. Volume adalah jumlah total minyak termal yang terkandung dalam peralatan sampai ke level cairan terendah di dalam bejana ekspansi.

3.3 Tangki drainase harus ditempatkan pada titik terendah sistem yang mempunyai kapasitas yang cukup untuk menampung volume bagian sistem terbesar yang dapat terisolasi.

3.4 Tangki penyimpanan yang terpisah harus tersedia untuk mengkompensasi kerugian yang terjadi. Stok minyak termal setidaknya 40% dari kapasitas sistem. Tergantung pada desain sistem atau wilayah geografis layanan kapal, stok yang lebih kecil dapat diterima.

3.5 Dalam kasus tertentu, persetujuan dapat diberikan untuk menggabungkan tangki drainase dan tangki penyimpanan. Gabungan tangki penyimpanan / drainase harus mempunyai ukuran sedemikian rupa sehingga selain stok minyak termal, terdapat ruang untuk isi dari bagian sistem terbesar yang dapat terisolasi.

4. Peralatan bejana ekspansi

4.1 Umum

4.1.1 Peralatan pada bejana ekspansi harus cocok untuk digunakan di sistem minyak termal dan di atas kapal. Bukti kesesuaian indikator level dan pembatas dan pengirim alarm untuk misalnya level pengisian, harus ditunjukkan dengan pemeriksaan persetujuan tipe sesuai dengan persyaratan dari Peraturan yang tercantum dalam [II.A.2](#).

4.1.2 Alarm dan aktivasi pembatas harus menghasilkan sinyal kegagalan optik dan akustik pada panel kontrol sistem minyak termal.

4.2 Perangkat indikasi level

4.2.1 Bejana ekspansi harus dilengkapi dengan alat pengukur cairan dengan tanda yang menunjukkan level cairan terendah yang diijinkan.

4.2.2 Pengukur level yang terbuat dari kaca atau plastik tidak diperbolehkan.

4.3 Pembatas dan alarm level rendah

4.3.1 Saklar batas harus dipasang yang melakukan *shut down* pada dan mengunci pembakar minyak dan mematikan pompa yang bersirkulasi jika level cairan turun di bawah nilai minimum yang diijinkan.

4.3.2 Sebagai tambahan, alarm untuk level cairan rendah harus dipasang, misalnya dengan menggunakan saklar level yang dapat diatur pada indikator level yang memberikan peringatan dini mengenai tingkat cairan yang menurun pada bejana ekspansi (misalnya pada saat terjadi kebocoran).

4.3.3 Alarm juga harus disediakan untuk level cairan maksimum.

4.4 Katup drainase cepat dan katup penyetopan darurat

4.4.1 Untuk drainase cepat dalam kondisi berbahaya, katup drainase cepat harus dipasang langsung pada bejana dengan kontrol jarak jauh dari luar area dimana peralatan tersebut terpasang.

4.4.2 Sarana otomatis harus disediakan untuk menjamin suplai udara yang cukup untuk bejana ekspansi ketika katup drainase cepat dioperasikan.

4.4.3 Ketika bejana ekspansi dipasang di luar kamar mesin, katup drainase cepat dapat digantikan dengan perangkat penyetopan darurat (*quick closing valve*).

4.4.4 Pembukaan katup drainase cepat atau aktuasi perangkat penyetopan darurat harus mengaktifkan alarm. Pada saat yang sama, *shut down* pembakar minyak pada pemanas berbahan bakar minyak yang tidak berhubungan dengan keselamatan harus dilakukan.

4.4.5 Dimensi pipa drainase dan ventilasi harus diaplikasikan sesuai dengan [Tabel 7.18](#).

Tabel 7.18 Diameter nominal pipa drainase dan ventilasi serta pipa ekspansi dan pipa limpah tergantung pada unjuk kerja pemanas.

Unjuk kerja Pemanas [kW]	Diameter nominal pipa ekspansi dan pipa limpah DN	Diameter nominal pipa drainase dan ventilasi DN
≤ 600	25	32
≤ 900	32	40
≤ 1.200	40	50
≤ 2.400	50	65
≤ 6.000	65	80

4.5 Jalur koneksi

4.5.1 Jalur ekspansi keselamatan harus menghubungkan sistem ke bejana ekspansi. Jalur ini harus dipasang dengan gradien positif kontinyu dan harus mempunyai ukuran sedemikian sehingga peningkatan tekanan lebih dari 10% di atas tekanan kerja maksimum yang diijinkan dalam sistem dapat dihindari.

4.5.2 Bejana ekspansi harus dilengkapi dengan jalur limpah yang mengarah ke tangki drainase.

4.5.3 Jalur drainase cepat dapat digabungkan dengan jalur limpah ke tangki drainase.

4.5.4 Semua bagian dari sistem dimana minyak termal dapat memuoi karena penyerapan kalor dari luar harus dijaga dari tekanan yang berlebihan. Setiap minyak termal yang dikeluarkan harus dikuras dengan aman.

4.5.5 Dimensi pipa ekspansi dan pipa limpah harus diaplikasikan sesuai dengan [Tabel 7.18](#).

4.6 Sistem pre-pressurized

4.6.1 Sistem *pre-pressurized* harus dilengkapi dengan bejana ekspansi yang isinya diselimuti dengan gas *inert*. Suplai gas *inert* untuk bejana ekspansi harus terjamin.

4.6.2 Tekanan dalam bejana ekspansi harus diindikasikan dan dijaga terhadap tekanan berlebih.

4.6.3 Pembatas tekanan harus tersedia pada bejana ekspansi yang memicu alarm dan melakukan *shutdown* serta mengunci pembakar minyak pada setelan tekanan di bawah tekanan setelan dari katup pengaman.

5. Peralatan tangki drainase dan tangki penyimpanan

Untuk peralatan tangki drainase dan tangki penyimpanan lihat [Bab 11.Q.4](#).

D. Item Peralatan

1. Material yang disetujui

1.1 Material untuk pipa, katup dan pompa lihat [Bab 11.B](#).

1.2 Besi cor kelabu tidak dapat diterima untuk item peralatan pada sirkuit minyak termal yang panas dan untuk katup pengaman.

2. Pengujian material

Bahan pipa, katup dan pompa harus diuji sesuai dengan [Bab 11.B.3](#).

3. Peralatan

3.1 Selain spesifikasi berikut, pipa, katup dan pompa harus mengikuti ketentuan pada [Bab 11.Q](#)

3.2 Outlet pompa sirkulasi harus dilengkapi dengan alat pengukur tekanan.

3.3 *Shut down* pompa sirkulasi dengan saklar darurat yang juga dapat dioperasikan dari posisi di luar ruangan dimana pompa tersebut dipasang harus dimungkinkan.

3.4 Perangkat untuk pengambilan sampel yang aman harus disediakan di lokasi yang sesuai pada sirkuit minyak termal.

3.5 Sarana ventilasi harus disediakan pada titik tertinggi dari bagian sistem minyak termal yang dapat terisolasi dan perangkat drainase pada titik terendah.

Ventilasi dan drainase melalui cerobong terbuka harus dihindari.

3.6 Untuk *fitting* dan pompa penguras lihat [Bab 11.Q.1.2](#)

3.7 Item-item peralatan listrik diatur oleh [Rules for Electrical Installation \(Pt. 1, Vol. IV\)](#).

E. Penandaan

1. Pemanas

Informasi berikut harus tertera pada pelat nama pabrik pembuat yang diletakkan secara permanen pada pemanas:

Bab 7 Ketel Uap dan Sistem Minyak Termal

- Nama dan alamat pabrik pembuat
- Nomor seri
- Tahun pembuatan
- Daya pemanas maksimum yang diijinkan
- Tekanan kerja maksimum yang diijinkan
- Temperatur buang maksimum yang diijinkan
- Laju aliran minimum
- Kapasitas cairan

2. Bejana

2.1 Bejana harus dilengkapi dengan pelat nama yang memiliki informasi berikut:

- Nama dan alamat pabrik pembuat
- Nomor seri
- Tahun pembuatan
- Tekanan kerja maksimum yang diijinkan
- Temperatur kerja maksimum yang diijinkan
- Kapasitas

2.2 Untuk bejana dengan koneksi ke udara terbuka, tekanan kerja maksimum yang diijinkan harus ditampilkan pada pelat nama sebagai "0" atau "Atm.", meskipun *gauge pressure* 2 bar diambil sebagai dasar desain sesuai dengan II C.

F. Perlindungan Kebakaran

Tindakan pencegahan kebakaran diatur oleh ketentuan [Bab 12](#).

G. Pengujian

1. Pemanas

Pemanas minyak termal harus menjalani pemeriksaan konstruksi dan uji tekanan hidrostatik, pada 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan, di bengkel pembuat dengan disaksikan oleh Surveyor BKI.

2. Sistem minyak termal

Setelah instalasi di atas kapal selesai, sistem termasuk peralatan monitor terkait harus menjalani uji tekanan, kekedapan dan fungsi dengan disaksikan oleh BKI.

Bab 8 Bejana Tekan dan Penukar Panas

A.	Umum.....	8-1
B.	Material	8-3
C.	Prinsip Pembuatan	8-6
D.	Perhitungan	8-7
E.	Peralatan dan Instalasi	8-10
F.	Pengujian.....	8-12
G.	Tabung gas	8-13

A. Umum

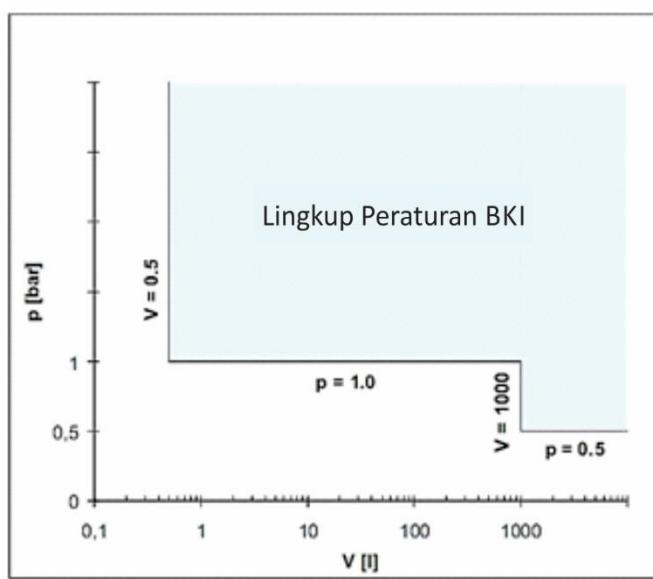
1. Ruang lingkup

1.1 Persyaratan berikut berlaku untuk bejana tekan esensial (alat ukur atau tekanan vakum) lihat Bab 1, H. Persyaratan berikut juga berlaku untuk kontainer muatan independen jika terkena tekanan internal atau eksternal pada saat pelayanan.

Tabung gas memenuhi persyaratan G.

1.2 Persyaratan ini tidak berlaku untuk bejana tekan dengan:

- tekanan kerja maksimum yang diijinkan hingga 1 bar alat ukur dan kapasitas total, tanpa dikurangi volume perlengakapan didalam bejana tekan, tidak lebih dari 1.000 liter, atau
- tekanan kerja maksimum yang diijinkan sampai dengan 0,5 bar alat ukur, atau
- kapasitas $\leq 0,5$ liter



Gambar 8.1 Lingkup Peraturan BKI untuk bejana tekan dan penukar panas

1.3 Bejana tekan penggunaan di kapal yang diproduksi dengan standar yang diakui, misalnya bejana tekan untuk sistem suplai air dan calorifier, sehubungan dengan ketebalan dinding atau bahan yang digunakannya peraturan ini tidak berlaku.

1.4 Dalam kasus tangki hidrofor dengan tekanan kerja maksimum yang diijinkan hingga 7 bar alat ukur dan maksimum temperatur kerja 100°C pemeriksaan gambar-gambar dapat ditiadakan.

1.5 Untuk generator air hangat dengan temperatur keluaran maksimum 120 °C, yang dipanaskan dengan bahan bakar padat, cair atau gas atau dengan gas buang, persetujuan gambar dapat ditiadakan jika generator yang diproduksi sesuai dengan standar atau aturan negara yang diakui. Tekanan yang muncul dari instalasi di atas kapal harus dipertimbangkan.

1.6 Bejana tekan dan peralatan yang disebutkan dalam [1.3](#), [1.4](#) dan [1.5](#) harus ditunjukkan ke Surveyor BKI untuk pemeriksaan konstruksi dan untuk tes tekanan hidrostatik sesuai dengan [F.1](#). Laporan Uji Pabrik Pembuat¹ material yang digunakan harus ditunjukkan.

1.7 Generator air panas dengan suhu keluaran di atas 120 °C yang dipanaskan dengan bahan bakar padat, cair atau gas, dengan gas buang atau dengan sarana elektrik, serta economizer yang dipanaskan dengan gas buang harus memenuhi [Bab 7.I.A-B](#).

Sebagai tambahan surface condensors harus memenuhi [Bab 3.I](#) dan [3.II](#).

Untuk pendingin udara paksa, lihat [Bab 2](#), pemeriksaan gambar dapat ditiadakan .

Untuk penukar panas dari sistem pendingin untuk permesinan elektrik, pemeriksaan gambar dapat ditiadakan, persyaratan lebih lanjut lihat [Rules for Electrical Installation \(Pt. 1, Vol. IV\) Sec. 20](#).

Kontainer kargo dan bejana tekan proses untuk pengangkutan gas cair dalam bentuk curah sebagai tambahan harus memenuhi [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1,Vol.IX\)](#) .

Untuk reservoir dalam sistem hidrolik, sebagai tambahan [Bab 14](#), [F](#). harus diterapkan.

Untuk filter, sebagai tambahan [Bab 2.G.3](#). (mesin diesel) serta [Bab 11.G.7](#). (sistem bahan bakar minyak), [H.2.3](#) (sistem minyak pelumas) dan [I.4](#). (sistem pendingin air laut) harus diterapkan.

Bejana tekan dan penukar panas yang dimaksudkan untuk digunakan pada sistem ballast, bilga, limbah atau air tawar serta bejana tekan untuk penanganan kargo juga harus memenuhi peraturan ini.

1.8 Bejana tekan dan penukar panas yang diproduksi secara seri dapat disetujui, diuji dan disertifikasi sesuai dengan [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\) Sec.2.N](#).

2. Dokumen untuk persetujuan

Gambar-gambar bejana tekan dan penukar panas yang berisi semua data yang diperlukan untuk penilaian keselamatan harus diserahkan kepada BKI dalam format elektronik. Secara khusus, harus ditentukan dengan:

- maksud penggunaan, zat yang terkandung di dalam bejana
- tekanan dan suhu kerja maksimum yang diijinkan, jika perlu, beban sekunder, volume ruang bertekanan individual
- detail desain bagian bertekanan
- material yang akan digunakan, detail pengelasan, perlakuan panas

Keabsahan persetujuan gambar dibatasi hingga lima tahun dan dapat diperpanjang setelah kadaluwarsa atas permintaan untuk lima tahun kemudian asalkan produk tersebut terus menyesuaikan dengan aturan saat ini, selama tidak mengalami perubahan terkait dengan karakteristik atau konstruksinya.

Berdasarkan permintaan dapat disertifikasi secara terpisah, untuk menyatakan bahwa desain bejana tekan atau alat penukar panas memenuhi persyaratan yang ditentukan (Sertifikat Persetujuan Desain).

¹ Lihat [Rules for Material \(Pt. 1, Vol. V\)](#), Prinsip Mencakup Pembuatan dan Pengujian Bahan, Bab 1

B. Material

1. Persyaratan Umum

1.1 Material dari bagian yang mengalami tekanan harus sesuai untuk penggunaan yang dimaksudkan. Material untuk bejana yang berhubungan dengan kelas bejana tekan I dan II menurut [Tabel 8.1](#), harus mematuhi [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol. V\)](#).

1.2 Bagian seperti plat penghubung (gusset), penegar (girder), lug, (bracket), dan bagian lain yang dilas secara langsung ke dinding bejana tekan harus terbuat dari bahan yang kompatibel dengan bahan dasar dan dijamin mampu lasnya.

1.3 Struktur yang dilas dari bejana tekan kelas I dan II berdasarkan [Tabel 8.1](#) juga harus memenuhi [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#).

1.4 Untuk perlindungan korosi, lihat [C.7](#).

2. Kelas bejana tekan

2.1 Berdasarkan kondisi operasi, bejana tekan dan penukar panas dikelaskan sesuai dengan [Tabel 8.1](#).

2.2 Bejana tekan yang diisi sebagian dengan cairan dan sebagian dengan udara atau gas atau yang ditiup oleh udara atau gas harus diklasifikasikan sebagai bejana tekan yang berisi udara atau gas.

Tabel 8.1 Kelas bejana tekan

Media operasi	Tekanan desain p_c [bar] Suhu desain t [°C]		
	I	II	III
Kelas bejana tekan			
Pengujian material / sertifikat uji	Lihat 4.1	Lihat 4.2	Lihat 4.3
Gas cair (propane, butane, dan lain-lain), Media beracun dan korosif	Semua	-	-
Pendingin	Kelompok 2	Kelompok 1	-
Uap, udara bertekanan, gas	$p_c > 16$ atau $t > 300$	$p_c \leq 16$ $t \leq 300$	$p_c \leq 7$ $t \leq 170$
Minyak termal	$p_c > 16$ atau $t > 300$	$p_c \leq 16$ $t \leq 300$	$p_c \leq 7$ $t \leq 150$
Bahan bakar cair, Minyak pelumas, Fluida hidrolik mudah terbakar	$p_c > 16$ atau $t > 150$	$p_c \leq 16$ $t \leq 150$	$p_c \leq 7$ $t \leq 60$
Air, Fluida hidrolik tidak mudah terbakar	$p_c > 40$ atau $t > 300$	$p_c \leq 40$ $t \leq 300$	$p_c \leq 16$ $t \leq 200$

3. Material yang disetujui

Material yang ditentukan dalam [Tabel 8.2](#) harus digunakan untuk kelas bejana tekan yang dinyatakan di [2](#).

4. Pengujian material

4.1 Pengujian sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#), ditentukan untuk material bejana tekan kelas I yang digunakan pada:

- semua bagian yang mengalami tekanan kecuali bagian berukuran kecil seperti bantalan yang dilas, cakram penguat, potongan dan flensa cabang dengan diameter nominal $\leq DN 50$ mm, termasuk dengan kepala katup baja tempa atau gulung untuk tabung udara terkompresi.

- flensa tempa untuk temperatur layanan $> 300^{\circ}\text{C}$ dan temperatur layanan $\leq 300^{\circ}\text{C}$ jika hasil dari tekanan kerja maksimum yang diijinkan (alat ukur) PB [bar] dan DN [mm] adalah > 2.500 atau diameter nominal $> \text{DN } 250$.
- baut dengan ukuran metrik M 30 atau lebih yang terbuat dari baja dengan kekuatan tarik lebih dari 500 N/mm^2 dan baut baja paduan atau yang dilakukan penggerjaan panas dengan ukuran metrik M 16 atau lebih.
- mur dengan ukuran metrik M 30 atau lebih yang terbuat dari baja dengan kekuatan tarik lebih dari 600 N/mm^2
- bodi katup dan alat kelengkapannya, lihat Bab 11,B.

Hasil pengujian material harus dibuktikan dengan Sertifikat Material BKI¹.

4.2 Untuk bagian bejana tekan kelas II yang wajib diuji, bukti kualitas material dapat berupa Sertifikat Inspeksi Pabrik Pembuat¹ asalkan hasil tes yang disertifikasi memenuhi [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#).

Sertifikat Inspeksi Pabrik Pembuat dapat juga diakui untuk komponen bejana kelas I yang diproduksi secara seri yang terbuat dari baja tanpa paduan, misalnya penutup lubang lalu tangan dan lubang lalu orang, dan untuk flensa dan pipa cabang tempa dimana hasil dari PB [bar] DN [mm] ≤ 2.500 dan diameter nominal DN $\leq 250 \text{ mm}$ untuk temperatur layanan $\leq 300^{\circ}\text{C}$.

4.3 Untuk semua bagian yang tidak harus memenuhi pengujian material sesuai dengan [4.1](#) dan [4.2](#), bukti alternatif karakteristik material harus disediakan, misalnya dengan Laporan Uji Pabrik Pembuat.

Tabel 8.2 Material yang disetujui

Material dan bentuk produk	Grade dari material sesuai dengan Rules for Materials (Pt.1, Vol.V) , Kelas bejana tekan				
	I	II	III		
Baja gulung dan tempa	Pelat untuk boiler dan bejana tekan sesuai dengan Bab 4.E				
	Baja suhu rendah sesuai dengan Bab 4.F				
	Baja <i>stainless austenitic</i> sesuai dengan Bab 4.G				
	Baja yang diolah khusus (killed steel) sesuai dengan Bab 4.C. (dengan pengujian dari setiap pelat gulung),	Baja struktur umum sesuai dengan Bab 4.C			
pipa	Pipa baja feritik tanpa sambungan dan pipa baja feritik yang dilas sesuai dengan Bab 5.B dan C .				
	Pipa baja temperatur rendah sesuai dengan Bab 5.D . untuk temperatur desain dibawah -10°C				
	Pipa baja <i>stainless austenitic</i> sesuai dengan Bab 5.E .				
baja tempa	Baja tempa sesuai dengan Bab 6.E .				
	Baja tempa suhu rendah sesuai dengan Bab 6.F . untuk suhu desain di bawah -10°C				
	-		Baja tempa untuk perangkat rekayasa umum sesuai dengan Bab 6.B .		
Baut dan mur	Baut untuk perangkat rekayasa umum sesuai standar yang diakui, misalnya DIN 267 atau ISO 898				
	Baja temperatur tinggi untuk temperatur desain $> 300^{\circ}\text{C}$				
	Baja temperatur rendah untuk temperatur desain di bawah -10°C				

Tabel 8.2 Material yang disetujui (*lanjutan*)

Material dan bentuk produk		Kelas dari material sesuai dengan Rules for Material (Pt. 1, Vol. V), Kelas bejana tekan		
		I	II	III
Pengecoran	Baja cor	Baja cor untuk boiler, bejana bertekanan dan jalur pipa, Bab 7.D .		
		Baja cor suhu tinggi untuk suhu desain > 300 °C		
		Baja cor suhu rendah, Bab 7.E . Untuk suhu desain di bawah - 10 °C		
	Besi cor nodular	-		Baja cor untuk aplikasi umum
Logam Non-ferrous	Besi cor abu-abu	Besi cor nodular sesuai dengan Bab 8.B . Hanya grade feritik Grade standar hingga 300 °C Grade khusus sampai 350 °C		Setidaknya kelas GG 20, Bab 8.C . Tidak diijinkan untuk bejana dalam sistem minyak termal
	Pipa dan bahan cor dari tembaga dan paduan tembaga	Paduan tembagasesuai dengan Bab 11 , dalam batas-batas sebagai berikut: paduan tembaga-nikel hingga 300 °C perunggu suhu tinggi hingga 260 °C paduan lain hingga 200 °C		
	Pelat, pipa dan Bahan cor paduan aluminium	Paduan aluminium sesuai dengan Bab 10 , dalam batas-batas sebagai berikut: Suhu desain hingga 200 °C Hanya dengan persetujuan khusus oleh BKI		
1) Selain baja struktural bukan paduan, juga baja struktural lambung sesuai dengan Bab 4.B dapat digunakan				

Tabel 8.3 Persyaratan untuk kelas bejana tekan

Persyaratan	PV Kelas I	PV Kelas II	PV Kelas III
Persetujuan Desain/Gambar	dipersyaratkan	dipersyaratkan	Dipersyaratkan, Pengecualian lihat A.1
Persetujuan Bengkel Pengelasan, lihat Rules for Welding (Pt. 1, Vol. VI) , Sect. 2	dipersyaratkan	dipersyaratkan	-
Uji Prosedur Pengelasan, lihat Rules for Welding (Pt. 1, Vol. VI) , Sect. 4	dipersyaratkan	dipersyaratkan	-
Pengujian Material /Sertifikat Uji	Sertifikat Material BKI, lihat 4.1	Sertifikat Inspeksi Pabrik, lihat 4.2	Laporan Uji Pabrik, lihat 4.3
Pabrik Material yang disetujui BKI	dipersyaratkan	dipersyaratkan	-
Pemeriksaan Konstruksi, lihat F.1.1	dipersyaratkan	dipersyaratkan	dipersyaratkan
Uji tekanan hidrolik, lihat F.1.1	dipersyaratkan	dipersyaratkan	dipersyaratkan
Pengujian tak merusak, lihat Rules for Welding (Pt. 1, Vol. VI) , Sect. 10	dipersyaratkan	dipersyaratkan	dipersyaratkan
	Untuk pemeriksaan radiografi sambungan pengelasan tergantung pada faktor las v		

C. Prinsip Pembuatan

1. Proses pembuatan

Proses manufaktur harus sesuai dengan material.

Material dengan struktur butir yang telah terpengaruh oleh pekerjaan panas atau dingin harus menjalani perlakuan panas sesuai dengan [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\) Sect.6](#).

2. Pengelasan

Pelaksanaan pekerjaan pengelasan, persetujuan bengkel pengelasan dan pengujian kualifikasi juru las diatur oleh [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\), Sect.14](#).

3. Pelat Ujung

3.1 Flensa pada lingkaran ujung tidak boleh terhalangi pergerakannya secara tidak wajar oleh segala jenis perlengkapan tetap, misalnya pelat pengikat penegar, dll. Kaki pendukung hanya dapat dilekatkan pada lingkaran ujung yang telah didesain dengan dimensi yang memadai untuk tujuan ini.

3.2 Jika penutup atau ujung diikat dengan baut engsel (*hinged bolts*), setelah dikencangkan dan terkunci harus terjaga agar tidak terlepas.

4. Pipa cabang

Ketebalan dinding dari pipa cabang harus didesain dengan dimensi yang memungkinkan tekanan eksternal tambahan terserap dengan aman. Ketebalan dinding pipa cabang yang dilas harus sesuai dengan ketebalan bagian dimana pipa tersebut dilas. Dinding harus dilas secara efektif bersama.

Koneksi antar pipa sesuai dengan [Bab 11](#) harus dipersyaratkan untuk sambungan perpipaan.

5. Pelat tabung

Lubang tabung harus dibor dan dihaluskan dengan hati-hati. Mengingat prosedur expansi tabung dan kombinasi material yang digunakan, lebar ligamen harus sedemikian untuk menjamin pelaksanaan proses ekspansi yang tepat dan pengikatan tabung yang memadai. Pemanjangan tidak boleh kurang dari 12 mm.

6. Kompensasi untuk ekspansi

Desain bejana dan peralatan harus memperhitungkan kemungkinan ekspansi termal, misalnya antara kulit dan ikatan (*bundle*) tabung pemanas.

7. Proteksi karat

Bejana dan peralatan yang terpapar korosi yang dipercepat akibat media yang dikandungnya (misalnya air laut hangat) harus terlindungi dengan cara yang sesuai.

8. Pembersihan dan inspeksi bukaan

8.1 Bejana dan peralatan harus dilengkapi dengan bukaan inspeksi dan akses yang sebesar mungkin dan berada dilokasi yang mudah untuk diakses. Untuk dimensi minimum dari bukaan ini, lihat [Bab 7.I.C.8](#). Diameter lubang lalu orang minimal 600 mm umumnya diperlukan yang berguna memberikan akses pada perangkat tambahan atau pelindung. Diameter dapat dikurangi menjadi 500 mm jika ketinggian soket pipa yang dilalui tidak melebihi 250 mm.

Bejana yang mempunyai panjang lebih dari 2,0 m harus memiliki bukaan inspeksi setidaknya pada tiap ujung atau harus mempunyai sebuah lubang lalu orang. Bejana dengan diameter dalam lebih dari 800 mm harus dilengkapi setidaknya satu lubang lalu orang.

8.2 Bukaan lubang lalu orang harus dirancang dan diatur sedemikian rupa sehingga bejana dapat diakses tanpa ada kesulitan yang tidak semestinya. Tepi bukaan inspeksi dan akses harus diberi penguat sehingga dapat berubah bentuk akibat pengencangan baut penutup atau batang lintang.

Bukaan inspeksi dan akses khusus tidak diperlukan jika pemeriksaan internal dapat dilakukan dengan membuka atau membongkar bagian dari bejana.

8.3 Bukaan inspeksi dapat ditiadakan apabila pengalaman telah membuktikan bahwa korosi atau deposit kemungkinan tidak akan terjadi, misalnya dalam jaket uap.

Apabila bejana dan peralatan mengandung zat berbahaya (misalnya gas cair atau beracun), penutup bukaan inspeksi dan akses harus diamankan tidak dengan batang lintang tetapi dengan flensa yang dibaut.

9. Penandaan

Setiap bejana tekan harus diberikan sebuah pelat nama atau inskripsi permanen yang menunjukkan nama pabrik pembuat, nomor seri, tahun pembuatan, kapasitas, tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan dalam hal temperatur layanan lebih dari 50 °C atau kurang dari -10 °C temperatur maksimum dari bagian-bagian bertekanan. Pada item peralatan yang lebih kecil, indikasi tekanan kerja telah mencukupi.

D. Perhitungan

1. Prinsip

1.1 Bagian bejana tekan dan peralatan yang terkena tekanan harus dirancang, sejauh dapat diaplikasikan, dengan menerapkan rumus untuk boiler uap ([Bab 7.I.D.](#)) dan jika tidak sesuai dengan peraturan umum *engineering practice*². Perhitungan parameter sesuai dengan [1.2](#) sampai [1.7](#) harus digunakan.

1.2 Tekanan desain p_c

1.2.1 Tekanan desain p_c umumnya adalah tekanan kerja maksimum yang diijinkan (alat ukur) PB. Dalam menentukan tekanan kerja maksimum yang diijinkan, perhatian harus diberikan pada tekanan hidrostatik jika tekanan ini menyebabkan beban pada dinding meningkat sebesar 5% atau lebih.

1.2.2 Pada kasus air umpan pemanas awal terletak di sisi penyalur pompa umpan boiler, tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB adalah tekanan penyalur maksimum pompa.

1.2.3 Untuk tekanan eksternal, perhitungan harus berdasarkan pada tekanan vakum 1 bar atau tekanan eksternal dimana katup pengaman vakum bekerja. Ketika terjadi tekanan positif pada sisi eksternal dan tekanan vakum pada sisi internal yang simultan, atau sebaliknya, perhitungan harus mengasumsikan tekanan eksternal atau tekanan internal masing-masing meningkat sebesar 1 bar.

1.2.4 Pada kasus tangki muat untuk gas cair, tekanan desain harus ditentukan sesuai dengan [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol.IX\)](#). Bejana dan peralatan dalam instalasi pendingin diatur oleh [Rules for Refrigerating Installations \(Pt.1, Vol.VIII\) Sec. 1, C](#).

² Berupa TRB/AD (Regulation of the Working Party on Pressure Vessel), sebagai contoh, peraturan engineering practice semacam itu.

1.3 Tegangan yang diijinkan

Dimensi komponen diatur berdasarkan tegangan yang diijinkan σ_{perm} [N/mm²]. Dengan pengecualian kontainer muat dan bejana tekan proses sesuai dengan [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol.IX\)](#), nilai terkecil yang ditentukan dari perhitungan rumus berikut harus diterapkan dalam kasus ini:

1.3.1 Baja gulung dan tempa

Untuk temperature desain hingga 350 °C

$$\sigma_{perm} = \min \left\{ \frac{R_{m,20^\circ}}{2,7}, \frac{\square R_{eH20^\circ}}{1,7}, \frac{R_{eH,t}}{1,6} \right\}$$

- $R_{m,20^\circ}$ = Kekuatan tarik minimum terjamin [N/mm²] pada temperatur ruang (pada kasus baja dengan butiran halus yang diakui dapat diganti dengan $R_{eH} \leq 360$ [N/mm²])
- $R_{eH,20^\circ}$ = Kekuatan luluh terjamin atau nilai minimum dari 0,2% tegangan bukti³ pada temperatur ruang [N/mm²]
- $R_{eH,t}$ = Kekuatan luluh terjamin atau nilai minimum dari 0,2% tegangan bukti³ pada temperatur desain di atas 50 °C [N/mm²]

Untuk temperature desain di atas 350 °C

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{m,100000,t}}{1,5}$$

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{eH,t}}{1,6}$$

- $R_{m,100000,t}$ = Nilai rata-rata dari 100000 jam kekuatan lelah pada suhu desain t [N/mm²]
- $R_{eH,t}$ = Kekuatan luluh terjamin atau nilai minimum dari 0,2% tegangan bukti³ pada temperatur desain di atas 50 °C [N/mm²]

1.3.2 Material cor

Baja cor:

$$\sigma_{perm} = \min \left\{ \frac{R_{m,20^\circ}}{3,2}, \frac{R_{eH,t}}{2,0}, \frac{R_{m,100000,t}}{2,0} \right\}$$

Besi cor nodular:

$$\sigma_{perm} = \min \left\{ \frac{R_{m,20^\circ}}{4,8}, \frac{R_{eH,t}}{3,0} \right\}$$

Besi cor abu-abu:

$$\sigma_{perm} = \frac{R_{m,20^\circ}}{11}$$

1.3.3 Logam non-ferrous

Tembaga dan tembaga paduan tempa:

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{R_{m,t}}{4,0}$$

Aluminium dan aluminium paduan tempa :

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{R_{m,t}}{4,0}$$

Pada logam non-ferrous yang dipasok dalam berbagai tingkat kekerasan harus dicatat bahwa pemanasan, misalnya dengan solder atau pengelasan, dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanik. Pada kasus ini, perhitungan harus didasarkan pada kekuatan mekanik dalam kondisi dianil lunak.

1.4 Temperatur desain

1.4.1 Temperatur desain yang diterapkan umumnya adalah temperatur maksimum media yang terkandung.

1.4.2 Jika pemanasan dilakukan dengan pemabakaran, gas buang atau sarana elektrik, [Bab 7.I, Tabel 7.3](#) harus diterapkan dengan sesuai. Jika pemanas elektrik yang digunakan, [Tabel 7.3](#) hanya berlaku untuk permukaan yang dipanaskan secara langsung.

1.4.3 Pada temperatur layanan di bawah 20 °C, temperatur desain minimal 20 °C harus digunakan pada perhitungan.

1.5 Faktor pelemahan

Untuk faktor pelemahan v untuk perhitungan dinding atau bagian dari dinding, lihat [Bab 7.I, Tabel 7.I.4](#).

1.6 Kelonggaran korosi dan keausan

Kelonggaran korosi dan keausan umumnya adalah c = 1,0 mm. Kelonggaran ini dapat ditiadakan pada kasus ketebalan pelat 30 mm atau lebih, baja tahan karat dan material tahan korosi lainnya.

1.7 Ketebalan dinding minimum

1.7.1 Ketebalan dinding dari kulit dan pelat ujung umumnya harus tidak kurang dari 3 mm.

1.7.2 Jika dinding bejana terbuat dari pipa dengan bahan tahan korosi atau untuk bejana dan peralatan pada kelas III, ketebalan dinding minimal 2,0 mm dapat diperbolehkan, asalkan dinding tidak mengalami gaya eksternal.

1.8 Metode lain yang berlaku untuk desain dimensi

Jika dinding, atau bagian dari dinding, tidak dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang diberikan dalam [Bab 7.I](#) atau sesuai dengan peraturan-peraturan umum *engineering practice*, metode lain, misalnya tes tekanan ledak sesuai dengan standar yang diakui atau metode numerik (Analisa FE) harus digunakan untuk menunjukkan bahwa tegangan yang diijinkan tidak terlampaui.

E. Peralatan dan Instalasi

1. Perangkat pemutus

Perangkat pemutus harus dipasang pada jalur tekanan sedekat mungkin dengan bejana tekan. Jika beberapa bejana tekan dikelompokkan bersama, tidak perlu setiap bejana harus mampu untuk dapat diputuskan secara individual dan sarana hanya perlu disediakan untuk memutuskan secara kelompok. Secara umum, seharusnya tidak lebih dari tiga bejana dikelompokkan bersama. Tabung udara start dan bejana tekan lain yang dibuka pada saat operasi harus mampu untuk diputuskan secara individual. Perangkat yang menyatu dalam perpipaan, (misalnya pemisah air dan minyak) tidak memerlukan perangkat pemutus.

2. Pengukur tekanan

2.1 Setiap bejana tekan yang dapat diputus dan setiap kelompok bejana dengan perangkat pemutus harus dilengkapi dengan pengukur tekanan, yang juga mampu diputus. Rentang pengukuran dan kalibrasi harus mencakup tekanan uji dengan penandaan merah untuk menunjukkan tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

2.2 Peralatan hanya perlu dilengkapi dengan alat pengukur tekanan jika diperlukan pada saat operasi.

3. Peralatan keselamatan

3.1 Setiap bejana tekan yang dapat diputus atau setiap kelompok bejana dengan perangkat pemutus harus dilengkapi dengan sebuah katup pengaman pegas yang tidak dapat diputus dan yang menutup kembali dengan handal setelah pembuangan.

Perlengkapan untuk mengontrol tekanan dan suhu tidak dapat menggantikan katup pembebaskan.

3.2 Katup pengaman harus dirancang dan diatur sedemikian rupa sehingga tekanan kerja maksimum yang diijinkan tidak dapat terlampaui lebih dari 10%. Sarana harus disediakan untuk mencegah perubahan pengaturan yang tidak diinginkan pada katup pengaman. Kerucut katup harus dapat diangkat setiap saat.

3.3 Sarana drainase yang tidak dapat diputus harus disediakan pada titik terendah di sisi buang dari katup pengaman untuk gas, uap dan uap air. Media yang mengalir keluar dari katup pengaman harus ditiriskan dengan aman, diutamakan menggunakan sebuah pipa.

3.4 Ruang yang terisi uap harus dilengkapi dengan katup pengaman apabila tekanan uap di dalamnya cenderung dapat melebihi tekanan kerja maksimum yang diijinkan. Jika kondisi vakum dapat terjadi misalnya oleh kondensasi, sebuah perangkat keselamatan yang tepat diperlukan.

3.5 Ruangan-ruangan yang dipanaskan yang dapat ditutup pada kedua sisi baik inlet maupun outlet harus dipasang dengan katup pengaman yang akan mencegah peningkatan tekanan yang tidak dapat diterima mewaspadai isi dari ruangan mangalami ekspansi termal berbahaya atau kegagalan elemen pemanas.

3.6 Tangki air bertekanan harus dipasang dengan katup pengaman pada jalur air. Sebuah katup pengaman pada jalur udara dapat ditiadakan jika tekanan udara yang dipasok ke tangki tidak dapat melebihi tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

3.7 Calorifier harus dilengkapi dengan sebuah katup pengaman pada jalur masuk air dingin.

3.8 *Rupture disc* hanya diperbolehkan dengan persetujuan BKI untuk aplikasi dimana penggunaannya secara khusus dibenarkan. *Rupture disc* harus dirancang sehingga tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB tidak dapat terlampaui lebih dari 10%.

Rupture disc harus dilengkapi dengan sebuah pengaman untuk menangkap fragmen dari elemen yang pecah dan harus dilindungi terhadap kerusakan dari luar. Fragmen dari elemen yang pecah harus tidak cukup untuk membuat bagian penting dari bukaan pelepasan berkurang.

3.9 Perangkat pelepas tekanan dapat ditiadakan dalam kasus akumulator pada sistem kontrol dan pengatur hidrolik dan pneumatik dengan ketentuan bahwa tekanan yang dapat diberikan ke akumulator tersebut tidak dapat melebihi tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan hasil dari volume-tekanan PB [bar] · V [liter] ≤ 200 .

3.10 Peralatan yang dipanaskan secara elektrik harus dilengkapi dengan pembatas suhu disamping pengontrol suhu.

3.11 Generator air hangat berbahan bakar minyak harus dilengkapi dengan pembatas suhu dan tekanan di atas batas yang ditentukan. Sebagai tambahan pembatas level air rendah, pembatas untuk tekanan minimum atau pembatas aliran rendah harus diberikan. Aktuasi dari peralatan pembatas harus memutus dan mengunci pembakar minyak.

Generator air hangat yang dipanaskan dengan gas buang harus dilengkapi dengan alarm yang sesuai.

3.12 Peralatan pada bejana tekan harus cocok untuk digunakan pada kapal. Pembatas untuk misalnya tekanan, suhu dan aliran adalah perangkat keamanan dan harus merupakan tipe yang disetujui dan dilengkapi dengan sertifikat persetujuan tipe yang sesuai. Untuk katup pengaman, persyaratan [Guidance for Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#) harus dipenuhi.

4. Indikator level cairan dan peralatan umpan untuk bejana tekan yang dipanaskan

4.1 Bejana tekan yang dipanaskan dimana turunnya level cairan dapat menghasilkan suhu tinggi yang tidak dapat diterima pada dinding bejana harus dilengkapi dengan perangkat untuk menunjukkan level cairan.

4.2 Bejana tekan dengan indikator level cairan minimum tetap harus dilengkapi dengan peralatan umpan yang mempunyai ukuran yang memadai.

4.3 Peralatan pembuat air hangat harus dirancang sebagai sistem tertutup dengan generasi tekanan eksternal dan bejana ekspansi membran. Air harus disirkulasikan dengan sirkulasi paksa.

5. Kaca pengamat

Kaca pengamat pada permukaan yang mengalami tekanan diperbolehkan hanya jika peralatan tersebut diperlukan untuk pengoperasian perangkat dan sarana observasi lainnya tidak dapat disediakan. Kaca pengamat tidak boleh lebih besar dari yang diperlukan dan harus diutamakan berbentuk bulat. Kaca pengamat harus dilindungi terhadap kerusakan mekanis, misalnya dengan jaring kawat. Untuk media yang mudah terbakar, dapat meledak atau beracun, kaca pengamat harus dilengkapi dengan penutup yang mudah ditutup.

6. Pengeringan dan ventilasi

6.1 Bejana tekan dan peralatannya harus mampu dihilangkan tekanannya dan benar-benar mampu dikosongkan atau dikeringkan. Perhatian khusus harus diberikan ke fasilitas drainase yang memadai dari bejana udara terkompresi.

6.2 Koneksi yang sesuai untuk pelaksanaan tes tekanan hidrolik dan ventilasi pada titik paling atas harus disediakan.

7. Instalasi

7.1 Ketika menginstal dan mengikatkan bejana tekan diatas kapal, kehati-hatian harus diambil untuk memastikan bahwa beban akibat berat isi dan struktural bejana dan juga akibat gerakan kapal dan getaran tidak dapat menimbulkan kenaikan tekanan apapun yang berlebihan di permukaan bejana. Dinding di area penumpu dan braket harus dilengkapi dengan pelat penguat. Sudut-sudut pelat harus cukup bulat untuk menghindari peningkatan tekanan karena pengelasan. Pengecualian harus disetujui oleh BKI.

7.2 Bejana tekan dan peralatannya harus dipasang sedemikian rupa untuk memungkinkan inspeksi visual yang praktis disekelilingnya dan memudahkan pelaksanaan tes periodik. Jika diperlukan, tangga atau undakan harus dipasang di dalam bejana.

7.3 Sedapat mungkin, tabungudara terkompresi yang diikat secara horisontal harus dipasang dengan sudut tertentu dan sejajar dengan garis depan belakang kapal. Sudut tersebut harus paling sedikit 10° (dengan posisi kepala katup di bagian atas.) Jika bejana dipasang melintang, sudut harus lebih besar.

7.4 Jika diperlukan, tabung udara terkompresi harus ditandai di bagian luar sehingga tabung mudah dipasang diatas kapal dalam posisi yang diperlukan untuk ventilasi dan drainase menyeluruh.

F. Pengujian

1. Uji tekan

1.1 Setelah selesai proses pembuatan, bejana tekan dan penukar panas harus menjalani pemeriksaan konstruksi dan uji tekanan hidrostatik. Tidak ada deformasi permanen pada dinding akibat uji ini.

Selama uji tekan hidrostatik, beban yang ditentukan di bawah ini tidak boleh terlampaui:

$$\frac{R_{eH,20^\circ}}{1,1}$$

untuk material dengan titik luluh yang ditentukan

$$\frac{R_{m,20^\circ}}{2,0}$$

untuk material dengan titik luluh yang tidak ditentukan

1.2 Tekanan uji PP untuk bejana tekan dan penukar panas umumnya 1,5 kali dari maksimum tekanan kerja yang diijinkan PB, minimum PB + 1 bar berturut-turut 1,5 kali dari tekanan desain PR jika tekanan ini lebih tinggi dari PB.

Pada kasus bejana tekan dan peralatannya yang hanya mengalami tekanan dibawah atmosfer, tekanan uji harus setidaknya sesuai dengan tekanan kerja. Sebagai alternatif uji tekan dapat dilaksanakan dengan tekanan 2 bar lebih dari tekanan atmosfernya.

Untuk tekanan uji yang harus diterapkan untuk kondensor uap, lihat Bab 3.I.

1.3 Semua bejana tekan dan peralatannya yang terletak di jalur bahan bakar minyak bertekanan dari peralatan bakar boiler harus diuji pada i sisi minyak dengan tekanan uji 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB, minimal 5 bar. Pada sisi uap, pengujian ini harus dilakukan sebagaimana ditentukan dalam 1.2.

1.4 Bejana tekan dalam sistem pasokan air yang diatur pada standar DIN 4810 harus diuji pada tekanan dari 5,2 bar, 7,8 bar atau 13,0 bar sebagaimana ditentukan dalam standar tersebut.

1.5 Pendingin udara harus diuji pada sisi air 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB, minimal 4 bar.

1.6 Generator air hangat tunduk pada ujitekan sesuai dengan standar atau *directive* yang diterapkan, tapi setidaknya 1,3 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

1.7 Uji tekan dengan media selain air dapat disetujui untuk kasus tertentu.

2. Uji kekedapan

Untuk bejana dan peralatan yang mengandung zat berbahaya (misalnya gas cair), BKI berhak untuk meminta pengujian khusus kekedapan gas.

3. Pengujian setelah instalasi di kapal

Setelah instalasi diatas kapal, pemeriksaan harus dilakukan pada alat kelengkapan bejana dan peralatannya dan pada susunan dan pengaturan peralatan keselamatan, dan uji operasi harus dilakukan apabila diperlukan.

G. Tabung gas

1. Umum

1.1 Tujuan dari persyaratan ini, tabung gas yang dimaksud adalah botol dengan kapasitas tidak lebih dari 150 l dengan diameter luar \leq 420 mm dan panjang \leq 2.000 mm yang diisi dengan gas di stasiun pengisian khusus dan selanjutnya dibawa ke atas kapal dimana gas bertekanan digunakan, lihat juga Bab 12.

1.2 Peraturan ini tidak berlaku untuk tabung gas dengan

- tekanan kerja maksimum yang diijinkan maksimum adalah 0,5 bar, atau
- kapasitas \leq 0,5 l.

1.3 Peraturan ini hanya berlaku dalam rentang yang terbatas untuk tabung gas dengan

- tekanan kerja maksimum yang diijinkan maksimum adalah 200 bar dan
- kapasitas $>$ 0,5 l dan $<$ 4 l

Untuk tabung gas ini, persetujuan gambar dapat diabaikan. Tes sesuai dengan 5.2 – 5.5 dan penandaan sesuai dengan 6. Selanjutnya pengujian yang mungkin diakui sesuai dengan 7. harus tetap dilakukan.

2. Prosedur persetujuan

2.1 Dokumentasi

Gambar dengan definisi yang telah direncanakan untuk disetujui harus diserahkan dalamformat elektronik.

2.2 Material

2.2.1 Rincian dari material bahan baku yang akan digunakan (rentang analisa kimia, nama pabrik pembuat, ruang lingkup dari karakteristik material yang diperlukan dan kondisi persetujuan) harus diserahkan.

2.2.2 Rincian dari perlakuan panas yang direncanakan harus diserahkan.

2.2.3 Rincian sifat material yang diinginkan (titik luluh, kekuatan tarik, kekuatan takik, regangan fraktur) dari produk akhir harus diserahkan.

3. Pembuatan

3.1 Tabung gas harus diproduksi dengan metode yang telah ditetapkan menggunakan material yang sesuai dan harus dirancang sehingga tabung mampu menahan beban yang diinginkan dengan baik.

Varian berikut ini harus dibedakan:

- tabung gas tanpa sambungan las yang terbuat dari baja
- tabung gas dilas yang terbuat dari baja

Semua varian lain harus disetujui secara khusus oleh BKI Kantor Pusat.

3.2 Proses pembuatan tabung gas tanpa sambungan las harus disetujui oleh BKI.

3.3 Tabung gas dengan bagian utama yang dibuat dengan pengelasan untuk persyaratan yang telah disebutkan sebelumnya harus sesuai dengan persyaratan pada Bab ini.

4. Perhitungan

4.1 Istilah yang digunakan

p_c = tekanan desain (tekanan tes yang ditentukan) [bar]

s = ketebalan dinding [mm]

c = toleransi korosi [mm]

= 1 mm, jika diperlukan

D_a = diameter luar tabung gas [mm]

R_{eH} = titik luluh atas yang dijamin [N/mm^2]

$R_{p0,2}$ = 0,2% tegangan uji yang dijamin [N/mm^2]

R_m = kekuatan tarik minimum yang dijamin [N/mm^2]

R_e = titik luluh yang diperlukan sebagai nilai perbandingan untuk penentuan R [N/mm^2]

baik $R_e = R_{eH}$

atau $R_e = R_{p0,2}$

R = pada setiap kasus, diambil nilai terkecil dari dua nilai berikut [N/mm^2]:

1) R_e

2) 0,75 R_m untuk silinder yang dinormalisasi atau yang dinormalisasi dan di *temper*

0,90 R_m untuk silinder yang di *quech* dan di *temper*

σ_{perm} = tegangan yang diijinkan = $\frac{R}{4/3}$ [N/mm^2]

β = koefisien desain untuk disc end (lihat Bab 7.I.D.4.)

V = faktor pelemahan (lihat Bab 7.I.D.2)

4.2 Tekanan uji

Tekanan uji yang ditentukan untuk botol CO₂ dengan faktor pengisian 0,66 kg/l adalah 250 bar alat ukur. Untuk gas-gas lain, tekanan uji harus disetujui oleh BKI. Jika tidak dapat disepakati, tekanan uji harus sekurang-kurangnya 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan p_{e, perm}.

4.3 Tabung dengan permukaan silinder

$$s = \frac{D_a \cdot p_c}{20 \sigma_{\text{perm}} \cdot v + p_c} + c$$

4.4 Tabung dengan ujung bulat

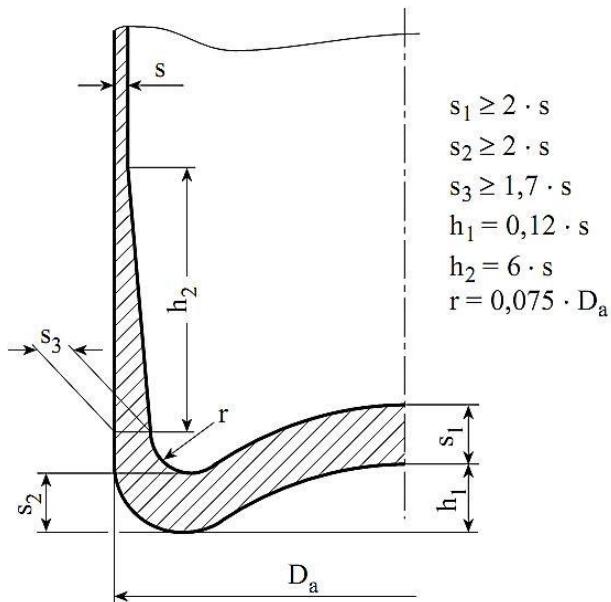
$$s = \frac{D_a \cdot p_c}{40 \sigma_{\text{perm}} \cdot v + p_c} + c$$

4.5 Tabung dengan end disc keluar

$$s = \frac{D_a \cdot p_c \cdot \beta}{40 \sigma_{\text{perm}}} + c$$

4.6 Tabung dengan end disc kedalam

Kondisi ini berlaku untuk dished end yang ditunjukkan pada [Gambar 8.1](#).



Gambar 8.1 Tabung dengan end disc

4.7 Perhitungan alternatif

Sebagai alternatif perhitungan sesuai dengan EN 1964-1 atau ISO 9809-1 dapat dilakukan, asalkan hasil perhitungan paling tidak setara.

5. Pengujian tabung gas

5.1 Prosedur persetujuan

BKI dapat menyetujui sesuai dengan prosedur sebagai berikut:

5.1.1 Pengujian tunggal pada lot produksi

Setelah persetujuan dokumen oleh BKI Kantor Pusat, pengujian yang dipersyaratkan sesuai dengan [5.3](#) sampai [5.5](#) harus dilakukan.

Kemudahan sesuai dengan [5.5.3](#) tidak dapat diterapkan.

5.1.2 Persetujuan tipe dan pengujian tunggal pada lot produksi

Setelah persetujuan dokumen oleh BKI Kantor Pusat, seri produksi pertama digunakan sebagai uji spesimen sesuai dengan [5.3](#) sampai [5.5](#). Setelah itu, untuk setiap lot produksi, tes yang dipersyaratkan sesuai dengan [5.3](#) sampai [5.5](#) harus dilakukan.

Kemudahan sesuai dengan [5.5.3](#) dapat diterapkan.

5.1.3 Persetujuan tipe dan perencanaan uji

Setelah persetujuan dokumen oleh BKI Kantor Pusat, pabrik pembuat dapat membuat perencanaan khusus dengan BKI terkait pelaksanaan pengujian untuk persetujuan.

5.2 Sampel Uji

5.2.1 Tabung yang dinormalisasi

Dua tabung sampel dari setiap 400 tabung yang berasal dari setiap leburan dan setiap perlakuan panas harus diambil.

5.2.2 Tabung yang di *quench* dan di *temper*

Dua tabung sampel dari setiap 200 tabung yang berasal dari setiap leburan dan setiap perlakuan panas harus diambil.

5.3 Pengujian pada semua tabung gas

5.3.1 Untuk semua tabung gas yang diajukan untuk pengujian, uji tekanan hidrostatik dengan tekanan uji sesuai dengan [4.2](#) harus dilakukan.

5.3.2 Semua tabung gas yang diajukan untuk pengujian harus menjalani inspeksi visual akhir. Tabung gas harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam dokumen untuk persetujuan.

Selama inspeksi oleh BKI harus dilakukan, pemeriksaan berat dan kapasitas volumetrik serta penandaan harus dilakukan untuk 10% dari total jumlah tabung gas oleh BKI Surveyor.

5.3.3 Pabrik pembuat harus menentukan kapasitas volumetrik dan berat masing-masing silinder.

5.3.4 Tabung yang telah di *quench* dan di *temper* harus menjalani 100% pengujian kekerasan yang dilakukan oleh pabrik pembuat. Sejauh tidak disepakati lain, nilai kekerasan yang dievaluasi dari satu lot uji sesuai dengan [5.2](#) harus tidak berbeda lebih dari 55 HB.

5.4 Pengujian pada sampel tabung pertama

5.4.1 Dari tabung sampel pertama sesuai dengan 5.2, satu spesimen uji tarik longitudinal, tiga spesimen uji tekuk transversal dan satu set sampel uji takik ISO tipe-V harus diambil dari arah longitudinal atau transversal. Sampel uji takik harus diuji pada suhu -20 °C. Hasil uji takik rata-rata harus sekurang-kurangnya 35 Joule.

5.4.2 Ketebalan silindris pada tabung sampel pertama harus diukur dalam bidang melintang pada tiga tingkatan (bagian leher, menengah dan dasar) dan *end plate* harus dipotong melintang dan diukur ketebalannya.

5.4.3 Pada sampel tabung pertama, pemeriksaan permukaan sisi dalam pada bagian leher dan bagian dasar dilakukan untuk mendeteksi cacat pada saat proses pembuatan yang mungkin terjadi.

5.5 Pengujian pada tabung sampel kedua

5.5.1 Tabung sampel kedua dikenai *bursting test* sesuai dengan 5.5.2.

5.5.2 Bursting Test

5.5.2.1 Lot Botol uji yang dimaksudkan untuk menjalani *bursting test* harus diidentifikasi secara jelas.

5.5.2.2 Tekanan yang dipersyaratkan untuk bursting test harus setidaknya 1,8 kali tekanan uji p_p .

5.5.2.3 *Bursting test* dengan hidrostatik harus dilakukan dalam dua tahapan yang berjenjang, dengan sarana alat uji yang memungkinkan tekanan untuk terus meningkat hingga tabung pecah dan kurva tekanan harus direkam terhadap fungsi waktu. Uji ini harus dilakukan pada suhu ruang.

5.5.2.4 Selama tahap pertama, tekanan harus meningkat terus menerus sampai dengan nilai dimana deformasi plastis mulai terjadi; peningkatan tekanan tidak boleh melebihi 5 bar/sec.

Setelah titik deformasi plastis telah tercapai (tahap kedua), kapasitas pompa tidak boleh melebihi dua kali lipat kapasitas tahap pertama; kemudian harus dijaga konstan sampai silinder pecah.

5.5.2.5 Visual rekahan harus dievaluasi. Tidak boleh getas dan tidak ada potongan pecahan yang terlepas.

5.5.3 Untuk lot yang kurang dari 400 buah tabung yang dinormalisasi, dan juga untuk kumpulan yang kurang dari 200 silinder yang di quench dan ditemper, tekanan pecah dibebaskan untuk setiap lot kedua.

5.6 Kehadiran Surveyor BKI

Sejauh tidak ada persetujuan lain (lihat 5.1.3), kehadiran Surveyor BKI dipersyaratkan untuk uji sesuai dengan 5.3.1, 5.3.2, 5.4 dan 5.5.2.

6. Penandaan

Setiap tabung gas harus ditandai sebagai berikut:

- Nama atau nama dagang pabrik pembuat
- Nomor seri
- Jenis gas
- Nilai kekuatan desain [N/mm²]
- Kapasitas [l]
- Tekanan uji [bar]
- Berat kosong [kg]

- Tanggal pengujian
- Stempel pengujian

7. Pengakuan pengujian yang setara

7.1 Pengakuan uji tunggal dalam lot

7.1.1 Jika persetujuan dokumen dan juga persetujuan tipe dari intitusi yang diakui oleh BKI telah diserahkan, tabung gas yang telah diproduksi yang diperiksa dengan menggunakan tes tunggal dalam lot dapat diakui oleh BKI.

7.1.2 Bersama dengan dokumentasi lengkap termasuk catatan pembuatan harus disediakan untuk Kantor Pusat BKI dan harus dievaluasi dengan hasil yang positif.

7.1.3 Tabung gas harus diperiksa eksternal dan dilakukan survei untuk konfirmasi kesesuaianya dengan dokumentasi.

7.2 Pengakuan untuk pengujian dengan tanggung jawab sendiri

Untuk tabung gas yang telah diproduksi di bawah tanggung jawab pabrik pembuat atas dasar persetujuan oleh intitusi diluar BKI, prosedur persetujuan sesuai dengan [5.1.1](#) harus dilakukan.

Bab 9 Pembakar Minyak dan Peralatan Berbahan Bakar Minyak

A.	Umum.....	9–1
B.	Persyaratan mengenai Peralatan Berbahan Bakar Minyak.....	9–2
C.	Persyaratan untuk Pembakar Minyak.....	9–3
D.	Pengujian.....	9–6

A. Umum

1. Ruang Lingkup

1.1 Persyaratan berikut berlaku untuk pembakar minyak dan peralatan berbahan bakar minyak yang akan digunakan untuk pembakaran bahan bakar cair menurut [Bab 1](#), [D.12](#) yang diinstal pada boiler uap utama, boiler uap tambahan, pemanas minyak termal, generator air panas serta generator gas lembam menurut [Bab 15](#), [D.6.](#), yang kemudian disebut sebagai generator kalor.

1.2 Jika pembakar minyak dan peralatan berbahan bakar minyak akan digunakan untuk pembakaran bahan bakar cair yang berbeda atau bahan bakar yang berbeda dengan [Bab 1](#), [D.12](#) misalnya minyak sulfur distilat rendah (Low Sulphur Distillate Oils atau LSDO), limbah minyak atau minyak buangan, langkah yang diperlukan harus disepakati dengan Kantor Pusat BKI dalam setiap kasus.

2. Peraturan yang berlaku

Pedoman dan Peraturan BKI berikut harus diterapkan dengan prinsip yang sama:

Bab 7.I	untuk boiler uap dan generator air panas
Bab 7.II	untuk sistem minyak termal
Bab 8	untuk generator air hangat dan bejana tekan (misalnya peralatan pemanasan awal)
Bab 11 A. sampai D., Q. dan R.	untuk pompa, perpipaan, katup dan fitting
Bab 12	untuk pendetksi kebakaran dan peralatan pemadam kebakaran
Rules for Electrical Installations (Pt. 1, Vol. IV).	untuk instalasi kelistrikan
Rules for Automation (Pt.1, Vol. VII)	untuk sistem mesin otomatis (OT)
Guidance for the Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use (Pt.1, Vol. W)	untuk komponen yang memerlukan persetujuan tipe

3. Dokumen untuk persetujuan

Pembakar minyak untuk instalasi pada generator kalor harus memenuhi persyaratan sebagai berikut. Berikut adalah dokumen yang harus diserahkan kepada BKI untuk disetujui. Untuk memfasilitasi proses persetujuan yang lancar dan efisien, gambar-gambar dapat diserahkan dalam format elektronik.

- Gambar umum dari pembakar minyak
- Diagram perpipaan dan peralatan dari pembakar termasuk daftar bagian-bagian
- Deskripsi fungsi

- Diagram kelistrikan
- Daftar peralatan yang berkaitan dengan kontrol listrik dan keamanan
- Konfirmasi oleh produsen bahwa pembakar minyak dan peralatan berbahan bakar minyak sesuai untuk digunakan untuk bahan bakar yang dimaksudkan.

B. Persyaratan mengenai Peralatan Berbahan Bakar Minyak

1. Umum

1.1 Generator kalor tanpa pengawasan konstan dan langsung harus dioperasikan dengan sistem pembakaran otomatis.

1.2 Peralatan berbahan bakar minyak dengan komponen yang dioperasikan secara elektrik juga harus mampu dimatikan dengan saklar darurat yang terletak di panel operasi dan dari posisi luar tempat peralatan dipasang. Dengan prinsip yang sama, sarana harus disediakan untuk penyetopan jarak jauh pompa layanan bahan bakar minyak yang dioperasikan dengan uap.

1.3 Peralatan berbahan bakar minyak termasuk pembakar minyak yang digunakan dengan bahan bakar minyak yang berbeda berkaitan dengan komposisi kimia dan sifat fisik harus dilengkapi atau dapat dioperasikan masing-masing dengan sebuah cara sehingga setiap ubah-ganti ke bahan bakar minyak lain dapat dipastikan dalam kasus apapun merupakan operasi otomatis yang berjalan aman.

1.4 Operasi manual

1.4.1 Untuk pembakar minyak pada generator kalor, yang dioperasikan secara otomatis, sarana untuk operasi dan pengawasan harus disediakan yang memungkinkan operasi manual dengan persyaratan minimum berikut dengan menggunakan tingkat kontrol tambahan.

1.4.2 Pemantauan nyala api harus tetap aktif.

1.4.3 Peralatan keselamatan yang tidak diperlukan untuk operasi manual hanya dapat diset dengan fungsi saklar yang dioperasikan dengan kunci. Aktuasi dari saklar kunci harus ditunjukkan.

1.4.4 Operasi manual membutuhkan pengawasan konstan dan langsung dari sistem.

2. Peralatan dari generator kalor dan pengaturan pembakar

2.1 Pembakar minyak harus dirancang, dipasang dan disesuaikan sedemikian rupa untuk mencegah api menyebabkan kerusakan pada permukaan boiler atau tabung yang berbatasan dengan ruang pembakaran. Bagian boiler yang dinyatakan dapat mengalami kerusakan harus dilindungi dengan lapisan tahan api.

Sistem pembakaran harus diatur untuk mencegah api tertiu kembali ke boiler atau ruang mesin dan untuk memungkinkan bahan bakar yang tidak terbakar untuk terkuras dengan aman .

2.2 Bukaan observasi harus disiapkan pada titik-titik yang sesuai pada generator atau pembakar kalor dimana penyalan api, nyala api utama dan pelapis dapat diamati.

3. Operasi simultan dari pembakar minyak dan mesin pembakaran dalam

Operasi pembakar minyak di ruang yang terdapat sistem lain dengan konsumsi udara yang tinggi, misalnya mesin pembakaran dalam atau kompresor udara, tidak boleh terganggu oleh variasi tekanan udara.

4. Pemanasan awal bahan bakar minyak

4.1 Peralatan harus memungkinkan generator kalo r untuk dinyalakan dengan fasilitas yang tersedia di kapal.

4.2 Jika hanya pemanas awal yang dioperasikan dengan uap yang ada, bahan bakar yang tidak memerlukan pemanasan awal harus tersedia untuk menyalaan boiler.

4.3 Setiap sumber panas terkontrol dapat digunakan untuk memanaskan bahan bakar minyak. Pemanasan awal dengan api terbuka tidak diizinkan.

4.4 Jalur sirkulasi bahan bakar minyak harus disediakan untuk memungkinkan pemanasan awal bahan bakar minyak sebelum penyalakan generator.

Ketika perubahan dilakukan dari minyak berat ke minyak ringan, minyak ringan harus tidak melewati pemanas atau dipanaskan berlebihan (sistem alarm).

4.5 Suhu suplai bahan bakar minyak harus dipilih untuk menghindari busa berlebihan, pembentukan uap atau gas, dan juga pembentukan deposit pada permukaan pemanasan.

Jika bahan bakar minyak dipanaskan awal dalam tangki pada tekanan atmosfer, persyaratan dalam Bab 10, B.5. harus dipenuhi.

Desain dan konstruksi pemanas bahan bakar minyak bertekanan harus tunduk pada persyaratan pada Bab 8.

4.6 Kontrol suhu atau viskositas harus dilakukan secara otomatis. Untuk tujuan pemantauan, termometer atau viskometer harus dipasang pada saluran tekanan bahan bakar minyak didepan pembakar.

4.7 Ketikan suhu atau viskositas suplai minyak bahan bakar menyimpang diatas atau dibawah dari batas yang diizinkan, sistem alarm harus mengirimkan sinyal tentang kejadian ini ke panel kontrol generator kalor.

5. Pompa, perpipaan, katup dan fitting

Dengan menggunakan sebuah perangkat penutup cepat yang dioperasikan dengan tangan yang terpasang di manifold bahan bakar minyak, harus memungkinkan untuk mengisolasi suplai bahan bakar ke pembakar dari saluran bahan bakar bertekanan. Tergantung dari desain dan metode operasi, perangkat penutupan cepat juga mungkin diperlukan langsung didepan masing-masing pembakar.

6. Bahan bakar yang disetujui

Lihat Bab 1.D.12.

C. Persyaratan untuk Pembakar Minyak

1. Peralatan keselamatan

1.1 Urutan yang tepat dari fungsi keselamatan saat pembakar dinyalakan atau dimatikan harus dipastikan dengan menggunakan kotak kontrol pembakar.

1.2 Dua perangkat penutup cepat otomatis harus disediakan pada jalur suplai bahan bakar minyak ke pembakar.

Untuk jalur suplai bahan bakar minyak ke pengapian pembakar, satu perangkat penutup cepat otomatis akan cukup, jika pompa bahan bakar minyak dimatikan setelah penyalaan pembakar.

1.3 Dalam keadaan darurat, harus memungkinkan untuk menutup perangkat penutup cepat otomatis dari platform kontrol generator kalor dan jika berlaku dari ruang kontrol mesin.

1.4 Perangkat penutupan cepat otomatis harus tidak melepaskan suplai minyak ke pembakar selama penyalaan dan harus menghentikan suplai minyak selama operasi (dapat *restart* otomatis) jika salah satu dari kesalahan berikut terjadi:

- a) Kegagalan tekanan yang dibutuhkan dari media atomisasi (uap dan automizer udara bertekanan)
 - Kegagalan tekanan minyak yang dibutuhkan untuk atomisasi (atomizers tekanan minyak)¹
 - Melebihi tekanan maksimum yang diijinkan di jalur kembali (pembakar dengan jalur kembali)
 - Kekurangan kecepatan putar dari cup yang berputar atau tekanan udara utama terlalu rendah (*atomizers* berputar)
- b) Kegagalan suplai udara pembakaran¹
- c) Kegagalan suplai daya kontrol
- d) Kegagalan kipas hisap paksa atau kekurangan bukaan dari register gas buang
- e) Pembakar tidak dalam posisi pengoperasian

1.5 Suplai bahan bakar minyak harus diinterupsi dengan menutup perangkat penutupan cepat otomatis dan saling terkunci dengan menggunakan kotak kontrol pembakar jika:

- Nyala api tidak membesar dalam periode aman setelah penyalaan (lihat [1.7](#))
- Nyala api dipadamkan selama operasi dan usaha untuk me-restart pembakar dalam periode aman tidak berhasil (lihat [1.7](#)) atau
- saklar pembatas teraktuasi.

1.6 Jalur kembali pembakar yang mempunyai jalur kembali juga harus disediakan dengan sebuah perangkat penutupan cepat otomatis. Perangkat dalam jalur kembali dapat ditiadakan jika jalur kembali tidak mendapat tekanan dan tidak ada minyak yang dapat mengalir kembali ketika pembakar dimatikan.

1.7 Setiap pembakar harus dilengkapi dengan alat pengaman untuk pemantauan api yang cocok untuk bahan bakar minyak tertentu (kisaran spektral api pembakar harus ditaati) digunakan. Alat ini harus mematuhi periode keselamatan berikut² pada penyalaan pembakar atau ketika api dipadamkan dalam operasi:

- pada penyalaan 5 detik
- dalam operasi 1 detik

Ketika dibenarkan, periode aman yang lebih lama dapat diizinkan untuk sebuah pembakar dengan debit minyak hingga 30 kg/jam. Langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa periode aman untuk nyala api utama tidak diperpanjang oleh aksi penyala api (misalnya pengapian pembakar).

1.8 Peralatan dalam sistem berbahan bakar minyak harus cocok untuk digunakan dalam sistem berbahan bakar minyak dan di kapal. Bukti kesesuaian pembatas dan pemancar alarm misalnya untuk kotak kontrol pembakar, perangkat pemantauan api, perangkat penutupan cepat otomatis harus ditunjukkan

¹ Ketika tidak ada perangkat pemantauan minyak atau suplai udara atau perangkat penutupan cepat pegas di pompa, persyaratan di atas dianggap telah terpenuhi jika ada rakitan motor kipas-pompa dalam kasus output motor poros tunggal atau sebuah rakitan pompa kipas-motor-minyak dalam kasus output motor poros berujung ganda. Dalam kasus terakhir, harus ada kopling positif antara motor dan kipas.

² Periode aman adalah waktu maksimum yang diizinkan selama bahan bakar minyak disuplai ke ruang pembakaran tanpa adanya nyala api.

dengan pemeriksaan persetujuan jenis sesuai dengan persyaratan Peraturan BKI yang tercantum dalam A.2.

1.9 Terpicunya perangkat keselamatan dan pemantauan harus ditunjukkan dengan alarm visual dan suara pada panel kontrol generator kalor.

1.10 Penguncian elektrik dari sistem pembakaran menyusul pemicuan oleh perangkat keamanan dan pemantauan hanya dapat dibatalkan pada generator kalor atau sistem pembakaran masing-masing.

2. Desain dan konstruksi pembakar

2.1 Jenis dan desain pembakar dan peralatan atomisasi dan peralatan turbulensi udara harus memastikan pembakaran sempurna yang sebenarnya.

2.2 Penggunaan peralatan, terutama pompa dan perangkat penyetopan, harus sesuai dengan penggunaan tertentu dan minyak yang digunakan.

2.3 Pembakar, yang dapat ditarik kembali atau berputar harus dilengkapi dengan sebuah penangkap untuk menahan pembakar pada posisi berayun. Sebagai tambahan, persyaratan sesuai dengan 1.4 e) harus ditaati.

2.4 Atomizers uap harus dilengkapi dengan peralatan untuk mencegah bahan bakar minyak memasuki sistem uap.

2.5 Jika instalasi terdiri dari beberapa pembakar yang disuplai dengan udara pembakaran oleh sebuah kipas umum, masing-masing pembakar harus dilengkapi dengan perangkat penyetopan (misalnya sebuah sirip). Sarana harus disediakan untuk mempertahankan perangkat penyetopan dalam posisi harus ditunjukkan.

2.6 Setiap pembakar harus dilengkapi dengan sebuah pengapian. Pengapian harus diinisiasi segera setelah pembersihan. Dalam kasus pembakar kapasitas rendah dari jenis satu blok (pompa dan kipas minyak berpasangan secara permanen) pengapian dapat mulai dengan penyalaan pembakar kecuali yang terakhir terletak di atap ruang bakar.

2.7 Jika pembakar ditiup menerus setelah penyetopan, ketentuan harus dibuat untuk pengapian yang aman dari sisa minyak yang dibuang.

3. Pembersihan ruang bakar dan cerobong asap, saluran gas buang

3.1 Ruang bakar dan cerobong asap secara memadai harus dibersihkan dengan udara sebelum penyalaan pembakar. Sebuah tanda peringatan harus dipasang untuk efek ini.

3.2 Pembaruan tiga kali lipat dari volume udara total dari ruang pembakaran dan saluran gas buang hingga inlet corong dianggap cukup. Biasanya pembersihan harus dilakukan dengan total aliran udara pembakaran untuk setidaknya 15 detik. Seharusnya, bagaimanapun, dalam kasus apapun dilakukan dengan setidaknya 50% dari volume udara pembakaran yang dibutuhkan untuk daya pemanasan maksimum dari sistem pembakaran.

3.3 Bengkokan dan sudut mati di saluran gas buang harus dihindari.

Peredam pada penyerap (uptakes) dan corong harus dihindari. Setiap peredam yang dipasang harus diinstall sedemikian rupa sehingga tidak ada suplai minyak yang memungkinkan ketika penampang dari jalur pembersihan berkurang di bawah nilai minimum tertentu. Posisi peredam harus ditunjukkan pada platform kontrol boiler.

3.4 Jika peredam atau perangkat sejenis dipasang di saluran suplai udara, perawatan harus dilakukan untuk memastikan udara untuk membersihkan ruang bakar selalu tersedia kecuali suplai minyak tertentu terganggu.

3.5 Jika kipas hisap paksa terpasang, sebuah sistem penguncian harus mencegah penyalaan peralatan pembakaran sebelum kipas telah menyala. Sebuah sistem penguncian juga harus diberikan untuk setiap sirip yang dapat dipasang pada bukaan corong

4. Peralatan listrik

Peralatan listrik dan tingkat perlindungannya harus mematuhi [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol. IV\)](#). Penyala api tegangan tinggi harus cukup aman terhadap operasi monitor api yang tidak sah.

5. Penandaan

Informasi berikut harus dicantumkan pada sebuah pelat nama produsen tahan lama yang melekat di pembakar:

- pelat nama produsen
- jenis dan ukuran
- nomor seri
- tahun pembuatan
- aliran minyak maksimum dan minimum
- bahan bakar minyak yang digunakan
- derajat perlindungan

D. Pengujian

1. Pengujian di bengkel produsen

Untuk pembakar untuk generator kalor, pemeriksaan berikut harus dilakukan di bengkel produsen dan didokumentasikan dengan sebuah Sertifikat Persetujuan BKI:

- inspeksi visual dan pemeriksaan kelengkapan
- uji tekanan minyak pemanasan awal, jika tersedia dan diperlukan sesuai dengan [Bab 8](#)
- uji tekanan dari pembakar
- uji tahanan isolasi
- uji tegangan tinggi
- uji fungsional dari peralatan keselamatan terkait

2. Pengujian diatas kapal

2.1 Setelah instalasi, pengujian tekanan dan kekedapan dari sistem bahan bakar termasuk alat kelengkapan harus dilakukan, lihat [Bab 11.B.4](#).

2.2 Sistem termasuk switchboard yang dipasang pada generator kalor di kapal tersebut harus diuji fungsi sebagai berikut, terutama waktu pembersihan yang diperlukan harus diidentifikasi dan operasi manual harus ditunjukkan.

- Pengecekan kelengkapan peralatan untuk komponen yang diperlukan
- Uji fungsional dari semua peralatan keselamatan yang relevan

- Uji fungsional dari kotak kontrol pembakar
- Identifikasi daya pembakar maksimum dan minimum
- Identifikasi stabilitas nyala api pada saat penyalaan, saat daya pembakar maksimum dan minimum yang dipertimbangkan dari tekanan ruang bakar. Perubahan tekanan yang tidak ditentukan tidak diizinkan.
- Bukti tentang pembersihan yang diperlukan dari cerobong asap dan periode keselamatan
- Saat pembakar minyak dioperasikan dengan bahan bakar minyak yang berbeda, proses ubah-ganti yang sesuai ke kualitas bahan bakar minyak yang lain dan terutama operasi yang aman dari pemantauan nyala api, perangkat penutup cepat dan pemanas awal, jika ada, harus diperiksa.
- Bukti tentang sifat pembakaran seperti CO₂, kemungkinan O₂, konten volumetrik CO dan angka jelaga minimal, sarana dan daya maksimum, dalam hal persyaratan statutori.

Pembakaran yang tepat pada semua pengaturan serta fungsi peralatan keselamatan harus diverifikasi. Sebuah Sertifikat Persetujuan BKI dari pembakar minyak yang berkaitan dengan pemeriksaan di bengkel produsen harus ditunjukkan kepada BKI selama pengujian fungsional.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 10 Penyimpanan Bahan Bakar Cair, Minyak Pelumas, Minyak Hidrolik dan Termal serta Minyak Residu

A.	Umum.....	10-1
B.	Penyimpanan Bahan Bakar Cair	10-1
C.	Penyimpanan Minyak Pelumas dan Hidrolik	10-5
D.	Penyimpanan Minyak Termal	10-6
E.	Penyimpanan Minyak Residu.....	10-6
F.	Penyimpanan Botol Gas untuk Keperluan Domestik	10-7

A. Umum

1. Ruang Lingkup

Persyaratan berikut berlaku untuk penyimpanan bahan bakar cair, minyak pelumas, minyak hidrolik dan termal serta minyak residu.

2. Definisi

Tangki layanan adalah tangki endapan dan tangki layanan harian yang memasok ke pengguna (peralatan) secara langsung.

Changeable tank adalah tangki yang dapat digunakan untuk bahan bakar cair atau air balas sebagai alternatif. *Changeable tank* harus diperlakukan sebagai tangki bahan bakar.

3. Rencana Tangki

Rencana tangki harus diajukan untuk persetujuan. Spesifikasi terkait pengaturan, media dan volume tangki harus termasuk didalamnya. Untuk memfasilitasi proses persetujuan yang efisien, gambar dapat disampaikan dalam format elektronik.

B. Penyimpanan Bahan Bakar Cair

1. Penanganan keselamatan umum untuk bahan bakar cair

Tangki dan pipa harus terletak dan dilengkapi sedemikian rupa sehingga bahan bakar tidak dapat memercik baik di dalam kapal maupun di dek dan tidak dapat tersulut oleh permukaan panas atau peralatan listrik. Tangki-tangki tersebut harus dilengkapi dengan pipa udara dan limpah sebagai pengamanan terhadap tekanan berlebih, lihat Bab 11.R.

2. Distribusi, lokasi, dan kapasitas tangki bahan bakar

2.1 Distribusi tangki bahan bakar

2.1.1 Pasokan bahan bakar harus disimpan pada beberapa tangki sehingga, bahkan pada saat terjadi kerusakan dari salah satu tangki, pasokan bahan bakar tidak akan terganggu seluruhnya.

Pada kapal penumpang dan kapal-kapal kargo tanpa memperhatikan ukurannya, tidak ada tangki bahan bakar atau tangki yang memuat cairan yang mudah terbakar yang ditempatkan didepan sekat tubrukan.

2.1.2 Ketentuan harus dibuat untuk memastikan bahwa mesin pembakaran dalam dan sistem boiler yang beroperasi dengan bahan bakar minyak berat dapat dioperasikan sementara dengan bahan bakar yang tidak perlu dipanaskan. Tangki yang sesuai harus disediakan untuk tujuan ini. Persyaratan ini tidak berlaku ketika air pendingin dari mesin utama atau bantu digunakan untuk pemanasan awal dari tangki bahan bakar minyak berat. Pengaturan dalam bentuk lain mengacu pada persetujuan BKI.

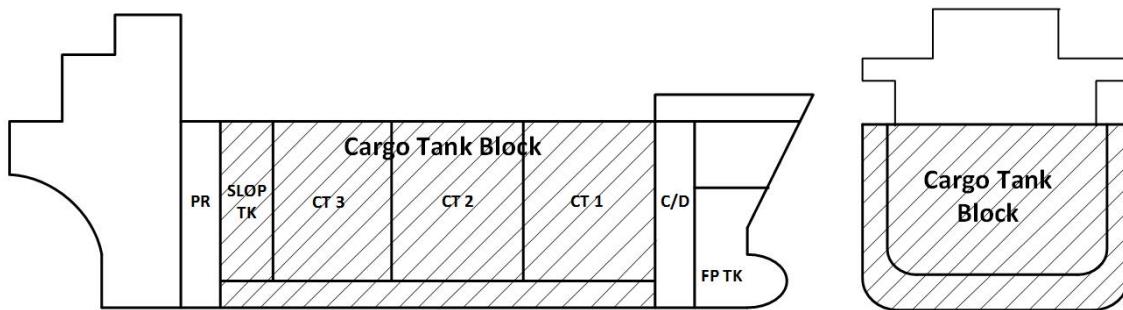
2.1.3 Tangki bahan bakar harus dipisahkan dengan cofferdam dari tangki yang berisi minyak pelumas, minyak hidrolik, minyak termal atau minyak nabati serta dari tangki yang berisi air umpan boiler, air kondensat atau air minum. Hal ini tidak berlaku untuk minyak pelumas bekas yang tidak akan digunakan lagi di atas kapal.

2.1.4 Pada kapal kecil rencana cofferdam menurut [2.1.3](#) dapat, dengan persetujuan BKI, ditiadakan, asalkan dinding bersama antara tangki direncanakan sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.12.A.5.2](#).

2.1.5 Tangki bahan bakar minyak yang berdekatan dengan tangki sirkulasi minyak pelumas tidak diizinkan.

2.1.6 Pada kapal tangki minyak dan kimia, tangki bahan bakar yang ditempatkan dengan dinding bersama ke tangki muatan tidak boleh terletak di dalam blok tangki muat. Namun demikian, tangki tersebut dapat ditempatkan di bagian depan dan belakang dari blok tangki muat alih-alih cofferdam. Tangki bahan bakar tidak boleh menembus tangki muat atau tangki minyak kotor baik memanjang sepenuhnya ataupun sebagian. Namun tangki tersebut dapat diterima ketika ditempatkan sebagai tangki independen pada dek terbuka di area muat, dengan mempertimbangkan keamanan terhadap tumpahan dan keselamatan kebakaran. Tangki bahan bakar tidak diizinkan untuk diperluas ke area perlindungan tangki muat yang persyaratkan oleh MARPOL Annex I dan IBC Code. Untuk kapal tangki kimia, perhatian harus diberikan terhadap batasan muatan yang dapat ditempatkan berdekatan dengan tangki bahan bakar.

Rencana tangki bahan bakar independen dan sistem perpipaan bahan bakarnya, termasuk pompa, dapat seperti rencana pada tangki bahan bakar dan sistem perpipaan bahan bakarnya yang terletak di ruang permesinan. Untuk peralatan listrik, persyaratan untuk klasifikasi *hazardous area* harus diperhitungkan.



Gambar 10.1 Blok tangki kargo

Blok tangki muat adalah bagian dari kapal yang membentang dari sekat buritan dari tangki muat atau tangki minyak kotor paling belakang ke sekat kedap depan dari tangki muat atau tangki minyak kotor paling depan, memanjang hingga ke sarat dan lebar penuh kapal, tetapi tidak termasuk daerah di atas dek tangki muat atau tangki minyak kotor.

Catatan:

*Muatan cair beracun termasuk muatan yang dimana deteksi terhadap uap beracun dipersyaratkan sesuai kolom "k" tabel Chapter 17 IBC Code.

2.2 Rencana tangki bahan bakar

2.2.1 Tangki bahan bakar dapat diletakkan di atas mesin, boiler, turbin dan peralatan lainnya dengan suhu permukaan yang tinggi (diatas 220 °C) hanya jika nampakan tumpahan yang memadai disediakan di bawah tangki tersebut dan tangki terlindungi dari radiasi panas. Temperatur permukaan elemen tanpa isolasi dan pembungkusan harus diperhitungkan.

2.2.2 Tangki bahan bakar harus menjadi kesatuan dari struktur kapal. Jika hal ini tidak dapat dilakukan, tangki harus terletak berdekatan dengan sekat kedap ruang mesin dan bagian atas tangki dasar ganda. Perencanaan tangki bahan bakar *free standing* di dalam kamar mesin harus dihindari. Perencanaan tangki yang tidak sesuai dengan persyaratan di atas memerlukan persetujuan BKI. Untuk tangki minyak dengan kapasitas lebih dari 600 m³, perencanaan tangki bahan bakar yang berdekatan dengan cofferdam yang dipersyaratkan oleh MARPOL I Reg. 12A harus diterapkan.

2.2.3 Tangki yang berdekatan dengan ruang muat berpendingin mengacu pada [Rules for Refrigerating Installations \(Pt.1, Vol.VIII\), Sec. 1.M.](#)

2.2.4 Pasokan bahan bakar yang independen harus disediakan untuk penggerak utama sumber daya listrik darurat:

- Pada kapal kargo, kapasitas bahan bakar harus mencukupi untuk sekurang-kurangnya 18 jam. Hal ini berlaku secara analogi pada mesin penggerak pompa kebakaran darurat.
- Pada kapal penumpang, kapasitas bahan bakar harus mencukupi untuk sekurang-kurangnya 36 jam. Penurunan kapasitas bahan bakar dapat disetujui untuk kapal penumpang yang berlayar pada pelayaran pendek (di perairan teritorial), namun kapasitasnya harus cukup untuk sekurang-kurang 12 jam.

Pada kapal penumpang, tangki bahan bakar harus terletak di atas dek sekat kedap, dan pada kapal kargo di atas geladak menerus paling atas, dan dalam kedua jenis kapal di luar kamar mesin dan boiler dan di belakang sekat tubrukan.

Dengan perencanaan dan/atau pemanas tangki bahan bakar, peralatan diesel darurat harus dijaga dalam keadaan siaga bahkan ketika suhu luar rendah.

2.2.5 Tangki layanan bahan bakar minyak yang disediakan untuk generator diesel darurat yang disetujui untuk dioperasikan sebagai catu daya utama pada saat beroperasi di pelabuhan harus didesain sehingga kapasitas yang diperlukan pada [2.2.4](#) tersedia setiap saat. Alarm level rendah yang sesuai harus disediakan, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 3.D.2.6.](#)

2.2.6 Jumlah dan kapasitas tangki layanan bahan bakar minyak, lihat [Bab 11.G.10.](#)

3. Kelengkapan dan pemasangan tangki bahan bakar

3.1 Untuk jalur pengisian dan jalur isap lihat [Bab 11.G.](#) untuk pipa udara, pipa limpah dan pipa duga, lihat [Bab 11.R.](#)

3.2 Tangki layanan harus disusun sedemikian rupa sehingga air dan residu dapat tersimpan meskipun kapal bergerak.

Tangki bahan bakar yang terletak di atas dasar ganda harus dilengkapi dengan saluran pengurasan dengan katup penyetop yang dapat menutup sendiri.

3.3 Pengukur tangki

3.3.1 Jenis pengukur tangki berikut diijinkan:

- Pipa duga
- Perangkat penunjuk level minyak (dari jenis yang disetujui)
- Pengukur level (tinggi permukaan) minyak dengan kaca datar dan katup penyetop yang dapat menutup sendiri pada koneksi ke tangki dan terlindungi terhadap kerusakan eksternal.

3.3.2 Untuk tangki penyimpanan bahan bakar penggunaan pipa duga telah mencukupi. Pipa-pipa duga dapat dihindakan, jika tangki dilengkapi dengan perangkat penunjuk level minyak dari jenis yang telah disetujui oleh BKI.

3.3.3 Tangki endapan dan layanan harian bahan bakar harus dilengkapi dengan perangkat penunjuk level minyak atau alat pengukur level minyak sesuai dengan [3.3.1](#).

3.3.4 Kaca pengamatan dan pengukur yang dipasang langsung pada sisi tangki bahan bakar dan kaca silinder pengukur tidak diizinkan.

3.3.5 Pipa duga tangki bahan bakar tidak boleh berujung dalam ruang akomodasi atau penumpang, dan tidak boleh berujung dalam ruang di mana terdapat risiko memantik api pada tumpahan dari pipa duga.

3.3.6 Pada kapal penumpang, pipa duga dan perangkat penunjuk level bahan bakar hanya diperbolehkan jika perangkat tersebut tidak memerlukan penembusan di bawah bagian atas tangki dan kegagalan perangkat tersebut atau kelebihan pengisian tangki tidak dapat mengakibatkan bahan bakar tumpah.

3.3.7 Pipa duga harus berujung di luar ruang mesin. Jika tidak memungkinkan, persyaratan berikut ini harus dipenuhi:

- Pengukur level bahan bakar pipa duga harus disediakan sebagai tambahan,
- Pipa duga harus berada dalam jarak yang aman dari bahaya pemantikan atau pipa duga tersebut harus secara efektif terlindungi untuk mencegah tumpahan melalui pipa-pipa duga dapat terjadi kontak dengan sumber pemantik,
- Pipa duga harus dilengkapi dengan perangkat penyetop yang dapat menutup sendiri dan keran uji yang dapat tertutup sendiri.

4. Pengikatan peralatan dan alat kelengkapan pada tangki bahan bakar

4.1 Peralatan, pemasangan dan alat kelengkapan yang bukan merupakan bagian dari peralatan tangki bahan bakar dapat dipasang ke dinding tangki hanya dengan menggunakan penumpu antara. Untuk tangki *free standing*, hanya komponen yang merupakan bagian dari peralatan tangki yang dapat dipasang.

4.2 Katup dan sambungan pipa harus menempel pada flensa dengan pelat doubler yang dilas ke dinding tangki. Lubang untuk pasangan baut tidak boleh dibor ke dinding tangki. Sambungan pipa tebal dengan koneksi flensa yang dilas ke dinding tangki lebih disarankan daripada menggunakan flensa dengan pelat doubler.

5. Sistem pemanas tangki

5.1 Tangki harus dilengkapi dengan sistem untuk pemanasan bahan bakar yang memiliki viskositas tinggi. Sistem tersebut harus memungkinkan untuk mengontrol pemanasan pada setiap tangki. Koil pemanas harus secara tepat dibagi atau diatur dalam grup dengan dilengkapi masing-masing katup penyetop. Jika diperlukan, pipa hisap harus dilengkapi dengan *trace heating arrangement*.

5.2 Bahan bakar dalam tangki penyimpanan tidak boleh dipanaskan hingga temperatur 10 °C dibawah titik nyala bahan bakar.

Dalam tangki servis, tangki endapan dan tangki lainnya dalam sistem suplai bahan bakar dapat dipanaskan hingga temperatur yang lebih tinggi jika pengaturan berikut ini disediakan:

- Panjang pipa ventilasi dari tangki tersebut dan/atau peralatan pendingin mencukupi untuk mendinginkan uap hingga di bawah 60 °C, atau outlet dari pipa ventilasi terletak 3 m dari sumber pemantik,
- Kepala pipa udara dilengkapi dengan *flame screens*,
- Tidak ada bukaan pada ruang uap dari tangki bahan bakar ke dalam ruang mesin, lubang lalu orang dibaut dapat diterima,
- Ruang tertutup tidak boleh berada langsung di atas tangki bahan bakar tersebut, kecuali untuk cofferdam yang berventilasi,
- Peralatan listrik yang dipasang di ruang uap harus dari jenis yang disertifikasi aman secara intrinsik.

5.3 Untuk kapal dengan kelas es, pemanasan tangki harus didesain sehingga bahan bakar yang ada tetap mampu dipompa pada semua kondisi lingkungan sekitar.

5.4 Pada outlet tangki, koil pemanas harus dilengkapi dengan sarana penutupan. Koil pemanas uap harus dilengkapi dengan sarana untuk menguji kondensat bahan bakar antara outlet tangki dan perangkat penutupan. Koneksi koil pemanas di dalam tangki normalnya harus dilas. Penggunaan koneksi yang dapat dilepas hanya diperbolehkan dalam kasus yang dikecualikan.

Di dalam tangki, koil pemanas harus ditumpu sedemikian rupa sehingga koil tersebut tidak mengalami tegangan yang tidak diizinkan karena getaran, terutama pada titik klem.

5.5 Tangki untuk bahan bakar yang dipersyaratkan pemanasan awal harus dilengkapi dengan termometer dan, jika diperlukan, dilengkapi isolasi termal.

5.6 Untuk material, ketebalan dinding dan pengujian tekanan koil pemanas, lihat Bab 11.

6. Uji tekanan hidrolik

Tangki bahan bakar harus diuji kekedapannya sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#).

7. Bahan bakar dengan titik nyala ≤ 60 °C

Untuk penyimpanan bahan bakar cair dengan titik nyala ≤ 60 °C, lihat [Bab 1.D.12](#).

C. Penyimpanan Minyak Pelumas dan Hidrolik

1. Perencanaan tangki

Untuk rencana tangki [B.2.2.1](#) dan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#), Sec. 12 harus diterapkan.

2. Alat kelengkapan dan pemasangan tangki

- 2.1 Untuk jalur pengisian dan hisap tangki minyak pelumas dan minyak hidrolik, lihat Bab [11.H.2.2](#)
- 2.2 Untuk perangkat duga tangki untuk tangki minyak, lihat [B.3.3.1](#), [B.3.3.4](#) dan [B.3.3.6](#).
- 2.3 Untuk pengencangan peralatan dan perlengkapan di tangki, [B.4](#) diterapkan secara seimbang.
- 2.4 Untuk sistem pemanas tangki persyaratan [B.5.4](#) harus diperhatikan.

3. Kapasitas dan konstruksi tangki

3.1 Tangki sirkulasi minyak pelumas harus mempunyai dimensi yang cukup untuk memastikan bahwa waktu tunggu cukup lama untuk pengeluaran gelembung udara, residu dan lain-lain. Dengan level pengisian maksimum yang diizinkan sekitar 85%, tangki harus cukup besar untuk menampung setidaknya minyak pelumas yang terdapat dalam keseluruhan sistem sirkulasi termasuk isi tangki gravitasi.

3.2 Tindakan seperti penyediaan baffle atau lubang air konsisten dengan persyaratan kekuatan struktural, khususnya yang berkaitan dengan pelat dasar mesin, harus disediakan untuk memastikan bahwa seluruh isi tangki tetap bersirkulasi. Lubang air harus berada sedekat mungkin ke bagian bawah tangki. Rangkaian pipa hisap harus ditempatkan sejauh mungkin dapat dilakukan dari pipa kuras minyak sehingga tidak ada udara maupun lumpur mungkin untuk terhisap, terlepas dari sudut oleng kapal yang mungkin terjadi selama servis.

3.3 Tangki sirkulasi minyak pelumas harus dilengkapi dengan ventilasi dengan dimensi yang cukup.

D. Penyimpanan Minyak Termal

1. Perencanaan tangki

Untuk rencana tangki [B.2.2.1](#) dan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 12](#) harus diterapkan.

2. Alat kelengkapan dan pemasangan tangki

2.1 Untuk perangkat ukur tangki untuk tangki minyak panas, lihat [B.3.3](#) dan [Bab 7-II](#). Tangki Ekspansi harus dilengkapi dengan perangkat penunjuk level dari tipe yang disetujui.

2.2 Untuk pemasangan peralatan dan perlengkapan di tangki, [B.4](#) diterapkan secara seimbang.

2.3 Untuk jalur pengisian dan hisap dari tangki minyak panas, lihat [Bab 11.H.2.2](#).

E. Penyimpanan Minyak Residu

1. Sistem pemanas tangki

Untuk memastikan kemampuan pemompaan minyak residu, sebuah sistem pemanas tangki sesuai dengan [B.5](#) harus disediakan, jika dianggap perlu.

Pada umumnya tangki lumpur dilengkapi dengan sarana pemanasan yang didesain sedemikian rupa sehingga isi tangki lumpur dapat dipanaskan hingga 60 °C.

2. Tangki lumpur

2.1 Kapasitas tangki lumpur

Kapasitas tangki lumpur harus mampu untuk menampung residu yang muncul dari pengoperasian kapal dengan memperhatikan durasi pelayaran yang dijadwalkan dalam sebuah perjalanan^{1,2}.

2.2 Alat kelengkapan dan pemasangan tangki lumpur

¹ Persyaratan nasional, jika ada, harus ditaati.

² Referensi dibuat untuk Edaran 235 MEPC

-
- 2.2.1 Untuk perangkat duga tangki [B.3.3.2](#) dan [B.3.3.5](#) harus diterapkan secara seimbang.
 - 2.2.2 Untuk pipa udara, lihat [Bab 11.R](#).

F. Penyimpanan Botol Gas untuk Keperluan Domestik

- 1. Penyimpanan botol gas harus terletak di dek terbuka atau di ruang berventilasi yang hanya memiliki akses ke dek terbuka saja.
- 2. Sistem bahan bakar gas untuk keperluan domestik harus memenuhi standar yang diakui³.

³ Persyaratan nasional, jika ada, harus ditaati.

**Bab 10 Penyimpanan Bahan Bakar Cair, Minyak Pelumas, Hidrolik
dan Termal serta Residu Berminyak**

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 11 Sistem Perpipaan, Katup dan Pompa

A.	General	11-1
B.	Material, Pengujian	11-4
C.	Perhitungan Tebal dinding dan Elastisitas	11-18
D.	Prinsip untuk Konstruksi Pipa, Katup, Perlengkapan dan Pompa	11-25
E.	Jalur Uap	11-38
F.	Air Umpan Boiler dan Susunan Sirkulasi, Resirkulasi Kondensat	11-40
G.	Sistem Bahan Bakar Minyak	11-42
H.	Sistem Minyak Pelumas	11-48
I.	Sistem Pendingin Air Laut	11-51
K.	Sistem Pendingin Air Tawar	11-54
L.	Jalur Udara Terkompresi	11-56
M.	Jalur Gas Buang	11-57
N.	Sistem Bilga	11-57
O.	Peralatan untuk Pengolahan dan Penyimpanan Air Bilga, Residu Bahan bakar/Minyak ...	11-66
P.	Sistem Balas	11-69
Q.	Sistem Minyak Termal	11-74
R.	Pipa Udara, Limpah, dan Duga	11-75
S.	Sistem Air Minum ⁸	11-80
T.	Sistem Limbah	11-81
U.	Rakitan Selang dan Kompensator	11-83

A. General

1. Ruang Lingkup

Persyaratan ini berlaku untuk pipa dan sistem perpipaan, termasuk katup, perlengkapan dan pompa, yang diperlukan untuk pengoperasian perangkat propulsi utama bersama perangkat bantu dan peralatannya. Peraturan ini juga berlaku untuk sistem perpipaan yang digunakan dalam pengoperasian kapal yang kegagalannya langsung atau tidak langsung dapat mengganggu keselamatan kapal atau kargo, dan untuk sistem perpipaan yang diatur dalam Bab lainnya.

Perpipaan kargo dan proses di kapal untuk pengangkutan gas cair dalam bentuk curah sebagai tambahan mematuhi ketentuan [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1 Vol.IX\)](#)

Perpipaan kargo untuk pengangkutan bahan kimia dalam bentuk curah sebagai tambahan mematuhi ketentuan [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk \(Pt.1, Vol.X\)](#).

Peralatan las gas mematuhi persetujuan dari Kantor Pusat BKI dan diuji di hadapan Surveyor BKI.

Sistem ventilasi mematuhi ketentuan [Guidance for Ventilation System on Board Seagoing Ships \(Pt.1, Vol.A\)](#)

Sistem limpah bahan bakar minyak tertutup mematuhi [Guidance for Construction, Equipment and Testing of Closed Fuel Overflow System \(Pt.1, Vol.J\)](#)

Sistem bahan bakar untuk kapal dengan gas sebagai bahan bakar mematuhi peraturan BKI [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ships \(Pt.1, Vol.1\)](#).

2. Dokumen untuk persetujuan

2.1 Gambar /dokumen berikut harus diserahkan untuk disetujui dalam format elektronik.

2.1.1 Diagram Rencana dari sistem perpipaan berikut termasuk semua rincian yang diperlukan untuk persetujuan (misalnya daftar katup, perlengkapan dan pipa):

- Sistem uap (sistem uap, kondensat dan air umpan boiler)
- Sistem minyak termal
- Sistem bahan bakar (sistem bunker, transfer dan suplai)
- Sistem pendingin air laut
- Sistem pendingin air tawar
- Sistem minyak pelumas
- Sistem udara awal, udara kontrol dan udara kerja
- Sistem gas buang
- Sistem bilga
- Sistem ballas
- Perencanaan kebocoran silang (cross-flooding)
- Pipa udara, limpah dan duga termasuk rincian penampang pipa pengisian
- Sistem limpah tertutup
- Sistem sanitasi (air minum, air tawar, air laut, limbah)
- Peralatan untuk pengolahan dan penyimpanan air bilga dan residu bahan bakar minyak

2.1.2 Untuk katup yang dikendalikan jarak jauh:

- Diagram rencana perpipaan dan diagram rencana dari susunan pipa dan kontrol yang ada di kapal
- Diagram rencana dan diagram sirkuit listrik dari stasiun kontrol dan unit daya, serta gambar dari katup yang dikendalikan dari jarak jauh, tiang kontrol dan akumulator tekanan yang terkait

2.1.3 Untuk jalur uap dengan temperatur kerja $> 400^{\circ}\text{C}$, perhitungan tekanan terkait bersama-sama dengan data isometrik harus disampaikan.

3. Kelas Pipa

Untuk pengujian pipa, pemilihan sambungan, pengelasan dan perlakuan panas, pipa dibagi menjadi tiga kelas seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 11.1](#).

Tabel 11.1 Klasifikasi pipa ke dalam klas pipa

Media/Jenis pipa	Tekanan desain PR [bar] Temperatur Desain t [°C]		
	I	II	III
Klas Pipa			
Media beracun	Semua		
Media korosif			
Media mudah terbakar dengan temperatur servis di atas titik nyala			
Media mudah terbakar dengan titik nyala di bawah 60 °C atau kurang gas cair (LG)	Semua	1)	-
Uap	PR > 16 atau t > 300	PR ≤ 16 dan t ≤ 300	PR ≤ 7 dan t ≤ 170

Tabel 11.1 Klasifikasi pipa ke dalam klas pipa (*lanjutan*)

Media/Jenis pipa	Tekanan desain PR [bar] Temperatur Desain t [°C]		
	I	II	III
Klas Pipa			
Minyak termal	PR > 16 atau $t > 300$	PR ≤ 16 dan $t \leq 300$	PR ≤ 7 dan $t \leq 150$
Udara, gas Cairan hidrolik Tidak mudah terbakar Air umpan Boiler, kondensat Air laut dan air tawar untuk pendinginan <i>Brine</i> dalam perangkat pendingin	PR > 40 atau $t > 300$	PR ≤ 40 dan $t \leq 300$	PR ≤ 16 dan $t \leq 200$
Bahan bakar cair, minyak pelumas, cairan hidrolik yang mudah terbakar	PR > 16 atau $t > 150$	PR ≤ 16 dan $t \leq 150$	PR ≤ 7 dan $t \leq 60$
Jalur pipa kargo untuk kapal tangki minyak	-	-	Semua
Jalur Kargo dan ventilasi untuk Kapal tangki gas dan kimia	Semua	-	-
Pendingin (refrigerant)	-	Semua	-
Pipa ujung terbuka (tanpa shutoff), misalnya saluran kuras, pipa ventilasi, jalur limpah dan jalur <i>blow down</i> boiler	-	-	Semua
1) Klasifikasi dalam Pipa Kelas II memungkinkan jika pengaturan keamanan khusus tersedia dan tindakan pencegahan keselamatan struktural diatur			

B. Material, Pengujian

1. Umum

Material harus sesuai untuk aplikasi yang diusulkan dan mematuhi [Rules for Material \(Part. 1, Vol. V\)](#).

Pada media yang korosif, BKI dapat mengenakan persyaratan khusus pada material yang digunakan. Untuk material yang digunakan untuk pipa-pipa dan katup untuk boiler uap, lihat [Bab 7.I](#).

Material dengan ketahanan panas yang rendah (titik lebur di bawah 925 °C) tidak dapat diterima untuk sistem perpipaan dan komponen, dimana api dapat menyebabkan aliran cairan yang mudah terbakar meluap, membanjiri kompartemen kedap air manapun atau menyebabkan kerusakan integritas kekedapan air. Penyimpangan dari persyaratan ini akan dipertimbangkan berdasarkan kasus per kasus.

2. Material

2.1 Produsen Material

Pipa, siku, perlengkapan, selubung, katup, flensa dan produk setengah jadi yang dimaksudkan untuk digunakan pada pipa kelas I dan II harus diproduksi oleh produsen yang disetujui oleh BKI .

Untuk penggunaan pada sistem perpipaan kelas III, persetujuan sesuai dengan standar yang diakui lainnya dapat diterima.

2.2 Pipa, katup dan perlengkapan dari baja

Pipa yang tergolong pada Klas I dan II harus baik tanpa sambungan atau yang difabrikasi dengan prosedur pengelasan yang disetujui oleh BKI. Secara umum, pipa, katup dan peralatan dari baja karbon dan karbon mengandung mangan, tidak dapat digunakan untuk temperatur di atas 400 °C. Namun, mereka dapat digunakan untuk temperatur yang lebih tinggi asalkan perilaku metalurgi dan properti kekuatan mereka sesuai dengan [C.2.3](#) setelah 100.000 jam operasi sesuai dengan peraturan atau standar nasional atau

internasional, dan jika nilai-nilai tersebut dijamin oleh pabrik pembuat baja. Jika tidak, baja paduan sesuai dengan [Rules of Materials \(Part. 1, Vol. V\)](#), harus digunakan.

2.3 Pipa, katup dan perlengkapan dar tembaga dan paduan tembaga

Pipa tembaga dan paduan tembaga harus merupakan material tanpa sambungan atau difabrikasi sesuai dengan metode yang disetujui oleh BKI. Pipa tembaga untuk Kelas I dan II harus tanpa sambungan.

Secara umum, jalur pipa tembaga dan paduan tembaga tidak digunakan untuk media dengan temperatur di atas batas berikut:

- Tembaga dan aluminium kuningan 200 °C
- Paduan nikel tembaga 300 °C
- Perunggu temperatur tinggi 260 °C

2.4 Pipa, katup dan perlengkapan dari Besi cor nodular

Pipa, katup dan perlengkapan dari besi cor nodular sesuai dengan [Rules of Materials \(Part. 1, Vol. V\)](#), dapat diterima untuk digunakan pada pipa-pipa bilga, ballas dan kargo di dalam tangki dasar ganda dan tangki kargo dan tangka untuk tujuan lainnya yang disetujui oleh BKI. Dalam kasus khusus (aplikasi tertentu yang sesuai dengan prinsip kelas II dan III) dan tunduk pada persetujuan khusus BKI, katup dan perlengkapan yang terbuat dari besi cor nodular dapat diterima untuk temperatur hingga 350 °C. Besi cor nodular feritik untuk pipa, katup dan perlengkapan yang dipasang di sisi kapal harus memenuhi [Rules of Materials \(Part. 1, Vol. V\)](#) (lihat juga Rules 22 dari 1966 International Convention on Load Lines).

2.5 Pipa, katup dan perlengkapan dari besi cor *lamellar graphite* (besi cor kelabu)

Pipa, katup dan perlengkapan besi cor kelabu dapat diterima oleh BKI untuk Kelas III. Pipa besi cor kelabu dapat digunakan untuk jalur pipa kargo dalam tangki kargo kapal tangki.

Pipa, katup dan perlengkapan besi cor kelabu dapat digunakan untuk jalur kargo di dek cuaca kapal tangki minyak hingga tekanan kerja 16 bar.

Material ulet harus digunakan untuk koneksi selang kargo dan header distributor.

Hal ini berlaku juga untuk koneksi selang jalur pengisian bahan bakar minyak dan minyak pelumas.

Penggunaan besi cor kelabu tidak diperbolehkan:

- Jalur kargo pada kapal tangki kimia (lihat Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk (Pt.1, Vol.X))
- Pipa, katup dan perlengkapan untuk media dengan temperatur di atas 220 °C dan untuk jalur pipa yang mengalami *water hammer*, tekanan atau getaran yang hebat
- Katup dan pipa laut yang dipasang di sisi kapal dan untuk katup yang dipasang pada sekat tubrukan
- Katup pada tangki bahan bakar dan tangki minyak yang terkena tekanan statis
- Katup pelepas tekanan

Penggunaan besi cor kelabu dalam kasus selain dari yang dinyatakan tersebut mematuhi persetujuan BKI.

2.6 Sistem perpipaan dari plastik

2.6.1 Syarat dan Ketentuan

.1 "Plastik" adalah baik material plastik *thermoplastic* dan *thermosetting* dengan atau tanpa penguatan, seperti PVC dan serat fiber berpenguatan (FRP). Plastik termasuk karet sintetis dan material yang memiliki sifat termal/mekanik yang mirip.

.2 "Pipa/sistem perpipaan" adalah semuanya itu yang terbuat dari plastik dan termasuk pipa, perlengkapan, sambungan pada sistem, metode penyambungan dan semua pelapis internal dan eksternal, pelindung dan pelapis dipersyaratkan memenuhi kriteria kinerja.

.3 "Sambungan" adalah sambungan pipa pada lokasi dimana dua buah pipa atau pipa dan perlengkapan harus saling dihubungkan. Sambungan dapat dibuat dengan pengikatan dengan adesif, laminasi, pengelasan, flens dan lain-lain.

.4 "Perlengkapan" adalah lengkungan, siku, dan cabangan terfabrikasi dari material plastic.

.5 "Tekanan nominal" adalah tekanan kerja maksimum yang diperbolehkan yang harus ditentukan sesuai dengan persyaratan pada [2.6.2.1](#)

.6 "Tekanan desain" adalah tekanan kerja maksimum yang diharapkan dibawah kondisi operasional atau lebih tinggi dari tekanan yang di atur pada tiap katup pengaman atau perlengkapan Pelepas tekanan pada sistem, jika terpasang.

.7 "Ketahanan api" adalah kemampuan dari pipa untuk mempertahankan kekuatan dan integritasnya. (seperti mampu untuk menunjukkan fungsi yang diharapkan) untuk beberapa jangka waktu yang ditentukan selama terkena api.

2.6.2 Persyaratan Umum

Sistem perpipaan plastik harus dari jenis yang disetujui oleh BKI. Persyaratan ditetapkan dalam [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\), Sec.3.O](#).

Spesifikasi pipa harus sesuai dengan standar nasional atau internasional yang dapat diterima BKI. Sebagai tambahan persyaratan berikut berlaku:

.1 Kekuatan

- 1) Kekuatan pipa harus ditentukan dengan pengujian kegagalan tekanan hidrostatik dari specimen pipa pada kondisi standar: tekanan atmosfir setara dengan 100 kPa, kelembaban relatif 30 %, temperatur lingkungan dan fluida yang dibawa 298 kPa (25°C).
- 2) Kekuatan dari perlengkapan dan sambungan tidak boleh kurang dari kekuatan pipa.
- 3) Tekanan nominal ditentukan berdasarkan kondisi berikut:
 - i) Tekanan Internal

Tekanan internal, berikut ini harus diambil nilai terkecil:

$$P_{n\ int} \leq P_{sth}/4,0 \text{ or } P_{n\ int} \leq P_{lth}/2,5$$

Dimana:

P_{sth} = pengujian kegagalan tekanan hidrostatik pipa jangka pendek;

P_{lth} = pengujian kegagalan tekanan hidrostatik pipa jangka panjang (> 100.000 h)

- ii) Tekanan eksternal (untuk semua instalasi dimana terkena kondisi vakum dari dalam pipa atau tekanan dari fluida yang bekerja dari luar pipa; dan untuk semua instalasi pipa yang dipersyaratkan untuk tetap beroperasi dalam kondisi kerusakan karena kebocoran, sesuai dengan Regulation 8-1 SOLAS Chapter II-1, yang diamandemen oleh IMO Resolution MSC.436 (99), atau untuk tiap pipa yang harus memungkinkan kebocoran progresif terhadap

kompartment lain melalui perpipaan yang rusak atau melalui ujung pipa yang terbuka pada kompartmenten.

Untuk tekanan eksternal:

$$P_{n\ ext} \leq P_{col}/3,0$$

Dimana:

P_{col} = tekanan pipa pecah.

Tidak dalam kasus apapun tekanan pipa pecah kurang dari 3,0 bar.

Tekanan kerja eksternal maksimum adalah penjumlahan dari vakum di dalam pipa dan tekanan fluida yang bekerja diluar pipa.

- 4) Meskipun persyaratan 3.i) atau 3.ii) di atas jika berlaku, tebal dinding minimal pipa atau lapisan pipa harus mengikuti standar yang diakui. Pada kondisi tidak ada standar yang mengatur untuk pipa yang tidak terkena tekanan eksternal, persyaratan 3.ii) di atas harus terpenuhi.
- 5) Tekanan kerja maksimum yang diijinkan harus ditentukan dengan memperhatikan temperatur kerja maksimum yang mungkin sesuai dengan rekomendasi pabrik pembuat.

.2 Kekuatan Aksial

- 1) Penjumlahan tegangan longitudinal akibat tekanan, berat dan beban lainnya tidak melebihi tegangan yang diijinkan pada arah longitudinal.
- 2) Pada pipa serat plastic yang diperkuat, penjumlahan tegangan longitudinal tidak melebihi separuh dari tegangan keliling nominal yang diturunkan dari kondisi tekanan internal nominal lihat 2.6.1.1.

.3 Ketahanan Impak

- 1) Pipa dan sambungan plastik harus memiliki ketahanan minimum terhadap impak berdasarkan standar nasional atau internasional yang diakui.
- 2) Setelah pengujian, spesimen dikenakan tekanan hidrostatik setara dengan 2,5 kali tekanan desain selama minimal 1 jam.

.4 Temperatur

- 1) Temperatur kerja yang diijinkan tergantung pada tekanan kerja harus sesuai dengan rekomendasi pabrik pembuat, tetapi pada tiap kasus harus minimum 20 °C lebih rendah dari minimum temperatur distorsi/defleksi panas dari material pipa, ditentukan berdasarkan ISO 75-2 metode A, atau setara misalnya ASTM D648.
- 2) Temperatur distorsi/defleksi panas minimum tidak boleh kurang dari 80 °C.

2.6.3 Lingkup

.1 Persyaratan ini diaplikasikan pada sistem perpipaan pada kapal, termasuk sambungan dan perlengkapan pipa, dibuat didominasi material selain metal.

.2 Penggunaan kopling mekanik dan fleksibel yang disetujui untuk digunakan pada sistem perpipaan dari metal tidak diatur.

.3 Sistem perpipaan yang dimaksudkan untuk layanan non-esensial harus memenuhi hanya persyaratan 2.6.2.1 ii), 2.6.5, 2.6.8 dan untuk sample representative pengujian prototipe harus dipilih sesuai persyaratan BKI dan standar yang diakui.

.4 Tergantung pada lokasi dari instalasi dan media pada tiga level yang berbeda dari ketahanan api untuk sistem pipa plastic harus dibedakan (lihat IMO Resolution A.753 (18), Appendix 1 da 2)

.5 Ijin penggunaan pipa tergantung pada ketahanan api, lokasi dan tipe dari sistem diberikan pada table 11.1a.

2.6.4 Kontrol kualitas selama pembuatan

.1 Purwa rupa pipa dan perlengkapannya harus diuji untuk menentukan kekuatan desain jangka pendek dan jangka panjang, ketahanan terhadap api dan karakteristik penyebaran api permukaan rendah (jika berlaku), hambatan listrik (untuk pipa konduktif listrik), ketahanan benturan sesuai dengan bab ini.

.2 Untuk pengujian prototipe, sampel yang mewakili pipa dan perlengkapannya harus dipilih yang diterima oleh BKI.

.3 Produsen harus memiliki sistem mutu yang memenuhi standar ISO seri 9000 atau yang setara. Sistem mutu terdiri dari unsur-unsur yang diperlukan untuk memastikan bahwa pipa-pipa dan alat kelengkapannya diproduksi dengan sifat mekanik dan fisik yang konsisten dan seragam.

Tabel 11.1a Matriks persyaratan ketahanan api

Sistem Perpipaan		Lokasi										
No.	Deskripsi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Kargo mudah terbakar (Titik nyala ≤ 60 °C)												
1	Jalur kargo	NA	NA	L1	NA	NA	0	NA	0	0	NA	L1 ²⁾
2	Jalur pembersihan minyak mentah	NA	NA	L1	NA	NA	0	NA	0	0	NA	L1 ²⁾
3	Jalur ventilasi	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	0	0	NA	X
Gas lembam												
4	Jalur limbah segel air	NA	NA	0 ¹⁾	NA	NA	0 ¹⁾	0 ¹⁾	0 ¹⁾	0	NA	0
Gas lembam												
5	Jalur limbah penyaring (scrubber)	0 ¹⁾	0 ¹⁾	NA	NA	NA	NA	NA	0 ¹⁾	0	NA	0
6	Jalur utama	0	0	L1	NA	NA	NA	NA	NA	0	NA	L1 ⁶⁾
7	Jalur distribusi	NA	NA	L1	NA	NA	0	NA	NA	0	NA	L1 ²⁾
Cairan mudah terbakar (Titik nyala > 60 °C)												
8	Jalur Kargo	X	X	L1	X	X	NA ³⁾	0	0 ¹⁰⁾	0	NA	L1
9	Bahan bakar	X	X	L1	X	X	NA ³⁾	0	0	0	L1	L1
10	Pelumasan	X	X	L1	X	X	NA	NA	NA	0	L1	L1
11	Minyak hidrolik	X	X	L1	X	X	0	0	0	0	L1	L1
Air laut ¹⁾												
12	Bilga utama & cabang-cabangnya	L1 ⁷⁾	L1 ⁷⁾	L1	X	X	NA	0	0	0	NA	L1
13	Peralatan kebakaran utama & semprotan air	L1	L1	L1	X	NA	NA	NA	0	0	X	L1
14	Sistem busa	L1	L1	L1	NA	NA	NA	NA	NA	0	L1	L1
15	Sistem sprinkler	L1	L1	L3	X	NA	NA	NA	0	0	L3	L3
16	Balas	L3	L3	L3	L3	X	0 ¹⁰⁾	0	0	0	L2	L2
17	Air pendingin, layanan penting	L3	L3	NA	NA	NA	NA	NA	0	0	NA	L2
18	Layanan pembersihan tangki; mesin terpasang	NA	NA	L3	NA	NA	0	NA	0	0	NA	L3 ²⁾
19	Sistem non-esensial	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0

Tabel 11.1a Matriks persyaratan ketahanan api (lanjutan)

Sistem Perpipaan		Lokasi										
No.	Deskripsi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Air tawar												
20	Air pendingin, layanan penting	L3	L3	NA	NA	NA	NA	0	0	0	L3	L3
21	Kondensat balik	L3	L3	L3	0	0	NA	NA	NA	0	0	0
22	Sistem non-esensial	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0
Sanitari/Pengurasan/Pembuangan												
23	Pengurasan geladak (internal)	L1 ⁴⁾	L1 ⁴⁾	NA	L1 ⁴⁾	0	NA	0	0	0	0	0
24	Jalur pembersihan minyak mentah	0	0	NA	0	0	NA	0	0	0	0	0
25	Jalur Ventilasi	0 ^{1) 8)}	0 ^{1) 8)}	0 ^{1) 8)}	0 ^{1) 8)}	0 ^{1) 8)}	0	0	0	0	0 ^{1) 8)}	0
Duga/Udara												
26	Tangki air/ruang kering	0	0	0	0	0	0 ¹⁰⁾	0	0	0	0	0
27	Tangki minyak (Titik nyala > 60 °C)	0	0	0	0	0	0 ¹⁰⁾	0	0	0	0	0
Lain-lain												
28	Udara kontrol	L1 ⁵⁾	L1 ⁵⁾	L1 ⁵⁾	L1 ⁵⁾	L1 ⁵⁾	NA	0	0	0	L1 ⁵⁾	L1 ⁵⁾
29	Udara layanan (non-esensial)	0	0	0	0	0	NA	0	0	0	0	0
30	Brine	0	0	NA	0	0	NA	NA	NA	0	0	0
31	Uap bantu tekanan rendah (< 7 bar)	L2	L2	0 ⁹⁾	0 ⁹⁾	0 ⁹⁾	0	0	0	0	0 ⁹⁾	0 ⁹⁾
32	Pembersih vacuum terpusat	NA	NA	NA	0	NA	NA	NA	NA	0	0	0
33	Sistem Pembersihan Gas Buang Jalur Pembuangan	L3 ¹⁾	L3 ¹⁾	NA	NA	NA	NA	NA	NA	L3 ¹⁾¹¹⁾	NA	
34	Sistem transfer/suplai urea (SCR Installation)	L1 ¹²⁾	L1 ¹²⁾	NA	NA	NA	NA	NA	NA	L3 ¹¹⁾	NA	
Lokasi Definisi :												
A	Ruang mesin dari kategori A	Ruang mesin kategori A sebagaimana dimaksud dalam Peraturan SOLAS II-2/Reg. 3, 31										
B	Ruang mesin lain dan ruang pompa	Ruang selain ruang permesinan kategori A dan ruang pompa kargo, yang berisi mesin penggerak, boiler, uap dan mesin pembakaran dalam, generator dan mesin listrik utama, pompa, stasiun pengisian minyak, pendinginan, penstabil, ventilasi dan mesin pendingin udara dan ruang yang serupa dan tungkai (trunk) ke ruang seperti itu										
C	Ruang pompa kargo	Ruang yang berisi pompa kargo dan pintu masuk dan tungkai untuk ruang seperti itu										
D	Ruang Kargo Ro-ro	Ruang kargo Ro-ro adalah ruang kargo ro-ro dan kategori khusus sebagaimana didefinisikan dalam SOLAS Reg. II-2/Reg. 3, 41, 46										
E	Ruang Kargo kering lainnya	Semua ruang selain ruang kargo ro-ro yang digunakan untuk kargo non-cair dan tungkai untuk ruang seperti itu										
F	Tangki kargo	Semua ruang yang digunakan untuk kargo cair dan tungkai untuk ruang seperti itu										
G	Tangki bahan bakar minyak	Semua ruang yang digunakan untuk bahan bakar minyak (tidak termasuk tangki kargo) dan tungkai										
H	Tangki air Balas	Semua ruang yang digunakan untuk air balas dan tungkai untuk ruang seperti itu										

Tabel 11.1a Matriks persyaratan ketahanan api (lanjutan)

Lokasi Definisi :	
I	Cofferdam, ruang kosong (void) dan lain-lain
J	Akomodasi, layanan
K	Dek terbuka
Singkatan :	
L1	Uji ketahanan api (Lampiran 1 IMO Res. A 753 (18), yang diamanemen oleh IMO Resolution MSC.313 (88) dan MSC.399 (95)) dalam kondisi kering, 60 menit.
L1W	Sistem pipa yang setara dengan sistem level 1 kecuali sistem tersebut tidak membawa fluida mudah terbakar atau semua gas dan maksimum 5% flow loss pada sistem setelah ekspor dapat diterima.
L2	Uji ketahanan api (Lampiran 1 IMO Res. A 753 (18), yang diamanemen oleh IMO Resolution MSC.313 (88) dan MSC.399 (95)) dalam kondisi kering, 30 menit.
L2W	Sistem pipa yang setara dengan sistem level 2 kecuali maksimum 5% flow loss pada sistem setelah ekspor dapat diterima.
L3	Uji ketahanan api (Lampiran 1 IMO Res. A 753 (18), yang diamanemen oleh IMO Resolution MSC.313 (88) dan MSC.399 (95)) dalam kondisi basah, 30 menit
0	Tidak ada uji ketahanan api yang diperlukan
NA	Tidak berlaku
X	Material logam yang memiliki titik leleh lebih besar dari 925°C
Catatan kaki :	
1)	Jika pipa non-logam yang digunakan, katup yang dikendalikan dari jarak jauh harus disediakan di sisi kapal (katup harus dikendalikan dari luar ruang)
2)	Penutupan katup jarak jauh harus disiapkan pada tangki kargo
3)	Ketika tangki kargo berisi cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala > 60°C, "0" dapat menggantikan "NA" atau "X"
4)	Untuk saluran pengurasan yang hanya melayani ruang yang terkait, "0" dapat menggantikan "L1"
5)	Ketika fungsi pengawasan tidak diperlukan oleh persyaratan statutori, "0" dapat menggantikan "L1"
6)	Untuk pipa antara ruang permesinan dan segel air geladak, "0" dapat menggantikan "L1"
7)	Untuk kapal penumpang, "X" harus menggantikan "L1"
8)	Pipa pembuangan yang melayani geladak terbuka di posisi 1 dan 2, sebagaimana didefinisikan Regulation 13 of protocol of 1988 berkaitan dengan the International Convention of Load Lines, 1966, yang diamanemen oleh IMO Resolutions up to MSC.375(93), harus "X" seluruhnya kecuali dipasang di dek atas dengan menggunakan penutup yang mampu dioperasikan dari posisi di atas dek freeboard untuk mencegah banjir kebawah.
9)	Untuk Servis Esensial, seperti pemanasan tangki bahan bakar minyak dan peluit kapal. "X" harus menggantikan "0"
10)	Untuk kapal tangki di mana sesuai dengan paragraph 3.6 dari Regulation 19 Marpol Annex I, yang diamanemen oleh IMO Resolution MEPC.314 (74) adalah dipersyaratkan, "NA" harus menggantikan "0"
11)	L3 pada ruang servis, NA pada ruang akomodasi dan kargo
12)	Persetujuan Tipe pipa plastik tanpa pengujian ketahanan api (0) adalah dapat diterima hilir dari katup tangki, katup dilengkapi dengan dudukan metal, dan direncanakan sebagai tertutup ketika gagal atau penutup cepat dari posisi aman diluar ruangan pada saat terjadi kebakaran.
13)	Untuk kapal penumpang yang terkena Regulation 21.4 SOLAS Chapter II-2 (safe return to port), pipa plastic untuk pelayanan dipersyaratkan untuk tetap dapat bekerja sebagai bagian dari kapal tidak terpengaruh ambang batas korban, termasuk sistem yang dimaksudkan untuk mendukung area aman, harus dianggap sebagai servis esensial. Sesuai dengan MSC.1/Circ. 1369, interpretasi 12, untuk tujuan safe return to port, pipa plastik dapat dianggap tetap beroperasi setelah kejadian kebakaran jika pipa dan perlengkapan plastik telah diuji sesuai standar L1.

.4 Setiap pipa dan alat kelengkapannya harus diuji oleh produsen pada tekanan hidrostatik tidak kurang dari 1,5 kali tekanan nominal. Sebagai alternatif, untuk pipa dan alat kelengkapannya yang tidak menggunakan teknik *hand layup*, tes tekanan hidrostatik dapat dilakukan sesuai dengan persyaratan pengujian hidrostatik yang ditetapkan dalam standar nasional atau internasional yang akui dimana pipa atau alat kelengkapannya diproduksi, asalkan terdapat sistem mutu yang efektif yang tersedia.

.5 Pipa dan alat kelengkapannya harus ditandai secara permanen dengan identifikasi. Identifikasi harus menyertakan nilai tekanan, standar desain yang sesuai dengan tempat dimana pipa atau alat kelengkapannya diproduksi, dan material dimana pipa atau alat kelengkapannya dibuat.

.6 Dalam hal produsen tidak memiliki sistem mutu yang memenuhi ISO seri 9000 atau yang setara, pipa dan alat kelengkapannya harus diuji sesuai dengan [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#).

.7 Tergantung pada aplikasi yang dimaksud, BKI mungkin mempersyaratkan pengujian tekanan masing-masing pipa dan/atau alat kelengkapannya.

2.6.5 Penyebaran Api

.1 Semua pipa, kecuali yang dipasang pada dek terbuka dan di dalam tangki, koferdam, terowongan pipa, dan saluran udara jika terpisah dari akomodasi, area yang ditinggali secara permanen dan jalur melarikan diri dengan sarana dari sekat kedap klas A harus memiliki karakteristik penyebaran karakteristik penyebaran api permukaan rendah yang tidak melebihi nilai rata-rata yang tercantum dalam Appendix 3 of IMO Resolution A753(18), as amended by IMO Res. MSC. 313(88) dan MSC. 399(95).

.2 Karakteristik penyebaran api permukaan harus ditentukan menggunakan prosedur yang diberikan dalam 2010 FTP Code, Annex 1, Part 5 berkenaan dengan modifikasi karena permukaan pipa lengkung sebagaimana tercantum dalam Lampiran 3 of IMO Resolution A.753(18), as amended by IMO Res. MSC.313(88) dan MSC.399(95).

.3 Karakteristik penyebaran api permukaan juga dapat ditentukan dengan menggunakan prosedur pengujian yang diberikan dalam ASTM D635, atau dalam standar nasional setara lainnya. Dalam prosedur ASTM D635 digunakan rating pembakaran maksimum 60 mm/min. Pada kasus adopsi standar nasional yang setara, kriteria penerimaan harus ditentukan.

2.6.6 Pelapis Pelindung Api

Ketika lapisan pelindung api pada pipa dan alat kelengkapannya diperlukan untuk mencapai tingkat ketahanan api yang diperlukan, hal tersebut harus memenuhi persyaratan berikut:

- 1) Pipa umumnya dikirimkan dari pabrik dengan lapisan pelindung terpasang.
- 2) Sifat proteksi api dari lapisan harus tidak berkang ketika terkena air asin, oli atau kotoran bilga. Harus ditunjukkan bahwa lapisan tahan terhadap produk yang mungkin bersentuhan dengan perpipaan.
- 3) Dalam mempertimbangkan lapisan pelindung api, karakteristik seperti ekspansi termal, ketahanan terhadap getaran, dan elastisitas harus diperhitungkan.
- 4) Pelapis proteksi api memiliki ketahanan yang cukup terhadap benturan untuk mempertahankan integritasnya.

2.6.7 Konduktivitas Listrik

Apabila konduktivitas listrik harus dijamin, hambatan pipa dan alat kelengkapannya harus tidak melebihi 1×10^5 Ohm/m.

2.6.8 Instalasi

.1 Penumpu

.1.1 Pemilihan dan jarak dari penumpu pipa di kapal harus ditentukan sebagai fungsi tegangan yang diijinkan dan kriteria defleksi maksimum. Jarak penumpu tidak perlu lebih besar dari pada jarak rekomendasi pabrik pembuat. Pemilihan dan jarak penumpu piap harus memperhitungkan dimensi pipa, panjang pipa, sifat mekanik dan fisik dari material pipa, massa pipa dan isi fluida, tekanan eksternal,

temperatur operasi, efek ekspansi termal, beban karena gaya eksternal, gaya dorong, *water hammer*, getaran, percepatan maksimum yang dapat dialami oleh sistem. Kombinasi beban-beban harus dipertimbangkan.

- .1.2 Komponen berat seperti katup dan sambungan ekspansi harus ditumpu secara independen.
- .1.3 Tiap penumpu harus mendistribusikan beban pipa dan isinya secara merata pada selebar penumpu. Pengukuran harus dilakukan untuk meminimalkan keausan pipa pada sisi kontak dengan penumpu.

.2 Ekspansi

- .2.1. Ketentuan yang sesuai harus dibuat pada tiap jalur pipa untuk memungkinkan pergerakan relatif antara pipa terbuat dari plastik dan struktur baja, dengan telah mempertimbangkan:

Perbedaan pada koefisien ekspansi termal

Deformasi pada lambung kapal dan strukturnya

- .2.2 Ketika menghitung ekspansi termal, perhitungan harus dilakukan terhadap perbedaan antara temperatur operasi dari sistem dan temperatur ruang selama instalasi.

.3 Beban Eksternal

- .3.1 Ketika instalasi perpipaan, toleransi harus dibuat untuk titik beban sementara, jika dapat diaplikasikan. Toleransi tersebut harus termasuk minimal gaya yang diberikan oleh beban (orang) sebesar 100 kg pada tengah rentang pada semua pipa yang memiliki nominal diameter luar lebih dari 100 mm.

- .3.2 Selain untuk memberikan ketahanan yang memadai untuk semua perpipaan termasuk perpipaan ujung terbuka dengan ketebalan dinding minimum, sesuai dengan kekuatan pipa, dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan kondisi yang dihadapi selama servis di atas kapal.

- .3.3 Pipa harus diproteksi selama instalasi dan servis terhadap kerusakan mekanik jika diperlukan.

.4 Kekuatan pada Koneksi

- .4.1 Kekuatan dari koneksi tidak boleh kurang dari sistem pipa dimana terpasang.

- .4.2 Pipa dapat dirakit menggunakan ikatan perekat, pengelasan, flens atau sambungan lainnya.

- .4.3 Perekat, jika digunakan untuk sambungan pada perakitan, harus sesuai untuk menyediakan perapat permanen antara pipa dan perlengkapannya sepanjang rentang temperatur dan tekanan pada aplikasi yang diinginkan.

- .4.4 Pengencangan sambungan harus dilakukan sesuai dengan instruksi pabrik pembuat.

.5 Instalasi Pipa Konduktif

- .5.1 Dalam sistem perpipaan untuk cairan dengan konduktivitas kurang dari 1000 picoSiemens per meter [pS/m] seperti produk olahan dan sulingan harus terbuat dari pipa konduktif.

- .5.2 Terlepas dari jenis media, perpipaan plastik konduktif elektrik harus digunakan jika perpipaan melewati daerah berbahaya. Tahanan terhadap pembumian dari setiap titik dalam sistem perpipaan tidak boleh melebihi 1×10^6 Ohm. Lebih diutamakan pipa dan alat kelengkapannya yang bersifat konduktif homogen. Pipa-pipa dan alat kelengkapannya yang memiliki lapisan konduktif harus dilindungi terhadap kemungkinan kerusakan akibat percikan pada dinding pipa. Pembumian yang memuaskan harus disediakan.

5.3 Setelah selesai instalasi, tahanan terhadap pembumian harus diverifikasi. Koneksi pembumian harus diatur sedemikian rupa sehingga dapat diakses untuk pemeriksaan.

.6 Aplikasi Lapisan Pelindung Api

6.1 Lapisan pelindung api harus diaplikasikan pada sambungan, jika diperlukan untuk memenuhi persyaratan ketahanan pada [2.6.5](#), setelah dilakukan pengujian tekanan hidrostatik pada sistem perpipaan.

.6.2 Lapisan pelindung api harus diaplikasikan sesuai dengan rekomendaasi pabrik pembuat, menggunakan prosedur yang disetujui pada tiap kejadian khusus.

.7 Penembusan Divisi

.7.1 Ketika pipa plastik melewati divisi kelas "A" atau "B", perencanaan harus dibuat untuk memastikan bahwa daya tahan api tidak terganggu. Perencanaan ini harus diuji sesuai dengan Recommendations for fire test procedures for "A", "B" and "F" bulkheads specified in Part 3 of Annex 1 to the 2010 FTP Code, (Resolution MSC.307 (88) sebagaimana diamanemen oleh Resolusi MSC.437 (99)).

.7.2 Penetrasi pipa melalui sekat atau geladak kedap air serta melalui divisi kebakaran harus dilakukan Persetujuan Tipe oleh BKI. Ketika pipa plastik melewati sekat atau geladak kedap air, integritas kedap air dari sekat kedap atau geladak harus dipertahankan. Untuk pipa yang tidak dapat memenuhi persyaratan pada [2.6.2.1.3\) ii\)](#), sebuah katup shut-off logam yang dapat dioperasikan dari atas geladak lambung timbul harus dipasang pada sekat kedap atau geladak.

.7.3 Untuk memenuhi ketahanan api sesuai dengan [Tabel 11.1a](#), pipa dan alat kelengkapan dapat dilengkapi dengan penutup, pelapis, atau isolasi pelindung api. Instruksi pemasangan dari pabrik pembuat harus dipertimbangkan.

Pelaksanaan uji tekanan hidrostatik harus ditetapkan sebelum instalasi penutup tersebut.

.7.4 Pada sekat kedap atau geladak yang juga adalah merupakan divisi kebakaran dan kerusakan pipa plastik akibat kebakaran dapat menyebabkan kebocoran dari kompartemen kedap air, sebuah *shut-off valve* logam harus dipasang pada sekat kedap atau geladak. Pengoperasian katup ini harus tersedia dari atas geladak lambung timbul.

.8 Kontrol Selama Instalasi

.8.1 Instalasi harus sesuai dengan pedoman pabrik pembuat.

.8.2 Sebelum memulai pekerjaan, teknik penyambungan harus disetujui oleh BKI.

.8.3 Pengujian dan penjelasan pada persyaratan ini harus diselesaikan sebelum pemasangan perpipaan dimulai.

.8.4 Personel yang melaksanakan pekerjaan ini harus memiliki kualifikasi yang layak dan tersertifikasi yang diakui oleh BKI.

.8.5 Prosedur untuk membuat ikatan meliputi:

- material yang digunakan
- peralatan dan perlengkapan
- persyaratan persiapan sambungan
- temperatur pengeringan
- persyaratan dimensi dan toleransi, dan
- kriteria penerimaan pengujian setelah selesainya perakitan

.8.6 Setiap perubahan pada prosedur pengikatan yang akan berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik dari sambungan dibutuhkan kualifikasi ulang.

.9 Pengujian Mutu Prosedur Pengikatan

.9.1 Perakitan benda uji harus difabrikasi sesuai dengan prosedur yang memenuhi syarat dan harus terdiri paling tidak satu sambungan pipa dengan pipa dan sambungan pipa dengan perlengkapannya.

.9.2 Ketika perakitan benda uji telah kering, benda uji dikenakan tekanan uji hidrostatik pada faktor keamanan 2,5 kali tekanan desain dari benda uji, selama tidak kurang dari satu jam. Tidak ada kebocoran atau pemisahan sambungan yang diperbolehkan. Pengujian harus dilakukan agar sambungan dibebani pada arah memanjang dan melingkar.

.9.3 Pemilihan pipa yang digunakan untuk benda uji, harus sesuai dengan hal-hal berikut:

- 1) Ketika ukuran terbesar yang akan disambung memiliki nominal diameter luar 200 mm, atau lebih kecil, benda uji adalah ukuran perpipaan terbesar yang akan disambung.
- 2) Ketika ukuran terbesar yang akan disambung memiliki nominal diameter luar lebih besar dari 200 mm, ukuran benda uji harus 200 mm atau 25% dari ukuran perpipaan terbesar yang akan disambung, diambil yang lebih besar.

.9.4 Saat melakukan kualifikasi kinerja, setiap ikatan dan setiap operator ikatan harus membuat benda uji, dengan ukuran dan jumlah seperti yang dipersyaratkan di atas.

2.6.9 Pengujian setelah instalasi di kapal

- 1) Sistem perpipaan untuk servis esensial harus dikenakan uji tekan dengan tekanan 1,5 kali tekanan desain p_c dan juga tekanan nominal PN, tetapi minimal pada tekanan 4 bar.
- 2) Sistem perpipaan untuk servis non-esensial harus diperiksa terhadap kebocoran pada saat kondisi operasi.
- 3) Untuk perpipaan yang dipersyaratkan harus konduktif elektrik, pembumian harus diperiksa dan pengujian tahanan harus dilakukan secara acak.

2.7 Aluminium dan paduan aluminium

Aluminium dan paduan aluminium harus mematuhi [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol.V\)](#), dan memungkinkan pada kasus individu, dengan persetujuan dari BKI, digunakan dengan pembatasan yang sama seperti pipa plastik (lihat [2.6](#) dan [Tabel 11.a](#)) dan untuk temperatur sampai dengan 200 °C. Pipa material ini tidak dapat diterima untuk digunakan dalam sistem pemadam kebakaran.

2.8 Aplikasi material

Untuk kelas pipa yang disebutkan dalam [A.3](#), material harus diterapkan sesuai dengan [Tabel 11.2](#).

3. Pengujian material

3.1 Untuk sistem perpipaan yang tergolong kedalam klas I dan II, pengujian sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol.V\)](#), dan di bawah pengawasan BKI harus dilakukan sesuai dengan [Tabel 11.3](#) untuk:

- pipa, lengkungan dan kelengkapannya
- badan katup dan flens
- bodi katup dan flens > DN 100 pada pipa kargo dan jalur perpipaan proses di kapal tangki gas dengan temperatur desain < -55 °C

3.2 Sambungan dengan pengelasan di pipa dari klas I dan II harus diuji sesuai dengan [Rules for Ships](#)

[Carrying Liquefied Gas in Bulk \(Pt.1, Vol. IX\).](#)

4. Uji hidrolik pada pipa

4.1 Definisi

4.1.1 Tekanan kerja maksimum yang diijinkan, PB [bar], simbol Rumus: $p_{e, \text{perm}}$

Adalah tekanan kerja internal atau eksternal maksimum yang diijinkan untuk komponen atau sistem perpipaan berkaitan dengan material yang digunakan, persyaratan desain pipa, temperatur kerja dan operasi tak terganggu.

4.1.2 Tekanan Nominal, PN [bar]

Adalah istilah yang diterapkan pada hubungan tekanan temperatur yang dipilih yang digunakan untuk standarisasi komponen struktural. Secara umum, nilai numerik dari tekanan nominal untuk komponen standar yang terbuat dari material yang ditentukan dalam standar akan sesuai dengan tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB pada 20 °C.

4.1.3 Uji tekanan, PP [bar], simbol Rumus: p_p

Berikut ini adalah tekanan yang dikenakan ke komponen atau sistem perpipaan untuk tujuan pengujian.

Tabel 11.2 Material yang disetujui

Material dan aplikasi		Kelas pipa		
		I	II	III
Baja	Pipa	pipa baja untuk temperatur tinggi di atas 300 °C, pipa yang terbuat dari baja dengan ketangguhan temperatur tinggi/rendah pada temperatur dibawah -10 °C, pipa baja stainless untuk material kimia	Pipa untuk aplikasi umum	Baja yang tidak tunduk pada spesifikasi kualitas khusus, dapat dilas sesuai dengan Peraturan Pengelasan
	Baja tempa, pelat, flens, baja penampang dan batang	Baja yang sesuai untuk kondisi servis dan proses Baja temperatur tinggi untuk temperatur di atas 300 °C Baja dengan ketangguhan temperatur tinggi/rendah untuk temperatur dibawah -10 °C		
	Baut, Mur	Baut untuk konstruksi mesin umum, baja temperatur tinggi untuk temperatur di atas 300 °C, baja dengan ketangguhan temperatur tinggi/rendah untuk temperatur di bawah -10 °C	Baut untuk konstruksi mesin umum	
Coran (katup, perlengkapan, pipa)	Baja cor	Baja cor temperatur tinggi untuk temperatur di atas 300 °C, baja cor dengan ketangguhan temperatur rendah/rendah pada temperatur dibawah -10°C, coran stainles untuk media yang agresif	Baja cora untuk aplikasi umum	
	Besi cor nodular	Hanya tingkat mutu feritik, elongasi A ₅ Sekurang-kurangnya 15%		
	Besi cor dengan lamellar graphite	-	-	Hingga 220 °C, besi cor kelabu tidak diizinkan untuk katup dan alat kelengkapannya di sisi kapal, sekat tabrakan pada tangki bahan bakar dan tangki minyak dan untuk katup pembebas

Tabel 11.2 Material yang disetujui (lanjutan)

Material dan aplikasi	Kelas pipa		
	I	II	III
logam non-ferrous (katup, fittings, pipa)	Tembaga, paduan tembaga	Pada jalur kargo pada kapal tangki kimia hanya dengan persetujuan khusus, paduan tembaga-nikel temperatur rendah dengan persetujuan khusus	Untuk air laut dan air alkali, hanya tembaga dan paduan tembaga tahan korosi
	Aluminium, paduan aluminium	Dalam jalur kargo dan proses pada kapal tangki gas	Hanya dengan persetujuan BKI hingga 200 °C, tidak diizinkan di sistem pemadam kebakaran
Material non-logam	Plastik	-	- Pada persetujuan khusus (lihat 2.6)

Tabel 11.3 Material yang disetujui dan Jenis Sertifikat Material

Jenis Komponen	Material yang disetujui	Temperatur desain	Kelas pipa	Diameter Nominal (DN)	Jenis Sertifikat ²⁾		
					A	B	C
Pipa ¹⁾ Siku Pipa, Perlengkapan	Baja, Tembaga, paduan tembaga, Aluminium, Aluminium paduan Plastik	-	I + II	> 50 ≤ 50	X -	-	-
			III	Semua	-	-	X
Katup ¹⁾ , flensa	Baja, baja cor, besi cor nodular	> 300 °C	I, II	DN > 100 DN ≤ 100	X -	-	-
	Tembaga, paduan tembaga	> 225 °C			-	X	-
	Baja, baja cor, besi cor nodular	≤ 300 °C	I, II	PB × DN > 2500 or DN > 250	X	-	-
				PB × DN ≤ 2500 or DN ≤ 250	-	X	-
Katup ¹⁾ , flensa	Baja, baja cor, Besi cor nodular, besi cor kelabu	-	III	Semua	-	-	X
	Tembaga, paduan tembaga	≤ 225 °C	I, II	PB × DN > 1500	X	-	-
	Aluminium, paduan aluminium	≤ 200 °C		PB × DN ≤ 1500	-	X	-
	Plastik	Sesuai sertifikat persetujuan tipe	III	Semua	-	-	X
Produk setengah jadi, sekrup dan komponen lainnya	Menurut Tabel 11.2	-	I, II	-	-	X	-
			III	-	-	-	X

¹⁾ Selubung katup dan pipa yang dipasang di sisi dan bawah kapal dan badan katup yang dipasang pada sekat tabrakan harus dimasukkan dalam pipa kelas II

²⁾ Sertifikat Uji sesuai dengan Rules for Materials (Pt.1, Vol.V), Sec. 1-3. dengan singkatan berikut:

A: Sertifikat Material BKI, B: Sertifikat Inspeksi Pabrik Pembuat, C: Laporan uji pabrik pembuat

4.1.4 Tekanan Desain, PR [bar], Simbol Formula: p_c

Berikut ini adalah tekanan kerja maksimum yang diijinkan PB dimana komponen atau sistem perpipaan dirancang dengan memperhatikan karakteristik mekanik. Secara umum, tekanan desain adalah tekanan kerja maksimum yang diijinkan di mana peralatan keselamatan akan mengintervensi (misalnya aktivasi katup pengaman, pembukaan jalur balik pompa, operasi pengaturan keamanan tekanan berlebih, pembukaan katup pemberas) atau di mana pompa akan beroperasi terhadap katup yang tertutup.

Tekanan desain untuk pipa bahan bakar harus dipilih sesuai dengan [Tabel 11.4](#).

Tabel 11.4 Tekanan desain untuk pipa bahan bakar

Maks. Temperatur kerja	$T \leq 60^\circ\text{C}$	$T > 60^\circ\text{C}$
Maks. Tekanan Kerja		
$PB \leq 7 \text{ bar}$	3 bar atau maks. tekanan kerja, mana yang lebih besar	3 bar atau maks. tekanan Kerja, mana yang lebih besar
$PB > 7 \text{ bar}$	maks. tekanan Kerja	14 bar atau maks. tekanan Kerja, mana yang lebih besar

4.2 Uji tekan sebelum instalasi di atas kapal

4.2.1 Semua pipa Kelas I dan II serta jalur uap, pipa tekanan air umpan, udara terkompresi dan jalur bahan bakar yang memiliki tekanan desain PR lebih besar dari 3,5 bar termasuk dengan perlengkapan dalam kesatuannya, potongan koneksi, percabangan dan belokan, setelah selesai pembuatan tetapi sebelum isolasi dan pelapisan, jika tersedia, harus menjalani uji tekan hidrolik dengan dihadiri Surveyor pada nilai tekanan berikut:

$$p_p = 1,5 p_c \quad [\text{bar}]$$

di mana p_c adalah tekanan desain. Untuk pipa baja dan perlengkapan dalam kesatuannya yang dimaksudkan untuk digunakan pada sistem dengan temperatur kerja di atas 300°C tekanan uji PP adalah sebagai berikut:

$$P_p = 1,5 \cdot \frac{\sigma_{\text{perm}}(100^\circ)}{\sigma_{\text{perm}}(t)} \cdot p_c$$

$\sigma_{\text{perm}}(100^\circ)$ = tekanan yang diperbolehkan pada 100°C

$\sigma_{\text{perm}}(t)$ = tekanan yang diperbolehkan pada temperatur desain t [$^\circ\text{C}$]

Namun, tekanan uji tidak perlu melebihi:

$$p_p = 2 p_c \quad [\text{bar}]$$

Dengan persetujuan BKI, tekanan ini dapat dikurangi menjadi $1,5 p_c$ dimana diperlukan untuk menghindari tegangan berlebihan pada bengkokan, potongan T dan komponen bentuk lainnya.

Dalam kondisi apapun tekanan membran tidak boleh melebihi 90% dari kekuatan luluh atau 0,2% dari elongasi maksimum.

4.2.2 Jika dengan alasan teknis tidak dimungkinkan melakukan uji tekan hidrolik lengkap pada semua bagian pipa sebelum perakitan di atas kapal, proposal harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan pengujian koneksi pipa di kapal, terutama dalam hal sambungan pengelasan.

4.2.3 Jika uji tekan hidrolik dari pipa dilakukan di atas kapal, pengujian ini dapat dilakukan bersamaan dengan pengujian yang diperlukan pada [4.3](#).

4.2.4 Uji tekan pipa yang kurang dari DN 15 dapat dihilangkan dengan kebijakan BKI, tergantung pada aplikasi.

4.3 Pengujian setelah instalasi di kapal

4.3.1 Setelah perakitan di atas kapal, semua pipa yang termasuk dalam persyaratan ini harus dikenakan uji kekedapan dengan dihadiri Surveyor BKI.

Secara umum, semua sistem perpipaan harus diuji terhadap kebocoran pada kondisi operasional. Jika perlu, teknik khusus selain uji tekan hidrolik harus diterapkan.

4.3.2 Kumparan pemanas di tangki dan pipa saluran bahan bakar harus diuji agar tidak kurang dari 1,5 PR tetapi dalam kasus apapun, tidak kurang dari 4 bar.

4.4 Pengujian tekanan katup

Katup berikut harus dikenakan uji tekan hidrolik di bengkel pabrik pembuat dengan dihadiri Surveyor BKI:

- Katup kelas pipa I dan II untuk 1,5 PR
- Katup pada sisi kapal tidak kurang dari 5 bar

Perangkat *shut-off* dari jenis di atas sebagai tambahan harus diuji kekedapannya dengan tekanan nominal. Perangkat *shut-off* untuk boiler, lihat [Bab 7, E.13](#).

5. Uji struktural, perlakuan panas dan pengujian tak rusak

Perhatian harus diberikan untuk penggerjaan konstruksi dan instalasi sistem perpipaan sesuai dengan data yang disetujui. Untuk detail mengenai pengujian tak rusak yang mengikuti perlakuan panas, dan lain-lain, lihat [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#).

C. Perhitungan Tebal dinding dan Elastisitas

1. Ketebalan dinding minimum

1.1 Ketebalan pipa yang dinyatakan dalam [Tabel 11.5](#) sampai [11.8](#) adalah ketebalan minimum yang ditetapkan, kecuali karena analisis tekanan, lihat [2](#), ketebalan yang lebih besar diperlukan.

Asalkan pipa dilindungi secara efektif terhadap korosi, ketebalan dinding grup M dan D yang dinyatakan dalam [Tabel 11.6](#) dapat, dengan persetujuan BKI, dikurangi hingga 1 mm, nilai pengurangan harus berhubungan dengan ketebalan dinding .

Lapisan pelindung, misalnya pelapisan secara celup panas (hot-dip galvanizing), dapat diakui sebagai perlindungan korosi yang efektif asalkan keawetan lapisan pelindung selama instalasi terjamin.

Untuk pengelompokan ketebalan dinding pipa baja yang berhubungan dengan lokasi harus sesuai dengan [Tabel 11.5](#).

1.2 Ketebalan dinding minimum untuk pipa baja tahan karat austenitic diberikan dalam [Tabel 11.7](#).

1.3 Untuk ketebalan dinding minimum pipa udara, duga dan limpah yang melalui geladak cuaca, lihat R, [Tabel 11.20a](#).

Untuk perpipaan pemadam kebakaran CO₂, lihat Bab 12, Tabel 12.6.

1.4 Jika aplikasi dari sambungan mekanis mengakibatkan pengurangan ketebalan dinding pipa (pada bit *type rings* atau elemen struktural lainnya), hal ini harus diperhitungkan dalam menentukan ketebalan dinding minimum.

Tabel 11.5 Ketebalan dinding minimum kelompok N, M dan D dari pipa baja dan lokasi yang disetujui

Sistem perpipaan	Lokasi													
	Ruang permesinan	Koferdam/ruang kosong	Ruang Kargo	Tangki air Balas	Tangki Bahan Bakar dan ubah-ganti	Tangki pendingin air tawar	Tangki minyak pelumas	Tangki minyak hidrolik	Tangki air minum	Tangki minyak termal	Tangki kondesat dan air umpan	Akomodasi	Tangki kargo, tangki kapal	Ruang pompa kargo
Jalur bilga	M	M	D	D	X	X	X	X	X	X	M ²⁾	M ¹⁾	M	
Jalur Balas		D	M											M
Jalur air laut		-	X	N	N	-	-	-	-	-	X	-	M	
Jalur bahan bakar		D	N	M										
Jalur pelumas		-	X	X	M	M	M	-	-	-	X	-	-	
Jalur minyak termal		M	M	M										N
Jalur uap		M	M	M	X	X	X	X	X	X	X	-	-	
Jalur kondensasi		M	M	M										N
Jalur air umpan		M	M	M	X	X	X	X	X	X	X	-	-	
Jalur air minum		M	M	M										N
Jalur pendinginan air tawar		M	M	M	D	N	D	-	-	-	-	-	-	
Jalur udara bertekanan		M	M	M										N
Jalur hidrolik		M	M	M	X	X	N	-	-	-	-	-	N	

¹⁾ Lihat Bab 15, B.4.3

²⁾ Jalur pembuangan air laut, lihat Bab 11.T

X Jalur pipa tidak boleh dipasang.

(-) Jalur pipa dapat dipasang setelah persetujuan khusus dengan BKI

Tabel 11.6 Ketebalan dinding minimum untuk pipa baja

Kelompok N				Kolompok M		Kelompok D	
d_a [mm]	S [mm]	d_a [mm]	S [mm]	d_a [mm]	s [mm]	d_s [mm]	s [mm]
10,2	1,6	Mulai 406,4	6,3	Mulai 21,3	3,2	Mulai 38,0	6,3
Mulai 13,5	1,8	Mulai 660,0	7,1	Mulai 38,0	3,6	Mulai 88,9	7,1
Mulai 20,0	2,0	Mulai 762,0	8,0	Mulai 51,0	4,0	Mulai 114,3	8,0
Mulai 48,3	2,3	Mulai 864,0	8,8	Mulai 76,1	4,5	Mulai 152,4	8,8
Mulai 70,0	2,6	Mulai 914,0	10,0	Mulai 117,8	5,0	Mulai 457,2	8,8
Mulai 88,9	2,9			Mulai 193,7	5,4		
Mulai 114,3	3,2			Mulai 219,1	5,9		
Mulai 133,0	3,6			Mulai 244,5	6,3		
Mulai 152,4	4,0			Mulai 660,4	7,1		
Mulai 177,8	4,5			Mulai 762,0	8,0		
Mulai 244,5	5,0			Mulai 863,6	8,8		
Mulai 323,9	5,6			Mulai 914,4	10,0		

Tabel 11.7 Ketebalan dinding minimum untuk pipa baja stainless austenitic

Diameter luar pipa d_a [mm]	ketebalan dinding minimum s [mm]
Hingga 17,2	1,0
Hingga 48,3	1,6
Hingga 88,9	2,0
Hingga 168,3	2,3
Hingga 219,1	2,6
Hingga 273,0	2,9
Hingga 406,0	3,6
Hingga 406,0	4,0

Tabel 11.8 Ketebalan dinding Minimum untuk pipa tembaga dan paduan tembaga

Diameter pipa luar d_a [mm]	Ketebalan dinding minimum s [mm]	
	Tembaga	Paduan tembaga
8 – 10	1,0	0,8
12 – 20	1,2	1,0
25 – 44,5	1,5	1,2
50 – 76,1	2,0	1,5
88,9 – 108	2,5	2,0
133 – 159	3,0	2,5
193,7 - 267	3,5	3,0
273 – 457,2	4,0	3,5
(470)	4,0	3,5
508	4,5	4,0

2. Perhitungan ketebalan dinding pipa

2.1 Formula berikut harus digunakan untuk menghitung ketebalan dinding pipa silinder dan belokan yang mengalami tekanan internal:

$$s = s_0 + c + b \text{ [mm]} \quad (1)$$

$$s_o = \frac{d_a \cdot p_c}{20 \cdot \sigma_{perm} \cdot v + p_c} \text{ [mm]} \quad (1a)$$

- s = ketebalan dinding minimum [mm], lihat 2.7
s_o = ketebalan dari perhitungan [mm]
d_a = diameter luar pipa [mm]
p_c = tekanan desain¹ [bar], lihat B.4.1.4
 σ_{perm} = tekanan desain maksimum yang diperbolehkan [N/mm²], lihat 2.3
b = toleransi untuk belokan [mm], lihat 2.2
v = faktor efisiensi las, lihat 2.5
c = toleransi korosi [mm], lihat 2.6

2.2 Untuk pipa silinder lurus yang harus dibengkokkan, toleransi (b) harus diterapkan untuk belokan pipa. Nilai (b) harus sedemikian rupa sehingga tekanan karena bengkokan pipa tidak melebihi tegangan desain maksimum yang diperbolehkan (σ_{perm}). Toleransi (b) dapat ditentukan sebagai berikut:

$$b = 0,4 \cdot \frac{d_a}{R} \cdot s_o \quad (2)$$

- R = radius belokan [mm]

2.3 Tekanan yang diperbolehkan σ_{perm}

2.3.1 Pipa baja

Tekanan yang diperbolehkan σ_{perm} yang dipertimbangkan dalam formula (1a) harus dipilih sebagai yang terendah dari nilai berikut:

- a) temperatur desain $\leq 350^\circ\text{C}$

$$\sigma_{perm} = \min \left\{ \frac{R_{m,20^\circ}}{A}, \frac{R_{eH,t}}{B}, \frac{R_{po,2,t}}{B} \right\}$$

- R_{m,20°} = kekuatan tarik minimum yang ditentukan pada temperatur kamar
R_{eH,t} = tegangan luluh minimum yang ditentukan pada temperatur desain; atau
R_{po,2,t} = nilai minimum dari 0,2% tegangan uji pada temperatur desain

- b) Temperatur desain $> 350^\circ\text{C}$, dimana harus diperiksa apakah nilai yang dihitung sesuai dengan a memberikan nilai yang mutlak lebih kecil

$$\sigma_{perm} = \min \left\{ \frac{R_{m,100000t}}{B}, \frac{R_{p1,100000,t}}{B}, \frac{R_{m,100000,(t+15)}}{B} \right\}$$

- R_{m,100000,t} = Tegangan minimum untuk menghasilkan keretakan (rupture) pada 100000 jam pada temperatur desain t
R_{p1,100000,t} = Tegangan rata-rata untuk menghasilkan 1% muai (creep) pada 100000 jam pada temperatur desain t

¹ Untuk pipa yang mengandung bahan bakar yang dipanaskan di atas 60 °C, tekanan desain yang harus diambil tidak kurang dari 14 bar

$R_{m,100000,(t+15)}$ = Tegangan rata-rata untuk menghasilkan keretakan (rupture) pada 100000 jam pada temperatur desain t ditambah 15°C, lihat [2.4](#)

Dalam kasus pipa dimana:

- dilengkapi detail analisa tegangan yang diterima oleh BKI dan
- terbuat dari material yang diuji oleh BKI, BKI dapat, pada aplikasi khusus, menyetujui faktor keamanan B pada 1,6 (untuk A dan B lihat [Tabel 11.10](#)).

2.3.2 Pipa yang terbuat dari material logam tanpa titik luluh yang ditetapkan

Material tanpa titik luluh yang ditetapkan dicakup oleh [Tabel 11.9](#). Untuk material lain, tegangan maksimum yang diizinkan harus dinyatakan dengan persetujuan BKI, tapi sekurang-kurangnya

$$\sigma_{perm} \leq \frac{R_{m,t}}{5}$$

$R_{m,t}$ adalah kekuatan tarik minimum pada temperatur desain

2.3.3 Karakteristik mekanik dari material yang tidak termasuk dalam [Rules of Materials \(Pt. 1, Vol. V\)](#), harus disetujui oleh BKI, mengacu pada [Tabel 11.10](#).

Pipa baja tanpa jaminan sifat material hanya dapat digunakan sampai temperatur kerja 120 °C dimana tekanan yang diperbolehkan $\sigma_{perm} \leq 80 \text{ N/mm}^2$ akan disetujui.

2.4 Temperatur desain

2.4.1 Temperatur desain adalah temperatur maksimum media dalam pipa. Dalam kasus pipa uap, pipa pengisian dari kompresor udara dan jalur udara start ke mesin pembakaran dalam, temperatur desain harus Sekurang-kurangnya 200 °C.

Tabel 11.9 Tegangan yang diijinkan σ_{perm} untuk tembaga dan paduan tembaga (di anil)

Material pipa	Kekuatan tarik minimum	Tegangan yang diijinkan σ_{perm} [N/mm ²]											
		[N/mm ²]	50 °C	75 °C	100 °C	125 °C	150 °C	175 °C	200 °C	225 °C	250 °C	275 °C	300 °C
Tembaga		215	41	41	40	40	34	27,5	18,5	-	-	-	-
Aluminium kuningan Cu Zn 20 Al		325	78	78	78	78	78	51	24,5	-	-	-	-
Paduan nikel tembaga	Cu Ni 5 Fe	275	68	68	67	65,5	64	62	59	56	52	48	44
	Cu Ni 10 Fe		365	81	79	77	75	73	71	69	67	65,5	64

Tabel 11.10 Koefisien A, B untuk menentukan tegangan yang diizinkan σ_{perm}

Material	Kelas pipa		I		II, III	
	A	B	A	B	A	B
Baja bukan paduan dan baja paduan karbon	2,7	1,6	2,7	1,8		
Baja stainless gulungan dan tempa	2,4	1,6	2,4	1,8		
Baja dengan kekuatan luluh ¹⁾ > 400 N/mm ²	3,0	1,7	3,0	1,8		
besi cor Kelabu	-	-	11,0	-		
Besi cor nodular	-	-	5,0	3,0		
Baja cor	3,2	-	4,0	0		

¹⁾ Kekuatan luluh minimum atau minimum 0,2% tegangan uji pada 20 °C

2.4.2 Temperatur desain untuk jalur uap panas lanjut adalah sebagai berikut:

- a) Pipa dibelakang *desuperheater*:
 - dengan kontrol temperatur otomatis:
temperatur kerja² (temperatur desain)
 - dengan kontrol manual:
temperatur kerja +15°C²
- b) Pipa sebelum *desuperheater*:
 - temperatur kerja +15 °C²

2.5 Faktor efisiensi pengelasan v

- Untuk pipa tanpa sambungan $v = 1,0$
- Dalam kasus pipa dengan pengeelasan, nilai v harus diambil sesuai dengan uji penerimaan pekerjaan dari BKI.

2.6 Toleransi korosi

Toleransi korosi c tergantung pada aplikasi pipa, sesuai dengan [Tabel 11.11a](#) dan [11.11b](#). Dengan persetujuan BKI, toleransi korosi pipa baja yang dilindungi secara efektif terhadap korosi dapat dikurangi tidak lebih dari 50%.

Dengan persetujuan BKI, toleransi korosi tidak perlu diaplikasikan untuk pipa yang terbuat dari material tahan korosi (misalnya baja austenitic dan paduan tembaga) (lihat [Tabel 11.7](#) dan [11.8](#)).

Tabel 11.11a Kelonggaran korosi c untuk pipa baja karbon

Jenis sistem perpipaan	Kelonggaran korosi c [mm]
Jalur uap panas lanjut	0,3
Jalur uap jenuh	0,8
Kumparan pemanas uap didalam tangki kargo	2,0
Jalur air umpan	
- Dalam sistem sirkuit tertutup	0,5
- Dalam sistem sirkuit terbuka	1,5
Jalur pelepasan boiler	1,5
Jalur udara bertekanan	1,0

² Kelebihan yang bersifat sementara dalam suhu kerja tidak perlu diperhitungkan saat menentukan suhu desain

Tabel 11.11a Kelonggaran korosi c untuk pipa baja karbon (*lanjutan*)

Jenis sistem perpipaan	Kelonggaran korosi c [mm]
Jalur minyak hidrolik, jalur minyak pelumas	0,3
Jalur bahan bakar	1,0
Jalur minyak kargo	2,0
Jalur refrigeran untuk refrigeran grup 1	0,3
Jalur refrigeran untuk refrigeran grup 2	0,5
Jalur air laut	3,0
Jalur air tawar	0,8

Tabel 11.11b Toleransi korosi c untuk logam *non-ferrous*

Material pipa	Toleransi korosi c [mm]
Tembaga, kuningan dan paduan serupa	0,8
Paduan tembaga-timah kecuali yang mengandung timbal	
Paduan tembaga-nikel (dengan Ni > 10%)	0,5

2.7 Rentang Toleransi t

Toleransi pembuatan negatif pada ketebalan sesuai dengan standar dari persyaratan teknis saat serah terima harus ditambahkan pada perhitungan ketebalan dinding s_o dan ditetapkan sebagai rentang toleransi t.

Nilai t dapat dihitung sebagai berikut:

$$t = \frac{a}{100-a} \cdot s_o \quad (3)$$

a [%] toleransi negatif pada ketebalan

s_o [mm] ketebalan dinding yang dihitung sesuai dengan 2.1

3. Analisa elastisitas

3.1 Gaya, momen dan tegangan yang disebabkan oleh ekspansi dan kontraksi termal yang mungkin terjadi harus dihitung dan disampaikan kepada BKI untuk persetujuan untuk sistem perpipaan berikut:

- pipa uap dengan temperatur kerja di atas 400 °C
- pipa dengan temperatur kerja di bawah -110 °C.

3.2 Hanya metode perhitungan yang disetujui yang dapat diterapkan. Perubahan elastisitas belokan dan alat kelengkapannya dikarenakan deformasi harus dipertimbangkan. Prosedur dan prinsip-prinsip metode serta data teknis harus disampaikan untuk persetujuan. BKI berhak untuk melakukan perhitungan konfirmasi.

Untuk menentukan tegangan, hipotesa tegangan geser maksimum harus diperhatikan. Tegangan setara yang dihasilkan akibat beban utama, tekanan internal dan bobot mati dari sistem perpipaan itu sendiri (gaya inersia) tidak boleh melebihi tekanan maksimum yang diizinkan menurut 2.3. Tekanan setara yang diperoleh dengan menambahkan semua gaya utama dan sekunder karena ekspansi atau kontraksi yang terhalang yang disebutkan di atas tidak boleh melebihi nilai rata-rata kelelahan siklus rendah atau batas luluh sementara pada 100.000 jam, dimana untuk peralatan seperti belokan, sambungan T, header, dan lain-lain, faktor peningkatan tekanan yang disetujui harus dipertimbangkan.

4. Alat kelengkapan

Cabang-cabang pipa dapat diberi ukuran sesuai dengan metode area permukaan setara dimana pengurangan yang sesuai dari tekanan maksimum yang diizinkan sebagaimana ditentukan dalam 2.3 harus diusulkan. Umumnya, tekanan maksimum yang diizinkan adalah sebesar 70% dari nilai yang sesuai dengan 2.3 untuk pipa dengan diameter lebih dari 300 mm. Di bawah nilai ini, penurunan 80% sudah mencukupi. Jika tekanan pengukuran rinci, perhitungan atau persetujuan tegangan rinci tersedia, tegangan yang lebih tinggi dapat diizinkan.

5. Perhitungan flensa

Perhitungan-perhitungan flensa dengan metode yang diakui dan menggunakan tegangan yang diijinkan yang ditentukan dalam 2.3 harus disampaikan jika flensa tidak sesuai dengan standar yang diakui, jika standar tidak menyediakan konversi ke kondisi kerja atau di mana ada penyimpangan dari standar.

Flensa yang sesuai dengan standar dimana nilai-nilai dari tekanan atau material yang relevan yang ditentukan dapat digunakan pada temperatur yang lebih tinggi hingga ke nilai tekanan berikut:

$$P_{\text{perm}} = \frac{\sigma_{\text{perm standard}}}{\sigma_{\text{perm(t,mater)}}} \cdot P_{\text{standard}}$$

- $\sigma_{\text{perm (t, mater)}}$ = Tekanan yang diperbolehkan menurut 2.3 untuk material yang diusulkan pada temperatur desain t
- $\sigma_{\text{perm standar}}$ = Tekanan yang diperbolehkan menurut 2.3 untuk material pada temperatur yang sesuai dengan data kekuatan yang ditetapkan dalam standar
- P_{standar} = Tekanan nominal PN yang ditentukan dalam standar

D. Prinsip untuk Konstruksi Pipa, Katup, Perlengkapan dan Pompa

1. Prinsip Umum

1.1 Sistem perpipaan harus dikonstruksi dan diproduksi dengan menggunakan standar yang umum digunakan dalam pembuatan kapal.

1.2 Untuk pengelasan dan koneksi yang dikeraskan serta metode penggabungan serupa sesuai dengan persyaratan [Rules for Welding \(Pt. 1, Vol.VI\)](#), harus ditaati.

1.3 Koneksi las dibandingkan dengan kopling terlepas harus digunakan untuk jaringan pipa yang menyalurkan media yang beracun dan gas cair mudah terbakar serta untuk pipa uap pemanasan lanjut dengan temperatur melebihi 400 °C.

1.4 Ekspansi dalam sistem perpipaan karena pemanasan dan pergeseran suspensinya yang disebabkan oleh deformasi kapal harus dikompensasi dengan belokan, kompensator dan koneksi pipa fleksibel. Pengaturan titik terpasang yang sesuai harus dipertimbangkan.

1.5 Jika pipa terlindungi dari korosi dengan lapisan pelindung khusus, misalnya pelapisan celup panas, lapisan karet, dan lain-lain, harus dipastikan bahwa lapisan pelindung tidak akan rusak selama instalasi.

2. Koneksi pipa

2.1 Sambungan pipa berikut dapat digunakan:

- las tumpul penetrasi penuh dengan/tanpa ketentuan untuk meningkatkan kualitas pangkal

- las soket dengan ketebalan fillet las yang sesuai dan jika bisa, sesuai dengan standar yang diakui
- baja flensa dapat digunakan sesuai dengan tekanan yang diizinkan dan temperatur yang ditetapkan dalam standar yang relevan
- Penyambungan mekanik (misalnya penyatuan pipa, kopling pipa, perlengkapan tekan, dan lain-lain) dari jenis yang disetujui

Untuk penggunaan koneksi pipa yang dilas, lihat [Tabel 11.12](#)

2.2 Koneksi flensa

2.2.1 Dimensi flensa dan baut harus memenuhi standar yang diakui.

Tabel 11.12 Koneksi pipa

Jenis Koneksi	Kelas pipa	Diameter luar
Sambungan dengan las tumpul dengan ketentuan khusus untuk sisi pangkal	I, II, III	Semua
Sambungan dengan las tumpul tanpa ketentuan khusus untuk sisi pangkal	II, III	
Koneksi soket las yang dikeraskan ¹⁾	III	
	II	≤ 60,3 mm

¹⁾ Untuk cairan yang mudah terbakar, koneksi yang dikeraskan hanya diizinkan antara pipa dan komponen yang langsung terhubung ke mesin dan peralatan.
Koneksi yang dikeraskan dalam sistem perpipaan yang menyalurkan media yang mudah terbakar yang ditempatkan dalam ruang mesin dengan kategori A pada umumnya tidak diperbolehkan, penyimpangan dari hal ini membutuhkan persetujuan BKI

2.2.2 Gasket harus sesuai untuk media yang ditujukan dalam tekanan desain dan kondisi temperatur kerja maksimum dan dimensi dan konstruksinya harus sesuai dengan standar yang diakui.

2.2.3 Flensa Baja dapat digunakan seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 11.16](#) dan [11.17](#) sesuai dengan tekanan yang diizinkan dan temperatur yang ditentukan dalam standar yang relevan.

2.2.4 Flensa yang terbuat dari logam bukan besi dapat digunakan sesuai dengan standar yang relevan dan dalam batas-batas yang ditetapkan dalam persetujuan. Flensa dan kalung yang dikeraskan atau dilas dengan tembaga dan paduan tembaga tunduk pada persyaratan sebagai berikut:

- Pengelasan flensa leher sesuai dengan standar hingga 200 °C atau 300 °C sesuai dengan temperatur maksimum yang tertera pada [Tabel 11.9](#); berlaku untuk semua kelas pipa
- Flensa longgar dengan kalung las; sebagaimana untuk a)
- Flensa polos yang dikeraskan: hanya untuk pipa kelas III sampai dengan tekanan nominal 16 bar dan temperatur 120 °C

2.2.5 Koneksi flensa untuk kelas pipa I dan II dengan temperatur lebih dari 300 °C harus dilengkapi dengan baut berleher bawah.

2.3 Koneksi soket yang dilas

Koneksi soket yang dilas dapat diterima sesuai dengan [Tabel 11.12](#). Kondisi berikut ini harus ditaati.

- Ketebalan soket harus sesuai dengan [C.1.1](#) Sekurang-kurangnya sama dengan ketebalan pipa.
- Kelonggaran antara pipa dan soket harus sekecil mungkin
- Penggunaan koneksi soket yang dilas dalam Sistem Perpipaan kelas II dapat diterima hanya pada kondisi dimana sistem tidak diharapkan mendapatkan tekanan, erosi dan korosi yang berlebih.

2.4 Kondisi soket ulir

2.4.1 Koneksi soket ulir dengan ulir paralel dan runcing harus memenuhi persyaratan standar nasional atau internasional yang diakui.

2.4.2 Koneksi soket ulir dengan mur paralel diijinkan untuk pipa di kelas III dengan diameter luar \leq 60,3 mm serta untuk sistem bawahnya (misalnya sistem sanitasi dan pemanas air panas). Koneksi ini tidak diizinkan untuk sistem dengan media yang mudah terbakar.

2.4.3 Koneksi soket ulir dengan ulir runcing diizinkan untuk pipa-pipa berikut:

- kelas I, diameter luar tidak lebih dari 33,7 mm
- kelas II dan kelas III, diameter luar tidak lebih dari 60,3 mm

Koneksi soket ulir dengan ulir runcing tidak diizinkan untuk sistem perpipaan yang menyalurkan media beracun atau mudah terbakar atau layanan dimana kelelahan, erosi yang parah atau korosi retak diperkirakan terjadi.

2.5 Penyambungan mekanik

2.5.1 Perbedaan penerapan dan tekanan rating dari jenis penyambungan mekanik harus disetujui oleh BKI. Persetujuan sesuai dengan prosedur persetujuan tipe. Penyambungan mekanik termasuk penggabungan pipa, *compression couplings*, penyambungan slip, dan penyambungan sejenis sesuai dengan persetujuan tipe untuk kondisi servis dan tujuan penerapan. Lihat [Tabel 11.13](#) untuk contoh penyambungan mekanik.

2.5.2 Jika sesuai, penyambungan mekanik merupakan tipe tahan api, sesuai dengan persyaratan pada [Tabel 11.14](#).

2.5.3 Penyambungan mekanik, dimana jika terjadi kerusakan yang dapat mengakibatkan kebakaran, atau banjir, pipa *section* tidak boleh digunakan secara langsung terhubung ke kapal pada bagian bawah bulkhead dek kapal penumpang, dan freeboard dek pada kapal kargo, dan tangki yang bermuatan cairan mudah terbakar.

2.5.4 Dimana dalam penerapan hasil penyambungan mekanik pada pengurangan ketebalan pipa dikarenakan penggunaan dari bite type rings atau elemen struktur lainnya, hal ini perlu dijadikan pertimbangan dalam menentukan ketebalan dinding pipa agar sesuai dengan desain tekanan.

2.5.5 Material penyambungan mekanik harus sesuai dengan material pipa dan fluida di dalam pipa ataupun diluar pipa.

2.5.6 Penyambungan pipa mekanik jika memungkinkan harus di uji, pada *burst* tekanan sebesar 4x dari desain tekanan. Untuk desain tekanan diatas 200 bar, persyaratan *burst* tekanan akan dipertimbangkan secara khusus oleh BKI.

2.5.7 Jumlah dari penyambungan mekanik dalam cairan mudah terbakar, harus dijaga seminimal mungkin. Umumnya penyambungan flensa merujuk pada standar yang diakui.

2.5.8 Pipa dimana ada penyambungan mekanik harus disesuaikan, alignment dan pendukungnya. Pendukung atau hanger tidak boleh menggunakan gaya alignment dari pipa pada titik sambungan.

2.5.9 Penggunaan penyambungan mekanik dan persetujuan untuk masing-masing servis sesuai dalam [Tabel 11.14](#) tergantung dari Klas pipa, dan ukuran pipa dalam [Tabel 11.15](#).

2.5.10 Penyambungan mekanik harus diuji sesuai dengan persetujuan BKI, dimana pengujian itu termasuk:

- Pengujian kebocoran

- Pengujian vakum (Jika dibutuhkan)
- Pengujian vibrasi / kelelahan
- Pengujian ketahanan api (Jika dibutuhkan)
- Pengujian burst tekanan
- Pengujian tekanan pulsation (Jika dibutuhkan)
- Pengujian assembly (Jika dibutuhkan)
- Pengujian Tarik /pull out (Jika dibutuhkan)

2.5.11 Pemasangan penyambungan mekanik merujuk pada petunjuk assembly dari manufaktur. Dimana jika membutuhkan peralatan khusus dan gauge untuk instalasi penyambungan, akan disediakan oleh manufaktur.

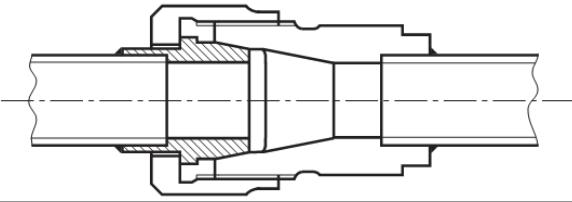
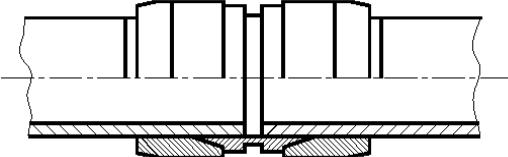
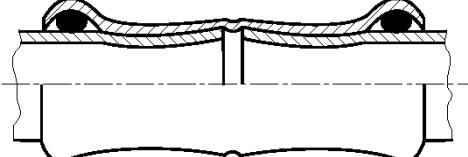
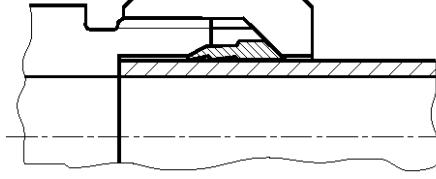
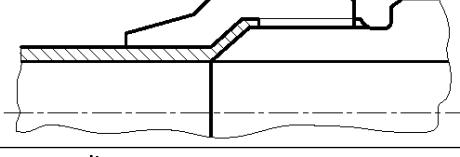
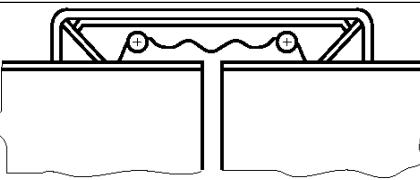
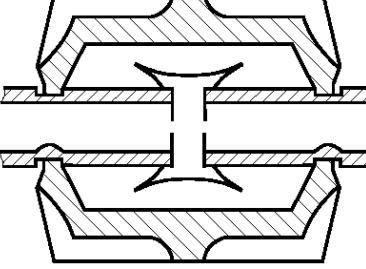
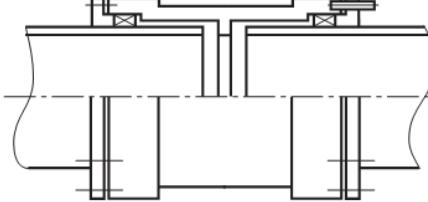
2.5.12 Selain berbagai aplikasi yang ditentukan dalam [Tabel 11.14](#), penggunaan Penyambungan geser tidak diizinkan pada:

- jalur bilga dalam tangki Balas dan bahan bakar
- jalur air laut dan Balas termasuk pipa-pipa udara dan limpah di dalam ruang kargo dan tangki bahan bakar
- sistem perpipaan termasuk pipa duga, ventilasi dan limpah yang menyalurkan cairan yang mudah terbakar serta jalur gas lembam yang diatur dalam ruang mesin kategori A atau ruang akomodasi. Penyambungan geser dapat diterima di ruang mesin lainnya asalkan mereka berada di posisi yang mudah terlihat dan diakses.
- saluran bahan bakar dan minyak termasuk pipa limpah pada sisi ruang kargo dan tangki Balas
- sistem pemadam kebakaran yang tidak permanen diisi air

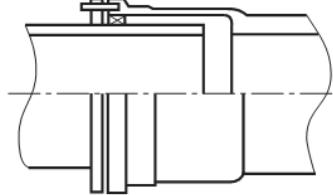
Penyambungan geser di dalam tangki dapat diizinkan hanya jika pipa dan tangki berisi media yang mempunyai sifat yang sama.

Penyambungan slip tak tertahan hanya dapat digunakan jika diperlukan untuk kompensasi gerakan pipa lateral.

Tabel 11.13 Contoh Penyambungan mekanik

Penyatuan pipa	
Tipe yang dilas dan dikeraskan (brazed)	
Kopling kompresi	
Jenis mengembang (swage)	
Jenis tekan	
Jenis gigit	
Jenis melebar	
Penyambungan slip	
Jenis grip	
Jenis mesin beralur	
Jenis slip	

Tabel 11.13 Contoh Penyambungan mekanik (lanjutan)

Penyambungan slip	
Jenis slip	 

Tabel 11.14 Aplikasi Penyambungan mekanik

Sistem	Jenis		
	Penyatuan	Kopling kompresi ⁶⁾	Penyambungan geser
Cairan mudah terbakar (Titik nyala <60 °C)			
Minyak kargo	+	+	+ ⁵⁾
Pembersihan minyak mentah	+	+	+ ⁵⁾
Ventilasi	+	+	+ ⁵⁾
Gas lembam			
limbah Segel air	+	+	+
Penyaring limbah	+	+	+
Utama	+	+	+ ^{2) 5)}
Distribusi	+	+	+ ⁵⁾
Cairan mudah terbakar (Titik nyala > 60 °C)			
Minyak Kargo	+	+	+ ⁵⁾
Material bakar	+	+	+ ^{2) 3)}
Minyak Pelumas	+	+	+ ^{2) 3)}
Minyak hidrolik	+	+	+ ^{2) 3)}
Minyak termal			
Air laut			
Bilga	+	+	+ ¹⁾
Peralatan utama kebakaran dan semprotan air	+	+	+ ³⁾
Busa	+	+	+ ³⁾
Alat penyiram	+	+	+ ³⁾
Balas	+	+	+ ¹⁾
Air pendingin	+	+	+ ¹⁾
Pembersihan Tangki	+	+	+
Non-essensial	+	+	+
Air tawar			
Sistem air pendingin	+	+	+ ¹⁾
Kondensat balik	+	+	+ ¹⁾
Sistem non-esensial	+	+	+

Tabel 11.14 Aplikasi Penyambungan mekanik (lanjutan)

Sistem	Jenis		
	Penyatuan	Kopling kompresi ⁶⁾	Penyambungan geser
Sanitasi/ Pengurasan/ Pembuangan			
Pengurasan geladak (internal)	+	+	+ ⁴⁾
Pengurasan sanitasi	+	+	+
pembuangan dan pelepasan (ke luar kapal)	+	+	-
Duga/Ventilasi			
Tangki air/ruang Kering	+	+	+
Tangki minyak ($F_p > 60^\circ C$)	+	+	+ ^{2) 3)}
Lain-lain			
Udara awal/ Kontrol ¹⁾	+	+	-
udara Layanan (non-esensial)	+	+	+
Brine	+	+	+
system CO_2 ¹⁾	+	+	-
Uap	+	+	- ⁸⁾
singkatan:	catatan kaki:		
+ Aplikasi diperbolehkan	1) Di dalam ruang mesin kategori A - hanya tipe tahan api yang disetujui ⁷⁾		
- Aplikasi tidak diperbolehkan	2) Bukan didalam ruang mesin kategori A atau ruang akomodasi. Dapat diterima di ruang mesin lain asalkan disediakan Penyambungan yang terletak di posisi yang mudah terlihat dan diakses.		
	3) Jenis tahan api yang disetujui ⁷⁾		
	4) Hanya di atas dek freeboard		
	5) Di kamar pompa dan geladak terbuka - hanya jenis tahan api yang disetujui ⁷⁾		
	6) Jika kopling kompresi mencakup komponen yang mudah rusak jika terjadi kebakaran, mereka harus dari jenis tahan api yang disetujui ⁷⁾ seperti yang diperlukan untuk Penyambungan geser.		
	7) Uji ketahanan api sesuai dengan ISO 19921		
	8) Jenis Penyambungan kapal seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11.13 , asalkan hanya dibatasi pada pipa-pipa. Hanya digunakan untuk pipa-pipa di dek dengan tekanan nominal sampai dengan PN10		

Tabel 11.15 Aplikasi Penyambungan mekanik tergantung pada kelas pipa

Jenis Penyambungan	Kelas sistem perpipaan		
	I	II	III
Gabungan pipa			
Jenis dilas dan dikeraskan	+(da ≤ 60,3 mm)	+(da ≤ 60,3 mm)	+
Kopling kompresi			
Jenis swage	+	+	+
Jenis tekan	-	-	+
Jenis gigit	+	+	
Jenis melebar	(da ≤ 60,3 mm)	(da ≤ 60,3 mm)	+
Penyambungan Slip			
Jenis mesin beralur	+	+	+

Tabel 11.15 Aplikasi Penyambungan mekanik tergantung pada kelas pipa (lanjutan)

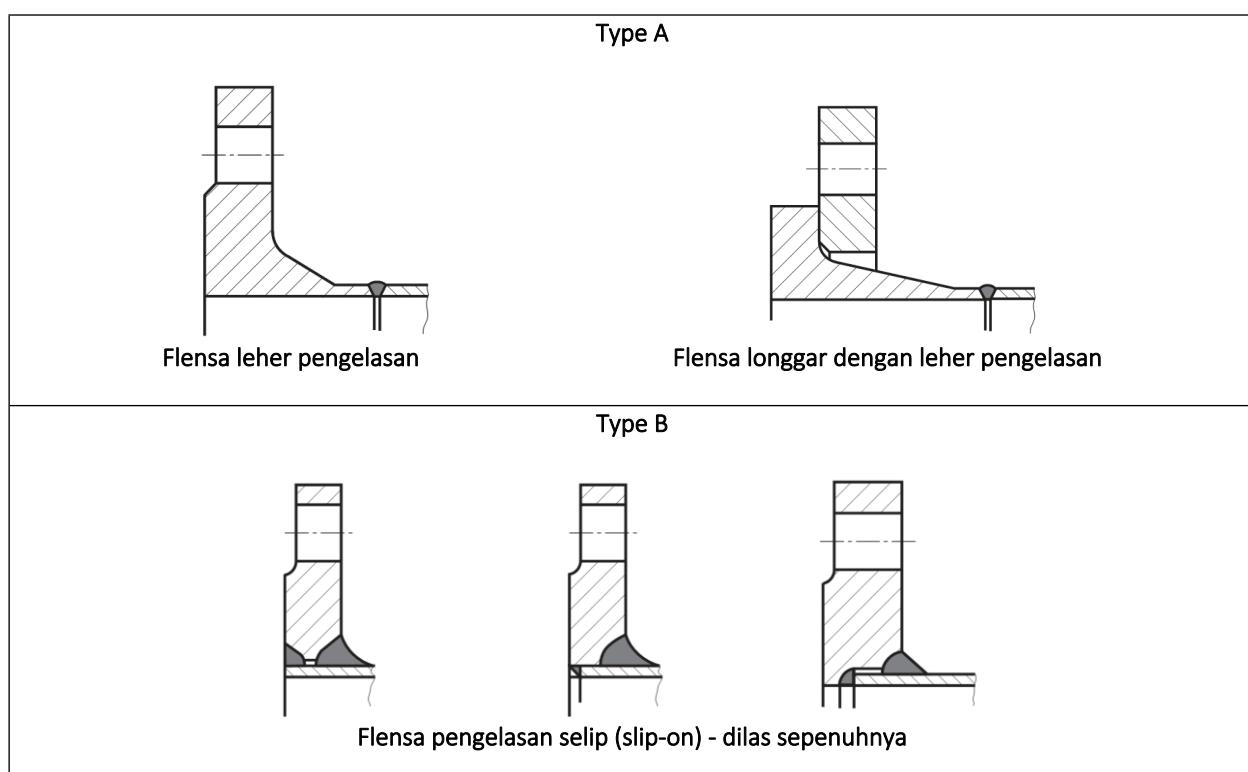
Jenis Penyambungan	Kelas sistem perpipaan		
	I	II	III
Jenis grip	-	+	+
Jenis Slip	-	+	+
Singkatan :			
+ Aplikasi diperbolehkan			
- Aplikasi tidak diperbolehkan			

Tabel 11.16 Penggunaan jenis flensa

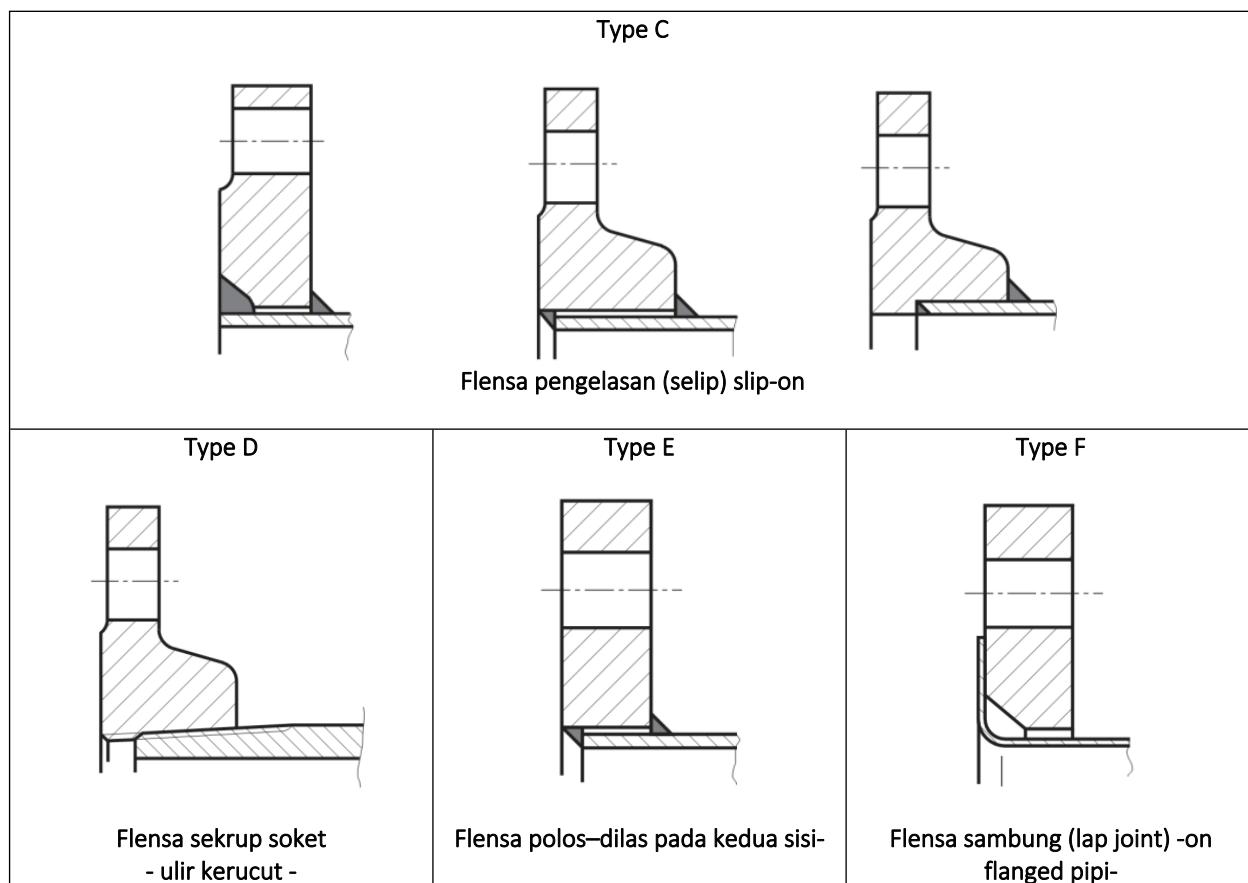
Kelas pipa	Media beracun, korosif dan mudah terbakar, gas cair (LG)		Uap, minyak termal		Minyak pelumas, bahan bakar minyak	Media lain	
	PR [bar]	Jenis flensa	Temperatur [°C]	Jenis flensa		Temperatur [°C]	Jenis flensa
I	> 10 ≤ 10	A A, B ¹⁾	> 400 ≤ 400	A A, B ¹⁾	A, B	> 400 ≤ 400	A A, B
II	-	A, B, C	> 250 ≤ 250	A, B, C A, B, C, D, E	A, B, C, E ²⁾	> 250 ≤ 250	A, B, C A, B, C, D, E
III	-	-	-	A, B, C, D, E	A, B, C, E	-	A, B, C, D, E, F ³⁾

¹⁾ Jenis B hanya untuk diameter luar da < 150 mm
²⁾ Jenis E hanya untuk t < 150 °C dan PR < 16 bar
³⁾ Jenis F hanya untuk pipa air dan jalur terbuka

Tabel 11.17 Jenis koneksi flensa



Tabel 11.17 Jenis koneksi flensa (lanjutan)



3. Tata letak, penandaan dan instalasi

3.1 Sistem perpipaan harus diidentifikasi secara memadai sesuai dengan tujuannya masing-masing berdasarkan kebutuhan dalam Lampiran A atau standar yang diakui. Katup-katup harus ditandai dengan permanen dan jelas.

3.2 Penetrasi pipa yang melalui sekat/geladak dan dinding tangki harus kedap air dan minyak. Baut yang melalui sekat tidak diizinkan. Lubang untuk sekrup penahan tidak dapat dibor ke dinding tangki.

3.3 sistem penyegelan untuk penetrasi pipa melalui sekat kedap air dan geladak serta melalui pembatas kebakaran harus disetujui oleh BKI kecuali pipa dilas ke dalam sekat/dek (lihat [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec. 29.C.8](#))³

3.4 Perpipaan yang dekat dengan switchboards listrik harus diinstal atau dilindungi sedemikian rupa sehingga kebocoran tidak dapat merusak instalasi listrik.

3.5 Sistem perpipaan harus sedemikian rupa sehingga mereka dapat benar-benar dikosongkan, dikeringkan dan diventilasi. Sistem perpipaan dimana akumulasi cairan selama operasi bisa menyebabkan kerusakan harus dilengkapi dengan pengaturan pembuangan khusus.

3.6 Jalur pipa yang diatur melalui tangki Balas, yang dilapisi sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec. 35.F](#). harus baik dilindungi secara efektif terhadap korosi dari luar ataupun mereka mempunyai kerentanan yang rendah terhadap korosi.

³ [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#).

Metode perlindungan korosi tangki dan pipa harus kompatibel.

3.7 Ketebalan dinding pipa antara sisi kapal dan perangkat penyetop pertama harus sesuai dengan [Tabel 11.20 b](#), kolom B. Pipa harus terhubung hanya dengan las atau flensa.

4. Perangkat Shut-off

4.1 Perangkat *Shut-off* harus memenuhi standar yang diakui. Katup dengan penutup berulir harus diberi pengaman untuk hilangnya penutup yang tidak diinginkan.

4.2 Perangkat *shut-off* yang dioperasikan dengan tangan harus ditutup dengan memutar dengan arah searah jarum jam.

4.3 Katup harus ditandai dengan jelas untuk menunjukkan apakah katup berada di posisi terbuka atau tertutup.

4.4 Perangkat *change-over* dalam sistem perpipaan dimana posisi tengah yang mungkin pada perangkat dapat menimbulkan bahaya saat servis, tidak dapat digunakan.

4.5 Katup harus ditandai secara permanen. Penandaan harus terdiri dari Sekurang-kurangnya rincian sebagai berikut:

- material badan katup
- diameter nominal
- tekanan nominal.

5. Katup pada pelat kulit

5.1 Untuk pemasangan katup pada pelat kulit, lihat [Rules for Hull \(Pt 1, Vol.II\) Sec. 6, G.](#)

5.2 Katup pada pelat kulit harus mudah diakses. Katup inlet dan outlet air laut harus mampu dioperasikan dari atas pelat lantai. Keran di pelat kulit harus direncanakan sedemikian rupa sehingga pegangan hanya dapat dicabut ketika keran ditutup.

5.3 Katup dengan hanya satu flens dapat digunakan pada pelat kulit dan di kotak laut hanya dengan persetujuan khusus.

5.4 Pada kapal > 500 GT, di ruang mesin tanpa pengawasan secara berkala, kontrol dari katup inlet air laut dan buangan harus diposisikan mudah untuk dijangkau dan mudah untuk mengoperasikan katup inlet air laut dan buangan jika air masuk dalam waktu 10 menit⁴ setelah memicu alarm bilga.

Katup buangan *non return* tidak perlu dijadikan pertimbangan.

5.5 Kapal yang kontrak untuk konstruksi pada atau setelah tanggal 1 Januari 2013, ruang mesin tanpa pengawasan secara berkala, kontrol dari setiap katup yang melayani inlet air laut, buangan di bawah garis air atau sistem isapan bilga langsung harus ditempatkan sedemikian rupa untuk memungkinkan waktu yang cukup selama beroperasi jika air masuk ke ruangan tersebut, dengan memperhatikan waktu yang mungkin diperlukan untuk mencapai dan mengoperasikan kontrol tersebut. Jika level dimana ruang mampu terbanjiri dengan kapal dalam kondisi terisi penuh dipersyaratkan, perencanaan harus dibuat untuk mengoperasikan kontrol dari posisi di atas level tersebut.

⁴ Berbagai administrasi negara bendera telah mengeluarkan persyaratan sendiri tentang hal ini

6. Katup kontrol jarak jauh

6.1 Ruang Lingkup

Persyaratan ini berlaku untuk katup yang dioperasikan secara hidrolik, pneumatik atau elektrik dalam sistem perpipaan dan pipa pembuangan sanitasi.

6.2 Konstruksi

6.2.1 Katup bilga yang dikendalikan jarak jauh dan katup yang penting bagi keselamatan kapal harus dilengkapi dengan pengaturan operasi darurat.

6.2.2 Untuk operasi darurat dari katup yang dikendalikan jarak jauh di sistem perpipaan kargo, lihat Bab 15. B.2.3.3.

6.3 Perencanaan katup

6.3.1 Aksesibilitas katup untuk pemeliharaan dan perbaikan harus diperhatikan.

Katup di jalur bilga dan pipa sanitasi harus selalu dapat diakses.

6.3.2 Jalur Bilga

Katup dan jalur kontrol harus berada sejauh mungkin dari bawah dan sisi kapal.

6.3.3 Pipa balas

Persyaratan 6.3.2 juga berlaku pada pipa balas terkait lokasi katup dan jalur kontrol.

Jika katup yang dikendalikan jarak jauh direncanakan di dalam tangki balas, katup harus selalu berada di tangki yang berdampingan dimana saling terhubung.

6.3.4 Pipa bahan bakar

Katup yang dikendalikan jarak jauh yang dipasang di tangki bahan bakar yang diletakkan di atas dasar ganda harus mampu ditutup dari luar kompartemen di mana katup dipasang (lihat juga G.2.1 dan H.2.2).

Jika katup yang dikendalikan jarak jauh dipasang didalam tangki bahan bakar atau tangki minyak, persyaratan 6.3.3 yang sesuai harus diterapkan.

6.3.5 Jalur bahan bakar minyak yang terletak di dalam area kebocoran menurut MARPOL I 12A

Perangkat *shut-off* yang dikendalikan jarak jauh di jalur bungker bahan bakar pada tangki bahan bakar harus tertutup secara otomatis jika catu daya mengalami kegagalan. Pengaturan yang sesuai harus disediakan yang mencegah kenaikan tekanan yang tidak dapat diterima di jalur bungker selama pengisian bungker jika katup menutup secara otomatis.

Catatan:

Untuk memenuhi persyaratan di atas sebagai contoh langkah-langkah berikut dapat diambil:

- Jalur bungker dan transfer terpisah (pengisian bungker dari atas tangki)
- Katup pengaman pembebas di jalur bungker yang mengarah ke tangki limpah

6.3.6 Pipa Kargo

Untuk katup yang dikendalikan jarak jauh di dalam tangki kargo, lihat Bab 15.B.2.3.3.

6.4 Stan kontrol

6.4.1 Perangkat kontrol dari katup yang dikendalikan jarak jauh pada sistem harus diletakkan bersama dalam satu stan kontrol.

6.4.2 Perangkat kontrol harus diidentifikasi dan ditandai secara jelas dan permanen.

6.4.3 Status (terbuka atau tertutup) pada masing-masing katup yang dikendalikan jarak jauh harus jelas terindikasi pada stan kontrol.

6.4.4 Status katup bilga "terbuka"/"tertutup" harus ditunjukkan dengan indikator posisi yang disetujui oleh BKI.

6.4.5 Untuk indikator posisi volumetrik, sistem kontrol jarak jauh harus memicu alarm pada saat indikator posisi tidak berfungsi dikarenakan misalnya kebocoran pipa atau pemblokiran katup.

6.4.6 Perangkat kontrol katup untuk tangki yang *changeable* harus saling bertautan untuk memastikan bahwa hanya katup yang berkaitan dengan tangki yang bersangkutan yang dapat dioperasikan. Hal yang sama juga berlaku untuk katup ruang kargo dan tangki, dimana kargo kering dan air Balas dimuat secara bergantian.

6.4.7 Pada kapal penumpang, Stan kontrol untuk katup bilga yang dikendalikan jarak jauh harus berada di luar ruang mesin dan diatas sekat kedap geladak.

6.5 Unit daya

6.5.1 Unit daya harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya dua set yang bekerja independen untuk mensuplai listrik katup yang dikendalikan jarak jauh.

6.5.2 Energi yang dibutuhkan untuk penutupan katup yang tidak ditutup oleh daya pegas harus disuplai oleh akumulator tekanan.

6.5.3 Katup yang dioperasikan secara pneumatik dapat disuplai dengan udara dari sistem umum udara bertekanan.

Ketika katup *quick-closing* dari tangki bahan bakar yang ditutup secara pneumatik, akumulator tekanan yang terpisah harus disediakan. Akumulator harus mempunyai kapasitas yang memadai dan harus berada di luar kamar mesin. Pengisian akumulator tersebut diperbolehkan dengan menggunakan koneksi langsung ke sistem umum udara bertekanan. Katup *non return* harus pasang pada koneksi pengisian tekanan akumulator.

Akumulator harus disediakan baik dengan perangkat kontrol tekanan dengan alarm visual dan suara atau dengan kompresor tangan sebagai alat pengisi kedua.

Kompresor tangan harus ditempatkan di luar kamar mesin.

6.6 Setelah instalasi di kapal, seluruh sistem harus dikenakan uji operasional.

7. Pompa

7.1 Untuk persyaratan material dan konstruksi, [Guidance for Design, Construction and Testing Pump \(Pt.1, Vol.V\)](#) harus diterapkan.

7.2 Uji kinerja harus dilakukan di bengkel pabrik pembuat dibawah pengawasan BKI untuk pompa yang tercantum di bawah ini:

- pompa bilga/ejector bilga

- pompa balas
- pompa pendinginan air laut
- pompa pendinginan air tawar
- pompa pemadam kebakaran termasuk pompa yang melayani sistem pemadam kebakaran tetap (misalnya pompa sprinkler)
- pompa pemadam kebakaran darurat termasuk unit penggeraknya
- pompa kondensat
- pompa air umpan boiler
- pompa sirkulasi air boiler
- pompa minyak pelumas
- pompa pendorong dan pemindahan bahan bakar minyak
- pompa sirkulasi untuk instalasi minyak termal
- pompa *brine*
- pompa sirkulasi refrigeran
- pompa kargo
- pompa pendinginan untuk katup injeksi bahan bakar
- pompa hidrolik untuk *controllable pitch propeller*
- pompa yang melayani sistem penyemprotan air yang didedikasikan untuk tujuan pendinginan (*pompa drencher*)

Pompa/motor hidrolik lainnya, lihat Bab 14.

8. Perlindungan sistem perpipaan dari tekanan berlebih

Sistem perpipaan berikut harus dilengkapi dengan katup pengaman untuk menghindari tekanan berlebih:

- sistem perpipaan dan katup dimana cairan dapat disimpan tertutup dan dipanaskan
- sistem perpipaan yang mungkin terkena tekanan lebih dari tekanan desain

Safety valve harus mampu membuang medium pada peningkatan tekanan maksimum 10% dari tekanan kerja yang diijinkan. Katup pengaman harus dari jenis yang disetujui sesuai dengan [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#). Katup pengaman harus dipasang pada sisi tekanan rendah katup pengurang.

9. Perpipaan di kapal dengan karakter Klasifikasi ■ atau □

9.1 Persyaratan berikut berlaku sebagai tambahan untuk kapal dimana bukti apung dalam kondisi rusak tersedia:

- 9.1.1 Kapal penumpang sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 29.K](#). serta [N.5](#) dari Bab ini.
 - 9.1.2 Kapal tangki gas cair sesuai dengan [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol.IX\)](#)
 - 9.1.3 Kapal Kapal tangki kimia menurut [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk \(Pt.1, Vol.X\)](#)
 - 9.1.4 Kapal kargo lainnya sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 36.E.3](#)
- 9.2 [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 21.D](#). harus sebagai tambahan diterapkan untuk pipa drainase dan jalur buang, [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 21.E](#). harus sebagai tambahan diterapkan untuk pipa ventilasi, limpah dan duga.

Untuk ruang muat kargo tertutup pada kapal penumpang, lihat [N.4.4](#).

9.3 Untuk penetrasi pipa melalui sekat kedap air, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 11.A.3.4](#).

9.4 Jalur pipa dengan ujung terbuka di kompartemen atau tangki harus ditata sehingga tidak ada kompartemen tambahan atau tangki dapat dibanjiri dalam kondisi rusak apapun yang harus dipertimbangkan.

9.5 Jika perangkat penyetop tersebut diatur dalam jalur banjir silang dari tangki Balas, posisi katup harus ditunjukkan pada anjungan.

9.6 Untuk pipa pembuangan limbah, lihat [T.2](#).

9.7 Jika tidak mungkin meletakkan jalur pipa diluar zona kerusakan yang diasumsikan, kekedapan sekat harus dipastikan dengan menerapkan ketentuan dalam [9.7.1](#) sampai [9.7.4](#).

9.7.1 Pada jalur pipa bilga, sebuah katup tak kembali harus dipasang di sekat kedap air yang dilalui oleh pipa menuju ke pengisapan bilga atau di pengisapan bilga itu sendiri.

9.7.2 Pada jalur pipa air Balas dan bahan bakar untuk mengisi dan mengosongkan tangki, katup penyetop harus dipasang di sekat kedap air yang dilalui pipa mengarah ke ujung terbuka di dalam tangki atau langsung di tangki.

9.7.3 Katup penyetop yang diperlukan dalam [9.7.2](#) harus mampu dioperasikan dari sebuah panel kontrol yang terletak di anjungan navigasi, dimana harus ditunjukkan ketika katup berada di posisi "tertutup". Persyaratan ini tidak berlaku untuk katup yang dibuka di laut hanya sesaat untuk operasi yang diawasi.

9.7.4 Pipa limpah tangki di kompartemen kedap air yang berbeda yang terhubung ke satu sistem limpah umum:

- harus diarahkan, sebelum terhubung ke sistem dalam kompartemen yang relevan, pada kapal penumpang cukup tinggi di atas sekat dek dan di kapal lain di atas garis air rusak yang paling tidak menguntungkan, atau
- sebuah katup penyetop harus dipasang untuk setiap pipa limpah. Katup penyetop ini harus berada di sekat kedap air kompartemen yang relevan dan harus diamankan dalam posisi terbuka untuk mencegah operasi yang tidak diinginkan. Katup penyetop harus mampu dioperasikan dari sebuah panel kontrol yang terletak di anjungan navigasi, dimana harus ditunjukkan ketika katup dalam posisi "tertutup".

9.7.5 Jika pada kapal selain kapal penumpang, penetrasi sekat untuk pipa-pipa ini disusun cukup tinggi dan begitu dekat dengan midship sehingga tidak dalam kondisi kerusakan apapun, termasuk pada kecondongan kapal maksimum sementara, mereka akan berada di bawah permukaan air, katup penyetop dapat ditiadakan.

E. Jalur Uap

1. Operasi

1.1 Jalur uap harus ditata dan diatur sedemikian rupa sehingga konsumen penting dapat dipasok dengan uap dari setiap boiler utama serta dari boiler siaga atau boiler untuk operasi darurat.

1.2 Konsumen yang penting adalah:

- Semua unit konsumen yang penting untuk propulsi, manuver dan operasi yang aman dari kapal serta mesin bantu penting menurut [Bab 1.H](#).

- Semua unit konsumen yang diperlukan untuk keselamatan kapal.

1.3 Setiap unit pengkonsumsi uap harus dapat dimatikan dari sistem.

2. Perhitungan jalur pipa

2.1 Jalur uap dan katup harus dikonstruksi untuk tekanan desain (PR) menurut [B.4.1.4](#).

2.2 Perhitungan ketebalan pipa dan analisis elastisitas sesuai dengan [C](#). harus dilakukan. Kompensasi yang cukup untuk ekspansi termal harus dibuktikan.

3. Tata letak jalur uap

3.1 Jalur uap harus diinstal dan didukung sedemikian rupa sehingga tekanan yang diharapkan karena ekspansi termal, beban eksternal dan pergeseran struktur pendukung baik di bawah pada kondisi pelayanan normal maupun terganggu akan aman dikompensasi.

3.2 Jalur uap harus diinstal sedemikian rupa sehingga kantong air dapat dihindari.

3.3 Sarana harus disediakan untuk drainase yang handal dari sistem perpipaan.

3.4 Jalur uap harus efektif terisolasi untuk mencegah kehilangan panas.

3.4.1 Pada titik-titik dimana ada kemungkinan melakukan kontak, temperatur permukaan jalur uap yang terisolasi tidak boleh melebihi 80 °C.

3.4.2 Dimanapun diperlukan, pengaturan perlindungan tambahan terhadap kontak yang tidak diinginkan harus diberikan.

3.4.3 Temperatur permukaan jalur uap di kamar pompa kapal tangki dimanapun tidak dapat melebihi 220 °C, lihat juga [Bab 15](#).

3.5 Jalur pemanasan uap, kecuali untuk keperluan pemanasan, tidak dapat diarahkan melalui akomodasi.

3.6 Posisi yang cukup kaku harus diatur sebagai titik tetap untuk sistem perpipaan uap.

3.7 Harus dipastikan bahwa jalur uap dilengkapi dengan pengaturan ekspansi yang cukup.

3.8 Jika sistem dapat dipasok dari sistem dengan tekanan yang lebih tinggi, harus dilengkapi dengan katup pengurang dan dengan katup pembebas pada sisi tekanan rendah.

3.9 Koneksi yang dilas di jalur uap tunduk pada persyaratan yang ditentukan dalam [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#).

4. Saringan uap

Dimanapun diperlukan, mesin dan peralatan dalam sistem uap harus dilindungi terhadap benda asing dengan saringan uap.

5. Koneksi uap

Koneksi uap untuk peralatan dan pipa yang menyalurkan minyak, misalnya atomizers uap atau pengaturan uap keluar, harus dijamin sehingga bahan bakar dan minyak tidak dapat menembus ke dalam jalur uap.

6. Pemeriksaan jalur uap untuk expansi

Jalur uap untuk uap pemanasan lanjut di atas 500 °C harus dilengkapi dengan sarana pemeriksaan pipa untuk ekspansi. Sarana ini dapat berupa bagian pengukuran pada panjang lurus pipa, lebih diutamakan di outlet pemanas lanjut. Panjang bagian pengukuran ini harus Sekurang-kurangnya $2 \cdot d_a$.

F. Air Umpam Boiler dan Susunan Sirkulasi, Resirkulasi Kondensat

1. Pompa air umpan

1.1 Sekurang-kurangnya dua pompa air umpan harus disediakan untuk setiap instalasi boiler.

1.2 Pompa air umpan harus diatur atau dilengkapi sedemikian rupa sehingga tidak ada aliran air balik yang dapat terjadi ketika pompa tidak beroperasi.

1.3 Pompa air umpan harus digunakan hanya untuk memberi umpan kepada boiler.

2. Kapasitas pompa air umpan

2.1 Jika dua pompa air umpan disediakan, kapasitas masing-masing pompa setara dengan Sekurang-kurangnya 1,25 kali output maksimum yang diijinkan dari semua generator uap yang terhubung.

2.2 Jika lebih dari dua pompa air umpan dipasang, kapasitas semua pompa air umpan lainnya dalam hal kegagalan pompa dengan kapasitas terbesar harus memenuhi persyaratan 2.1.

2.3 Untuk aliran kontinyu boiler, kapasitas pompa air umpan harus Sekurang-kurangnya 1,0 kali output uap maksimum.

2.4 Persyaratan khusus dapat disetujui untuk kapasitas pompa air umpan untuk perangkat yang menggabungkan kombinasi boiler berbahan bakar minyak dan gas buang.

3. Tekanan pengiriman pompa air umpan

Pompa air umpan harus diletakkan sedemikian rupa sehingga tekanan pengiriman dapat memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Kapasitas yang diperlukan sesuai dengan 2. Harus dicapai terhadap tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari penghasil uap.
- Dalam kasus katup pengaman bekerja, kapasitas pengiriman harus menjadi 1,0 kali output uap yang disetujui pada 1,1 kali tekanan kerja yang diijinkan.

Hambatan aliran dalam perpipaan antara pompa air umpan dan boiler harus diperhitungkan. Dalam kasus boiler aliran kontinyu, total hambatan dari boiler harus diperhitungkan.

4. Catu daya untuk pompa air umpan untuk boiler utama

4.1 Untuk pompa air umpan yang digerakkan dengan uap, suplai semua pompa hanya dari satu sistem uap diperbolehkan asalkan semua penghasil uap terhubung ke sistem uap ini. Jika pompa air umpan digerakkan semata-mata oleh uap, pompa penyala dan pengisi yang sesuai yang independen dari uap harus diberikan.

4.2 Untuk penggerak listrik, arah yang terpisah dari bus-bar yang umum ke masing-masing motor pompa mencukupi.

5. Saluran air umpan

Saluran air umpan tidak dapat melewati tangki yang tidak mengandung air umpan.

5.1 Saluran air umpan untuk boiler utama

5.1.1 Setiap boiler utama harus dilengkapi dengan sebuah jalur air umpan utama dan tambahan.

Jika 2 boiler utama yang berukuran memadai disediakan, air umpan ke masing-masing boiler dapat dipasok dengan jalur air umpan tunggal.

5.1.2 Setiap jalur air umpan harus dilengkapi dengan katup penyetop dan katup pada saluran masuk boiler. Jika katup penyetop dan katup pemeriksaan tidak langsung terhubung secara seri, pipa antara harus dilengkapi dengan sebuah saluran pengurasan.

5.1.3 Setiap pompa air umpan harus dilengkapi dengan sebuah katup penyetop pada sisi hisap dan katup ulir bawah tak kembali pada sisi pengiriman. Pipa harus disusun sedemikian rupa sehingga setiap pompa dapat memasok setiap jalur air umpan.

5.2 Jalur air umpan untuk penghasil uap bantu (boiler bantu dan gas buang)

5.2.1 Penyediaan hanya satu jalur air umpan untuk boiler bantu dan gas buang cukup jika pemanasan awal dan perangkat pengatur otomatis dilengkapi dengan jalur *bypass*.

5.2.2 Persyaratan dalam 5.1.2 harus berlaku dengan sesuai pada katup yang diperlukan untuk dipasang ke inlet boiler.

5.2.3 Boiler aliran kontinu tidak perlu dilengkapi dengan katup yang diperlukan sesuai dengan 5.1.2 asalkan pemanasan boiler secara otomatis dimatikan ketika suplai air umpan gagal dan pompa air hanya memasok satu boiler.

6. Sistem sirkulasi air boiler

6.1 Setiap boiler sirkulasi paksa harus dilengkapi dengan dua pompa sirkulasi yang didukung secara independen satu sama lain. Kegagalan pompa sirkulasi dalam operasi harus ditandai dengan alarm. Alarm hanya dapat dimatikan jika sebuah pompa sirkulasi telah dinyalakan atau ketika pembakaran boiler dimatikan.

6.2 Penyediaan hanya satu pompa sirkulasi untuk setiap boiler sudah cukup jika:

- boiler hanya dipanaskan oleh gas yang temperaturnya tidak melebihi 400 °C atau
- sebuah pompa sirkulasi siaga umum disediakan yang dapat dihubungkan ke boiler atau
- pembakar dari boiler bantu berbahan bakar minyak atau gas diatur sedemikian rupa sehingga mereka secara otomatis berhenti ketika pompa sirkulasi gagal dan panas yang tersimpan dalam boiler tidak menyebabkan penguapan air yang tersedia dalam boiler yang tidak dapat diterima .

7. Suplai air umpan, evaporator

7.1 Suplai air umpan harus disimpan dalam beberapa tangki.

7.2 Satu tangki penyimpanan dapat dianggap cukup untuk unit-unit boiler bantu.

7.3 Dua evaporator harus disediakan untuk unit-unit penghasil uap utama.

8. Resirkulasi kondensat

8.1 Kondensor utama harus dilengkapi dengan dua pompa kondensat, yang masing-masing dapat mentransfer volume maksimum kondensat yang dihasilkan.

8.2 Kondensat dari semua sistem pemanas yang digunakan untuk memanaskan minyak (bahan bakar, pelumas, minyak kargo, dan lain-lain) harus diarahkan ke tangki observasi kondensat. Tangki ini harus dilengkapi dengan ventilasi udara.

8.3 Kumparan pemanas tangki yang berisi bahan bakar atau minyak residu, misalnya tangki lumpur, tangki minyak bocor, tangki air bilga, dan lain-lain harus disediakan di outlet tangki dengan perangkat penyetop dan perangkat pengujian Lihat Bab 11.B.5.4

G. Sistem Bahan Bakar Minyak

1. Jalur Bunker

Pembunkeran bahan bakar harus dilakukan dengan menggunakan jalur yang dipasang secara permanen baik dari dek terbuka ataupun dari stasiun pengisian bahan bakar yang terletak di bawah dek yang harus diisolasi dari ruang lainnya.

Stasiun bunker harus diatur sedemikian rupa sehingga pembunkeran dapat dilakukan dari kedua sisi kapal tanpa bahaya. Persyaratan ini dianggap terpenuhi ketika jalur pembunkeran diperpanjang ke kedua sisi kapal. Jalur pembunkeran harus dilengkapi dengan flensa mati di dek.

2. Jalur pengisian dan hisap tangki

2.1 Jalur pengisian dan hisap dari tangki penyimpanan, pengendapan dan layanan yang terletak di atas dasar ganda dan dari yang dalam hal kerusakan bahan bakar minyak dapat bocor, harus dipasang langsung pada tangki dengan perangkat penyetop yang mampu ditutup dari posisi aman diluar ruang yang bersangkutan.

Dalam kasus tangki dalam (deep tank) terletak di poros atau pipa terowongan atau ruang-ruang yang serupa, perangkat penyetop harus dipasang pada tangki. Kontrol jika terjadi kebakaran dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat penyetop tambahan dalam pipa diluar terowongan atau ruang yang serupa. Jika perangkat penyetop tambahan seperti itu dipasang di ruang mesin, perangkat tersebut harus dapat dioperasikan dari posisi diluar ruang tersebut.

2.2 Perangkat penyetop pada tangki bahan bakar minyak yang memiliki kapasitas kurang dari 500 ℓ tidak perlu dilengkapi dengan kontrol jarak jauh.

2.3 Jalur pengisian harus diperpanjang ke bagian bawah tangki. Jalur pengisian pendek yang diarahkan ke sisi tangki dapat diterima.

Jalur isap tangki penyimpanan juga dapat digunakan sebagai jalur pengisian.

2.4 Katup pada tangki penyimpanan bahan bakar harus terus dijaga berada di dekat laut dan dapat dibuka hanya selama operasi transfer bahan bakar jika terletak dalam h atau w sebagaimana yang didefinisikan dalam MARPOL 73/78 Annex I 12A. Katup harus dikendalikan jarak jauh dari anjungan navigasi, posisi kontrol mesin penggerak atau ruang tertutup yang mudah diakses dari anjungan navigasi atau posisi kontrol mesin penggerak tanpa bepergian ke freeboard terbuka atau geladak bangunan atas.

2.5 Jika jalur pengisian diarahkan melalui atas tangki dan berakhir di bawah level minyak maksimum dalam tangki, sebuah katup tak kembali di atas tangki harus ditempatkan.

2.6 Koneksi inlet jalur hisap harus diatur cukup jauh dari saluran pengurasan di tangki sehingga air dan kotoran yang telah dibuang tidak dapat masuk ke penyedotan.

2.7 Untuk rilis perangkat penyetop yang dioperasikan dari jarak jauh, lihat Bab 12.B.10.

3. Tata letak pipa

3.1 Saluran bahan bakar tidak boleh melalui tangki yang berisi air umpan, air minum, minyak pelumas atau minyak termal.

3.2 Saluran bahan bakar yang melewati tangki Balas harus memiliki ketebalan dinding yang meningkat sesuai dengan Tabel 11.5.

3.3 Saluran bahan bakar harus tidak diletakkan langsung di atas atau di sekitar boiler, turbin atau peralatan dengan temperatur permukaan yang tinggi (lebih dari 220 °C) atau dijulur sumber pengapian lainnya.

3.4 Katup penyetop pada saluran bahan bakar di ruang mesin harus dapat dioperasikan dari atas pelat lantai.

3.5 Komponen kaca dan plastik tidak diizinkan dalam sistem bahan bakar. Kacamata pengamatan yang terbuat dari kaca yang terletak di pipa limpah vertikal dapat diizinkan.

3.6 Pompa bahan bakar harus mampu diisolasi dari sistem perpipaan dengan katup penyetop.

3.7 Untuk meter aliran bahan bakar, sebuah *by-pass* dengan katup penutup harus disediakan.

4. Pompa transfer bahan bakar, umpan dan penguat

4.1 Pompa transfer bahan bakar, umpan dan penguat harus dirancang untuk temperatur operasi yang diinginkan.

4.2 Sebuah pompa transfer bahan bakar harus tersedia. Pompa layanan lain dapat digunakan sebagai pompa siaga asalkan pompa tersebut cocok untuk tujuan ini.

4.3 Sekurang-kurangnya dua sarana transfer bahan bakar minyak harus disediakan untuk mengisi tangki layanan.

4.4 Jika pompa umpan atau penguat diperlukan untuk memasok bahan bakar ke mesin utama atau bantu, pompa siaga harus disediakan. Ketika pompa melekat pada mesin, pompa siaga dapat diganti dengan mesin bantu.

Unit suplai bahan bakar dari mesin diesel bantu harus dirancang sedemikian rupa sehingga mesin bantu menyala tanpa bantuan generator darurat dalam waktu 30 detik setelah mati total.

Catatan:

Untuk memenuhi persyaratan di atas misalnya langkah-langkah berikut mungkin dapat dilakukan:

- pompa layanan MDO yang digerakkan dengan udara
- Tangki gravitasi MDO
- Tangki penyangga sebelum setiap mesin diesel bantu

4.5 Pompa bahan bakar minyak yang dimaksud dalam G.4.4 wajib

- sesuai untuk bahan bakar laut dengan kandungan sulfur tidak melebihi 0,1% m/m dan viskositas minimum 2 cSt pada kapasitas yang diperlukan untuk operasi normal dari mesin penggerak atau
- ketika pompa bahan bakar minyak seperti dalam a) perlu dioperasikan secara paralel untuk mencapai kapasitas yang diperlukan untuk operasi normal mesin penggerak, satu pompa bahan

bakar minyak bantu harus disediakan. Pompa tambahan harus, ketika beroperasi secara paralel dengan salah satu pompa di a), sesuai untuk dan mampu menyalurkan bahan bakar laut dengan kandungan sulfur tidak melebihi 0,1% m/m dan viskositas minimum 2 cSt pada kapasitas yang diperlukan untuk operasi normal mesin penggerak.

Jika pompa bahan bakar minyak yang dimaksud dalam [G.4.4](#) tidak cocok untuk bahan bakar laut dengan kandungan sulfur yang tidak melebihi 0,1% m/m dan viskositas minimum 2 cSt pada kapasitas yang diperlukan untuk operasi normal dari mesin penggerak, dua pompa bahan bakar minyak yang terpisah harus disediakan, yang masing-masing mampu dan cocok untuk bahan bakar laut dengan kandungan sulfur tidak melebihi 0,1% m/m dan viskositas minimum 2 cSt pada kapasitas yang diperlukan untuk operasi normal dari mesin penggerak.

Catatan 1

Jika bahan bakar kelas distillat laut dengan kandungan sulfur maksimum yang berbeda ditentukan oleh peraturan untuk daerah operasi kapal (misalnya, ECA, port tertentu atau daerah setempat, dan lain-lain) maka nilai maksimal yang diterapkan.

Catatan 2

Kemampuan menyala otomatis pompa siaga diperlukan secara terpisah dari pengaturan pompa untuk kapal yang memiliki notasi kelas untuk ruang mesin tanpa pengawasan.

Catatan 3

Jika daya listrik diperlukan untuk pengoperasian mesin penggerak, persyaratan juga berlaku untuk mesin pembangkit listrik ketika mesin tersebut disuplai oleh pompa suplai bahan bakar umum.

4.6 Untuk perangkat penyetop darurat, lihat [Bab 12.B.9](#).

5. Perangkat dengan lebih dari satu mesin utama

Untuk perangkat dengan lebih dari satu mesin utama, pompa umpan cadangan atau penguat yang lengkap yang disimpan di atas kapal dapat diterima dibandingkan pompa siaga asalkan pompa umpan atau penguat diatur sedemikian rupa sehingga mereka bisa diganti dengan sarana yang tersedia di atas kapal.

Untuk perangkat dengan lebih dari satu mesin utama, lihat juga [Bab 2.G](#).

6. Perangkat penyetop

6.1 Di kapal kargo 500 GT keatas dan pada semua kapal penumpang untuk perangkat dengan lebih dari satu mesin, perangkat penyetop untuk mengisolasi jalur suplai bahan bakar dan produksi berlebih/resirkulasi untuk setiap mesin dari sistem suplai umum harus disediakan. Katup ini harus dapat dioperasikan dari posisi yang tidak dapat dimasuki oleh api pada salah satu mesin.

6.2 Dibanding perangkat penyetop jalur produksi berlebih/resirkulasi, katup pemeriksaan yang dapat dipasang. Jika perangkat penyetop dipasang, mereka harus terkunci dalam posisi operasi.

7. Filter

7.1 Filter bahan bakar minyak harus dipasang di jalur pengiriman pompa bahan bakar.

7.2 Untuk kapal dengan Kelas Notasi **OT**, peralatan filter harus memenuhi persyaratan [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\) Sec.2](#).

7.3 Ukuran kerapatan saringan dan kapasitas filter harus sesuai dengan persyaratan dari produsen mesin.

7.4 Suplai tak terputus dari bahan bakar yang telah disaring harus dipastikan selama pembersihan peralatan penyaringan. Dalam kasus filter penyiraman balik (*back-flushing*) otomatis, harus dipastikan bahwa kegagalan penyiraman balik (*back-flushing*) otomatis tidak akan menyebabkan kehilangan total filtrasi.

7.5 Interval penyiraman balik (*back-flushing*) dari filter penyiraman balik (*back-flushing*) otomatis yang tersedia untuk penyiraman balik (*back-flushing*) terputus-putus harus dipantau.

7.6 Filter bahan bakar minyak harus dilengkapi dengan pemantau tekanan diferensial. Pada mesin yang disiapkan untuk operasi dengan minyak gas saja, pemantauan tekanan diferensial dapat ditiadakan.

7.7 Mesin untuk operasi eksklusif generator darurat dan pompa pemadam kebakaran darurat dapat dilengkapi dengan filter simpleks.

7.8 Unit transfer bahan bakar harus dilengkapi dengan filter simpleks pada sisi hisap.

7.9 Untuk pengaturan filter, lihat [Bab 2.G.3](#)

8. Purifier

8.1 Produsen *purifier* untuk pembersihan bahan bakar dan minyak pelumas harus disetujui oleh BKI.

8.2 Ketika *purifier* bahan bakar sebagai pengecualian dapat digunakan untuk memurnikan minyak pelumas, suplai *purifier* dan jalur buang harus dilengkapi dengan pengaturan ubah-ganti yang mencegah kemungkinan bahan bakar dan minyak pelumas tercampur.

Peralatan yang sesuai juga harus disediakan untuk mencegah pencampuran seperti itu terjadi pada jalur kontrol dan kompresi.

8.3 Tangki lumpur *purifier* harus dilengkapi dengan alarm level yang menjamin bahwa level di tangki lumpur tidak dapat mengganggu pengoperasian *purifier*.

9. Peralatan Pembakar Minyak/Pengapian

Peralatan pembakar minyak/pengapian harus dipasang sesuai dengan [Bab 9](#). Pompa, jalur pipa dan alat kelengkapannya tunduk pada persyaratan berikut.

9.1 Boiler utama yang berbahan bakar minyak harus dilengkapi dengan Sekurang-kurangnya dua pompa layanan dan dua pemanas awal. Untuk filter, lihat 7. Pompa dan pemanas harus mempunyai nilai dan diatur sehingga peralatan berbahan bakar minyak tetap dapat beroperasi bahkan jika satu unit mengalami kegagalan. Hal ini juga berlaku untuk boiler bantu dan pemanas minyak termal berbahan bakar minyak kecuali sarana lain disediakan untuk mempertahankan operasi terus-menerus di laut bahkan jika satu unit mengalami kegagalan.

9.2 Rakitan selang untuk koneksi pembakar dapat digunakan. Rakitan selang tidak boleh lebih panjang dari yang dibutuhkan untuk memperbaiki pembakar untuk tujuan pemeliharaan rutin. Hanya rakitan selang dari produsen rakitan selang yang disetujui yang dapat digunakan.

10. Tangki layanan

10.1 Pada kapal kargo 500 GT keatas dan semua kapal penumpang, dua tangki layanan bahan bakar minyak untuk setiap jenis bahan bakar yang digunakan di kapal yang diperlukan untuk propulsi dan sistem penting harus disediakan. Pengaturan yang setara dapat diizinkan.

10.2 Setiap tangki layanan harus memiliki kapasitas minimal 8 jam pada nilai kontinyu maksimum perangkat propulsi dan beban operasi normal perangkat pembangkit.

11. Operasi menggunakan bahan bakar minyak berat

11.1 Pemanasan bahan bakar minyak

11.1.1 Tangki bahan bakar minyak berat harus dilengkapi dengan sistem pemanas.

Kapasitas sistem pemanas tangki harus sesuai dengan persyaratan operasi dan kualitas bahan bakar minyak yang dimaksudkan untuk digunakan.

Dengan persetujuan BKI, tangki penyimpanan tidak perlu dilengkapi dengan sistem pemanas asalkan dapat dijamin bahwa kualitas bahan bakar minyak yang diusulkan dapat dipompa pada semua kondisi ambien dan lingkungan.

Untuk sistem pemanas tangki, lihat [Bab 10.B.5](#).

11.1.2 Pelacakan panas harus diatur untuk pompa, filter dan saluran bahan bakar minyak sebagaimana diperlukan.

11.1.3 Jika perlu untuk melakukan pemanasan awal katup injeksi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar minyak, injeksi sistem pendingin katup injeksi harus dilengkapi dengan sarana pemanasan tambahan.

11.2 Pengolahan bahan bakar minyak berat

11.2.1 Tangki Pengendapan

Tangki pengendapan bahan bakar berat atau pengaturan yang setara dengan sistem pemanas yang mempunyai dimensi yang cukup harus disediakan.

Tangki pengendapan harus disediakan dengan saluran pengurasan, pengaturan pengosongan dan dengan instrumen alat ukur temperatur.

11.2.2 Pembersihan bahan bakar minyak berat untuk mesin diesel

Untuk membersihkan bahan bakar berat, purifier atau pembersih dikombinasikan dengan filter otomatis harus disediakan.

11.2.3 Peralatan pencampur dan pengumulsi bahan bakar minyak

Peralatan pencampur dan pengemulsi bahan bakar minyak berat/diesel memerlukan persetujuan dari BKI.

11.3 Tangki layanan

11.3.1 Untuk pengaturan dan peralatan tangki layanan, lihat [Bab 10.B](#).

11.3.2 Kapasitas tangki layanan harus sedemikian rupa sehingga ketika instalasi pengolahan gagal, suplai untuk semua konsumen yang terhubung dapat dipertahankan selama minimal 8 jam.

11.3.3 Jika pipa limpah dari tangki layanan berujung di tangki pengendapan, sarana yang cocok harus disediakan untuk memastikan bahwa tidak ada bahan bakar minyak yang tidak diolah yang bisa menembus ke dalam tangki layanan harian dalam kasus pengisian berlebih dari tangki pengendapan.

11.3.4 Tangki layanan harian harus dilengkapi dengan saluran pengurusan dan dengan pengaturan pembuangan.

11.4 Pengaturan ubah-ganti minyak diesel/minyak berat

11.4.1 Pengaturan ubah-ganti suplai bahan bakar dan jalur kembali harus sedemikian rupa sehingga kegagalan pengalihan dapat dikesampingkan dan untuk memastikan pemisahan yan handal dari bahan bakar.

Katup-ubah ganti yang memungkinkan posisi menengah tidak diizinkan.

11.4.2 Perangkat ubah-ganti harus mudah diakses dan ditandai secara permanen. Posisi kerja mereka harus jelas ditunjukkan.

11.4.3 Perangkat ubah-ganti yang dikendalikan jarak jauh harus dilengkapi dengan indikator posisi batas di platform kontrol.

11.5 Suplai bahan bakar melalui pipa tegak

11.5.1 Jika kapasitas pipa tegak melebihi 500 l, pipa outlet harus dilengkapi dengan katup penutupan cepat kendali jarak jauh yang dioperasikan dari luar ruang mesin. Pipa tegak harus dilengkapi dengan ventilasi udara/gas dan dengan koneksi menutup sendiri untuk pengosongan dan pengurusan. Pipa tegak harus dilengkapi dengan indikator temperatur lokal.

11.5.2 Atmosfir pipa tegak (tanpa tekanan)

Dengan memperhatikan penataan dan level bahan bakar maksimal dalam tangki layanan, pipa tegak harus diletakkan dan diatur sedemikian rupa sehingga terdapat cukup ruang yang tersedia untuk pembersihan gas (degasification) di dalam pipa-pipa tegak tersebut.

11.5.3 Pipa tegak tertutup (sistem bertekanan)

Pipa tegak tertutup harus dirancang sebagai bejana tekan dan harus dilengkapi dengan peralatan sebagai berikut:

- katup tak kembali di jalur sirkulasi dari mesin
- sebuah degaser otomatis atau monitor selimut gas dengan degaser manual
- alat ukur lokal untuk tekanan operasi
- indikator temperatur lokal
- perangkat pengurusan/pengosongan, harus dikunci dalam posisi tertutup

11.5.4 Unit penguat bahan bakar

Unit penguat harus dilindungi terhadap puncak tekanan, misalnya dengan menggunakan peredam yang memadai.

11.6 Pemanas awal (*preheater*) akhir

11.6.1 Dua *preheater* akhir yang saling independen harus disediakan.

Pengaturan hanya dengan satu *preheater* dapat disetujui jika dapat dipastikan bahwa operasi dengan bahan bakar minyak yang tidak memerlukan pemanasan awal dapat dipertahankan sementara.

11.6.2 Sebuah *by-pass* dengan katup penutup harus disediakan.

11.7 Kontrol viskositas

11.7.1 Jika mesin utama dan bantu dioperasikan dengan minyak bahan bakar berat, kontrol viskositas otomatis harus diberikan.

11.7.2 Regulator viskositas harus dilengkapi dengan indikator temperatur lokal.

11.7.3 Perangkat kontrol lokal

Berikut perangkat kontrol lokal yang harus dipasang langsung pada mesin

- pengukur tekanan operasi
- indikator untuk temperatur operasi

11.8 Sistem bahan bakar minyak berat harus secara efektif terisolasi sebagaimana diperlukan.

H. Sistem Minyak Pelumas

1. Persyaratan Umum

1.1 Sistem minyak Pelumas harus dikonstruksi sedemikian rupa untuk memastikan pelumasan yang handal pada seluruh rentang kecepatan dan selama kerusakan (*run down*) mesin dan untuk memastikan perpindahan panas yang memadai.

1.2 Pompa pancing (*priming*)

Jika diperlukan, pompa pancing harus disediakan untuk memasok minyak pelumas ke mesin.

1.3 Pelumasan darurat

Suplai minyak pelumas darurat yang sesuai (misalnya tangki gravitasi) harus diatur untuk mesin yang dapat rusak dalam kasus gangguan suplai minyak pelumas.

1.4 Pengolahan minyak pelumas

1.4.1 Peralatan yang diperlukan untuk pengolahan yang memadai dari minyak pelumas harus disediakan (purifier, filter *back-flush* otomatis, filter, sentrifugal tanpa jet).

1.4.2 Dalam kasus mesin bantu yang beroperasi dengan menggunakan bahan bakar minyak berat yang dipasok dari tangki minyak pelumas umum, peralatan yang sesuai harus dipasang untuk memastikan bahwa dalam kasus kegagalan sistem pengolahan minyak pelumas umum atau masuknya bahan bakar atau air pendingin ke dalam sirkuit minyak pelumas, mesin bantu yang diperlukan untuk menjaga suplai listrik sesuai dengan [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol. IV\), Sec. 3](#) tetap beroperasi secara penuh.

2. Sistem minyak pelumas

2.1 Tangki gravitasi minyak pelumas

2.1.1 Untuk kapasitas dan lokasi lihat [Bab 10.C](#).

2.1.2 Untuk kapal dimana dasar ganda diperlukan, jarak minimum antara kulit dan tangki sirkulasi harus tidak kurang dari 500 mm.

2.1.3 Koneksi hisap pompa minyak pelumas harus berada sejauh mungkin dari pipa pengurasan.

2.1.4 Jika pompa sumur dalam digunakan untuk pelumasan mesin utama, pompa tersebut harus dilindungi dari getaran dengan menggunakan pendukung yang sesuai.

2.1.5 Tangki gravitasi harus dilengkapi dengan pipa limpah yang mengarah ke tangki sirkulasi. Pengaturan harus dibuat untuk mengamati aliran minyak berlebih di pipa limpah.

2.2 Jalur pengisian dan pengisapan

2.2.1 Jalur pengisian dan pengisapan tangki minyak pelumas dengan kapasitas 500 l atau lebih yang terletak di atas dasar ganda dan yang darimana dalam hal kerusakannya, minyak pelumas dapat bocor, harus dipasang langsung pada tangki dengan perangkat penyetop menurut [G.2.1](#).

Operasi jarak jauh katup penyetop sesuai [G.2.1](#) dapat ditiadakan:

- katup yang selalu ditutup selama operasi normal.
- dimana operasi yang tidak diinginkan dari katup penutup cepat akan membahayakan keselamatan operasi perangkat propulsi utama atau mesin bantu penting.

2.2.2 Jika jalur minyak pelumas harus mengarah ke sekitar permesinan yang panas, misalnya turbin uap pemanasan lanjut, pipa baja harus mempunyai panjang utuh dan yang dilindungi sebagaimana diperlukan, harus digunakan.

2.2.3 Untuk pengaturan penyekatan pipa minyak pelumas [G.3.4](#) berlaku dengan sesuai.

2.3 Filter

2.3.1 Filter minyak pelumas harus dipasang di jalur pengiriman pompa minyak pelumas.

2.3.2 Ukuran mesh dan kapasitas filter harus sesuai dengan persyaratan dari produsen mesin.

2.3.3 Suplai tak terputus dari minyak pelumas yang telah disaring harus dipastikan dalam kondisi pembersihan peralatan filter.

Dalam kasus filter penyiraman balik (*back-flushing*) otomatis, harus dipastikan bahwa kegagalan penyiraman balik (*back-flushing*) otomatis tidak dapat menyebabkan kehilangan total filtrasi.

2.3.4 Interval penyiraman balik dari penyiraman balik otomatis yang disediakan untuk penyiraman balik terputus-putus intermitten harus dipantau.

2.3.5 Filter utama minyak pelumas harus dilengkapi dengan pemantau tekanan diferensial. Pada mesin yang disiapkan untuk operasi dengan minyak gas saja, pemantau tekanan diferensial dapat ditiadakan.

2.3.6 Mesin untuk operasi eksklusif dari generator darurat dan pompa kebakaran darurat dapat dilengkapi dengan filter simpleks.

2.3.7 Untuk perlindungan pompa minyak pelumas, filter simpleks dapat dipasang pada sisi hisap pompa jika mereka memiliki ukuran mesh minimal 100 μ .

2.3.8 Untuk pengaturan filter, lihat [Bab 2.G.3](#).

2.4 Pendingin minyak pelumas

Disarankan turbin dan perangkat mesin besar dilengkapi dengan lebih dari satu pendingin minyak.

2.5 Indikator tinggi permukaan minyak

Mesin dengan pengisi minyak sendiri harus dilengkapi dengan sarana untuk menentukan level minyak dari luar selama operasi. Persyaratan ini juga berlaku untuk roda gigi reduksi, bantalan tekan dan bantalan poros.

2.6 Purifier

Persyaratan dalam [G.8](#). berlaku juga.

3. Pompa minyak pelumas

3.1 Mesin utama

3.1.1 Pompa siaga utama dan independen harus diatur.

Pompa utama yang digerakkan oleh mesin utama harus didesain sehingga suplai minyak pelumas dapat dipastikan pada seluruh rentang operasi.

3.1.2 Untuk perangkat dengan lebih dari satu mesin utama lihat [Bab 2.G.4.2.3](#).

3.2 Perangkat turbin utama

3.2.1 Pompa minyak pelumas siaga dan utama independen harus disediakan.

3.2.2 Pelumasan darurat

Suplai minyak pelumas ke perangkat turbin utama untuk pendinginan bantalan selama periode berhenti (*run-down*) harus dapat dipastikan dalam hal terjadi kegagalan catu daya. Dengan cara pengaturan yang sesuai seperti tangki gravitasi, suplai minyak juga harus dapat dipastikan selama penyalaan sistem pelumasan darurat.

3.3 Gigi reduksi utama (kapal motor)

3.3.1 Minyak pelumas harus dipasok oleh pompa utama dan pompa siaga independen.

3.3.2 Jika gigi reduksi telah disetujui oleh BKI bahwa memiliki pelumasan sendiri yang cukup pada 75% dari torsi mesin penggerak, pompa minyak pelumas siaga untuk gigi reduksi dapat dihilangkan sampai dengan rasio daya-kecepatan

$$P/n_1 \text{ [kW/min}^{-1}\text{]} \leq 3,0$$

$$n_1 \text{ [min}^{-1}\text{]} = \text{revolusi input roda gigi}$$

3.3.3 Persyaratan dalam [3.1.2](#) harus diterapkan secara analog untuk perangkat multi-propeller dan perangkat dengan lebih dari satu mesin.

3.4 Mesin bantu

3.4.1 Generator diesel

Jika lebih dari satu generator diesel yang tersedia, pompa siaga tidak diperlukan.

Jika hanya satu generator diesel yang tersedia (misalnya pada kapal yang digerakkan dengan turbin dimana generator diesel dibutuhkan untuk operasi awal) pompa cadangan lengkap harus dibawa diatas kapal

3.4.2 Turbin bantu

Generator turbo dan turbin yang digunakan untuk menggerakkan perangkat bantu penting seperti pompa air umpan boiler, dan lain-lain harus dilengkapi dengan pompa utama dan pompa bantu independen. Pompa bantu harus dirancang untuk memastikan kecukupan suplai minyak pelumas selama operasi awal dan *run-down*.

I. Sistem Pendingin Air Laut

1. Penyedotan laut, kotak laut

1.1 Sekurang-kurangnya dua kotak laut harus disediakan. Jika memungkinkan, kotak laut harus diatur serendah mungkin di kedua sisi kapal.

1.2 Untuk layanan di perairan dangkal, direkomendasikan bahwa intake air laut tinggi tambahan disediakan.

1.3 Harus dipastikan bahwa total suplai air laut untuk mesin dapat diambil hanya dari satu kotak laut.

1.4 Setiap kotak laut harus dilengkapi dengan ventilasi yang efektif. Pengaturan ventilasi berikut akan disetujui:

- pipa udara minimal ID 32 mm yang dapat ditutup dan yang membentang di atas sekat dek
- lubang ventilasi dengan dimensi yang memadai di pelat kulit.

1.5 Koneksi uap atau udara terkompresi harus disediakan untuk membersihkan kisi-kisi kotak laut. Jalur uap atau udara terkompresi harus dilengkapi dengan katup penyetop yang dipasang langsung di kotak laut. Udara terkompresi untuk meniup melalui kisi-kisi kotak laut dapat melebihi 2 bar hanya jika kotak laut dibuat untuk tekanan yang lebih tinggi.

1.6 Jika kotak laut secara eksklusif diatur sebagai pendingin kotak, jalur uap atau udara terkompresi untuk membersihkan sesuai [1.5](#) dapat, dengan perjanjian BKI ini, untuk ditiadakan.

2. Peraturan khusus untuk kapal dengan kelas es

2.1 Untuk salah satu kotak laut yang ditentukan dalam [1.1](#), inlet laut harus berada sedekat mungkin ke midship dan sejauh mungkin ke belakang. Jalur buang air laut dari seluruh perangkat mesin harus dihubungkan ke bagian atas kotak laut.

2.1.1 Untuk kapal dengan kelas es **ES1** sampai **ES4**, kotak laut harus diatur sebagai berikut:

- Dalam menghitung volume kotak laut nilai berikut harus diterapkan sebagai panduan:
- Sekitar 1 m³ untuk setiap 750 kW output mesin kapal termasuk output dari mesin bantu.
- Kotak laut harus cukup tinggi untuk memungkinkan es menumpuk di atas pipa inlet.
- Daerah bebas dari lubang strum tidak kurang dari empat kali luas penampang pipa masuk air laut.

2.1.2 Sebagai alternatif, dua kotak laut yang lebih kecil dari desain seperti yang ditentukan dalam [2.1.1](#) dapat diatur.

2.1.3 Semua katup pembuangan harus diatur sedemikian rupa sehingga pembuangan air pada setiap sarat tidak akan terhalang oleh es.

2.2 Jika diperlukan, koneksi uap atau kumparan pemanas harus diatur untuk penghancuran es (de-icing) dan pencairan kotak laut.

2.3 Selain itu, suplai air pendingin ke perangkat mesin dapat diatur dari tangki Balas dengan pendingin sirkulasi.

Sistem ini tidak menggantikan persyaratan yang dinyatakan dalam [2.1.1](#).

2.4 Untuk pompa kebakaran, lihat [Bab 12.E.1.3.6](#).

3. Katup laut

3.1 Katup laut harus tersusun sedemikian rupa sehingga dapat dioperasikan dari atas pelat lantai.

3.2 Pipa pembuangan untuk sistem pendinginan air laut harus dilengkapi dengan katup penyetop di kulit.

4. Saringan

Jalur hisap dari pompa air laut harus dilengkapi dengan saringan.

Saringan harus sedemikian rupa sehingga mereka dapat dibersihkan selama pelayanan.

Jika air pendingin dipasok melalui corong hisap, saringan di jalur pendinginan air laut utama dapat diambil.

5. Pompa pendingin air laut

5.1 Perangkat mesin diesel

5.1.1 Perangkat propulsi utama harus dilengkapi dengan pompa air pendingin utama dan siaga.

5.1.2 Pompa air pendingin utama dapat melekat pada perangkat propulsi. Harus dipastikan bahwa pompa yang terpasang mempunyai kapasitas yang cukup untuk air pendingin yang diperlukan oleh mesin utama dan peralatan bantu pada seluruh rentang kecepatan dari perangkat propulsi.

Penggerak pompa air pendingin siaga harus independen dari mesin utama.

5.1.3 Pompa air pendingin utama dan siaga masing-masing harus mempunyai kapasitas yang cukup untuk memenuhi persyaratan air pendingin maksimum dari perangkat.

Atau, tiga pompa air pendingin dengan kapasitas dan tinggi tekan yang sama dapat ditempatkan, asalkan dua pompa sudah cukup untuk memasok air pendingin yang diperlukan untuk operasi beban penuh dari perangkat.

Dengan pengaturan ini, diperbolehkan untuk pompa kedua dibuat beroperasi secara otomatis hanya pada rentang temperatur yang lebih tinggi dengan menggunakan sebuah termostat.

5.1.4 Pompa Balas atau pompa air laut lainnya yang sesuai dapat digunakan sebagai pompa air pendingin siaga.

5.1.5 Jika air pendingin dipasok melalui corong hisap, pompa air pendingin siaga dan utama harus mempunyai kapasitas yang akan menjamin operasi yang handal dari perangkat pada kondisi beban parsial dan operasi mundur yang diperlukan dalam [Bab 2.E.5.1.1e](#)). Pompa air pendingin utama harus secara

otomatis dinyalakan segera setelah kecepatan turun di bawah yang diperlukan untuk pengoperasian corong hisap.

5.2 Perangkat turbin uap

5.2.1 Perangkat turbin uap harus dilengkapi dengan pompa air pendingin utama dan siaga.

Pompa air pendingin utama harus mempunyai kapasitas yang cukup untuk memasok kebutuhan air pendingin maksimum dari perangkat turbin. Kapasitas pompa air pendingin siaga harus sedemikian untuk memastikan operasi yang handal dari perangkat dan juga selama operasi mundur.

5.2.2 Jika air pendingin dipasok melalui corong hisap, pompa air pendingin utama harus mempunyai kapasitas yang cukup untuk kebutuhan air pendingin dari pembangkit turbin pada kondisi output mundur maksimal.

Pompa air pendingin utama harus menyala secara otomatis segera setelah kecepatan turun di bawah yang diperlukan untuk pengoperasian corong hisap.

5.3 Perangkat dengan lebih dari satu mesin utama

Untuk perangkat dengan lebih dari satu mesin dan dengan sistem air pendingin terpisah, pompa cadangan lengkap yang tersimpan di atas kapal dapat diterima dibanding pompa siaga asalkan pompa pendingin air laut utama diatur sedemikian rupa sehingga mereka dapat diganti dengan menggunakan sarana yang tersedia di atas kapal.

5.4 Suplai air pendingin untuk mesin bantu

Jika pompa air pendingin umum disediakan untuk melayani lebih dari satu mesin bantu, pompa air pendingin siaga independen dengan kapasitas yang sama harus dipasang. Pompa air pendingin yang dioperasikan secara independen dari perangkat mesin utama dapat digunakan untuk memasok air pendingin untuk mesin bantu saat berada di laut, asalkan kapasitas pompa tersebut cukup untuk memenuhi kebutuhan air pendingin tambahan.

Jika masing-masing mesin bantu dilengkapi dengan pompa air pendingin yang telah terpasang, pompa air pendingin siaga tidak perlu disiapkan.

6. Suplai air pendingin di dok kolam

Disarankan agar suplai air pendingin, misalnya dari tangki air Balas air, harus tersedia sehingga Sekurang-kurangnya satu generator diesel dan, jika perlu, perangkat pendingin domestik dapat beroperasi ketika kapal berada di dok kolam.

Sistem pendingin kargo dan kontainer harus sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam [Rules for Refrigerating Installations \(Pt.1, Vol.VIII\), Sec. I, 1.4](#).

K. Sistem Pendingin Air Tawar

1. Umum

1.1 Sistem pendingin air tawar harus diatur sedemikian rupa sehingga mesin dapat cukup didinginkan pada semua kondisi operasi.

1.2 Tergantung pada persyaratan dari perangkat mesin, sistem pendingin air tawar berikut diperbolehkan:

- sirkuit pendinginan tunggal untuk seluruh perangkat
- sirkuit pendingin terpisah untuk perangkat utama dan bantu
- beberapa sirkuit pendingin independen untuk komponen mesin utama yang perlu pendinginan (misalnya silinder, piston dan katup bahan bakar) dan untuk mesin bantu
- sirkuit pendingin terpisah untuk berbagai rentang temperatur

1.3 Sirkuit pendingin harus dibagi sedemikian rupa sehingga ketika salah satu bagian dari sistem gagal, operasi sistem bantu dapat dipertahankan.

Pengaturan ubah-ganti harus disediakan untuk tujuan ini jika diperlukan.

1.4 Sejauh mungkin, kontrol temperatur mesin utama dan bantu serta sirkuit yang berbeda harus independen satu sama lain.

1.5 Jika, pada perangkat mesin otomatis, penukar panas untuk bahan bakar atau minyak pelumas yang tergabung dalam sirkuit air pendingin silinder dari mesin utama, seluruh sistem air pendingin harus dipantau dari kebocoran bahan bakar dan minyak.

1.6 Sistem air pendingin mesin umum untuk perangkat utama dan bantu harus dilengkapi dengan katup penyetop untuk memungkinkan perbaikan dapat dilakukan tanpa membuat seluruh perangkat tidak dapat melayanani.

2. Penukar panas, pendingin

2.1 Konstruksi dan peralatan penukar panas dan pendingin tunduk pada persyaratan Bab 8.

2.2 Pendingin dari sistem pendingin air, mesin dan peralatannya harus dirancang sedemikian rupa untuk memastikan bahwa temperatur air pendingin yang ditentukan dapat dipertahankan pada semua kondisi operasi. Temperatur air pendingin harus disesuaikan untuk memenuhi persyaratan dari mesin dan peralatan.

2.3 Penukar panas untuk peralatan bantu di sirkuit air pendingin utama harus dilengkapi dengan *by-pass* jika dalam hal terjadi kegagalan dari penukar panas memungkinkan dengan sarana ini untuk menjaga sistem tanpa beroperasi.

2.4 Harus dipastikan bahwa mesin bantu dapat dipertahankan tetap beroperasi saat pendingin utama diperbaiki. Jika perlu, sarana harus disediakan untuk mengubah ke penukar panas, mesin atau peralatan lainnya sehingga perpindahan panas sementara dapat dicapai.

2.5 Katup penyetop harus disediakan di inlet dan outlet dari semua penukar panas.

2.6 Setiap penukar panas dan pendingin harus dilengkapi dengan ventilasi dan saluran pembuangan.

2.7 Pendingin lunas, kotak pendingin

2.7.1 Pengaturan dan gambar konstruksi dari pendingin lunas dan kotak harus diserahkan untuk disetujui.

2.7.2 Ventilasi permanen untuk air tawar harus disediakan di bagian atas pendingin lunas dan kotak pendingin.

2.7.3 Pendingin lunas harus dilengkapi dengan koneksi pengukur tekanan pada inlet dan outlet air tawar.

3. Tangki ekspansi

3.1 Tangki ekspansi harus diatur pada ketinggian yang cukup untuk setiap sirkuit air pendingin.

Sirkuit pendinginan yang berbeda hanya dapat terhubung ke tangki ekspansi umum jika mereka tidak saling mengganggu. Kehati-hati harus diambil untuk memastikan bahwa kerusakan atau kesalahan dalam satu sistem tidak akan mempengaruhi sistem lainnya.

3.2 Tangki ekspansi harus dilengkapi dengan koneksi pengisian, perangkat aerasi/de-aerasi, indikator level air dan saluran pengurasan.

4. Pompa pendingin air tawar

4.1 Pompa air pendingin utama dan siaga harus disediakan untuk setiap sistem pendingin air tawar.

4.2 Pompa air pendingin utama dapat digerakkan langsung dengan mesin utama atau bantu yang mereka maksudkan untuk dinginkan asalkan suplai air pendingin yang cukup terjamin pada semua kondisi operasi.

4.3 Penggerak pompa air pendingin siaga harus independen dari mesin utama.

4.4 Pompa air pendingin siaga harus memiliki kapasitas yang sama sebagai pendingin pompa air utama.

4.5 Mesin utama harus dilengkapi dengan Sekurang-kurangnya satu pompa pendingin air utama dan satu siaga. Dimana menurut konstruksi mesin dengan lebih dari satu sirkuit air pendingin yang diperlukan, pompa siaga harus dipasang untuk setiap pompa air pendingin utama.

4.6 Untuk pompa pendingin air tawar dari mesin bantu yang penting, persyaratan untuk pompa pendingin air laut di I.5.4 dapat diterapkan.

4.7 Sebuah pompa air pendingin siaga dari sistem air pendingin dapat digunakan sebagai pompa siaga untuk sistem lain asalkan koneksi pipa yang diperlukan diatur. Katup penyetop pada koneksi ini harus diamankan terhadap operasi yang tidak diinginkan.

4.8 Peralatan yang memberikan pendinginan darurat dari sistem lain dapat disetujui jika perangkat dan sistem sesuai untuk tujuan ini.

4.9 Untuk perangkat dengan lebih dari satu mesin utama, persyaratan untuk pompa pendingin air laut di I.5.3 dapat diterapkan.

5. Pengatur temperatur

Sirkuit air Pendingin harus dilengkapi dengan kontrol temperatur sesuai dengan persyaratan. Perangkat kontrol yang kegalannya dapat mengganggu keandalan fungsional mesin harus dilengkapi dengan operasi manual.

6. Pemanasan awal air pendingin

Sarana harus disediakan untuk pemanasan pendinginan air tawar. Pengecualian harus disetujui oleh BKI.

7. Unit pembangkit darurat

Motor bakar dalam yang menggerakkan unit pembangkit darurat harus dilengkapi dengan sistem pendingin tersendiri. Sistem pendingin tersebut harus dibuat tahan terhadap pembekuan.

8. Suplai air pendingin untuk perangkat propulsi elektrik utama

Untuk suplai air pendingin untuk konverter dari sistem propulsi elektrik utama, [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 13](#) harus dipatuhi.

L. Jalur Udara Terkompresi

1. Umum

1.1 Jalur tekanan yang terhubung ke kompresor udara harus dilengkapi dengan katup tak kembali di outlet kompresor.

1.2 Untuk pemisah minyak dan air, lihat [Bab 2.M.4.3](#).

1.3 Jalur udara awal tidak dapat digunakan sebagai jalur pengisian untuk penerima udara.

1.4 Hanya rakitan selang yang telah diuji tipe yang terbuat dari material logam yang dapat digunakan pada jalur udara awal dari mesin diesel yang permanen berada di bawah tekanan.

1.5 Jalur udara awal setiap mesin harus dilengkapi dengan katup tak kembali dan saluran pengurasan.

1.6 Tyfon harus terhubung ke Sekurang-kurangnya dua penerima udara terkompresi.

1.7 Sebuah katup pengaman harus dipasang di belakang setiap katup penurun tekanan.

1.8 Tangki air tekanan dan tangki lain yang terhubung ke sistem udara terkompresi harus dianggap sebagai bejana tekan dan harus memenuhi persyaratan dalam [Bab 8](#) untuk tekanan kerja sistem udara terkompresi.

1.9 Untuk koneksi udara terkompresi untuk meniup melalui kotak laut, merujuk ke [I.1.5](#).

1.10 Untuk suplai udara terkompresi ke katup yang dioperasikan secara pneumatik dan katup penutupan cepat, rujuk ke D.6.

1.11 Persyaratan untuk penyalaan mesin dengan udara terkompresi, lihat [Bab 2.H.2](#).

1.12 Untuk sirip-sirip api mesin yang dioperasikan dengan udara ruang terkompresi, [D.6.5](#) harus digunakan secara analog. Penutup api dapat menutup secara otomatis, jika mereka dipasok dengan pipa udara terkompresi terpisah.

2. Sistem kontrol udara

2.1 Sistem kontrol udara untuk konsumen penting harus disediakan dengan sarana yang diperlukan untuk pengolahan udara.

2.2 Katup pengurang tekanan dalam sistem kontrol udara dari mesin utama harus dari jenis redundan (bertingkat).

M. Jalur Gas Buang

1. Tata letak pipa

1.1 Pipa gas buang mesin harus dipasang secara terpisah satu sama lain, dengan mempertimbangkan perlindungan kebakaran struktural. Desain lain harus diajukan untuk disetujui. Hal yang sama berlaku untuk pipa gas buang boiler.

1.2 Pertimbangan harus diambil mengenai ekspansi termal ketika meletakkan dan menangguhkan jalur.

1.3 Jika jalur pembuangan gas buang berada didekat level air, ketentuan harus dibuat untuk mencegah air masuk ke mesin.

1.4 Bukaan pipa-pipa gas buang dari mesin diesel generator darurat harus memiliki ketinggian di atas dek yang memuaskan untuk memenuhi persyaratan dari LLC 1966 sebagaimana diubah tahun 1988, Reg. 19 (3).

2. Peredam

Pipa gas buang mesin harus dilengkapi dengan peredam suara yang efektif atau cara lain yang sesuai harus disediakan.

3. Pengurasan air

Jalur gas buang dan peredam harus dilengkapi dengan pengurasan air yang sesuai dengan ukuran yang memadai.

4. Isolasi

Untuk isolasi jalur gas buang di dalam ruang mesin, lihat [Bab 12.B.4.1](#).

5. Untuk persyaratan khusus untuk kapal tangki, rujuk ke [Bab 15.B.9.3](#).

Jalur gas buang mesin sebagai tambahan dikenakan [Bab 2.G.7](#).

Untuk persyaratan khusus untuk sistem pembersihan gas buang, lihat [Bab 2.N](#).

N. Sistem Bilga

1. Jalur Bilga

1.1 Tata letak jalur bilga

1.1.1 Jalur bilga dan penyedotan bilga harus diatur sedemikian rupa sehingga bilga dapat benar-benar terkuras bahkan pada kondisi trim yang tidak menguntungkan.

1.1.2 Penyedotan bilga biasanya harus terletak di kedua sisi kapal. Untuk kompartemen yang terletak di depan dan belakang di kapal, satu bilga hisap dapat dianggap cukup asalkan mampu benar-benar menguras kompartemen yang relevan.

1.1.3 Ruang yang terletak di depan sekat tubrukan dan belakang dari sekat tabung buritan dan tidak terhubung ke sistem bilga umum harus dikeringkan dengan cara lain yang sesuai dengan kapasitas yang memadai.

1.1.4 Ketebalan pipa yang diperlukan jalur bilga harus sesuai dengan [Tabel 11.5](#).

1.2 Pipa yang diletakkan melalui tangki

1.2.1 Pipa bilga tidak dapat diarahkan melalui tangki untuk minyak pelumas, minyak termal, dan air minum atau air umpan.

1.2.2 Pipa bilga dari ruang yang tidak dapat diakses selama pelayaran jika diletakkan melalui tangki bahan bakar yang terletak di atas dasar ganda harus dilengkapi dengan sebuah katup tak kembali langsung di titik masuk ke dalam tangki.

1.3 Penyedotan bilga dan strum

1.3.1 Penyedotan bilga harus ditata sedemikian rupa sehingga tidak menghambat pembersihan bilga dan sumur bilga. Mereka harus dilengkapi dengan strum mudah dilepas, tahan korosi.

1.3.2 Penyedotan bilga darurat harus diatur sedemikian rupa sehingga mereka dapat diakses, dengan aliran bebas dan pada jarak yang sesuai dari tangki atas atau bawah kapal.

1.3.3 Untuk ukuran dan desain sumur bilga lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#), Sec.8.B.5.3

1.3.4 Alarm bilga ruang mesin utama dan bantu, lihat [Bab 1.E.5](#). dan [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#), [Sec.6.H](#).

1.4 Katup Bilga

1.4.1 Katup dalam pipa penghubung antara bilga dan sistem air laut dan air Balas, serta antara koneksi bilga dari kompartemen yang berbeda, harus sedemikian rupa sehingga dalam hal kegagalan operasi atau posisi antara katup-katup, penetrasi air laut melalui sistem bilga akan aman dicegah.

1.4.2 Pipa pembuangan bilga harus dilengkapi dengan katup penyetop di kulit kapal.

1.4.3 Katup bilga harus diatur sedemikian agar selalu dapat diakses terlepas dari kondisi Balas dan pemuatan kapal.

1.5 Perlindungan aliran balik

1.5.1 Sebuah katup ulir bawah searah atau kombinasi katup searah tanpa sarana positif untuk penutupan dan katup penyetop dapat diakui sebagai perlindungan aliran balik.

1.6 Tata letak pipa

1.6.1 Untuk mencegah masuknya air Balas dan laut ke kapal melalui sistem bilga, dua sarana perlindungan aliran balik harus dipasang pada koneksi bilga.

Salah satu sarana perlindungan tersebut harus dipasang di setiap jalur hisap.

1.6.2 Penyedotan bilga langsung dan hisap darurat hanya perlu satu sarana perlindungan aliran balik seperti yang ditentukan dalam [1.5.1](#).

1.6.3 Ketika koneksi air laut langsung diatur untuk pompa bilga yang melekat untuk melindungi mereka dari beroperasi kering, penyedotan bilga juga harus dilengkapi dengan dua perangkat perlindungan aliran balik.

1.6.4 Jalur pembuangan dari pemisah air berminyak harus dilengkapi dengan sebuah katup perlindungan arus balik di sisi kapal.

2. Perhitungan diameter pipa

2.1 Nilai-nilai yang dihitung menurut rumus-rumus (4) sampai (6) harus dibulatkan ke diameter nominal yang lebih tinggi berikutnya.

2.2 Kapal kargo kering dan penumpang

- Pipa bilga utama

$$d_H = 1,68\sqrt{(B+H)\cdot L} + 25 \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

- Pipa bilga cabang

$$d_z = 2,15\sqrt{(B+H)\cdot \ell} + 25 \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

- d_H = diameter dalam yang dihitung dari pipa bilga utama [mm]
 d_z = diameter dalam yang dihitung dari pipa bilga cabang [mm]
 L = panjang kapal antara garis tegak (perpendicular) [m]
 B = lebar dalam kapal [m]
 H = tinggi kapal ke geladak sekat [m]
 ℓ = panjang kompartemen kedap air [m]

2.3 Kapal tangki

Diameter pipa bilga utama di kamar mesin kapal tangki dan pembawa kargo/minyak curah dihitung dengan rumus:

$$d_H = 3,0\sqrt{(B+H)\cdot \ell_1} + 35 \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

- ℓ_1 = Total panjang ruang antara cofferdam atau sekat kamar pompa dan sekat tabung buritan [m]

Istilah lain seperti dalam rumus (4) dan (5).

Pipa-pipa bilga cabang harus mempunyai dimensi yang sesuai dengan 2.2 b). Untuk instalasi bilga untuk ruang di area kargo kapal tangki dan pembawa kargo/minyak curah lihat Bab 15.

2.4 Diameter minimum

Diameter dalam pipa bilga utama dan cabang tidak boleh kurang dari 50 mm. Untuk kapal dengan panjang di bawah 25 m, diameter dapat dikurangi sampai 40 mm.

3. Pompa bilga

3.1 Kapasitas pompa bilga

Setiap pompa bilga harus mampu menyalurkan:

$$Q = 5,75 \cdot 10^{-3} \cdot d_H^2 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (7)$$

- Q = Kapasitas minimum [m^3/h]
 d_H = diameter dalam yang dihitung dari pipa bilga utama [mm]

3.2 Jika pompa centrifugal yang digunakan untuk memompa bilga, mereka harus dari jenis tanpa pancingan (self-priming) atau terhubung ke perangkat ekstraksi udara.

3.3 Satu pompa bilga dengan kapasitas yang lebih kecil dari yang dibutuhkan sesuai dengan formula (7) dapat diterima asalkan pompa lainnya dirancang untuk kapasitas yang lebih besar. Namun, kapasitas pompa bilga yang lebih kecil tidak boleh kurang dari 85% dari kapasitas yang dihitung.

3.4 Penggunaan pompa lainnya untuk memompa bilga

3.4.1 Pompa Balas, pompa pendingin air laut siaga dan pompa pelayanan umum juga dapat digunakan sebagai pompa bilga independen asalkan mereka bersifat tanpa pancingan (self-priming) dan mempunyai kapasitas yang diperlukan sesuai dengan formula (7).

3.4.2 Dalam hal kegagalan salah satu pompa bilga yang dibutuhkan, satu pompa masing-masing harus tersedia untuk pemadam kebakaran dan memompa bilga.

3.4.3 pompa bahan bakar dan minyak tidak dapat terhubung ke sistem bilga.

3.4.4 Ejector bilga dapat diterima sebagai pengaturan pemompaan bilga asalkan terdapat suplai independen air penggerak.

3.5 Jumlah pompa bilga untuk kapal kargo

Kapal kargo harus dilengkapi dengan dua pompa bilga yang digerakkan secara mekanis independen. Pada kapal sampai dengan 2000 GT, salah satu pompa ini dapat melekat pada mesin utama.

Pada kapal yang kurang dari 100 GT, satu pompa bilga yang digerakkan secara mekanis telah mencukupi. Kedua pompa bilga independen dapat menjadi pompa bilga manual yang dipasang secara permanen. Pompa bilga yang digerakkan dengan mesin dapat digabungkan ke perangkat propulsi utama.

3.6 Jumlah pompa bilga untuk kapal penumpang

Sekurang-kurangnya tiga pompa bilga harus disediakan. Satu pompa dapat digabungkan ke perangkat penggerak utama. Jika kriteria angka pelayanan sesuai dengan SOLAS 74 adalah 30⁵ atau lebih, pompa bantu harus disediakan.

4. Pemompaan bilga untuk berbagai ruang

4.1 Ruang mesin

4.1.1 Di kapal yang lebih dari 100 GT, bilga dari setiap ruang mesin utama harus dapat dipompa secara bersamaan sebagai berikut:

- a) melalui penyedotan bilga yang terhubung ke sistem bilga utama
- b) melalui satu penyedotan langsung yang terhubung ke pompa bilga independen terbesar
- c) melalui penyedotan bilga darurat yang terhubung ke pompa pendingin air laut dari perangkat propulsi utama atau melalui sistem bilga darurat lain yang sesuai

4.1.2 Jika perangkat propulsi kapal terletak di beberapa ruang, penyedotan langsung sesuai dengan **4.1.1 b)** harus tersedia di setiap kompartemen kedap air selain untuk penyedotan bilga cabang sesuai dengan **4.1.1 a)**.

Ketika penyedotan langsung sedang digunakan, harus dimungkinkan untuk memompa secara bersamaan dari jalur bilga utama dengan menggunakan semua pompa bilga yang lain.

Diameter penyedotan langsung tidak dapat mempunyai nilai yang lebih kecil dari diameter pipa bilga utama.

⁵ Lihat SOLAS 1974, Chapter II-1, Part C, Reg. 35-1, 3.2

4.1.3 Pada kapal uap, diameter hisap bilga darurat harus Sekurang-kurangnya 2/3 dari diameter dan pada kapal motor sama dengan diameter jalur hisap dari pompa yang dipilih sesuai dengan 4.1.1c). Penyimpangan dari persyaratan ini memerlukan persetujuan BKI. Penyedotan darurat bilga harus terhubung ke jalur hisap pompa air pendingin dengan sebuah katup tak kembali yang normalnya tertutup dengan menggunakan penutupan positif.

Katup ini harus dilengkapi dengan pelat dengan pemberitahuan:

Katup bilga darurat!

Hanya dibuka dalam keadaan darurat!

Katup bilga darurat dan katup inlet air pendingin harus mampu dioperasikan dari atas pelat lantai.

4.1.4 Kamar dan geladak di kamar mesin harus dilengkapi dengan saluran air ke bilga ruang mesin. Sebuah pipa pembuangan yang melewati sekat kedap air harus dilengkapi dengan sebuah katup yang dapat terutup sendiri.

4.2 Terowongan poros

Sebuah penyedotan bilga harus diatur di ujung belakang dari terowongan poros. Jika bentuk bagian bawah atau panjang terowongan membutuhkan sebuah bilga hisap bantu harus disediakan di ujung depan. katup bilga untuk terowongan poros harus diatur di luar terowongan di ruang mesin.

4.3 Ruang kargo

4.3.1 Ruang kargo normalnya dilengkapi dengan penyedotan bilga depan dan belakang.

Untuk sistem perlindungan masuknya air, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol.IV\), Sec. 18.B.4.1.9.](#)

4.3.2 Ruang kargo yang memiliki panjang dibawah 30 m dapat dilengkapi dengan hanya satu penyedotan bilga di setiap sisi.

4.3.3 Pada kapal dengan hanya satu ruang kargo, sumur bilga harus tersedia di depan dan belakang.

4.3.4 Untuk ruang kargo untuk pengangkutan barang berbahaya, lihat [Bab 12.P.7.](#)

4.3.5 Pada semua ruang kargo Ro/Ro dibawah dek sekat dimana sistem penyemprotan air bertekanan sesuai dengan [Bab 12, L.2.3](#) disediakan, berikut ini harus dipenuhi:

- Sistem drainase harus memiliki kapasitas tidak kurang dari 1,25 kali dari kapasitas dari kedua pompa sistem penyemprotan air dan jumlah nosel selang kebakaran yang diperlukan
- Katup dari pengaturan drainase harus dapat dioperasikan dari luar ruang yang dilindungi di posisi di sekitar kontrol sistem drencher
- Sekurang-kurangnya 4 sumur bilga harus ditempatkan di setiap sisi ruang yang dilindungi, terdistribusi seragam depan dan belakang. Jarak antara sumur bilga tidak boleh lebih dari 40 meter.
- [4.4.8](#) harus ditaati sebagai tambahan.

Untuk sistem bilga, kriteria berikut ini harus dipenuhi:

- $Q_B = 1,25 Q$
- $A_M = 0,625 Q$ dan
- $\text{Sum } A_B = 0,625 Q$

Dimana:

$$Q_B = \text{Gabungan kapasitas semua pompa bilga } [m^3/s]$$

- Q = Gabungan aliran air dari sistem pemadam kebakaran tetap dan selang kebakaran yang dibutuhkan [m^3/s]
 A_M = Luas penampang pipa bilga utama dari ruang yang terlindungi [m^2]
Sum A_B = Total penampang pipa bilga cabang untuk setiap sisi [m^2]

Jika pengaturan drainase berdasarkan pengaturan gravitasi, area saluran pengurasan dan pipa harus ditentukan sesuai dengan 4.4.2.

Tangki penampungan, harus memiliki kapasitas untuk Sekurang-kurangnya 20 menit operasi pada kapasitas drainase yang diperlukan dari ruang yang terpengaruh.

Jika di kapal kargo persyaratan tersebut tidak dapat dipenuhi, berat tambahan dari air dan pengaruh permukaan bebas harus diperhitungkan dalam informasi stabilitas kapal. Untuk tujuan ini, kedalaman air di setiap dek harus dihitung dengan mengalikan Q dengan waktu operasi 30 menit.

4.4 Ruang kargo tertutup di atas geladak sekat dan diatas geladak freeboard

4.4.1 Ruang kargo di atas geladak sekat kapal penumpang atau geladak freeboard kapal kargo harus dilengkapi dengan pengaturan drainase.

4.4.2 Pengaturan drainase harus memiliki kapasitas yang mempertimbangkan 5° kemiringan kapal, pada Sekurang-kurangnya 1,25 kali kapasitas kedua pompa sistem penyemprotan air dan jumlah yang dibutuhkan nozel selang kebakaran untuk dapat dikeringkan dari satu sisi dek.

Sekurang-kurangnya 4 saluran pengurasan air harus terletak di setiap sisi ruang yang terlindungi, didistribusikan seragam depan dan belakang. Jarak antara pengurasan tunggal tidak dapat melebihi 40 meter.

Area minimum yang diperlukan scupper dan pipa yang terhubung harus ditentukan dengan rumus berikut:

$$A = \frac{Q}{0,5 \cdot \sqrt{19,62(h-H)}}$$

Dimana:

- A = total area penampang yang dibutuhkan pada setiap sisi dek [m^3]
Q = aliran air gabungan dari sistem pemadam api tetap dan jumlah yang diperlukan selang kebakaran [m^3/s]
h = jarak antara bagian bawah lubang hisap scupper dan lubang saluran pembuangan atau garis muat teratas yang disetujui atau garis muat tertinggi yang disetujui [m]
H = penjumlahan dari kerugian head yang berhubungan dengan perpipaan scupper, perlengkapan dan katup [m]

Setiap saluran pengurasan individu tidak boleh kurang dari perpipaan NB 125.

Jika di kapal kargo persyaratan tersebut tidak dapat dipenuhi, berat tambahan dari air dan pengaruh permukaan bebas harus dipertimbangkan dalam informasi stabilitas kapal. Untuk tujuan ini, kedalaman air di setiap dek dihitung dengan mengalikan Q dengan waktu operasi 30 menit.

4.4.3 Ruang kargo tertutup dapat dikuras langsung ke laut, hanya ketika kapal miring 5°, tepi dek sekat atau dek freeboard tidak dapat tenggelam.

Pengurasan dari scupper ke laut harus dilengkapi dengan perangkat pelindung arus balik yang sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.21](#).

4.4.4 Jika tepi dek, ketika kapal miring 5° terletak pada atau di bawah summer load line (SLL), drainase harus diarahkan ke sumur bilga atau tangki pengurasan dengan kapasitas yang memadai.

4.4.5 Sumur bilga atau tangki drainase harus dilengkapi dengan alarm level tinggi dan harus dilengkapi dengan pengaturan pengurasan dengan kapasitas sesuai dengan [4.4.2](#).

4.4.6 Harus dipastikan bahwa:

- Pengaturan sumur bilga mencegah akumulasi air bebas yang berlebihan
- Air yang terkontaminasi dengan bensin atau zat berbahaya lainnya tidak dikeringkan ke ruang mesin atau ruang lain dimana sumber api dapat muncul
- Ketika ruang kargo tertutup dilindungi oleh sistem pemadam api karbon dioksida, scupper dek harus dilengkapi dengan sarana untuk mencegah keluarnya gas yang menyesakkan.

4.4.7 Fasilitas operasi dari katup bilga yang relevan harus berada di luar ruang dan sejauh mungkin dekat dengan fasilitas operasi sistem penyemprotan air bertekanan untuk pemadam kebakaran.

4.4.8 Sarana harus disediakan untuk mencegah penyumbatan pengaturan drainase.

Sarana harus dirancang sedemikian rupa sehingga penumpang bebas Sekurang-kurangnya 6 kali penumpang bebas dari saluran pembuangan. Lubang individu tidak dapat lebih besar dari 25 mm. Tanda-tanda peringatan harus tersedia 1.500 mm di atas bukaan pengurasan yang menyatakan "bukaan pengurasan, jangan ditutup atau dihalangi".

4.4.9 Katup buang untuk scupper harus tetap terbuka saat kapal berada di laut

4.5 Ruang yang dapat digunakan untuk air Balas, minyak atau kargo kering

Jika ruang kargo kering juga dimaksudkan untuk membawa air Balas atau minyak, pipa bilga cabang dari ruang ini harus terhubung ke Balas atau sistem pipa kargo hanya dengan katup/koneksi ubah-ganti.

Katup ubah-ganti harus didesain sedemikian rupa sehingga posisi antara tidak menghubungkan sistem perpipaan yang berbeda. Koneksi ubah-ganti harus sedemikian rupa sehingga pipa tidak terhubung ke ruang kargo yang harus dikosongkan.

Untuk ruang yang digunakan untuk kargo kering dan air pemberat, koneksi ubah-ganti harus sedemikian rupa sehingga sistem (sistem bilga atau Balas) tidak terhubung ke kargo yang dapat dikosongkan.

4.6 Ruang kargo yang didinginkan

Ruang kargo yang didinginkan dan nampan pencairan harus disediakan dengan saluran air yang tidak bisa dimatikan. Setiap pipa pembuangan harus dilengkapi pada ujung pembuangan dengan perangkap untuk mencegah perpindahan panas dan bau.

4.7 Ruang untuk mengangkut ternak

Ruang yang dimaksudkan untuk pengangkutan ternak harus sebagai tambahan dilengkapi dengan pompa atau ejector untuk membuang limbah ke laut.

4.8 Ruang diatas ceruk haluan dan buritan

Ruang ini harus terhubung ke sistem bilga atau harus dikeringkan dengan menggunakan pompa tangan.

Ruang yang terletak di atas ceruk buritan dapat dikeringkan ke terowongan poros atau ke ruang bilga mesin, asalkan saluran pembuangan dilengkapi dengan katup tertutup sendiri yang harus berada pada posisi yang sangat terlihat dan dapat diakses. Jalur pengurasan harus memiliki diameter minimal 40 mm.

4.9 Koferdam, terowongan pipa dan ruang kosong

Cofferdam, terowongan pipa dan ruang kosong yang berbatasan dengan kulit kapal harus terhubung ke sistem bilga.

Untuk cofferdam, terowongan pipa dan ruang kosong yang terletak di atas garis muat paling dalam sarana yang setara dapat diterima oleh BKI setelah perjanjian khusus.

Jika ceruk buritaan berbatasan dengan ruang mesin, dapat dikuras menggunakan katup tertutup sendiri ke bilga ruang mesin.

4.10 Sistem drainase ruang antara pintu haluan dan pintu dalam pada kapal Ro-Ro

Sebuah sistem drainase harus diatur di daerah antara pintu haluan dan rampa, serta di daerah antara rampa dan pintu dalam jika terpasang. Sistem ini harus dilengkapi dengan fungsi alarm yang terdengar sampai ke anjungan navigasi untuk level air di daerah-daerah yang melebihi 0,5 m di atas level dek mobil.

Untuk pintu haluan dan pintu dalam, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.6.H.7.](#)

4.11 Loker rantai

Loker rantai harus dikeringkan dengan menggunakan pengaturan yang tepat.

4.12 Tangki pengurusan kondensat dari pendingin udara bilas

4.12.1 Jika kondensat dari tangki pengurusan dari pendingin udara bilas harus dipompa ke laut secara langsung atau tidak langsung, jalur buang harus disediakan dengan alarm 15 ppm yang disetujui. Jika kadar minyak melebihi 15 ppm, alarm harus dirilis dan pompa harus berhenti secara otomatis.

Alarm 15 ppm harus diatur sedemikian rupa sehingga pompa bilga tidak dapat berhenti selama bilga memompa dari ruang mesin ke laut.

4.12.2 Sebagai tambahan, tangki harus dilengkapi dengan koneksi ke pemisah air berminyak.

4.13 Pengeringan (dewatering) ruang depan kapal curah

4.13.1 Pada kapal curah, sarana untuk dewatering dan pemompaan tangki Balas depan dari sekat tubrukan dan bilga ruang kering didepan dari kargo paling depan harus disediakan.

Untuk loker rantai atau ruang dengan volume < 0,1% dari perpindahan maksimum, peraturan ini tidak perlu diterapkan.

4.13.2 Sarana harus dikendalikan dari anjungan navigasi, posisi kontrol mesin penggerak atau ruang tertutup harus mudah diakses dari anjungan navigasi atau posisi kontrol mesin penggerak tanpa bepergian yang terkena freeboard atau geladak bangunan atas.

Sebuah posisi yang dapat diakses melalui dek bagian bawah, batang pipa atau cara akses lain yang serupa tidak dianggap sebagai mudah diakses.

4.13.3 Jika pengaturan pipa untuk dewatering ruang depan terhubung ke sistem Balas, 2 katup tak kembali harus dipasang untuk mencegah air memasuki ruang kering sistem Balas. Salah satu katup tak kembali ini harus memiliki sarana penutupan positif. Katup harus dioperasikan dari posisi sebagaimana dinyatakan dalam [4.13.2](#).

4.13.4 Pengeringan secara manual dari atas dek freeboard diperlukan untuk katup yang diperlukan dalam [P.1.3.3](#) harus dioperasikan dari posisi yang tercantum dalam [4.13.2](#). Jika semua persyaratan dari [4.13](#) terpenuhi

4.13.5 Harus dapat dikenali dengan indikasi positif di stan kontrol apakah katup sepenuhnya terbuka atau tertutup. Dalam kasus kegagalan sistem kontrol, katup-katup tidak boleh bergerak dari posisi yang diminta.

4.13.6 Sumur bilga harus mematuhi [1.3.1](#).

4.13.7 Pengaturan dewatering dan pemompaan harus sedemikian rupa sehingga ketika mereka berada dalam operasi, hal berikut ini akan tersedia:

- Sistem bilga harus tetap siap untuk digunakan untuk kompartemen apapun.
- Penyalaan langsung dari pompa pemadam kebakaran dan suplai air pemadam kebakaran harus tetap tersedia.
- Sistem untuk operasi normal dari catu daya listrik, propulsi dan kemudi harus tidak terpengaruh oleh operasi drainase dan sistem pemompaan.

Untuk sistem deteksi masuknya air lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.18](#).

4.13.8 Kapasitas sistem pengeringan menurut [4.13.1](#) harus dihitung sesuai rumus berikut:

$$Q = 320 A \text{ [m}^3/\text{h}]$$

A adalah luas penampang bebas dalam m^2 yang terbesar dari pipa udara atau ventilasi pembukaan yang menghubungkan dek terbuka dengan ruang dimana dewatering diperlukan.

Namun, bukaan ventilasi di sekat buritan dari forecastle tidak perlu dipertimbangkan untuk menghitung kapasitas fasilitas drainase

5. Persyaratan tambahan untuk kapal penumpang

5.1 Pengaturan pipa bilga dan katup bilga

5.1.1 Pengaturan pipa bilga:

- dalam 0,2 B dari sisi kapal diukur pada tingkat dari subdivisi jalur muat
- di dasar ganda kurang dari 460 mm di atas jalur dasar atau
- di bawah tingkat horizontal yang ditentukan dalam [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\) Sec.29.F.2](#).

Hanya diperbolehkan jika sebuah katup tak kembali dipasang di kompartemen dimana penyedotan bilga yang bersangkutan terletak.

5.1.2 Kotak katup dan katup sistem bilga harus dipasang sedemikian rupa sehingga setiap kompartemen dapat dikosongkan oleh Sekurang-kurangnya satu pompa dalam hal masuknya air.

Jika bagian dari pengaturan bilga (pompa dengan koneksi hisap) terletak kurang dari 0,2 B dari kulit, kerusakan pada satu bagian dari pengaturan tersebut harus tidak akan membuat sisa pengaturan bilga yang lain tidak dapat dioperasi.

5.1.3 Jika hanya satu sistem perpipaan umum yang disediakan untuk semua pompa, semua katup penyetop dan ubah-ganti yang diperlukan untuk pemompaan bilga harus diatur untuk beroperasi dari atas dek sekat. Jika sistem pompa bilga darurat disediakan di samping sistem bilga utama, sistem ini harus independen dari yang terakhir dan harus ditata sedemikian rupa untuk memungkinkan pemompaan dari setiap kompartemen yang banjir. Dalam hal ini, hanya katup penyetop dan ubah-ganti dari sistem darurat yang harus mampu dioperasikan dari atas dek sekat.

5.1.4 Katup penyetop dan ubah-ganti yang mampu dioperasikan dari atas dek sekat harus ditandai dengan jelas, dapat diakses dan dilengkapi dengan indikator posisi di stan kontrol dari sistem bilga.

5.2 Penyedotan bilga

Pompa bilga di ruang mesin harus dilengkapi dengan penyedotan bilga langsung di ruang ini, tapi tidak lebih dari dua penyedotan langsung yang perlu disediakan dalam satu ruang.

Pompa bilga yang terletak di ruang lain harus memiliki penyedotan langsung ke ruang dimana mereka dipasang.

5.3 Susunan pompa bilga

5.3.1 Pompa bilga harus dipasang di kompartemen kedap air yang terpisah yang disusun sedemikian rupa sehingga mereka tidak dapat dibanjiri oleh kerusakan yang sama.

Kapal dengan panjang 91,5 m atau lebih atau memiliki kriteria angka pelayanan 30 sesuai dengan SOLAS 74⁷ atau lebih harus memiliki Sekurang-kurangnya satu pompa bilga yang tersedia pada semua kondisi banjir yang dirancang untuk ditahan. Persyaratan ini terpenuhi jika

- salah satu pompa yang diperlukan adalah pompa bilga darurat terendam yang terhubung ke sistem bilga itu sendiri dan digerakkan dari sumber yang terletak di atas dek sekat atau
- pompa dan sumber dayanya yang didistribusikan ke seluruh panjang gaya apung kapal, yang pada kondisi rusak ditentukan dengan perhitungan untuk setiap kompartemen individu atau kelompok kompartemen, Sekurang-kurangnya satu pompa tersedia di kompartemen yang tidak rusak.

5.3.2 Pompa bilga yang ditentukan dalam [3.6](#) dan sumber energi mereka tidak dapat berada didepan sekat tubrukan.

5.4 Kapal penumpang untuk rentang layanan terbatas

Ruang lingkup pemompaan bilga untuk kapal penumpang dengan jangkauan layanan terbatas, misalnya navigasi di perairan yang terlindung, dapat disepakati dengan BKI.

6. Persyaratan tambahan untuk kapal tangki

Lihat [Bab 15, B.4.7.Pengujian bilga](#)

Semua pengaturan bilga harus diuji di bawah pengawasan BKI.

O. Peralatan untuk Pengolahan dan Penyimpanan Air Bilga, Residu Bahan bakar/Minyak⁶

1. Peralatan pemisah air berminyak

1.1 Kapal 400 GT keatas harus dilengkapi dengan sebuah pemisah air berminyak atau peralatan penyaringan untuk pemisahan campuran minyak/air.

1.2 Kapal 10.000 GT keatas harus dipasang sebagai tambahan dari peralatan yang dibutuhkan dalam 1.1 dengan sistem alarm 15 ppm.

1.3 Sebuah perangkat sampling harus diatur pada bagian vertikal dari jalur buang sistem peralatan/penyaringan pemisah air berminyak.

1.4 Jalur by-pass tidak diizinkan untuk sistem peralatan/penyaringan pemisah air berminyak.

⁶ With regard to the installation on ships of oily water separators, filter plants, oil collecting tanks, oil discharge lines and a monitoring and control system or an 15 ppm alarm device in the water outlet of oily water separators, compliance is required with the provisions of the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, (MARPOL) and the Protocol 1978 as amended.

1.5 Fasilitas sirkulasi harus disediakan untuk memungkinkan peralatan penyaringan minyak untuk diuji dengan pembuangan laut tertutup.

2. Pembuangan residu bahan bakar/minyak

2.1 Sebuah tangki lumpur harus disediakan. Untuk perlengkapan dan pemasangan tangki lumpur, lihat Bab 10, E.

2.2 Sebuah pompa tanpa pancingan harus disediakan untuk pembuangan lumpur ke fasilitas penerimaan. Kapasitas pompa harus sedemikian rupa sehingga tangki lumpur dapat dikosongkan dalam waktu yang wajar.

2.3 Sebuah jalur buang terpisah harus disediakan untuk pembuangan residu bahan bakar/minyak ke fasilitas-fasilitas penerimaan

2.4 Tidak boleh ada interkoneksi antara pipa buang tangki lumpur dan pipa air bilga selain pipa umum yang mungkin yang mengarah ke koneksi penbuangan standar. Katup ulir bawah tak kembali yang diatur dalam jalur yang menghubungkan ke pipa umum yang mengarah ke koneksi buang standar dianggap memenuhi persyaratan ini

2.5 Tangki residu minyak (lumpur) dapat dilengkapi dengan katup pengurasan tertutup sendiri yang dioperasikan secara manual dengan pemantauan visual dari air mengendap (ruang udara bebas) yang mengarah ke tangki bilga air berminyak atau sumur bilga.

2.6 Jika perangkat pembakaran digunakan untuk residu bahan bakar dan minyak, kepatuhan diperlukan dengan Bab 10 dan dengan Resolusi MEPC.76 (40) "Spesifikasi Standar untuk Insinerator di atas Kapal".

3. Sistem Pemisah Air Bilga Berminyak 5 ppm untuk Notasi Kelas EP

Terlepas dari instalasi sistem pemisah air bilga berminyak 5ppm, semua persyaratan yang tercantum dalam MARPOL Annex 1 Reg. 14 harus dipenuhi dan perlu disertifikasi dengan sesuai. Sistem pemisah air bilga berminyak 5 ppm dapat menjadi bagian dari instalasi yang diperlukan oleh MARPOL.

Instalasi sistem pemisah air bilga 5ppm bersifat opsional, kecuali dibutuhkan oleh Notasi Kelas EP (Enviromental Passport) atau dengan peraturan daerah.

Sistem pemisah air bilga terdiri dari sistem penanganan air bilga dan pemisah air berminyak yang dikombinasikan dengan alarm 5ppm yang memicu perangkat penyetop otomatis seperti yang dijelaskan dalam IMO 107 (49).

3.1 Pemisah air bilga berminyak

3.1.1 Desain dan prosedur uji harus sesuai dengan Res. IMO 107 (49) di bawah pertimbangan IMO MEPC.1/Circ.643. Kandungan minyak dari limbah dari masing-masing sampel uji tidak boleh melebihi 5ppm.

3.1.2 Kapasitas pemisah air bilga berminyak harus ditentukan sesuai dengan tabel berikut.

Hingga 400 GT	401 – 1600 GT	1601 – 4000 GT	4001 – 15000 GT	Diatas 15000 GT
0,25 m ³ /h	0,5 m ³ /h	1,0 m ³ /h	2,5 m ³ /h	5 m ³ /h

3.2 Alarm kandungan minyak 5 ppm

3.2.1 Desain dan prosedur uji harus sesuai dengan Res. IMO 107 (49).

3.2.2 Tes kalibrasi tambahan dalam kisaran kandungan minyak dari 2 ppm sampai 9 ppm harus dilakukan. Selanjutnya, waktu respon harus diambil dalam kasus input berubah dari air ke minyak dengan konsentrasi lebih dari 5 ppm⁷.

3.2.3 Sertifikat uji tipe yang sesuai yang dikeluarkan oleh administrasi negara bendera atau klasifikasi lainnya dapat diterima.

3.3 Tangki air bilga berminyak

3.3.1 Sebuah tangki penampungan air bilga berminyak harus disediakan. Tangki ini harus sebaiknya adalah tangki dalam yang diatur di atas tutup tangki yang melindungi pemisahan minyak dan air. Pengaturan pengurasan yang sesuai untuk minyak yang telah dipisahkan harus disediakan pada tangki yang memuat air bilga berminyak.

3.3.2 Residu minyak (sludge) dan tangki air bilga berminyak harus independen satu sama lain.

3.3.3 Sebuah unit pengolahan awal untuk pemisahan minyak harus disediakan sesuai dengan contoh Lampiran dari MEPC.1/Circ.642. Unit ini harus ditempatkan antara pompa bilga harian dan tangki air bilga berminyak.

3.3.4 Di kapal yang menggunakan bahan bakar minyak yang berminyak, tangki air bilga harus dilengkapi dengan pengaturan pemanasan.

3.3.5 Kapasitas tangki air bilga berminyak harus ditentukan sebagai berikut:

Nilai Mesin Utama (KW)	Kapasitas [m ³]
Sampai dengan 1000	4
Diatas 1.000 sampai dengan 20.000	P/250
Diatas 20.000	40 + P/500

Dimana:

$$P = \text{daya mesin utama [KW]}$$

3.4 Tangki residu minyak (lumpur)

3.4.1 Untuk penyimpanan residu minyak (lumpur), lihat Bab 10, E.

3.4.2 Kapasitas V [m³] tangki residu minyak (lumpur) harus ditentukan sebagai berikut:

$$V = K \cdot C \cdot D$$

Dimana:

K = 0,015 untuk kapal dimana bahan bakar minyak berat/residu digunakan dan 0,005 dimana minyak diesel atau bahan bakar lain yang tidak memerlukan pemurnian digunakan.

C = konsumsi bahan bakar minyak harian [m³/d]

D = durasi pelayaran maksimal, biasanya diambil 30 hari jika tidak ada data [d]

3.4.3 Tangki residu minyak (lumpur) harus terletak di bawah pemurni bahan bakar minyak berat.

3.4.4 Tangki residu minyak (lumpur) harus dilengkapi dengan lubang akses yang diatur sedemikian rupa sehingga pembersihan semua bagian tangki memungkinkan.

⁷ Mengacu pada Transport Canada Standard TP 12301E

3.4.5 Tangki residu minyak (lumpur) harus dilengkapi dengan jalur penguapan keluar untuk pembersihan, jika memungkinkan.

3.5 Pemompaan dan pembuangan air bilga berminyak dan lumpur

3.5.1 Sistem bilga berminyak dan sistem bilga utama harus terpisah satu sama lain.

3.5.2 Jalur hisap dari pemisah bilga berminyak harus disediakan untuk tangki air bilga berminyak. Sambungan hisap untuk tangki residu minyak (lumpur) tidak diizinkan.

3.5.3 Air buangan dari pemisah bilga 5 ppm harus mampu di resirkulasi ke tangki air bilga berminyak atau unit pengolahan awal.

3.5.4 Air kotor yang telah dipisahkan dan air kontrol/air bersih yang keluar dari purifier bahan bakar harus dibuang ke sebuah tangki tertentu. Tangki ini harus berada di atas tutup tangki untuk tujuan memfasilitasi pengurasan tanpa perlu pompa pembuangan.

3.5.5 Pompa pembuangan (aliran keluar) residu minyak harus sesuai untuk minyak viskositas tinggi dan harus merupakan pompa perpindahan tanpa pancingan.

3.5.6 Pompa pembuangan (aliran keluar) residu minyak harus memiliki kapasitas untuk membuat kapasitas tangki residu minyak (lumpur) yang telah dihitung (lihat [3.4.2](#)) dalam waktu 4 jam.

P. Sistem Balas

1. Jalur Balas

1.1 Susunan perpipaan – umum

1.1.1 Penyedotan dalam tangki air Balas harus sedemikian rupa sehingga tangki dapat dikosongkan dalam semua kondisi praktis

1.1.2 Kapal yang memiliki tangki dasar ganda yang sangat luas juga harus dilengkapi dengan penyedotan di sisi luar dari tangki. Jika panjang tangki air Balas melebihi 30 m, BKI mungkin memerlukan penyedotan untuk disediakan di bagian depan dari tangki.

1.2 Pipa yang melewati tangki

Pipa air Balas tidak dapat melewati tangki air minum, air umpan, dan minyak termal atau minyak pelumas.

1.3 Sistem perpipaan

1.3.1 Jika tangki digunakan bergantian untuk air Balas dan bahan bakar (tangki ubah-ganti), penyedotan dalam tangki ini harus dihubungkan ke sistem masing-masing dengan menggunakan keran tiga arah dengan busi jenis L, dan keran dengan bagian bawah terbuka atau katup piston ubah-ganti. Hal ini harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak ada koneksi antara air Balas dan sistem bahan bakar ketika katup atau keran dalam posisi antara. Sambungan pipa ubah-ganti dapat digunakan sebagai pengganti katup yang disebutkan di atas. Setiap tangki ubah-ganti harus secara individual terhubung ke sistem masing-masing. Untuk katup yang dikendalikan dari jarak jauh, lihat [D.6](#).

1.3.2 Jika tangki air Balas sebagai pengecualian dapat digunakan sebagai ruang kargo kering, tangki-tangki tersebut juga harus terhubung ke sistem bilga. Persyaratan yang ditentukan dalam [N.4.5](#) berlaku.

1.3.3 Jika pipa diarahkan melalui sekat tabrakan dibawah dek freeboard, katup penyetop harus dipasang langsung di sekat tubrukan dalam ceruk haluan.

Katup harus dapat dioperasikan jarak jauh dari atas dek freeboard.

Jika ceruk haluan berbatasan langsung dengan ruang yang dapat diakses secara permanen (misalnya kamar bow thruster) yang terpisah dari ruang kargo, katup penyetop ini dapat dipasang langsung pada sekat tubrukan di dalam ruangan ini tanpa ketentuan untuk kontrol jarak jauh, asalkan katup ini selalu dapat diakses dengan baik.

1.3.4 Hanya satu jalur pipa yang dapat diarahkan melalui sekat sekat tubrukan di bawah geladak lambung timbul.

1.3.5 Jika ceruk haluan dibagi untuk memuat dua macam cairan yang berbeda, dua jalur pipa dalam kasus luar biasa dapat melalui sekat tubrukan di bawah geladak lambung timbul.

1.3.6 Tangki air Balas pada kapal dengan kelas es ES1 sampai ES4 yang disusun di atas jalur beban Balas harus dilengkapi dengan sarana untuk mencegah pembekuan air, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.15.A.2.3.](#)

1.4 Pengaturan anti kemiringan

Pengaturan anti kemiringan, yang bisa menetralkan sudut kemiringan lebih dari 10° sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 1.E.3](#), harus dirancang sebagai berikut:

- Sebuah perangkat penyetop harus disediakan dalam saluran silang antara tangki yang menjadi tujuan sebelum dan sesudah pompa anti kemiringan.
- Perangkat penyetop dan pompa yang dioperasikan dari jarak jauh. Perangkat kontrol harus diatur dalam sebuah stan kontrol.
- Sekurang-kurangnya satu dari perangkat penyetop kendali jarak jauh yang diatur yang dimatikan secara otomatis dalam kasus kegagalan suplai listrik.
- Posisi "tertutup" dari perangkat penyetop harus ditunjukkan pada stan kontrol dengan indikator posisi akhir dari jenis yang disetujui.
- Selain itu, [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol. IV\), Sec. 7.G.](#) harus ditaati.

1.5 Pertukaran air Balas

1.5.1 Untuk "metode limpah", pipa limpah terpisah atau *by-pass* di head pipa udara harus disediakan. Limpahan melalui head pipa udara harus dihindari. Penutupan menurut ICLL, tapi Sekurang-kurangnya sebuah flensa mati harus disediakan. Efisiensi pengaturan untuk *by-pass* head pipa udara harus diperiksa dengan uji fungsional selama percobaan laut.

1.5.2 Untuk "metode dilusi", isi tangki penuh harus dijamin selama pertukaran air Balas. Alarm level yang diletakkan secara memadai harus disediakan (misalnya pada sekitar volume 90% pada tangki sisi, pada sekitar 95% di tangki dasar ganda).

1.6 Perangkat pengolahan air Balas

1.6.1 Perangkat pengolahan air Balas harus disetujui oleh administrasi bendera sesuai dengan Resolusi IMO masing-masing MEPC.174 (58), MEPC.169 (57). Kewajiban untuk menginstal sebuah perangkat pengolahan air Balas tergantung pada kapasitas air Balas dan tanggal peletakan lunas kapal yang memproses air Balas sedemikian rupa sehingga memenuhi atau melewati Standar Kinerja Air Balas dalam Peraturan D-2 dari Konvensi BWM. Mengacu pada Konvensi Internasional untuk Pengendalian dan Pengelolaan Air Balas dan Sedimen Kapal 2004 - Peraturan B-3.

1.6.2 Balas water treatment system (BWTS) termasuk peralatan manajemen air Balas, semua peralatan kontrol terkait, peralatan pemantauan dan fasilitas pengambilan sampel dan selain ketentuan 1.6.1 harus mematuhi Peraturan dalam Bab 8 dan Bab ini serta dalam [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec.9.D.8.](#) Dokumen berikut harus disampaikan sekali untuk setiap jenis BWTS untuk persetujuan:

- Gambar dan spesifikasi teknis dari sistem perpipaan termasuk spesifikasi material
- Gambar dari semua bejana tekan dan perlengkapan yang terkena tekanan termasuk spesifikasi material
- Rincian tentang sistem listrik dan elektronik

Jika sesuai dengan Peraturan BKI sudah dapat dipastikan sebagai bagian dari proses persetujuan tipe negara bendera sejalan dengan [1.6.1](#), dokumen untuk jenis BWTS tersebut tidak perlu disampaikan.

Pada aplikasi produsen, BKI dapat mengeluarkan sertifikat persetujuan yang mengkonfirmasi pemenuhan Peraturan BKI yang dirujuk di atas.

1.6.3 BWTS harus dilengkapi dengan pengaturan memotong (*bypass*) atau pengesampingan (*override*) untuk mengisolasinya secara efektif dari sistem kapal penting yang terhubung dengannya.

1.6.4 Apabila ruang hampa dapat terjadi di jalur Balas karena perbedaan ketinggian, sarana perlindungan yang sesuai harus disediakan, seperti katup P/V atau katup nafas, dan outletnya harus diarahkan ke daerah aman di dek terbuka.

1.6.5 Komponen listrik dan elektronik tidak boleh dipasang di daerah berbahaya kecuali jika mereka mempunyai tipe aman bersertifikat untuk digunakan di daerah tersebut. Penetrasi kabel dari dek dan sekat harus disegel ketika perbedaan tekanan antara daerah tersebut harus dipertahankan.

1.6.6 Ketika prinsip operasi BWMS melibatkan pembentukan gas berbahaya yang mencakup setiap gas yang dapat menghasilkan atmosfer eksplosif dan/atau beracun yang berbahaya bagi awak dan/atau kapal, seperti hidrogen (H_2), gas hidrokarbon, ozon (O_3), klorin (Cl_2) dan klorin dioksida (ClO_2), dll., persyaratan berikut harus dipenuhi:

.1 Peralatan deteksi gas harus dipasang di ruang dimana gas berbahaya dapat hadir, dan alarm yang dapat didengar dan visual harus diaktifkan baik secara lokal maupun di stasiun kontrol BWMS jika terjadi kebocoran. Perangkat pendekripsi gas harus dirancang dan diuji sesuai dengan IEC 60079-29-1 atau standar yang diakui yang dapat diterima oleh BKI.

.2 Jalur ventilasi ruang dimana gas berbahaya dapat hadir harus diarahkan ke area aman di dek terbuka.

.3 Pengaturan yang digunakan untuk menghilangkan gas, yaitu peralatan pembersihan atau yang setara, harus dilengkapi dengan langkah-langkah pemantauan dengan penghentian independen. Ujung terbuka alat pelepas gas harus diarahkan ke area aman di dek terbuka.

1.6.7 Perpipaan Balas, termasuk jalur pengambilan sampel dari tangki Balas yang dianggap sebagai daerah berbahaya, tidak boleh diarahkan ke ruang tertutup yang dianggap sebagai area aman, tanpa tindakan yang tepat, kecuali kapal yang mengangkut gas cair dalam jumlah besar. Namun, titik pengambilan sampel untuk memeriksa kinerja BWTS, untuk air Balas yang mengandung gas berbahaya, dapat ditempatkan di area aman jika persyaratan berikut terpenuhi:

.1 Fasilitas pengambilan sampel (untuk pemantauan/kontrol BWTS) harus ditempatkan di dalam selungkup yang ketat (selanjutnya disebut 'kabinet'), dan yang berikut (i) sampai (iii) harus dipatuhi.

- i) Dalam kabinet, katup penghenti harus dipasang di setiap pipa contoh.
- ii) Peralatan deteksi gas harus dipasang di kabinet dan katup yang ditentukan dalam ayat di atas harus tertutup secara otomatis setelah aktivasi peralatan deteksi gas.
- iii) Sinyal alarm visual dan suara harus diaktifkan baik secara lokal maupun di stasiun kontrol BWTS ketika konsentrasi gas-gas eksplosif mencapai nilai yang telah ditentukan sebelumnya, yang tidak boleh lebih tinggi dari 30% dari batas lower flammable limit (LFL) dari produk yang bersangkutan.

.2 Diameter internal standar pipa pengambilan sampel harus minimum yang diperlukan untuk mencapai persyaratan fungsional dari sistem pengambilan sampel.

.3 Sistem pengukuran harus dipasang sedekat mungkin dengan sekat, dan panjang pipa ukur di setiap area aman harus sependek mungkin.

.4 Katup penghenti harus ditempatkan di area aman, baik di pipa hisap maupun kembali dekat dengan penetrasi sekat. Sebuah pelat peringatan yang menyatakan "Biarkan katup tertutup saat tidak melakukan pengukuran" harus dipasang dekat katup. Selanjutnya, untuk mencegah aliran balik, segel air atau pengaturan yang setara harus dipasang di sisi area berbahaya dari pipa kembali.

.5 Katup pengaman harus dipasang di sisi area berbahaya dari setiap pipa pengambilan sampel.

1.6.8 Untuk ruang-ruang, termasuk daerah berbahaya, di mana toksisitas, asfiksia, korosif atau reaktivitas ada, bahaya ini harus diperhitungkan dan tindakan pencegahan tambahan untuk ventilasi ruang dan perlindungan awak harus dipertimbangkan.

1.6.9 Persyaratan tambahan untuk kapal tangki harus sesuai dengan [Bab 15](#).

1.6.10 BWTS yang tidak berada di daerah berbahaya:

.1 BWTS yang tidak menghasilkan gas berbahaya harus ditempatkan di daerah yang berventilasi memadai.

.2 BWTS yang menghasilkan gas berbahaya harus ditempatkan di ruang yang dilengkapi dengan sistem ventilasi mekanis yang menyediakan Sekurang-kurangnya 6 perubahan udara per jam atau sebagaimana ditentukan oleh pabrikan BWMS, mana yang lebih besar.

1.6.11 BWTS di daerah berbahaya:

BWTS, terlepas apakah menghasilkan gas berbahaya atau tidak, harus ditempatkan di ruang yang dilengkapi dengan ventilasi mekanis sesuai dengan persyaratan yang relevan, mis. IEC60092-502, Kode IBC, Kode IGC, dll.

1.6.12 Panjang pipa dan jumlah koneksi harus diminimalkan dalam sistem perpipaan yang mengandung gas/cairan berbahaya dalam konsentrasi tinggi. Persyaratan berikut juga harus dipenuhi:

.1 Sambungan pipa harus dari jenis yang dilas kecuali untuk koneksi ke katup penutup, pipa berdinding ganda atau pipa di saluran udara yang dilengkapi dengan ventilasi pembuangan mekanis. Alternatifnya adalah menunjukkan bahwa risiko kebocoran dapat diminimalkan dan pembentukan atmosfer beracun atau mudah terbakar dapat dicegah.

.2 Lokasi sistem perpipaan harus jauh dari sumber panas dan terlindungi dari kerusakan mekanis.

1.6.13 Untuk BWMS yang menggunakan zat kimia, prosedur penanganan harus sesuai dengan Lembar Data Keselamatan Bahan dan BWM.2/Sirk.20, dan langkah-langkah berikut harus diambil dengan sesuai:

.1 Bahan yang digunakan untuk tangki penyimpanan bahan kimia, pipa dan alat kelengkapan harus tahan terhadap bahan kimia tersebut.

.2 Tangki penyimpanan bahan kimia harus memiliki kekuatan yang cukup dan dapat dikonstruksi sedemikian rupa sehingga pemeliharaan dan pemeriksaan dapat dilakukan dengan mudah.

.3 Pipa udara tangki penyimpanan bahan kimia harus diarahkan ke daerah aman di dek terbuka.

.4 Sebuah manual operasi yang berisi prosedur injeksi kimia, sistem alarm, langkah-langkah dalam keadaan darurat, dll., harus disimpan di kapal.

1.6.14 Jika BWMS dipasang di kompartemen independen, kompartemennya harus:

- Dilengkapi dengan integritas api yang setara dengan ruang-ruang permesinan lainnya.
- Diposisikan di luar dari daerah yang mudah terbakar, korosif, beracun, atau berbahaya kecuali jika secara khusus disetujui.

1.6.15 Penilaian risiko dapat dilakukan untuk memastikan bahwa risiko, termasuk tetapi tidak terbatas pada yang timbul dari penggunaan gas berbahaya yang mempengaruhi orang di atas kapal, lingkungan, kekuatan struktural atau integritas kapal tertangani.

1.6.16 Otomatisasi

Jika ada operasi pemotongan (bypass) atau pengesampingan (override) dari BWMS, alarm suara dan visual harus diberikan dan kejadian ini harus direkam secara otomatis dalam peralatan kontrol. Katup di jalur pemotongan yang memicu operasi pemotongan harus dapat dikontrol jarak jauh oleh peralatan kontrol atau dilengkapi dengan indikator buka/tutup untuk deteksi otomatis dari peristiwa pemotongan.

1.6.17 Persyaratan tambahan untuk kapal tangki, lihat [Bab 15.E](#)

1.7 Integrasi dan instalasi sistem pengolahan air Balas di atas kapal

1.7.1 Sebuah gambar pengaturan dan diagram pipa terkait kapal yang menunjukkan integrasi BWTS ke dalam sistem perpipaan Balas kapal serta manual operasi dan teknis harus disampaikan untuk disetujui. Jika BWTS menggunakan zat aktif, gambar-gambar pengaturan tambahan untuk operasi kompartemen dan ruang penyimpanan zat ini harus disampaikan, termasuk rincian dari peralatan mereka.

1.7.2 Nilai Kapasitas BWTS tidak boleh kurang dari laju aliran dari pompa Balas terbesar. Jika treated rated capacity (TRC) air Balas yang ditentukan oleh produsen dapat dilampaui dalam operasional, misalnya dengan operasi paralel beberapa pompa Balas, referensi dan pembatasan yang sesuai harus ditunjukkan dalam rencana pengelolaan air Balas.

1.7.3 Instalasi yang sesuai dan fungsi yang tepat dari sistem manajemen air Balas harus diverifikasi dan dikonfirmasi oleh Surveyor BKI.

2. Pompa Balas

Jumlah dan kapasitas pompa harus memenuhi kebutuhan operasional kapal.

3. Pengaturan banjir silang

3.1 Sejauh mungkin, pengaturan banjir silang untuk menyamaratakan banjir asimetris jika terjadi kerusakan harus beroperasi secara otomatis. Jika pengaturan tidak beroperasi secara otomatis, setiap katup penyetop harus mampu dioperasikan dari anjungan atau lokasi pusat lain di atas dek sekat. Posisi masing-masing perangkat penutupan harus ditunjukkan di anjungan dan di lokasi pusat operasi (lihat juga [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec. 28.F](#) dan [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol. IV\), Sec.7.H](#)). Pengaturan banjir silang harus memastikan bahwa jika terjadi banjir, pemerataan dicapai dalam waktu 10 menit.

3.2 Pengaturan banjir silang untuk menyamaratakan banjir asimetris jika terjadi kerusakan harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan.

4. Persyaratan tambahan untuk tangki

Lihat [Bab 15.B.4](#).

5. Pengujian operasional

Susunan Balas harus menjalani pengujian operasional di bawah pengawasan BKI.

Q. Sistem Minyak Termal

Sistem minyak termal harus dipasang sesuai dengan [Bab 7.II](#).

Jalur pipa, pompa dan katup yang termasuk dalam sistem ini juga tunduk pada persyaratan berikut.

1. Pompa

- 1.1 Dua pompa sirkulasi yang independen satu sama lain harus disediakan.
- 1.2 Sebuah pompa transfer harus diinstal untuk mengisi tangki ekspansi dan untuk menguras sistem.
- 1.3 Pompa harus dipasang sedemikian rupa sehingga setiap kebocoran minyak dapat dibuang.
- 1.4 Untuk penyetop darurat, lihat [Bab 12.B.9](#).

2. Katup

- 2.1 Hanya katup yang terbuat dari bahan liat yang dapat digunakan.
- 2.2 Katup harus dirancang untuk tekanan nominal PN 16.
- 2.3 Katup harus dipasang dalam posisi yang mudah diakses.
- 2.4 Katup tak kembali harus dipasang di jalur tekanan pompa.
- 2.5 Katup dalam pipa kembali harus dijamin dalam posisi terbuka.
- 2.6 Katup yang disegel dengan puputan logam (bellow) tertutup lebih diutamakan untuk digunakan.

3. Perpipaan

- 3.1 Pipa sesuai dengan [Tabel 11.1](#) atau [B.2.1](#) harus digunakan.
- 3.2 Material sendi penyegelan harus cocok untuk operasi permanen pada temperatur desain dan tahan terhadap minyak termal.
- 3.3 Ketentuan harus dibuat untuk ekspansi termal dengan tata letak pipa yang tepat dan penggunaan kompensator yang cocok.
- 3.4 Jalur pipa harus lebih diutamakan terhubung dengan cara pengelasan. Jumlah koneksi pipa yang dapat dilepas harus diminimalkan.
- 3.5 Peletakan pipa-pipa melalui akomodasi, ruang publik atau layanan tidak diizinkan.
- 3.6 Jalur pipa yang melewati ruang kargo harus dipasang sedemikian rupa sehingga mereka tidak dapat dirusak.
- 3.7 Penetrasi pipa melalui sekat dan geladak harus terisolasi terhadap konduksi panas kedalam sekat. Lihat juga [Bab 12.B.7](#).
- 3.8 Sarana pembuangan angin (dari udara apapun) harus disusun sedemikian rupa sehingga campuran minyak/udara akan terkuras dengan aman. Sekrup pembuangan tidak diizinkan.

3.9 Untuk pengaturan penyekatan pipa minyak termal, [G.3.4](#) berlaku dengan sesuai.

4. Tangki drainase dan penyimpanan

4.1 Tangki drainase dan penyimpanan harus dilengkapi dengan pipa udara dan pengurasan. Untuk tangki penyimpanan lihat juga [Bab 10.D](#).

4.2 Pipa udara untuk tangki drainase harus berujung di atas dek terbuka. Perangkat penutupan pipa udara lihat [R.1.3](#).

4.3 Saluran pengurasan harus dapat tertutup sendiri jika tangki terletak di atas dasar ganda.

5. Pengujian tekanan

Lihat [B.4](#).

6. Kekedapan dan pengujian operasional

Setelah instalasi, seluruh pengaturan harus menjalani pengujian kekedapan dan operasional di bawah pengawasan Surveyor BKI

R. Pipa Udara, Limpah, dan Duga

1. Umum

Peletakan pipa udara, limpah dan duga hanya diperbolehkan di tempat dimana peletakan sistem perpipaan yang terkait juga diizinkan, lihat [Tabel 11.5](#).

Untuk persyaratan kekuatan khusus yang berkaitan dengan alat kelengkapan dek, lihat [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec. 21.E, 5](#).

1.1 Pipa udara dan limpah

1.2 Pengaturan

1.2.1 Semua tangki, ruang kosong, dan lain-lain harus dipasang pada posisi tertinggi mereka dengan pipa udara atau pipa limpah. Pipa udara normalnya harus berujung di dek terbuka.

1.2.2 Pipa udara dan limpah harus diletakkan secara vertikal.

1.2.3 Pipa udara dan limpah yang melewati ruang kargo harus dilindungi dari kerusakan.

1.2.4 Untuk ketinggian di atas dek dari pipa udara/limpah dan keperluan lutut perlengkapan pada pipa udara, lihat [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec. 21.F](#).

Ketebalan dinding pipa udara di dek terbuka harus sesuai dengan [Tabel 11.20a](#) dan 20b.

1.2.5 Pipa udara dari tangki kebocoran minyak tanpa pemanasan dan tangki minyak pelumas dapat berujung pada posisi yang terlihat jelas di ruang mesin. Jika tangki ini merupakan bagian dari lambung kapal, pipa-pipa udara tersebut harus berakhir di atas dek *freeboard*, pada kapal penumpang di atas geladak sekat. Harus dipastikan bahwa tidak ada minyak bocor yang dapat menyebar ke permukaan panas dimana ia dapat menyala.

1.2.6 Pipa udara dari tangki minyak pelumas dan tangki minyak bocor yang berakhir pada ruang mesin harus dilengkapi dengan corong dan pipa untuk drainase yang aman pada saat kemungkinan terjadi limpahan.

1.2.7 Pada kapal kargo 500 GT keatas dan pada kapal penumpang, semua pipa udara dari tangki minyak pelumas yang berakhir di dek terbuka harus diatur sedemikian rupa sehingga jika pipa udara rusak, tidak secara langsung menyebabkan risiko masuknya air laut atau hujan.

1.2.8 Jika memungkinkan, pipa udara dari air umpan dan tangki distilasi seharusnya tidak memanjang ke dek terbuka.

1.2.9 Jika tangki ini merupakan bagian dari kulit kapal, pipa udara harus berakhir dalam selubung ruang mesin di atas dek freeboard, di kapal penumpang di atas dek sekat.

1.2.10 Pipa udara untuk koferdam dan ruang kosong dengan koneksi bilga harus diperpanjang sampai ke atas geladak terbuka sedangkan pada kapal penumpang di atas dek sekat.

1.2.11 Di kapal kargo 500 GT keatas dan pada semua kapal penumpang, pipa udara dari layanan bahan bakar dan tangki pengendapan yang berakhir pada dek terbuka harus diatur sedemikian rupa

Sehingga dalam hal sebuah pipa udara mengalami kerusakan, tidak secara langsung menyebabkan risiko masuknya dari air laut atau hujan, lihat juga [Bab 10.B.5.2](#).

1.2.12 Jika tangki layanan bahan bakar dilengkapi dengan pipa limpah ubah-ganti, perangkat ubah-ganti harus sedemikian rupa sehingga limpahan diarahkan ke salah satu tangki penyimpanan.

1.2.13 Pipa limpah dari tangki yang dapat berubah harus mampu dipisahkan dari sistem limpah bahan bakar.

1.2.14 Jika pipa udara dan limpah dari beberapa tangki yang terletak di kulit kapal mengarah ke jalur yang sama, koneksi ke jalur ini harus berada di atas dek freeboard, sedapat mungkin tapi sekurang-kurangnya begitu tinggi di atas garis muat terdalam dimana jika sebuah kebocoran terjadi di satu tangki karena kerusakan pada lambung atau kecondongan kapal, bahan bakar atau air tidak dapat mengalir ke tangki lain.

1.2.15 Pipa udara dan limpah dari tangki minyak pelumas dan bahan bakar tidak dapat mengarah ke jalur yang sama.

1.2.16 Untuk koneksi ke saluran umum, pipa-pipa udara dan limpah pada kapal dengan Karakter Klasifikasi  atau  lihat [D.9](#).

1.2.17 Untuk luas penampang pipa udara dan pipa udara/limpah, lihat [Tabel 11.18](#).

1.3 Jumlah pipa udara dan limpah

1.3.1 Jumlah dan susunan pipa udara harus disediakan sedemikian rupa sehingga tangki dapat diaerasi dan dideaerasi tanpa melebihi tekanan desain tangki dengan tekanan lebih atau kurang.

1.3.2 Tangki yang memanjang dari sisi ke sisi kapal harus dilengkapi dengan pipa udara/limpah di setiap sisi. Di ujung sempit tangki dasar ganda di bagian depan dan belakang kapal, satu pipa udara/limpah sudah mencukupi.

Tabel 11.18 Luas penampang pipa-pipa udara dan limpah

Sistem pengisian tangki		Luas penampang pipa udara dan limpah	
		AP	AOP
Mode pengisian	Tanpa limpahan	1/3 f per tangki	-
	Dengan Limpahan	-	1,25 f per tangki ¹⁾
Penjelasan catatan :			
AP = Pipa udara			
AOP = Pipa udara/limpah			
f = Luas penampang pipa pengisian tangki			
¹⁾ 1,25 f sebagai luas penampang total yang mencukupi jika dapat dibuktikan bahwa tahanan terhadap aliran pipa udara dan limpah termasuk perangkat penutupan pipa udara pada laju aliran yang diusulkan tidak dapat menyebabkan tekanan tinggi yang tidak dapat diterima dalam tangki jika terjadi limpahan			

1.4 Perangkat penutupan pipa udara

Pipa udara/limpah yang berakhir di atas dek terbuka harus dilengkapi dengan head pipa udara dari jenis yang disetujui.

Untuk mencegah pemblokiran bukaan head pipa udara oleh pengapung mereka sendiri selama pembersihan tangki, kecepatan udara maksimum yang diijinkan yang ditentukan oleh produsen harus ditaati.

1.5 Sistem limpah

1.5.1 Tangki air Balas

Bukti dengan perhitungan harus diberikan untuk sistem terkait sehingga pada kondisi operasi yang ditetapkan, tekanan desain pada semua tangki yang terhubung ke sistem limpah tidak dapat dilampaui.

1.5.2 Tangki bahan bakar minyak

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sistem limpah dari tangki minyak berat ditentukan dalam [Guidance for the Construction, Equipment and Testing of Closed Fuel Overflow Systems \(Pt.1, Vol.J\)](#).

1.5.3 Manifold pengumpul limpahan dari tangki bahan bakar harus diarahkan dengan gradien yang cukup ke tangki limpah dengan kapasitas yang cukup.

Tangki limpah harus dilengkapi dengan sebuah alarm level yang beroperasi saat tangki terisi sekitar 1/3 bagian.

1.5.4 Untuk ukuran pipa udara dan limpah, lihat [Tabel 11.19](#).

1.5.5 Penggunaan tangki penyimpanan bahan bakar sebagai tangki limpah diizinkan, tetapi membutuhkan instalasi alarm level tinggi dan pipa udara dengan 1,25 kali luas penampang dari jalur bunker utama.

1.6 Penentuan luas penampang pipa

1.6.1 Untuk luas penampang pipa-pipa udara dan limpah, lihat [Tabel 11.18](#) dan [11.19](#). Pipa udara dan limpah harus memiliki diameter luar minimal 60,3 mm.

Tabel 11.19 Luas penampang pipa udara dan limpah (sistem limpah tertutup)

Pengisian Tangki dan sistem limpah		Luas penampang pipa udara dan limpah			Keterangan
		AP	OP ²⁾	DP	
Pengisian	Pipa tegak	1/3 f	-	-	Luas penampang dari pipa tegak $\geq 1,25 F$
	Katup pembebas	1/3 f ¹⁾	Min 1,25 F	-	Luas penampang dari katup $\geq 1,25 F$
Sistem limpah	Kotak limpah	1/3 F pada kotak	Min 1,25 F	1,25 F	-
	Manifold	1/3 F	Min 1,25 F	-	-
	Tangki limpah	1/3 F	-	-	-

Penjelasannya:

AP = Pipa udara
OP = Pipa limpah
DP = Jalur drainase
f = Luas penampang pipa pengisian tangki
F = Luas penampang pipa pengisian utama
¹⁾ 1/3 f hanya untuk tangki di mana limpahan dicegah dengan pengaturan struktural.
²⁾ Ditentukan sesuai dengan 1.4

Di kapal dengan panjang ≥ 80 m pada kuarter depan, hanya pipa-pipa udara/limpah dengan diameter luar $\geq 76,1$ mm yang dapat digunakan, lihat juga [Rules for Hull \(Pt.1, Vol. II\) Sec. 21](#)

1.6.2 Daerah penampang yang jelas dari pipa udara pada kapal penumpang dengan pengaturan banjir silang harus cukup besar sehingga air dapat lewat dari satu sisi kapal yang lain dalam waktu 15 menit, lihat juga [P.3](#).

1.7 Ketebalan dinding minimum sebuah pipa udara limpah harus sesuai dengan [Tabel 11.20a](#) dan [11.20b](#), dimana A, B dan C adalah kelompok untuk ketebalan dinding minimum.

1.8 Material pipa harus dipilih sesuai [B](#).

2. Pipa duga

2.1 Umum

2.1.1 Pipa duga harus tersedia untuk tangki, koferdam dan ruang kosong dengan koneksi bilga dan untuk bilga dan sumur bilga di ruang yang tidak dapat diakses setiap saat.

Pada penerapannya, penyediaan pipa duga untuk sumur bilga di ruang yang dapat diakses secara permanen dapat ditiadakan.

2.1.2 Jika tangki dilengkapi dengan indikator level jarak jauh dari jenis yang disetujui oleh BKI, pengaturan pipa duga dapat ditiadakan.

2.1.3 Sejauh mungkin, pipa duga harus diletakkan dengan lurus dan harus memanjang sedekat mungkin ke bawah.

2.1.4 Pipa duga yang berakhir di bawah garis muat terdalam harus dilengkapi dengan perangkat penyetop yang menutup sendiri. Pipa duga seperti itu hanya diperbolehkan di ruang yang dapat diakses setiap saat.

Semua pipa-pipa duga lain harus diperpanjang sampai ke dek terbuka. Bukaan pipa duga harus selalu dapat diakses dan dilengkapi dengan penutupan kedap air.

Tabel 11.20a Klasifikasi kelompok ketebalan minimum dinding

Sistem perpipaan atau posisi dari outlet pipa terbuka	Lokasi							
	Tangki dengan media yang sama	Tangki dengan media yang berbeda	Jalur pengurasan dan Pipa pembuangan		Pipa udara, duga dan Limpah		Ruang kargo	Ruang mesin
			dibawah dek freeboard atau dek sekat	Diatas dek freeboard	Diatas dek cuaca	Dibawah dek cuaca		
Pipa udara, limpah dan duga	A	C	-	-	-	C	A	A
Pipa pembuangan dari dek terbuka		B	-	A	A	-	-	B
Pipa pembersihan dan Pipa pembuangan yang mengarah langsung ke laut			A		-			
Pipa pembuangan Pompa untuk sistem Sanitasi			-		A			

Tabel 11.20b Ketebalan minimum dinding pipa udara, limpah, duga dan sanitasi

Diameter pipa luar d_a [mm]	Ketebalan minimum dinding [mm]		
	A ¹⁾	B ¹⁾	C ¹⁾
38 – 82,5	4,5	7,1	6,3
88,9	4,5	8	6,3
101,6 – 114,3	4,5	8	7,1
127 – 139,7	4,5	8,8	8
152,4	4,5	10	8,8
159 – 177,8	5	10	8,8
193,7	5,4	12,5	8,8
219,1	5,9	12,5	8,8
244,5 – 457,2	6,3	12,5	8,8

¹⁾ Kelompok ketebalan dinding, lihat Tabel 11.20a

2.1.5 Pipa duga tangki harus disediakan dekat dengan bagian atas tangki yang berlubang untuk meyamakan tekanan.

2.1.6 Dalam ruang kargo, sebuah pipa duga harus dipasang pada setiap sumur bilga.

2.1.7 Jika alarm level diatur dalam setiap sumur bilga dari ruang kargo, pipa duga dapat ditiadakan. Alarm level harus terpisah satu sama lain dan harus dari jenis yang disetujui oleh BKI⁸.

2.1.8 Dalam ruang kargo, yang dilengkapi dengan penutup palka tak kedap cuaca, 2 alarm level harus disediakan di setiap kargo, terlepas apakah pipa duga dipasang atau tidak. Alarm level harus independen satu sama lain dan dari jenis yang disetujui oleh BKI.

2.1.9 Pipa duga yang melewati ruang kargo harus diletakkan di ruang yang terlindungi atau mereka harus dilindungi terhadap kerusakan.

2.2 Pipa-pipa duga untuk tangki bahan bakar, minyak termal dan minyak pelumas

2.2.1 Pipa duga yang berakhir di bawah dek terbuka harus dilengkapi dengan perangkat tertutup sendiri serta dengan katup uji menutup sendiri, lihat juga [Bab 10.B.3.3.7](#).

2.2.2 Pipa duga tidak dapat berada di sekitar peralatan berbahaya bakar minyak, komponen mesin dengan temperatur permukaan yang tinggi atau peralatan listrik

2.2.3 Pipa duga tidak boleh berakhir di ruang akomodasi atau layanan.

2.2.4 Pipa duga tidak boleh digunakan sebagai pipa pengisian.

2.3 Penampang pipa

2.3.1 Pipa-pipa duga harus memiliki diameter dalam sekurang-kurangnya 32 mm.

2.3.2 Diameter pipa-pipa duga yang melewati ruang muat yang didinginkan pada temperatur di bawah 0 °C harus ditingkatkan menjadi diameter dalam 50 mm.

2.3.3 Ketebalan dinding minimal pipa duga harus sesuai dengan [Tabel 11.20a](#) dan [11.20b](#).

2.3.4 Untuk bahan pipa lihat [B](#).

S. Sistem Air Minum⁸

1. Tangki air minum

1.1 Untuk desain dan pengaturan tangki air minum, lihat [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec. 12](#).

1.2 Pada kapal dengan kelas es **ES1** dan tangki air minum yang lebih tinggi yang terletak di sisi kapal di atas permukaan air Balas harus dilengkapi dengan sarana untuk pemanasan tangki untuk mencegah pembekuan.

2. Koneksi tangki air minum

2.1 Koneksi pengisian harus terletak cukup tinggi diatas dek dan harus dilengkapi dengan perangkat penutupan.

2.1.1 Koneksi pengisian tidak boleh dipasang ke pipa udara.

2.2 Pipa udara/limpah harus diperpanjang sampai ke atas dek terbuka dan harus dilindungi dari masuknya serangga dengan saringan kawat.

⁸ Peraturan nasional, jika ada, harus dipertimbangkan

Perangkat penutupan pipa udara, lihat [R.1.3](#).

2.3 Pipa duga harus berakhir cukup tinggi diatas dek.

3. Saluran pipa air minum

3.1 Jalur pipa air minum harus tidak terhubung ke jalur pipa yang membawa media lainnya.

3.2 Jalur pipa air minum harus tidak diletakkan melalui tangki yang tidak mengandung air minum.

3.3 Penyediaan air minum ke tangki yang tidak mengandung air minum (misalnya tangki ekspansi sistem pendingin air tawar) harus dibuat dengan menggunakan sebuah corong terbuka atau dengan menggunakan sarana untuk mencegah aliran balik.

4. Tangki/calorifier air bertekanan

Untuk desain, peralatan, instalasi dan pengujian tangki air bertekanan dan calorifier, [Bab 8.A. dan E.](#) harus ditaati.

5. Pompa air minum

5.1 Pompa air minum terpisah harus disediakan untuk sistem air minum.

5.2 Jalur tekanan pompa dari tangki tekan air minum harus dilengkapi dengan katup tak kembali ulir bawah.

6. Produksi Air Minum

Jika distilat yang dihasilkan oleh unit evaporator kapal sendiri digunakan untuk penyediaan air minum, Pengolahan distilat harus mematuhi peraturan yang berlaku dari otoritas kesehatan nasional.

T. Sistem Limbah

1. Umum

1.1 Kapal 400 GT keatas dan kapal kurang dari 400 GT yang disertifikasi untuk membawa lebih dari 15 orang harus dilengkapi dengan peralatan sebagai berikut:

- 1) sebuah perangkat pengolahan limbah yang disetujui sesuai dengan Resolusi MEPC. 159 (55) atau
- 2) sebuah sistem peengurai dan desinfeksi limbah (fasilitas untuk penyimpanan sementara limbah ketika kapal kurang dari 3 mil laut dari daratan terdekat, harus disediakan), atau
- 3) tangki pengumpul limbah

1.2 Sebuah pipa untuk pembuangan limbah ke fasilitas penerimaan harus diatur. Jalur pipa harus dilengkapi dengan koneksi pembuangan standar.

1.3 Tangki penampungan harus memiliki sarana untuk menunjukkan isi tangki secara visual. Hanya menggunakan pipa duga saja tidak memenuhi persyaratan di atas.

2. Pengaturan

2.1 Untuk pembersihan dan pembuangan ke laut lihat [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol.II\), Sec. 21.E.](#)

2.2 Ketebalan dinding minimum pipa sanitasi yang mengarah langsung keluar kapal di bawah freeboard dan sekat geladak ditentukan dalam [Tabel 11.20a](#) dan [11.20b](#).

2.3 Untuk jalur pembuangan di atas dek freeboard/dek sekat, pipa berikut dapat digunakan:

- 1) pipa baja menurut [Tabel 11.6](#), Grup N
- 2) pipa yang memiliki ketebalan yang lebih kecil jika dilindungi khusus terhadap korosi, dengan persetujuan khusus
- 3) jenis khusus dari pipa sesuai dengan standar yang diakui, misalnya pipa soket, dengan persetujuan khusus

2.4 Untuk jalur pembuangan sanitasi di bawah dek freeboard/dek sekat dalam kompartemen kedap air, yang berakhir pada tangki limbah atau di perangkat pengolahan sanitasi, pipa-pipa menurut 2.3 dapat digunakan.

2.5 Penetrasi pipa dengan ketebalan yang lebih kecil, pipa jenis khusus dan pipa plastik melalui sekat tipe A harus dari jenis yang disetujui oleh BKI.

2.6 Jika pipa pembuangan sanitasi diarahkan melalui ruang kargo, mereka harus dilindungi terhadap kerusakan oleh kargo.

2.7 Tangki limbah dan sistem pengolahan limbah

2.7.1 Tangki limbah harus dilengkapi dengan pipa udara yang mengarah ke dek terbuka. Untuk perangkat penutupan pipa udara lihat [R.1.3](#).

2.7.2 Tangki limbah harus dilengkapi dengan sebuah koneksi pengisian, sebuah koneksi pembilasan dan sebuah alarm level.

2.7.3 Jalur pembuangan tangki limbah dan tangki pengolahan limbah harus dipasang di sisi kapal dengan katup tak kembali ulir bawah.

Ketika katup tidak diatur secara langsung di sisi kapal, ketebalan pipa harus sesuai dengan [Tabel 11.20b](#), kolom B.

2.7.4 Sebuah cara kedua perlindungan dari aliran balik harus dipasang di jalur hisap atau pengiriman pompa limbah dari tangki limbah atau perangkat pengolahan limbah jika, dalam hal terjadi kemiringan 5° ke port atau starboard, pembukaan internal yang terendah dari sistem buang kurang dari 200 mm di atas garis muat musim panas⁹.

Cara kedua perlindungan terhadap aliran balik tersebut dapat berupa loop pipa yang memiliki ketinggian limpah di atas garis muat musim panas minimal 200 mm pada kemiringan 5°. Loop pipa harus dilengkapi dengan perangkat ventilasi otomatis yang terletak pada 45 ° di bawah puncak loop.

2.7.5 Jika pada kecondongan kapal dari 5° ke port atau starboard, bukaan dalam terendah dari sistem pembuangan limbah terletak pada garis muat musim panas atau di bawahnya, jalur pembuangan dari tangki pengumpul limbah harus dipasang sebagai tambahan perangkat perlindungan aliran balik yang diperlukan menurut [2.7.4](#) dengan katup gerbang langsung pada pelat kulit. Dalam hal ini perangkat perlindungan aliran balik tidak perlu dari tipe ulir bawah.

2.7.6 Pompa Balas dan bilga tidak dapat digunakan untuk mengosongkan tangki limbah.

⁹ Ketika pengaturan pengolahan sanitasi dilengkapi dengan pengurusan darurat ke bilga atau dengan bukaan untuk material kimia, hal ini akan dianggap sebagai bukaan dalam dalam pengertian persyaratan ini.

3. Peraturan tambahan untuk kapal dengan karakter klasifikasi atau

3.1 Pengaturan sanitasi dan jalur pembuangan mereka harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga jika terjadi kerusakan pada satu kompartemen, tidak ada kompartemen lain yang dapat mengalami banjir.

3.2 Jika kondisi ini tidak dapat dipenuhi, misalnya ketika:

- 1) Kompartemen kedap air yang terhubung satu sama lain melalui bukaan internal dari jalur pembuangan sanitasi, atau
- 2) jalur pembuangan sanitasi dari beberapa kompartemen kedap air diarahkan ke tangki saluran umum, atau
- 3) bagian dari sistem pembuangan sanitasi berada dalam zona kerusakan (lihat D.9.) dan bagian ini terhubung ke kompartemen lain dengan bukaan internal

Kekedapan air harus dipastikan dengan menggunakan perangkat penyetop yang dikendalikan jarak jauh pada sekat kedap air.

Pengoperasian perangkat penyetop harus memungkinkan dari posisi yang selalu dapat diakses di atas dek sekat pada kapal penumpang dan diatas jalur air bocor yang tidak cocok pada kapal lainnya. Posisi perangkat penyetop harus dipantau di posisi kontrol jarak jauh.

3.3 Ketika bukaan dalam terendah sistem pembuangan sanitasi berada di bawah dek sekat, sebuah katup tak kembali ulir bawah dan sebuah perangkat perlindungan aliran balik kedua harus dipasang di jalur buang dari pengaturan pengolahan air sanitasi. Dalam hal ini, jalur pembuangan dari tangki pengumpul sanitasi harus dilengkapi dengan katup gerbang dan dua perangkat perlindungan aliran balik. Berkaitan dengan perangkat penyetop dan perangkat proteksi aliran balik, 2.7.3, 2.7.4 dan 2.7.5 harus diterapkan.

U. Rakitan Selang dan Kompensator

1. Ruang Lingkup

1.1 Persyaratan berikut berlaku untuk rakitan selang dan kompensator yang terbuat dari material non logam dan logam.

1.1.1 Rakitan selang dan kompensator yang terbuat dari material non-logam dan logam dapat digunakan sesuai dengan kecocokan mereka dalam sistem bahan bakar, minyak pelumas, minyak hidrolik, bilga, Balas, pendingin air tawar, pendingin air laut, pemadam kebakaran, udara terkompresi, bantu uap bantu¹⁰ (pipa Kelas III) gas buang dan minyak termal serta dalam sistem perpipaan sekunder.

1.2 Rakitan selang dan kompensator yang terbuat dari material non-logam tidak diizinkan di jalur udara awal yang bertekanan secara permanen dari mesin diesel. Selain itu tidak diizinkan untuk menggunakan rakitan selang dan kompensator dalam sistem injeksi bahan bakar pipa tekanan tinggi dari mesin pembakaran.

1.3 Kompensator yang terbuat dari material non-logam yang tidak disetujui untuk digunakan dalam jalur kargo kapal tangki.

2. Definisi

Rakitan selang terdiri dari selang logam atau non-logam yang dilengkapi dengan alat kelengkapan akhirnya yang siap untuk instalasi. Kompensator terdiri dari bellow dengan alat kelengkapan akhirnya

¹⁰ Hanya rakitan selang logam dan kompensator

serta jangkar untuk penyerapan beban aksial dimana fleksibilitas sudut atau lateral harus dipastikan. Alat kelengkapan akhir dapat berupa flensa, ujung pengelasan atau penyatuhan pipa yang disetujui.

Tekanan ledak (*burst pressure*) adalah tekanan statis internal dimana sebuah rakitan selang atau kompensator akan hancur.

2.1 Rakitan selang tekanan tinggi yang terbuat dari material non-logam

Rakitan selang yang cocok untuk digunakan dalam sistem dengan karakteristik beban dinamis yang berbeda.

2.2 Rakitan selang tekanan rendah dan kompensator yang terbuat dari material non-logam

Rakitan selang atau kompensator yang cocok untuk digunakan dalam sistem dengan karakteristik beban statis dominan.

2.3 Tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan juga tekanan nominal dari rakitan selang dan kompensator yang terbuat dari material non logam

2.3.1 Tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari tekanan tinggi rakitan selang adalah tekanan internal dinamis maksimum yang diizinkan untuk dikenakan pada komponen.

2.3.2 Tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan juga nominal tekanan untuk rakitan selang tekanan rendah dan kompensator adalah tekanan internal statis maksimum yang diizinkan untuk dikenakan pada komponen.

2.4 Tekanan uji

2.4.1 Untuk rakitan selang tekanan tinggi non-logam, tekanan tes adalah 2 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan.

2.4.2 Untuk rakitan selang tekanan rendah non-logam dan kompensator, tekanan uji adalah 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan juga tekanan nominal.

2.4.3 Untuk rakitan selang logam dan kompensator tekanan uji adalah 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan dan juga tekanan nominal.

2.5 Tekanan ledak

Untuk rakitan selang non-logam serta logam dan kompensator, tekanan ledak Sekurang-kurangnya 4 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan atau tekanan nominal. Dikecualikan di sini dari yang rakitan selang non logam dan kompensator dengan tekanan kerja maksimum yang diijinkan atau tekanan nominal tidak lebih dari 20 bar. Untuk komponen seperti itu, tekanan ledakan harus minimal 3 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan atau tekanan nominal.

Untuk rakitan selang dan kompensator dalam proses dan pipa kargo untuk gas dan kapal tangki kimia, tekanan ledak diperlukan Sekurang-kurangnya 5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan atau tekanan nominal.

3. Persyaratan

3.1 Kompensator dan rakitan selang (selang dan alat kelengkapan akhir selang) yang digunakan dalam sistem yang disebutkan di [U.1.1.1](#) harus dari tipe yang disetujui¹¹.

¹¹ Lihat [Guidance for the Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#).

3.2 Produsen rakitan selang dan kompensator¹² harus diakui oleh BKI. Untuk produksi rakitan selang dan kompensator yang dimaksudkan untuk dipasang secara massal menghasilkan mesin dengan diameter piston sampai 300 mm, prosedur yang ditetapkan dalam Peraturan untuk Produksi Massal Mesin dapat diterapkan

3.3 Rakitan selang dan kompensator termasuk kopling mereka harus sesuai untuk media, tekanan dan temperatur dimana mereka dirancang.

3.4 Pemilihan rakitan selang dan kompensator harus didasarkan pada tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari sistem yang bersangkutan.

3.5 Rakitan selang dan kompensator untuk digunakan pada sistem bahan bakar, minyak pelumas, minyak hidrolik, bilga dan air laut harus tahan api¹². Rakitan selang dan kompensator dari material bukan logam yang ditujukan untuk sistem perpipaan dari muatan mudah terbakar (Seperti bahan bakar, minyak pelumas, minyak hidraulik, dan lainnya) dan sistem air laut dimana kegagalan akan berakibat pada kebanjiran (Seperti bilga, balas, dan lainnya) harus dari material tahan api¹³ kecuali pada kasus selang yang dipasang pada geladak terbuka, sesuai dengan definisi dalam peraturan Regulation 9.2.3.3.2.2(10) of SOLAS Chapter II-2 as amended by IMO resolutions up to MSC.421(98) dan tidak digunakan untuk jalur bahan bakar. Ketahanan api harus di tunjukan melalui pengujian sesuai dengan ISO 15540:2016 and ISO 15541:2016.

3.6 Selang dan kompensator yang terbuat dari material karet, dan digunakan pada bilga, balas, udara bertekanan, bahan bakar, minyak pelumas, hidraulik, dan sistem minyak pemanas harus terdiri dari gabungan satu, ganda, atau lebih yang mendekati atau seperti kawat integral atau material lain yang sejenis.

Selang dan kompensator dari material plastic untuk tujuan yang sama seperti Teflon atau nilon, dimana material tersebut tidak mampu diperkuat dengan menggabungkan anyaman erat jalinan kawat integral harus memiliki tulangan bahan yang sesuai sejauh dapat dipraktikkan.

Selang dan kompensator dari material karet atau plastik akan digunakan dalam jalur suplai minyak ke pembakar, selang tersebut harus memiliki pelindung jalinan kawat eksternal selain tulangan yang disebutkan di atas. Selang fleksibel dan kompensator untuk digunakan dalam sistem uap harus dari konstruksi logam.

3.7 Selang dan kompensator harus dilengkapi dengan fitting ujung yang disetujui sesuai dengan spesifikasi pabrikan. Sambungan ujung yang tidak memiliki flensa harus memenuhi [D.2.5](#) sebagaimana berlaku dan setiap jenis kombinasi selang/pemasangan harus menjalani pengujian prototipe dengan standar yang sama seperti yang dipersyaratkan oleh selang dengan acuan khusus pada pengujian tekanan dan impuls.

3.8 Penggunaan klem selang dan jenis sambungan ujung serupa tidak dapat diterima untuk selang fleksibel dan kompensator dalam sistem perpipaan untuk uap, fluida yang mudah terbakar, sistem udara start atau untuk sistem air laut di mana kegagalan dapat mengakibatkan banjir. Dalam sistem perpipaan lain, penggunaan klem selang dapat diterima di mana tekanan kerja kurang dari 5 bar dan asalkan ada klem ganda di setiap sambungan ujung.

3.9 Rakitan selang dan kompensator yang dimaksudkan untuk pemasangan dalam sistem perpipaan di mana pulsa tekanan dan/atau getaran tingkat tinggi diharapkan terjadi dalam pelayanan, harus dirancang untuk tekanan puncak impuls maksimum yang diharapkan dan gaya akibat getaran. Pengujian

¹² Lihat [Guidance for the Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#) untuk Rakitan Selang dan Kompensator.

¹³ Lihat [Guidance for the Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#) untuk Rakitan Selang dan Kompensator.

yang disyaratkan pada [5](#) harus mempertimbangkan tekanan maksimum yang diantisipasi dalam pelayanan, frekuensi getaran dan gaya akibat pemasangan.

3.10 Rakitan selang dan kompensator harus dipilih untuk lokasi dan aplikasi yang dimaksudkan dengan mempertimbangkan kondisi sekitar, kompatibilitas dengan cairan di bawah tekanan kerja dan kondisi temperatur yang sesuai dengan instruksi pabrik dan persyaratan BKI.

4. Instalasi

4.1 Rakitan selang dan kompensator hanya dapat digunakan di lokasi dimana mereka diperlukan untuk kompensasi gerakan relatif. Mereka harus tetap dijaga sependek mungkin di bawah pertimbangan instruksi instalasi produsen selang. Jumlah rakitan selang dan kompensator harus dijaga tetap minimum.

4.2 Radius minimum bengkokan rakitan selang yang dipasang harus tidak kurang dari yang ditentukan oleh produsen.

4.3 Rakitan selang non-logam dan kompensator harus berada di posisi yang terlihat dan dapat diakses.

4.4 Dalam sistem air tawar dengan tekanan kerja \leq 5 bar dan dalam jalur pengisian dan pembilasan udara, selang dapat diikat ke ujung pipa dengan klip ganda.

4.5 Rakitan selang non-logam dan kompensator yang dipasang di sekitar komponen panas, mereka harus dilengkapi dengan lengan perlindungan panas dari jenis yang disetujui. Dalam kasus cairan yang mudah terbakar, lengan perlindungan panas harus diterapkan sedemikian rupa sehingga dalam kasus kebocoran selang atau alat kelengkapan akhir semprotan minyak pada permukaan yang panas tidak dapat terjadi.

4.6 Rakitan selang dan kompensator yang menyalurkan cairan yang mudah terbakar yang berada di dekat permukaan yang dipanaskan harus disaring atau dilindungi secara analog dengan [G.3.4.](#) untuk kompensasi gerakan relatif. Mereka harus tetap dijaga sependek mungkin di bawah pertimbangan instruksi instalasi produsen selang. Jumlah rakitan selang dan kompensator harus dijaga tetap minimum.

5. Uji

5.1 Rakitan selang dan kompensator harus menjalani tes tekanan di bengkel produsen sesuai dengan [2.4](#) di bawah pengawasan BKI. Untuk pengujian rakitan selang dan kompensator yang dimaksudkan untuk dipasang pada mesin yang diproduksi secara massal dengan diameter piston hingga 300 mm, prosedur yang ditetapkan dalam [Guidance for The Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\)](#) dapat diterapkan.

5.2 Untuk kompensator yang dimaksudkan untuk digunakan dalam pipa gas buang, tes tekanan sesuai [5.1](#) dapat dihilangkan.

6. Penandaan rakitan selang dan kompensator

Rakitan selang dan kompensator harus ditandai secara permanen untuk memastikan ketertelusuran ke produsen selang perakitan, tanggal produksi dan jenis produk. Ruang lingkup penandaan harus sebagai berikut:

- 1) tanda produsen
- 2) tanggal pembuatan (bulan/tahun)
- 3) jenis produk sesuai dengan sertifikat persetujuan tipe
- 4) diameter nominal
- 5) tekanan kerja maksimum atau tekanan nominal yang diijinkan

- 6) temperatur kerja maksimal yang diijinkan

Atau:

- 1) Nomor sertifikat uji BKI
- 2) tekanan kerja maksimum yang diijinkan

7. Selang kapal kargo

7.1 Selang kapal kargo untuk penanganan kargo di kapal tangki kimia dan kapal tangki gas harus dari jenis yang disetujui¹².

Pemasangan alat kelengkapan akhir hanya dapat dilakukan oleh produsen yang disetujui¹³.

7.2 Selang kapal kargo harus menjalani pemeriksaan akhir di tempat produsen di bawah pengawasan Surveyor BKI sebagai berikut:

- 1) Inspeksi visual
- 2) Uji tekanan hidrostatik dengan 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan atau 1,5 kali tekanan nominal. Tekanan nominal harus Sekurang-kurangnya 10 bar.
- 3) Pengukuran hambatan listrik antara alat kelengkapan akhir. Hambatan tidak boleh melebihi 1 kΩ dan dalam hal tes yang diulang tidak boleh lebih besar dari $1.10^6 \Omega$

7.3 Selang kargo pada kapal tangki gas sebagai tambahan tunduk pada [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol.IX\) Sec. 5 & 7](#).

7.4 Selang kargo pada kapal tangki kimia sebagai tambahan tunduk pada [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk \(Pt.1, Vo.X\) Sec. 5 & 7](#).

7.5 Penandaan

Rakitan selang kapal kargo harus ditandai secara permanen untuk memastikan ketertelusuran terhadap produsen selang perakitan, tanggal produksi dan jenis produk. Ruang lingkup harus sebagai berikut:

- 1) Tanda produsen
- 2) Nomor Sertifikat Uji BKI
- 3) Tekanan tes
- 4) Bulan – stempel BKI – tahun
- 5) Diameter nominal

Bab 12 Proteksi Kebakaran dan Peralatan Pemadam Kebakaran

A.	Umum.....	12-1
B.	Perlindungan Kebakaran	12-3
C.	Deteksi Kebakaran.....	12-8
D.	Lingkup Peralatan Pemadam Kebakaran.....	12-11
E.	Peralatan pemadam kebakaran air umum (Pemadam Kebakaran dan Sistem Pembersih Geladak)	12-14
F.	Alat Pemadam Kebakaran Portabel dan Bergerak, Portabel aplikator <i>Foam</i> dan aplikator kabut air.....	12-21
G.	Sistem Pemadam Kebakaran CO ₂ Tekanan Tinggi	12-26
H.	Sistem Pemadam Kebakaran CO ₂ Tekanan Rendah.....	12-35
I.	Sistem pemadam kebakaran gas menggunakan gas selain CO ₂ untuk ruang mesin dan kamar-pompa kargo	12-37
J.	Sistem Pemadam Kebakaran Lainnya.....	12-43
K.	Sistem Pemadam Kebakaran <i>Foam</i>	12-43
L.	Sistem Penyemprotan Air Bertekanan	12-45
M.	Sistem Pemadam Kebakaran Untuk Loker Cat, Loker Cairan Mudah Terbakar, Saluran Buang Dapur dan Peralatan Masak Deep-Fat.....	12-52
N.	Insinerator limbah.....	12-53
O.	Peralatan Pemadam Kebakaran untuk Geladak Pendaratan Helikopter.....	12-53
P.	Peralatan untuk Transportasi Muatan Berbahaya	12-55
Q.	Pengangkutan Kargo Curah Padat	12-69

A. Umum

1. Lingkup

1.1 Persyaratan pada bagian ini berlaku untuk perlindungan terhadap kebakaran dalam ruang mesin dan boiler untuk kapal penumpang dan kargo dan peralatan pemadam kebakaran seluruh kapal.

1.2 Kapal pemadam kebakaran dimana notasi "FF" akan ditentukan juga harus memenuhi [Guidance on Fire Fighting Ship \(Pt.4, Vol.C\)](#).

2. Dokumen untuk persetujuan

Rencana-rencana diagram, gambar-gambar dan dokumen-dokumen yang meliputi hal-hal berikut ini harus dikirimkan. Untuk memfasilitasi proses persetujuan yang lancar dan efisien, Gambar-gambar dapat dikirimkan dalam format elektronik.

- peralatan pemadam kebakaran air, termasuk rincian dari kapasitas dan head tekanan dari pompa kebakaran dan perhitungan hidrolik tekanan minimum pada nosel selang kebakaran yang ditentukan dalam [Tabel 12.3](#)
- CO₂ atau system pemadam kebakaran gas alternatif dengan gambar umum, diagram operasi, ruang CO₂, perangkat pemicuan, diagram alarm, perhitungan, formulir BKI, instruksi pengoperasian.
- sistem pemadam kebakaran dengan foam, termasuk gambar-gambar dari tangki penyimpanan untuk konsentrasi foam, monitor, generator foam dan aplikator foam dan perhitungan serta rincian yang berkaitan dengan suplai konsentrasi foam
- sistem penyemprot air bertekanan, otomatis, termasuk gambar untuk tangki air bertekanan, nosel semprot dan alarm, dengan perhitungannya

- sistem penyemprot air bertekanan, dioperasikan secara manual, termasuk perhitungan kebutuhan air dan penurunan tekanan, nosel semprot, *remote control*
- untuk sistem penyemprot air bertekanan di geladak pada Ro-Ro / ruang kategori khusus, juga bukti dokumentasi dari sistem drainase air
- sistem penyemprot air bertekanan untuk pemanas minyak termal berbahar bakar gas buang, termasuk gambar dari pemanas yang menunjukkan perencanaan nosel semprot dan diagram dan perhitungan suplai air dan drainase
- sistem pemadam kebakaran dengan *powder*, termasuk *powder vessel*, wadah *propellant* dan perhitungan yang relevan,
- peralatan pemadam kebakaran untuk saluran pembuangan dari ruang dapur dan peralatan memasak *deep-fat*
- perencanaan pemadam kebakaran lokal yang tetap pada pemurni bahan bakar minyak untuk bahan bakar minyak yang dipanaskan
- aplikasi sistem pemadam kebakaran lokal yang tetap untuk ruang permesinan kategori A
- untuk kapal penumpang: perencanaan detektor asap dan titik panggilan yang dioperasikan secara manual di ruang penumpang termasuk ruang servis, termasuk di ruang mesin dan ruang muat.
- untuk perencanaan pada pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan sesuai Kelas Notasi **DG**, lihat [P.1.2](#)
- untuk perencanaan pada pengangkutan barang berbahaya yang padat dalam bentuk curah sesuai dengan Kelas Notasi **DG** dan **DBC**, lihat [Q.1.2](#)

3. Referensi untuk Rules yang terkait

- 3.1 Proteksi kebakaran struktural, [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#), Sec.22.
- 3.2 Kapal Curah Pengangkut Gas Cair, [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol. IX\)](#).
- 3.3 Kapal Curah pengangkut bahan kimia berbahaya, [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk \(Pt.1, Vol.X\)](#).
- 3.4 Bejana Tekan [Bab 8](#)
- 3.5 Peralatan pembakaran minyak [Bab 9](#)
- 3.6 Tangki Penyimpanan Bahan bakar dan minyak [Bab 10](#)
- 3.7 Pipa, katup, fitting dan pompa [Bab 11](#)
- 3.8 Permesinan untuk kapal dengan klas es [Bab 11.I.2](#)
- 3.9 Proteksi kebakaran dan peralatan pemadam kebakaran tambahan dalam sistem otomatis, [Rules for Automation \(Pt.1, Vol. VII\)](#)
- 3.10 Perangkat Listrik, [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol. IV\)](#).
- 3.11 Peralatan kapal pemadam kebakaran, [Guidance on Fire Fighting Ship \(Pt.4, Vol.C\)](#).

4. Desain alternatif dan perencanaan

Desain dan perencanaan keselamatan kebakaran dapat berbeda dari peraturan preskriptif pada Bab ini. Dengan ketentuan desain dan perencanaan tersebut memenuhi tujuan keselamatan kebakaran dan kebutuhan fungsional yang dipersyaratkan¹

B. Perlindungan Kebakaran

1. Perencanaan ruang mesin

1.1 Perencanaan ruangan mesin harus sedemikian rupa sehingga penyimpanan dan penanganan terhadap cairan yang mudah terbakar dapat dipastikan aman.

1.2 Semua ruangan dimana terletak mesin pembakaran dalam, pembakaran minyak atau tangki pengendap bahan bakar atau tangki servis, ditempatkan dilokasi yang mudah untuk diakses dan dilengkapi ventilasi yang cukup.

1.3 Ketika kebocoran cairan yang mudah terbakar dapat terjadi selama operasi atau pekerjaan pemeliharaan rutin, tindakan pencegahan khusus harus diambil untuk mencegah terjadinya cairan tersebut kontak dengan sumber pengapian.

1.4 Material yang digunakan dalam ruangan mesin normalnya tidak memiliki sifat yang akan meningkatkan potensi kebakaran pada ruangan tersebut.

1.5 Material yang digunakan sebagai lantai, pelapis sekat kedap, langit-langit atau geladak di ruang kontrol, ruangan mesin atau ruangan dengan tangki minyak harus yang tidak mudah terbakar. Ketika ada bahaya bahwa minyak dapat menembus bahan isolasi, bahan tersebut harus dilindungi terhadap penetrasi minyak atau uap minyak.

1.6 Untuk memastikan penerapan standar instalasi dan konstruksi standar dan menjaga kehati-hatian untuk mencegah terjadinya kebakaran selama perakitan, inspeksi dan perawatan, referensi dibuat pada pedoman untuk langkah-langkah dalam mencegah kebakaran di ruangan mesin dan ruangan pompa kargo seperti yang diatur dalam MSC.1 / Circ.1321.

1.7 Persyaratan berikut berlaku untuk kisi-kisi ventilasi pada ruangan generator darurat dan untuk peralatan penutupan yang terpasang pada ventilator yang melayani ruangan generator darurat:

1.7.1 Kisi-kisi ventilasi dan peralatan penutupan dapat dioperasikan dengan tangan atau dioperasikan dengan daya (hidrolik/pneumatik/listrik) dan dapat dioperasikan pada kondisi kebakaran.

1.7.2 Kisi-kisi ventilasi dan peralatan penutup yang dioperasikan dengan tangan harus tetap terbuka selama pengoperasian normal kapal. Pelat instruksi yang sesuai harus disediakan di lokasi dimana terdapat pengoperasian tangan.

1.7.3 Kisi-kisi ventilasi yang dioperasikan dengan listrik dan peralatan penutup harus dari jenis *fail-to-open*. Kisi-kisi ventilasi tertutup dan peralatan penutup dapat diterima selama pengoperasian normal kapal.

Kisi-kisi ventilasi dan peralatan penutup yang dioperasikan dengan listrik harus terbuka secara otomatis setiap kali generator darurat menyala/beroperasi.

1.7.4 Lubang ventilasi Harus mungkin untuk ditutup dengan pengoperasian manual dari lokasi yang aman di luar ruangan yang ditandai dengan jelas di mana operasi penutupan dapat dengan mudah

¹ Referensi dibuat berdasarkan "Guidelines on Alternative Design and Arrangements for Fire Safety" yang diadopsi oleh IMO dengan MSC / Circ. 1002.

dikonfirmasi. Status kisi-kisi (terbuka / tertutup) harus dapat diindikasikan pada lokasi tersebut. Penutupan tersebut harus tidak dimungkinkan dilakukan dari posisi jarak jauh lainnya.

2. *Purifier* bahan bakar minyak

2.1 Ruangan tertutup

Purifier untuk bahan bakar minyak yang dipanaskan disarankan dipasang di ruangan yang terpisah. Ruangan ini harus tertutup dengan penyekat dari baja, dilengkapi dengan pintu baja yang tertutup secara otomatis dan dilengkapi dengan:

- ventilasi mekanis yang terpisah²
- deteksi kebakaran dan sistem alarm
- sistem pemadam kebakaran yang tetap

Sistem ini dapat merupakan bagian dari sistem pemadaman kebakaran di ruang mesin

Saat terjadi kebakaran di ruang mesin, sistem pemadam kebakaran harus mampu digerakkan bersamaan dengan sistem pemadam kebakaran ruang mesin.

Jika *Purifiers* bahan bakar minyak diatur terpisah dalam ruang mesin kategori A, ruangan ini harus dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran yang tetap dengan pelepasan independen.

2.2 Stasiun (area) *Purifier* terbuka dalam ruang mesin

2.2.1 Jika tidak praktis untuk menempatkan *Purifier* bahan bakar minyak di ruang yang terpisah, tindakan pencegahan terhadap kebakaran harus diambil dengan memberikan pertimbangan khusus untuk pengaturan, perisai / penahanan kebocoran dan ventilasi yang memadai².

3. Perencanaan boiler

Boiler harus terletak pada jarak yang memadai dari tangki bahan bakar dan minyak pelumas dan dari sekat ruang kargo untuk mencegah pemanasan yang tidak semestinya dari isi tangki atau kargo. Alternative lain, sisi tangki atau sekat harus diisolasi.

Jika boiler diletakkan di ruang mesin pada geladak antara dan kamar boiler tidak terpisah dari ruang mesin oleh sekat kedap air, geladak antara harus dilengkapi dengan ambang (coaming) dengan tinggi sekurang kurangnya 200 mm. Daerah ini dapat dikeringkan ke bilga. Tangki pembuangan seharusnya bukan merupakan bagian dari *overflow system*.

4. Insulasi pipa dan peralatan dengan temperatur permukaan yang tinggi

4.1 Semua bagian dengan temperatur permukaan di atas 220 °C, misalnya uap, minyak panas dan pipa gas buang, boiler gas buang dan peredam, turbocharger dan lain-lain, harus terinsulasi secara efektif dengan materil yang tidak mudah terbakar. Insulasi harus dilakukan sedemikian rupa sehingga minyak atau bahan bakar tidak dapat menembus ke dalam bahan insulasi.

Metal cladding atau *hard jacketing* dari insulasi dianggap mampu memberikan perlindungan yang efektif terhadap penetrasi semacam itu.

4.2 Boiler harus dilengkapi dengan insulasi tak mudah terbakar yang harus dilapisi dengan lembaran baja (*steel sheet*) atau yang setara.

² Lihat Guidance for Ventilation System on Board Seagoing Ships (Pt.1, Vol.A)

4.3 Insulasi harus sedemikian rupa sehingga tidak akan retak atau menjadi rusak ketika mengalami getaran.

5. Tangki bahan bakar dan minyak pelumas

Persyaratan [Bab 10](#) harus diperhatikan.

6. Perlindungan terhadap kebocoran bahan bakar dan minyak

6.1 Sarana pengumpulan yang sesuai harus dipasang dibawah katup-katup hidrolik dan silinder-silinder hidrolik serta dibawah titik-titik yang berpotensi terjadi kebocoran pada sistem minyak pelumas dan bahan bakar.

Ketika kebocoran minyak sering terjadi, misalnya pada pembakar minyak, pemisah minyak, saluran pembuangan dan katup pada tangki servis, minyak yang dikumpulkan harus dikuras menuju tangki pembuangan minyak.

Saluran minyak pembuangan tidak dapat menjadi bagian dari *overflow system*.

6.2 Perencanaan sistem perpipaan dan komponennya yang di khususkan untuk cairan yang mudah terbakar harus sedemikian rupa sehingga kebocoran cairan tersebut tidak terjadi kontak dengan permukaan yang panas atau sumber penyalaan. Ketika hal ini tidak dapat dicegah dengan desain struktural, tindakan pencegahan yang sesuai harus diambil.

6.3 Tangki-tangki, pipa-pipa, filter-filter, pemanas awal dan lain-lain yang mengandung cairan yang mudah terbakar tidak dapat ditempatkan langsung di atas sumber panas seperti boiler, jalur uap, manifold gas buang dan peredam atau item yang harus diinsulasi sesuai dengan [4.1](#) dan juga tidak dapat ditempatkan di atas switchgear elektrik.

6.4 Pipa injeksi bahan bakar mesin diesel harus dilindungi atau diinstal dengan baik sehingga setiap kebocoran bahan bakar yang terjadi dapat dikuras habis dengan aman, lihat juga [Bab 2.G.2.2](#) dan [Bab 11.G.3.3](#)

6.5 Sedapat mungkin semua bagian dari sistem bahan bakar minyak yang mengandung minyak panas di bawah tekanan yang melebihi dari 1,8 bar, diatur sedemikian rupa sehingga kerusakan dan kebocoran dapat dengan mudah diamati. Ruang mesin dengan bagian-bagian sistem bahan bakar minyak seperti itu harus dilengkapi dengan penerangan yang memadai.

7. Penetrasi sekat

Penetrasi pipa melalui klass divisi A atau B harus mampu untuk bertahan pada temperatur diamana divisi tersebut dirancang.

Jika jalur uap, jalur gas buang dan jalur minyak termal melewati sekat kedap, sekat kedap tersebut harus memiliki insulasi yang sesuai untuk melindungi dari pemanasan yang berlebih.

8. Sarana penutupan

Sarana harus disediakan untuk penegelan kedap udara pada kamar boiler dan ruang mesin. Saluran udara ke ruangan tersebut harus dilengkapi dengan penghalang api yang terbuat dari material tidak mudah terbakar yang dapat ditutup dari geladak. *Skylights* ruang mesin, peralatan palka, pintu dan bukaan lainnya juga harus dapat ditutup dari luar ruangan.

9. Penghentian darurat

Pompa bahan bakar bertenaga listrik, pompa minyak pelumas, perangkat pembakar minyak, *purifiers*, motor kipas, kipas boiler, minyak termal dan pompa kargo harus dilengkapi dengan penghentian darurat, yang sedapat mungkin dikelompokkan secara bersama di luar ruang di mana peralatan tersebut terpasang, dan yang tetap dapat diakses bahkan jika terjadi peristiwa kebakaran besar. Penghentian darurat juga harus disediakan di dalam kompartemen di mana peralatan tersebut terpasang.

10. Perangkat penyetop yang dioperasikan jarak jauh

Pompa bahan bakar dengan penggerak uap, pompa minyak pelumas, boiler *fans*, pompa kargo, jalur pasokan bahan bakar ke boiler dan pipa keluar dari tangki bahan bakar yang terletak di atas dasar ganda harus dilengkapi dengan perangkat penyetop yang dioperasikan dari jarak jauh.

Kontrol pada operasi katup jarak jauh untuk tangki darurat bahan bakar generator harus berada di lokasi yang terpisah dari kontrol operasi katup jarak jauh untuk tangki yang terletak di ruang mesin.

Lokasi dan pengelompokan perangkat penyetop harus memenuhi persyaratan yang sesuai pada 9.

10.1 Terminal keselamatan pada ruang permesinan

Disarankan perangkat keselamatan berikut dikelompokkan bersama secara terpusat, lokasi yang setiap saat mudah diakses di luar ruang permesinan:

- saklar pemutus untuk ventilasi kamar mesin, blower boiler, pompa transfer bahan bakar, *purifier*, pompa minyak termal.
- sarana untuk menutup:
 - Quick-closing fuel valves
 - kontrol jarak jauh pintu kedap air dan jendela langit-langit di ruang permesinan
- aktuasi dari sistem pemadaman kebakaran ruang permesinan.

Pada kapal penumpang, semua kontrol pada 8, 9, 10 dan 10.1 serta alat kontrol untuk memungkinkan pelepasan asap dari ruang permesinan dan alat kontrol penutupan untuk *power-operated door* atau menggerakkan mekanisme pelepasan pada pintu selain *power-operated door* yang kedap air pada pembatas ruang permesinan, kontrol harus ditempatkan pada satu posisi atau dikelompokkan pada posisi yang sesedikit mungkin. Posisi tersebut harus dapat diakses dengan aman dari geladak terbuka.

Ketika melepaskan sistem pemadaman kebakaran pada ruang permesinan atau membuka pintu kotak pelepasan khusus untuk tujuan pengujian, penyetop otomatis dari agregat system permesinan dan bantu pada 9 dan 10. tidak diizinkan, lihat juga [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol. IV\), Sec. 9, C.](#)

10.2 Terminal keselamatan pada kapal penumpang

Pada kapal penumpang yang membawa lebih dari 36 penumpang, perangkat-perangkat keselamatan berikut harus dikelompokkan bersama dalam terminal kontrol pusat yang diawaki secara terus menerus:

- panel alarm dari sistem penyemprot air bertekanan yang dipersyaratkan sesuai dengan C.2.4 dan sistem deteksi kebakaran dan alarm
- indikator kontrol dan status pintu kebakaran yang dioperasikan dari jarak jauh
- pemutus darurat dari ventilasi (kecuali kipas ruang permesinan) termasuk starternya dan lampu-lampu yang harus menerangi

Mengenai desain alarm panel dan operasi lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 9.](#)

11. Ruang kargo untuk pengangkutan kendaraan dengan bahan bakar di dalam tangkinya dan ruang kargo kapal ro-ro

11.1 Ruang kargo untuk kapal penumpang yang mengangkut lebih dari 36 penumpang harus dilengkapi dengan ventilasi paksa yang mampu melakukan sekurang-kurangnya 10 pertukaran udara per jam (*air changes per hour/ACH*).

11.2 Ruang kargo untuk kapal penumpang yang mengangkut kurang dari 36 penumpang harus dilengkapi dengan ventilasi paksa yang mampu melakukan sekurang-kurangnya 6 pertukaran udara per jam (*air changes per hour/ACH*).

11.3 Pada kapal penumpang, ruangan dengan kategori khusus³ harus dilengkapi dengan ventilasi paksa yang mampu melakukan sekurang-kurangnya 10 pertukaran udara per jam (*air changes per hour/ACH*).

11.4 Ruang-ruang kargo pada kapal kargo dan kapal ro-ro harus dilengkapi dengan ventilasi paksa yang mampu melakukan sekurang-kurangnya 6 pertukaran udara per jam, jika peralatan listrik bersertifikat tipe aman (*safe type*) pada seluruh ruang, atau sekurang-kurangnya 10 pertukaran udara per jam, jika peralatan listrik bersertifikat jenis aman (*safe type*) hingga ketinggian 450 mm di atas geladak, lihat *Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV), Sec. 16*.

11.5 Desain

11.5.1 Sistem ventilasi daya yang independen harus disediakan untuk menghilangkan gas dan uap dari bagian atas dan bawah ruang kargo. Persyaratan ini dianggap terpenuhi jika saluran tersebut diatur sedemikian rupa sehingga sekitar 1/3 dari volume udara dihilangkan dari bagian atas dan 2/3 dari bagian bawah.

11.5.2 Sistem ventilasi harus mampu beroperasi selama bongkar muat kendaraan serta selama pelayaran.

Pengaturan harus dilakukan untuk memungkinkan pemberhentian yang cepat (*a rapid shutdown*) dan penutupan yang efektif dari sistem ventilasi dari luar ruangan pada saat terjadi kebakaran, dengan mempertimbangkan kondisi cuaca dan laut⁴.

11.5.3 Desain dari ventilator buangan mekanikal harus memenuhi [Bab 15.B.5.3](#). Untuk jenis proteksi motor listrik dan peralatan listrik lainnya yang berada dalam aliran udara buang, lihat *Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec. 16, H*.

11.5.4 Referensi tambahan lihat *Guidance for Ventilation Systems on Board Seagoing Ship (Pt.1, Vol.A)*

11.6 Monitor

Kegagalan kipas harus memicu alarm visual/audio di anjungan.

11.7 Persyaratan lainnya

11.7.1 Pipa kuras dari geladak kendaraan tidak boleh melalui ruang mesin atau ruang yang lain mengandung sumber penyalaan.

11.7.2 Sistem deteksi kebakaran dan alarm menurut C harus disediakan untuk ruang kargo dan geladak kendaraan.

11.7.3 Untuk peralatan pemadam kebakaran lihat [F.2.2, F.2.3.6](#) dan [Tabel 12.1](#).

³ Untuk definisi lihat [Tabel 12.1, Catatan 4](#)

⁴ Lihat *guidance for Code and Convention Interpretation (Pt.1, Vol.Y)*.

- 11.8 Peralatan listrik harus memenuhi persyaratan for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV), Sec. 16.
12. Ruang ro-ro di kapal penumpang yang tidak dimaksudkan untuk pengangkutan kendaraan dengan bahan bakar di dalam tangkinya
- 12.1 Untuk ruang kargo ro-ro tertutup yang tidak dimaksudkan untuk pengangkutan kendaraan dengan bahan bakar di dalam tangkinya dan juga bukan ruang kategori khusus, persyaratan 11 dan persyaratan Bab 11.N.4.4 harus diterapkan, dengan pengecualian 11.5.3, 11.7.1 dan 11.8.,
- 12.2 Untuk ruang kargo ro-ro terbuka yang tidak dimaksudkan untuk pengangkutan kendaraan dengan bahan bakar di dalam tangkinya dan juga bukan ruang kategori khusus, persyaratan yang berlaku untuk ruang kargo konvensional harus dipenuhi dengan pengecualian bahwa sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel tidak diizinkan dan sebagai tambahan persyaratan Bab 11.N.4.4 harus diterapkan.
13. Ketahanan api pada komponen sistem pemadam kebakaran tetap

Kecuali ditentukan dalam Bab ini, perpipaan, fitting pipa dan komponen terkait kecuali gasket sistem pemadam kebakaran tetap harus dirancang dalam ruang yang terlindungi untuk menahan temperatur 925°C.

C. Deteksi Kebakaran

1. Umum

Deteksi kebakaran dan sistem alarm dan sistem deteksi ekstraksi asap sampel harus mendapatkan persetujuan. Untuk desain sistem, lihat Peraturan untuk Instalasi Listrik (Bag. 1, Vol. IV), Bab 9.D.3.

2. Deteksi kebakaran pada kapal penumpang

2.1 Pada kapal penumpang yang mengangkut tidak lebih dari 36 penumpang, sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel sesuai dengan Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec. 9, D harus disediakan di semua ruang akomodasi dan servis dan, jika dianggap perlu oleh BKI, di stasiun-stasiun kontrol⁵.

Ruangan-ruangan di mana tidak ada risiko kebakaran substansial dikecualikan dari persyaratan ini.

2.2 Sistem penyemprotan air bertekanan otomatis yang disetujui sesuai dengan L.1 atau sistem penyemprotan air bertekanan setara yang disetujui⁶ dapat disediakan, sebagai ganti deteksi kebakaran dan sistem alarm sesuai dengan 2.1. Dalam hal ini, deteksi kebakaran tambahan dan sistem alarm yang disetujui sesuai dengan Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec.9, D. harus dipasang di koridor, tangga dan rute penyelamatan diri dalam area akomodasi. Sistem ini harus dirancang untuk deteksi asap.

2.3 Jika pada kapal penumpang ruang publik terdiri dari tiga geladak atau lebih (atrium) yang mengandung perabotan yang dapat terbakar, toko, kantor atau restoran, seluruh zona api vertikal harus dilengkapi dengan pengaturan proteksi kebakaran sesuai dengan 2.4.

Namun dalam hal ini, menyimpang dari for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec. 9, D.3.1.11 dan L.1.7.2, semua geladak dalam ruang publik ini dapat dimonitor atau dilindungi oleh deteksi kebakaran umum - atau spraying section.

⁵ Untuk definisi, lihat SOLAS II-2, Reg. 3

⁶ Lihat Resolusi IMO A.800(19) "Revised Guidelines for Approval of Sprinkler Systems Equivalent to that referred to SOLAS Regulation II-2/12" as amended by Res. MSC.265(84)

2.4 Di kapal penumpang yang membawa lebih dari 36 penumpang, sistem penyemprotan air bertekanan otomatis yang disetujui⁷ sesuai dengan L.1 atau sistem penyemprotan air bertekanan setara yang disetujui harus disediakan di semua ruang akomodasi dan servis termasuk koridor dan tangga, dan di stasiun kontrol.

Semua ruangan yang disebutkan di atas kecuali untuk ruang sanitasi dan dapur sebagai tambahan, asap harus dimonitor dengan deteksi kebakaran dan sistem alarm sesuai dengan [for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 9.](#)

Di ruangan yang tidak memiliki risiko kebakaran atau resiko kebakarannya kecil, misalnya ruang void, toilet umum, kamar CO₂ dan lain-lain, instalasi sistem penyemprotan air bertekanan atau deteksi kebakaran dan sistem alarm dapat dihilangkan.

Di stasiun kontrol, sebagai pengganti sistem penyemprotan air bertekanan, beberapa sistem pemadam kebakaran tetap lainnya dapat disediakan jika peralatan penting yang dipasang di ruang ini bisa rusak oleh air.

2.5 Ruang kargo tertutup untuk pengangkutan kendaraan bermotor dengan bahan bakar di dalam tangki, ruang kargo ro-ro tertutup dan ruang kargo yang tidak dapat diakses, harus dilengkapi dengan sistem deteksi kebakaran dan alarm atau dengan sistem deteksi ekstraksi asap sampel.

Kondisi ventilasi di ruang kargo harus secara khusus diperhitungkan saat merancang dan menginstal sistem ini.

Sistem deteksi kebakaran dan alarm yang dianjurkan untuk ruang kargo yang tidak dapat diakses dapat dijadikan jika kapal hanya berlayar dalam durasi yang singkat.

2.6 Ruang kategori khusus (lihat juga [Tabel 12.1](#)) harus dilengkapi dengan *call points* yang dioperasikan secara manual sehingga tidak ada bagian pada ruangan yang berjarak lebih dari 20 m dari tiap *call point*. Satu *call points* yang dioperasikan secara manual harus dipasang di setiap *exit*.

2.7 Ruang kategori khusus tanpa sistem patroli permanen harus dilengkapi dengan deteksi kebakaran dan sistem alarm.

Secara khusus, kondisi ventilasi harus diperhitungkan dalam pemilihan dan penempatan detektor.

Setelah instalasi, sistem ini harus diuji pada kondisi ventilasi normal.

2.8 Balkon kabin harus dilengkapi dengan deteksi kebakaran dan sistem alarm sesuai dengan [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 9, D](#), jika furnitur dan perabot di balkon tersebut bukan termasuk dalam pembatasan risiko kebakaran^{7, 8}.

3. Deteksi kebakaran di ruang akomodasi kapal kargo

Tergantung pada proteksi kebakaran struktural ruang akomodasi, kapal kargo harus dilengkapi dengan sistem deteksi kebakaran sebagai berikut:

3.1 Proteksi kebakaran struktural metode IC

Deteksi kebakaran dan sistem alarm termasuk alarm yang dioperasikan secara manual harus disediakan pada koridor, tangga dan rute penyelamatan diri dalam ruang akomodasi. Sistem ini harus dirancang untuk mendeteksi asap.

⁷ Definisi untuk pembatasan risiko kebakaran diatur dalam SOLAS II-2, regulation 3.40.1, 3.40.2, 3.40.3, 3.40.6 dan 3.40.7.

⁸ Persyaratan ini berlaku untuk kapal penumpang dengan tanggal peletakan lunas pada atau setelah 1 Juli 2008. Kapal penumpang dengan peletakan lunas sebelum 1 Juli 2008 harus memenuhi peraturan ini paling lambat pada survei pertama setelah 1 Juli 2008

3.2 Proteksi kebakaran struktural metode IIC

Sistem penyemprotan air bertekanan otomatis sesuai dengan L.1. pada Bab ini atau sistem penyemprotan air bertekanan setara yang disetujui⁷ harus disediakan untuk ruang akomodasi dan servis. Koridor, tangga dan rute penyelamatan diri dalam ruang akomodasi harus memenuhi 3.1.

Ruangan-ruangan di mana tidak memiliki risiko kebakaran, misalnya ruang void, ruang sanitasi, dan lain-lain, tidak perlu di monitor.

3.3 Metode proteksi kebakaran struktural IIIC

Sistem pendekripsi kebakaran dan alarm termasuk alarm yang dioperasikan secara manual harus tersedia diseluruh ruang akomodasi, dengan pengecualian untuk ruangan di mana tidak ada resiko kebakaran.

Koridor, tangga dan rute penyelamatan diri, sistem harus dirancang untuk mendekripsi asap.

4. Sistem pendekripsi dan alarm kebakaran untuk ruang permesinan

4.1 Kapal dengan Notasi Kelas OT atau OT-S, ruang permesinan kategori A⁹ harus dilengkapi dengan system pendekripsi dan alarm kebakaran. Sistem tersebut harus dirancang untuk mendekripsi asap.

4.2 Ruang untuk generator darurat yang digunakan di pelabuhan untuk melayani sumber daya listrik utama, harus dilengkapi dengan sistem pendekripsi kebakaran tanpa memperhatikan output mesin diesel.

4.3 Pemanas minyak termal dari sisa gas buang harus dilengkapi dengan alarm kebakaran di sisi pipa gas buang.

5. Sistem deteksi dan alarm kebakaran untuk ruang kargo pada kapal kargo

5.1 Ruang kargo ro-ro tertutup harus dilengkapi dengan sistem deteksi dan alarm kebakaran.

5.2 Ruang kargo tertutup untuk pengangkutan kendaraan bermotor dengan bahan bakar di dalam tankinya harus dilengkapi dengan system pendekripsi dan alarm kebakaran atau sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel.

5.3 Ruang kargo untuk pengangkutan muatan berbahaya sesuai dengan P. harus dilengkapi dengan system pendekripsi dan alarm kebakaran atau sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel. Namun, ruang kargo ro-ro tertutup harus memenuhi 5.1.

5.4 Penyediaan system pendekripsi dan alarm kebakaran atau sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel juga dianjurkan untuk ruangan-ruangan kargo yang tidak disebutkan dalam 5.1 sampai 5.3.

6. Desain system pendekripsi dan alarm kebakaran

6.1 Untuk desain dan instalasi sistem deteksi dan alarm kebakaran, lihat Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec. 9, D.3 dan sebagai tambahan C.6.2 dan L.1 pada Bab ini.

6.2 Sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel

6.2.1 Komponen utama dari sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel jika sistem saling terhubung dengan sistem pemadaman kebakaran karbon dioksida adalah pipa sampel (*sampling*), akumulator asap dan panel kontrol, serta katup tiga-arah.

⁹ Untuk definisi lihat Peraturan untuk Lambung (Bag. 1, Volume II), Bab 22.D.4.6 [6] (berlaku untuk semua kapal dalam lingkup bab ini) disediakan untuk ruang kargo atas dan bawah.

Panel kontrol harus memungkinkan pengamatan asap di pipa sampel individu dan mengindikasikan dimana ruangan yang terbakar (lihat [Guidance for Code and Convention Interpretations \(Pt.1, Vol.Y\) Sec.11, SC.260](#)).

6.2.2 Diameter Pipa sampel sekurang kurangnya 12 mm. Dua saklar (switchover) kipas ekstraksi sampel harus disediakan. Dalam mempertimbangkan kondisi ventilasi pada ruangan yang dilindungi, kapasitas hisap setiap ventilator dan ukuran pipa sampel harus cukup untuk memastikan deteksi asap dalam kriteria waktu yang dibutuhkan dalam [6.2.8](#). Sarana untuk memantau aliran udara harus disediakan di setiap jalur pengambilan sampel.

Pipa-pipa sampel harus didesain untuk memastikan bahwa, sedapat mungkin, aliran udara yang diambil dari setiap akumulator asap yang saling berhubungan memiliki jumlah yang sama.

6.2.3 Akumulator asap harus diletakkan setinggi mungkin dalam ruang yang dilindungi dan harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak ada bagian pada area geladak *overhead* yang berjarak lebih dari 12 m secara horizontal dari akumulator asap.

Sekurang kurangnya satu akumulator asap tambahan harus tersedia di bagian atas dari setiap saluran ventilasi pembuangan. Sistem penyaringan yang memadai harus dipasang sebagai tambahan pada akumulator untuk menghindari kontaminasi debu.

6.2.4 Akumulator asap yang berasal dari lebih dari satu ruangan yang dipantau tidak boleh terhubung ke pipa sampel yang sama. Jumlah akumulator asap yang terhubung ke setiap pipa sampel harus memenuhi [6.2.8](#).

6.2.5 Pipa-pipa sampel harus dilengkapi pengeringan sendiri dan dapat dibersihkan secara berkala dengan udara terkompresi.

6.2.6 Pada ruang muat dimana terdapat panel geladak antara tak-kedap gas (platform ruang penyimpanan bergerak), pipa sampel terpisah dengan akumulator asap harus tersedia pada bagian atas dan bawah ruang muat.

6.2.7 Pada ruang muat yang dikhususkan untuk kargo berbahaya, langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa udara yang diisap oleh sistem deteksi asap dengan ekstraksi sampel dibuang langsung ke udara terbuka.

6.2.8 Setelah instalasi, sistem harus dapat diuji fungsi menggunakan mesin penghasil asap atau yang setara sebagai sumber asap. Alarm harus diterima pada panel kontrol tidak lebih dari 180 detik pada ruang kendaraan dan ro/ro, dan tidak lebih dari 300 detik untuk kontainer dan ruang muat umum, setelah asap diberikan pada akumulator asap yang paling jauh.

D. Lingkup Peralatan Pemadam Kebakaran

1. Umum

1.1 Setiap kapal harus dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran air umum sesuai dengan [E](#) dan dengan alat pemadam portabel dan yang dapat berpindah sebagaimana dimaksud dalam [F](#).

1.2 Selain itu, tergantung pada sifatnya, ukuran dan daya propulsi yang dipasang, ruang yang berpotensi bahaya kebakaran harus dilengkapi dengan peralatan pemadam kebakaran sesuai dengan [Tabel 12.1](#). Desain peralatan ini dijelaskan pada [E](#) hingga [Q](#).

Ruang muat untuk pengangkutan muatan berbahaya juga diwajibkan memenuhi [P](#) dan [Q](#), sebagaimana berlaku.

Kecuali ditentukan yang lain, peralatan ini normalnya diletakkan di luar ruangan dan area yang dilindungi dan, pada saat kebakaran, harus mampu digerakkan dari titik yang selalu dapat diakses.

1.3 Persetujuan peralatan dan perlengkapan pemadam kebakaran

Persetujuan dari Pemerintah atau Biro Klasifikasi pada umumnya diterima untuk peralatan dan komponen pemadam kebakaran seperti alat pemadam kebakaran, selang kebakaran, konsentrat *foam*, dan lain-lain kecuali peralatan yang disetujui BKI dengan jelas dipersyaratkan pada Peraturan dalam Bab ini.

2. Perlindungan area muat kapal tangka

2.1 Area muat dan ruang pompa kargo kapal tangki harus dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran tetap sesuai dengan [Tabel 12.1](#).

2.2 Tangki yang dilengkapi dengan sistem pencucian dengan minyak mentah (*Crude Oil Washing System*) dan tangki 20.000 DWT dan keatas yang membawa cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala 60 °C atau kurang sebagai tambahan harus dilengkapi dengan sistem gas lembam (*inert gas system*) yang tetap, lihat [Bab 15.D](#)

Tabel 12.1 Sistem pemadam kebakaran tetap

Ruang dan area yang dilindungi	Jenis Kapal	
	Kapal barang ≥ 500 GT	Kapal Penumpang
Ruang permesinan dengan mesin pembakaran dalam yang digunakan untuk penggerak utama dan ruang permesinan yang berisi instalasi pembakaran minyak (boiler, <i>incinerator</i> dan lain-lain) atau unit bahan bakar minyak	Lihat ¹⁾ CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi atau sistem penyemprot air bertekanan ^{1,2)}	Untuk semua kapal
Ruang permesin yang terdapat mesin pembakaran dalam yang tidak digunakan untuk mengerakkan kapal	≥ 375 kW CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi atau sistem penyemprot air bertekanan ²⁾	≥ 375 kW
Ruang permesin yang terdapat mesin uap	≥ 375 kW CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi atau sistem penyemprot air bertekanan ²⁾	≥ 375 kW
area berbahaya kebakaran dari ruang permesinan kategori A dengan volume di atas 500 m ³ sesuai dengan L.3	Sistem aplikasi lokal pemadam kebakaran dengan dasar air yang tetap (<i>FWBLAFFS</i>) ³⁾	
Purifier bahan bakar minyak sesuai dengan B.2 .	Pengaturan <i>foam</i> ekspansi rendah pemadam kebakaran lokal yang tetap, sistem penyemprot air bertekanan - atau system bubuk kering (<i>Dry powder</i>)	
Pemanas minyak termal gas buang sesuai dengan L.2.2	Sistem penyemprot air bertekanan	
Ruang saluran bilas dari mesin dua langkah sesuai dengan Bab 2, G.6.3	Sistem CO_2 atau sistem pemadam lainnya yang setara	
Loker cat dan loker cairan mudah terbakar sesuai dengan M.1 .	CO_2 , pemadam bubuk kering atau sistem penyemprot air bertekanan ²⁾	
Peralatan memasak <i>deep-fat</i> sesuai dengan M.3 .	Sistem pemadaman kebakaran otomatis dan manual	
Akomodasi, ruang servis dan stasiun kontrol, termasuk koridor dan tangga	System penyemprot air otomatis untuk proteksi kebakaran struktural metode IIC, lihat C.3.2	System penyemprot air otomatis, lihat C.2.4 ; jika kurang dari 37 penumpang, lihat C.2.1/C.2.2
Balkon kabin	-	Sistem penyemprotan air bertekanan ⁶⁾
Saluran buang di sekitar dapur sesuai dengan M.2 .	Sistem CO_2 atau sistem pemadam lainnya yang setara	

Tabel 12.1 Sistem pemadam kebakaran tetap (lanjutan)

Ruang dan wilayah yang harus dilindungi	Jenis Kapal	
	Kapal barang ≥ 500 GT	Kapal Penumpang
Ruang Insinerator dan ruang penyimpanan limbah	System penyemprot air otomatis atau sistem pemadam api yang dibuka manual, untuk detail lihat N	
Geladak pendaratan helikopter sesuai dengan O .	Sistem <i>foam</i> ekspansi rendah	
Ruang kargo	1. Ruang kategori khusus di kapal penumpang	- Sistem pemadam kebakaran tetap berbasis air
	2. Untuk kendaraan bermotor dengan bahan bakar di tanki	CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi atau sistem pemadam kebakaran tetap berbasis air
	3. Untuk muatan berbahaya	Untuk semua kapal sistem pemadam pemadam CO_2 ^{4,5,8)}
	4. Pada kapal ro-ro a) tertutup b) terbuka atau tidak dapat disegel	CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi atau sistem pemadam kebakaran tetap berbasis air Sistem pemadam kebakaran tetap berbasis air
	5. Ruang kargo yang tidak termasuk dalam 1-4	≥ 2000 GT ⁶⁾ CO_2 , atau <i>inert gas system</i> ≥ 1000 GT CO_2 atau <i>inert gas system</i> atau sistem <i>foam</i> ekspansi tinggi
Area kargo dan tangki kargo	Tangki ke D.2: Sistem <i>foam</i> ekspansi rendah dan <i>inert gas system</i> untuk kapal tangki kimia ke to Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in bulk (Pt.1, Vol.X) Sec. 11 : <i>Foam</i> ekspansi rendah, bubuk kering, penyemprot air bertekanan dan <i>inert gas system</i> Kapal untuk pengangkut gas cair sesuai dengan To Rules for Ship Carrying Liquefied Gas in Bulk (Pt.1, Vol. IX), Sec. 1 : penyemprot air bertekanan, sistem bubuk kering ⁸⁾ dan inert gas sistem.	-
Ruang pompa kargo	Kapal tangki dan kapal tangki kimia: CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi atau sistem kabut air ²⁾	-
Ruang Pompa kargo dan kompresor:	Kapal untuk pengangkut gas cair: sistem CO_2 ²⁾	
<ol style="list-style-type: none"> 1) Juga berlaku untuk < 500 GT dengan notasi kelas OT dan kapal tangki kimia. 2) Sistem yang disetujui, yang menggunakan gas selain CO_2 dapat diterapkan. Lihat 1. 3) Berlaku untuk kapal penumpang 500 GT dan di atas, dan kapal kargo 2000 GT dan di atas. 4) Ruang kategori khusus adalah geladak kendaraan tertutup pada kapal penumpang, dimana dapat dilalui oleh penumpang. 5) Sistem penyemprot air bertekanan pada ruang ro-ro (terbuka atau tidak dapat disegel), di atas ruang terbuka kargo kontainer (lihat D.3) dan di ruang kategori khusus. 6) Dapat ditidakan atas permintaan di mana hanya membawa batubara, bijih, gandum, kayu gelondongan basah, kargo tak mudah terbakar atau kargo yang mewakili risiko kebakaran rendah. Referensi dibuat untuk MSC.1/Circ.1395/Rev.1. 7) Dapat ditidakan, jika mebel dan perabot hanya pada pembatasan risiko kebakaran, lihat L.4. 8) Rincian lihat J.3. 9) Untuk kapal kurang dari 500 GT, persyaratan dapat ditidakan dengan persetujuan Pemerintah. 		

3. Ruang kargo kontainer terbuka

Rencana pemadam kebakaran untuk ruang kargo kontainer terbuka harus disepakati dengan BKI¹⁰.

4. Kapal dengan instalasi mesin berbahan bakar gas alam

Rencana keamanan kebakaran untuk kapal yang dilengkapi dengan instalasi mesin berbahan bakar gas alam harus memenuhi dengan [Guidelines for the Use of Gas as Fuel for Ships \(Pt.1, Vol.1\)](#).

E. Peralatan pemadam kebakaran air umum (Pemadam Kebakaran dan Sistem Pembersih Geladak)

1. Pompa kebakaran

1.1 Jumlah pompa

1.1.1 Kapal penumpang 4.000 GT dan lebih harus dilengkapi dengan sekurang kurangnya tiga pompa kebakaran, dan kapal penumpang kurang dari 4.000 GT sekurang kurangnya dua pompa kebakaran.

Di kapal penumpang 1.000 GT dan lebih, koneksi laut dan sumber tenaga pompa pemadam kebakaran, harus didistribusikan ke seluruh kapal sedemikian rupa sehingga api yang menyala di satu kompartemen agar tidak dapat menyebar. Jika pada kapal penumpang kurang dari 1.000 GT, pompa pemadam kebakaran utama terletak di salah satu kompartemen, sebagai tambahan pompa pemadam kebakaran darurat harus disediakan di luar kompartemen tersebut.

1.1.2 Kapal kargo 500 GT dan lebih harus dilengkapi dengan sekurang kurangnya dua pompa, dan kapal kargo kurang dari 500 GT sekurang kurangnya satu pompa kebakaran.

1.1.3 Di kapal kargo 500 GT dan lebih, pompa kebakaran darurat tetap harus tersedia jika api menyala di salah satu kompartemen dapat membuat semua pompa pemadam kebakaran tidak berfungsi.

Pompa pemadam kebakaran darurat juga harus tersedia jika pompa pemadam kebakaran utama dipasang di kompartemen yang bersebelahan, dan dengan pemisahan antara kompartemen yang terdiri lebih dari satu sekat atau geladak.

1.1.4 Di kapal kargo, di setiap ruang mesin yang memiliki ballast, bilga atau pompa air lainnya, harus dihubungkan sekurang-kurangnya salah satu pompa tersebut dengan sistem pemadam kebakaran. Koneksi dapat ditiadakan jika pompa tersebut tidak memenuhi dari kapasitas atau tekanan yang diperlukan.

1.2 Kapasitas minimum dan *head* tekanan

1.2.1 Kapasitas minimum dan jumlah pompa pemadam kebakaran harus memenuhi [Tabel 12.2](#).

1.2.2 Jika pompa pemadam kebakaran dengan kapasitas yang berbeda dipasang, tidak boleh ada pompa yang mensuplai kurang dari 80% dari total kapasitas yang dibutuhkan dibagi dengan jumlah pompa pemadam kebakaran yang dipersyaratkan.

1.2.3 Setiap pompa pemadam kebakaran harus mampu mensuplai air yang cukup untuk sekurang-kurangnya dua dari nosel yang digunakan di atas kapal.

¹⁰ Lihat IMO MSC / Circ. 608 / Rev.1 "Interim Guidelines for Open Top Containerships" ..

Kapal untuk pengangkutan muatan berbahaya, persyaratan P dan Q, sebagaimana berlaku, juga harus dipenuhi.

Kapasitas pompa pemadam kebakaran tidak boleh kurang dari $25 \text{ m}^3/\text{J}$.

Kapal kargo kurang dari 100 GT, pompa pemadam kebakaran harus mampu mensuplai air untuk sekurang-kurangnya satu jet air yang efektif dengan nosel 9 mm.

1.2.4 Total kapasitas yang dipersyaratkan pada pompa-pompa pemadam kebakaran tidak termasuk pompa pemadam kebakaran darurat tidak melebihi $180 \text{ m}^3/\text{jam}$ untuk kapal kargo.

1.2.5 Untuk pompa pemadam kebakaran darurat, lihat [1.4](#).

1.2.6 Head tekan setiap pompa pemadam kebakaran harus memenuhi persyaratan [2.3.4](#). Kapal kargo kurang dari 300 GT, daripada tekanan pada [Tabel 12.3](#), sebaliknya setiap nosel pada [2.3.4](#) yang harus mampu mengirimkan jet air dengan minimal panjang 12 m secara horizontal.

Tabel 12.2 Jumlah dan kapasitas minimum pompa pemadam kebakaran

Kapal penumpang		Kapal kargo		
$\geq 4000 \text{ GT}$	$< 4000 \text{ GT}$	$\geq 500 \text{ GT}$	$< 500 \text{ GT}$	
Jumlah daya penggerak pompa pemadam kebakaran				
3	2	2	1	
Kapasitas minimum V (m^3/j) untuk satu pompa kebakaran ¹⁾				
$1) 5,1 \cdot 10^{-3} \cdot d_H^2$	$3,8 \cdot 10^{-3} \cdot d_H^2$	$2) 7,65 \cdot 10^{-3} \cdot d_H^2$	$5,75 \cdot 10^{-3} \cdot d_H^2$	$3,8 \cdot 10^{-3} \cdot d_H^2$

¹⁾ d_H (mm) = diameter teoritis bilga utama (lihat [Bab 11, N. rumus 4.](#))
²⁾ Berlaku untuk kapal penumpang dengan angka kriteria 30 atau lebih sesuai dengan SOLAS 1974 as amended, Chapter II-1,Part B, Regulation 6.

1.3 Penggerak dan rencana pompa

1.3.1 Setiap pompa pemadam kebakaran harus memiliki sumber daya yang independen dari mesin penggerak kapal.

1.3.2 Kapal kargo kurang dari 1000 GT, salah satu pompa pemadam kebakaran dapat disambungkan ke mesin yang tidak secara khusus menggerakkan pompa ini.

1.3.3 Kapal kargo kurang dari 300 GT, pompa pemadam kebakaran dapat disambungkan ke mesin utama yang dilengkapi dengan jalur poros yang dapat dilepas dari mesin utama (misalnya dengan menggunakan *clutch coupling* atau gigi pembalik).

1.3.4 Pompa pemadam kebakaran dan sumber dayanya tidak dapat diletakkan didepan sekat tubrukan. Untuk kapal kargo, berdasarkan permintaan BKI, mengizinkan pengecualian untuk persyaratan ini.

Kapal kargo dengan 2000 GT dan lebih dan kapal penumpang, persyaratan diatas dapat dihilangkan jika pompa air laut tetap dengan tekanan yang sesuai dan kapasitas yang cukup dapat dihubungkan sebagai tambahan pada sistem pemadam kebakaran utama.

1.3.5 Pompa pemadam kebakaran dan koneksi air laut nya harus diletakkan sedalam mungkin di bawah garis air (LWL) kapal.

Ketika pengaturan tersebut tidak dapat diterapkan, pompa harus dari jenis *self priming* atau dihubungkan ke *priming* sistem.

1.3.6 Penyediaan untuk mensuplai sekurang kurangnya salah satu pompa pemadam kebakaran di ruang mesin dengan air dari dua kotak laut (sea chest) harus dilengkapi.

Pada kapal dengan klas es, hisapan dari sistem *de-iced* pendinginan air laut harus disediakan untuk sekurang kurangnya salah satu dari pompa pemadam kebakaran.

1.3.7 Untuk pompa pemadam kebakaran darurat, lihat [1.4](#).

1.3.8 Balas, bilga dan pompa lain yang disediakan untuk memompa air laut dan memiliki kapasitas yang cukup dapat digunakan sebagai pompa pemadam kebakaran asalkan sekurang-kurangnya satu pompa segera tersedia untuk tujuan pemadam kebakaran.

1.3.9 Pompa sentrifugal harus terhubung ke sistem pemadam kebakaran utama melalui *screw down non return valve* atau kombinasi dari *shut-off* dan *non return valve*.

1.3.10 Pada kapal penumpang 1.000 GT dan lebih, peralatan pemadam kebakaran air di ruangan akomodasi harus dipasang sedemikian rupa sehingga sekurang-kurangnya satu jet air dengan tekanan buang nosel yang ditentukan segera tersedia. Harus dipastikan pasokan air yang tidak terganggu dengan penyalaan otomatis salah satu pompa kebakaran yang telah ditentukan.

1.3.11 Pada kapal penumpang kurang dari 1.000 GT, ketersediaan air untuk pemadam kebakaran harus dijaga dengan baik sesuai [1.3.10](#) atau [1.3.12](#).

1.3.12 Pada kapal dengan Notasi Klass "OT", sekurang kurangnya satu pompa pemadam kebakaran harus disediakan dengan pengaturan *start* dari anjungan dan dari stasiun pengendalian kebakaran pusat, jika ada.

Katup shut-off terkait dari inlet air laut untuk sistem pemadam kebakaran utama harus mampu dikendalikan dari posisi yang disebutkan di atas. Atau katup yang dioperasikan secara lokal dapat digunakan; katup tersebut secara permanen harus tetap terbuka dan ditandai, misalnya:

"Katup harus selalu tetap terbuka!"

1.3.13 Jika di kapal kargo 500 GT dan lebih dan di kapal penumpang, pompa pemadam kebakaran terletak di kompartemen yang berbeda, sekurang kurangnya satu pompa pemadam kebakaran harus memenuhi semua persyaratan dari pompa pemadam kebakaran darurat yang ditentukan dalam [1.4](#) (misalnya listrik dan suplai air yang terpisah, dan lain-lain), dengan pengecualian [1.4.1](#), kalimat pertama menjadi tidak berlaku.

1.4 Pompa pemadam kebakaran darurat

1.4.1 Pompa pemadam kebakaran darurat harus mampu menyalurkan sekurang-kurangnya 40% dari total kapasitas yang ditentukan untuk pompa pemadam kebakaran utama, tetapi dalam kasus apapun tidak kurang dari 25 m³/jam untuk kapal penumpang kurang dari 1.000 GT dan kapal kargo 2.000 GT dan lebih, dan dalam kasus apapun tidak kurang dari 15 m³/jam untuk kapal kargo kurang dari 2000 GT.

Pompa pemadam kebakaran darurat harus dari jenis *self-priming*.

1.4.2 Pompa pemadam kebakaran darurat harus mampu mensuplai air ke seluruh bagian kapal dari dua hidran secara simultan pada tekanan yang terdapat pada [Tabel 12.3](#); lihat juga [2.2.1](#).

1.4.3 Semua daya dan peralatan suplai air yang diperlukan untuk pengoperasian pompa pemadam kebakaran darurat harus terpisah dari ruang dimana pompa pemadam kebakaran utama dipasang.

Kabel listrik untuk pompa pemadam kebakaran darurat tidak dapat melalui ruang mesin yang berisi pompa pemadam kebakaran utama dan sumber daya nya dan penggerak utama nya.

Jika kabel listrik untuk pompa pemadam kebakaran darurat melewati daerah resiko kebakaran tinggi lainnya, kabel listrik harus dari jenis tahan api.

1.4.4 Suplai bahan bakar yang khusus untuk pengoperasian pompa pemadam kebakaran darurat harus cukup untuk sekurang-kurangnya 18 jam pada beban nominal.

Tangki bahan bakar yang dikhususkan untuk suplai daya pompa pemadam kebakaran darurat harus berisi bahan bakar yang cukup untuk memastikan pengoperasian pompa untuk sekurang-kurangnya 6 jam pertama tanpa mengisi ulang. Lama waktu tersebut dapat dikurangi sampai 3 jam untuk kapal kargo kurang dari 5.000 GT.

1.4.5 Ruang dimana pompa pemadam kebakaran darurat dan sumber daya nya yang terpasang harus tidak secara langsung bergeladakatan dengan ruang permesinan kategori A¹⁰⁾ atau ruang dimana pompa pemadam kebakaran utama dipasang. Ketika hal ini tidak memungkinkan, pembagian antara ruang harus dilakukan dengan menggunakan tidak lebih dari satu sekat. Cela harus dibatasi seminimal mungkin, dan pintu antara ruang harus dirancang sebagai *air-lock*. Pintu yang menghadap ruang mesin harus dari standar A-60.

Sebat harus dibuat sesuai dengan persyaratan isolasi untuk stasiun kontrol ([Peraturan untuk Lambung \(Bag. 1, Vol. II\), Bab 22](#)).

Ketika akses tunggal untuk ruang pompa pemadam kebakaran darurat melalui ruang lain yang terletak diantara ruang permesinan kategori A¹⁰⁾ atau ruang yang berisi pompa pemadam kebakaran utama, pembatas kelas A-60 dipersyaratkan antara ruang yang lain dan ruang permesinan kategori A atau ruang yang berisi pompa pemadam kebakaran utama.

1.4.6 Pompa pemadam kebakaran darurat harus dipasang sedemikian rupa sehingga suplai air pada laju dan tekanan yang ditentukan dapat dipastikan dalam semua kondisi trim, roll dan pitch yang mungkin ditemui dalam pelayanan.

Jika pompa pemadam kebakaran darurat dipasang di atas garis air dalam kondisi kapal kosong, *net positive suction head* (NPSHreq) dari pompa harus sekitar 1 m lebih rendah dari *net positive suction head* (NPSHa) dari perangkat¹¹.

Setelah instalasi di kapal, uji unjuk kerja harus dilakukan untuk memverifikasi kapasitas yang dipersyaratkan. Sebisa mungkin, uji ini dilakukan pada sarat berlayar yang paling ringan pada posisi hisap.

1.4.7 Hisapan air laut harus ditempatkan sedalam mungkin dan demikian juga dengan pompa hisap dan pipa-pipa penyaluran harus diatur di luar ruang yang berisi pompa pemadam kebakaran utama.

Pada kasus khusus, persetujuan dapat diberikan untuk meletakkan pipa hisap dan pipa penyaluran yang pengeladak didalam ruangan yang berisi pompa pemadam kebakaran utama asalkan pipa tertutup dengan selubung baja yang kuat.

Sebagai alternatif lainnya dari selubung baja, tebal pipa harus sesuai dengan [Bab 11. Tabel 11.20 b](#), Kolom B, tetapi tidak kurang dari 11 mm, semua dilas dan terisolasi setara dengan standar A-60 (lihat [Guidance for Code and Convention Interpretations \(Pt.1, Vol.Y\) Sec.11, SC.245](#)).

Hisapan air laut juga dapat diletakkan di ruang permesinan kategori A jika persyaratan diatas tidak praktis. Dalam hal ini, pipa hisap harus sepengeladak mungkin dan katup harus dapat dioperasikan dari posisi di daerah sekitar pompa.

1.4.8 Katup laut secara permanen harus tetap terbuka dan diberi tanda yang sesuai ([lihat 1.3.12](#)). Sebagai alternatif, katup laut harus dapat dioperasikan dari posisi geladak dengan pompa, atau geladak dengan kontrol pompa untuk pompa yang dikendalikan jarak jauh.

¹¹ Referensi dibuat [Guidance for Design, Construction and Testing of Pumps \(Pt.1, Vol.V\)](#) and IMO MSC.1/Circ.1388, "Unified Interpretation of Chapter 12 of the International Code for Fire Safety Systems (FSS Code)".

Kotak laut harus selalu dalam keadaan dapat digunakan, persyaratan Bab 11, I.1.4 dan I.1.5 harus dipenuhi.

1.4.9 Ketika sistem pemadam kebakaran berbasis air tetap yang dipasang untuk melindungi ruang permesinan disuplai oleh pompa pemadam kebakaran darurat, kapasitas pompa pemadam kebakaran darurat harus memadai untuk mensuplai sistem pemadam kebakaran tetap pada tekanan yang dipersyaratkan dan dua buah jet air (lihat [Guidance for Code and Convention Interpretations \(Pt.1, Vol.Y Sec.11, SC.163\)](#)).

1.4.10 Sistem ventilasi ruang dimana pompa pemadam kebakaran darurat ditempatkan harus didesain sedemikian rupa sehingga asap tidak bisa terhisap ketika terjadi kebakaran di ruang mesin. Ventilasi udara paksa harus dihubungkan dengan suplai daya darurat.

1.4.11 Untuk diesel sebagai sumber daya untuk pompa pemadam kebakaran darurat, mesin tersebut harus mampu dinyalakan dengan tangan pada temperatur 0°C .

Jika hal ini tidak praktis atau jika temperatur yang lebih rendah mungkin ditemui, menyediakan pengaturan pemanasan yang sesuai harus dipertimbangkan, misalnya ruang pemanas atau pemanas air pendingin atau minyak pelumasan.

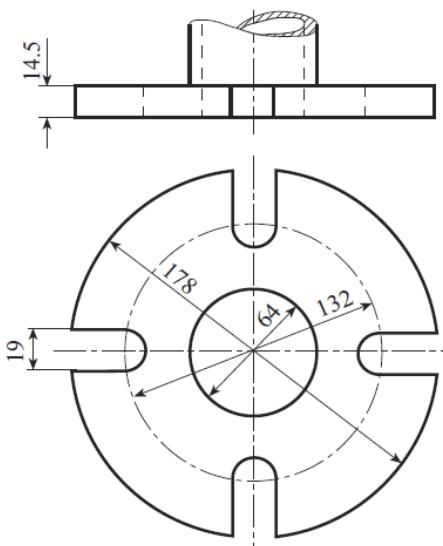
Jika penyalakan dengan tangan tidak praktis, sarana alternatif daya penyalakan yang terpisah harus disediakan. Sarana ini harus memungkinkan untuk mengaktifkan mesin diesel sekurang kurangnya 6 kali dalam jangka waktu 30 menit, dan sekurang-kurangnya dua kali dalam 10 menit pertama.

2. Pemadam Kebakaran Utama

2.1 Koneksi darat internasional

Kapal 500 GT dan lebih harus dilengkapi sekurang-kurangnya satu koneksi dimana air dapat dipompa dari darat ke pemadam kebakaran utama kapal. Dimensi dari flensa koneksi darat harus seperti yang ditunjukkan pada [Gambar 12.1](#)

Harus memungkinkan untuk menggunakan sambungan darat di kedua sisi kapal.



Gambar 12.1 Koneksi darat internasional

2.2 Perencanaan pemadam kebakaran utama

2.2.1 Kapal dimana pompa pemadam kebakaran darurat dipersyaratkan atau pompa pemadam kebakaran dipasang di kompartemen terpisah, harus memungkinkan menggunakan katup penyetop

untuk mengisolasi bagian dari pemadam pemadam kebakaran utama dalam ruang permesinan kategori A¹⁰ dimana pompa pemadam kebakaran utama ditempatkan, dari pemadam kebakaran utama lainnya. Katup penyetop harus diletakkan pada posisi yang mudah diakses di luar ruang permesinan kategori A.

Dengan katup penyetop yang tertutup, harus memungkinkan untuk mensuplai semua hidran yang terletak di luar ruang permesinan dimana pompa pemadam kebakaran utama berada dari pompa yang tidak berlokasi di ruang ini. Perpipaan di ruang mesin secara normal dapat tidak digunakan untuk tujuan ini. Namun, pada kasus lainnya, bagian pipa pengeladak dapat melalui dalam ruang permesinan dengan ketentuan integritasnya dapat dipertahankan dengan membuat pembatas pipa dengan selubung selubung baja yang kuat.

Sebagai alternatif lainnya dari selubung baja, tebal pipa harus sesuai dengan Bab 11. Tabel 11.20 b, Kolom B, tetapi tidak kurang dari 11 mm, semua dilas dan terisolasi setara dengan standar A-60

2.2.2 Pada kapal penumpang 4.000 GT dan lebih, pemadam kebakaran utama harus dipasang sebagai sebuah sistem melingkar yang dilengkapi dengan katup isolasi.

2.2.3 Pemadam kebakaran utama harus dilengkapi dengan katup pembuangan dan *cocks*.

2.2.4 Pipa cabang dari pemadam kebakaran utama untuk pembilasan tabung jangkar harus mampu dimatikan dari sekitar pompa pemadam kebakaran atau dari geladak terbuka. Pipa-pipa cabang lainnya yang tidak ditujukan untuk melayani pemadam kebakaran dan hanya sesekali digunakan dapat diterima jika dapat ditutup dari lokasi yang geladak dengan pompa pemadam kebakaran utama atau geladak terbuka. Perangkat penyetop harus dilengkapi dengan tanda yang memperingatkan personil untuk menutupnya setelah digunakan.

Atau, pipa-pipa cabang tersebut diatas dilengkapi dengan perangkat penutup yang dioperasikan secara elektrik jika kontrol pengendali terkait ditempatkan di tengah, misalnya di ruang kontrol mesin atau stasiun kontrol kebakaran.

2.2.5 Pada kapal tangki, pemadam kebakaran utama harus dilengkapi dengan isolating valve pada posisi yang terlindungi di depan geladak *poop* dan di geladak tangki pada interval yang tidak lebih dari 40 m¹².

2.2.6 Di bagian pipa dimana ada kemungkinan terjadi pembekuan selama operasi kapal di iklim yang dingin, ketentuan yang sesuai harus dibuat untuk jaringan pipa yang bertekanan secara terus menerus.

2.3 Desain pemadam kebakaran utama

2.3.1 Rumus berikut digunakan untuk ukuran pipa pemadam kebakaran utama:

$$d_F = 0,8 \cdot d_H$$

d_F = diameter dalam pipa pemadam kebakaran utama

d_H = diameter teoritis pipa bilga utama sesuai dengan Bab 11.N.2.

$d_{F\min}$ = 50 mm

Untuk ketebalan pipa lihat Bab 11, Tabel 11.5 (pipa air laut).

2.3.2 Pada kapal penumpang diameter d_F tidak melebihi $d_{F\max} = 175$ mm, pada kapal kargo $d_{F\max} = 130$ mm berurutan.

2.3.3 Seluruh pemadam kebakaran utama harus dirancang untuk tekanan kerja maksimum yang diizinkan, dengan tekanan kerja minimal 10 bar untuk pemadam kebakaran utama.

¹² Mengacu pada IMO MSC.1 / Circ.1456.

2.3.4 Untuk semua kapal tekanan buang nosel tidak kurang dari [Tabel 12.3](#) ketika air diambil secara bersamaan dari dua hidran yang bergeladakatan. Pada kapal tangki gas cair persyaratan ini harus memenuhi tekanan minimum pada nosel $0,50 \text{ N/mm}^2$ (lihat [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol.IX Sec. 11, 11.2.1\)](#).

Tabel 12.3 Tekanan pada nosel

Jenis kapal	GT	Tekanan pada nosel [N/mm^2]
Kapal kargo	< 6.000	0,25
	≥ 6.000	0,25
Kapal penumpang	< 4.000	0,30
	≥ 4.000	0,40

2.4 Hidran

2.4.1 Hidran harus diposisikan sedemikian rupa sehingga air dari dua nosel secara bersamaan dapat tercapai, salah satunya harus berasal dari satu panjang selang tunggal,

- disetiap bagian dari kapal dimana penumpang dan kru yang biasanya memiliki akses selama berlayar,
- disetiap bagian dari ruang kargo kosong,

pada ruang ro-ro atau ruang kendaraan harus memungkinkan untuk mencapai setiap bagian dengan air dari dua nosel secara bersamaan, masing-masing dari satu panjang selang tunggal.

Pada kapal penumpang setiap bagian dari akomodasi, servis dan ruang mesin harus mampu dicapai dengan air dari sekurang-kurangnya dua nosel, salah satunya harus berasal dari satu panjang selang tunggal, ketika semua pintu kedap air dan semua pintu di sekat zona vertikal utama tertutup.

2.4.2 Hidran geladak harus diatur sedemikian rupa sehingga tetap dapat diakses saat membawa kargo geladak. Hidran harus diletakkan geladak dengan akses ke ruang. untuk ruang kargo pengangkutan muatan berbahaya, persyaratan tambahan [P](#) dan [Q](#), sebagaimana berlaku, harus diperhatikan.

2.4.3 Hidran di ruang mesin dan ruang boiler:

Jumlah dan posisi hidran harus sesuai dengan [2.4.1](#). untuk kapal kurang dari 500 GT, satu hidran mencukupi. Hidran harus diletakkan pada posisi yang mudah diakses di atas pelat wrang di masing-masing sisi kapal. Salah satu hidran harus ditempatkan di jalur penyelamatan darurat yang lebih rendah.

2.4.4 Selain itu, kapal penumpang harus dilengkapi dengan dua hidran di ruangan yang menghubungkan level yang lebih rendah pada ruang mesin dimana ruang tersebut merupakan bagian dari rute penyelamatan (misalnya terowongan poros).

2.5 Selang pemadam kebakaran

2.5.1 Selang pemadam kebakaran harus terbuat dari material *non-decomposing*.

2.5.2 Selang pemadam kebakaran harus memiliki panjang sekurang-kurangnya 10 m, tetapi tidak lebih dari

- 15 m di ruang mesin
- 20 m di ruang lain dan geladak terbuka
- 25 m untuk geladak terbuka pada kapal dengan lebar maksimum tidak lebih dari 30 m

Setiap selang harus dilengkapi dengan kopling *quick acting* dari tipe yang disetujui, nosel dan kunci pas kopling. Selang pemadam kebakaran harus disimpan dengan nosel yang terpasang pada posisi yang mudah diakses geladakat dengan hidran.

2.5.3 Pada kapal penumpang, selang kebakaran dengan nosel harus disediakan untuk setiap hidran yang dipersyaratkan.

Pada kapal yang mengangkut lebih dari 36 penumpang, selang hidran yang diletakkan di dalam bangunan atas harus disimpan secara permanen digabungkan ke hidran.

2.5.4 Kapal kargo 1.000 GT dan lebih harus dilengkapi dengan selang pemadam kebakaran dengan nosel untuk setiap 30 m dari panjang kapal dan dengan satu selang tambahan, tapi sekurang-kurangnya dilengkapi lima selang. Selain itu, untuk ruang mesin dan ruang boiler, harus disediakan selang kebakaran dengan nosel untuk setiap hidran tambahan yang dipersyaratkan.

2.5.5 Kapal kargo 500 s.d 1.000 GT harus dilengkapi dengan sekurang kurangnya lima selang.

2.5.6 Kapal kargo kurang dari 500 GT harus dilengkapi dengan sekurang kurangnya tiga selang pemadam kebakaran.

2.5.7 Kapal untuk pengangkutan muatan berbahaya sesuai P dan Q, sebagaimana berlaku, harus dilengkapi dengan 3 selang tambahan dan nosel.

2.6 Nosel

2.6.1 Hanya nosel jet dan semprot fungsi ganda dengan *shut-off* yang harus disediakan.

2.6.2 Ukuran nosel adalah 12, 16 dan 19 mm atau yang segeladakat mungkin.

Di ruang akomodasi dan servis, ukuran nosel 12 mm sudah cukup.

Untuk lokasi ruang permesinan dan eksterior, ukuran nosel harus sedemikian rupa sehingga memungkinkan buang maksimum dari dua nosel pada tekanan yang dipersyaratkan dari kapasitas pompa pemadam kebakaran terkecil yang ada; Namun, ukuran nosel yang lebih besar dari 19 mm tidak diperlukan.

F. Alat Pemadam Kebakaran Portabel dan Bergerak, Portabel aplikator *Foam* dan aplikator kabut air

1. Pemadam kebakaran Media, berat, klas kebakaran dan cadangan yang dibutuhkan

1.1 Medium untuk pemadam kebakaran harus sesuai untuk potensial kelas kebakaran, lihat [Tabel 12.4](#).

Tabel 12.4 Klasifikasi Media pemadam kebakaran

Kelas kebakaran	Bahaya kebakaran	Media pemadam
A	Bahan padat alam organik yang mudah terbakar (misalnya kayu, batu bara, bahan fiber, karet, plastik)	Air, bubuk kering/kimia kering, <i>foam</i>
B	Cairan yang mudah terbakar (misalnya minyak, ter, bensin, gemuk dan minyak berbasis cat)	bubuk kering/kimia kering, <i>foam</i> , karbon dioksida
C	Gas yang mudah terbakar (misalnya asetilena, propana)	bubuk kering/bahan kimia kering
D	Bahan mudah terbakar (misalnya magnesium, sodium, titanium dan lithium)	bubuk kering atau bahan kimia kering khusus (logam)
F (K)	Minyak untuk masak, gemuk atau lemak	larutan kimia basah
-	Peralatan listrik	Karbon dioksida, bubuk kering/bahan kimia kering

Media pemadam beracun dan media pemadaman yang menghasilkan gas beracun tidak dapat digunakan.

Pemadam kebakaran CO₂ tidak boleh berada di area akomodasi dan alat pemadam kebakaran air tidak dapat berada di ruang permesinan.

1.2 Alat pemadam kebakaran harus disetujui sesuai dengan standar yang diajukan.

Untuk penggunaan di area dengan peralatan listrik yang beroperasi pada tegangan > 1 kV, kesesuaian harus dibuktikan.

1.3 Isi bubuk kering dan gas pemadam portabel harus minimal 5 kg dan isi *foam* dan air pemadam tidak kurang dari 9 liter.

Berat maksimum pemadam kebakaran portable yang siap digunakan tidak melebihi 20 kg.

1.4 Unit pemadam kebakaran bergerak harus didesain untuk isi bubuk kering standar 50 kg atau untuk kandungan larutan *foam* 45 atau 136 liter.

Disarankan bahwa hanya bubuk pemadam kering yang digunakan.

1.5 Untuk pemadam kebakaran yang dapat diisi ulang di kapal, suku cadang harus disediakan:

- 100% untuk 10 alat pemadam kebakaran dari setiap jenisnya,
- 50% untuk alat pemadam kebakaran yang tersisa dari setiap jenisnya, tetapi tidak lebih dari 60 (pecahan harus dibulatkan).

1.6 Untuk alat pemadam kebakaran yang tidak bisa diisi ulang di kapal, tambahan alat pemadam kebakaran portable dari jenis dan kapasitas yang sama harus tersedia. Jumlah ini harus ditentukan sesuai 1.5.

1.7 Aplikator *foam* portabel

1.7.1 Unit aplikator *foam* portabel harus terdiri dari *foam* nosel/ pipa cabang, baik dari jenis induksi sendiri atau kombinasi dengan induktor terpisah, mampu terhubung ke pemadam kebakaran utama melalui selang pemadam kebakaran, bersama dengan dua tangki portable yang masing-masing berisi sekurang-kurangnya 20 liter konsentrasi *foam* yang disetujui¹³.

1.7.2 Nosel/pipa cabang dan induktor harus mampu menghasilkan *foam* yang efektif untuk memadamkan kebakaran minyak, dengan laju aliran larutan *foam* minimal 200 liter/menit pada tekanan nominal di pemadam kebakaran utama.

¹³ Mengacu pada IMO MSC.1 / Circ.1312

2. Jumlah dan lokasi

2.1 Umum

2.1.1 Salah satu alat pemadam kebakaran portable harus ditempatkan pada akses ke ruang individu yang di desain untuk itu. Dianjurkan alat pemadam kebakaran portable yang tersisa di ruang publik dan bengkel diletakkan pada atau geladakat pintu masuk utama dan pintu keluar.

Bila ruangan terkunci ketika tak berawak, alat pemadam kebakaran portable yang dipersyaratkan untuk ruang tersebut dapat disimpan di dalam atau di luar ruang tersebut.

2.1.2 Jika alat pemadam kebakaran portable tidak cocok untuk pemadam kebakaran pada instalasi listrik, alat pemadam tambahan harus disediakan untuk kebutuhan ini. Alat pemadam kebakaran harus ditandai dengan tegangan maksimum yang diizinkan dan dengan jarak minimum yang harus dipertahankan saat digunakan.

2.2 Alat pemadam kebakaran portable

Jumlah minimum dan distribusi alat pemadam kebakaran portable harus dipilih sesuai dengan [Tabel 12.5](#) dengan mempertimbangkan bahaya kebakaran di ruang masing-masing¹⁴. Kelas-kelas alat pemadam kebakaran portable pada tabel hanya untuk referensi.

2.3 Pemadam kebakaran bergerak, aplikator *foam* portabel dan aplikasi kabut air

Ruang permesinan dan ruang kategori khusus harus dilengkapi dengan alat pemadam kebakaran bergerak, unit aplikator *foam* portabel dan aplikator kabut air seperti yang dijelaskan selanjutnya, tergantung kegunaan nya.

2.3.1 Ruang permesinan kategori A¹⁰ yang terdapat mesin pembakaran dalam

Berikut ini yang harus disediakan:

- Peralatan pemadam kebakaran portable harus diletakkan sedemikian rupa sehingga tidak ada titik dalam ruangan yang lebih dari 10 m berjalan kaki dari alat pemadam kebakaran
- Peralatan pemadam kebakaran bergerak dengan bubuk kering 50 kg atau *foam* 45 liter harus diletakkan sedemikian rupa sehingga alat pemadam tersebut dapat diarahkan ke setiap bagian dari sistem tekanan bahan bakar dan pelumas, sistem roda gigi dan bahaya kebakaran lainnya
- Sekurang kurang nya satu unit aplikator *foam* portabel

Untuk ruang yang lebih kecil pada kapal kargo (misalnya ruang diesel generator darurat), peralatan yang tercantum di atas dapat ditempatkan di luar geladakat pintu masuk ke ruang tersebut.

¹⁴ Referensi dibuat untuk IMO Res. A.951(23) "Improved Guidelines for Marine Portable Fire Extinguishers".

Tabel 12.5 Jumlah minimum dan distribusi alat pemadam kebakaran portable di berbagai jenis ruang

	Jenis ruang	Jumlah minimum pemadam	Kelas pemadam
Ruang akomodasi	Ruang publik	1 per 250 m areal geladak atau pecahannya	A
	Koridor	Jarak perjalanan ke alat pemadam kebakaran tidak boleh melebihi 25 m pada setiap geladak dan zona vertikal utama	A
	Tangga	0	
	WC, kabin, kantor, pantri yang tidak berisi peralatan memasak	0	
	Rumah sakit	1	A
Ruang servis	Tempat cuci pakaian, ruang pengeringan, pantri yang berisi peralatan memasak	1 ²	A atau B
	Loker dan gudang (areal geladak 4 m ² atau lebih), ruang surat dan bagasi, ruang specie, bengkel (bukan bagian dari ruang mesin, dapur)	1 ²	B
	Dapur	1 kelas B dan 1 tambahan kelas F atau K untuk dapur dengan <i>deep fat fryers</i>	B, F, atau K
	Loker dan gudang (areal geladak kurang dari 4 m ²)	0	
	Loker cat dan ruang lain dimana cairan yang mudah terbakar disimpan	Sesuai dengan Bab 12, M.1	
	Stasiun kontrol (selain ruang kemudi), misalnya ruang baterai (tidak termasuk ruang CO ₂ dan ruang foam)	1	A atau C
	Ruang kemudi	2, jika ruang kemudi kurang dari 50 m ² hanya 1 pemadam yang dipersyaratkan ³	A atau C
	Ruang yang terdapat mesin pembakaran dalam	tidak ada titik dalam ruangan yang lebih dari 10 m berjalan kaki dari alat pemadam kebakaran ⁶	B
	Ruang yang terdapat boiler bahan bakar minyak	2 untuk setiap ruangan pembakaran	B
	Ruang yang terdapat turbin uap atau mesin uap tertutup	tidak ada titik dalam ruangan yang lebih dari 10 m berjalan kaki dari alat pemadam kebakaran	B
	Stasiun pusat kontrol untuk permesinan propulsii	1, dan 1 pemadam tambahan yang sesuai untuk kebakaran listrik saat <i>switchboard</i> utama ditempatkan dalam stasiun kontrol pusat	A dan/atau C
	Sekitar <i>switchboard</i> utama	2	C
	Bengkel	1	A atau B
	Ruang tertutup dengan generator gas lembam bahan bakar minyak, incinerator dan unit pembuangan limbah	2	B
	Ruangan tertutup dengan purifier bahan bakar minyak	0	
	Ruang permesinan kategori A tanpa pengawasan secara berkala	1 di setiap pintu masuk ¹	B

Tabel 12.5 Jumlah minimum dan distribusi alat pemadam kebakaran portable di berbagai jenis ruang (lanjutan)

	Jenis ruang	Jumlah minimum pemadam	Kelas Pemadam
Ruang lain	Bengkel yang merupakan bagian dari ruang permesinan	1	B atau C
	Ruang mesin lain (ruang permesinan bantu, ruang peralatan listrik, ruang pertukaran auto-telepon, ruang AC dan ruang lain yang serupa)	1 ⁷	B atau C
	Geladak cuaca	0 ⁴	B
	Ruang Ro/ro dan ruang kendaraan	tidak ada titik dalam ruangan yang lebih dari 20 m berjalan kaki dari alat pemadam kebakaran kebakaran di setiap tingkat geladak 4,5	B
	Ruang kargo	0 ⁴	B
	Ruang pompa kargo dan ruang kompresor gas	2	B atau C
	Geladak heli (<i>Helideck</i>)	Sesuai dengan Bab 12, O.1	B
1	Alat pemadam kebakaran portabel yang dipersyaratkan untuk ruangan kecil dapat terletak di luar dan di geladak pintu masuk ruang		
2	Untuk ruang servis, alat pemadam kebakaran portable yang dipersyaratkan untuk ruangan kecil tersebut diletakkan di luar atau di geladak pintu masuk ke ruangan tersebut, juga dapat dianggap sebagai bagian dari persyaratan untuk ruangan dimana alat tersebut ditempatkan.		
3	Jika ruang kemudi bergeladakan dengan ruang peta dan memiliki pintu dengan akses langsung ke ruang peta, tidak perlu tambahan alat pemadam kebakaran pada ruang peta. Hal yang sama berlaku untuk pusat keselamatan jika berada dalam batas ruang kemudi di kapal penumpang.		
4	Alat pemadam kebakaran portabel, yang memiliki total kapasitas tidak kurang dari 12 kg bubuk kering, harus tersedia saat muatan berbahaya diangkut di geladak cuaca, di ruang ro-ro terbuka dan ruang kendaraan, dan dalam ruang kargo yang sesuai, lihat Bab 12, P.9. Dua alat pemadam kebakaran portable, masing-masing memiliki kapasitas yang sesuai, harus tersedia di geladak cuaca untuk kapal tangki.		
5	Tidak ada alat pemadam kebakaran portable yang perlu disediakan di ruang kargo pada kapal kontainer jika kendaraan bermotor dengan bahan bakar dalam tankinya untuk konsumsi sendiri dibawa dalam kontainer terbuka atau tertutup.		
6	Alat pemadam kebakaran portabel dipersyaratkan untuk boiler berbahan bakar minyak dapat diperhitungkan.		
7	Alat peralatan pemadam kebakaran portable yang diletakkan tidak kurang dari 10 m berjalan kaki di luar ruang ini, misalnya diletakkan di koridor, dengan itu dapat memenuhi persyaratan ini		

2.3.2 Ruang permesinan kategori A¹⁰ yang terdapat boiler pembakaran minyak

Sekurang-kurangnya harus disediakan:

- Dua pemadam bergerak bubuk kering 50 kg atau satu pemadam bergerak *foam* 135 liter di setiap ruang boiler. Alat pemadam harus dilengkapi dengan selang dalam gulungan yang sesuai untuk mencapai setiap bagian dari ruang boiler. Untuk boiler domestik kurang dari 175 kW, satu pemadam portabel men cukupi
- Wadah yang berisi sekurang-kurangnya 0,1 m³ pasir atau serbuk gergaji yang mengandung soda atau satu tambahan alat pemadam portabel sebagai alternatif.
- Sekurang-kurangnya satu unit aplikator *foam* portabel

2.3.3 Ruang permesinan yang terdapat turbin uap atau mesin uap tertutup

Dalam ruangan yang terdapat turbin uap atau mesin uap tertutup yang memiliki keluaran total 375 kW dan lebih yang digunakan untuk propulsi utama atau tujuan lain, alat pemadam kebakaran bergerak

bubuk kering 50 kg atau *foam* 45 liter harus tersedia yang diletakkan sedemikian rupa sehingga pemadam dapat diarahkan ke setiap bagian dari sistem bahan bakar dan sistem minyak pelumas bertekanan, sistem roda gigi dan bahaya kebakaran lainnya. Persyaratan ini tidak berlaku ketika ruangan dilindungi oleh sistem pemadam kebakaran tetap sesuai dengan [Tabel 12.1](#)

2.3.4 Ruang permesinan kategori A¹⁰ di kapal penumpang

Selain peralatan pemadam kebakaran yang ditentukan dalam [2.2](#) dan [2.3.1 - 2.3.3](#), ruang permesinan kategori A di kapal penumpang yang mengangkut lebih dari 36 penumpang harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya dua aplikator kabut air.

2.3.5 Ruang permesinan pada kapal kecil

Kapal kurang dari 500 GT, ruang permesinan yang dimaksud dalam [2.3.1](#) sampai [2.3.4](#) tidak perlu dilengkapi dengan alat pemadam kebakaran bergerak dan unit *foam* aplikator portabel, kecuali sistem pemadam kebakaran tetap tidak disediakan di ruang tersebut.

2.3.6 Kategori ruang khusus untuk kapal penumpang dan ruang ro/ro

Setiap ruang harus dilengkapi dengan satu unit aplikator *foam* portabel dan tiga aplikator kabut air. Sekurang-kurangnya sebanyak dua aplikator *foam* portabel harus tersedia.

G. Sistem Pemadam Kebakaran CO₂ Tekanan Tinggi

1. Perhitungan kuantitas CO₂ yang diperlukan

Perhitungan kuantitas CO₂ yang diperlukan harus berdasarkan pada volume gas yakni 0,56 m³ per kg CO₂.

Jika dua atau lebih ruangan individu yang dibanjiri terhubung ke sistem CO₂, total kuantitas CO₂ yang tersedia tidak perlu lebih dari jumlah terbesar yang dibutuhkan untuk satu ruang tersebut.

Ruang yang bersebrangan dengan sistem ventilasi independen yang dipisahkan dengan sekurang-kurangnya divisi kelas A-O harus dianggap sebagai ruangan yang sama.

1.1 Ruang permesinan, boiler dan pompa kargo

1.1.1 Kuantitas gas yang tersedia untuk ruang yang terdapat mesin pembakaran dalam, boiler pembakaran minyak atau peralatan pembakaran minyak lainnya, untuk ruang purifier sesuai dengan [B.2.1](#) dan untuk ruang pompa kargo harus cukup untuk volume minimum gas bebas adalah sama dengan volume gas yang lebih besar sebagai berikut:

- 40% dari volume kotor ruangan terbesar termasuk volume kotor selubung mesin hingga titik dimana areal horizontal mencapai kurang dari 40 %, luasan areal diambil dari titik antara bagian atas tangki dan titik terendah selubung mesin.
- 35% dari volume kotor ruang terbesar termasuk selubung mesin.

1.1.2 Untuk kapal kargo di bawah 2.000 GT, persen yang ditentukan pada [1.1.1](#) dapat dikurangi masing-masing menjadi 35% dan 30%.

1.1.3 Untuk ruang pompa kargo pada kapal tangki kimia, dan untuk kompartemen dan pompa kargo di kapal tangki gas cair, volume gas bebas yang tersedia harus dihitung berdasarkan 45% dari volume kotor ruang.

1.1.4 Untuk ruang permesinan tanpa selubung (misalnya ruang insinerator atau generator gas lembam) volume gas bebas yang tersedia harus dihitung berdasarkan 35% dari volume kotor ruang.

1.1.5 Ketika dua atau lebih ruang yang terdapat boiler atau mesin pembakaran dalam yang tidak sepenuhnya dipisahkan, ruang tersebut dianggap sebagai satu ruang untuk menentukan kuantitas CO₂ yang dibutuhkan.

1.1.6 Volume tabung udara *start*, dikonversi ke volume udara bebas, harus ditambahkan ke volume kotor ruang mesin saat menghitung jumlah yang diperlukan dari media pemadam. Sebagai alternatif, pipa pembuang, melalui dari katup pengaman ke udara terbuka dapat dipasang.

1.2 Ruang kargo

1.2.1 Di ruang kargo, kuantitas CO₂ yang tersedia harus cukup untuk mengisi minimal 30% dari volume kotor ruang kargo terbesar yang mampu disegel. Perhitungan volume kotor harus berdasarkan jarak dari dasar ganda (atap tangki) ke geladak cuaca termasuk palka dan batas-batas vertikal dari ruang kargo tersebut.

1.2.2 jika ruang kargo container dilengkapi dengan penutup palka kedap cuaca parsial, maka kuantitas CO₂ pada ruang kargo dinaikkan berdasarkan formula berikut yang sesuai :

$$CO_{2\text{30\%}}^{\text{INC}} = 60 \cdot A_T \cdot \sqrt{\frac{B}{2}}$$

$$CO_{2\text{45\%}}^{\text{INC}} = 4 \cdot A_T \cdot \sqrt{\frac{B}{2}}$$

$CO_{2\text{30\%}}^{\text{INC}}$ = meningkatkan kuantitas CO₂ untuk ruang kargo yang tidak untuk muatan kendaraan bermotor dengan bahan bakar di dalam tangkinya untuk propulsi [kg]

$CO_{2\text{45\%}}^{\text{INC}}$ = meningkatkan kuantitas CO₂ untuk ruang kargo untuk muatan kendaraan bermotor dengan bahan bakar di dalam tangki nya untuk propulsi [kg]

A_T = Total luasan maksimum celah terkait desain di tutup palka [m²]

B = lebar ruang kargo yang dilindungi oleh sistem CO₂ [m²]

Celah tidak kedap cuaca tidak boleh melebihi 50 mm.

1.2.3 Untuk ruang kargo di kapal yang hanya mengangkut batubara, bijih, bulir basah, kayu, kargo tak mudah terbakar atau kargo yang mewakili risiko kebakaran rendah, aplikasi dapat dibuat ke otoritas nasional untuk pembebasan dari persyaratan ini.

1.2.4 Untuk ruang kargo kapal yang dimaksudkan untuk mengangkut muatan kendaraan bermotor dengan tangki bahan bakar terisi dan untuk ruang ro-ro tertutup, kuantitas CO₂ yang tersedia harus cukup untuk mengisi sekurang-kurangnya 45% dari volume kotor ruang kargo tertutup terbesar.

1.2.5 Disarankan bahwa ruang surat, ruang untuk gudang terbatas dan ruang bagasi dihubungkan ke sistem pemadam kebakaran CO₂.

1.2.6 Ketika ruang kargo terhubung ke sistem CO₂ yang sementara digunakan sebagai ruang untuk pengangkutan tangki kargo, sarana harus disediakan untuk menyegel jalur penghubung yang relevan selama periode tersebut dengan menggunakan flensa kacamata (*spectacle flanges*).

1.3 Perlindungan terhadap ruang tekanan berlebih/ tekanan kurang

Harus dijaga bahwa ruangan yang dibanjiri CO₂ tidak dapat menyebabkan tekanan berlebih atau kurang dalam ruang yang dimaksud. Jika perlu, sarana yang sesuai untuk melepaskan tekanan harus tersedia.

2. Silinder CO₂

2.1 Desain dan peralatan

2.1.1 Berhubungan dengan material, pabrik pembuat, jenis dan pengujian, silinder CO₂ harus memenuhi persyaratan Bab 8.G.

2.1.2 Silinder CO₂ normalnya hanya dapat diisi dengan CO₂ cair dalam rasio 2 kg CO₂ untuk setiap 3 liter kapasitas silinder. Tergantung pada rute pelayaran, pertimbangan khusus dapat diberikan untuk rasio pengisian yang lebih tinggi (3 kg CO₂ untuk setiap kapasitas 4 liter).

2.1.3 Silinder yang ditujukan untuk membanjiri kamar boiler, ruang permesinan serta ruang pompa kargo dan kompresor, harus dilengkapi dengan katup cepat terbuka untuk pelepasan berkelompok yang memungkinkan ruang ini untuk dibanjiri dengan 85% dari volume gas yang diperlukan dalam waktu dua menit.

Silinder yang dimaksudkan untuk membanjiri ruang kargo hanya perlu dilengkapi dengan katup pelepasan individu, kecuali untuk ruang kargo pada pengangkutan kontainer berpendingin dan untuk kasus-kasus yang dibahas dalam 3.5 yang membutuhkan silinder dengan katup cepat-terbuka untuk pelepasan secara berkelompok.

Untuk ruang kargo pada pengangkutan kendaraan bermotor dengan bahan bakar di tankinya dan untuk ruang ro-ro silinder CO₂ dengan katup cepat terbuka yang cocok untuk pelepasan berkelompok harus tersedia untuk membanjiri ruang ini dalam waktu 10 menit dengan 2/3 dari jumlah CO₂ yang ditentukan.

Untuk ruang kargo yang ditunjukkan dalam G.4.14, silinder CO₂ dengan katup cepat terbuka yang cocok untuk pelepasan berkelompok harus disediakan untuk membanjiri ruang ini dalam waktu yang dibutuhkan dalam G.4.14.

2.1.4 Katup silinder harus disetujui oleh institusi yang diakui dan dilengkapi dengan perangkat pelepasan tekanan berlebihan.

2.1.5 Siphons harus tersambung ke katup silinder dengan aman.

2.2 Disposisi

2.2.1 Silinder CO₂ harus disimpan di ruang khusus, diikat dengan aman dan terhubung ke *manifold*. Check valve harus dipasang antara silinder individu dan *manifold*.

Jika selang yang digunakan untuk menghubungkan silinder ke *manifold*, maka harus terbuat dari jenis yang disetujui.

2.2.2 Sekurang-kurangnya silinder yang dimaksudkan untuk membanjiri kamar boiler dengan cepat dan ruang permesinan, harus dikelompokkan bersama dalam satu ruangan.

2.2.3 Silinder untuk sistem pemadam kebakaran CO₂ untuk batang pembilas dan untuk tujuan yang sama dapat disimpan dalam ruang permesinan dengan syarat pembuktian melalui perhitungan disediakan bahwa konsentrasi gas bebas CO₂ (dalam kasus kebocoran di semua silinder yang tersedia) relatif terhadap volume bersih dari ruang mesin tidak melebihi 4%.

3. Ruang untuk silinder CO₂

3.1 Ruang untuk silinder CO₂ tidak dapat diletakkan didepan sekat tubrakan dan, sedapat mungkin, diletakkan di geladak terbuka. Akses harus memungkinkan dari geladak terbuka. Ruang silinder CO₂ dibawah geladak terbuka harus dilengkapi tangga yang mengarah langsung ke geladak terbuka. Ruang silinder CO₂ tidak boleh berada lebih dari satu geladak dibawah geladak terbuka. Koneksi langsung melalui pintu atau bukaan lainnya antara kamar silinder dan ruang mesin atau ruang akomodasi di bawah geladak terbuka tidak diizinkan. Selain kabin itu sendiri, ruang lain yang tersedia untuk digunakan oleh penumpang dan kru seperti ruang sanitasi, ruang publik, *stair wells* dan koridor juga dianggap merupakan bagian dari ruang akomodasi.

Ukuran ruang silinder dan susunan silinder harus kondusif untuk operasi yang efisien. Sarana harus disediakan untuk:

- membawa silinder ke geladak terbuka, dan
- kru untuk memeriksa jumlah CO₂ yang aman dalam silinder, independen dari temperatur sekitar. Cara ini harus diatur sedemikian rupa sehingga tidak perlu untuk memindahkan silinder sepenuhnya dari posisi tetap. Hal ini dapat dicapai, misalnya, dengan menyediakan batang untuk menggantung di atas setiap baris botol untuk perangkat pengukur berat atau dengan menggunakan indikator permukaan yang cocok.

Ruang silinder harus dapat dikunci. Pintu ruang silinder harus membuka ke arah luar.

Sekat dan geladak termasuk pintu, sarana lain untuk menutup bukaan didalamnya yang membentuk batasan antara ruang penyimpanan CO₂ dan ruang tertutup yang berdekatan harus kedap gas.

Ruang silinder yang secara khusus hanya digunakan untuk instalasi silinder CO₂ dan komponen sistem terkait.

3.2 Ruang silinder sedemikian rupa harus terlindungi atau terisolasi terhadap panas dan radiasi matahari sehingga temperatur kamar tidak melebihi 45 °C. Batas ruang silinder harus sesuai dengan katup isolasi yang dianjurkan untuk stasiun kendali (lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\) Sec. 22](#)).

Ruang silinder harus dilengkapi dengan termometer untuk memeriksa temperatur kamar.

3.3 Ruang silinder harus dilengkap dengan ventilasi yang memadai. Ruang dimana akses dari geladak terbuka tidak tersedia atau yang terletak di bawah geladak harus dilengkapi dengan ventilasi mekanik dengan tidak kurang dari 6 pertukaran udara per jam. Saluran buang harus diarahkan ke bagian bawah ruang. Ruang lain dapat tidak terhubung ke sistem ventilasi ini.

3.4 Ruang silinder harus cukup dipanaskan jika selama pelayanan kapal temperatur ruangan nominal 20 °C tidak dapat dipertahankan pada kondisi sekitar.

3.5 Ketika kru perlu melewati ruang kargo yang dilindungi CO₂ untuk mencapai ruang silinder, misalnya jika ruang silinder terletak didepan ruang kargo yang dilindungi CO₂ dan blok akomodasi diatur di daerah buritan kapal, maka kontrol pelepasan jarak jauh harus ditempatkan di area akomodasi untuk memfasilitasi kesiapan aksesibilitas oleh kru. Kontrol pelepasan dan jalur pelepasan jarak jauh harus terbuat dari konstruksi kuat atau ruang yang begitu terlindungi. Kemampuan untuk melepaskan kuantitas CO₂ ke ruang kargo yang berbeda harus dimasukkan dalam pengaturan pelepasan jarak jauh.

4. Perpipaan

4.1 Pipa harus dibuat dari material yang dapat dilas sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#).

4.2 *Manifold* dari silinder hingga dan termasuk katup distribusi harus dirancang untuk tekanan kerja nominal PN 100.

Sertifikat material harus tersedia sesuai dengan persyaratan untuk pipa kelas I (lihat Bab 11). Sertifikat inspeksi pabrik pembuat dapat diterima asalkan setara dengan cara penandaan pipa (nama produsen pipa, angka kalor, tanda uji) referensi yang jelas untuk sertifikat dapat diberikan. Persyaratan mengenai penandaan tersebut harus ditaati saat memproses pipa.

4.3 Pipa kerja diantara katup distribusi dan nosel harus dirancang untuk tekanan kerja nominal PN 40. Namun, untuk tujuan sertifikasi material, pipa ini dapat dianggap pipa klas III.

4.4 Semua pipa harus terlindungi dari korosi eksternal. Jalur distribusi yang melayani ruang selain ruang permesinan harus digalvanis secara internal.

4.5 Koneksi pipa lasan atau flensa tersedia. Untuk pipa dengan lubang nominal kurang dari 50 mm, kopling las tipe kompresi dapat digunakan.

Sambungan ulir hanya untuk digunakan di dalam ruang yang dilindungi CO₂

4.6 Lengkungan atau kompensator yang cocok harus tersedia untuk mengakomodasi ekspansi termal dari jaringan pipa. Selang untuk menghubungkan silinder CO₂ ke *manifold* harus dari tipe yang disetujui dan garis selang harus dibuat oleh pabrik pembuat yang disetujui oleh BKI, lihat Bab 11.U.

4.7 Distribusi pipa untuk pembanjiran cepat harus di desain sedemikian rupa sehingga pembekuan karena ekspansi gas pemadam tidak dapat terjadi. Nilai referensi ditunjukkan pada Tabel 12.6. Perhitungan aliran sistem harus dilakukan dengan menggunakan teknik perhitungan yang diajukan (misalnya program perhitungan NFPA).

Tabel 12.6 Desain jalur banjir cepat

Diameter Nominal DN		Berat CO ₂ untuk ruang permesinan dan boiler	Berat CO ₂ untuk palka pada kendaraan bermotor
[mm]	[inci]	[kg]	[kg]
15	½	45	400
20	¾	100	800
25	1	135	1.200
30	1¼	275	2.500
40	1½	450	3.700
50	2	1.100	7.200
65	2½	1.500	11.500
80	3	2.000	20.000
90	3½	3.250	
100	4	4.750	
110	4½	6.810	
125	5	9.500	
150	6	15.250	

4.8 Nominal minimum diameter jalur pembanjiran dan cabangnya ke nosel dalam ruang kargo adalah 20 mm; yang dari koneksi nosel 15 mm.

Ketebalan pipa minimum ditunjukkan pada Tabel 12.7.

4.9 Sambungan kompresi udara dengan *non-return valve* dan *shut-off valve* harus dipasang pada titik yang sesuai. Koneksi udara terkompresi harus mempunyai ukuran yang cukup untuk memastikan bahwa,

ketika udara ditiupkan melalui sistem pada tekanan 5 sampai 7 bar, memungkinkan untuk memeriksa aliran udara keluar dari semua nosel.

4.10 Pipa CO₂ dapat melewati ruang akomodasi asalkan mereka berdinding tebal menurut [Bab 11](#), [Tabel 11.6](#) Grup D (untuk pipa dengan diameter luar kurang dari 38 mm, ketebalan dinding minimum adalah 5,0 mm), disambungkan hanya dengan pengelasan dan tidak dilengkapi dengan saluran air atau bukaan lain dalam ruang tersebut.

Pipa CO₂ tidak dapat diarahkan melalui ruang berpendingin.

4.11 Di bagian pipa dimana perencanaan katup memperlihatkan bagian dari perpipaan tertutup (misalnya *manifold* dengan katup distribusi), bagian tersebut harus dilengkapi dengan sebuah katup pelepas tekanan dan *outlet* katup harus mengarah ke geladak terbuka.

Tabel 12.7 Ketebalan minimum pipa baja untuk CO₂

Da [mm]	Dari silinder ke katup distribusi [mm]	Dari katup distribusi ke nosel [mm]
21,3 – 26,9	3,2	2,6
30,0 – 48,3	4,0	3,2
51,0 – 60,3	4,5	3,6
63,5 – 76,1	5,0	3,6
82,5 – 88,9	5,6	4,0
101,6	6,3	4,0
108,0 – 114,3	7,2	4,5
127,0	8,0	4,5
133,0 – 139,7	8,0	5,0
152,4 – 168,3	8,8	5,6

4.12 Pipa CO₂ yang juga digunakan untuk pipa pengambilan sampel asap harus berjenis *self-draining*.

4.13 Pipa CO₂ yang melewati tangki air balas harus disambungkan dengan pengelasan dan ketebalan dinding sesuai dengan [Bab 11](#), [Tabel 11.6](#), Grup D (untuk pipa dengan diameter luar kurang dari 38 mm, ketebalan dinding minimum adalah 5,0 mm).

4.14 Untuk ruang kargo dan kontainer umum (terutama yang ditujukan untuk membawa berbagai kargo yang diamankan atau dikemas secara terpisah) sistem perpipaan tetap harus sedemikian rupa sehingga sekurang-kurangnya 2/3 dari CO₂ yang dibutuhkan dapat dibuang ke ruang dalam 10 menit.

Untuk ruang kargo curah padat, sistem perpipaan tetap harus sedemikian rupa sehingga sekurang-kurangnya 2/3 dari gas yang dibutuhkan dapat dibuang ke ruang dalam waktu 20 menit.

Sistem kontrol harus disusun untuk memungkinkan 1/3, 2/3 atau seluruh jumlah CO₂ untuk dibuang berdasarkan kondisi pemuatan palka.

5. Perangkat pelepasan

5.1 Pelepasan dari sistem ini harus dioperasikan secara manual. Pengoperasian otomatis tidak dapat diterima.

5.2 Pelepasan silinder CO₂, baik secara individu maupun kelompok, dan pembukaan katup distribusi harus digerakkan secara independen satu sama lain. Untuk ruangan, dimana dibutuhkan silinder CO₂ dengan katup cepat terbuka untuk pelepasan kelompok (lihat [G.2.1.3](#)), dua kontrol terpisah harus disediakan untuk melepaskan CO₂ ke dalam ruang yang dilindungi. Satu kontrol digunakan untuk membuka katup distribusi pipa yang mendistribusikan CO₂ ke dalam ruang yang dilindungi dan kontrol

kedua akan digunakan untuk melepaskan CO₂ dari silinder penyimpanan. Sarana positif harus disediakan sehingga kontrol tersebut dapat dioperasikan sesuai tujuannya¹⁵.

5.3 Perangkat pengoperasian silinder yang dioperasikan dari jarak jauh dan katup distribusi harus mampu untuk dioperasikan secara manual.

5.4 Kontrol untuk pemanjangan ruang mesin, ruang tertutup ro-ro, ruang kargo untuk pengangkutan kontainer berpendingin, loker cat dan sejenisnya dan pompa kargo dan ruang kompresor harus mudah diakses, mudah dioperasikan dan berada didekat salah satu dari pintu masuk yang berada diluar ruang yang harus dilindungi dalam sebuah kotak yang dapat dikunci (kotak pelepasan). Kotak pelepasan terpisah harus disediakan untuk setiap ruang yang dapat dibanjiri secara terpisah, ruang yang berkaitan harus jelas ditunjukkan. Kontrol pelepasan untuk ruang kargo kontainer berpendingin harus diletakkan di lokasi yang mudah diakses dalam area akomodasi, misalnya di stasiun kontrol kebakaran.

5.5 Pemanjangan darurat dari ruang CO₂ harus dapat memastikan pelepasan berkelompok silinder CO₂ untuk ruang yang membutuhkan pelepasan banjir cepat (lihat G.2.1.3).

Ruang kecil yang terletak di dekat ruang CO₂, misalnya gudang cat, dapat dibanjiri dari ruang CO₂, dalam hal ini, sebuah kotak pelepasan terpisah dapat ditiadakan.

5.6 Kunci untuk kotak pemanjangan harus disimpan dalam posisi yang terlihat jelas di samping kotak pelepasan dalam sebuah kotak dengan panel kaca.

5.7 Katup distribusi (biasanya tertutup) harus diletakkan di setiap jalur pemanjangan diluar ruang yang harus dilindungi dalam posisi siap diakses. Jika perlindungan ruang kecil (misalnya saluran buang sekitar dapur) hanya membutuhkan satu silinder dengan kandungan maksimal 6 kg CO₂, sebuah penyetop hilir tambahan katup silinder dapat dihilangkan.

5.8 Katup distribusi harus dilindungi terhadap aktuasi yang tidak sah dan tidak disengaja dan dilengkapi dengan tanda-tanda yang menunjukkan ruang kemana CO₂ yang terkait mengarah.

5.9 Katup distribusi harus terbuat dari material yang tahan air laut. Posisi katup 'terbuka' atau 'tertutup' harus terlihat.

6. Nisel buang CO₂

6.1 Jumlah dan susunan nosel yang tersedia adalah untuk memastikan pemerataan CO₂. Nisel buang harus terbuat dari baja atau bahan yang setara.

6.2 Ruang boiler dan ruang permesinan

Nisel harus diatur terutama di bagian bawah kamar mesin dan di bilga, dengan mempertimbangkan konfigurasi ruang. Sedikitnya delapan nosel harus tersedia, tidak kurang dari dua yang harus berada di bilga.

Nisel harus disediakan dalam selubung mesin atau corong, dalam hal peralatan dengan risiko kebakaran yang diletakkan di sana, misalnya peralatan berbahaya bakar minyak atau komponen dari perangkat minyak termal.

Jumlah nosel dapat dikurangi untuk ruang permesinan yang kecil.

6.3 Ruang kargo

Nisel harus diletakkan di bagian atas ruang.

¹⁵ Referensi dibuat untuk Interpretasi Terpadu IACS SC 252.

Ketika sistem CO₂ terhubung dengan sistem deteksi asap ekstraksi sampel, nosel harus sedemikian rupa sehingga tidak ada bagian dari daerah geladak atas lebih dari 12 m horizontal jauhnya dari nosel.

Dalam ruang kargo dimana panel tak kedap gas geladak antara (platform penyimpanan bergerak) disediakan, nosel harus ditempatkan di kedua bagian atas dan bawah dari ruang kargo.

Permintaan pada sistem deteksi asap ekstraksi sampel dirincikan dalam [C.6.2](#) dari Bab ini dan dalam [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 9, D.3.7.2](#).

7. Sistem alarm

7.1 Untuk kamar mesin, boiler, ruang pompa kargo dan ruang yang serupa, alarm akustik atau klakson suara sirene harus tersedia yang terpisah dari buangan CO₂. Peringatan yang dapat terdengar harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga terdengar di seluruh ruang yang dilindungi dengan semua mesin beroperasi dan menjadi jelas dibedakan dari semua sinyal alarm lainnya dengan penyesuaian tekanan suara atau pola suara.

Alarm sebelum pembuangan harus secara otomatis digerakkan pada waktu yang cocok sebelum banjir terjadi. Yang dianggap memadai adalah periode waktu yang diperlukan untuk mengevakuasi ruang yang akan dibanjiri tetapi tidak kurang dari 20 detik. Sistem ini harus dirancang sedemikian rupa sehingga banjir tidak terjadi sebelum jangka waktu ini berlalu.

Pengoperasian otomatis alarm CO₂ dalam ruang yang dilindungi dapat dinyalakan dengan misalnya, membuka pintu stasiun pelepasan.

Alarm harus terus berbunyi selama katup pemanjangan terbuka.

7.2 Ketika ruangan yang berdekatan dan terhubung (misalnya kamar mesin, ruang pembersih, ruang kontrol mesin) memiliki sistem pemanjangan terpisah, bahaya lainnya terhadap orang harus dikecualikan dengan alarm yang sesuai di ruang yang berdampingan.

7.3 Peringatan suara dan visual (alarm sebelum pembuangan sebagaimana didefinisikan dalam [7.1](#)) juga harus disediakan di ruang kargo ro-ro, ruang untuk pengangkutan kontainer berpendingin dan ruang lain dimana personil dapat diharapkan untuk masuk dan dimana akses tersebut karena difasilitasi dengan pintu atau lubang lalu orang.

Di ruang kargo konvensional, alarm suara/visual tidak diperlukan.

Dalam ruang yang kecil, misalnya gudang cat, alarm dapat ditiadakan jika sistem CO₂ dapat dilepas baik dari sebuah tempat disebelah pintu akses diluar ruang ini atau dari ruang CO₂ asalkan diruang ini terletak di sekitar ruang yang dilindungi.

7.4 Catu daya ke sistem alarm elektrik harus dijamin meskipun terdapat kegagalan pasokan listrik utama kapal.

7.5 Jika alarm dioperasikan secara pneumatik, sebuah pasokan udara terkompresi permanen untuk sistem alarm harus dapat dipastikan.

7.6 Sistem alarm untuk area kargo kapal tangki: [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 15](#).

8. Rencana pengaturan umum

Pada perencanaan kamar ruang kemudi dan ruang CO₂, harus ditampilkan disposisi seluruh sistem CO₂. Rencana juga harus menunjukkan berapa banyak silinder yang harus dilepas untuk memadamkan kebakaran di ruangan individu.

Instruksi operasi yang jelas harus ditempel di semua stasiun pelepasan.

9. Tanda peringatan

9.1 Untuk sistem CO₂ tanda-tanda berikut ini harus ditampilkan:

9.1.1 Di stasiun pelepasan:

"Jangan mengoperasikan pelepasan sampai personil telah meninggalkan ruang, ventilasi telah dimatikan dan ruang telah disegel."

9.1.2 Di stasiun distribusi dan di ruangan CO₂:

"Sebelum pembanjiran dengan CO₂, matikan ventilasi dan tutup intake udara. Buka katup distribusi terlebih dahulu, kemudian katup silinder! "

9.1.3 Di ruang CO₂ dan di pintu masuk ke ruang-ruang yang dapat dibanjiri:

"PERINGATAN!"

"Jika alarm atau pelepasan CO₂, maka tinggalkan ruang segera (bahaya mati lemas).

Ruang dapat dimasuki kembali setelah ventilasi dan pemeriksaan atmosfer menyeluruh. "

9.1.4 Di ruangan silinder CO₂:

"Ruang ini hanya digunakan dapat untuk penyimpanan silinder CO₂ untuk sistem pemadam kebakaran. Temperatur ruang harus dipantau."

9.1.5 Di stasiun pelepasan untuk sistem CO₂ untuk pompa kargo dan kamar kompresor gas pada tangki kapal yang mengangkut bahan yang mudah terbakar, tanda peringatan harus berisi instruksi tambahan:

"Perangkat pelepasan harus dioperasikan setelah peristiwa kebakaran".

10. Pengujian

10.1 Setelah instalasi, perpipaan harus menjalani tes tekanan hidrolik di hadapan Surveyor BKI dengan menggunakan tekanan uji berikut:

- Perpipaan antara silinder dan katup distribusi harus diuji pada 150 bar
- Perpipaan yang melewati ruang akomodasi harus diuji pada 50 bar
- Semua perpipaan lainnya harus diuji di 10 bar

Tes hidrostatik juga dapat dilakukan sebelum instalasi di kapal dalam kasus pipa yang diproduksi lengkap dan dilengkapi dengan semua perlengkapan. Sambungan yang dilas pada kapal harus menjalani tes hidrostatik pada tekanan yang tepat.

Ketika air tidak dapat digunakan sebagai media uji dan perpipaan tidak dapat dikeringkan sebelum menempatkan sistem ke dalam servis, proposal untuk tes media alternatif atau prosedur pengujian harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan.

10.2 Setelah perakitan di kapal, tes kekedapan harus dilakukan dengan menggunakan udara atau media lain yang sesuai. Tekanan yang dipilih tergantung pada metode deteksi kebocoran digunakan.

10.3 Semua perpipaan harus diperiksa untuk *free passage*.

10.4 Uji fungsional dari peralatan alarm harus dilakukan

H. Sistem Pemadam Kebakaran CO₂ Tekanan Rendah

1. Perhitungan kuantitas CO₂ yang diperlukan

Perhitungan kuantitas CO₂ yang diperlukan harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan pada [G.1](#).

2. Kontainer CO₂

2.1 Desain dan pembangunan

2.1.1 Pasokan CO₂ yang telah dihitung harus disimpan di bejana tekan pada tekanan 18 sampai 22 bar.

2.1.2 Berkaitan dengan material, pabrik pembuat, konstruksi, peralatan dan pengujinya, bejana harus memenuhi persyaratan yang terkandung dalam [Bab 8](#).

2.1.3 Wadah dapat diisi dengan CO₂ cair sampai maksimal 95% dari kapasitas volumetriknya dihitung pada 18 bar.

Ruang uap harus cukup untuk memungkinkan peningkatan volume fasa cair karena kenaikan temperatur yang sesuai dengan tekanan pengaturan katup pelepasan.

2.2 Peralatan

2.2.1 Pemantauan tekanan

Tekanan kontainer harus dipantau dan sebuah alarm visual-suara yang memberikan sinyal jika tekanan tinggi maupun tekanan rendah sebelum pencapaian tekanan, maka pengaturan dari katup pelepasan yang tidak kurang dari 18 bar harus disediakan.

2.2.2 Pemantauan level cairan

Setiap kontainer harus dilengkapi dengan dua alat pengukur level, salah satunya harus menyediakan pemantauan level cair permanen. Tingkat cairan 10% atau lebih di bawah level pengaturan harus memicu alarm visual/terdengar.

Ketika lebih dari satu ruang dilindungi oleh sistem CO₂, indikator jarak jauh harus disediakan di semua stasiun pelepasan diluar ruang dimana wadah tersebut ditempatkan. Indikator jarak jauh tersebut dapat ditiadakan jika, setelah pelepasan, buangan dari nilai kuantitas CO₂ diatur secara otomatis, misalnya dengan pengaturan waktu otomatis.

2.2.3 Katup pengaman pelepasan

Setiap kontainer harus dilengkapi dengan dua katup pengaman pelepasan dengan *shut-off valve* di sisi inlet. *Shut-off valve* harus bertautan dengan cara sedemikian rupa sehingga area penampang dari satu katup tersedia setiap saat.

Tekanan pengaturan katup pelepasan harus sekurang-kurangnya 10% di atas *cut-in pressure* dari unit pendingin.

Kapasitas masing-masing katup pelepasan harus sedemikian rupa sehingga kuantitas gas yang dihasilkan karena adanya kejadian kebakaran pada kontainer dapat dibuang tanpa tekanan dalam kontainer melebihi tekanan pengaturan katup pelepasan lebih dari 20%. Untuk perhitungan, lihat [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt. 1, Vol.IX\) Sec. 8](#).

Jalur pembuangan harus mengarah ke udara terbuka.

2.2.4 Insulasi

Kontainer dan perpipaan yang biasanya diisi dengan CO₂ harus terinsulasi sedemikian rupa sehingga setelah kegagalan pendingin, ketika pengaturan tekanan dari katup pelepasan tidak tercapai sebelum jangka waktu 24 jam, dengan asumsi tekanan kontainer sama dengan tekanan mulai dari unit pendingin dan temperatur sekitar 45 °C.

Material insulasi harus sekurang-kurangnya tidak mudah terpantik dan harus cukup kuat. Perlindungan terhadap penetrasi uap dan kerusakan dari luar harus diberikan. Lihat juga [Rules for Refrigerating Installations \(Pt. 1, Vol.VIII\) Sec. 1, L.](#)

3. Sistem pendingin

3.1 Sekurang-kurangnya dua set pendingin otomatis lengkap harus tersedia, saling terpisah. Kapasitas set pendingin harus sedemikian rupa sehingga temperatur CO₂ yang dibutuhkan dapat dipertahankan dalam kondisi terus beroperasi selama 24 jam dengan temperatur sekitar hingga 45 °C dan temperatur air laut hingga 32 °C.

3.2 Kegagalan unit pendingin harus menyebabkan unit siaga menyala secara otomatis. Saklar manual harus memungkinkan.

3.3 Pasokan listrik yang terpisah harus disediakan dari busbar utama

3.4 Sekurang-kurangnya dua pompa sirkulasi harus tersedia untuk pasokan air pendingin. Salah satu pompa ini dapat digunakan sebagai pompa siaga untuk tujuan lain asalkan dapat beroperasi segera tanpa membahayakan sistem penting lainnya.

3.5 Pasokan air pendingin harus tersedia dari dua kotak laut, sedapat mungkin dari kedua sisi kapal.

4. Lokasi dan disposisi

Kontainer CO₂ dan peralatan pendingin yang sesuai harus berada di ruangan khusus. Disposisi dan pelengkapan kamar harus mematuhi ketentuan yang berlaku dari [G.3](#). Perangkat sistem kontrol dan perangkat pendingin harus berada di ruangan yang sama dimana bejana tekan tersimpan.

5. Pipa, katup dan fitting

Kecuali ditentukan lain dalam [5.1](#) sampai [5.3](#), persyaratan dalam [G.4.](#), [G.5.](#) dan [G.6.](#) berlaku dengan prinsip yang sama dengan [Bab 11.B.](#) dimana saja relevan.

5.1 Perangkat pelepasan keselamatan harus tersedia di setiap bagian dari pipa yang dapat diisolasi dengan blok katup dan dimana memungkinkan ada penambahan tekanan melebihi tekanan desain salah satu komponen.

5.2 Jalur pemanjangan harus didesain sedemikian rupa sehingga, ketika pemanjangan terjadi, penguapan CO₂ tidak terjadi sampai CO₂ meninggalkan nosel. Tekanan pada nosel harus sekurang-kurangnya 10 bar.

5.3 Sebuah koneksi pengisian dengan sarana pemerataan tekanan yang diperlukan harus disediakan di kedua sisi kapal.

6. Pemantauan

Alarm suara dan visual harus tersedia di sebuah stasiun kontrol pusat untuk variasi dari kondisi referensi berikut:

- tekanan diatas maksimum atau di bawah minimum sesuai dengan [2.2.1](#),

- level cairan terlalu rendah sesuai dengan 2.2.2,
- kegagalan sebuah set pendingin.
- alarm ini dapat berfungsi sebagai alarm kelompok "Kegagalan di sistem pemadam kebakaran CO₂".

7. Pelepasan

7.1 Pelepasan otomatis CO₂ tidak diizinkan.

7.2 Jika perangkat dipasangi pengukuran secara otomatis nilai kuantitas CO₂, Ketentuan ini juga harus dibuat untuk kontrol manual.

G.5.2 juga berlaku

7.3 Jika sistem melayani lebih dari satu ruang, sarana untuk mengendalikan jumlah pembuangan CO₂ harus tersedia, misalnya pengaturan waktu otomatis atau indikator level akurat yang terletak di posisi kontrol.

8. Sistem alarm, rencana pengaturan umum dan tanda-tanda peringatan

Tanda yang memberikan informasi berikut ini harus secara permanen dipasang di ruang silinder CO₂ dan kelompok katup untuk banjir CO₂ dari ruang individu:

- Nama ruang dan volume kotor [m³]
- Volume CO₂ yang diperlukan
- Jumlah nosel untuk ruang
- Waktu banjir [min] (yaitu waktu katup banjir harus tetap terbuka)

G.7., G.8. dan G.9. juga berlaku dengan sesuai.

9. Tes

9.1 Setelah instalasi, jalur antara tangki dan katup distribusi harus menjalani uji tekan pada tekanan minimal 1,5 kali dari tekanan pengaturan dari katup pelepasan.

Jalur yang melewati ruang akomodasi harus diuji setelah instalasi pada tekanan ukur 50 bar. Sebuah tes tekanan 10 bar diperlukan untuk semua jalur lain. Kinerja dari tes ini harus memenuhi G.10.1

9.2 G.10.2 dan G.10.3 berlaku dimana pun relevan.

I. Sistem pemadam kebakaran gas menggunakan gas selain CO₂ untuk ruang mesin dan kamar-pompa kargo

1. Umum

1.1 Pemasok untuk desain dan instalasi sistem pemadam kebakaran menggunakan pemadam gas selain CO₂ tunduk pada persetujuan khusus BKI.

1.2 Sistem yang menggunakan pemadam gas selain CO₂ harus disetujui sesuai dengan standar yang diterima BKI¹⁶.

¹⁶ Mengacu pada IMO MSC/Circ.848, " Revised Guidelines for the Approval of Equivalent Fixed Gas Fire Extinguishing Systems, as Referred to in SOLAS 74, for Machinery Spaces and Cargo Pump Rooms ", sebagaimana telah diubah dengan MSC.1/Circ.1267. Persetujuan tipe yang telah dilakukan sesuai dengan pedoman yang terkandung dalam MSC/Circ.848 tetap berlaku sampai 1 Juli 2012.

1.3 Sistem harus dirancang untuk memungkinkan evakuasi dari ruang yang dilindungi sebelum dibuang. Sarana harus disediakan untuk secara otomatis memberikan peringatan suara dan visual dari pelepasan media pemadam kebakaran ke dalam ruang yang dilindungi. Alarm harus beroperasi untuk periode waktu yang diperlukan untuk mengevakuasi ruang, tetapi tidak kurang dari 20 detik sebelum media dilepaskan. Paparan yang tidak perlu, bahkan pada konsentrasi di bawah level efek samping, harus dihindari.

1.3.1 Bahkan pada konsentrasi di bawah level *adverse effect*, eksposur agen gas pemadam kebakaran tidak dapat melebihi 5 menit. Agen halocarbon bersih dapat digunakan sampai dengan NOAEL (*No Observed Adverse Effect*) dihitung dari volume bersih ruangan yang dilindungi pada maksimum temperatur sekitar yang diharapkan terjadi tanpa langkah-langkah keamanan tambahan.

Jika agen halocarbon bersih harus digunakan pada NOAEL, sarana harus disediakan untuk membatasi paparan tidak lebih dari waktu yang ditentukan sesuai dengan fisiologis berdasarkan model *physiologically based pharmacokinetic* (PBPK) yang dapat diterima secara ilmiah¹⁷ atau setara yang jelas menetapkan batas paparan aman baik dari segi konsentrasi media pemadam maupun waktu paparan.

1.3.2 Untuk sistem gas lembam, sarana harus disediakan untuk membatasi paparan tidak lebih dari 5 menit untuk sistem yang dirancang pada konsentrasi di bawah 43% (sesuai dengan konsentrasi oksigen pada 12%) atau untuk membatasi paparan tidak lebih dari 3 menit untuk sistem yang dirancang pada konsentrasi antara 43% dan 52% (sesuai dengan antara 12% dan 10% oksigen) dihitung dari volume bersih ruang yang dilindungi pada maksimum tempertaur lingkungan yang diharapkan.

1.3.3 Dalam kondisi apaun agen pembersih halocarbon digunakan pada konsentrasi di atas LOAEL (*Lowest Observed Adverse Effect Level*) maupun ALC (*Approximate Lethal Concentration*) demikian juga dengan gas lembam tidak seharusnya digunakan pada konsentrasi gas di atas 52% dihitung dari volume bersih ruang yang dilindungi pada maksimum tempertaur lingkungan yang diharapkan.

1.4 Untuk sistem yang menggunakan agen pembersih halocarbon, sistem ini harus dirancang untuk pembuangan 95% dari konsentrasi desain dalam waktu tidak lebih dari 10 detik.

Untuk sistem yang menggunakan gas lembam, waktu pembuangan harus tidak melebihi 120 detik untuk 85% dari konsentrasi desain.

1.5 Untuk ruang pompa kargo dimana cairan yang mudah terbakar selain minyak atau produk minyak bumi yang ditangani, sistem dapat digunakan hanya jika konsentrasi desain untuk kargo individu telah ditetapkan sesuai dengan standar persetujuan²⁰ dan didokumentasikan dalam Sertifikat persetujuan.

2. Perhitungan suplai gas pemadam

2.1 Suplai pemadam gas harus dihitung berdasarkan volume bersih ruang yang dilindungi, minimal temperature lingkungan yang diharapkan menggunakan konsentrasi desain yang ditentukan dalam sertifikat persetujuan tipe sistem.

2.2 Volume bersih adalah bagian dari volume kotor ruang yang dapat diakses untuk gas pemadam bebas termasuk volume bilga kapal dan selubung. Objek yang menempati volume ruang yang dilindungi harus dikurangi dari volume kotor. Hal ini termasuk, namun tidak terbatas pada:

- Mesin pembakaran dalam
- Gigi reduksi
- Boiler
- Penukar panas

¹⁷ Mengacu pada dokumen IMO FP 44 / INF.2 - "model fisiologis farmakokinetik untuk menetapkan kriteria paparan aman untuk agen pemadam kebakaran halocarbon "

- Tangki dan pipa bungkus
- Pipa gas buang, boiler dan peredam

2.3 Volume udara bebas yang terkandung dalam tabung udara yang terletak di ruang yang dilindungi harus ditambahkan ke volume bersih kecuali buangan dari katup pengaman yang diarahkan ke udara terbuka.

2.4 Pada sistem dengan penyimpanan gas terpusat untuk perlindungan lebih dari satu ruang, kuantitas gas pemadam yang tersedia tidak perlu lebih dari jumlah terbesar yang dibutuhkan untuk setiap satu ruang yang dilindungi.

3. Kontainer gas

3.1 Kontainer untuk gas pemadam atau propelan yang dibutuhkan untuk pemakaian harus memenuhi berkaitan dengan material, konstruksi, pabrik pembuat dan pengujian relevan dengan Peraturan BKI mengenai bejana tekan.

3.2 Rasio pengisian tidak dapat melebihi yang ditetapkan dalam system tipe dokumentasi persetujuan.

3.3 Sarana harus disediakan bagi personil kapal untuk memeriksa dengan aman kuantitas media dalam kontainer. Cara ini harus sedemikian rupa sehingga tidak perlu untuk memindahkan sepenuhnya silinder dari posisi perbaikannya. Hal ini dicapai, misalnya, dengan menyediakan batang penggantung diatas setiap deret botol sebuah perangkat pemberat atau dengan menggunakan indikator permukaan yang cocok.

4. Penyimpanan kontainer

4.1 Sistem terpusat

Kontainer gas dalam sistem terpusat harus disimpan dalam sebuah ruang penyimpanan yang memenuhi persyaratan untuk ruang penyimpanan CO₂ (lihat G.3), dengan pengecualian bahwa temperatur penyimpanan hingga 55 °C diizinkan, kecuali ditentukan lain dalam Sertifikat persetujuan tipe.

4.2 Sistem modular

4.2.1 Semua sistem yang tercakup oleh persyaratan ini dapat dijalankan sebagai sistem modular dengan kontainer gas, dan kontainer-kontainer dengan propelan jika ada, diizinkan untuk disimpan dalam ruang terlindungi asalkan kondisi 4.2.2 sampai 4.2.9 memenuhi.

4.2.2 Di dalam ruang yang dilindungi, kontainer gas harus didistribusikan ke seluruh ruang dengan botol-botol atau kelompok botol yang terletak pada sekurang-kurangnya enam lokasi terpisah. Duplikat jalur pelepasan daya harus diatur untuk melepaskan semua botol secara bersamaan. Jalur pelepasan harus diatur sedemikian rupa sehingga meskipun kerusakan setiap jalur pelepasan daya listrik, lima dari enam pemadam kebakaran gas masih bisa digunakan. Katup-katup botol dianggap bagian dari jalur pelepasan dan kegagalan tunggal harus mencakup juga kegagalan katup botol.

Untuk sistem yang membutuhkan kurang dari enam kontainer (menggunakan botol terkecil yang tersedia), jumlah total pemadaman gas dalam botol adalah sedemikian rupa sehingga dalam hal kegagalan tunggal untuk salah satu jalur pelepasan (termasuk katup botol), lima dari enam gas pemadam kebakaran masih bisa digunakan. Hal ini dapat dicapai dengan misalnya menggunakan lebih banyak gas pemadam dari yang dibutuhkan sehingga jika satu botol tidak dapat digunakan karena sebuah kegagalan, botol yang tersisa akan melepaskan lima dari enam jumlah minimal yang diperlukan gas pemadam. Hal ini dapat dicapai dengan minimal dua botol. Namun, nilai NOAEL yang dihitung pada temperatur ruang mesin tertinggi yang diharapkan tidak dapat melebihi saat pemakaian jumlah total gas pemadam secara bersamaan

Sistem yang tidak dapat memenuhi ketentuan di atas (misalnya jika dimaksudkan untuk menempatkan hanya satu botol dalam ruang dilindungi) tidak diizinkan. Sistem seperti ini harus dirancang dengan botol yang terletak di luar ruang yang dilindungi, di ruang khusus yang memenuhi persyaratan untuk ruang penyimpanan CO₂ (lihat G.3.).

4.2.3 Sumber duplikat daya yang terletak di luar ruang yang dilindungi harus disediakan untuk pelepasan sistem dan segera tersedia, kecuali untuk ruang permesinan, salah satu dari sumber daya dapat terletak di dalam ruang yang dilindungi.

4.2.4 Sirkuit listrik yang menghubungkan kontainer harus dipantau untuk adanya kondisi kegagalan dan kehilangan daya. Alarm visual dan suara harus disediakan untuk menunjukkan hal ini.

4.2.5 Sirkuit pneumatik, listrik atau hidrolik yang menghubungkan kontainer harus diduplikat. Sumber tekanan pneumatik atau hidrolik untuk hilangnya tekanan harus dipantau. Alarm visual dan suara harus tersedia untuk menunjukkan hal ini.

4.2.6 Dalam ruang yang terlindungi, sirkuit listrik yang penting untuk pelepasan dari sistem ini harus tahan panas sesuai dengan IEC 60331 atau standar lain yang setara, misalnya kabel terinsulasi mineral atau yang setara.

Sistem perpipaan yang penting untuk pelepasan sistem yang didesain untuk dioperasikan hidrolik atau pneumatik harus terbuat dari baja atau bahan tahan panas setara lainnya.

4.2.7 Tidak lebih dari dua nosel buangan harus dipasang ke kontainer apapun.

4.2.8 Kontainer harus dipantau untuk penurunan tekanan akibat kebocoran atau pemakaian. Alarm visual dan suara di ruang yang terlindungi dan di anjungan navigasi harus tersedia untuk menunjukkan hal ini.

4.2.9 Setiap kontainer harus dilengkapi dengan sebuah perangkat pelepasan tekanan berlebih yang pada saat terjadi kebakaran, isi kontainer otomatis terbuang ke ruang yang terlindungi.

5. Perpipaan dan nosel

5.1 Perpipaan harus terbuat dari bahan baja mampu las ([Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\) Sec. 7](#)), dan harus didesain sesuai dengan tekanan kerja sistem.

5.2 Lasan atau sambungan pipa flensa harus tersedia. Untuk pipa dengan ID nominal kurang dari 50 mm, soket pengelasan ulir dapat digunakan. Sambungan ulir dapat digunakan pada ruang yang terlindungi.

5.3 Perpipaan yang berujung di ruang pompa kargo harus terbuat dari baja tahan karat atau galvanis.

5.4 Selang fleksibel dapat digunakan untuk koneksi dari kontainer ke *manifold* dalam sistem terpusat atau ke pipa pembuangan kaku dalam sistem modular. Selang harus tidak lebih panjang dari yang diperlukan untuk tujuan ini dan terbuat dari jenis yang disetujui untuk digunakan dalam instalasi yang dimaksudkan. Selang untuk sistem modular harus tahan api.

5.5 Hanya nosel yang disetujui untuk digunakan pada sistem yang dipasang. Susunan nosel harus memenuhi parameter yang ditentukan dalam sertifikat persetujuan tipe sistem, yang memberikan pertimbangan terhadap hambatan. Di daerah sekitar dan tangga, nosel harus diatur sedemikian untuk menghindari personil yang terancam oleh pemakaian gas.

5.6 Sistem perpipaan harus dirancang untuk memenuhi persyaratan yang ditentukan pada [1.4](#). perhitungan aliran sistem harus dilakukan dengan menggunakan teknik perhitungan yang diakui (misalnya Program perhitungan NFPA).

5.7 Di bagian perpipaan dimana pengaturan katup menimbulkan bagian perpipaan tertutup (manifold dengan katup distribusi), bagian tersebut harus dilengkapi dengan katup pelepas tekanan dan outlet katup harus mengarah ke geladak terbuka.

6. Pengaturan pelepasan dan alarm

6.1 Sistem ini harus dirancang untuk pelepasan manual saja.

Kontrol untuk pelepasan harus diatur dalam kabinet yang terkunci (stasiun pelepasan), kuncinya disimpan mencolok di sebelah stasiun pelepasan dalam sebuah kotak yang terkunci dengan panel kaca. Stasiun pelepasan terpisah harus tersedia untuk setiap ruang yang dapat dibanjiri secara terpisah. Stasiun pelepasan harus diatur dekat pintu masuk ruang yang dilindungi dan mudah diakses juga dalam kasus kebakaran di ruang terkait. Stasiun pelepasan harus ditandai dengan nama ruangan yang dilayani.

6.2 Sistem terpusat harus dilengkapi dengan sarana sistem pelepasan tambahan dari ruang penyimpanan.

6.3 Jika ruang yang terlindungi dilengkapi dengan sistem yang mengandung agen halocarbon bersih sebagai agen pemadam kebakaran, ventilasi mekanik ruang yang dilindungi harus dihentikan secara otomatis sebelum keluarnya gas pemadam.

6.4 Alarm suara dan visual harus tersedia dalam ruang yang terlindungi dan alarm visual tambahan pada setiap akses ke ruang.

6.5 Alarm harus diaktuasi secara otomatis oleh pembukaan pintu stasiun pelepasan. Untuk instalasi dengan konsentrasi desain lebih dari NOAEL (lihat 1.3), sarana harus tersedia untuk menjaga pemakaian gas pemadam tidak memungkinkan sebelum alarm telah diaktuasi untuk jangka waktu yang diperlukan untuk mengevakuasi ruang tapi tidak kurang dari 20 detik.

6.6 Alarm suara harus dari jenis klakson atau suara sirene. Alarm harus diletakkan sedemikian rupa sehingga dapat terdengar di seluruh ruang yang terlindungi dengan kondisi semua mesin beroperasi dan dapat dibedakan secara jelas dari sinyal suara lain dengan penyesuaian tekanan suara atau pola suara.

6.7 Sistem alarm elektrik harus dilengkapi suplai daya dari sumber daya utama dan darurat.

6.8 Untuk penggunaan sistem alarm elektrik di zona gas berbahaya, merujuk pada Bab yang relevan dari [Peraturan untuk Instalasi Listrik \(Bag. 1, Vol. IV\)](#).

6.9 Ketika alarm yang dioperasikan secara pneumatik digunakan suplai permanen dari udara terkompresi harus aman dengan pengaturan yang sesuai.

7. Kekedapan ruang yang dilindungi

7.1 Terlepas dari penyediaan dengan cara menutup semua lubang ventilasi dan bukaan lainnya dalam batasan ruang yang terlindungi, pertimbangan khusus harus memenuhi 7.2 sampai 7.4.

7.2 Waktu minimum agen untuk menahan selama 15 menit harus disediakan.

7.3 Pelepasan sistem dapat menghasilkan tekanan signifikan lebih atau di bawah dalam ruang yang terlindungi yang dapat memerlukan ketentuan pengaturan penyeimbangan tekanan yang sesuai.

7.4 Rute penyelamatan diri yang dapat terkena kebocoran dari ruang yang terlindungi tidak berbahaya bagi kru selama atau setelah keluarnya gas pemadam. Secara khusus, uap hidrogen fluorida (HF) dapat dihasilkan pada kebakaran sebagai produk pecahan dari agen pemadam kebakaran fluorocarbon dan menyebabkan efek pada kesehatan seperti gangguan sistem pernapasan atas dan iritasi mata yang dapat mengganggu penyelamatan diri.

Stasiun kontrol dan lokasi lain yang memerlukan penjagaan selama situasi kebakaran harus memiliki ketentuan untuk menjaga HF dan Hidrogen Klorida (HCl) di bawah 5 ppm di lokasi tersebut. Konsentrasi produk lainnya harus dijaga di bawah nilai yang dianggap berbahaya untuk jangka waktu paparan yang diperlukan.

8. Tanda peringatan dan instruksi pengoperasian

8.1 Tanda peringatan harus disediakan di setiap akses ke dan di dalam ruang yang dilindungi dengan sesuai:

- "PERINGATAN! Ruangan ini dilindungi oleh sistem pemadam kebakaran gas tetap yang menggunakan Jangan masuk ketika alarm beroperasi!"
- "PERINGATAN! Evakuasi segera setelah terdengar alarm dari sistem pemadam kebakaran gas".

Stasiun pelepasan untuk ruang pompa kargo harus dilengkapi dengan peringatan tambahan sebagai berikut:

- "Penyemprotan hanya dioperasikan hanya pada saat terjadi kebakaran di ruang pompa. Jangan gunakan untuk tujuan pelembaman!"

8.2 Instruksi pengoperasian singkat harus ditempel di stasiun pelepasan

8.3 Manual komprehensif dengan deskripsi dari sistem dan instruksi pemeliharaan harus disediakan di kapal. Manual ini berisi sebuah peringatan bahwa setiap modifikasi pada ruang yang dilindungi yang mengubah volume bersih ruang akan mengakibatkan persetujuan instalasi individu tidak valid. Dalam hal ini gambar dan perhitungan harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan.

Manual juga harus membahas prosedur yang direkomendasikan untuk pengendalian produk agen dekomposisi, termasuk uap HF yang dihasilkan dari agen pemadam fluorocarbon yang bisa mengganggu penyelamatan diri. Secara jelas, paparan lebih lama dari agen terhadap temperatur tinggi akan menghasilkan konsentrasi yang lebih besar dari jenis gas ini. Jenis dan sensitivitas deteksi, bersama dengan level pelepasan, harus dipilih untuk meminimalkan waktu paparan dari agen terhadap temperatur tinggi. Kinerja pengaturan pemadam kebakaran pada kapal penumpang harus tidak menimbulkan bahaya kesehatan dari agen pemadam yang rusak; misalnya pada kapal penumpang, produk dekomposisi harus tidak dibuang di sekitar stasiun berkumpul (pertemuan). Tindakan pencegahan lebih lanjut meliputi evakuasi dan penggunaan masker.

9. Dokumen untuk persetujuan

Sebelum penyerahan instalasi, dokumen berikut harus diserahkan dalam format elektrik¹ ke Kantor Pusat BKI untuk disetujui:

- gambar pengaturan ruang yang dilindungi yang menunjukkan permesinan dan lain-lain dalam ruang, dan lokasi nosel, kontainer (sistem modular saja) dan jalur-jalur pelepasan jika berlaku
- daftar volume yang dikurangi dari volume kotor
- perhitungan volume bersih ruang dan pasokan yang diperlukan gas pemadam
- perhitungan isometrik dan pemakaian
- skema pelepasan
- gambar dari stasiun pelepasan dan pengaturan di kapal
- instruksi pelepasan untuk tampilan di stasiun pelepasan;
- gambar ruang penyimpanan (sistem terpusat saja)
- skema sistem alarm
- daftar bagian

- manual kapal

10. Pengujian

10.1 Perpipaan hingga *shut-off valve* jika tersedia harus memenuhi pengujian hidrostatik pada 1,5 kali tekanan kerja maksimum yang diijinkan dari kontainer gas.

10.2 Perpipaan antara *shut-off valve* atau katup kontainer dan nosel harus memenuhi pengujian hidrostatik pada 1,5 kali tekanan maksimum yang diukur dengan perhitungan pemakaian.

10.3 Perpipaan yang melewati ruangan selain ruang yang terlindungi harus memenuhi pengujian kekedapan setelah instalasi pada tekanan 10 bar, dan 50 bar jika melewati ruang akomodasi.

J. Sistem Pemadam Kebakaran Lainnya

1. Sistem pemadam kebakaran uap

Uap dapat digunakan sebagai material pemadam dalam aplikasi lokal terbatas (misalnya bubungan pembilas) jika disepakati dengan BKI¹⁸.

2. Sistem pemadam kebakaran aerosol

Sistem yang menggunakan aerosol sebagai media pemadam kebakaran harus dari jenis yang disetujui oleh BKI sesuai dengan standar internasional¹⁹.

3. Sistem pemadam kebakaran bubuk kimia kering

Sistem pemadam kebakaran bubuk kimia kering untuk perlindungan kapal yang membawa gas cair dalam bentuk curah harus disetujui oleh BKI sesuai dengan standar internasional²⁰.

K. Sistem Pemadam Kebakaran *Foam*

1. Konsentrat *foam*

1.1 Hanya konsentrat *foam* yang disetujui²¹ yang dapat digunakan.

1.2 Perbedaan harus dibuat antara *foam* ekspansi rendah dan tinggi.

Dalam kasus *foam* ekspansi rendah, diproduksi dengan menambahkan 3-6% konsentrat *foam*, rasio ekspansi *foam* (yaitu rasio volume *foam* yang dihasilkan dengan campuran air dan konsentrat *foam* yang digunakan) tidak melebihi 12: 1.

Untuk *foam* ekspansi tinggi, diproduksi dengan menambahkan 1 - 3% konsentrat *foam*, rasio ekspansi mungkin 100: 1 sampai dengan 1.000: 1. Konsentrat *foam* untuk produksi *foam* multi guna *foam* dapat digunakan.

¹⁸ Lihat Kode FSS, Bab 5, 2.3

¹⁹ Mengacu pada IMO MSC.1/Circ.1270, "Revised Guidelines for the Approval of Fixed Aerosol Fire-Extinguishing Systems Equivalent to Fixed Gas Fire-Extinguishing Systems, as Referred to in SOLAS 74, for Machinery Spaces.."

²⁰ Mengacu pada IMO MSC.1/Circ.1315, "Guidelines for the Approval of Fixed Dry Chemical Powder Fire-Extinguishing Systems for the Protection of Ships carrying Liquefied Gases in Bulk".

²¹ Lihat IMO MSC.1/Circ.1312 dan MSC/Circ.670. sertifikat persetujuan yang dikeluarkan sesuai dengan MSC/Circ.582 dan MSC/Circ.799 tetap berlaku sampai 1 Juli 2012.

Penyimpangan dari rasio ekspansi ini memerlukan persetujuan BKI.

Konsentrat *foam* yang dimaksudkan untuk digunakan di dalam area kargo kapal tangki kimia harus tahan alkohol jika hal ini diperlukan oleh Daftar Produk, *Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk (Pt.1, Vol.X), Sec. 17* dan *Sec. 11, 11.3*.

Kapal tangki untuk pengangkutan alkohol dan cairan polar yang mudah terbakar lainnya harus dilengkapi dengan konsentrat *foam* tahan alkohol.

2. Sistem *foam* ekspansi rendah untuk kapal tangki (sistem geladak *foam*)

2.1 Sistem geladak *foam* di kapal tangki yang membawa bahan kimia dalam bentuk curah yang tercantum dalam Bab 17 dari Kode IBC yang memiliki titik nyala tidak melebihi 60 °C harus dirancang sesuai dengan *Rules for Ships Carrying Dangerous Chemical in Bulk (Pt.1, Vol.X), Sec. 17* dan *Sec. 11, 11.3*.

2.2 Sistem geladak *foam* di kapal tangki yang membawa²²:

- minyak mentah atau produk minyak bumi yang memiliki titik nyala tidak melebihi 60 °C; atau
- Kode IBC Bab 18 produk yang memiliki titik nyala yang tidak melebihi 60 °C; atau
- produk minyak bumi dengan titik nyala yang melebihi 60 °C; atau
- Kode IBC Bab 17 produk dengan titik nyala melebihi 60 °C

harus dirancang sesuai dengan Bab 14 revisi dari Kode FSS seperti yang diterapkan dengan Res. MSC.339 (91).

3. Sistem *foam* ekspansi tinggi

3.1 Umum

Sistem *foam* ekspansi tinggi untuk perlindungan ruang permesinan, ruang pompa kargo, ruang kendaraan dan ro-ro serta ruang kargo harus dari jenis yang disetujui BKI²³.

3.2 Di dalam sistem *foam* udara, di luar sistem *foam* udara, dan sistem *foam* menggunakan udara luar dengan generator *foam* yang dipasang di dalam ruang terlindungi

Jenis sistem yang digunakan dan ruang lingkup persyaratan desain sistem harus diterapkan tergantung pada lokasi generator *foam* (di dalam atau di luar ruang terlindungi) dan jenis ruang yang dilindungi (ruang permesinan atau ruang kendaraan, dan lain-lain). Rincian dari sistem yang digunakan (ketentuan dimensi dan kapasitas, susunan generator *foam*, catu daya, dan lain-lain) dan lingkup pengujian setelah instalasi harus memenuhi persyaratan dari Bab 6 revisi dari Kode FSS²⁴.

4. Sistem *foam* ekspansi rendah untuk kamar boiler dan ruang mesin

Sistem *foam* ekspansi rendah tidak menggantikan sistem pemadam kebakaran yang ditentukan dalam *Tabel 12.1*

4.1 Kapasitas sistem

Sistem ini harus didesain sehingga daerah terbesar dimana bahan bakar dapat menyebar dapat ditutup dalam waktu lima menit dengan selimut dengan ketebalan 150 mm *foam*.

²² Untuk rincian, lihat ayat 2.2.1.1 dari Bab 14 revisi dari Kode FSS diadopsi dengan Res. MSC.339 (91).

²³ Referensi dibuat untuk sirkulasi IMO MSC.1/Circ.1384, "Guidelines for the Testing and Approval of Fixed High-Expansion Foam Systems", yang menggantikan sirkulasi MSC.1/Circ.1271, kecuali bahwa bukti dari uji kebakaran dan komponen sebelumnya disediakan sesuai dengan MSC.1/Circ.1271 tetap berlaku untuk persetujuan sistem baru.

²⁴ Mengacu Res. MSC.327 (90) dan Guidance for Code and Convention Interpretations (Pt.1, Vol.Y) Sec.11, SC.262

4.2 Distribusi *foam*

4.2.1 Solusi *foam* harus disalurkan melalui pipa tetap dan distributor *foam* ke titik di mana kebakaran minyak dapat untuk terjadi.

4.2.2 Distributor dan kontrol *foam* harus diatur dalam kelompok yang sesuai dan diposisikan sedemikian rupa sehingga mereka tidak dapat dipotong oleh kebakaran di ruang yang dilindungi.

L. Sistem Penyemprotan Air Bertekanan

1. Sistem penyemprot air tekanan otomatis (sistem sprinkler)²⁵

1.1 Tangki air bertekanan

1.1.1 Tangki air bertekanan harus dilengkapi dengan sebuah katup pengaman yang terhubung ke ruang air dari tangki tanpa sarana isolasi, dengan sebuah indikator level air yang dapat dimatikan dan dilindungi terhadap kerusakan, dan dengan sebuah pengukur tekanan. Persyaratan yang ditentukan dalam Bab 8 juga berlaku.

1.1.2 Volume tangki air bertekanan harus setara dengan sekurang-kurangnya dua kali kapasitas pompa yang ditentukan per menit.

Tangki harus mengandung muatan minimal air tawar untuk sekurang-kurangnya sama dengan kapasitas pompa yang ditentukan per satu menit.

Tangki harus dilengkapi dengan koneksi untuk mengaktifkan seluruh sistem untuk diisi ulang dengan air tawar.

1.1.3 Sarana harus disediakan untuk pengisian bantalan udara di dalam tangki air bertekanan.

Catatan:

Melainkan tangki bertekanan, sistem kabut air yang disetujui²⁹ dapat dilengkapi dengan baterai botol setara yang terdiri dari silinder air dan gas.

1.2 Pompa penyemprot air bertekanan

1.2.1 Pompa penyemprot air bertekanan hanya dapat digunakan untuk mensuplai air ke sistem penyemprotan air bertekanan.

Dalam hal terjadi penurunan tekanan dalam sistem, pompa harus menyala secara otomatis sebelum muatan air tawar di tangki air bertekanan telah habis. Sarana yang sesuai untuk pengujian harus disediakan.

1.2.2 Kapasitas pompa harus cukup untuk menutupi area minimal 280 m² pada tekanan yang dibutuhkan untuk nosel semprot. Pada laju aplikasi minimal 5 liter/m² dan per menit, nilai ini setara dengan tingkat penyaluran minimal 1400 liter/menit.

Catatan :

Laju aliran minimal 5 liter/m²/min tidak berlaku untuk sistem kabut air yang disetujui²⁹

²⁵ Sistem penyemproan air bertekanan yang menyimpang dari persyaratan-persyaratan ini dapat digunakan jika persetujuan sebagai setara oleh BKI. Lihat Resolusi IMO A.800 (19), " Revised Guidelines for Approval of Sprinkler Systems Equivalent to that Referred to in SOLAS Regulation II-2/12 ", sebagaimana telah diubah dengan Res. MSC.265 (84). Persetujuan tipe yang ada yang dikeluarkan untuk mengkonfirmasi kepatuhan terhadap Res. A.800 (19) tetap berlaku sampai 1 Juli 2015.

1.2.3 Pompa harus dilengkapi dengan sebuah sedot laut langsung. Perangkat *shut-off* harus diamankan dalam posisi terbuka. Di sisi buang, pompa harus dilengkapi dengan sebuah katup tes dan koneksi pipa yang penampangnya sesuai dengan kapasitas pompa pada tekanan yang ditentukan.

1.3 Lokasi

Tangki dan pompa air bertekanan harus ditempatkan di luar dan jarak yang cukup jauh dari ruang-ruang yang dilindungi, dari kamar-kamar boiler dan dari ruang-ruang yang berisi perangkat pengolahan minyak atau mesin pembakaran dalam.

Tangki air bertekanan harus dipasang di ruang yang tidak membeku.

1.4 Pasokan air

1.4.1 Sistem ini harus diisi penuh dengan air segar saat tidak beroperasi.

Selain pasokan air per [1.2](#), sistem juga harus terhubung ke bagian kebakaran utama melalui sebuah katup ulir bawah tak kembali.

1.4.2 Sistem ini harus dijaga secara permanen di bawah tekanan dan harus siap setiap saat untuk beroperasi segera, secara otomatis. Dengan katup tes pada katup alarm dalam posisi terbuka penuh, tekanan pada level tertinggi nosel semprot masih harus sekurang-kurangnya 1,75 bar.

1.4.3 Stasiun kontrol, dimana air dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan penting, dapat dilengkapi dengan sebuah sistem pipa pengering atau sistem tindakan awal²⁶.

1.5 Sumber Daya listrik

Sekurang-kurangnya dua sumber daya yang saling independen harus disediakan untuk mensuplai pompa dan sistem indikasi dan alarm otomatis. Setiap sumber harus cukup untuk dapat menyalakan sistem ([Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 7](#))

1.6 Pipa, katup dan perlengkapan

1.6.1 Jalur antara kotak laut, pompa, tangki air, koneksi darat dan katup alarm harus memenuhi persyaratan dimensi yang diatur dalam [Bab 11, Tabel 11.5](#). Jalur tersebut harus dilindungi secara efektif terhadap korosi.

1.6.2 Katup pemeriksaan harus dipasang untuk memastikan bahwa air laut tidak bisa menembus ke dalam tangki air bertekanan atau air tawar terbuang ke laut melalui jalur hisap pompa.

1.6.3 Setiap bagian sprinkler harus dapat diisolasi dengan satu bagian katup saja. Katup bagian harus diatur untuk mudah diakses dari luar bagian yang terkait atau di kabinet dalam ruang tangga, lokasi harus ditunjukkan secara jelas dan permanen. Sarana yang sesuai harus disediakan untuk mencegah operasi katup bagian oleh orang yang tidak berwenang.

Setiap katup penyetop dalam sistem dari inlet air laut sampai ke katup bagian harus diamankan dalam posisi pengoperasian.

1.6.4 Sebuah katup uji harus diatur dibagian hilir setiap katup bagian. Aliran katup uji harus sesuai dengan sprinkler terkecil di bagian yang bersangkutan.

²⁶ Lihat definisi untuk "sistem pipa kering" dan "sistem tindakan awal", seperti yang ditunjukkan dalam Res. IMO A.800 (19).

1.6.5 Bagian kecil dimana ada kemungkinan pembekuan selama operasi kapal pada iklim dingin dapat dari jenis kering²⁷.

Sauna harus dilengkapi dengan sistem pipa kering.

1.7 Sprinkler

1.7.1 Sprinkler harus dikelompokkan menjadi beberapa bagian. Setiap bagian tidak lebih dari 200 sprinkler.

1.7.2 Pada kapal penumpang, sebuah bagian sprinkler dapat memanjang hanya lebih satu zona vertikal utama atau satu kompartemen kedap air dan tidak mencakup lebih dari dua geladak vertikal yang berdekatan.

1.7.3 Sprinkler harus diatur di daerah geladak atas yang volume airnya tidak kurang dari 5 liter/m² dan per menit disemprotkan ke area yang harus dilindungi.

Catatan :

Laju aliran minimal 5 liter/m²/min tidak berlaku untuk sistem kabut air yang disetujui²⁹

Di dalam ruang akomodasi dan layanan, sprinkler harus diaktifkan dalam kisaran temperatur dari 68 °C sampai 79 °C. Hal ini tidak berlaku untuk ruang dengan temperatur yang lebih tinggi seperti ruang pengeringan, dapur atau yang serupa. Disini temperatur pemicu mungkin sampai 30 °C diatas temperatur maksimum di daerah head geladak.

Dalam sauna, temperatur pelepasan hingga 140 °C dapat diterima

Sprinkler harus terbuat dari bahan tahan korosi. Sprinkler dari baja galvanis tidak diperbolehkan.

1.7.5 Sprinkler cadangan dari semua jenis dan peringkat yang dipasang di kapal harus disiapkan sebagai berikut. Jumlah Sprinkler cadangan dari jenis apa pun perlu tidak melebihi jumlah sprinkler yang terpasang.

< 300 sprinkler – 6 cadangan

300 -1,000 sprinkler – 12 cadangan

> 1.000 sprinkler – 24 cadangan

1.8 Sistem indikasi dan alarm

1.8.1 Setiap bagian sprinkler harus dilengkapi dengan sarana untuk aktivasi sinyal alarm visual dan suara pada satu atau lebih panel indikasi. Pada panel, bagian sprinkler dimana sprinkler telah beroperasi harus ditunjukkan. Panel indikasi harus terpusat di anjungan navigasi. Selain itu, alarm visual dan suara dari panel indikasi harus terletak di posisi yang lain selain di anjungan navigasi, untuk memastikan bahwa alarm segera diketahui oleh kru.

Desain sistem alarm, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 9.](#)

1.8.2 Sebuah indikasi pengukur tekanan dalam sistem ini harus disiapkan pada setiap katup bagian sesuai dengan [1.6.3](#) serta pada panel indikasi terpusat di anjungan navigasi.

²⁷ Definisi "sistem pipa kering" lihat Res. IMO A.800 (19), Lampiran, ayat 2.3

1.9 Grafik dan intruksi penunjuk

Daftar atau rencana harus ditampilkan pada setiap panel indikasi yang menunjukkan ruang yang tercakup dan lokasi zona yang berkaitan dari setiap bagian.

Intruksi yang sesuai untuk pengujian dan pemeliharaan harus tersedia.

2. Sistem penyemprot air bertekanan yang dioperasikan secara manual

2.1 Sistem penyemprot air bertekanan untuk ruang permesinan dan ruang pompa kargo

2.1.1 Tekanan konvensional sistem penyemprot air

Tekanan konvensional sistem penyemprot air untuk ruang permesinan dan ruang pompa kargo harus disetujui oleh BKI berdasarkan standar yang diakui secara internasional²⁸.

2.1.2 Sistem penyemprot air bertekanan yang setara (air-kabut)

Sistem air-kabut untuk ruang permesinan dan ruang pompa kargo harus disetujui oleh BKI berdasarkan standar yang diakui secara internasional³².

2.2 Sistem untuk penyemprot air bertekanan untuk pemanas minyak termal berbahar bakar gas buang

2.2.1 Laju aliran dari sistem penyemprot air harus sekurang-kurangnya 5 liter/menit per m² dari permukaan pemanas.

Penggunaan air tawar lebih diutamakan. Pasokan air yang cukup untuk sekurang-kurangnya 20 menit harus dipastikan.

2.2.2 Volume air yang dibutuhkan harus didistribusikan di atas permukaan yang dipanaskan dengan menggunakan nosel yang sesuai. Sebuah sistem pipa dan nosel yang dimaksudkan untuk tujuan pembersihan dapat dimasukkan ke dalam sistem penyemprot air.

2.2.3 Nosel dapat dipasang di bawah permukaan yang dipanaskan sebagai gantinya. Sebuah prasyarat untuk pengaturannya adalah bahwa dalam hal terjadi kebakaran di pemanas minyak termal berbahar bakar gas buang, mesin dijaga untuk terus berjalan pada beban yang dikurangi dan gas buang terus mengalir di atas permukaan yang dipanaskan.

2.2.4 Sistem perpipaan untuk penyediaan dan distribusi air harus berupa instalasi yang tetap.

Untuk melindungi terhadap kebocoran air yang tidak terkontrol dalam pemanas berbahar bakar gas buang, jalur suplai harus dilengkapi dengan dua *shut-off valve* dengan sebuah katup pembuangan di antara mereka.

2.2.5 Sebuah perangkap air yang efektif yang dapat mengalir ke bilga kamar mesin atau tangki yang cocok harus dipasang di saluran gas buang di bawah pemanas berbahar bakar gas buang. Langkah yang sesuai harus diambil untuk mencegah kebocoran gas buang.

²⁸ Mengacu pada sirkulasi IMO MSC/Circ.1165, " Revised Guidelines for the Approval of Equivalent Water-Based Fire-Extinguishing Systems for Machinery Spaces and Cargo Pump Rooms ", sebagaimana telah diubah dengan surat edaran MSC.1/Circ.1237, MSC.1/Circ.1269 dan MSC.1/Circ.1386. Ekstrapolasi dari volume maksimum yang diuji ke volume yang lebih besar dalam instalasi yang sebenarnya diizinkan berdasarkan kondisi yang diberikan dalam IMO MSC.1/Circ.1385, "Scientific Methods on Scaling of Test Volume for Fire Test on WaterMist Fire-Extinguishing Systems". Referensi dibuat untuk Interpretasi Terpadu yang dinyatakan dalam MSC.1 / Circ.1458.

2.2.6 Semua katup dan penyala pompa yang diperlukan untuk operasi sistem penyemprot air harus dipasang untuk memudahkan akses di satu tempat jika memungkinkan pada jarak yang aman dari pemanas berbahaya bakar gas buang. Instruksi pengoperasian ringkas harus secara permanen ditampilkan pada posisi operasi.

2.3 Sistem pemadam kebakaran tetap berbasis air untuk ruang kendaraan, ruang kategori khusus dan ruang kargo ro-ro

2.3.1 Sistem pemadam kebakaran tetap berbasis air untuk perlindungan ruang kendaraan, kategori khusus dan ro-ro harus didesain sesuai dengan pedoman dari MSC.1/Circ.1430 33²⁹.

Sistem penyemprot air harus dirancang sesuai dengan bab 3 dan 4 dari MSC.1/Circ.1430. Nosel penyemprotan air harus disetujui sebagai per item 3.11 dari pedoman ini.

Sistem kabut air harus dari jenis yang disetujui BKI dan dirancang sesuai dengan bab 3 dan 5 dari MSC.1/Circ.1430.

2.3.2 Sebuah alat pengukur tekanan harus disiapkan pada manifold katup.

Setiap katup distribusi harus jelas ditandai sesuai dengan bagian yang dilayani.

Instruksi untuk pemeliharaan dan operasi harus ditampilkan dalam ruang katup (kontrol drencher).

2.3.3 Dalam hal sistem diaktifkan secara manual, pompa pasokan air harus dinyalakan dari kelompok katup distribusi. Semua katup penutup yang terletak antara inlet air laut dan katup distribusi harus mampu dibuka dari kelompok katup distribusi, kecuali mereka dapat dijamin dalam posisi terbuka.

2.3.4 Pengaturan drainase dan pompa harus dirancang sesuai dengan Bab 11, N.4.3.5 dan N.4.4, sebagaimana berlaku.

Sistem ini harus dilengkapi dengan jumlah katup drainase yang cukup.

2.4 Sistem penyemprotan air bertekanan untuk area kargo kapal tangki

Sistem ini harus memenuhi Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk (Pt.1, Vol.IX) Sec. 11.3.

3. Sistem pemadam kebakaran tetap aplikasi lokal³⁰

3.1 Berikut ini harus diterapkan pada ruang permesinan kategori A¹⁰ di atas volume kotor 500 m³ dari kapal penumpang 500 GT ke atas dan kapal kargo 2.000 GT ke atas.

3.2 Selain sistem pemadam kebakaran utama, daerah bahaya kebakaran sebagaimana tercantum di 3.3 harus dilindungi oleh sistem pemadam kebakaran tetap aplikasi lokal, yang harus dari jenis yang disetujui oleh BKI sesuai dengan peraturan internasional³¹.

Pada kapal dengan Notasi Kelas OT atau OT-S, sistem ini harus memiliki kemampuan pelepasan otomatis dan manual.

²⁹ Mengacu pada sirkular IMO MSC.1/Circ.1430 "Revised Guidelines for the Design and Approval of Fixed Water-Based Fire-Fighting Systems for Ro-Ro Spaces and Special Category Spaces", yang menggantikan sirkular MSC.1/Circ.1272, kecuali bahwa bukti dari uji kebakaran komponen sebelumnya disediakan sesuai dengan MSC.1/Circ.1272 tetap berlaku untuk persetujuan sistem baru.

³⁰ Persyaratan ini berlaku untuk kapal dengan peletakan lunas pada atau setelah tanggal 1 Juli 2002.

³¹ Mengacu pada sirkular IMO MSC.1/Circ.1387, " Revised Guidelines for the Approval of Fixed Water-Based Local Application Fire Fighting Systems for Use in Category A Machinery Spaces ", yang menggantikan sirkular MSC/Circ.913, kecuali bahwa bukti dari uji kebakaran dan komponen sebelumnya harus disediakan sesuai dengan MSC/Circ.913 tetap berlaku untuk persetujuan sistem baru.

Ruang mesin yang terus dijaga, sistem ini hanya diwajibkan untuk memiliki kemampuan pelepasan manual.

3.3 Aplikasi sistem pemadam kebakaran tetap aplikasi lokal harus dapat melindungi daerah sebagai berikut tanpa perlu mematikan mesin, evakuasi personel, atau penyegelan ruang:

- bagian bahaya kebakaran dari mesin pembakaran dalam yang digunakan untuk proporsi utama dan daya, dan keperluan kapal lainnya
- peralatan berbahar bakar minyak, seperti insinerator, boiler, generator gas lembam dan pemanas minyak termal
- purifier untuk bahan bakar minyak yang dipanaskan.

Sistem pemadam kebakaran tetap aplikasi lokal harus melindungi daerah dengan resiko kebakaran semacam itu dari perangkat diatas dimana semprotan bahan bakar minyak dari jalur bahan bakar minyak yang rusak kemungkinan akan menyala pada permukaan yang panas, yaitu normalnya hanya bagian atas mesin termasuk stasiun silinder, pompa injeksi bahan bakar minyak, turbocharger dan manifold gas buang serta pembakar minyak yang perlu dilindungi. Jika pompa injeksi bahan bakar minyak berada di posisi yang terlindungi seperti di bawah platform baja, pompa tidak perlu dilindungi oleh sistem.

Untuk media pemadam kebakaran, agen pemadam berbasis air harus digunakan. Pompa yang mensuplai media pemadam harus berada di luar kawasan yang dilindungi. Sistem ini harus tersedia untuk dapat segera digunakan dan mampu terus mesuplai media pemadam sekurang-kurangnya selama 20 menit. Kapasitas pompa harus didasarkan pada kawasan yang dilindungi yang menuntut volume terbesar dari media pemadam.

Pasokan air untuk sistem aplikasi lokal dapat diperoleh dari pasokan ke sebuah sistem kabut air banjir total (sistem pemadam kebakaran utama), dengan syarat bahwa kuantitas air dan tekanan yang mencukupi tersedia untuk mengoperasikan kedua sistem untuk periode waktu yang diperlukan .

3.4 Sistem dimana pengoperasian otomatis diperlukan harus dilepas dengan menggunakan sistem deteksi kebakaran dan alarm yang dirancang dengan sesuai. Sistem ini harus memastikan deteksi kebakaran selektif dari setiap daerah yang harus dilindungi serta aktivasi cepat dan handal dari sistem pemadam kebakaran lokal.

Untuk rincian desain deteksi kebakaran dan sistem alarm, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 9.D.4.](#)

3.5 Alarm visual dan suara berkelompok serta indikasi zona yang diaktifkan harus disediakan di setiap ruang yang dilindungi, di ruang kontrol mesin dan di ruang kemudi.

3.6 Instalasi nosel di kapal harus mencerminkan susunan yang berhasil diuji masing-masing sesuai dengan MSC/Circ. 913 atau MSC.1/Circ.1387.

Jika susunan tertentu dari nosel telah diperkirakan, menyimpang dari yang diuji, dapat diterima asalkan pengaturan tersebut sebagai tambahan juga melewati uji kebakaran berdasarkan skenario yang didefinisikan dalam MSC.1/Circ.1387.

3.7 Untuk setiap mesin pembakaran dalam yang digunakan untuk proporsi atau pembangkit daya utama kapal, bagian nosel terpisah serta sarana yang terpisah untuk mendeteksi kebakaran dan pelepasan sistem harus disediakan.

Jika jarak bebas antara mesin yang berdekatan kurang dari dua meter, operasi simultan dari dua bagian yang berdekatan harus dipastikan dan media pemadam yang disimpan harus mencukupi untuk cakupan simultan mereka.

Dalam kasus empat (atau lebih) mesin utama atau generator diesel utama yang dipasang di ruang mesin, pengaturan pembagian nosel berpasangan serta sarana untuk deteksi kebakaran dan pelepasan dari sistem

dapat diterima, asalkan kemampuan manuver tak terbatas kapal dapat dipastikan dengan pasangan mesin utama atau generator diesel utama tidak dilibatkan.

Bagian nosel dari sistem aplikasi lokal dapat merupakan bagian nosel dari sistem kabut air banjir total (sistem pemadam kebakaran utama) asalkan bagian nosel tambahan dari sistem pemadam kebakaran utama dapat terisolasi.

3.8 Kontrol operasi (pelepasan) harus berada pada posisi yang mudah diakses dalam dan di luar ruang yang dilindungi. Kontrol di dalam ruang yang tidak mempunyai resiko harus dipotong oleh kebakaran di kawasan yang dilindungi.

3.9 Sarana harus disediakan untuk menguji pengoperasian sistem untuk menjamin tekanan dan aliran yang dibutuhkan dan untuk meniup udara melalui sistem selama pengujian untuk memeriksa setiap kemungkinan halangan.

3.10 Sistem perpipaan harus diberi ukuran sesuai dengan teknik perhitungan hidrolik yang diakui (misalnya metode Hazen-Williams) untuk menjamin ketersediaan arus dan tekanan yang diperlukan untuk kinerja yang benar dari sistem.

3.11 Jika sistem otomatis dipasang, pemberitahuan peringatan harus ditampilkan di luar setiap titik masuk yang menyatakan jenis media pemadam yang digunakan dan kemungkinan dari pelepasan otomatis.

3.12 Instruksi operasi dan pemeliharaan serta suku cadang untuk sistem harus disediakan seperti yang direkomendasikan oleh produsen. Instruksi operasi harus ditampilkan di setiap stasiun operasi.

3.13 Nosel dan pipa tidak boleh mencegah akses ke mesin atau bagian permesinan lainnya untuk pemeliharaan rutin. Dalam ruang mesin yang dilengkapi dengan kerekan atas kepala atau peralatan bergerak lainnya, nosel dan pipa tidak boleh berada untuk mencegah pengoperasian peralatan semacam itu.

3.14 Objek yang harus dilindungi harus ditutupi dengan jala nosel yang tunduk pada parameter pengaturan nosel terindikasi yang tunduk pada parameter parameter pengaturan nosel yang ditunjukkan dalam Sertifikat persetujuan tipe (jarak horizontal maksimum nosel, jarak vertikal minimum dan maksimum dari objek yang dilindungi, jarak lateral minimum dari objek yang dilindungi).

Jika lebar area yang dilindungi tidak melebihi $\frac{1}{2}$ jarak maksimum nosel horizontal, baris nosel tunggal dapat diberikan dengan syarat bahwa jarak antara nosel tidak lebih dari $\frac{1}{2}$ jarak maksimum nosel horizontal dan ujung nosel baik menunjuk sekurang-kurangnya pada tepi area yang dilindungi atau berada dengan jarak lateral dari objek yang dilindungi jika jarak minimum seperti itu yang dibutuhkan ditunjukkan dalam Sertifikat persetujuan tipe.

Jika lebar dan panjang area yang dilindungi tidak melebihi $\frac{1}{2}$ jarak maksimum nosel horizontal, nosel tunggal dapat diberikan yang harus terletak di atas objek yang dilindungi di pusat.

Sketsa ilustrasi dari pengaturan nosel yang dapat diterima ditampilkan untuk kejelasan dalam MSC.1/Circ.1276.

3.15 Jika ruang mesin dilindungi dengan *foam* ekspansi tinggi atau sistem pemadam kebakaran aerosol, langkah-langkah operasional yang sesuai atau interlock harus disediakan untuk mencegah sistem aplikasi lokal dari mengganggu efektivitas sistem ini.

4. Sistem penyemprotan air bertekanan untuk balkon kabin kapal penumpang

4.1 Balkon kabin kapal penumpang harus dilengkapi dengan sebuah sistem penyemprotan air bertekanan yang disetujui³² jika furnitur dan perabot di balkon tersebut bukan yang dari resiko kebakaran terbatas^{8, 9}.

5. Sistem kabut air kombinasi untuk perlindungan multi-area

Sebuah sistem kabut air yang dirancang untuk melayani daerah dan ruang yang berbeda dan dipasok oleh satu unit pompa umum dapat diterima dengan ketentuan bahwa setiap sub-sistem mempunyai tipe yang disetujui BKI^{28, 32, 33, 35, 36, 37}.

M. Sistem Pemadam Kebakaran Untuk Loker Cat, Loker Cairan Mudah Terbakar, Saluran Buang Dapur dan Peralatan Masak Deep-Fat

1. Loker cat dan loker cairan yang mudah terbakar

1.1 Sebuah sistem pemadam kebakaran tetap berbasis CO₂, bubuk kering, air atau media pemadam yang setara dan mampu dioperasikan dari luar ruangan harus disediakan.

1.1.1 Jika CO₂ digunakan, pasokan media pemadam harus dihitung untuk konsentrasi relatif 40% terhadap volume kotor dari ruang yang bersangkutan.

1.1.2 Sistem pemadam kebakaran bubuk kering harus dirancang sekurang-kurangnya sebesar 0,5 kg/m³ dari volume kotor ruang yang bersangkutan. Langkah harus diambil untuk memastikan bahwa media pemadam didistribusikan secara merata.

1.1.3 Untuk sistem penyemprot air bertekanan, laju distribusi secara merata 5 liter/m²/min relatif terhadap luas lantai harus dipastikan. Air dapat disuplai dari pemadam kebakaran utama.

1.2 Untuk loker dari area geladak dengan luas kurang dari 4 m², yang tidak memberikan akses ke ruang akomodasi, pemadam kebakaran CO₂ portabel atau bubuk kering berukuran sesuai dengan 1.1.1 atau 1.1.2, yang dapat difungsikan melalui sebuah sisi di batas loker, dapat digunakan. Alat pemadam harus ditempatkan berdekatan dengan sisi kapal.

Atau, sisi kapal atau sambungan selang dapat disediakan untuk tujuan ini untuk memfasilitasi penggunaan air sistem kebakaran utama.

1.3 Dalam loker pengambilan sampel kargo diatas kapal tangki, sistem pemadam kebakaran tetap dapat ditiadakan jika ruang tersebut diposisikan dalam area kargo.

2. Saluran buang di sekitar dapur

2.1 Sebuah sistem pemadam kebakaran tetap harus disediakan untuk saluran pembuangan di sekitar dapur:

- pada semua kapal penumpang yang mengangkut lebih dari 36 penumpang
- di kapal kargo dan kapal penumpang yang mengangkut tidak lebih dari 36 penumpang, dimana saluran melewati ruang akomodasi atau ruang yang berisi bahan yang mudah terbakar.

³² Referensi dibuat untuk MSC.1 / Circ.1268, "Guidelines for the Approval of Fixed Pressure Water-Spraying and Water-Based Fire Extinguishing Systems for Cabin Balconies".

Sarana tetap untuk memadamkan api dalam saluran pembuangan di sekitar dapur harus didesain sedemikian rupa sehingga pemadaman ini efektif pada sepanjang antara peredam api luar dan peredam api yang harus dipasang di ujung bawah saluran.

2.2 Pengoperasian manual harus disediakan. Kontrol harus dipasang dekat akses ke dapur, bersama-sama dengan saklar pemotong darurat untuk pasokan ventilasi dapur dan kipas buang dan peralatan pengoperasian untuk peredam kebakaran.

Pengoperasian otomatis dari sistem pemadam kebakaran dapat sebagai tambahan disediakan setelah klarifikasi dengan BKI.

3. Peralatan memasak dengan Deep-fat³⁴

Peralatan memasak *deep-fat* harus dilengkapi dengan pengaturan sebagai berikut:

- sistem pemadam kebakaran otomatis atau manual yang diuji dengan standar internasional dan disetujui oleh BKI³³.
- termostat utama dan cadangan dengan alarm untuk memperingatkan operator jika terjadi kegagalan dari termostat manapun.
- pengaturan secara otomatis mematikan daya listrik pada saat pengoperasian dari sistem pemadam kebakaran
- alarm untuk menunjukkan operasi dari sistem pemadaman kebakaran di dapur dimana peralatan terpasang
- kontrol untuk operasi manual dari sistem pemadam kebakaran yang diberi label dengan jelas untuk siap digunakan oleh kru.

N. Insinerator limbah

1. Ruang insinerator, ruang-ruang penyimpanan limbah atau gabungan ruang insinerator dan penyimpanan limbah harus dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran dan deteksi kebakaran tetap sesuai [Tabel 12.8](#).

2. Pada kapal penumpang, sprinkler harus disuplai dari sistem sprinkler kapal.

3. Pada kapal kargo, sistem sprinkler dapat dihubungkan ke sistem *hydrophore* air tawar, asalkan pompa hydrophore mampu memenuhi jumlah permintaan yang diperlukan dari sprinkler.

Table 12.8 Sistem keamanan kebakaran yang diperlukan

Ruang	Sistem penyemprot air bertekanan otomatis (sprinkler), lihat 2. dan 3.	Sistem pemadam kebakaran tetap (CO_2 , <i>foam</i> ekspansi tinggi, penyemprot air tekanan atau yang setara)	Deteksi kebakaran tetap
Kombinasi insinerator dan ruang penyimpanan limbah		X	X
Ruang insinerator		X	X
Ruang penyimpanan limbah	X		

³³ Re ISO 15.371: 2009 " Ships and marine technology - Fire-extinguishing systems for protection of galley cooking equipment". untuk kapal yang dibangun sebelum 1 Juli 2013 ISO 15.371: 2000 "Fire-extinguishing systems for protection of galley deep-fat cooking equipment – fire tests" dapat digunakan.

O. Peralatan Pemadam Kebakaran untuk Geladak Pendaratan Helikopter

1. Dalam hal resiko dan ruang lingkup kebakaran yang terkait dengan peralatan pemadam kebakaran yang diperlukan, perbedaan dibuat antara:

- helideck (platform pendaratan helikopter yang dibangun untuk operasi helikopter rutin). Untuk persyaratan helideck selanjutnya, lihat [Guidance for the Class Notation Helicopter Deck and Facilities \(HELIL & HELIL \(SRF\)\) \(Pt.7, Vol.A\)](#)
- area pendaratan helikopter (daerah pada geladak yang ditunjuk untuk pendaratan helikopter sesekali atau darurat)

2. Di dekat area *helideck* atau pendaratan helikopter, berikut peralatan pemadam kebakaran dan aksesoris yang harus disediakan dan disimpan dekat sarana aksesnya:

- sekurang-kurangnya dua pemadam bubuk kering yang memiliki kapasitas total tidak kurang dari 45 kg
- pemadam CO₂ dengan total kapasitas tidak kurang dari 18 kg atau setara
- sekurang-kurangnya dua nosel tipe tujuan ganda dan selang yang cukup untuk mencapai setiap bagian dari *helideck* tersebut;
- dua pakaian pemadam kebakaran selain yang dibutuhkan oleh SOLAS 74 atau peraturan nasional,
- sekurang-kurangnya peralatan berikut, disimpan sedemikian rupa sehingga dapat segera digunakan dan perlindungan dari unsur:
 - kunci yang dapat diatur
 - selimut, tahan api
 - pengait, pengambil atau penyimpan
 - gergaji besi, lengkap untuk tugas berat dengan 6 pisau cadangan
 - tangga
 - jalur keselamatan diameter 5 mm x panjang 15 m
 - tang, pemotong sisi
 - berbagai macam set obeng
 - pelindung pisau lengkap dengan selubung
 - baut pemotong 600 mm

3. Selain peralatan yang ditunjukkan dalam 2, *helideck* harus dilengkapi dengan pengaturan pemadam kebakaran tetap yang terdiri dari sekurang-kurangnya:

- dua monitor *foam* dari ukuran yang sama atau nosel *foam* yang terintergrasi dengan geladak
- dua stasiun gulungan selang *foam*

Laju minimum pemakaian solusi *foam* harus ditentukan dengan mengalikan area cakupan yang dibutuhkan dengan 6 liter/m²/menit. Kapasitas minimum masing-masing monitor harus 500 liter/menit, kapasitas minimum dari setiap gulungan selang harus 400 liter/menit.

Konsentrat *foam* harus dari jenis yang disetujui³⁴ dan dalam kuantitas cukup untuk memungkinkan pengoperasian semua perangkat pemakaian *foam* terhubung untuk sekurang-kurangnya 5 menit.

³⁴ Konsentrat *foam* harus disertifikasi sesuai dengan "International Civil Aviation Organization - Airport Services Manual, Part 1 – Rescue and Fire Fighting, Chapter 8 - Extinguishing Agent Characteristics, Paragraph 8.1.5 - Foam Specifications, Table 8-1, Level "B" foam" atau sesuai dengan Pedoman Revisi untuk kinerja dan kriteria pengujian dan survei konsentrat *foam* untuk sistem pemadam kebakaran tetap (MSC.1/Circ.1312).

Stasiun pelepasan manual di setiap monitor dan gulungan selang harus disediakan. Selain itu, stasiun pelepasan pusat harus diatur di lokasi yang terlindungi.

Catatan:

Persyaratan di atas hanya mencakup ukuran-ukuran utama. Rincian peralatan yang harus disediakan diatur oleh MSC.1/Circ.1431, pedoman yang harus ditaati.

4. Selain peralatan yang ditunjukkan dalam 2, area pendaratan helikopter harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya dua aplikator portabel *foam* atau dua stasiun gulungan selang *foam*, masing-masing mampu memberikan tingkat pemakaian solusi *foam* minimum sesuai dengan [Tabel 12.9](#).

Konsentrat *foam* harus dari jenis yang disetujui³⁸⁾ dan dalam kuantitas cukup untuk memungkinkan pengoperasian semua perangkat pemakaian *foam* terhubung selama sekurang-kurangnya 10 menit.

Tabel 12.9 Kuantitas *foam* yang diperlukan

Kategori	Total panjang helikopter	Level pemakaian solusi <i>foam</i> [liter/menit]
H1	< 15 m	250
H2	> 15 m < 24 m	500
H3	> 24 m < 35 m	800

Catatan:

Persyaratan di atas hanya mencakup ukuran-ukuran utama. Rincian peralatan yang harus disediakan diatur oleh MSC.1/Circ.1431, pedoman yang harus diamati.

5. Fasilitas drainase *helideck* atau daerah pendaratan helikopter harus dibuat dari baja dan mengarah langsung ke laut terlepas dari sistem lain dan dirancang agar drainase tidak jatuh ke bagian manapun dari kapal.

P. Peralatan untuk Transportasi Muatan Berbahaya

1. Umum

1.1 Cakupan

1.1.1 Persyaratan berikut berlaku juga untuk kapal yang mengangkut muatan berbahaya dalam bentuk kemasan. Persyaratan-persyaratan ini tidak berlaku jika barang tersebut diangkut hanya dalam jumlah terbatas atau dikecualikan sesuai dengan Kode IMDG (Vol. 2), Bab 3.4 dan 3.5.

1.1.2 Persyaratan ini tergantung pada jenis ruang kargo, kelas muatan berbahaya dan sifat khusus dari muatan yang harus diangkut. Persyaratan untuk berbagai jenis ruang kargo ditunjukkan dalam tabel berikut:

- [Tabel 12.10a](#) untuk ruang kargo konvensional
- [Tabel 12.10b](#) untuk ruang kargo kontainer
- [Tabel 12.10c](#) untuk ruang ro-ro tertutup
- [Tabel 12.10d](#) untuk ruang ro-ro terbuka
- [Tabel 12.10e](#) untuk kapal tongkang
- [Tabel 12.10f](#) untuk geladak cuaca

1.1.3 Persyaratan SOLAS, Bab VI, Bag. A, SOLAS, Bab VII, Bagian A dan Kode IMDG harus diperhatikan.

1.1.4 Persyaratan untuk ruang kargo kontainer terbuka harus disepakati dengan BKI.

1.2 Diagram rencana, gambar dan dokumen yang mencakup hal berikut ini harus dikirimkan kepada BKI

1.3 Referensi ke peraturan-peraturan lain

1.3.1 SOLAS, Chapter II-2, Regulation 19, "Carriage of dangerous goods"

1.3.2 SOLAS, Chapter VI, Part A, "General provisions"

1.3.3 SOLAS, Chapter VII, Part A, "Carriage of dangerous goods in packaged form"

1.3.4 IMO International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code

1.3.5 Medical First Aid Guide for Use in Accidents Involving Dangerous Goods (MFAG)

1.3.6 IMO MSC/Circ.608/Rev.1, "Interim Guidelines for Open Top Containerships"

1.3.7 IACS UI SC 109, 110 and 111, "Open top container holds – Water supplies – Ventilation – Bilge pumping"

1.3.8 IEC 60079, "Electrical apparatus for explosive atmospheres"

1.4 Sertifikasi

Bila diminta "Dokumen Kepatuhan untuk Pengangkutan barang Berbahaya" menurut SOLAS, Bab II-2, Peraturan 19,4 dapat dikeluarkan setelah survei sukses. Kapal-kapal ini akan diberikan Notasi DG.

1.5 Klasifikasi barang berbahaya

Kelas berikut ditentukan untuk barang-barang dalam bentuk kemasan dalam lampiran Dokumen Kepatuhan untuk Pengangkutan Barang Berbahaya.

Kelas 1.1-1.6:

Ledakan.

Divisi 1.1: Zat dan benda dengan bahaya ledakan besar.

Divisi 1.2: Zat dan benda dengan proyeksi berbahaya tapi bukan bahaya ledakan besar.

Divisi 1.3: Zat dan benda dengan bahaya kebakaran baik itu bahaya ledakan kecil ataupun bahaya proyeksi kecil atau keduanya, tetapi bukan bahaya ledakan besar.

Divisi 1.4: Zat dan benda yang tidak mempunyai bahaya yang signifikan.

Divisi 1.5: Zat yang sangat sensitif dan benda yang memiliki bahaya ledakan besar.

Divisi 1.6: Benda yang sangat sensitif yang tidak memiliki bahaya ledakan besar.

Kelas 1.4S:

Ledakan.

Divisi 1.4, kelompok kompatibilitas S: zat atau benda yang dikemas atau dirancang sehingga efek berbahaya yang timbul dari ketidaksengajaan terbatas dalam paket kecuali paket telah terdegradasi oleh kebakaran, dalam hal ini semua efek ledakan atau proyeksi terbatas pada sejauh mana mereka tidak secara signifikan menghambat atau mengganggu pemadam kebakaran atau upaya tanggap darurat lain disekitar paket.

Kelas 2.1 termasuk hidrogen dan campuran hidrogen:

Gas yang mudah terbakar termasuk hidrogen dan campuran hidrogen.

Kelas 2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen:

Gas yang mudah terbakar dengan pengecualian hidrogen dan campuran hidrogen.

Kelas 2.2:

Tidak mudah terbakar, gas tidak beracun.

Kelas 2.3 mudah terbakar:

Gas beracun dengan klas risiko subsider 2.1.

Kelas 2.3 tidak mudah terbakar:

Gas beracun tanpa klas risiko subsider 2.1.

Kelas 3 FP < 23 °C:

Cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala di bawah 23 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C:

Cairan yang mudah terbakar memiliki titik nyala antara 23 °C dan 60 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 4.1:

Benda padat yang mudah terbakar, zat yang dapat bereaksi sendiri dan benda padat yang peka ledakan.

Kelas 4.2:

Zat yang dapat menyebabkan pembakaran spontan.

Kelas 4.3 cairan:

Cairan yang, jika bersentuhan dengan air mengeluarkan gas yang mudah terbakar.

Kelas 4.3 padatan:

Benda padat yang, jika bersentuhan dengan air mengeluarkan gas yang mudah terbakar.

Kelas 5.1:

Zat pengoksidasi.

Kelas 5.2:

Peroksida organik.

Kelas 6.1 cairan FP < 23 °C:

Cairan beracun yang dengan titik nyala di bawah uji 23 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 6.1 cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C:

Cairan beracun yang dengan titik nyala antara 23 °C dan 60 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 6.1 cairan FP > 60 °C:

Cairan beracun yang dengan titik nyala di atas 60 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 6.1 benda padat:

Benda padat beracun.

Kelas 8 cairan FP < 23 °C:

cairan korosif dengan titik nyala di bawah 23 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 8 cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C:

cairan korosif dengan titik nyala antara 23 °C dan 60 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 8 cairan FP > 60 °C:

cairan korosif dengan titik nyala di atas 60 °C pengujian jarak dekat.

Kelas 8 benda padat:

Benda padat korosif.

Kelas 9 barang yang menghasilkan uap yang mudah terbakar secara eksklusif:

Zat lainnya yang berbahaya dan benda dan zat yang berbahaya bagi lingkungan yang menghasilkan uap yang mudah terbakar.

Kelas 9 barang selain yang menghasilkan uap yang mudah terbakar:

Zat berbahaya lain-lain dan benda dan zat yang berbahaya bagi lingkungan yang tidak menghasilkan uap yang mudah terbakar.

Catatan:

Pengangkutan barang berbahaya kelas 6.2 (zat menular) dan 7 (bahan radioaktif) tidak mencakup pada Dokumen penuhan Barang Berbahaya. Untuk pengangkutan kelas 6.2 Kode IMDG dan untuk pengangkutan kelas 7 Kode IMDG dan Kode INF harus perhatikan.

2. Sistem pemadam kebakaran tetap

2.1 Sistem pemadam kebakaran gas tetap

Semua ruang muat kargo harus dilengkapi dengan sistem pemadam pemadam CO₂ tetap yang memenuhi persyaratan dari G atau H.

2.2 Sistem penyemprot air tetap bertekanan

Ruang ro-ro terbuka, ruang-ruang ro-ro yang tidak mampu disegel dan ruang-ruang kategori khusus harus dilengkapi dengan sistem penyemprot air bertekanan sesuai dengan L.2.3 sebagai pengganti sistem pemadam kebakaran CO₂ tetap.

Pengaturan drainase dan pompa harus dirancang sesuai dengan Bab 11, N.4.3.5 dan N.4.4, sebagaimana berlaku.

2.3 Penyimpanan di geladak cuaca

Persyaratan 2.1 dan 2.2 berlaku meskipun barang berbahaya harus disimpan secara khusus di geladak cuaca.

Catatan:

Untuk kapal kurang dari 500 GT, persyaratan dapat ditiadakan dengan mematuhi penerimaan oleh Administrasi.

3. Cadangan air

3.1 Suplai langsung dari air

Suplai langsung dari air dari sistem pemadam kebakaran utama harus disediakan dengan pengaturan penyalaan jarak jauh untuk semua pompa pemadam kebakaran utama dari anjungan navigasi atau pemberian tekanan permanen dari pemadam kebakaran utama dan dengan penyala otomatis dari pompa pemadam kebakaran utama.

3.2 Kuantitas air dan penataan hidran

Kapasitas pompa kebakaran utama harus cukup untuk mensuplai empat jet air secara bersamaan pada tekanan yang ditentukan (lihat [Tabel 2.3](#)).

Hidran harus diatur di geladak cuaca sehingga setiap bagian dari ruang kargo kosong dapat dicapai dengan empat jet air yang tidak berasal dari hidran yang sama. Dua jet harus dipasok oleh masing-masing selang panjang tunggal, dua dapat dipasok dengan masing-masing dua panjang selang berpasangan.

Hidran harus diatur dalam ruang-ruang ro-ro sehingga setiap bagian dari ruang kargo kosong dapat dicapai dengan empat jet air yang tidak berasal dari hidran yang sama. Keempat jet harus dipasok dengan masing-masing selang panjang tunggal.

Untuk selang dan nosel tambahan, lihat [E.2.5.7](#)

3.3 Pendingin air

3.3.1 Ruang kargo untuk mengangkut **Klas 1**, dengan pengecualian **klas 1.4S** harus dilengkapi dengan pengaturan untuk aplikasi penyemprotan air.

3.3.2 Laju aliran air yang dibutuhkan harus ditentukan atas dasar 5 liter/m² dan per menit dari penampang horisontal terbesar dari ruang kargo atau bagian yang dikhususkan.

3.3.3 Air dapat disuplai dengan sarana pompa pemadam kebakaran utama jika laju aliran air yang disalurkan dalam aliran paralel dapat menjamin operasi simultan dari nosel yang ditentukan dalam [3.2](#).

3.3.4 Volume air yang dibutuhkan harus didistribusikan secara merata di area ruang kargo dari atas melalui sistem perpipaan tetap dan nosel *full-bore*.

3.3.5 Sistem perpipaan dan nosel juga dapat dibagi menjadi beberapa bagian dan diintegrasikan ke dalam palka. Koneksi dapat melalui selang dengan *quick-acting couplings*. Hidran tambahan harus disediakan di geladak untuk tujuan ini.

3.3.6 Pengaturan drainase dan pemompaan harus sedemikian rupa untuk mencegah penumpukan permukaan bebas:

- sistem drainase harus memiliki kapasitas tidak kurang dari 1,25 kali dari kapasitas pemakaian selama operasi simultan dari sistem penyemprot air dan empat nosel selang kebakaran
- katup dari pengaturan drainase harus dapat dioperasikan dari luar ruang yang dilindungi
- sumur bilga harus mempunyai kapasitas menampung yang cukup dan dapat diatur di kulit sisi kapal pada jarak satu sama lain tidak lebih dari 40 m di setiap kompartemen kedap air.

Jika hal ini tidak memungkinkan, berat tambahan dari air dan pengaruh permukaan bebas harus diperhitungkan dalam informasi stabilitas kapal.

4. Sumber penyalaman

Tingkat perlindungan ledakan untuk kelas individu ditentukan dalam kolom "Sumber penyalaman" Tabel 12.10a sampai 12.10f. Jika perlindungan ledakan diperlukan, kondisi berikut ini harus dipenuhi.

4.1 Peralatan listrik

4.1.1 Semua peralatan listrik yang bersentuhan dengan atmosfer palka dan penting untuk operasi kapal harus dari tipe intrinsik aman yang disetujui atau disertifikasi tipe aman yang sesuai dengan tingkat proteksi ledakan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12.10a sampai 12.10f.

4.1.2 Untuk desain peralatan listrik dan klasifikasi daerah berbahaya, [Rules for Electrical \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 17](#).

4.1.3 Peralatan listrik yang tidak penting untuk operasi kapal tidak perlu dari tipe yang bersertifikat aman asalkan bisa terputus secara elektrik dari sumber listrik, dengan sarana yang tepat selain sekring (misalnya dengan pemutusan sambungan), pada sebuah titik eksternal ke ruang dan diamankan terhadap rekoneksi yang tidak disengaja.

4.2 Keamanan kipas

4.2.1 Untuk kipas yang penting untuk operasi kapal, desain diatur oleh [Bab 15, B.5.3.2](#) dan [B.5.3.3](#). Jika tidak, kipas-kipas harus mampu terputus dari sumber listrik, lihat [4.1.3](#).

4.2.2 Bukaan kipas di geladak harus dilengkapi dengan kawat jala penjaga tetap dengan ukuran jala tidak melebihi 13 mm.

4.2.3 Outlet udara harus ditempatkan pada jarak yang aman dari kemungkinan sumber api. Dipersyaratkan radius *spherical* 3 m di sekitar outlet udara, dimana sumber pengapian dilarang.

4.3 Sumber lain dari pengapian

Sumber lain dari pengapian tidak dapat dipasang di daerah berbahaya, misalnya jalur uap atau minyak termal.

5. Sistem deteksi

5.1 Ruang kargo harus dilengkapi dengan sistem deteksi kebakaran dan alarm tetap yang disetujui, lihat [C](#).

5.2 Jika ruang kargo atau geladak cuaca ditujukan untuk barang **klas 1**, ruang kargo yang berdekatan, kecuali ruang ro-ro terbuka, juga harus dipantau oleh sistem deteksi kebakaran dan alarm tetap.

6. Ventilasi

6.1 Saluran (ducting)

Saluran harus diatur untuk menghilangkan gas dan uap dari bagian atas dan bawah dari kargo.

Persyaratan ini dianggap terpenuhi jika saluran tersebut diatur sedemikian rupa sehingga kira-kira 1/3 dari volume udara dapat dihilangkan dari bagian atas dan 2/3 dari bagian bawah. Posisi lubang udara dan outlet udara harus sedemikian rupa untuk mencegah hubungan arus pengeladak dari udara. Interkoneksi atmosfir palka dengan ruang lain tidak diizinkan. Untuk persyaratan konstruksi dan desain, lihat [Guidance for Ventilation System on Board Seagoing Ships \(Pt.1, Vol.A\)](#).

6.2 Ventilasi mekanik (enam perubahan udara/jam)

Sistem ventilasi yang menggabungkan kipas bertenaga listrik dengan kapasitas sekurang-kurangnya enam perubahan udara per jam pada ruang kargo kosong harus disediakan.

6.3 Ventilasi mekanik (dua perubahan udara/jam)

Laju ventilasi sesuai dengan 6.2 dapat dikurangi menjadi tidak kurang dari dua perubahan udara per jam, asalkan barang yang dimuat di ruang kargo kontainer berada dalam wadah pengiriman tertutup.

7. Pemompaan bilga

7.1 Pemompaan tak disengaja

Sistem bilga harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat mencegah pemompaan tak sengaja dari cairan yang mudah terbakar dan beracun melalui pompa dan perpipaan di ruang permesinan.

7.2 Katup isolasi

Jalur bilga palka kargo harus dilengkapi dengan katup isolasi diluar ruang permesinan atau pada titik keluar dari ruang permesinan dekat dengan sekat.

Katup harus mampu diamankan dalam posisi tertutup (misalnya dengan perangkat keamanan penguncian).

Katup yang dikontrol jarak jauh harus mampu diamankan dalam posisi tertutup. Untuk sistem ICMS 36 disediakan, sistem ini harus berisi permintaan keamanan yang sesuai pada layar.

7.3 Tanda peringatan

Tanda peringatan harus ditampilkan pada katup isolasi atau kontrol posisi, misalnya "Katup ini harus terus diamankan dalam posisi tertutup selama pengangkutan barang berbahaya pada ruang kargo nomor dan hanya dapat dioperasikan dengan izin dari Master".

7.4 Sistem bilga tambahan

7.4.1 Sistem bilga tambahan tetap dengan kapasitas minimal $10 \text{ m}^3/\text{jam}$ per kargo harus disediakan. Jika lebih dari dua ruang kargo terhubung ke sistem umum, kapasitas tidak perlu melebihi $25 \text{ m}^3/\text{jam}$.

7.4.2 Sistem bilga tambahan harus memungkinkan setiap cairan berbahaya yang bocor untuk dihilangkan dari semua sumur bilga dalam ruang kargo.

7.4.3 Pompa dan jaringan pipa tidak boleh dipasang di ruang permesinan.

7.4.4 Ruang yang berisi pompa bilga tambahan harus dilengkapi dengan ventilasi mekanik independen yang memberikan sekurang-kurangnya enam perubahan udara per jam. Jika ruang ini memiliki akses dari ruang tertutup lain, pintu harus dari jenis tertutup sendiri. Untuk desain peralatan listrik, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\), Sec. 17, E.2](#)

7.4.5 Bab 11, N. berlaku secara analog.

7.4.6 Ejektor penggerak air harus disediakan pada sisi hisap dengan alat perlindungan aliran balik.

7.4.7 Jika drainase bilga dari ruang kargo diatur dengan drainase gravitasi, drainase harus baik diarahkan langsung ke laut ataupun ke tangki pembuangan tertutup yang terletak di luar ruang permesinan.

Drainase dari sebuah ruang kargo ke sumur bilga dalam ruang yang lebih rendah hanya diizinkan jika ruang tersebut memenuhi persyaratan yang sama seperti ruang kargo di atas.

7.5 Tangki pengumpul

Ketika tangki disediakan untuk mengumpulkan dan menyimpan tumpahan barang berbahaya, pipa ventilasi mereka harus mengarah ke posisi yang aman di geladak terbuka.

8. Pakaian pelindung dan alat bantu pernapasan

8.1 Pakaian pelindung penuh

Empat set pakaian pelindung yang sesuai dengan sifat dari kargo harus disediakan.

8.2 Alat bantu pernapasan mandiri

Dua set tambahan alat bantu pernafasan mandiri dengan udara silinder cadangan untuk sekurang-kurangnya dua kali pengisian ulang untuk setiap set harus disediakan.

9. Alat pemadam kebakaran portable

Pemadam kebakaran bubuk kering portabel tambahan yang berisi total sekurang-kurangnya 12 kg bubuk kering atau setara harus disediakan.

10. Batasan ruang mesin

10.1 Sekat

Sekat antara ruang kargo dan ruang permesinan kategori A harus dilengkapi dengan isolasi kebakaran standar A-60. Jika tidak, kargo harus disimpan minimal 3 m dari sekat ruang permesinan.

10.2 Geladak

Geladak antara ruang kargo dan ruang permesinan kategori A harus terisolasi untuk standar A-60.

Dalam hal sebuah ruang kargo terletak sebagian di atas ruang permesinan kategori A dan geladak atas ruang permesinan tidak terisolasi untuk standar A-60, barang dilarang di seluruh ruang kargo tersebut. Jika geladak yang tak terisolasi di atas ruang permesinan adalah geladak cuaca, barang dilarang hanya untuk bagian dari geladak yang terletak di atas ruang permesinan.

10.3 Isolasi untuk barang klas 1

Untuk barang **klas 1**, kecuali **klas 1.4S**, keduanya, dipersyaratkan isolasi kebakaran standar A-60 untuk sekat antara ruang kargo dan ruang permesinan kategori A dan penyimpanan minimal 3 m dari sekat ini. Penyimpanan di atas ruang permesinan kategori A tidak diizinkan dalam hal apapun.

11. Pemisahan ruang kargo ro-ro

11.1 Pemisahan, yang sesuai untuk meminimalkan lewatnya uap dan cairan berbahaya, harus disediakan antara ruang ro-ro kargo tertutup dan ruang ro-ro terbuka yang berdekatan. Jika pemisahan tersebut tidak tersedia, ruang kargo ro-ro harus dipertimbangkan menjadi ruang ro-ro kargo tertutup pada seluruh panjangnya dan persyaratan-persyaratan khusus untuk ruang-ruang ro-ro tertutup berlaku.

11.2 Pemisahan harus disediakan antara ruang kargo ro-ro tertutup dan geladak cuaca yang berdekatan, yang sesuai untuk meminimalkan lewatnya uap dan cairan berbahaya. Jika pemisahan tersebut tidak tersedia, pengaturan dari ruang kargo ro-ro tertutup harus sesuai dengan yang dibutuhkan untuk barang berbahaya yang berada dibawah di geladak cuaca yang berdekatan.

Tabel 12.10a Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan di ruang kargo konvensional

Kelas	Persyaratan									
	Sistem pemadam kebakaran gas tetap	Suplai air	Pendingin air	Sumber pengapian	Sistem deteksi	Ventilasi	pemompaan Bilga	Perlindungan personil	Pemadam kebakaran portabel	Batas ruang permesinan
1.1 Sampai 1.6	P.2.1	P.3.1 P.3.2	P.3.3	P.4 IIA T5, IP65	P.5.1 P.5.2					P.10.3
1.4 S	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1 P.5.2					
2.1 Hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIC T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8		P.10.1 P.10.2
2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8		P.10.1 P.10.2
2.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8		P.10.1 P.10.2
2.3 mudah terbakar ¹										
2.3 tak-mudah terbakar ¹										
3 FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ²		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ²		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.3 Cairan ¹	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.3 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
5.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ²		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2 ⁴
5.2 ¹										
6.1 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
6.1 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
6.1 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1		P.7	P.8		
6.1 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ²		P.8		
8 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
8 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7 ³	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
8 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1		P.7 ³	P.8		
8 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8		
9 Barang yang menghasilkan uap mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.6.1 P.6.2		P.8		
9 barang lainnya yang menghasilkan uap yang mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2				P.6.1 P.6.2 ²		P.8		

¹ Dibawah ketentuan Kode IMDG, *as amended*, as amended klas 2.3, klas 4.3 cairan dengan titik nyala kurang dari 23 °C seperti yang tercantum dalam Kode IMDG kelas 5.2 di bawah geladak dilarang.

² Ketika "ruang berventilasi mekanis" diwajibkan oleh Kode IMDG, sebagaimana telah diubah.

³ Hanya berlaku untuk barang-barang berbahaya yang memiliki klas risiko 6.1.

⁴ Ketika "terlindungi dari sumber panas" dipersyaratkan oleh Kode IMDG, *as amended*.

Table 12.10b Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan di kargo kontainer

Kelas	Persyaratan								
	Sistem pemadam kebakaran gas tetap	Suplai air	Pendingin air	Sumber pengapian	Sistem deteksi	Ventilasi	Pemompaan brigga	Perlindungan personil	Batas ruang permesinan
1.1 Sampai 1.6	P.2.1	P.3.1 P.3.2	P.3.3	P.4 IIA T5, IP65	P.5.1 P.5.2				P.10.3
1.4 S	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1 P.5.2				
2.1 Hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIC T4	P.5.1	P.6.1 P.6.3		P.8	P.10.2
2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.3		P.8	P.10.2
2.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8	P.10.2
2.3 mudah terbakar ¹									
2.3 tak-mudah terbakar ¹									
3 FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.3	P.7	P.8	P.10.2
3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8	P.10.2
4.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3 ^{2,3}		P.8	P.10.2
4.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3 ^{2,3}		P.8	P.10.2
4.3 Cairan ¹	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3		P.8	P.10.2
4.3 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3 ³		P.8	P.10.2
5.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3 ^{2,3}		P.8	P.10.2 ⁵
5.2									
6.1 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.3	P.7	P.8	P.10.2
6.1 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3	P.7	P.8	P.10.2
6.1 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1		P.7	P.8	
6.1 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3 ²		P.8	
8 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.3	P.7	P.8	P.10.2
8 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.3	P.7 ⁴	P.8	P.10.2
8 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1		P.7 ⁴	P.8	
8 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8	
9 Barang yang menghasilkan uap mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.6.1 P.6.3		P.8	
9 barang lainnya yang menghasilkan uap yang mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2				P.6.1 P.6.3 ²		P.8	

¹ Berdasarkan ketentuan Kode IMDG, *as amended*, penyimpanan kelas 2.3, kelas 4.3 cairan dengan titik nyala kurang dari 23 °C seperti yang tercantum dalam Kode IMDG kelas 5.2 di bawah geladak dilarang

² Ketika "ruang berventilasi mekanis" diwajibkan oleh Kode IMDG, sebagaimana telah diubah.

³ Untuk Benda padat, tidak berlaku untuk kargo kontainer tertutup.

⁴ Hanya berlaku untuk barang-barang berbahaya yang memiliki kelas risiko 6.1.

⁵ Ketika "terlindungi dari sumber panas" diperlukan oleh Kode IMDG, *as amended*.

Table 12.10c Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan di ruang ro-ro tertutup

Kelas	Persyaratan										
	Sistem pemadam kebakaran	Suplai air	Pendingin air	Sumber pengapian	Sistem deteksi	Ventilasi	Pemompaan bijga	Perlindungan personil	Pemadam kebakaran portabel	Batas ruang mesin	Ruang permesinan ro-
1.1 Sampai 1.6	P.2.1	P.3.1 P.3.2	P.3.3	P.4 IIA T5, IP65	P.5.1 P.5.2					P.10.3	P.11
1.4 S	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1 P.5.2						P.11
2.1 Hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIC T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8		P.10.1 P.10.2	P.11
2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8		P.10.1 P.10.2	P.11
2.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8		P.10.1 P.10.2	P.11
2.3 mudah terbakar ¹											
2.3 tak-mudah terbakar ¹											
3 FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
4.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
4.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
4.3 Cairan ¹	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
4.3 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
5.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2 4	P.11
5.2											
6.1 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
6.1 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
6.1 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1		P.7	P.8			P.11
6.1 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 2		P.8			P.11
8 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
8 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2	P.7 ³	P.8	P.9	P.10.1 P.10.2	P.11
8 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1		P.7 ³	P.8			P.11
8 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1			P.8			P.11

Table 12.10c Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan di ruang ro-ro tertutup (lanjutan)

Kelas	Persyaratan										
	Sistem pemadam kebakaran	Suplai air	Pendingin air	Sumber pengapian	Sistem deteksi	Ventilasi	Pemompaan bilga	Perlindungan personil	Pemadam kebakaran portabel	Batas ruang mesin	Ruang Permesinan ro-
9 Barang yang menghasilkan uap mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.6.1 P.6.2		P.8			P.11
9 Barang lainnya yang menghasilkan uap yang mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2				P.6.1 P.6.2 2		P.8			P.11

¹ Berdasarkan ketentuan Kode IMDG, *as amended*, penyimpanan kelas 2.3, kelas 4.3 cairan yang memiliki titik nyala kurang dari 23 °C seperti yang tercantum dalam Kode IMDG kelas 5.2 di bawah geladak dilarang

² Ketika "ruang berventilasi mekanis" diwajibkan oleh Kode IMDG, sebagaimana telah diubah.

³ Hanya berlaku untuk barang-barang berbahaya yang memiliki kelas risiko 6.1.

⁴ Ketika "terlindungi dari sumber panas" diperlukan oleh Kode IMDG, *as amended*.

⁵ Hanya berlaku untuk kapal dengan peletakan lunas pada atau setelah 1 Juli 1998.

Tabel 12.10d Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan di ruang ro-ro terbuka

Kelas	Persyaratan						
	Sistem pemadam kebakaran air bertekanan tetap	Suplai air	Pendingin air	Sumber pengapian	Sistem deteksi	Perlindungan personil portabel	Batas ruang permesinan
1.1 Sampai 1.6	P.2.2	P.3.1 P.3.2	P.3.3	P.4 IIA T5, IP65	P.5.2		P.10.3
1.4 S	P.2.2	P.3.1 P.3.2			P.5.2	P.8	
2.1 Hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIC T4		P.8	P.10.2
2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	P.10.2
2.2	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.10.2
2.3 mudah terbakar ¹	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	
2.3 tak-mudah terbakar ¹	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	
3 FP < 23 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	P.9 P.10.2
3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2
4.1	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2
4.2	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2
4.3 Cairan ¹	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	P.9 P.10.2
4.3 Benda padat	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2
5.1	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2 5
5.2	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	
6.1 Cairan FP < 23 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	P.9 P.10.2
6.1 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2
6.1 Cairan FP > 60 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	
6.1 Benda padat	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	
8 Cairan FP < 23 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	P.9 P.10.2
8 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	P.9 P.10.2
8 Cairan FP > 60 °C	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	
8 Benda padat	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	
9 Barang yang menghasilkan uap mudah terbakar	P.2.2	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.8	
9 Barang lainnya yang menghasilkan uap yang mudah terbakar	P.2.2	P.3.1 P.3.2				P.8	

¹ Ketika "jauh dari sumber panas" diperlukan oleh Kode IMDG, sebagaimana *as amended*.

² Berlaku untuk barang dengan titik nyala kurang dari 23 °C seperti yang tercantum dalam Kode IMDG, *as amended*.

Table 12.10e Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan di kapal tongkang

Kelas	Persyaratan					
	Sistem pemadam kebakaran gas tetap	Suplai air	Pendingin air	Sumber pengapian ²	Sistem deteksi ²	Ventilasi ²
1.1 Sampai 1.6	P.2.1	P.3.1 P.3.2	P.3.3	P.4 IIA T5, IP65	P.5.1	
1.4 S	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	
2.1 Hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIC T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2
2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2
2.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	
2.3 mudah terbakar ¹						
2.3 tak-mudah terbakar ¹						
3 FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2
3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	
4.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ³
4.2	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ³
4.3 Cairan ¹	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2
4.3 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2
5.1	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ³
5.2						
6.1 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2
6.1 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2
6.1 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	
6.1 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2 ³
8 Cairan FP < 23 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4	P.5.1	P.6.1 P.6.2
8 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	P.6.1 P.6.2
8 Cairan FP > 60 °C	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	
8 Benda padat	P.2.1	P.3.1 P.3.2			P.5.1	
9 Barang yang menghasilkan uap mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2		P.4 IIB T4		P.6.1 P.6.2
9 Barang lainnya yang menghasilkan uap yang mudah terbakar	P.2.1	P.3.1 P.3.2				P.6.1 P.6.2 ³

¹ Berdasarkan ketentuan Kode IMDG, *as amended*, penyimpanan cairan kelas 2.3, kelas 4.3 dengan titik nyala kurang dari 23 °C tercantum dalam Kode IMDG kelas 5.2 di bawah geladak dilarang

² Untuk tongkang dapat mengandung uap mudah terbakar atau sebagai alternatif jika tongkang mampu membuang uap mudah terbakar dengan aman ke luar kompartemen tongkang muatan dengan menggunakan saluran ventilasi yang terhubung ke tongkang, persyaratan ini dapat dikurangi atau dihapuskan untuk sesuai ketentuan Administrasi.

³ Ketika "ruang berventilasi mekanis" diwajibkan oleh Kode IMDG, *as amended*.

Table 12.10f Persyaratan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk kemasan pada geladak cuaca

Kelas	Sistem pemadam kebakaran gas tetap	Persyaratan				
		Suplai air	Sistem deteksi	Perlindungan personil	Pemadam kebakaran portabel	Batas ruang permesinan
1.1 Sampai 1.6	P.2.3	P.3.1 P.3.2	P.5.2			P.10.3
1.4 S	P.2.3	P.3.1 P.3.2	P.5.2			
2.1 Hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		P.10.1 P.10.2
2.1 selain hidrogen dan campuran hidrogen	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		P.10.1 P.10.2
2.2	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		P.10.1 P.10.2
2.3 mudah terbakar ¹	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		P.10.1 P.10.2
2.3 tak-mudah terbakar ¹	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		P.10.1 P.10.2
3 FP < 23 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
3 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.1	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.2	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.3 Cairan ¹	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
4.3 Benda padat	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
5.1	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2 ¹
5.2	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		P.10.1 P.10.2
6.1 Cairan FP < 23 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
6.1 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	
6.1 Cairan FP > 60 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		
6.1 Benda padat	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		
8 Cairan FP < 23 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
8 Cairan 23 °C ≤ FP ≤ 60 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8	P.9	P.10.1 P.10.2
8 Cairan FP > 60 °C	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		
8 Benda padat	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		
9 Barang yang menghasilkan uap mudah terbakar	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		
9 Barang lainnya yang menghasilkan uap yang mudah terbakar	P.2.3	P.3.1 P.3.2		P.8		

¹ Ketika "terlindungi dari sumber panas" diperlukan oleh Kode IMDG, as amended.

Q. Pengangkutan Kargo Curah Padat

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

1.1.1 Persyaratan berikut berlaku juga untuk kapal yang mengangkut kargo curah padat selain gandum.

1.1.2 Persyaratan tergantung pada klas barang berbahaya dan sifat khusus dari kargo yang harus diangkut. Kargo dari Grup B dan ketentuan yang berlaku sesuai [Tabel 12.11](#). Untuk kargo Grup A dan C hanya persyaratan [1.5](#) yang harus diperhatikan.

1.1.3 Persyaratan SOLAS, Bab VI, Bagian A dan B, SOLAS, Bab VII, Bagian A-1 dan Kode IMSBC harus diperhatikan.

Catatan:

Untuk pengangkutan gandum, persyaratan Kode Internasional IMO untuk Pengangkutan Aman dari Gandum dalam Bentuk Curah harus diprhatikan.

1.2 Referensi ke peraturan lain

1.2.1 SOLAS, Chapter II-2, Regulation 19, "Carriage of dangerous goods"

1.2.2 SOLAS, Chapter VI, Part A, "General provisions" and Part B, "Special provisions of solid bulk cargoes"

1.2.3 SOLAS, Chapter VII, Part A-1, "Carriage of dangerous goods in solid form in bulk"

1.2.4 ICLL, Annex B, Annex I, Chapter II, Regulation 19, "Ventilators", (3)

1.2.5 IMO International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code

1.2.6 IMO International Maritime Solid Bulk Cargoes (IMSBC) Code

1.2.7 Medical First Aid Guide for Use in Accidents Involving Dangerous Goods (MFAG)

1.2.8 IMO MSC.1/Circ.1395/Rev.1, "List of solid bulk cargoes for which a fixed gas fire-extinguishing system may be exempted or for which a fixed gas fire-extinguishing system is ineffective"

1.2.9 IEC 60079, "Electrical apparatus for explosive atmospheres"

1.3 Sertifikasi

Bila diminta, Sertifikat-sertifikat berikut dapat dikeluarkan setelah survei sukses:

- "Dokumen Kepatuhan untuk Pengangkutan Barang Berbahaya" dikeluarkan sesuai dengan SOLAS, Chapter II-2, Regulation 19.4. Kapal ini akan diberikan Notasi DG.
- "Dokumen Kepatuhan untuk Pengangkutan Kargo Curah Padat" dikeluarkan sesuai dengan persyaratan dari Kode IMSBC. Kapal ini akan diberikan Notasi DBC.

Catatan:

Untuk persyaratan dan sertifikasi barang berbahaya dalam bentuk kemasan, lihat P.

1.4 Identifikasi dan klasifikasi

1.4.1 Identifikasi kargo curah padat

1.4.1.1 Nama Pengiriman Kargo Curah

The Bulk Cargo Shipping Name (BCSN) mengidentifikasi kargo curah padat. BCSN harus dilengkapi dengan angka United Nations (UN) ketika kargo adalah barang berbahaya sesuai dengan Kode IMDG.

1.4.1.2 Kelompok Kargo

Kargo curah padat terbagi menjadi tiga kelompok berikut:

- Grup A terdiri dari kargo yang mungkin mencair jika dikirimkan pada kadar air yang lebih dari batas kelembaban pengangkutannya.
- Grup B terdiri dari kargo dengan bahaya secara kimiawi yang dapat menimbulkan situasi yang berbahaya di sebuah kapal. Untuk klasifikasi kargo ini, lihat [1.5.2](#).
- Grup C terdiri dari kargo yang tidak menyebabkan pencairan (Grup A) atau memiliki bahaya kimia (Grup B).

1.4.2 Pengkelasan barang berbahaya padat dalam Bentuk Curah

Kelas 4.1: Benda padat yang mudah terbakar

Benda padat mudah terbakar dan padatan yang dapat menyebabkan kebakaran melalui gesekan.

Kelas 4.2: Zat yang dapat menyebabkan pembakaran spontan

Material, selain bahan piroforik, yang bila melakukan kontak dengan udara tanpa suplai energi, dapat menyebabkan *self-heating*.

Kelas 4.3: Zat yang bila, melakukan kontak dengan air, mengeluarkan gas yang mudah terbakar

Benda padat yang, akibat interaksi dengan air, dapat secara spontan mudah terbakar atau memberikan gas yang mudah terbakar dalam jumlah yang berbahaya.

Kelas 5.1: Zat pengoksidasi

Material yang, sementara kandungan dalam diri mereka sendiri belum tentu mudah terbakar, dapat, umumnya dengan menghasilkan oksigen, menyebabkan, atau berkontribusi terhadap, pembakaran bahan lainnya.

Kelas 7: Bahan radioaktif

Bahan yang mengandung radionuklida di mana baik konsentrasi kegiatan maupun aktivitas total dalam konsinyasi melebihi nilai yang ditentukan dalam Kode IMDG 2.7.7.2.1 sampai 2.7.7.2.6.

Kelas 9: Zat berbahaya lainnya

Material yang mempunyai bahaya yang tidak tercakup oleh kelas lain, selama transportasi.

Kelas MHB: Bahan berbahaya hanya dalam Bentuk Curah

Bahan yang mungkin memiliki bahaya kimia ketika diangkut dalam Bentuk Curah selain bahan yang dikelaskan sebagai barang berbahaya dalam Kode IMDG.

1.5 Dokumentasi

Semua kapal yang dimaksudkan untuk pengangkutan kargo curah padat harus dilengkapi dengan dokumentasi berikut:

- 1.5.1 Kode IMSBC, *as amended*.
- 1.5.2 MFAG. Harus dilengkapi hanya untuk kargo dari Grup B saja.
- 1.5.3 Manual pemuatan yang disetujui (lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\) Sec. 5, A.4.](#)).
- 1.5.4 Informasi Stabilitas yang disetujui (lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\) Sec. 28, D.](#)).
- 1.5.5 Brosur kargo curah berdasarkan SOLAS, Bab VI, Peraturan 7.2.

2. Sistem pemadam kebakaran

2.1 Sistem pemadam kebakaran gas tetap

Semua ruang kargo kapal berikut harus dilengkapi dengan sistem pemadam kebakaran CO₂ tetap sesuai dengan masing-masing ketentuan G. dan H.:

- Kapal yang dimaksudkan untuk pengangkutan barang berbahaya dalam bentuk padat sesuai dengan Chapter II-2, Regulation 19
- Kapal 2000 GT keatas yang dimaksudkan untuk pengangkutan kargo kelas MHB dan kargo dari Grup A dan C

Catatan:

Untuk kapal kurang dari 500 GT, persyaratan dapat ditiadakan dengan mematuhi penerimaan oleh Administrasi.

2.2 Sertifikat pembebasan

2.2.1 Kapal dapat dibebaskan dari persyaratan sistem pemadam kebakaran gas tetap jika dibangun dan semata-mata ditujukan untuk pengangkutan kargo sebagaimana ditentukan MSC.1/Circ.1395/Rev.1. Pembebasan tersebut dapat diberikan hanya jika kapal dilengkapi dengan tutup palka baja dan sarana yang efektif untuk menutup semua ventilator dan bukaan lainnya yang mengarah ke ruang kargo.

2.2.2 Untuk kargo menurut MSC.1/Circ.1395/Rev.1, Tabel 2 sistem pemadam kebakaran yang memberikan perlindungan yang setara harus dilengkapi.

Untuk sistem pemadam kebakaran yang memberikan perlindungan setara, merujuk pada [3.2](#).

3. Suplai air

3.1 Suplai langsung air

Suplai langsung air dari sistem pemadam kebakaran utama harus disediakan dengan pengaturan penyalaan jarak jauh untuk semua pompa pemadam kebakaran utama dari anjungan navigasi atau dengan memberikan tekanan permanen pada sistem pemadam kebakaran utama dan oleh *start-up* otomatis untuk pompa pemadam kebakaran utama.

3.2 Kuantitas air dan penataan hidran

Kapasitas pompa pemadam kebakaran utama harus cukup untuk mensuplai empat jet air secara bersamaan pada tekanan yang ditentukan (lihat [Tabel 12.3](#)).

Hidran harus diatur di geladak cuaca sehingga setiap bagian dari ruang-ruang kargo kosong dapat dicapai dengan empat jet air yang tidak berasal dari hidran yang sama. Dua jet harus digunakan masing-masing dengan menggunakan selang panjang tunggal, dua jet lainnya dapat disuplai oleh dua selang panjang yang dipasangkan masing-masing.

Untuk selang dan nosel tambahan lihat [E.2.5.7](#).

4. Sumber penyalakan

Tingkat perlindungan ledakan untuk kargo individu ditentukan dalam kolom "Sumber penyalakan" dari [Tabel 12.11](#). Jika perlindungan ledakan diperlukan, kondisi berikut harus dipenuhi.

4.1 Peralatan listrik

4.1.1 Semua peralatan listrik yang bersentuhan dengan atmosfer palka dan penting untuk operasi kapal harus tipe yang disetujui secara intrinsik aman atau sertifikasi tipe aman yang sesuai dengan tingkat perlindungan ledakan seperti yang ditunjukkan pada [Tabel 12.11](#).

4.1.2 Untuk desain peralatan listrik dan klasifikasi daerah berbahaya, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec. 17](#).

4.1.3 Peralatan listrik yang tidak esensial untuk operasi kapal tidak perlu dari tipe yang bersertifikat aman asalkan bisa secara elektrik terputus dari sumber listrik, dengan tepat menggunakan sarana selain sekring (misalnya dengan penghapusan sambungan), pada titik eksternal terhadap ruang tersebut dan harus diamankan terhadap rekoneksi yang tidak disengaja.

4.2 Keamanan kipas

4.2.1 Untuk kipas yang esensial untuk operasi kapal, desain diatur pada [Bab 15, B.5.3.2](#) dan [B.5.3.3](#). Jika tidak, kipas harus mampu terputus dari sumber listrik, lihat [4.1.3](#).

4.2.2 Bukaan kipas di geladak harus dilengkapi dengan pengaman kawat jala tetap dengan ukuran jala tidak melebihi 13 mm.

4.2.3 Outlet-outlet ventilasi harus ditempatkan pada jarak yang aman dari kemungkinan sumber api. Radius *spherical* 3 m di sekitar outlet udara dipersyaratkan, dimana sumber pengapian dilarang.

4.3 Sumber-sumber lain dari pengapian

Sumber lain dari pengapian dapat tidak dapat dipasang di daerah berbahaya, misalnya jalur-jalur uap atau minyak termal.

5. Peralatan pengukuran

Peralatan portabel yang diperlukan untuk pengangkutan kargo individu harus tersedia di kapal sebelum pemuatan.

5.1 Pengukuran temperatur

5.1.1 Temperatur permukaan

Sarana harus disediakan untuk mengukur temperatur permukaan kargo. Dalam kasus sensor temperatur portabel, pengaturan pengukuran harus memungkinkan tanpa memasuki palka.

5.1.2 Temperatur cargo

Sarana harus disediakan untuk mengukur temperatur di dalam kargo. Untuk sensor temperatur portabel, pengaturan harus memungkinkan pengukuran tanpa memasuki palka.

5.2 Deteksi gas

Instrumen yang sesuai untuk mengukur konsentrasi gas berikut harus disediakan:

- 5.2.1 Amonia
- 5.2.2 Karbon monoksida
- 5.2.3 Hidrogen
- 5.2.4 Metana
- 5.2.5 Oksigen (volume 0 - 21%)
- 5.2.6 Fosfin dan arsine
- 5.2.7 Gas beracun yang dapat dilepaskan dari kargo tertentu
- 5.2.8 Hidrogen sianida
- 5.2.9 Acetylene
- 5.2.10 Oksigen meter untuk kru yang memasuki kargo dan ruang tertutup yang bergeladakatan
- 5.2.11 Karbon monoksida meter untuk kru yang memasuki kargo dan ruang tertutup yang berdekatan

5.3 Keasaman air bilga

Sarana harus disediakan untuk menguji keasaman air di sumur bilga.

6. Ventilasi

6.1 Saluran (ducting)

Ducting harus diatur sedemikian rupa sehingga ruang di atas kargo dapat diventilasi dan bahwa pertukaran udara dari luar ke dalam seluruh ruang kargo tersedia. Posisi lubang udara dan outlet udara harus sedemikian rupa untuk mencegah hubungan arus pendek dari udara. Interkoneksi atmosfer palka dengan ruang lain tidak diizinkan.

Untuk persyaratan konstruksi dan desain, lihat [Guidance for Ventilation System on Board Seagoing Ships \(Pt.1, Vol.A\)](#).

6.2 Ventilasi alami

Sebuah sistem ventilasi yang tidak menggunakan kipas mekanik mencukupi.

6.3 Ventilasi mekanik

Sistem ventilasi yang menggunakan kipas listrik dengan kapasitas yang tidak ditentukan harus disediakan

6.4 Ventilasi mekanik (enam perubahan udara/jam)

Sistem ventilasi yang menggunakan kipas listrik dengan kapasitas sekurang-kurangnya enam perubahan udara per jam pada ruang kargo kosong harus disediakan.

6.5 Ventilasi terus menerus (enam perubahan udara/jam)

Sistem ventilasi yang menggunakan sekurang-kurangnya dua kipas listrik dengan kapasitas masing-masing sekurang-kurangnya tiga perubahan udara per jam pada ruang kargo kosong harus tersedia.

6.6 Kipas portabel

Jika kipas ventilasi diperlukan, sebaiknya menggunakan kipas portabel dibandingkan yang tetap. Jika demikian, pengaturan yang sesuai untuk mengamankan kipas harus disediakan. Sambungan listrik harus dipasang tetap dan dengan tepat diletakkan selama instalasi. Rincian harus diajukan untuk disetujui.

6.7 Ketentuan tambahan pada ventilasi

6.7.1 Penutup penangkal percikan api

Semua lubang ventilasi di geladak harus dilengkapi dengan penutup penangkal percikan api yang sesuai.

6.7.2 Bukaan untuk ventilasi kontinyu

Lubang ventilasi harus memenuhi persyaratan Konvensi Garis Muat, untuk bukaan yang tidak dilengkapi dengan sarana penutupan. Menurut ICLL, Peraturan 19 (3) bukaan harus diatur sekurang-kurangnya 4,50 m di atas geladak di posisi 1 dan sekurang-kurangnya 2,30 m di atas geladak di posisi 2 (lihat juga [Guidance for Ventilation System on Board Seagoing Ships \(Pt.1, Vol.A\)](#)).

6.7.3 Pembebasan/pembuangan gas

Outlet ventilasi harus diatur sekurang-kurangnya 10 m dari ruang tempat tinggal di atau di bawah geladak.

7. Pemompaan bilga

7.1 Pemompaan tak disengaja

Sistem bilga harus dirancang sehingga mencegah pemompaan tak disengaja dari cairan yang mudah terbakar dan beracun melalui pompa dan jaringan pipa di ruang permesinan.

7.2 Katup isolasi

Jalur bilga kargo harus dilengkapi dengan katup isolasi di luar ruang permesinan atau pada titik keluar dari ruang permesinan yang terletak dekat dengan sekat.

Katup harus mampu dijamin dalam posisi tertutup (misalnya dengan perangkat keamanan penguncian).

Katup yang dikendalikan jarak jauh harus mampu dijamin dalam posisi tertutup. Dalam hal sistem ICMS 37 tersedia, sistem ini harus berisi informasi keamanan yang sesuai pada layar.

7.3 Tanda peringatan

Tanda peringatan harus ditampilkan pada posisi katup atau kontrol isolasi, misalnya "Katup ini harus dijaga aman dalam posisi tertutup selama pengangkutan barang berbahaya di kargo nomor ... dan hanya dapat dioperasikan dengan izin dari master saja."

8. Perlindungan personil

8.1 Pakaian pelindung penuh

8.1.1 Dua set pakaian pelindung penuh sesuai dengan sifat sesuai dengan kargo harus disediakan.

8.1.2 Empat set pakaian pelindung penuh sesuai dengan sifat sesuai dengan kargo harus disediakan.

8.2 Alat bantu pernapasan

8.2.1 Dua set alat bantu bernapas mandiri dengan silinder udara cadangan untuk sekurang-kurangnya dua pengisian ulang untuk setiap set harus disediakan.

8.2.2 Dua set alat bantu bernapas mandiri tambahan dengan silinder udara cadangan untuk sekurang-kurangnya dua pengisian ulang untuk setiap set harus disediakan.

9. Tanda-tanda dilarang merokok

Tanda-tanda “Dilarang Merokok” harus dipasang di sekitar ruang kargo dan di daerah yang berdekatan dengan ruang kargo.

10. Batasan ruang mesin

10.1 Insulasi A-60

Sekat antara ruang kargo dan ruang permesinan kategori A harus dilengkapi dengan insulasi kebakaran untuk standar A-60. Jika tidak, kargo harus disimpan minimal 3 m dari sekat ruang permesinan.

Catatan:

Jarak 3 m dapat dilengkapi dengan grain bulk-head, tas besar penuh dengan gas lembam atau dengan sarana pemisahan yang lain.

Antara geladak kargo dan ruang permesinan kategori A harus terinsulasi dengan standar A-60.

10.2 Kekedepan gas

Semua batas antara ruang kargo dan ruang permesinan harus kedap gas. Penetrasi kabel tidak diizinkan.

Sebelum pemuatan, sekat untuk ruang mesin harus diperiksa dan disetujui oleh Otoritas yang berkompeten sebagai kedap gas.

11. Batasan lainnya

Semua batasan ruang kargo harus tahan terhadap api dan aliran air (sekurang-kurangnya standar A-0).

12. Titik pengambilan sampel

Dua titik pengambilan sampel per ruang kargo harus diatur di dalam penutup palka atau selubung palka, asalkan dengan stub ulir dan tutup penyegel sesuai dengan [Gambar 12.2](#). Titik pengambilan sampel harus diletakkan setinggi mungkin, misalnya di bagian atas palka.

13. Kedap cuaca

Penutup palka, penutupan untuk semua ventilator dan penutupan lainnya untuk bukaan yang mengarah ke ruang kargo harus diperiksa dan diuji (pengujian selang atau setara) untuk memastikan kekedapan cuaca.

14. Tangki bahan bakar

14.1 Kekedapan

Sebelum pemuatan, tangki bahan bakar yang terletak di bawah ruang kargo harus diuji tekan untuk memastikan bahwa tidak ada kebocoran lubang pembuangan dan sistem perpipaan yang mengarah ke tangki.

14.2 Sumber panas

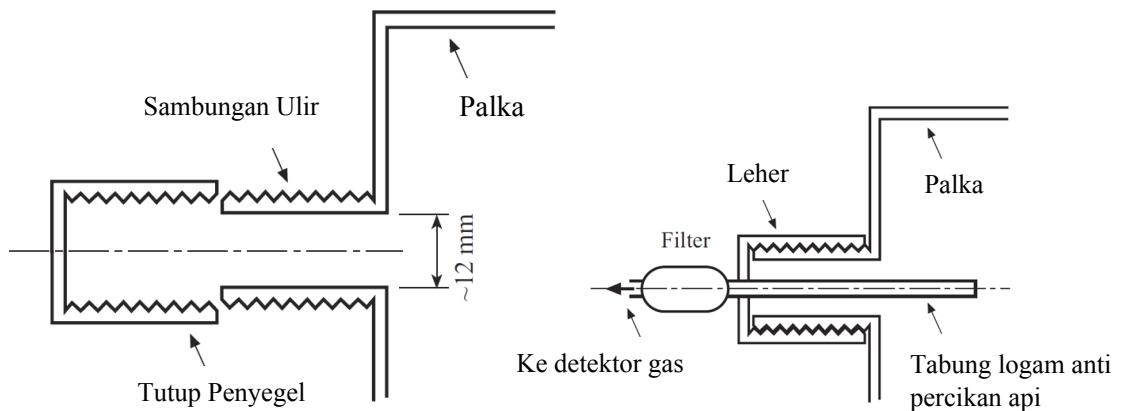
14.2.1 Penyimpanan yang berdekatan dengan sumber panas, termasuk tangki bahan bakar yang mungkin memerlukan pemanasan tidak diizinkan.

14.2.2 Penyimpanan yang berdekatan dengan sumber panas dan tangki bahan bakar dipanaskan lebih dari 55 °C tidak diizinkan.

Persyaratan ini dianggap terpenuhi jika temperatur bahan bakar minyak dapat dikendalikan kurang dari 55 °C. Temperatur ini tidak boleh melebihi untuk periode lebih dari 12 jam dalam setiap jangka waktu 24 jam dan temperatur maksimum yang dicapai tidak melebihi 65 °C.

14.2.3 Penyimpanan yang berdekatan dengan sumber panas dan tangki bahan bakar yang dipanaskan sampai lebih dari 50 °C tidak diizinkan.

Sarana harus disediakan untuk memantau dan mengontrol temperatur sehingga tidak melebihi 50 °C (lihat juga Bab 10, B.5.1 dan B.5.5).



Gambar 12.2 Titik pengambilan sampel gas

Tabel 12.11 Persyaratan pengangkutan barang padat berbahaya dalam bentuk curah

Bulk Cargo Shipping Name	Kelas	Persyaratan															
		Sistem pemadam kebakaran	Suplai air	Sumber api	Pengukuran temperatur	Deteksi gas	Keasaman air bilga	Ventilasi	Ketentuan tambahan	Pemompaan bilga	Perlindungan personil	Tanda-tanda dilarang merokok	Batas-batas ruang permesinan	Batas-batas lainnya	Titik pengambilan sampel gas	Kedekapan Cuaca	Tangki bahan bakar
ALUMINIUM FERROSILICON POWDER UN 1395	4.3	Q.2.2.1		Q.4 IIC T2		Q.5.2.3 Q.5.2.6		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10				
ALUMINIA HYDRATE	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.2 Q.8.2.1						
ALUMINIUM NITRATE UN 1438	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2						
ALUMINIUM SILICON POWDER, UNCOATED UN 1398	4.3	Q.2.2.1		Q.4 IIC T2		Q.5.2.3 Q.5.2.6		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10				
ALUMINIUM SMELTING BY- PRODUCT or ALUMINIUM REMELTING BY-PRODUCT UN 3170	4.3	Q.2.2.1		Q.4 IIC T2		Q.5.2.1 Q.5.2.3 Q.5.2.9		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3	Q.7.1 Q.7.2 Q.7.3	Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1 Q.10.2				
ALUMINIUM SMELTING / REMELTING BY- PRODUCT, PROCESSED	MHB	Q.2.1		Q.4 IIC T1		Q.5.2.1 Q.5.2.3 Q.5.2.9		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3	Q.7.1 Q.7.2 Q.7.3	Q.8.1.1	Q.9	Q.10.2				
AMMONIUM NITRATE UN 1942	5.1	Q.2.2	Q.3	Q.4 T3	Q.5.1.2			Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1		Q.13	Q.14.1 Q.14.2.1	
AMMONIUM NITRATE BASED FERTILIZER UN 2067	5.1	Q.2.2	Q.3	Q.4 T3	Q.5.1.2			Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1		Q.13	Q.14.1 Q.14.2.3	
AMMONIUM NITRATE BASED FERTILIZER UN 2071	9	Q.2.2	Q.3	Q.4 T3	Q.5.1.2			Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1		Q.13	Q.14.2.3	
BARIUM NITRATE UN 1446	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.1 Q.8.2.2						
BROWN COAL BRIQUETTES	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIA T4, IP55	Q.5.1.2	Q.5.2.2 Q.5.2.4,.5	Q.5.3				Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9		Q.11	Q.12	Q.13	Q.14.2.2
CALCIUM NITRATE UN 1454	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2						
CASTOR BEANS UN 2969	9	Q.2.1	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2						

Tabel 12.11 Persyaratan pengangkutan barang padat berbahaya dalam bentuk curah (lanjutan)

Bulk Cargo Shipping Name (BCSN)	Kelas	Persyaratan															
		Sistem pemadam kebakaran	suplai air	Sumber api	Pengukuran temperatur	Deteksi gas	Keasaman air bilaga	Ventilasi	Ketentuan tambahan	Pemompaan bilaga	Perlindungan personil	Tanda-tanda dilarang merokok	Batas-batas ruang permesinan	Batas-batas lainnya	Titik pengambilan sampel gas	Kekedapan Cuaca	Tangki bahan bakar
CHARCOAL	MHB	Q.2.1									Q.8.1.1						
CLINKER ASH, WET	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1						
COAL	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T4, IP55	Q.5.1.2	Q.5.2.2 Q.5.2.4, .5	Q.5.3	Q.6.1 Q.6.2			Q.8.2.1	Q.9		Q.11	Q.12	Q.13	Q.14.2.2
COAL TAR PITCH	MHB	Q.2.1									Q.8.1.1						
COPRA (dry) UN 1363	4.2	Q.2.1	Q.3		Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1				Q.14.2.1
DIRECT REDUCED IRON (A) Briquettes, hot-moulded	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T2	Q.5.1.2	Q.5.2.3 Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.1	Q.9		Q.11		Q.13	
DIRECT REDUCED IRON (B) Lumps, pellets, cold-moulded	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T2	Q.5.1.2	Q.5.2.3 Q.5.2.5					Q.8.1.1	Q.9		Q.11		Q.13	
DIRECT REDUCED IRON (C) (By-product fines) ¹	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T2	Q.5.1.2	Q.5.2.3 Q.5.2.5					Q.8.1.1	Q.9		Q.11		Q.13	
FERROPHOSPHORUS	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T1		Q.5.2.3 Q.5.2.6		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3		Q.8.2.1	Q.9					
FERROSILICON UN 1408	4.3	Q.2.2.1		Q.4 IIC T1		Q.5.2.3 Q.5.2.6		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3	Q.7	Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10				
FERROSILICON	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T1		Q.5.2.3 Q.5.2.6		Q.6.1 Q.6.5	Q.6.7.2 Q.6.7.3	Q.7	Q.8.2.2	Q.9	Q.10.2 Q.10.3				
FERROUS METAL BORINGS, SHAVINGS, TURNINGS or CUTTINGS UN 2793	4.2	Q.2.1	Q.3		Q.5.1.1			Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1				
FISHMEAL (FISHCRAP), STABILIZED UN 2216	9	Q.2.1	Q.3		Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2						
FLUORSPAR	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1						
GRANULATED NICKEL MATTE (LESS THAN 2 % MOISTURE CONTENT)	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1 Q.8.2.1						

Tabel 12.11 Persyaratan pengangutan barang padat berbahaya dalam bentuk curah (lanjutan)

Bulk Cargo Shipping Name (BCSN)	Kelas	Persyaratan														
		Sistem pemadam kebakaran	suplia air	Sumber api	Pengukuran temperatur	Deteksi gas	Keasaman air bila	Ventilasi	Ketentuan tambahan	Pemompaan bila	Perlindungan personil	Tanda-tanda dilarang merokok	Batas-batas ruang permesinan	Batas-batas lainnya	Titik pengambilan sampel gas	Kedekapan Cuaca
IRON OXIDE, SPENT or IRON SPONGE, SPENT UN 1469	4.2	Q.2.1	Q.3	Q.4 IIA T2, IP55		Q.5.2.5 Q.5.2.8		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
LEAD NITRATE UN 1469	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2					
LIME (UNSLAKED)	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1					
LINTED COTTON SEED	MHB	Q.2.1				Q.5.2.5					Q.8.2.1					Q.13
MAGNESIA (UNSLAKED)	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1					
MAGNESIUM NITRATE UN 1474	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2					
METAL SULPHIDE CONCENTRATES	MHB	Q.2.1				Q.5.2.5 Q.5.2.7					Q.8.1.1 Q.8.2.1					
PEAT MOSS	MHB	Q.2.2.1				Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.1					
PETROLEUM COKE (calcined or uncalcined)	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1 Q.8.2.1					
PITCH PRILL	MHB	Q.2.2.1						Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.1 Q.8.2.1					Q.14.2.1
POTASSIUM NITRATE UN 1486	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2					
PYRITES, CALCINED	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1					
RADIOACTIVE MATERIAL, LOW SPECIFIC ACTIVITY (LSA-I) UN 2912	7	Q.2.2.1									Q.8.1.1 Q.8.2.1					
RADIOACTIVE MATERIAL, SURFACE CONTAMINATED OBJECTS (SCO-I) UN	7	Q.2.2.1									Q.8.1.1 Q.8.2.1					
SAWDUST	MHB	Q.2.1						Q.6.1 Q.6.2								

Tabel 12.11 Persyaratan pengangutan barang padat berbahaya dalam bentuk curah (lanjutan)

Bulk Cargo Shipping Name (BCSN)	Kelas	Persyaratan														
		Sistem pemadam kebakaran	suplai air	Sumber api	Pengukuran temperatur	Deteksi gas	Keasaman air bila	Ventilasi	Ketentuan tambahan	Pemompaan bila	Perlindungan personil	Tanda-tanda dilarang merokok	Batas-batas ruang <small>aspiration</small>	Batas-batas lainnya	Titik pengambilan sampel gas	Kekedapan Cuaca
SEED CAKE, mengandung minyak sayur UN 1386 (a)	4.2	Q.2.1	Q.3		Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
SEED CAKE, mengandung minyak sayur UN 1386 (b) biji yang	4.2	Q.2.1	Q.3	Q.4 IIA T3	Q.5.1.2			Q.6.1 Q.6.2	Q.6.7.1		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
SEED CAKE, mengandung minyak sayur UN 1386 (b) biji yang diekstrak	4.2	Q.2.1	Q.3	Q.4 IIA T3	Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.4	Q.6.7.1		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
SEED CAKE UN 2217	4.2	Q.2.1	Q.3	Q.4 IIA T3	Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.4	Q.6.7.1		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
SILICONMANGANESE	MHB	Q.2.2.1		Q.4 IIC T1		Q.5.2.3 Q.5.2.5, .6		Q.6.1 Q.6.3			Q.8.2.1	Q.9			Q.13	
SODIUM NITRATE UN 1498	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2					
SODIUM NITRATE AND POTASIUM NITRATE MIXTURE UN 1499	5.1	Q.2.2	Q.3					Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2					
SOLIDIFIED FUELS RECYCLED FROM PAPER AND PLASTICS	MHB	Q.2.1		Q.4 T3 IP55		Q.5.2.5					Q.8.1.1	Q.9				
SULPHUR UN 1350	4.1	Q.2.2.1	Q.3	Q.4 T4 IP55				Q.6.1 Q.6.2	Q.6.7.1		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
TANKAGE	MHB	Q.2.1			Q.5.1.2						Q.8.1.1 Q.8.2.1					
VANADIUM ORE	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1 Q.8.2.1					
WOODCHIPS mempunyai kelembaban isi 15% atau lebih	MHB	Q.2.2.1				Q.5.2.5 Q.5.2.10		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.2.1					
WOODCHIPS mempunyai kelembaban konsep kurang dari 15%	MHB	Q.2.2.1									Q.8.1.1 Q.8.2.1					
WOOD PELLETS	MHB	Q.2.1						Q.6.1 Q.6.2								
Wood products - Umum	MHB	Q.2.1	Q.3		Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.2			Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			

Tabel 12.11 Persyaratan pengangkutan barang padat berbahaya dalam bentuk curah (lanjutan)

Bulk Cargo Shipping Name (BCSN)	Kelas	Persyaratan														
		Sistem pemadam kebakaran	suplai air	Sumber api	Pengukuran temperatur	Deteksi gas	Keasaman air bilga	Ventilasi	Ketentuan tambahan untuk ventilasi	Pemompaan bilga	Perlindungan personil	Tanda-tanda dilarang merokok	Batas-batas ruang permesinan	Batas-batas lainnya	Titik pengambilan sampel gas	Kekedapannya Cuaca
WOOD TORREFIED	MHB	Q.2.1	Q.3	Q.4 IIA T3	Q.5.1.2			Q.6.1 Q.6.2	Q.6.7.1		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			
ZINC ASHES UN 1435	4.3	Q.2.1	Q.3	Q.4 IIA T3	Q.5.1.2	Q.5.2.5		Q.6.1 Q.6.4	Q.6.7.1		Q.8.1.2 Q.8.2.2	Q.9	Q.10.1			

¹ Persyaratan tambahan untuk DIRECT REDUCE IRON (B) dan (C) harus disepakati dengan BKI.

Bab 13 Permesinan Kapal dengan Notasi Es

A.	Umum.....	13-1
B.	Daya Propulsi yang Diperlukan	13-1
C.	Permesinan Propulsi	13-1
D.	Penguatan yang diperlukan untuk Klas Es ES.....	13-28

A. Umum

1. Notasi tambahan pada Karakter Klasifikasi

Permesinan kapal yang diperkuat untuk navigasi daerah pelayaran es ditandai dengan notasi tambahan **ES**, **ES1**, **ES2**, **ES3**, atau **ES4** yang diberikan setelah karakter klasifikasi **SM** asalkan persyaratan yang terdapat dalam Bab ini dan persyaratan struktural yang relevan yang ditetapkan dalam [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 15](#) bersama dengan suplemen tambahan terpenuhi. Penguatan yang diperlukan untuk Notasi Klas "ES" juga dapat diterapkan untuk permesinan saja.

2. Kepatuhan dengan "Peraturan Klas es Finnish-Swedish"

Persyaratan untuk klas es **ES**, **ES1**, **ES2**, **ES3** dan **ES4** yang terdapat dalam Bab ini setara dengan persyaratan klas es Finnish-Swedish yang relevan untuk klas es yang sesuai, sebagaimana tercantum dalam [Tabel 13.1](#).

Tabel 13.1 Klas es Terkait

Klas es BKI	ES1	ES2	ES3	ES4
Klas es Finnish-Swedish	IC	IB	IA	IA super

B. Daya Propulsi yang Diperlukan

Daya propulsi yang diperlukan harus seperti yang tercantum dalam [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 15](#).

Rating *output* dari mesin utama sesuai dengan [Bab 2, A.3.](#) harus sedemikian rupa sehingga dapat memberikan servis yang berkesinambungan ke daya propulsi yang diperlukan untuk klas es terkait.

C. Permesinan Propulsi

1. Ruang Lingkup

Peraturan ini berlaku untuk permesinan propulsi meliputi propeler terbuka dan tipe dengan saluran (*ducted*) dengan desain *controllable pitch* (CP) atau *fixed pitch* (FP) untuk masing-masing klas es **ES4**, **ES3**, **ES2**, **ES1** dan IA Super, IA, IB dan IC. Hal-hal yang tidak tercakup oleh peraturan ini harus memenuhi peraturan yang sesuai untuk kapal tanpa klas es.

Beban yang diberikan adalah beban es yang diharapkan selama umur servis kapal dalam kondisi operasional normal, termasuk beban yang dihasilkan dari perubahan arah putaran propeler FP. Namun, beban ini tidak mencakup kondisi operasional diluar desain, misalnya ketika propeler berhenti diseret melalui es. Peraturan ini juga berlaku untuk *azimuthing* dan *fixed thrusters* sebagai propulsi utama, dengan mengingat beban yang dihasilkan dari interaksi propeler/es. Namun, model beban dari peraturan ini tidak termasuk beban interaksi propeler/es ketika es memasuki propeler dari pendorong azimuthing thruster yang diputar dari samping (secara radial) atau kontak beban saat blok es mengenai hub propeler dari propeler yang

menarik. Beban es akibat tumbukan es pada bodi thruster harus diperkirakan, tetapi rumus beban es tidak tersedia.

Propeler haluan, Propeler Voith Schneider, propulsors jet dan desain khusus lainnya memerlukan pertimbangan khusus.

2. Simbol

c	= panjang chord bagian daun [m]
$c_{0,7}$	= panjang chord bagian daun pada radius propeler $0,7R$ [m]
CP	= controllable propeller
D	= diameter propeler [m]
d	= diameter luar hub propeler (pada bidang propeler) [m]
D_{limit}	= nilai batas diameter propeler [m]
EAR	= rasio area daun yang diperluas
F_b	= kekuatan berputar balik maksimum daun selama umur kapal [kN]
F_{ex}	= beban daun akhir yang mengakibatkan deformasi lentur plastik daun [kN]
F_f	= gaya maksimum daun maju selama umur servis kapal [F_f]
F_{ice}	= beban es [kN]
$(F_{\text{ice}})_{\text{max}}$	= beban es maksimum selama umur kapal [kN]
FP	= pitch tetap (<i>fixed propeller</i>)
h_0	= kedalaman garis tengah propeler dari garis air (LWL) es yang lebih rendah [m]
H_{ice}	= ketebalan maksimum desain blok es yang masuk ke propeler [m]
k	= parameter bentuk untuk distribusi Weibull
LWL	= garis air es yang lebih rendah [m]
m	= kemiringan untuk kurva SN pada skala log/log
M_{BL}	= momen lentur daun [kNm]
MCR	= maksimum continuous rating
n	= kecepatan rotasi propeler [s^{-1}]
n_n	= kecepatan rotasi nominal propeler pada MCR dalam kondisi bekerja bebas (free running) [s^{-1}]
N_{class}	= nomor referensi dampak per kecepatan rotasi propeler per klas es
N_{ice}	= jumlah beban es pada daun propeler selama umur kapal
N_R	= nomor referensi beban untuk tekanan lelah yang setara (10^8 cycles)
N_Q	= jumlah putaran propeler selama urutan penggilingan

$P_{0,7}$	= propeler pitch di radius 0,7R [m]
$P_{0,7n}$	= propeler pitch di radius 0,7R di MCR dalam kondisi bekerja bebas [m]
Q	= puntir (<i>torsi</i>) [kNm]
$Q_{e\ max}$	= puntir maksimum permesinan [kNm]
Q_{max}	= puntir maksimum pada propeler yang dihasilkan dari interaksi propeler-es [kNm]
Q_{motor}	= puntir puncak motor listrik [kNm]
Q_n	= puntir nominal di MCR dalam kondisi bekerja bebas [kNm]
Q_r	= respon maksimum puntir sepanjang garis poros propeler [kNm]
$Q_{s\ max}$	= puntir maksimum spindle daun selama umur kapal [kNm]
R	= radius propeler $R = D/2$ [m]
R	= radius penampang daun [m]
T	= thrust propeler [kN]
T_b	= thrust berputar balik maksimum propeler es selama umur kapal [kN]
T_f	= thrust maju maksimal propeler es selama umur kapal [kN]
T_n	= thrust propeler di MCR pada kondisi berjalan bebas [kN]
T_r	= respon maksimum thrust sepanjang garis poros [kN]
t	= ketebalan maksimum penampang daun [m]
Z	= jumlah dauh propeler
α_i	= durasi interaksi daun propeler dan es yang dinyatakan dalam sudut putaran [deg]
γ	= faktor reduksi untuk kelelahan; efek ukuran spesimen pencar dan uji
γ_v	= faktor reduksi untuk kelelahan; efek pembebahan amplitudo variabel
γ_m	= faktor reduksi untuk kelelahan; efek tekanan rata-rata
ρ	= faktor reduksi untuk kelelahan yang menghubungkan amplitudo tegangan maksimum dengan tekanan kelelahan setara untuk 10^8 stress cycles
$\sigma_{0,2}$	= kekuatan luluh bukti [Mpa]
σ_{exp}	= kekuatan kelelahan rata-rata material daun pada 10^8 cycles hingga kegagalan dalam air laut [Mpa]
σ_{fat}	= kelelahan yang setara dari amplitudo tekanan beban es selama 10^8 stess cycles [Mpa]
σ_{fl}	= karakteristik kekuatan lelah untuk material daun [Mpa]
σ_r	= tekanan Von Mises yang dihasilkan [Mpa]
σ_{ref}	= tekanan referensi [Mpa]

$$\sigma_{ref} = 0,6 \cdot \sigma_{0,2} + 0,4 \cdot \sigma [\text{Mpa}]$$

σ_{ref2} = tekanan referensi [Mpa]

$$\sigma_{ref2} = 0,7 \cdot \sigma_u \cdot \text{atau}$$

$$\sigma_{ref2} = 0,6 \cdot \sigma_{0,2} + 0,4 \cdot \sigma_u$$

mana yang lebih kecil

σ_{st} = tegangan maksimum yang dihasilkan dari F_b atau F_f [Mpa]

σ_u = kekuatan tarik akhir dari material daun [Mpa]

$(\sigma_{es})_{max}$ = amplitudo maksimum tekanan beban es [Mpa]

$(\sigma_{es})_{bmax}$ = tegangan utama yang disebabkan oleh beban berputar balik maksimum propeler es [Mpa]

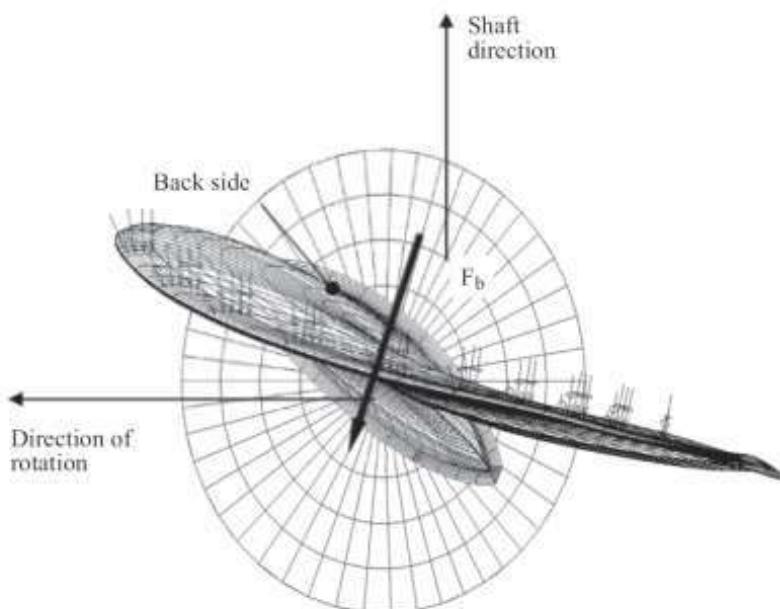
$(\sigma_{es})_{fmax}$ = tegangan utama yang disebabkan oleh beban maju maksimum propeler es [Mpa]

Tabel 13.2 Definisi beban

Simbol	Definisi	Penggunaan beban dalam proses desain
F_b	Gaya berputar balik maksimum masa pakai pada daun propeler yang dihasilkan dari interaksi propeler/es, termasuk beban hidrodinamika pada daun tersebut. Arah gaya adalah tegak lurus dengan 0,7R chord line. Lihat Gambar 13.1 .	Gaya desain untuk perhitungan kekuatan daun propeler.
F_f	Gaya maju maksimum masa pakai pada daun propeler yang dihasilkan dari interaksi propeler/es, termasuk beban hidrodinamika pada daun tersebut. Arah gaya adalah tegak lurus dengan 0,7R chord line. Lihat Gambar 13.1 .	Gaya desain untuk perhitungan kekuatan daun propeler.
Q_{smax}	Spindle puntir maksimum masa pakai pada daun propeler yang dihasilkan dari interaksi propeler/es, termasuk beban hidrodinamik pada daun tersebut.	Dalam merancang kekuatan propeler, puntir spindle secara otomatis diperhitungkan karena beban propeler bekerja pada daun sebagai tekanan yang didistribusikan di tepi leading atau area ujung.
T_b	Gaya dorong maksimum masa pakai pada propeler (semua daun) yang dihasilkan dari interaksi propeler/es. Arah gaya dorong adalah arah poros propeler dan gaya tersebut berlawanan dengan gaya dorong hidrodinamika.	Digunakan untuk estimasi respon gaya dorong T_r . T_b dapat digunakan sebagai perkiraan eksitasi untuk perhitungan getaran aksial. Namun, perhitungan getaran aksial tidak dipersyaratkan dalam peraturan.
T_f	Gaya dorong maksimum masa pakai pada propeler (semua daun) yang dihasilkan dari interaksi propeler/es. Arah gaya dorong adalah arah poros propeler yang bekerja searah dengan arah gaya dorong hidrodinamika.	Digunakan untuk estimasi respon gaya dorong T_r . T_f dapat digunakan sebagai perkiraan eksitasi untuk perhitungan getaran aksial. Namun, perhitungan getaran aksial tidak dipersyaratkan dalam peraturan.
Q_{max}	Puntir maksimum yang diinduksi es yang dihasilkan dari interaksi propeler/es pada propeler, termasuk beban hidrodinamika.	Digunakan untuk estimasi respon torsi (Q_r) sepanjang garis poros propulsi dan sebagai eksitasi untuk perhitungan getaran puntir.
F_{ex}	Beban daun <i>ultimate</i> yang dihasilkan dari kerugian daun akibat <i>plastic bending</i> . Gaya yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalan total dari daun sehingga <i>plastic hinge</i> terjadi di area pangkal. Gaya pada 0,8R. Lengan spindle harus diambil dari 2/3 dari jarak antara aksis	Beban kegagalan daun digunakan untuk menentukan dimensi baut daun, mekanisme <i>pitch control</i> , poros propeler, bantalan propeler poros dan <i>thrust bearing</i> . Dengan tujuan untuk menjamin bahwa

Tabel 13.2 Definisi beban (lanjutan)

Simbol	Definisi	Penggunaan beban dalam proses desain
	rotasi daun dan <i>leading/trailing edge</i> (mana yang lebih besar) pada radius $0,8R$.	kegagalan total daun propeler tidak akan menyebabkan kerusakan pada komponen lainnya
T_r	Puntir respon maksimum sepanjang poros propeler, dengan memperhitungkan perilaku dinamis dari poros untuk eksitasi es (getaran aksial) dan puntir rata-rata hidrodinamika pada propeler	Desain puntir untuk komponen poros propeler



Gambar 13.1 Arah dari resultan gaya berputar balik daun F_b diambil tegak lurus terhadap garis chord pada radius $0,7R$. Tekanan kontak es di *leading edge* ditunjukkan dengan panah kecil.

3. Kondisi desain es

Dalam memperkirakan beban es dari propeler untuk klas es, berbagai jenis operasi seperti yang diberikan pada Tabel 13.3 harus diperhitungkan. Untuk estimasi beban desain es, ukuran blok es maksimum ditentukan. Blok desain es maksimum yang masuk propeler adalah sebuah blok es persegi panjang dengan dimensi $H_{ice} \cdot 2H_{ice} \cdot 3H_{ice}$. Ketebalan blok es (H_{ice}) ditunjukkan pada Tabel 13.4.

Tabel 13.3 Beban es dari propeler untuk klas es

Klas es	Operasi kapal
ES4 (IA super)	Operasi pada perairan es dan pada level es Kapal dapat melaju dengan menyeruduk
ES3, ES2, ES1 (IA, IB, IC)	Operasi pada perairan es

Tabel 13.4 Ketebalan dari blok es untuk klas es

	ES4 (IA Super)	ES3 (IA)	ES2 (IB)	ES1 (IC)
Ketebalan blok es desain maksimum yang masuk propeler (H_{ice})	1,75 m	1,5 m	1,2 m	1,0 m

4. Material

4.1 Material yang terkena air laut

Material komponen yang terkena air laut, seperti daun propeler, hub propeler, dan *thruster body*, harus memiliki nilai *elongation* tidak kurang dari 15% dan harus memenuhi setiap persyaratan pada [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#). Uji impak Charpy V harus dilakukan untuk material selain perunggu dan baja austenitik. Nilai energi impak rata-rata 20 J yang diambil dari tiga pengujian akan diperoleh. Semua pengujian harus dilakukan pada temperatur minus 10 °C.

4.2 Material yang terkena temperatur air laut

Material yang terkena temperatur air laut harus dari material yang ulet dan memenuhi [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#). Nilai energi impak Charpy V rata-rata 20 J yang diambil dari tiga uji harus diperoleh, jika tidak ada nilai lebih tinggi yang diperlukan dalam [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#). Semua uji harus dilakukan pada temperatur minus 10 °C. Persyaratan ini berlaku untuk komponen seperti baut daun, mekanisme CP, baut poros, baut penghubung strut-pod, dan lain-lain. Hal ini tidak berlaku untuk permukaan komponen yang diperkeras, seperti bantalan dan gigi roda gigi.

5. Beban desain

Beban yang diberikan dimaksudkan untuk perhitungan kekuatan komponen saja dan merupakan total beban termasuk beban induksi es dan beban hidrodinamika selama interaksi propeler/es.

Nilai-nilai parameter dalam rumus dalam bab ini harus diberikan dalam unit yang ditampilkan dalam daftar simbol (2.).

Jika propeler tidak sepenuhnya terendam pada saat kapal dalam kondisi balas, sistem propulsi harus didesain sesuai dengan klas es **ES3** untuk klas es **ES2** dan **ES1**.

Dalam kasus apapun, tidak dapat diterima bahwa dimensi struktur (scantling) ditentukan sesuai dengan paragraf berikut kurang dari yang ditentukan dengan menerapkan peraturan tanpa penguatan es.

5.1 Beban desain pada daun propeler

F_b adalah gaya maksimum yang dialami selama umur kapal yang menyebabkan daun propeler Bengkok ke belakang ketika propeler menggiling blok es pada saat berputar ke depan. F_f adalah gaya maksimum yang dialami selama masa pakai kapal yang menyebabkan daun propeler Bengkok ke depan ketika propeler menggiling blok es pada saat berputar ke depan. F_b dan F_f berasal dari fenomena interaksi propeler/es yang berbeda, tidak bekerja secara bersamaan. Oleh karena itu, gaya tersebut harus diterapkan pada satu daun secara terpisah.

5.1.1 Gaya mundur maksimum daun F_b untuk propeler

$$F_b = K_f \cdot [n \cdot D]^{0,7} \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right]^{0,3} \cdot D^2 \quad [kN] \quad \text{jika } D \leq D_{\text{limit}} \quad (1)$$

$$F_b = K_f \cdot [n \cdot D]^{0,7} \cdot \left[\frac{EAR}{Z} \right]^{0,3} \cdot D^x \cdot H_{\text{ice}}^{1,4} \quad [kN] \quad \text{jika } D > D_{\text{limit}} \quad (2)$$

dimana:

$$x = 1,0, D_{\text{limit}} = 0,85 \cdot H_{\text{ice}}^{1,4} \quad [m] \quad \text{untuk propeler terbuka}$$

$$x = 0,6, D_{\text{limit}} = 4 \cdot H_{\text{ice}} \quad [m] \quad \text{untuk propeler dengan saluran (ducted)}$$

Tabel 13.5

K_f	Propeler terbuka	Propeler dengan saluran (ducted)
$D \leq D_{\text{limit}}$	27	9,5
$D > D_{\text{limit}}$	23	66

n adalah kecepatan putaran nominal [1/s] (pada MCR dalam kondisi putaran bebas) untuk propeler CP dan 85% dari kecepatan putaran nominal (pada MCR dalam kondisi putaran bebas) untuk propeler FP.

5.1.2 Gaya maju maksimum daun F_f untuk propeler

$$F_f = K_f \cdot \left[\frac{\text{EAR}}{Z} \right] \cdot D^2 \quad [\text{kN}] \quad \text{jika } D \leq D_{\text{limit}} \quad (3)$$

$$F_f = K_f \cdot \left[\frac{\text{EAR}}{Z} \right] \cdot D \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \quad [\text{kN}] \quad \text{jika } D > D_{\text{limit}} \quad (4)$$

dimana:

$$D_{\text{limit}} = \frac{2}{\left(1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \quad [\text{m}] \quad \text{untuk propeler terbuka dan dengan saluran (ducted)}$$

Tabel 13.6

K_f	Propeler terbuka	Propeler dengan saluran (ducted)
$D \leq D_{\text{limit}}$	250	250
$D > D_{\text{limit}}$	500	500

5.1.3 Area yang terbebani pada daun untuk propeler terbuka

Beban kasus 1-4 harus dicakup, seperti yang diberikan dalam [Tabel 13.7](#) dibawah ini, untuk propeler CP dan FP. Untuk mendapatkan beban es daun untuk sebuah propeler pembalik, beban kasus 5 juga harus dicakup untuk propeler FP.

5.1.4 Area yang terbebani pada daun untuk propeler dengan saluran

Beban kasus 1 dan 3 harus dicakup seperti yang diberikan dalam [Tabel 13.8](#) untuk semua propeler, dan beban kasus tambahan (beban kasus 5) untuk propeler FP, untuk mencakup beban es ketika propeler berputar arah kebalikan.

5.1.5 Torsi spindel maksimum pada daun Q_{max} untuk propeler terbuka dan propeler dengan saluran

Puntir spindel Q_{max} tepat disekitar daun harus ditentukan baik untuk gaya daun maksimum berputar arah kebalikan F_b maupun gaya daun ke maju F_f , yang diterapkan seperti pada [Tabel 13.7](#) dan [Tabel 13.8](#). Jika metode diatas memberikan nilai yang kurang dari nilai awal (*default*) yang diberikan oleh rumus di bawah, nilai awal harus digunakan.

$$\text{Nilai awal } Q_{\text{max}} = 0,25 F C_{0,7} \quad [\text{kNm}] \quad (5)$$

Dimana $C_{0,7}$ adalah panjang penampang daun pada radius $0,7R$ dan F adalah antara F_b atau F_f , mana yang memiliki nilai mutlak yang terbesar.

5.1.6 Distribusi beban untuk analisis kelelahan

Jenis distribusi Weibull (probabilitas bahwa F_{ice} melebihi porsi $(F_{ice})_{max}$), seperti yang diberikan pada [Gambar 13.2](#) digunakan untuk desain kelelahan dari daun.

$$P\left(\frac{F_{ice}}{(F_{ice})_{max}} \geq \frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right) = e^{\left(-\left(\frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right)^k \cdot \ln(N_{ice})\right)} \quad (6)$$

dimana k adalah parameter bentuk spektrum, N_{ice} adalah jumlah siklus beban dalam spektrum, dan F_{ice} adalah variabel acak untuk beban es pada daun, $0 \leq F_{es} \leq (F_{ice})_{max}$. Parameter bentuk $k = 0,75$ harus digunakan untuk distribusi gaya es dari sebuah propeler terbuka dan parameter bentuk $k = 1,0$ untuk daun propeler dengan saluran.

Tabel 13.7 Beban kasus untuk propeler terbuka

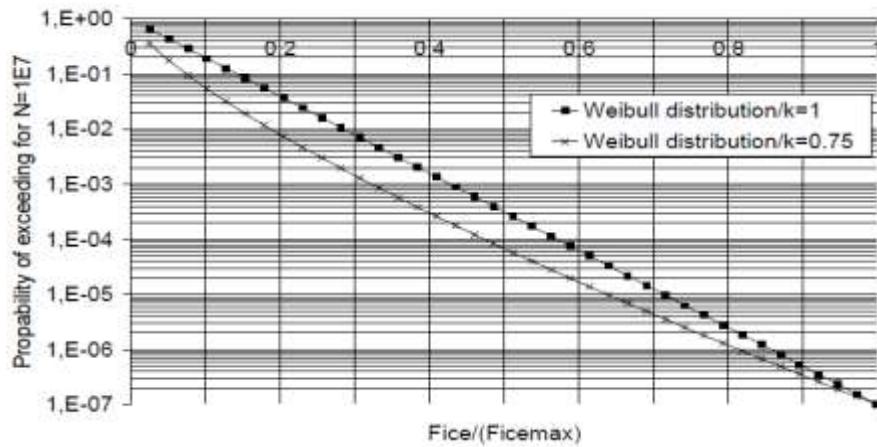
	Gaya	Daerah terbebani	Daun propeler berputar searah jarum jam dilihat dari belakang
Beban kasus 1	F_b	Tekanan seragam yang diterapkan di belakang daun (sisi hisap) ke suatu daerah dari $0,6R$ ke ujung dan dari leading edge ke $0,2$ kali panjang chord	
Beban kasus 2	50% dari F_b	Tekanan seragam yang diterapkan di belakang daun (sisi hisap) pada daerah ujung propeler di luar radius $0,9R$	
Beban kasus 3	F_f	Tekanan seragam yang diterapkan pada muka daun (sisi tekan) pada daerah dari $0,6R$ ke ujung dan dari leading edge ke $0,2$ kali panjang chord	
Beban kasus 4	50% dari F_f	Tekanan seragam yang diterapkan pada muka propeler (sisi tekan) pada daerah ujung propeler diluar radius $0,9R$	

Tabel 13.7 Beban kasus untuk propeler terbuka (lanjutan)

	Gaya	Daerah terbebani	Daun propeler berputar searah jarum jam dilihat dari belakang
Beban kasus 5	60% dari F_f atau F_b mana yang lebih besar	Tekanan seragam yang diterapkan pada muka propeler (sisi tekan) ke suatu daerah dari $0,6R$ ke ujung dan dari <i>trailing edge</i> ke 0,2 kali panjang chord	

Tabel 13.8 Beban kasus untuk propeler dengan saluran

	Gaya	Daerah terbebani	Daun propeler berputar searah jarum jam dilihat dari belakang
Beban kasus 1	F_b	Tekanan seragam yang diterapkan di belakang daun (sisi isap) ke suatu daerah dari $0,6R$ ke ujung dan dari <i>leading edge</i> ke 0,2 kali panjang chord	
Beban kasus 3	F_f	Tekanan seragam yang diterapkan pada muka daun (sisi tekan) pada daerah dari $0,6R$ ke ujung dan dari <i>leading edge</i> ke 0,5 kali panjang chord	
Beban kasus 5	60% F_f atau F_b mana yang lebih besar	Tekanan seragam yang diterapkan pada muka daun (sisi tekan) pada daerah dari $0,6R$ ke ujung dan dari <i>leading edge</i> ke 0,2 kali panjang chord	



Gambar 13.2 Jenis distribusi Weibull (probabilitas bahwa F_{ice} melebihi porsi $(F_{ice})_{max}$) untuk desain kelelahan.

5.1.7 Jumlah beban es untuk analisis kelelahan

Jumlah beban siklus per daun propeler dalam spektrum beban harus ditentukan dengan rumus:

$$N_{ice} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot N_{class} \cdot n \quad (7)$$

dimana:

Tabel 13.9 Nomor referensi beban untuk klas es N_{class}

Klas	ES 4	ES 3	ES 2	ES 1
N_{class}	$9 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^6$	$3,4 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$

Tabel 13.10 Faktor lokasi propeler k_1

Posisi	Pusat propeler	Sayap propeler
k_1	1	1,35

Tabel 13.11 Faktor lokasi propeler k_2

Tipe	Terbuka	Dengan saluran
k_2	1	1,1

Tabel 13.12 Faktor lokasi propeler k_3

Tipe	Tetap	Azimuth
k_3	1	1,2

Faktor *submersion* k_4 ditentukan dari persamaan

$$\begin{aligned}
 k_4 &= 0,8 - f && \text{jika } f < 0 \\
 &= 0,8 - 0,4 \cdot f && \text{jika } 0 \leq f \leq 1 \\
 &= 0,6 - 0,2 \cdot f && \text{jika } 1 < f \leq 2,5 \\
 &= 0,1 && \text{jika } F > 2,5
 \end{aligned} \tag{8}$$

dimana fungsi *immersion f* adalah:

$$f = \frac{h_0 - H_{ice}}{D/2} - 1, \quad (9)$$

dimana h_0 adalah kedalaman garis tengah propeler di *lower ice water line* (LIWL) dari kapal

Untuk komponen yang dikenakan beban yang akibat dari interaksi propeler/es dengan semua daun propeler, jumlah siklus beban dikalikan dengan jumlah daun propeler ($N_{Zice} = N_{ice} \cdot Z$)

5.2 Desain beban aksial untuk propeler terbuka dan dengan saluran

5.2.1 Gaya dorong es maksimum pada propeler T_f dan T_b untuk propeler terbuka dan dengan saluran

Gaya dorong es maksimum untuk arah maju dan berputar balik adalah:

$$T_f = 1,1 \cdot F_f \quad [\text{KN}] \quad (10)$$

$$T_b = 1,1 \cdot F_b \quad [\text{KN}] \quad (11)$$

5.2.2 Gaya Dorong desain sepanjang garis poros propulsi T_r untuk propeler terbuka dan dengan saluran

Gaya dorong desain sepanjang garis poros propeler harus dihitung dengan rumus dibawah ini. Nilai yang lebih besar dari beban arah maju dan berputar balik harus diambil sebagai beban desain untuk kedua arah. Faktor 2,2 dan 1,5 memperhitungkan pembesaran dinamis yang dihasilkan dari getaran aksial.

Pada arah maju

$$T_r = T + 2,2 \cdot T_f \quad [\text{kN}] \quad (12)$$

Pada arah berputar balik

$$T_r = 1,5 \cdot T_b \quad [\text{KN}] \quad (13)$$

Jika gaya dorong bollard hidrodinamika T , tidak diketahui, T harus diambil sebagai berikut:

Tabel 13.13 nilai berdasarkan jenis propeler

Tipe propeler	T
propeler CP (terbuka)	$1,25 \cdot T_n$
propeler CP (dengan saluran)	$1,1 \cdot T_n$
propeler FP digerakkan oleh turbin atau motor listrik	T_n
propeler FP digerakkan oleh mesin diesel (terbuka)	$0,85 \cdot T_n$
propeler FP digerakkan oleh diesel (dengan saluran)	$0,75 \cdot T_n$

Disini, T_n adalah gaya dorong propeler nominal pada MCR saat berputar bebas pada kondisi perairan terbuka (open water).

5.3 Desain beban puntir

5.3.1 Desain puntir sepanjang jalur poros propeler Q_r

Jika tidak ada resonansi puntir daun pertama yang relevan dalam rentang kecepatan pemutaran operasi yang didesain yang diperbesar 20% diatas nilai maksimum dan 20% dibawah nilai minimum dari kecepatan operasi, estimasi puntir maksimum berikut dapat digunakan.

$$Q_r = Q_{e \max} + Q_{\max} \cdot \frac{I}{I_t} \quad (14)$$

dimana I adalah momen inersia massa ekuivalen dari semua bagian di sisi komponen mesin yang dipertimbangkan dan I_t adalah momen inersia massa ekuivalen dari sistem propulsi secara keseluruhan.

Semua puntir dan momen inersia harus dikurangi hingga ke kecepatan putaran dari komponen yang diperiksa.

Jika puntir maksimum, $Q_{e \max}$, tidak diketahui, maka harus diambil sebagai berikut:

Tabel 13.14

Tipe propeler	$Q_{e \max}$
Propeler digerakkan oleh motor listrik	Q_{motor}
Propeler CP yang tidak digerakkan oleh motor listrik	Q_n
Propeler FP yang digerakkan oleh turbin	Q_n
Propeler FP yang digerakkan oleh mesin diesel	$0,75 \cdot Q_n$

Disini, Q_{motor} adalah puntir puncak motor listrik.

Jika resonansi puntir daun pertama dalam rentang keputaran operasi desain yang diperbesar 20% diatas nilai maksimum dan 20% dibawah nilai minimum dari kecepatan operasi, puntir desain (Q_r) dari komponen poros harus ditentukan dengan menggunakan analisis getaran puntir sepanjang jalur propulsi.

5.3.2 Puntir es desain pada propeler Q_{\max} untuk propeler terbuka dan dengan saluran

Q_{\max} adalah puntir maksimum pada propeler yang dihasilkan dari interaksi es/propeler.

$$Q_{\max} = K_Q \cdot \left[1 - \frac{d}{D} \right] \cdot \left[\frac{P_{0,7}}{D} \right]^{0,16} \cdot (n \cdot D)^{0,17} \cdot D^3 \quad [\text{kN}], \text{ ketika } D \leq D_{\text{limit}} \quad (15)$$

$$Q_{\max} = K_Q \cdot \left[1 - \frac{d}{D} \right] \cdot \left[\frac{P_{0,7}}{D} \right]^{0,16} \cdot (n \cdot D)^{0,17} \cdot D^{1,9} \cdot H_{ice}^{1,1} \quad [\text{kN}], \text{ ketika } D \leq D_{\text{limit}} \quad (16)$$

dimana:

$D_{\text{limit}} = 1,8 \cdot H_{ice}$ [m] untuk propeler terbuka dan dengan saluran

Tabel 13.15

K_Q	Propeler terbuka	Propeler dengan saluran
$D \leq D_{\text{limit}}$	10,9	7,7
$D > D_{\text{limit}}$	20,7	14,6

n adalah kecepatan putar propeler dalam kondisi bollard. Jika tidak diketahui, n harus diambil sebagai berikut:

Tabel 13.16

Tipe propeler	Kecepatan putar n
propeler CP	n_n
propeler FP yang digerakkan oleh turbin atau motor listrik	n_n
propeler FP yang digerakkan oleh mesin diesel	$0.85 \cdot n_n$

Disini, n_n adalah kecepatan putar nominal pada MCR dalam kondisi putaran bebas [1/s].

Untuk propeler CP, pitch propeler, $P_{0.7}$ harus sesuai dengan MCR dalam kondisi bolard. Jika tidak diketahui, $P_{0.7}$ harus diambil sebagai $0.7 \cdot P_{0.7n}$, dimana $P_{0.7n}$ adalah pitch propeler pada MCR dalam kondisi putaran bebas.

5.3.3 Penentuan Alternatif Q_{max}

Sebagai alternatif, sejauh ini data yang rinci tidak tersedia misalnya dalam tahap desain awal, puntir es maksimum dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$Q_{max} = m_{ice} \cdot D^2 \quad [\text{kNm}] \quad (17)$$

Dimana D adalah diameter propeler dalam [m] dan faktor m_{ice} harus dipilih sesuai dengan tabel berikut untuk propeler terbuka:

Tabel 13.17

Es klas	Faktor pembesaran m_{ice} untuk FPP	Faktor pembesaran m_{ice} untuk CPP
ES1	24	19
ES2	30	26
ES3	32	30
ES4	42	36

Faktor pembesaran m_{ice} untuk propeler dengan saluran dapat dikurangi dengan 30%.

5.3.4 Eksitasi puntir es $Q(\varphi)$ untuk propeler terbuka dan dengan saluran

Eksitasi puntir es propeler untuk analisis getaran puntir jalur poros transien harus diuraikan dengan sebuah urutan impak daun yang berbentuk setengah sinus; lihat [Gambar 13.3](#).

Puntir yang dihasilkan dari impak es daun tunggal sebagai fungsi dari sudut putaran propeler adalah

$$Q(\varphi) = C_q \cdot Q_{max} \cdot \sin\left(\varphi\left(\frac{180}{\alpha_i}\right)\right), \quad \text{jika } \varphi = 0 \dots \alpha_i \quad (18)$$

$$Q(\varphi) = 0, \quad \text{jika } \varphi = \alpha_i \dots 360$$

Dimana parameter C_q dan α_i parameter diberikan dalam Tabel di bawah ini. α_i adalah durasi interaksi propeler daun/es yang dinyatakan dalam sudut putaran propeler.

Tabel 13.18

Eksitasi puntir	Interaksi propeler/es	C_q	α_i
Kasus 1	Blok es tunggal	0,75	90
Kasus 2	Blok es tunggal	1,0	135
Kasus 3	Dua blok es (pergeseran fasa $360/2/Z$ deg)	0,5	45

Puntir es total diperoleh dengan menjumlahkan puntir daun tunggal, dengan memperhitungkan pergeseran fasa $360 \text{ deg}/Z$. Selain itu, pada awal dan akhir urutan penggilingan (*milling sequence*), fungsi rampa linear untuk sudut putaran 270 derajat harus digunakan.

Jumlah putaran propeler selama urutan penggilingan harus diperoleh dengan rumus:

$$N_Q = 2 \cdot H_{ice} \quad (19)$$

Jumlah impak adalah $Z N_Q$ untuk eksitasi urutan daun pertama.

5.3.5 Puntir Puncak Q_{peak}

Puntir puncak harus diambil sebagai nilai maksimum $Q(\phi)$ (menurut 5.3.4) dan Q_r (menurut 5.3.1).

5.4 Beban kegagalan daun F_{ex}

Beban akhir yang dihasilkan dari kegagalan daun sebagai akibat dari *plastic bending* disekitar pangkal daun harus dihitung dengan rumus dibawah ini. Beban akhir beraksi pada daun di radius $0,8R$ pada arah terlemah dari daun.

Untuk perhitungan puntir spindle ekstrim, lengan spindle harus diambil sebagai $2/3$ dari jarak antara sumbu putaran daun dan leading/trailing edge (mana yang lebih besar) pada radius $0,8R$.

$$F_{ex} = \frac{300 \cdot c \cdot t^2 \cdot \sigma_{ref}}{0,8 \cdot D - 2 \cdot r} \quad (20)$$

dimana, c , t , dan r masing-masing adalah, panjang, ketebalan, dan jari-jari bagian pangkal silindris dari daun pada bagian terlemah diluar pangkal filet.

6. Desain

6.1 Prinsip desain

Kekuatan jalur propulsi harus didesain sesuai dengan prinsip kekuatan piramida. Hal ini berarti bahwa hilangnya daun propeler tidak akan menyebabkan kerusakan yang signifikan pada komponen jalur poros propeler lainnya.

6.2 Daun Propeler

6.2.1 Perhitungan tegangan daun

Tegangan daun harus dihitung untuk beban desain yang diberikan dalam 5.1. Analisa elemen hingga (FEA) harus digunakan untuk analisa tegangan untuk persetujuan akhir semua propeler. Rumus sederhana berikut dapat digunakan dalam memperkirakan tegangan daun untuk semua propeler di area pangkal ($r/R < 0,5$).

$$\sigma_{st} = C_1 \frac{M_{BL}}{100 \cdot ct^2} \quad [\text{MPa}] \quad (21)$$

dimana,

Konstanta C_1 adalah $\frac{\text{stress according FEM}}{\text{stress obtained with beam equation}}$

Jika nilai aktual tidak tersedia, C_1 harus diambil sebagai 1,6.

$M_{BL} = (0,75 - r/R) \cdot R \cdot F$, untuk radius relatif $r/R < 0,5$

F adalah maksimum dari F_b dan F_f .

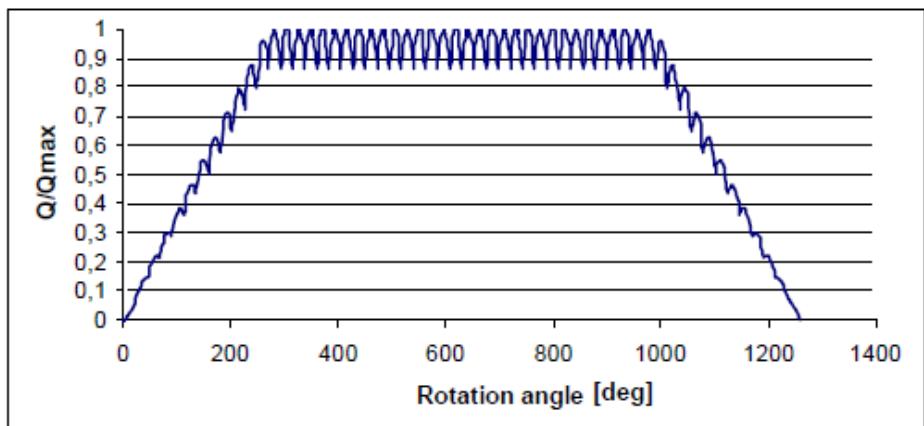
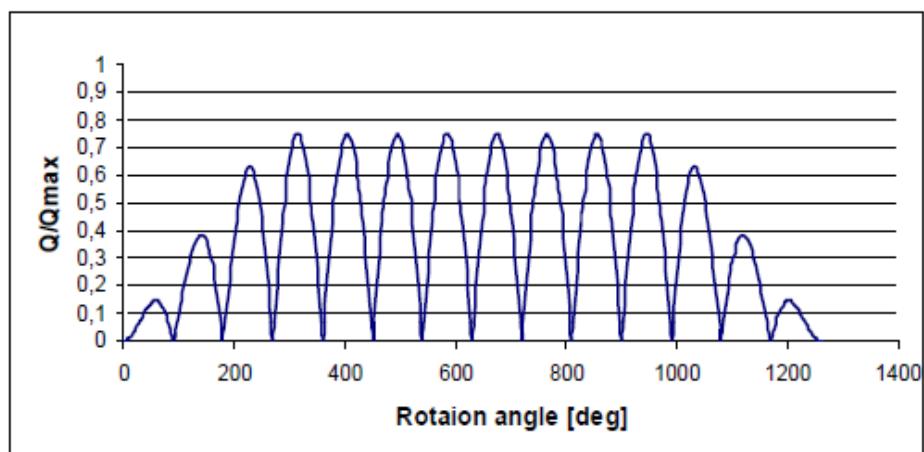
6.2.2 Kriteria penerimaan

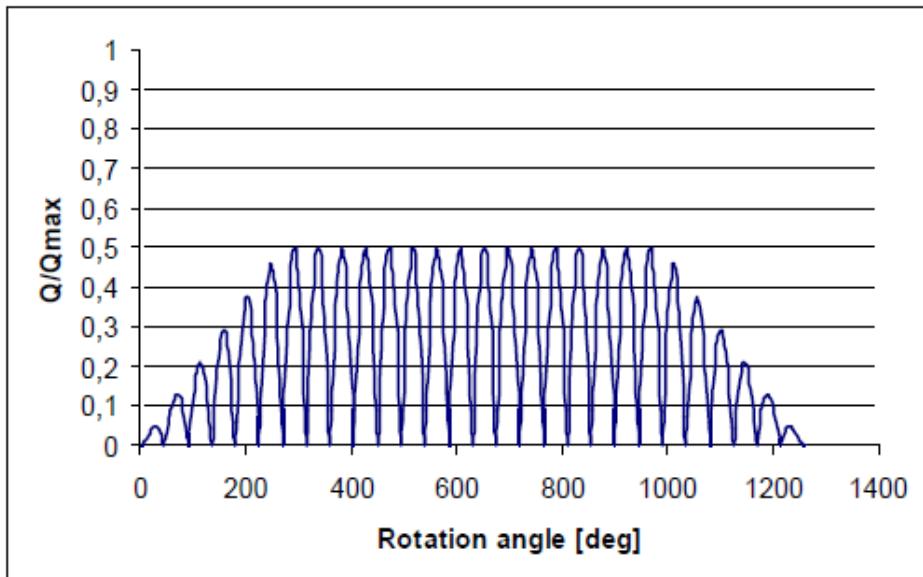
Kriteria berikut untuk tegangan daun yang dihitung harus dipenuhi.

$$\frac{\sigma_{refz}}{\sigma_{st}} \geq 1,5 \quad (22)$$

dimana,

σ_{st} adalah tegangan yang dihitung untuk beban desain. Jika analisis FEM digunakan dalam memperkirakan tegangan, tegangan von Mises harus digunakan.





Gambar 13.3 Bentuk eksitasi puntir es propeler untuk 90, dan 135 derajat urutan impak daun tunggal dan 45 derajat urutan impak daun ganda. (Gambar berlaku untuk propeler dengan 4 daun.)

6.2.3 Ketebalan dan ujung tepi daun $t_{1,0,E}$, t_E

Tepi dan ujung daun harus didesain sedemikian rupa, sehingga selama operasi normal, saat tepi dan ujung daun propeler melakukan kontak dengan es dan menggiling es, tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Ketebalan ujung daun harus lebih besar dari $t_{1,0,E}$ diberikan oleh rumus berikut:

$$t_{1,0,E} = (t_{1,0,B} + 2 \cdot D) \sqrt{\frac{500}{\sigma_{ref}}} \quad [\text{mm}] \quad (23)$$

Ketebalan ujung harus diukur pada jarak X yang tegak lurus dengan tepi kontur, di atas 0,975 R. Perlu ditunjukkan bahwa ketebalan terinterpolasi dengan mulus antara ketebalan tepi leading batas bawah pada 0,975R, ujung dan batas bawah trailing edge pada 0,975 R. Ketebalan ujung dasar $t_{1,0,B}$ harus dipilih sesuai dengan Tabel 13.19

Tabel 13.19 Ketebalan ujung dasar untuk daun propeler.

KLAS ICE	ES1	ES2	ES3	ES4
$t_{1,0,B}$ [mm]	8	8,75	9,75	11

$$X_{th} = \text{MIN}(0,025 C_{0,975}; 45) \quad [\text{mm}] \quad (24)$$

X_{th} = jarak dari tepi daun [mm]

$C_{0,975}$ = panjang chord di $0,975 \cdot R$ [mm]

Ketebalan tepi daun t_E yang diukur pada jarak x_{th} sepanjang penampang silinder pada radius manapun hingga 0,975 R harus tidak kurang dari 50% dari ketebalan ujung yang diperlukan. Persyaratan ini tidak berlaku untuk tepi *trailing propeller non reversibel*.

6.2.4 Desain lelah daun propeler

Desain kelelahan daun propeler didasarkan pada perkiraan distribusi beban selama umur kapal dan kurva S-N untuk material daun. Tegangan setara yang menghasilkan kerusakan lelah yang sama dengan distribusi beban yang diharapkan harus dihitung dan kriteria penerimaan untuk lelah harus dipenuhi seperti yang diberikan dalam Bab ini. Tegangan setara dinormalisasi untuk 100 *million cycle*. Jika kriteria berikut terpenuhi, perhitungan lelah menurut bab ini tidak diperlukan.

$$\sigma_{\text{exp}} \geq B_1 \cdot \sigma_{\text{ref2}}^{B_2} \cdot \log(N_{\text{ice}})^{B_3} \quad (25)$$

dimana B_1 , B_2 dan B_3 koefisien untuk propeler terbuka dan dengan saluran diberikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 13.20

	Propeler terbuka	Propeler dengan saluran
B_1	0,00270	0,00184
B_2	1,007	1,007
B_3	2,101	2,470

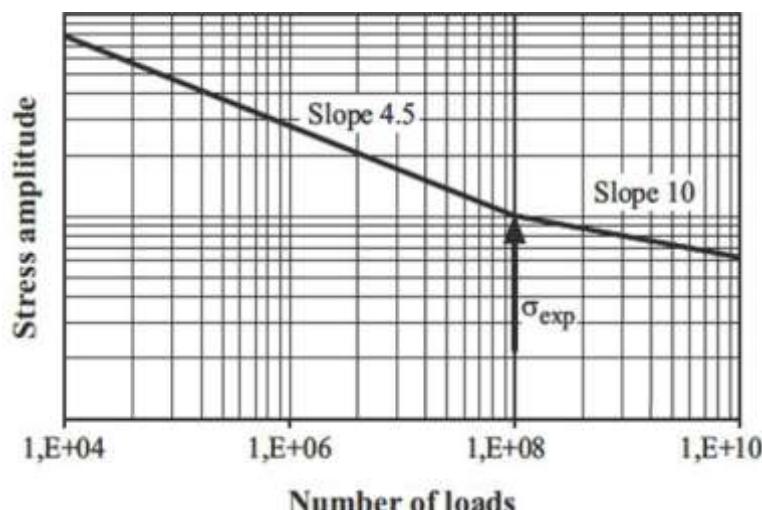
σ_{exp} menurut [Tabel 13.23](#), jika tidak diketahui.

Untuk perhitungan tegangan yang setara tersedia dua jenis kurva S-N.

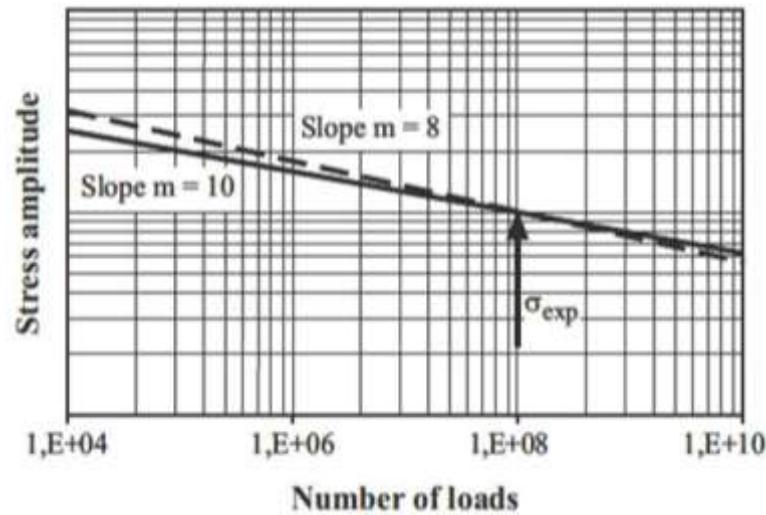
Kurva S-N dua kemiringan (kemiringan 4.5 dan 10), lihat [Gambar 13.4](#).

Kurva S-N satu kemiringan (kemiringan dapat dipilih), lihat [Gambar 13.5](#).

Jenis kurva S-N harus dipilih agar sesuai dengan sifat material dari daun. Jika kurva S-N tidak diketahui, kurva S-N dua kemiringan harus digunakan.



Gambar. 13.4 Kurva S-N dua kemiringan



Gambar. 13.5. Kurva S-N kemiringan konstan

Tegangan lelah setara

Tegangan lelah setara untuk tekanan 100 million stress cycle yang menghasilkan kerusakan lelah yang sama dengan distribusi beban adalah:

$$\sigma_{\text{fat}} = \rho \cdot (\sigma_{\text{ice}})_{\text{max}} \quad [\text{MPa}] \quad (26)$$

dimana:

$$(\sigma_{\text{ice}})_{\text{max}} = 0,5 \cdot ((\sigma_{\text{ice}})_{f_{\text{max}}} - (\sigma_{\text{ice}})_{b_{\text{max}}}) \quad [\text{MPa}] \quad (27)$$

(σ_{ice})_{max} adalah nilai rata-rata amplitudo tegangan utama yang dihasilkan dari gaya desain daun maju dan berputar balik (F_f dan F_b) di lokasi yang sedang dikaji.

(σ_{ice})_{f_{max}} adalah tegangan utama yang dihasilkan dari beban maju (F_f)

(σ_{ice})_{b_{max}} adalah tegangan utama yang dihasilkan dari beban berputar balik (F_b)

Dalam perhitungan (σ_{ice})_{max}, kasus 1 dan kasus 3 (atau kasus 2 dan kasus 4) dianggap sebagai pasangan untuk perhitungan (σ_{ice})_{f_{max}} dan (σ_{ice})_{b_{max}}. Kasus 5 dikecualikan dari analisa lelah.

Perhitungan parameter ρ untuk kurva S-N dua kemiringan

Parameter ρ menghubungkan beban es maksimum dengan distribusi beban es menurut rumus regresi.

$$\rho = C_1 \cdot (\sigma_{\text{ice}})_{\text{max}}^{C_2} \cdot \sigma_{\text{fl}}^{C_3} \cdot \log(N_{\text{ice}})^{C_4} \quad (28)$$

dimana

$$\sigma_{\text{fl}} = \gamma_{\varepsilon} \cdot \gamma_v \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{\text{exp}} \quad [\text{MPa}] \quad (29)$$

dimana γ_ε adalah faktor reduksi untuk efek acak (*scatter*) dan ukuran spesimen uji

γ_v adalah faktor reduksi untuk variabel amplitudo pembebanan

γ_m adalah faktor reduksi tegangan rata-rata

σ_{exp} adalah kekuatan lelah rata-rata material daun pada 10^3 cycles terhadap kegagalan dalam air laut (lihat [Tabel 13.21](#)).

Nilai-nilai berikut harus digunakan untuk faktor reduksi jika nilai yang sebenarnya tidak tersedia:

$$\gamma_e = 0,67,$$

$$\gamma_v = 0,75, \text{ dan } \gamma_m = 0,75.$$

Koefisien C_1, C_2, C_3 , dan C_4 diberikan dalam [Tabel 13.21](#).

Tabel 13.21

	Propeler terbuka	Propeler dengan saluran
C_1	0,000711	0,000509
C_2	0,0645	0,0533
C_3	-0,0565	-0,0459
C_4	2,22	2,584

Perhitungan parameter ρ untuk kurva S-N kemiringan konstan

Untuk material dengan kurva S-N kemiringan konstan - lihat [Gambar. 13.5](#) - faktor ρ harus dihitung dengan rumus berikut:

$$\rho = \left(G \frac{N_{ice}}{N_R} \right)^{\frac{1}{m}} (\ln(N_{ice}))^{-1/k} \quad (30)$$

dimana:

k adalah parameter bentuk distribusi Weibull $k = 1,0$ untuk propeler dengan saluran dan $k = 0,75$ untuk propeler terbuka. N_R adalah jumlah beban cycles (= 100 million)

Nilai untuk parameter G diberikan dalam [Tabel 13.22](#). Interpolasi linear dapat digunakan untuk menghitung nilai G untuk rasio m/k selain yang diberikan dalam [Tabel 13.22](#).

Tabel 13.22 Nilai untuk parameter G untuk rasio m/k yang berbeda

m/k	G	m/k	G	m/k	G
3	6	5,5	287,9	8	40320
3,5	11,6	6	720	8,5	119292
4	24	6,5	1871	9	362880
4,5	52,3	6	5040	9,5	1,133E6
5	120	7,5	14034	10	3,623E6

6.2.5 Kriteria penerimaan untuk lelah

Tegangan lelah yang setara di semua lokasi pada daun harus memenuhi kriteria penerimaan berikut:

$$\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{fat}} \geq 1,5 \quad (31)$$

dimana

$$\sigma_{fl} = \gamma_e \cdot \gamma_v \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{exp} [\text{MPa}] \quad (32)$$

Simbol-simbol sesuai [6.2.4](#)

6.3 Bos propeler dan mekanisme CP

Baut-baut daun, mekanisme CP, bos propeler dan fitting dari poros propeler harus dirancang untuk menahan beban maksimum dan beban lelah desain, sebagaimana didefinisikan dalam [5](#). Faktor keselamatan terhadap keluluan S_Q harus lebih besar dari 1,3 dan terhadap lelah S_F lebih besar dari 1,5. Selain itu, faktor keamanan untuk beban yang dihasilkan dari kerugian daun propeler (F_{ex}) akibat *plastic bending* sebagaimana didefinisikan dalam [5.4](#) S_{Fex} harus lebih besar dari 1,0 terhadap peluluan.

Tabel 13.23 Tegangan σ_{exp} untuk material yang berbeda

σ_{exp} untuk jenis material yang berbeda			
Perunggu dan kuningan ($a = 0,10$)		baja tahan karat ($a = 0,05$)	
Mn-Bronze, CU1 (kuningan tarikan tinggi)	72 MPa	Martensit (12Cr 1Ni)	95 MPa
Mn-Ni-Bronze, CU2 (kuningan tarikan tinggi)	72 Mpa	Martensit (13 Cr 1Ni/13Cr 6Ni)	120 Mpa
Ni-Al-Bronze, CU3	110	Martensit (16Cr 5Ni)	131 Mpa
Mn-Al-Bronze, CU4	80 MPa	Austenitic (19Cr 10Ni)	105 MPa

6.3.1 Pemasangan daun Propeler

Daun propeler harus secara normal dipasang menggunakan pin geser (*shear pin*) dan baut-baut penahan daun. Diameter inti mur dari baut-baut penahan daun harus tidak kurang dari

$$d_{bb} = 41 \cdot \sqrt{\frac{F_{ex} \cdot S_{Fex} \cdot (0,8D-d) \cdot \alpha_A}{\sigma_{yield} \cdot Z_{bb} \cdot PCD}} \quad (33)$$

dimana:

- F_{ex} = sesuai dengan [5.4](#) [kN]
 PCD = diameter lingkaran pitch dari lubang-lubang baut [m]
 Z_{bb} = jumlah baut
 α_A = faktor pengetatan baut (bandingkan [Bab 6](#))
 α_{yield} = kekuatan luluh material baut [MPa]

6.3.2 Mekanisme CP

Torsi spindle maksimum yang dihasilkan dari kekuatan lentur daun (F_{ex}) yang diterapkan sebagaimana didefinisikan dalam [5.4](#) tidak boleh menyebabkan komponen-komponen transmisi mengalami peluluan. Pengurangan puntir spindle akibat gesekan antara daun, *blade carrier* dan hub dapat diperhitungkan dengan menerapkan koefisien gesek $\mu = 0,1$.

.1 Shear pins daun

Diameter minimum yang diperlukan *shear pin* antara daun dan *blade carrier* dapat ditentukan sesuai dengan rumus berikut:

$$d_{sp} = 51 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\sigma_{yield} \cdot Z_{sp} \cdot PCD}} \quad (34)$$

dimana

- Q = max ($Q_{Smax} \cdot S_Q; Q_{SFex} \cdot S_{Fex}$) puntir spindle maksimum yang diperbesar dengan faktor keselamatan
- Q_{SFex} = $Fex \cdot Im$ [kNm]
- Im = maksimum dari 2/3 jarak antara sumbu spindle daun dan masing-masing leading dan trailing edge, diukur pada $0,8 R$ [m]
- Z_{sp} = jumlah *shear pin*
- PCD = diameter lingkaran pitch dari lubang shear pin [m]
- α_{yield} = kekuatan luluh material pin [MPa]

Penurunan puntir spindle Q karena gesekan antara flensa daun dan *blade carrier* yang disebabkan oleh kekuatan klem baut daun dapat dipertimbangkan.

.2 Pin penggerak

Diameter minimum dan tinggi maksimum dari masing-masing pin penggerak, harus sedemikian rupa sehingga kondisi berikut dipenuhi:

$$\sigma_r = 1800 \cdot \frac{F_p}{d_p^2} \sqrt{\left(\frac{hp}{dp}\right)^2 + 1,5} \text{ [Mpa]} \quad (35)$$

dimana:

- d_p = diameter pin penggerak [mm]
- h_p = ketinggian pin penggerak [mm]
- F_p = gaya maksimum pada 1/3 ketinggian pin yang diperkuat dengan masing-masing faktor keselamatan
- = Max ($Q_{Smax} \cdot S_Q; Q_{SFex} \cdot S_{Fex}$) / I_p [kN] (36)
- I_p = jarak pin penggerak dan sumbu spindle [m]

Pemicu tegangan harus dipertimbangkan dalam perhitungan kelelahan. Distribusi beban Weibull harus diterapkan untuk analisis kelelahan berdasarkan amplitudo torsi spindle yang dihasilkan dari penerapan [rumus \(5\)](#) untuk F_f dan F_b . Jumlah siklus beban harus diambil seperti yang diberikan dalam [5.1.7](#). Untuk baja tuang dan tempa biasanya amplitudo tertinggi dengan jumlah siklus terendah akan digunakan untuk menentukan ukuran.

6.4 Jalur poros propulsi

Poros dan komponen sistem poros, seperti bantalan tekan dan tabung buritan, kopling, flensa dan penyeigelan, harus dirancang untuk menahan beban interaksi propeler dan es seperti yang diberikan dalam [5](#). Faktor keamanan harus setidaknya $S_Q = 1,3$.

6.4.1 Poros dan komponen poros

Beban akhir yang dihasilkan dari kegagalan total daun sebagaimana didefinisikan dalam 5.4 tidak boleh menyebabkan peluluhan pada poros dan komponen poros. Pembebaan harus terdiri dari gabungan beban aksial, lentur, dan puntir, selama hal ini signifikan. Faktor keselamatan minimum terhadap peluluhan $S_{Fex} = 1,0$ untuk tegangan lentur dan puntir. Jika detail beban puntir sesuai 5.3.2 tidak dapat ditentukan, perhitungan puntir alternatif menurut 5.3.3 dapat diterapkan.

6.5 Persyaratan detail sebagai tambahan dari FSICR

6.5.1 Pemasangan Propeler

Dimana propeler dipasang pada poros propeler dengan metode injeksi minyak, tekanan kontak yang diperlukan P_E [N/mm²] di area diameter tirus rata-rata $d_{\Theta\text{mean}}$ ditentukan dengan [rumus \(37\)](#).

dimana:

$$P_E = \frac{\sqrt{\Theta^2 \cdot T_r^2 + f \cdot (K_r^2 + T_r^2)} - \Theta \cdot T}{0,001 \cdot A \cdot f} \quad (37)$$

dimana:

K_r = gaya tangensial di area kontak

$$K_r = \frac{Q_{\text{peak}}}{\left(\frac{d_{\Theta\text{mean}}}{2}\right)} \quad (38)$$

A, Θ = lihat [Bab 6](#)

$d_{\Theta\text{mean}}$ = diameter kerucut rata-rata [m]

Perhitungan harus dilakukan untuk T_r sesuai dengan [rumus \(12\)](#) dan [\(13\)](#). T_r bernilai positif jika respon gaya dorong meningkatkan tekanan permukaan pada tirus, dan bernilai negatif jika respon gaya dorong menurunkan tekanan permukaan. Tekanan permukaan tertinggi yang dihitung harus direalisasikan sebagai nilai minimum.

$$f = \left(\frac{\mu_o}{S}\right)^2 - \Theta^2 \quad (39)$$

Faktor keamanan harus bernilai minimum $S = 2,0$, akan tetapi $S Q_{\text{peak}} \geq 2,8 \cdot Q_e \text{ max}$ harus dapat dipastikan.

Simbol lainnya sesuai dengan [Bab 4](#) dan [Bab 6](#).

Koneksi menggunakan pasak dapat diterapkan, asalkan puntir puncak Q_{peak} ditransmisikan melalui gesekan. Koneksi menggunakan pasak tidak diizinkan untuk klas es ES4.

6.5.2 Poros propulsii

Diameter poros polos (*plain shaft*) diujung belakang harus minimal mematuhi diameter yang dihitung sesuai dengan

$$d_{sp} = 140 \cdot \sqrt[6]{\left(F_{ex} \cdot S_{Fex} \cdot \frac{D}{\sigma_{yield}} \right)^2 + 5,6 \cdot \left(\frac{Q_r \cdot S_Q}{\sigma_{yield}} \right)^2} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{1 - \frac{d_i^4}{d_{ps}^4}}} \quad (40)$$

dimana:

$$d_i = \text{diameter poros dalam [mm]}$$

Didepan bantalan tabung buritan belakang, diameter dapat dikurangi berdasarkan pada asumsi bahwa momen lentur berkurang secara linear menjadi 20% pada bantalan berikutnya dan didepan ini secara linear menjadi nol pada bantalan ketiga.

6.5.3 Poros dengan beban puntir

Ketika poros terkena beban puntir saja, diameter poros polos dapat dihitung menurut persamaan (40), sedangkan $F_{ex} = 0$ dan Q_r digantikan oleh Q_{peak} .

6.5.4 Perhitungan kelelahan poros

Distribusi beban sebagaimana didefinisikan dalam 5.1.6, berdasarkan Q_{max} dan dengan sekurang-kurangnya 20 langkah beban $Q_{max,i}$. Beban dari getaran puntir dalam kondisi perairan terbuka (lihat Bab 16) harus dipertimbangkan. Dimana lenturan dan amplitudo puntir terjadi, keduanya harus diperhitungkan. Amplitudo lenturan maksimum harus ditentukan dari F_b dan F_f . Distribusi beban menurut 5.1.6 harus diterapkan.

Metode untuk penentuan amplitudo beban yang setara, seperti DIN 743-4, dapat digunakan. Semua pem-icu tegangan harus diperhitungkan.

6.5.5 Koneksi poros

Faktor keselamatan berikut terhadap slip harus ditunjukkan:

$$S_{fat} = 1,5 \text{ untuk rentang antara permesinan utama dan (termasuk) roda gigi,}$$

$$S_Q = 1,3 \text{ untuk rentang yang tersisa dan perangkat tanpa roda gigi}$$

.1 Shrink fit

Perhitungan shrink fit dapat dilakukan menurut rumus (37) termasuk faktor keselemanan $S = 2,0$, namun $S \cdot Q_{peak} \geq 2,5 \cdot Q_{e,max}$ harus dipastikan. Beban aksial (T_r) dan puntir (Q_{peak}) masing-masing, yang terjadi pada fit, harus diterapkan. Jika tidak ada simulasi dinamis yang harus dilakukan, estimasi puntir sesuai dengan paragraf 5.3.1 dapat diterapkan.

.2 Koneksi pasak

Koneksi pasak dapat diterapkan, asalkan respon puntir lokal maksimum Q_{peak} ditransmisikan melalui gesekan dan pada kasus klas es ES4, perbaikan darurat dapat dilakukan tanpa pengedokan.

.3 Koneksi Flensa

Bab 4.D.4. harus diterapkan sebagaimana mestinya.

- 1) Setiap penambah tegangan tambahan seperti dudukan (recesses) untuk kepala baut harus tidak mengganggu flensa fillet.
- 2) Radius flensa fillet sekurang-kurangnya 10% dari diameter poros.

- 3) Diameter *ream fitted (light press fit)* harus dipilih sehingga puntir puncak Q_{peak} (Lihat 5.3.5) tidak menyebabkan tegangan geser diluar kekuatan luluh material baut dengan faktor keselamatan $S_Q = 1,3$.
- 4) Baut harus didesain sehingga beban kegagalan daun F_{ex} (lihat 5.4) ke segala arah (maju atau putar balik) tidak menyebabkan peluluhan dari baut atau bukaan flensa.

Propeler flensa dan hub *controllable pitch propellers* harus dipasang dengan menggunakan *fitted pins* dan baut penahan (sebaiknya baut tanpa ulir). Diameter yang dipersyaratkan d_{sp} *fitted pins* harus ditentukan dengan menerapkan [rumus \(41\)](#).

$$d_{sp} = 67 \sqrt{\frac{Q_{peak} \cdot S_Q}{PCD \cdot Z_{sp} \cdot \sigma_{yield}}} \quad (41)$$

dimana:

- d_{sp} = diameter pangkal pin geser [mm]
PCD = diameter lingkaran pitch baut [m]
 Z_{sp} = jumlah pin geser
 σ_{yield} = kekuatan luluh material pin geser [MPa]

Diameter inti mur d_k dari baut flensa propeler harus tidak kurang dari

$$d_k = 41 \sqrt{\frac{F_{ex} \cdot \left(0,8 \frac{D}{PCD} + 1\right) \cdot \alpha_A}{\frac{\sigma_{yield}}{S_{Fex}} \cdot Z_b}} \quad [\text{mm}] \quad (42)$$

dimana:

- PCD = diameter lingkaran pitch baut [m]
 Z_b = jumlah baut
 α_A = faktor aplikasi lihat [Bab 6](#)
 σ_{yield} = kekuatan luluh material baut [MPa]

6.6 Penggerak utama Azimuth

Selain persyaratan-persyaratan di atas, pertimbangan khusus harus diberikan untuk kasus pembebanan yang luar biasa untuk unit propulsi bila dibandingkan dengan propeler konvensional. Estimasi kasus pembebanan harus menunjukkan cara pengoperasian kapal dan *thruster*. Dalam hal ini, misalnya, beban yang disebabkan oleh tumbukan blok es pada hub propeler dari propeler penarik (*pulling propeller*) harus diperimbangkan. Selanjutnya, beban yang dihasilkan dari *thruster* yang beroperasi pada kemiringan sudut aliran harus dipertimbangkan. Mekanisme kemudi, pemasangan unit ke lambung kapal, dan bodi *thruster* harus didesain untuk menahan hilangnya daun tanpa kerusakan. Hilangnya daun harus dipertimbangkan terhadap orientasi daun propeler yang menyebabkan beban maksimum pada komponen yang dipelajari. Biasanya, orientasi daun atas-bawah menempatkan beban teuk maximum pada bodi *thruster*.

Thruster azimut juga harus didesain untuk beban yang diperkirakan yang disebabkan oleh *thruster* bodi/es. *Thruster* harus dapat menahan beban yang diperoleh ketika blok es maksimum, yang diberikan pada [3](#), mengenai bodi *thruster* ketika kecepatan kapal pada kecepatan operasi es tertentu. Selain itu, situasi desain dimana lapisan es meluncur sepanjang lambung kapal dan menekan bodi *thruster* harus dipertimbangkan.

Ketebalan lapisan harus diambil sebagai ketebalan blok es maksimum yang memasuki propeler, sebagaimana didefinisikan pada 3.

6.7 Getaran

Sistem propulsi harus didesain sedemikian rupa sehingga sistem dinamis lengkap bebas dari resonansi putir, aksial, dan lentur yang berbahaya pada frekuensi daun orde ke satu dalam rentang kecepatan berjalan yang didesain, diperbesar hingga 20 persen di atas dan di bawah maksimum kecepatan putaran operasi minimum. Jika kondisi ini tidak dapat dipenuhi, analisis getaran terperinci harus dilakukan untuk menentukan bahwa kekuatan dari komponen yang dapat diterima dapat tercapai.

7. Prosedur desain alternatif

7.1 Ruang Lingkup

Sebagai alternatif untuk 5 dan 6, studi desain yang komprehensif dapat dilakukan demi memenuhi BKI. Studi ini harus didasarkan pada kondisi es yang diberikan untuk klas es yang berbeda pada 3. Hal ini harus mencakup perhitungan desain beban lelah dan beban maksimum dan memenuhi prinsip kekuatan piramida, seperti yang diberikan pada 6.1.

7.2 Pembebanan

Beban pada daun propeler dan sistem propulsi harus didasarkan pada perkiraan beban hidrodinamika dan es yang dapat diterima.

7.3 Level desain

Analisis ini harus menunjukkan bahwa semua komponen yang mentransmisikan gaya acak (khusus), tidak termasuk daun propeler, tidak mengalami level tekanan yang berlebihan dari tegangan luluh material komponen, dengan batas keselamatan yang wajar.

Perhitungan kerusakan kelelahan kumulatif adalah untuk menunjukkan faktor keselamatan yang wajar. Karena pertimbangan harus diambil dari sifat material, penambahan tegangan, dan peningkatan kelelahan.

Analisis getaran harus dilakukan dan untuk menunjukkan bahwa sistem dinamis lengkap bebas dari resonsansi torsional berbahaya yang dihasilkan dari interaksi propeler/es.

7.4 Keausan daun

Jika ketebalan aktual dalam sevis dibawah 50% pada ujung daun atau 90% pada jari-jari lain dari nilai yang diperoleh dari 6.2, langkah-langkah penanganan harus diambil. Penguatan es menurut 6.2 tidak akan dipengaruhi oleh kelonggaran tambahan untuk abrasi.

Catatan:

Jika propeler mengalami keausan yang substansial, misalnya abrasi pada pasang surut atau dalam kasus kapal keruk, kelonggaran keausan harus ditambahkan ke ketebalan daun yang ditentukan untuk mencapai waktu servis yang memadai sehubungan dengan 7.4.

8. Roda gigi

8.1 Umum

Roda gigi pada perangkat propulsi utama kapal dengan klas es ES1, ES2, ES3 dan ES4 harus dari desain yang diperkuat. Selain penguatan yang dijelaskan di sini untuk desain gigi, poros gigi dan *shrink fits*, komponen

lain dari roda gigi-roda gigi tersebut, misalnya kampas kopling, bantalan, selubung dan sendi baut, harus juga dirancang untuk menahan beban yang meningkat yang terjadi ketika melakukan pelayaran di es.

8.2 Perhitungan Penguatan puntir respon gigi Q_{rg}

$$Q_{rg} = Q_{emax} + 0,75 \cdot Q_{max} \cdot \frac{I_H \cdot u^2}{I_L + I_H \cdot u^2} \geq K_A \cdot Q_n \quad [kNm] \quad (43)$$

- Q_{rg} = puntir respon pada roda gigi yang mengacu ke rpm propeler [kNm]
 Q_n = puntir nominal mesin propulsi pada kondisi MCR yang mengacu pada rpm propeler [kNm]
 Q_{max} = puntir maksimum es [kNm], lihat [5.3.2, 5.3.3](#)
 I_H = momen massa inersia dari semua komponen yang berputar pada rpm *input* [kgm²]
 I_L = momen massa inersia semua komponen yang berputar pada rpm *output* (termasuk propeler dengan air yang tertahan) [kgm²]
 K_A = faktor aplikasi sesuai dengan [Bab 5, Tabel 5.3](#)
 u = rasio roda gigi (rpm *input*/rpm *output*)

Faktor penguatan klas es untuk sistem gigi

Spektrum puntir untuk roda gigi output didefinisikan sebagai berikut:

- Q_{rg} dengan siklus N_{Zice}
- $K_A \cdot Q_n$ dengan $N_\infty - N_{ice}$ siklus (jika $N_\infty > N_{Zice}$)

dimana:

- N_{Zice} = jumlah beban es pada roda gigi output, lihat [5.1.7](#)
 N_∞ = jumlah cycles untuk operasi terbatas (sesuai ISO 6335 - Pt. 6)

Untuk dimensi dari sistem gigi, faktor penguatan klas es berikut harus digunakan.

$$K_E = \frac{Q_{eq,g}}{Q_{emax}} \quad (44)$$

- K_E = faktor penguatan klas es untuk sistem gigi
 $Q_{eq,g}$ = puntir gigi yang setara [kNm] (harus dihitung dari spektrum puntir gigi sesuai dengan ISO 6336 Pt. 6)

Untuk pinion dan roda dengan kecepatan yang lebih tinggi, jumlah cycles beban (dan puntir) ditentukan dengan perkalian (dan juga pembagian) dengan rasio roda gigi.

Faktor penguatan klas es untuk poros, kampas dan kopling

Untuk dimensi poros, kampas dan kopling dengan roda gigi dan antara gigi dan mesin, faktor penguatan klas es berikut harus digunakan.

$$K_E = \frac{Q_{rg}}{Q_n} \geq K_A \quad (45)$$

8.2.1 Sistem gigi

Faktor keselamatan yang dihitung untuk pangkal gigi dan tekanan sayap harus memenuhi persyaratan yang dinyatakan pada Bab 5, Tabel 5.1 ketika faktor aplikasi K_A digantikan oleh faktor penguatan klas es K_E yang dihitung dalam persamaan (5.1) dan (5.3).

8.2.2 Poros Roda Gigi

$$d_E = q_E \cdot d \quad (46)$$

d_E = diameter poros roda gigi yang ditingkatkan [mm]

d = diameter poros roda gigi sesuai dengan Bab 5, D.1. [mm]

$$q_E = 0,84\sqrt[3]{K_E} \geq 1,0 \quad (47)$$

K_E = faktor penguatan klas es sesuai dengan rumus (44)

8.2.3 Shrink fits

Shrink fits dalam roda gigi dapat dihitung dengan rumus (37) termasuk faktor keselamatan $S = 2,0$, namun $S \cdot Q_{peak} \geq 3,0$. $Q_{e\max}$ harus dapat dipastikan. Beban aksial (T_r) dan puntir (Q_{peak}) beban, yang bekerja di lokasi pemasangan, harus diterapkan.

Gaya gigi aksial harus dipertimbangkan.

8.2.4 Clutches

Untuk perangkat dengan faktor penguatan klas es yang dihasilkan $K_E \geq 1,4$ statis dan gesekan puntir dinamis yang diperlukan menurut Bab 5, G.4.3.1 harus ditingkatkan dengan $K_E/1,4$.

9. Kopling fleksibel

Kopling fleksibel dalam instalasi propulsi utama harus didesain sehingga, mengingat beban pada kopling karena getaran puntiran di T_{Nenn} , kopling tersebut mampu menahan guncangan puntir secara singkat dan aman sebesar T_E [Nm]:

$$T_E = K_E \cdot T_{Nenn} \quad (48)$$

dimana:

$$T_E \leq T_{Kmax1}$$

K_E = faktor penguatan klas es sesuai dengan rumus (44)

T_{Nenn} = puntir penggerak [Nm]

T_{Kmax1} = puntir kopling yang diperbolehkan untuk kondisi transien normal [Nm]

10. Kotak laut, katup buang dan sistem air pendingin

Untuk kotak laut dan katup buang Bab 11.I.2. harus ditaati. Sistem air pendingin harus didesain sedemikian rupa, sehingga air pendingin dapat tersedia dengan cukup, saat kapal berlayar di es.

11. *Steering gear*

Desain dimensi komponen *steering gear* harus memperhitungkan diameter tongkat kemudi yang ditentukan dalam [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#), Bab. 14 dan 15.

12. Penggerak Propeler elektrik

Untuk kapal dengan penggerak propeler elektrik, lihat [Rules for Electrical Installation \(Pt.1, Vol.IV\)](#), Sec. 13.

13. *Thruster Lateral*

Penguatan es dari bagian permesinan *thruster lateral* tidak dipersyaratkan selama *thruster* dilindungi dari kontak es dengan sarana yang sesuai, seperti kisi-kisi di *inlet* terowongan.

Jika tidak ada perlindungan semacam itu, seperti yang disebutkan diatas. Peraturan untuk perangkat propulsi utama dengan propeler *ducted* harus diterapkan.

Penguatan es dengan kisi-kisi harus dipertimbangkan sesuai dengan persyaratan lambung.

D. Penguatan yang diperlukan untuk Klas Es ES

1. Poros propeler, poros antara, poros dorong

1.1 Umum

Penguatan propeler poros yang diperlukan sesuai dengan [rumus \(1\)](#), bersama dengan rumus dan faktor yang ditentukan dalam [Bab 4.C.2](#), diterapkan pada area dari bantalan tabung buritan belakang atau bantalan lutut poros sampai tepi beban bantalan depan propeler atau dari flensa kopling poros propeler belakang yang mempunyai area minimum $2,5 \cdot d$.

Diameter bagian yang bersebelahan dari poros propeler ke titik dimana poros meninggalkan tabung buritan dapat didesain dengan faktor penguatan klas es 15% kurang dari yang dihitung dengan [rumus \(2\)](#). Bagian dari poros propeler yang terletak didepan tabung buritan dapat dianggap sebagai poros antara.

Poros antara dan dorong tidak perlu diperkuat.

1.2 Penguatan

$$d_E = C_{EW} \cdot d \quad (1)$$

d_E = diameter propeler yang meningkat, poros antara atau dorong [mm]

d = diameter poros menurut [Bab 4.C.2](#). [mm]

C_{EW} = faktor penguatan klas es

$$c \cdot \sqrt[3]{1 + \frac{85 \cdot m_{Es}}{P_w^{0,6} \cdot n_2^{0,2}}} \geq 1,0 \quad (2)$$

P_w = daya mesin utama [kW]

n_2 = kecepatan poros propeler [Rpm]

m_{Es} = faktor klas es menurut [Tabel 13.24](#)

c = 0,7 untuk gigi *shrink fit*

- = 0,71 untuk poros propeler dari *fixed-pitch propellers*
- = 0,78 untuk poros propeler dari *controllable pitch propellers*

Dalam kasus propeler *ducted*, nilai c dapat dikurangi sebesar 10%.

Tabel 13.24 Nilai dari faktor klas es m_{ice}

Klas es	ES	ES1	ES2	ES3	ES4
m_{ice}	8	12	13	16	21

2. Shrunk joints

Ketika mendesain *shrink fits* dalam sistem poros dan kotak roda gigi, tekanan yang diperlukan per satuan area P_E . [N/mm²] harus dihitung sesuai dengan [Rumus \(3\)](#).

$$P_E = \frac{\sqrt{\Theta^2 + T^2 \cdot f \cdot (c_A^2 \cdot c_e^6 \cdot Q^2 + T^2)} - \Theta \cdot T}{A \cdot f} \quad (3)$$

T harus dimasukkan sebagai nilai positif, jika propeler *thrust* meningkatkan tekanan permukaan pada tirus. Perubahan arah gaya aksial diabaikan sejauh kinerja dan *thrust* pada dasarnya kurang.

T harus dimasukkan sebagai nilai negatif, jika gaya aksial mengurangi tekanan permukaan pada tirus, misalkan untuk *tractor propeller*.

$$f = \left(\frac{\mu_o}{s} \right)^2 - \Theta^2 \quad (4)$$

Untuk perangkat propulsi yang dipasang langsung dengan rentang kecepatan yang dibatasi harus dikonfirmasi dengan perhitungan terpisah bahwa getaran puntir di resonansi utama ditransmisikan dengan keselamatan. Sebagai bukti hal ini, keselamatan terhadap slip untuk transmisi puntir harus setidaknya $S = 2,0$ (bukan $S = 2,5$), koefisien c_A dapat diatur ke 1,0. Untuk bukti tambahan ini, pengaruh masing-masing *thrust* dapat diabaikan.

c_A = lihat [Bab 4](#)

$$c_e = 0,89 \times C_{EW} \geq 1,0 \quad (5)$$

C_{EW} harus dihitung sesuai dengan [1.2](#), nilai yang lebih tinggi dari ujung poros terhubung harus diambil untuk kopling

Simbol lainnya sesuai dengan [Bab 4.D.4](#).

3. Propeler

3.1 Umum

Propeler kapal dengan klas es ES harus terbuat dari paduan tembaga cor atau baja paduan cor yang ditentukan dalam [Bab 6](#).

3.2 Penguatan

3.2.1 Bagian daun

$$t_E = C_{EP} \cdot t \text{ [mm]} \quad (6)$$

= peningkatan ketebalan penampang daun

T = ketebalan penampang daun sesuai dengan Bab 6.C.2.

Jika $C_{EP} \leq C_{dyn}$ kemudian

$$t_E = t$$

Jika $C_{EP} > C_{dyn}$ kemudian

$$t_E = (C_{EP})/C_{dyn} \cdot t$$

C_{EP} = faktor penguatan klas es

$$f \cdot \sqrt{1 + \frac{21 \cdot z \cdot m_{ice}}{P_w^{0,6} \cdot n_2^{0,2}}} \geq 1,0 \quad (7)$$

f = 0,62 untuk solid propellers

= 0,72 untuk controllable pitch propellers

Dalam kasus propeler *ducted*, nilai f dapat dikurangi sebesar 15%.

z = jumlah daun

m_{ice} , P_w , n_2 = lihat 1.2

C_{dyn} = faktor dinamis sesuai dengan Bab 6, rumus (3)

3.2.2 Ujung Daun

$$t_{1,0E} = \sqrt{\frac{500}{C_w}} \cdot (0,002 \cdot D + t') \quad (8)$$

$t_{1,0E}$ = ujung daun yang diperkuat [mm]

t = peningkatan ketebalan [mm]

= 10 untuk klas es ES

D = diameter propeler [mm]

C_w = faktor material sesuai dengan Bab 6.C.1, Tabel 6.1 [N/mm²]

Dalam kasus propeler *ducted*, ketebalan ujung daun dapat dikurangi sebesar 15%.

3.2.3 Tepi *Leading* dan *trailing*

Ketebalan tepi *leading* dan *trailing* propeler *solid* dan ketebalan tepi *leading* *controllable pitch propeller* harus, sama untuk klas es ES sampai sekurang-kurangnya 35% dari ujung daun $t_{1,0E}$ bila diukur pada jarak 1,25 xt 1,0E dari tepi daun. Untuk propeler *ducted*, penguatan di tepi *leading* dan *trailing* harus didasarkan pada ketebalan ujung yang tak dikurangi menurut rumus (8).

3.2.4 Keausan Daun

Jika ketebalan yang aktual dalam servis di bawah 50% di ujung daun atau 90% di jari-jari lain dari nilai yang diperoleh dari 3.2, langkah-langkah penanganan terkait harus diambil. Faktor penguatan es menurut 3.2 tidak boleh dipengaruhi oleh kelonggaran tambahan untuk abrasi.

Catatan:

Jika propeler mengalami keausan substansial, misalnya abrasi di basah dan kering atau dalam kasus kapal keruk, tambahan keausan harus ditambahkan ke ketebalan daun yang ditentukan harus ditingkatkan untuk mencapai waktu servis yang memadai sehubungan dengan [3.2.4](#)

3.2.5 Pemasangan Propeler

Jika propeler dipasang pada poros propeler dengan metode injeksi minyak, tekanan yang diperlukan per satuan area P_E [N/mm²] di area diameter tirus rata-rata harus ditentukan dengan [rumus \(9\)](#).

$$P_E = \frac{\sqrt{\Theta^2 + T^2 \cdot f \cdot (c_A^2 \cdot c_e^6 \cdot Q^2 + T^2)} - \Theta \cdot T}{A \cdot f} \quad (9)$$

T harus dimasukkan sebagai nilai positif, jika propeler *thrust* meningkatkan tekanan permukaan pada tirus. Perubahan arah dari propeler *thrust* harus diabaikan selama kinerja dan *thrust* pada dasarnya lebih sedikit.

T harus dimasukkan sebagai nilai negatif, jika propeler *thrust* mengurangi tekanan permukaan pada tirus, misalnya untuk *tractor propeller*.

$$f = \left(\frac{\mu_o}{S} \right)^2 - \Theta^2 \quad (10)$$

Untuk perangkat propulsi yang dipasang langsung dengan rentang kecepatan yang dibatasi harus dikonfirmasi dengan perhitungan terpisah bahwa getaran puntir di resonansi utama ditransmisikan dengan aman.

c_e faktor penguatan klas es sesuai dengan [rumus \(5\)](#).

Simbol-simbol lainnya sesuai dengan [Bab 6](#).

Dalam kasus propeler *flanged*, diameter yang diperlukan d_{SE} dari pin keselarasan harus ditentukan dengan menerapkan [rumus \(11\)](#).

$$d_{SE} = C_{EW}^{1.5} \cdot d_s \quad (11)$$

d_{SE} = diameter pangkal yang diperkuat dari pin keselarasan [mm]

d_s = diameter keselarasan pin untuk memasang propeler sesuai dengan [Bab 4.D.4.2.](#) [mm]

C_{EW} = faktor penguatan klas es sesuai dengan [rumus \(2\)](#).

Simbol-simbol lainnya sesuai dengan [Bab 6](#).

4. Roda gigi

4.1 Umum

Roda gigi di perangkat propulsi utama kapal dengan klas es tidak boleh diperkuat.

5. Kotak laut dan katup buang

Kotak laut dan katup buang harus didesain sesuai dengan [Bab 11.I.2](#).

6. Steering gear

Desain dimensi komponen steering gear harus memperhitungkan diameter tongkat kemudi yang ditentukan dalam [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.14](#) dan [15](#).

7. Penggerak propeler elektrik

Untuk kapal dengan penggerak propeler elektrik, lihat Rules for Electrical Installation (Pt.1, Vol.IV), Sec.13.

Bab 14 **Steering Gears, Unit Kemudi Propeler, Unit Pendorong Lateral, Winches, Sistem Kontrol Hidrolik, Sistem Kontrol Pintu Kebakaran, Stabilisator**

A.	<i>Steering Gear</i>	14-1
B.	Unit Propeler Kemudi	14-11
C.	Unit Dorong Lateral	14-14
D.	Mesin Kerek	14-16
E.	Derek	14-25
F.	Sistem Hidrolik	14-25
G.	Sistem Kendali Pintu Kebakaran	14-33
H.	Stabilisir	14-35

A. *Steering Gear*

1. Umum

1.1 Ruang Lingkup

Persyaratan yang terdapat dalam A. berlaku untuk perangkat *steering gear* termasuk semua peralatan yang digunakan untuk mengoperasikan kemudi, stasiun kemudi dan semua elemen transmisi dari stasiun kemudi sampai ke *steering gear*. Untuk penganturan kemudi dan manuver, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec. 14](#).

Persyaratan yang ditetapkan dalam Peraturan 29 dan 30 dari SOLAS Chapter II-1 sebagaimana diubah dengan IMO resolutions up to MSC.436 (99) (selanjutnya sama) dan pedoman terkait (lihat Annex 2 of IMCO document MSC XLV/4 merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari peraturan ini dan harus diterapkan sepenuhnya.

Untuk unit propulsi terpadu dan kemudi seperti penggerak *azimuth*, *waterjets*, dan lain-lain, interpretasi SOLAS Bab II-1 Peraturan 29 sebagaimana diberikan dalam [Guidance for Code and Convention Interpretation \(Pt.1, Vol.Y\) Sect. 11, SC242](#), harus diterapkan. Lihat juga B.

1.2 Dokumen persetujuan

Gambar-gambar perakitan dan rencana umum dari semua *steering gears*, diagram peralatan hidrolik dan elektrik bersama dengan gambar-gambar detail dari semua komponen transmisi-beban penting harus dikirimkan ke BKI dalam bentuk format elektronik.

Gambar dan dokumen lainnya yang berisi semua informasi berkaitan dengan material, tekanan kerja, laju pengiriman pompa, rating motor penggerak dan lain-lain yang diperlukan untuk memungkinkan dokumentasi harus diperiksa.

Terkait pondasi, lihat [Guidance for Seating of Diesel Engine Installation \(Pt.1, Vol.U\)](#).

2. Material

2.1 Material yang disetujui

2.1.1 *Ram Cylinders, pressure housings* dari *rotary vane* jenis aktuator, katup perpipaan daya hidrolik, flensa dan perlengkapan, dan semua komponen *steering gear* yang mentransmisikan gaya mekanis ke tongkat kemudi (seperti *tillers*, kuadran, atau komponen serupa) harus dari baja cor atau material ulet lainnya yang disetujui memenuhi [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#). Secara umum, material tersebut tidak boleh memiliki elongasi kurang dari 12% atau kekuatan tarik lebih dari 650 N/mm².

Atas persetujuan BKI, besi tuang dapat digunakan untuk komponen tertentu.

Bejana tekan pada umumnya terbuat dari baja, baja cor atau besi cor nodular (dengan matriks feritik dominan).

Untuk struktur yang dilas, [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#) harus diperhatikan.

2.1.2 Selubung dengan bantalan jurnal dan panduan terintegrasi pada kapal dengan sebuah kemudi nosel dan kelas es tidak boleh dibuat dari besi tuang kelabu.

2.1.3 Pipa-pipa hidrolik *steering gears* harus dibuat dari pipa baja yang dilas secara *seamless* atau *longitudinally*. Penggunaan *cold-drawn, annealed tubes* tidak diizinkan

Pada titik dimana pipa mengalami kerusakan, pipa tembaga untuk jalur kendali harus dilengkapi dengan pelindung (*shielding*) dan harus dijaga terhadap pengerasan akibat getaran dengan menggunakan pengencangan yang sesuai.

2.1.4 Perakitan selang tekanan tinggi dapat digunakan untuk sambungan pipa pendek yang sesuai dengan Bab 11.U, jika hal ini diperlukan karena getaran akibat penggunaan ikatan yang fleksibel.

2.1.5 Material yang digunakan untuk komponen bertekanan termasuk segel harus sesuai dengan minyak hidrolik yang digunakan.

2.2 Pengujian material

2.2.1 Material penting dari komponen pemindah gaya yang penting *steering gear* serta selubung bertekanan *steering gears* hidrolik harus diuji di bawah pengawasan BKI sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#).

Untuk pipa minyak bertekanan, persyaratan sesuai dengan [Bab 11, Tabel 11.3](#) harus diperhatikan.

Untuk selubung bertekanan yang dilas, [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#), harus dipertimbangkan.

2.2.2 Dalam kasus steering gears utama kecil dioperasikan dengan tangan dan steering gears bantu yang dioperasikan secara manual, BKI dapat membebaskan pengujian material komponen individu seperti poros roda gigi aksiometer, dan lain-lain.

3. Desain dan peralatan

3.1 Jumlah steering gears

Setiap kapal harus dilengkapi dengan setidaknya satu *steering gear* utama dan satu bantu. Kedua *steering gears* harus independen satu sama lain dan, sedapat mungkin, bekerja secara terpisah dengan tongkat kemudi. BKI dapat menyetujui komponen yang digunakan bersama oleh *steering gear* utama dan bantu.

3.2 Steering gear utama

3.2.1 *Steering gears* utama adalah, kemudi yang sepenuhnya terbenam di air yang tenang, mampu menempatkan kemudi dari *port* 35 derajat kekanan sampai *starboard* 35 derajat dan sebaliknya pada kecepatan kapal yang kemudinya dirancang sesuai dengan *Rules for Hull (Pt.1, Vol.II), Sec. 14*. Waktu yang diperlukan untuk menempatkan kemudi dari *port* 35 derajat kekanan *starboard* 30 derajat atau sebaliknya tidak boleh melebihi 28 detik.

Steering gear utama biasanya dioperasikan sesuai dengan daya nya.

Pada setiap kapal tangki, kapal tangki kimia atau pengangkut gas yang memiliki 10.000 GT keatas dan di setiap kapal lain 70.000 GT keatas, *steering gears* utama harus terdiri dari dua atau lebih unit daya yang identik.

3.2.2 Pengoperasian manual dapat diterima untuk diameter tongkat kemudi hingga 120 mm yang dihitung dari beban puntir sesuai dengan *Rules for Hull (Pt.1, Vol.II), Sec.14.C.1*. Tidak lebih dari 25 putaran roda tangan yang diperlukan untuk menempatkan kemudi dari satu arah posisi ke posisi yang lain. Dengan mempertimbangkan efisiensi sistem, gaya yang dibutuhkan untuk mengoperasikan roda tangan umumnya tidak melebihi 200 N.

3.3 Steering gear bantu

3.3.1 *Steering gears* bantu, dengan kemudi yang sepenuhnya terbenam di air yang tenang, mampu menempatkan kemudi dari port 15 derajat ke 15 derajat starboard atau sebaliknya dalam waktu 60 detik pada 50% kecepatan maksimum kapal, dengan batas minimal kecepatan kapal tujuh knot. *Steering gear* bantu yang dioperasikan secara hidraulik harus dilengkapi dengan sistem perpipaan sendiri yang tidak bergantung pada perangkat kemudi utama. Koneksi pipa atau selang dari *steering gear* harus dapat shut off secara langsung pada selubung bertekanan.

3.3.2 Pengoperasian manual sistem *steering gear* bantu diizinkankan hingga diameter tongkat kemudi secara teoritis 230 mm mengacu pada baja dengan tegangan luluh minimum nominal diatas $ReH = 235 \text{ N/mm}^2$.

3.4 Unit Daya

3.4.1 Jika *steering gears* utama dengan penggerak hidrolik yang dioperasikan dilengkapi dengan dua atau lebih unit daya yang identik, tidak ada *steering gear* bantu yang perlu dipasang asalkan kondisi berikut terpenuhi.

3.4.2 Pada kapal penumpang, persyaratan 3.2.1 dan 4.1 harus dipenuhi saat salah satu unit daya tidak beroperasi.

3.4.3 Pada kapal kargo, unit daya yang dirancang sedemikian rupa sehingga persyaratan 3.2.1 dan 4.1 terpenuhi ketika beroperasi dengan semua unit daya.

Steering gears utama kapal tangki, kapal tangki kimia atau pengangkut gas 10.000 GT ke atas terdiri dari:

- dua sistem penggerak daya independen dan terpisah (unit daya, pipa hidrolik, aktuator daya), masing-masing mampu memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam 3.2.1 dan 4.1, atau
- sekurang-kurangnya dua sistem penggerak daya yang identik, yang bekerja secara simultan dalam operasi normal, harus mampu memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam 3.2.1 dan 4.1.

.1 Dalam hal kegagalan satu komponen dari *steering gear* utama termasuk perpipaan, tidak termasuk tiller kemudi atau komponen serupa serta silinder, rotary vanes dan selubung, sarana harus disediakan untuk mendapatkan kembali kendali dengan cepat dari satu sistem kemudi.

Untuk kapal tangki, kapal tangki kimia atau pengangkut gas 10000 GT ke atas, kemampuan kemudi harus diperoleh kembali dalam waktu 45 detik setelah satu kali kegagalan.

.2 Dalam hal kehilangan oli hidrolik, dimungkinkan untuk mengisolasi sistem yang rusak sedemikian rupa sehingga sistem kendali kedua tetap dapat beroperasi sepenuhnya.

3.5 Batasan sudut kemudi

Sudut kemudi dalam servis normal harus dibatasi oleh perangkat yang dipasang pada *steering gear* (misalnya saklar batas) hingga sudut kemudi 35 derajat di kedua sisi. Penyimpangan dari persyaratan ini hanya diizinkan dengan persetujuan BKI.

3.6 Batas akhir posisi

Untuk pembatasan dengan menggunakan *stopper* pada posisi akhir *tiller* kemudi dan kuadran, lihat [Rules for Hull \(Pt. 1, Vol. II\), Sec 14.G](#).

Dalam kasus *steering gears* hidrolik tanpa batasan posisi ujung *tiller* kemudi dan komponen serupa, perangkat pembatas posisi ujung mekanis harus dipasang di dalam aktuator kemudi.

3.7 Peralatan penguncian

Sistem *steering gear* harus dilengkapi dengan sistem penguncian yang efektif di semua posisi kemudi, lihat juga [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.14.G](#).

Jika instalasi hidrolik dilengkapi dengan *shut-offs* secara langsung pada silinder atau selubung *rotary vane*, peralatan penguncian khusus dapat ditiadakan.

Untuk *steering gears* dengan unit silinder yang dapat dioperasikan secara independen, perangkat *shut-off* ini tidak harus dipasang langsung pada silinder.

3.8 Perlindungan beban lebih

3.8.1 Sistem *steering gear* yang dioperasikan dengan daya harus dilengkapi dengan perlindungan beban lebih (kopling slip, katup pelepas) untuk memastikan bahwa gaya puntir penggerak dibatasi pada nilai maksimum yang diizinkan.

Perangkat proteksi beban lebih harus diamankan untuk mencegah penyetelan ulang oleh orang yang tidak berwenang. Sarana harus disediakan untuk memeriksa pengaturan saat dalam pelayanan.

Selubung bertekanan *steering gears* hidrolik yang juga memenuhi fungsi peralatan penguncian yang disebutkan dalam [3.7](#) harus dilengkapi dengan katup pelepas kecuali jika didesain sedemikian rupa sehingga tekanan yang dihasilkan ketika gaya puntir batas elastis yang diterapkan pada tongkat kemudi tidak dapat menyebabkan retak, deformasi atau kerusakan lain dari selubung bertekanan.

3.8.2 Katup pelepas harus disediakan untuk melindungi setiap bagian dari sistem hidrolik yang dapat diisolasi dan dimana tekanan dapat dihasilkan dari sumber daya atau dari gaya eksternal.

Katup pelepas harus diatur ke nilai tekanan yang sama atau lebih tinggi dari tekanan kerja maksimum tetapi lebih rendah dari tekanan desain *steering gear* (definisi tekanan kerja maksimum dan tekanan desain sesuai dengan [4.1](#)).

Kapasitas buang minimum dari katup tidak boleh kurang dari 1,1 kali kapasitas total pompa, yang dapat melaluinya.

Dengan pengaturan ini setiap tekanan puncak yang lebih tinggi pada 1,1 kali tekanan pengaturan katup tidak diperbolehkan.

3.9 Kendali

3.9.1 Kendali steering gears utama dan bantu harus dilakukan dari stasiun kemudi di anjungan. Kendali harus saling independen dan didesain sedemikian rupa sehingga kemudi tidak dapat bergerak secara tanpa disengaja.

3.9.2 Perlengkapan yang sesuai harus dipasang untuk menyediakan sarana komunikasi antara anjungan, semua stasiun kemudi dan kompartemen perangkat kemudi.

3.9.3 Peralatan yang sesuai harus dipasang untuk menyediakan sarana komunikasi antara anjungan, semua stasiun kemudi dan kompartemen steering gear.

3.9.4 Kegagalan komponen kendali tunggal (misalnya sistem kendali untuk pompa perpindahan variabel atau katup kendali aliran) yang dapat menyebabkan hilangnya kemudi akan menyebabkan alarm yang dapat audio dan visual pada anjungan navigasi, jika kehilangan kemudi tidak dapat dicegah dengan cara pengukuran lain.

3.10 Indikasi sudut kemudi

3.10.1 Posisi kemudi harus ditunjukkan dengan jelas di anjungan dan di semua stasiun kemudi. Dimana steering gear dioperasikan secara elektrik atau hidrolik, sudut kemudi harus ditunjukkan oleh perangkat (indikator posisi kemudi) yang digerakkan baik oleh tongkat kemudi itu sendiri atau oleh bagian yang terhubung secara mekanis. Dalam hal kendali yang bergantung pada waktu dari steering gear utama dan bantu, posisi tengah kemudi harus ditunjukkan di anjungan dengan beberapa cara tambahan (lampa sinyal atau yang serupa). Secara umum, indikator ini masih harus dipasang meskipun sistem kendali kedua adalah sistem hidrolik yang dioperasikan secara manual. Lihat juga [Rules for Electrical Installation \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.9.C.](#)

3.10.2 Posisi kemudi yang sebenarnya juga harus ditunjukkan pada *steering gear* itu sendiri.

Dianjurkan untuk memasang indikator sudut kemudi tambahan di stasiun kendali mesin utama.

3.11 Perpipaan

3.11.1 Pipa-pipa sistem *steering gear* hidrolik harus dipasang sedemikian rupa untuk memastikan perlindungan yang maksimal, namun tetap dapat diakses.

Pipa-pipa harus dipasang pada jarak yang cukup dari lambung kapal. Sejauh mungkin, pipa-pipa tidak boleh melewati ruang kargo.

Koneksi ke sistem hidrolik lainnya tidak diizinkan.

3.11.2 Untuk desain dan dimensi pipa, katup, fitting, bejana tekan dan lain-lain, lihat [Bab 8](#) dan [Bab 11, A., B., C., D. dan U.](#)

3.12 Indikator level minyak, penyaring

3.12.1 Tangki di dalam sistem hidrolik harus dilengkapi dengan indikator level minyak.

3.12.2 Level minyak terendah yang diijinkan harus dipantau. Alarm audio dan visual harus disediakan di anjungan navigasi dan di ruang permesinan atau ruang kendali permesinan. Alarm di anjungan navigasi adalah alarm individu.

3.12.3 Pengaturan harus disediakan untuk menjaga kebersihan cairan hidrolik dengan mempertimbangkan jenis dan desain dari sistem hidrolik.

3.13 Tangki penyimpanan

Dalam sistem *steering gear* yang di operasikan secara hidrolik, tangki penyimpanan tambahan yang dipasang secara permanen harus dipasang yang memiliki kapasitas yang cukup untuk mengisi ulang setidaknya salah satu dari sistem kendali termasuk tangki servis.

Tangki penyimpanan ini harus terhubung secara permanen dengan pipa-pipa ke sistem kontrol sehingga sistem kontrol dapat diisi ulang dari posisi di dalam kompartemen *steering gear*.

3.14 Pengaturan

Steering gear harus dipasang sedemikian rupa agar dapat diakses setiap saat dan dapat dengan mudah dirawat.

3.15 Peralatan listrik

Untuk peralatan listrik, Rules for Electrical Installations (Pt.1, Vol.IV) Sec.7.A. harus diperhatikan.

3.16 Dudukan

Dudukan dari *steering gear* harus diterapkan sesuai dengan [Guidance for Seating of Diesel Engine Installation \(Pt.1, Vol.U\)](#). Dalam kasus dudukan dengan resin cor sesuai dengan gaya puntir batas elastis poros kemudi serta gaya bantalan kemudi harus disalurkan ke struktur kapal dengan dudukan yang dilas.

4. Daya dan dimensi

4.1 Daya *steering gears*

Daya *steering gear* harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam [3.2](#) dan [3.3](#), lihat juga SOLAS Bab II-1, Bab C, Peraturan 29.

Puntir efektif maksimum yang harus disiapkan untuk *steering gear* tidak boleh kurang dari:

$$M_{\max} = \frac{\left(\frac{D_t}{4,2} \right)}{k_r} \quad [\text{Nm}] \quad (1)$$

D_t = diameter teoritis tongkat kemudi [mm], diturunkan dari torsi hidrodinamika yang diperlukan puntir kemudi untuk kondisi maju sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#), [Sec.14.C.1](#) dan [Sec.15.B.9](#) dan [D.3.7](#).

Torsi kerja *steering gear* harus lebih besar dari torsi hidrodinamik Q_R kemudi sesuai dengan [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\)](#), [Sec.14.B.1,2, B.2.2, B.2.3](#) dan penutup momen gesekan dari susunan bantalan terkait.

Tekanan kerja maksimum yang sesuai adalah tekanan maksimum yang diharapkan dalam sistem, ketika *steering gear* dioperasikan untuk memenuhi persyaratan daya seperti yang disebutkan di atas.

Kerugian gesekan di *steering gear* termasuk perpipaan harus dipertimbangkan dalam penentuan tekanan kerja maksimum.

Tekanan desain ρ_c untuk perhitungan menentukan scantling perpipaan dan komponen *steering gear* lainnya yang dikenai tekanan hidrolik internal harus setidaknya 1,25 kali tekanan kerja maksimum seperti yang didefinisikan di atas dan tidak boleh kurang dari pengaturan relief katup seperti yang dijelaskan di bawah [3.8.2](#).

Dalam kasus kemudi multi permukaan yang dikendalikan oleh *steering gear* umumnya, diameter yang relevan harus ditentukan dengan menerapkan rumus:

$$D_{ti} = \sqrt[3]{D_{t1}^3 + D_{t2}^3 + \dots}$$

k_r karakteristik material

$$k_r = \left(\frac{235}{R_{eH}} \right)^e \quad (2)$$

$e = 0,75$ dimana $R_{eH} > 235 \text{ N/mm}^2$

$= 1,0$ dimana $R_{eH} \leq 235 \text{ N/mm}^2$

R_{eH} = kekuatan luluh material tongkat kemudi. Nilai yang diterapkan untuk R_{eH} tidak lebih besar dari 450 N/mm^2 atau $0,7 \cdot R_m$, manapun yang lebih kecil [N/mm^2].

R_m = kekuatan tarik.

4.2 Desain komponen transmisi

4.2.1 Perhitungan desain untuk bagian dari *steering gear* yang tidak dilindungi terhadap beban lebih besar didasarkan pada batas elastis dari tongkat kemudi.

Torsi batas elastis yang digunakan adalah:

$$M_r = 2 \cdot \frac{\left[\frac{D}{4,2} \right]^3}{k_r} \quad [\text{Nm}] \quad (3)$$

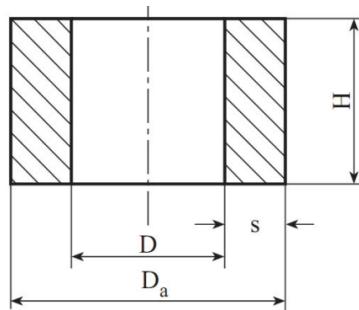
D = diameter tongkat kemudi aktual minimum [mm]. Nilai yang digunakan untuk diameter aktual tidak perlu lebih besar dari $1,145 \cdot D_t$

Tegangan pada komponen *steering gear* yang ditentukan dengan cara ini tidak boleh melebihi kekuatan luluh dari material yang digunakan. Desain bagian dari *steering gear* dengan perlindungan terhadap beban lebih besar didasarkan pada beban yang sesuai dengan ambang respon perlindungan beban lebih.

4.2.2 Tiller kemudi dan rotary vane yang terbuat dari material dengan kekuatan tarik hingga 500 N/mm^2 harus memenuhi kondisi berikut di area dimana gaya diterapkan, lihat [Gambar 14.1](#):

Tinggi hub $H \geq 1,0 \cdot D$ [mm]

Diameter luar $D_a \geq 1,8 \cdot D$ [mm]



Gambar 14.1 Dimensi hub

Dalam kasus khusus, diameter luar dapat dikurangi menjadi :

$$D_a = 1,7 \cdot D \quad [\text{mm}]$$

namun ketinggian hub harus sekurang-kurangnya:

$$H = 1,14 \cdot D \quad [\text{mm}]$$

4.2.3 Dimana material dengan kekuatan tarik lebih besar dari 500 N/mm^2 digunakan, bagian dari hub dapat dikurangi sebesar 10%.

4.2.4 Jika gaya ditransmisikan oleh penghubung jepit atau tirus, torsi batas-elastis dapat ditransmisikan oleh kombinasi dari mekanisme penguncian gesekan dan positif menggunakan baut dan kunci yang dikencangkan sebelumnya secara memadai.

Untuk torsi batas elastis menurut rumus (3), diameter pangkal ulir baut dapat ditentukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$d_k \geq 9,76 \cdot D \sqrt{\frac{1}{z \cdot k_r \cdot R_{eH}}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

D = diameter tongkat kemudi aktual [mm]. Nilai yang digunakan untuk diameter aktual harus tidak lebih besar dari $1,145 D_t$

Z = jumlah total baut

R_{eH} = kekuatan luluh material baut [N/mm^2]

4.2.5 *Split hubs* dari sambungan klem harus disambung bersama sekurang-kurangnya empat baut. Kuncinya tidak boleh ditempatkan pada sambungan di klem.

4.2.6 Jika metode injeksi minyak digunakan untuk menghubungkan tiller kemudi atau *rotary vane* ke tongkat kemudi, metode perhitungan harus sesuai dengan teori elastisitas yang diterapkan. Perhitungan didasarkan pada torsi batas-elastis yang memungkinkan koefisien gesek $\mu_0 = 0,15$ untuk baja dan $\mu_0 = 0,12$ untuk besi cor nodular. Tegangan ekivalen Von Misses yang dihitung dari tekanan spesifik p dan beban tangensial yang sesuai berdasarkan dimensi shrunk joint tidak melebihi 80% dari kekuatan luluh material yang digunakan.

4.2.7 Dimana komponen tegangan melingkar (*circumferential tension*) yang digunakan untuk menghubungkan tiller atau *rotary vane* ke tongkat kemudi, perhitungan harus didasarkan pada dua setengah kali puntir yang bekerja pada steering gear (tetapi tidak lebih dari puntir batas elastis) yang memungkinkan koefisien gesek $\mu_0 = 0,12$. Tegangan ekivalen Von Misses yang dihitung dari tekanan kontak p dan beban tangensial yang sesuai berdasarkan dimensi koneksi sambungan shrunk-on tidak melebihi 80% dari kekuatan luluh material yang digunakan.

Bila lebih dari satu komponen tegangan melingkar (*circumferential tension*) digunakan, kapasitas puntir koneksi harus ditentukan dengan menambahkan puntir komponen tegangan tunggal dan menerapkan faktor reduksi 0,9.

5. Uji di pabrik pembuat

5.1 Pengujian unit daya

Unit daya dipersyaratkan untuk di tempat uji di pabrik pembuat.

5.1.1 Untuk mesin diesel, lihat Bab 2.

5.1.2 Untuk motor listrik, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.21](#).

5.1.3 Untuk pompa dan motor hidrolik, merujuk [Guidance for the Approval and Type Approval of Materials and Equipment for Marine Use \(Pt.1, Vol.W\) Sec.3.L](#) harus diterapkan secara analog. Bila daya penggerak adalah 50 kW atau lebih, pengujian ini harus dilakukan dengan kehadiran Surveyor BKI.

5.1.4 Pompa unit daya harus menjalani uji tipe. Uji tipe harus berlangsung tidak kurang dari 100 jam, pengaturan pengujian harus sedemikian rupa sehingga pompa dapat bekerja dalam kondisi tanpa beban (idle), dan pada kapasitas pengiriman (delivery) maksimum pada tekanan kerja maksimum. Selama pengujian, periode tanpa beban harus diselingi dengan periode pada kapasitas pengiriman maksimum pada tekanan kerja maksimum. Bagian dari satu kondisi ke kondisi lain harus terjadi sekurang-kurangnya secepat di atas kapal. Selama pengujian keseluruhan tidak ada pemanasan abnormal, getaran berlebih atau penyimpangan lainnya yang diizinkan. Setelah pengujian, pompa harus dibongkar dan diperiksa. Uji tipe dapat diabaikan untuk unit daya yang telah terbukti andal dalam layanan laut.

5.2 Uji tekanan dan kekedapan

Komponen yang bertekanan harus melakukan uji tekanan.

Tekanan uji p_p

$$p_p = 1,5 \cdot p_c \quad (5)$$

p_c = tekanan desain untuk komponen atau sistem perpipaan didesain dengan karakteristik mekanisnya [bar].

Untuk tekanan di atas 200 bar, tekanan uji tidak perlu melebihi $p_c + 100$.

Untuk pengujian tekanan pipa, katup dan fittingnya, lihat Bab 11.B.4 dan U.5.

Uji kekedapan harus dilakukan pada komponen yang sesuai.

5.3 Pemeriksaan akhir dan uji operasional

Setelah pengujian komponen individu dan setelah selesai perakitan, *steering gear* dipersyaratkan pemeriksaan akhir, uji hidrostatik dan operasional. Antara lain, perlindungan terhadap beban lebih harus disesuaikan pada saat ini.

Dimana pekerjaan pabrik pembuat tidak memiliki fasilitas yang memadai, pengujian tersebut diatas termasuk penyesuaian perlindungan terhadap beban lebih dapat dilakukan di atas kapal. Dalam kasus ini, sekurang-kurangnya uji fungsional dalam kondisi tanpa beban pekerjaannya harus dilakukan di pabrik pembuat.

6. Percobaan di kapal

Steering gear harus dicoba pada pengoperasian di kapal untuk menunjukkan kepada Surveyor bahwa persyaratan peraturan telah dipenuhi. Percobaan ini termasuk operasi berikut:

6.1 Efisiensi operasional *steering gear* harus dibuktikan selama percobaan berlayar. Untuk tujuan ini, manuver Z yang sesuai dengan 3.2.1 dan 3.3.1 harus dilakukan sebagai persyaratan minimum.

6.2 *Steering gear*, termasuk demonstrasi kinerja yang disyaratkan oleh Peraturan 29.3.2 dan 29.4.2. Untuk *controllable pitch propellers*, *propeller pitch* harus berada pada pitch desain maksimum yang disetujui untuk R.P.M. maju berkelanjutan maksimum pada percobaan steering gear utama.

Jika kapal tidak dapat diuji pada sarat terdalam, percobaan *steering gear* harus dilakukan pada displasemen sedekat mungkin dengan displasemen beban penuh seperti yang dipersyaratkan oleh Section 6.1.2 of ISO 19019:2005 pada kondisi baik kemudi sepenuhnya terendam (garis air kecepatan nol) dan kapal berada dalam kondisi trim yang dapat diterima, atau beban kemudi dan puntir pada kondisi pembebasan percobaan yang ditentukan telah diprediksi dan diekstrapolasikan ke kondisi beban penuh.

Dalam kasus apapun untuk percobaan *steering gear* utama, kecepatan kapal yang sesuai dengan besar putaran mesin utama secara terus menerus dan pitch desain maksimum yang berlaku.

6.3 Unit daya steering gear, termasuk transfer antar unit daya steering gear.

6.4 Isolasi satu sistem aktuator daya, memeriksa waktu untuk mendapatkan kembali kemampuan kemudi.

6.5 Sistem pengisian cairan hidrolik.

6.6 Penyuplai daya darurat yang dipersyaratkan oleh [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV Sec.7\)](#).

6.7 Kendali steering gear, termasuk transfer kendali dan kendali lokal.

6.8 Sarana komunikasi antara ruang kemudi, kamar mesin, dan kompartemen steering gear.

6.9 Alarm dan indikator

6.10 Dimana steering gear didesain untuk menghindari penguncian hidrolik, fitur ini harus didemonstrasikan

7. Instruksi pengoperasian

Jika dapat diterapkan, papan peringatan standar berikut harus dipasang di tempat yang sesuai di pos kendali kemudi di anjungan atau dimasukkan ke dalam instruksi pengoperasian di atas kapal:

PERINGATAN

DALAM BEBERAPA KEADAAN KETIKA 2 UNIT DAYA BEROPERASI SECARA BERSAMAAN, KEMUDI MUNGKIN TIDAK MERESPON STIR KAPAL. JIKA INI TERJADI HENTIKAN SETIAP POMPA BERGILIRAN SAMPAI KENDALI KEMBALI.

Papan peringatan di atas terkait dengan *steering gears* yang dilengkapi dengan 2 unit daya identik yang dimaksudkan untuk operasi simultan, dan biasanya dilengkapi dengan baik sistem kendali kemudi sendiri ataupun dua sistem kendali terpisah (sebagian atau bersama-sama) yang mungkin/dapat dioperasikan secara bersamaan.

B. Unit Propeler Kemudi

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan B. berlaku untuk propeler kemudi sebagai pendorong utama, stasiun olah gerak kapal dan semua elemen transmisi dari stasiun olah gerak ke propeler kemudi.

1.2 Dokumen persetujuan

Gambar perakitan dan penampang serta gambar bagian dari roda gigi dan propeler yang memberikan semua data yang diperlukan untuk pemeriksaan harus diserahkan kepada BKI untuk disetujui. Untuk propeler, ini hanya berlaku untuk daya input melebihi 500 kW.

2. Material

2.1 Material yang disetujui

Pemilihan subjek material, sebagaimana dan jika berlaku, pada ketentuan A.2.1 dan pada Bab 4, 5 dan 6.

2.2 Pengujian material

Semua komponen penting dari propeler kemudi yang terlibat dalam transmisi puntir dan momen lentur harus diuji di bawah pengawasan BKI sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt. 1, Vol.V\)](#).

3. Desain dan peralatan

3.1 Jumlah kemudi propeler

Setiap kapal harus memiliki sekurang-kurangnya dua propeler kemudi. Kedua unit harus mampu dioperasikan secara independen dari yang lain.

3.2 Perangkat penguncian

Setiap propeler kemudi harus dilengkapi dengan alat penguncian untuk mencegah gerakan mekanisme kemudi yang tidak disengaja. Perangkat penguncian ini harus didesain untuk mengunci dengan aman mekanisme kemudi dari setiap unit yang tidak dioperasikan saat mengoperasikan kapal dengan daya maksimum dari unit propeler kemudi yang tersisa, namun pada kecepatan kapal minimal 7 knot.

Selain itu, harus memungkinkan untuk mengunci mekanisme kemudi pada posisi tengah kapal dan mengoperasikan unit propeler kemudi terkunci dengan daya penuh.

3.3 Kemudi

3.3.1 Setiap propeler kemudi harus dilengkapi dengan steering gear sendiri.

3.3.2 Semua komponen yang digunakan dalam pengaturan kemudi harus memiliki konstruksi yang andal untuk pemenuhan BKI. Pertimbangan khusus harus diberikan pada kesesuaian setiap komponen penting yang tidak diduplikasi. Setiap komponen penting tersebut harus, jika sesuai, menggunakan bantalan anti gesekan seperti ball bearings, roller bearings atau sleeve bearings yang harus dilumasi secara permanen atau dilengkapi dengan alat kelengkapan pelumasan.

3.3.3 Pengaturan kemudi utama harus:

- dengan kekuatan yang memadai dan mampu mengemudikan kapal pada kecepatan servis maju maksimum,
- mampu menggerakkan propeler kemudi dari satu sisi ke sisi lain pada batas sudut kemudi yang dinyatakan pada kecepatan putaran rata-rata tidak kurang dari 2,3 derajat per detik. dengan kapal maju di depan dengan kecepatan servis maksimum di depan,
- dioperasikan dengan daya,
- dirancang sedemikian rupa sehingga tidak akan rusak pada kecepatan mundur maksimum.

"Batas sudut kemudi yang dinyatakan" adalah batas operasional dalam hal sudut kemudi maksimum, atau yang setara, sesuai dengan pedoman pabrik pembuat untuk pengoperasian yang aman, juga dengan mempertimbangkan kecepatan kapal atau puntir/kecepatan propeler atau batasan lainnya. "Deklarasi batas sudut kemudi" harus dinyatakan oleh pabrik pembuat propeler kemudi.

3.3.4 Pengaturan kemudi bantu harus memenuhi interpretasi SOLAS II-1 Regulasi 29.4 dan 29.6.1 as per IACS Unified Interpretation SC242. Pengaturan kemudi bantu dapat ditiadakan jika, dalam kasus satu unit propeler kemudi tidak beroperasi, dengan unit propeler kemudi yang tersisa kemampuan kemudi yang memadai dan kecepatan kapal tersedia untuk olah gerak yang aman.

3.3.5 Perangkat kemudi darurat harus disediakan untuk setiap propeler kemudi. Dalam kasus kegagalan sistem kemudi utama, perangkat kemudi darurat sekurang-kurangnya mampu menggerakkan propeler kemudi ke posisi tengah kapal dalam waktu yang wajar saat kapal dalam kecepatan nol.

3.4 Kendali

3.4.1 Baik penggerak maupun mekanisme slewing dari setiap propeler kemudi harus dikendalikan dari stasiun olah gerak di anjungan navigasi.

Kendali harus saling independen dan didesain sedemikian rupa sehingga propeler kemudi tidak dapat diputar secara tidak sengaja.

Kendali gabungan tambahan untuk semua propeler kemudi diperbolehkan.

Sarana harus disediakan, memenuhi tujuan yang sama seperti batasan sudut kemudi dalam [A.3.5](#). Hal ini dapat ditiadakan jika tidak ada bahaya bagi kapal yang disebabkan oleh pergerakan unit yang tidak disengaja dengan kekuatan penuh dan kecepatan kapal ke sudut manapun.

3.4.2 Kegagalan satu elemen dalam sistem kendali dan hidrolik dari satu unit tidak boleh menyebabkan kegagalan unit lain.

3.4.3 Perangkat kemudi bantu harus disediakan untuk setiap propeler kemudi. Dalam kasus kegagalan sistem kemudi utama perangkat kemudi bantu sekurang-kurangnya mampu menggerakkan propeler kemudi ke posisi tengah kapal.

Bila daya penggerak melebihi 2500 kW per unit pendorong, suplai daya alternatif, paling tidak cukup untuk memasok pengaturan kemudi yang sesuai dengan persyaratan [A.3.3.1](#) dalam bagian ini dan juga sistem kendali terkait dan indikator respon sistem kemudi, harus disediakan secara otomatis, dalam waktu 45 detik, baik dari sumber daya listrik darurat atau dari sumber listrik independen dari terletak di kompartemen *steering gear*.

Sumber daya independen ini harus digunakan hanya untuk tujuan ini. Dalam setiap kapal dengan tonase kotor 10.000 atau lebih, suplai daya alternatif harus memiliki kapasitas untuk sekurang-kurangnya 30 menit operasi terus-menerus dan di kapal lain sekurang-kurangnya 10 menit.

3.4.4 Jika sistem hidrolik lebih dari satu propeler kemudi digabungkan, dimungkinkan jika terjadi kehilangan minyak hidrolik untuk mengisolasi sistem yang rusak sedemikian rupa sehingga sistem kendali

lainnya tetap beroperasi penuh.

3.5 Indikator posisi

3.5.1 Posisi masing-masing propeler kemudi harus terlihat jelas di anjungan navigasi dan di setiap stasiun olah gerak.

3.5.2 Posisi sebenarnya juga harus terlihat pada propeler kemudi itu sendiri.

3.6 Pipa

Pipa sistem kendali hidrolik mengacu ketentuan [A.3.11](#) jika relevan.

3.7 Indikator level minyak, filter

Indikator level minyak dan filter mengacu ketentuan [A.3.12](#) jika relevan.

3.8 Pelumasan

3.8.1 Pasokan minyak pelumas harus dipastikan dengan pompa utama dan pompa siaga independen.

3.8.2 Dalam kasus sistem pelumasan terpisah dimana pompa minyak pelumas utama dapat diganti dengan sarana yang tersedia di kapal, pompa siaga dapat diganti dengan pompa cadangan lengkap. Pompa cadangan ini harus dibawa keatas kapal dan siap untuk dipasang.

4. Dimensi

4.1 Roda Gigi

Untuk desain roda gigi lihat [Bab 5](#).

Slewing gears pada umumnya harus dirancang sebagai roda gigi spur atau bevel.

4.2 Jalur poros

Untuk dimensi dari poros propeler, antara propeler dan roda gigi, lihat [Bab 4](#). Untuk dimensi dari bagian yang tersisa dari poros ini dan semua poros gigi lainnya lihat [Bab 5](#).

4.3 Propeler

Untuk desain propeler, lihat [Bab 6](#)

4.4 Pipa pendukung

Desain pipa pendukung dan pemasangannya pada lambung kapal harus memperhitungkan beban akibat dorongan propeler dan nosel termasuk komponen dinamis.

4.5 Pipa

Untuk penganturan dan desain pipa, katup, fitting dan bejana tekan, lihat [Bab 8](#) dan [Bab 11](#), A., B., C., D. dan [U](#).

5. Tes dibengkel pabrik pembuat

5.1 Pengujian unit daya

A.5.1 berlaku jika relevan.

5.2 Uji tekanan dan kekedapan

A.5.2 berlaku jika relevan.

5.3 Pemeriksaan akhir dan uji operasional

5.3.1 Setelah pemeriksaan komponen individu dan penyelesaian perakitan, propeler kemudi harus menjalani pemeriksaan akhir dan uji operasional. Pemeriksaan akhir akan digabungkan dengan uji coba berlangsung beberapa jam dalam kondisi sebagian atau beban penuh. Pemeriksaan dari kelonggaran gigi dan pola kontak gigi harus dilakukan.

5.3.2 Bila tidak ada test bed yang sesuai untuk pengujian operasional dan beban kemudi besar propeler, pengujian yang disebutkan dalam 5.3.1 dapat dilakukan pada saat uji dok.

5.3.3 Pembatasan ruang lingkup pengujian memerlukan persetujuan BKI.

6. Pengujian di kapal

6.1 Pengoperasian tanpa kegagalan, kelancaran operasi dan temperatur bantalan dari roda gigi dan sistem kendali harus diperiksa selama percobaan berlayar dibawah semua kondisi penguapan (steaming).

Setelah kesimpulan percobaan berlayar dilakukan, tautan gigi harus diperiksa melalui bukaan inspeksi dan pola kontak harus diperiksa. Pola kontak gigi dinilai atas dasar nilai referensi untuk persentase area kontak yang diberikan dalam Bab 5, Tabel 5.6.

6.2 Ruang lingkup pemeriksaan pola kontak (contact pattern) setelah percobaan berlayar mungkin dapat dibatasi dengan persetujuan surveyor asalkan pemeriksaan pada pola kontak yang disebut dalam 5.3.1 dan 5.3.2 telah memenuhi.

6.3 Mengenai percobaan steering gear, A.6 harus diamati secara analog. Tes kemampuan olah gerak kapal sesuai MSC.137 (76) harus dilakukan dengan sudut kemudi tidak melebihi "batas sudut kemudi yang dinyatakan", lihat B.3.3.3.

C. Unit Dorong Lateral

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan yang terdapat dalam C. berlaku untuk unit dorong lateral, stasiun kendali dan semua elemen transmisi dari stasiun kontrol ke unit dorong lateral.

1.2 Dokumen untuk disetujui

Gambar perakitan dan penampang untuk unit dorong lateral dengan daya input 100 kW dan lebih, bersama dengan gambar detail mekanisme roda gigi dan propeler yang berisi semua data yang diperlukan untuk pemeriksaan, masing-masing harus dikirimkan ke BKI dalam bentuk format elektronik untuk disetujui. Untuk propeler, hanya berlaku ke daya input yang melebihi 500 kW.

2. Material

Material merupakan subjek, sesuai dengan ketentuan [Bab 4](#) dan [5](#).

[Bab 6](#) berlaku analog dengan material dan pengujian material propeler.

Dalam kasus daya input kurang dari 100 kW, sifat material yang digunakan untuk poros, roda gigi dan propeler harus memenuhi [Rules for Material \(Pt. 1, Vol. V\)](#). Pembuktian dapat dilakukan dengan sertifikat inspeksi pabrik pembuat.

3. Dimensi dan desain

3.1 Persyaratan umum

Desain komponen yang relevan dari unit dorong lateral harus sesuai dengan [Bab 4](#) dan [5](#), yaitu dari propeler dengan [Bab 6](#).

Koneksi pipa sistem penggerak hidrolik harus memenuhi persyaratan yang berlaku yang terdapat dalam [A.2.1.3](#) dan [A.2.1.4](#).

Unit dorong lateral harus mampu dioperasikan secara independen dari sistem terhubung lainnya.

Wind milling dari propeler selama perjalanan laut harus diperhitungkan sebagai kasus beban tambahan. Jika tidak, tindakan pencegahan yang efektif harus diperkenalkan untuk menghindari *wind milling*, misalnya *shaft brake*.

Di area propeler, terowongan dorong harus dilindungi dari kerusakan yang disebabkan oleh erosi kavitas dengan pengukuran yang efektif, seperti pelat baja tahan karat.

Untuk memantau level minyak pelumas, peralatan harus dipasang agar level minyak dapat ditentukan.

Untuk bagian kelistrikan unit dorong lateral, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.7.B](#).

3.2 Persyaratan tambahan untuk unit dorong lateral untuk *dynamic positioning* (DP)

Bantalan, penyegelan, pelumasan, sistem hidrolik dan semua aspek desain lainnya harus sesuai untuk pengoperasian yang berkelanjutan, tanpa terganggu.

Roda gigi harus memenuhi margin keamanan untuk DP sebagaimana ditentukan dalam [Bab 5, Tabel 5.1](#). Sistem pelumasan untuk *gearbox* harus sesuai dengan [Bab 5.E](#).

Untuk unit dengan *controllable pitch propeller*, sistem hidrolik harus mematuhi [Bab 6.D.4.2](#). Pemilihan dan pengaturan filter harus memastikan suplai oli yang disaring tidak terputus, juga selama pembersihan atau penggantian filter.

Jika kapal dilengkapi dengan permesinan otomatis, unit dorong harus memenuhi persyaratan untuk roda gigi utama dan propeler utama pada [Rules for Automation \(Pt.1, Vol.VII\)](#).

4. Tes kerja di bengkel pabrik pembuat

[A.5.](#) berlaku sebagaimana mestinya.

Untuk pompa hidrolik dan motor dengan daya penggerak 100 kW atau lebih, tes harus dilakukan di hadapan Surveyor BKI.

Untuk unit dorong lateral dengan daya input kurang dari 100 kW, inspeksi akhir dan uji fungsi dapat dilakukan oleh pabrik pembuat, yang kemudian akan menerbitkan Sertifikat Inspeksi Pabrik pembuat yang relevan.

5. Uji coba di kapal

Pengujian harus dilakukan selama percobaan berlayar selama masa operasi akan ditetapkan.

D. Mesin Kerek

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan yang terdapat dalam D. berlaku untuk mesin kerek jangkar haluan (*bower anchor*), mesin kerek jangkar buritan, gabungan mesin derek jangkar dan tambat serta penghenti rantai. Untuk jangkar dan rantai, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol. II\), Bab 18](#).

1.2 Dokumen untuk disetujui

1.2.1 Untuk setiap jenis mesin kerek jangkar dan penghenti rantai, gambar umum dan penampang, serta gambar detail dari poros utama, pengangkat kabel, rem, batang penghenti (*stopper bar*), dan katrol rantai dan poros harus diserahkan dalam bentuk format elektronik untuk disetujui.

Satu salinan deskripsi mesin kerek jangkar termasuk perlindungan beban lebih yang diusulkan dan perangkat keamanan lainnya juga harus diserahkan.

1.2.2 Jika mesin kerek jangkar harus disetujui untuk beberapa kekuatan dan jenis kabel rantai, perhitungan yang berkaitan dengan puntir pengereeman maksimum harus diserahkan dan dilengkapi bukti daya dan kecepatan angkut sesuai dengan 4.1 yang sesuai dengan semua jenis jangkar dan kabel rantai yang relevan.

1.2.3 Satu copy perhitungan kekuatan untuk baut, chock dan stoppers yang menahan mesin kerek ke geladak juga harus diserahkan. Perhitungan ini untuk mempertimbangkan gaya yang bekerja pada mesin kerek yang disebabkan oleh beban yang ditentukan dalam 4.2 dan 4.3.

1.2.4 Tentang dudukan kerek lihat [Guidance for Seating of Diesel Engine Installation \(Pt.1, Vol.U\)](#).

1.2.5 Dimensi, material, detail pengelasan, sebagaimana berlaku, dari semua transmisi puntir (poros, roda gigi, clutches, couplings, baut kopling, dll.) dan semua load bearing beban (shaft bearings, cable lifter, sheaves, drums, bed-frames, dll.) komponen mesin kerek dan mesin derek, jika ada, termasuk rem, penghenti rantai (jika dipasang) dan pondasi.

1.2.6 Sistem hidrolik, meliputi:

- diagram perpipaan bersama dengan tekanan desain sistem,
- pengaturan katup keselamatan dan settings,
- spesifikasi material untuk pipa dan peralatan,
- tipikal sambungan pipa, jika ada, dan
- data teknis dan detail untuk motor hidrolik.

1.2.7 Diagram listrik satu-garis beserta spesifikasi dan ukuran kabel; pengontrol motor; peringkat atau pengaturan perangkat pelindung; jika berlaku.

1.2.8 Pengaturan kendali, pemantauan dan instrumentasi.

1.2.9 Analisis teknik untuk komponen transmisi puntir dan load-bearing yang menunjukkan kesesuaian dengan standar atau kode praktik yang diakui. Analisis untuk roda gigi harus sesuai dengan standar yang diakui.

1.2.10 Rencana dan data untuk motor listrik mesin kerek termasuk roda gigi terkait dengan rating 100 kW dan lebih.

1.2.11 Perhitungan yang menunjukkan bahwa penggerak utama mesin kerek mampu mencapai kecepatan pengangkatan, tarikan kerja kontinu yang diperlukan, dan kapasitas beban lebih harus diserahkan jika "pengujian beban" termasuk kapasitas "beban lebih" dari seluruh unit mesin kerek tidak dilakukan di pabrik.

1.2.12 Prosedur operasi dan pemeliharaan untuk mesin kerek jangkar harus dimasukkan dalam manual pengoperasian kapal.

2. Material dan fabrikasi

2.1 Material yang disetujui

2.1.1 Ketentuan yang tercantum dalam [A.2.1](#) harus diterapkan sesuai dengan pilihan material.

2.1.2 Pengangkat kabel dan katrol rantai umumnya dibuat dari baja tuang. Besi cor abu-abu diizinkan untuk kabel rantai stud link dari:

- diameter hingga 50 mm untuk kelas KI 1
- diameter hingga 42 mm untuk kelas KI 2
- diameter hingga 35 mm untuk kelas KI 3

Dalam kasus khusus, besi cor nodular dapat juga dapat digunakan untuk diameter rantai yang lebih besar dengan pengaturan dengan BKI. Besi cor abu-abu diizinkan untuk kabel rantai jangkar dengan stud link dari:

- diameter hingga 30 mm untuk kelas KI 1
- diameter hingga 25 mm untuk kelas KI 2
- diameter hingga 21 mm untuk kelas KI 3

2.2 Pengujian material

2.2.1 Material untuk tempa, digulung dan di cor yang ditekan oleh tarikan rantai saat pengangkat kabel dilepaskan (misalnya; *main shaft, cable lifter, housing, frame, brake band, brake spindle, brake bolts, tension straps, stopper bar, chain pulley* dan *axle*) harus diuji di bawah pengawasan BKI sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#).

Dalam kasus *housing* dan *frame* jangkar mesin kerek, Sertifikat Inspeksi Pabrik pembuat yang dikeluarkan oleh produsen dapat diterima sebagai bukti.

Dalam kasus mesin kerek jangkar untuk rantai hingga 14 mm, Sertifikat Inspeksi Pabrik pembuat yang dikeluarkan oleh produsen dapat diterima sebagai bukti.

2.2.2 Dalam kasus sistem hidrolik, material yang digunakan untuk pipa (lihat [Bab 11, Tabel 11.3](#)) serta untuk bejana tekan juga harus diuji.

2.3 Fabrikasi Las

Desain sambungan las harus ditunjukkan dalam rencana konstruksi dan harus disetujui sehubungan dengan persetujuan desain mesin kerek. Prosedur pengelasan dan juru las harus memenuhi syarat, dan material habis las harus disetujui sesuai dengan [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\)](#). Material habis las harus disetujui oleh BKI dalam hal jenis dan grade nya termasuk dalam ruang lingkup [Rules for Welding \(Pt.1, Vol.VI\) Sec. 5](#); ketika jenis dan grade nya berada di luar ruang lingkup, material habis las harus mematuhi sesuai Peraturan BKI yang berlaku, jika ada, atau dengan standar nasional atau internasional. Tingkat pemeriksaan pengujian tidak-merusak (NDT) dari las dan perlakuan panas pasca las (*post-weld heat treatment*), jika ada, harus ditentukan dan diserahkan untuk pertimbangan.

3. Desain dan peralatan

Bersamaan dengan dan terlepas dari persyaratan standar kesesuaian yang dipilih, persyaratan berikut juga harus dipatuhi. Sebagai pengganti melakukan analisa teknik dan menyerahkannya untuk ditinjau, persetujuan desain mekanis mesin kerek dapat didasarkan pada uji tipe, dalam hal ini prosedur pengujian harus diajukan untuk dipertimbangkan.

3.1 Jenis penggerak

3.1.1 Mesin kerek biasanya digerakkan oleh mesin yang tidak bergantung pada mesin geladak lainnya. Sistem perpipaan mesin kerek hidrolik dan mesin kerek yang digerakkan uap dapat dihubungkan ke sistem hidrolik atau uap lainnya asalkan ini diperbolehkan untuk yang terakhir. Namun, mesin kerek harus mampu dioperasikan secara independen dari sistem terhubung lainnya.

3.1.2 Pengoperasian manual sebagai daya penggerak utama dapat diizinkan untuk jangkar dengan berat hingga 250 kg.

3.1.3 Dalam kasus penggerak hidrolik dengan sistem perpipaan yang terhubung ke sistem hidrolik lain, unit pompa kedua direkomendasikan.

3.1.4 Dalam hal mesin kerek dengan dua pengangkat kabel, kedua pengangkat kabel harus dapat dipasang serentak.

Pada kasus mesin derek dengan dua pengangkat kabel, kedua pengangkat kabel tersebut harus dapat dipasangkan serentak.

3.2 Mekanisme pembalik arah

Mesin kerek yang digerakkan oleh daya harus dapat dibalik arahnya. Pada mesin kerek untuk kapal dengan *Range of service rating* hingga "L" dan pada yang ditenagai oleh mesin pembakaran internal, mekanisme pembalikan dapat dihilangkan.

3.3 Perlindungan beban lebih

Untuk perlindungan bagian mekanis beban lebih jika mesin kerek macet, proteksi kelebihan beban (misalnya kopling slip, katup pelepas) harus dipasang untuk membatasi puntir maksimum mesin penggerak (lihat [4.1.2](#)). Pengaturan proteksi kelebihan beban harus ditentukan (misalnya dalam petunjuk pengoperasian).

Untuk perlindungan komponen mekanis dalam hal kemacetan mesin derek, sebuah perlindungan beban berlebih (misalnya kopling slip, katup pelepas) harus dipasang untuk membatasi torsi maksimum mesin penggerak (lihat [4.1.2](#)). Pengaturan perlindungan beban berlebih harus ditentukan (misalnya dalam instruksi pengoperasian).

3.4 Kopling

Mesin kerek harus dipasang dengan kopling yang dapat dilepas (disengageable) antara pengangkat kabel dan poros penggerak. Dalam keadaan darurat, kopling yang dioperasikan secara hidrolik atau listrik harus dapat dilepas dengan tangan.

3.5 Perangkat Pengereman

Mesin kerek harus dilengkapi dengan rem pengangkat kabel yang mampu menahan beban sesuai dengan [4.2.3](#) dengan pengangkat kabel terlepas. Selain itu, dimana mekanisme roda gigi bukan tipe terkunci sendiri (*self-locking*), perangkat (misalnya *gearing brake*, rem penurun, rem hidrolik oli) harus dipasang untuk mencegah terlepasnya rantai jika unit daya gagal saat pengangkat kabel diaktifkan.

Jika rem dioperasikan dengan daya, alat tambahan harus disediakan untuk pengoperasian manual. Pengoperasian manual harus dimungkinkan dalam semua kondisi kerja, termasuk kegagalan penggerak daya.

3.6 Pipa-pipa

Untuk desain dan dimensi pipa, katup, *fitting*, bejana tekan, dan lain-lain lihat [Bab 8](#) dan [Bab 11.A., B., C., D. dan U.](#).

3.7 Pengangkat kabel

Pengangkat kabel harus memiliki sekurang-kurangnya lima baut pas (*snugs*).

3.8 Mesin kerek sebagai kerekan penggulung

Mesin kerek gabungan dan kerekan penggulung atau penambat tidak boleh dikenai beban yang berlebih bahkan ketika tarikan maksimum diberikan pada gulungan tali.

3.9 Peralatan listrik

Untuk peralatan listrik [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.7.E.2.](#) harus ditaati.

3.10 Peralatan hidrolik

Untuk indikator level minyak, lihat [A.3.12.1](#). Untuk filter lihat [F.3.2.2](#).

4. Daya dan dimensi

4.1 Daya penggerak

4.1.1 Tergantung pada grade kabel rantai dan kedalaman jangkar, mesin kerek jangkar harus mampu melakukan tarikan tugas terus menerus selama minimal 30 menit (misalnya, rating waktu singkat 30 menit sesuai dengan S2-30 min. of IEC 60034-1) Z1 sebagaimana ditentukan dalam [Tabel 14.1](#) pada kecepatan rata-rata minimal 0,15 m/s.

Tabel 14.1 Daya angkat

Grade rantai	KI 1	KI 2	KI 3
$Z_1 (N)$	$37,5 \cdot d^2$	$42,5 \cdot d^2$	$47,5 \cdot d^2$
d = diameter rantai jangkar [mm]			

Nilai pada [Tabel 14.1](#) dapat diterapkan bila menggunakan jangkar tanpa stok biasa untuk kedalaman berlabuh hingga 82,5 m.

Tarikan mesin derek jangkar buritan dengan tali jangkar dapat ditentukan dengan mengacu pada berat jangkar dan diameter kabel rantai terkait.

$$Z_2 = Z_1 + (D - 82,5) 0,27 d^2 \quad [N] \quad (6)$$

dimana:

D = adalah kedalaman jangkar [m]

Massa jangkar diasumsikan sebagai massa seperti yang diberikan pada [Tabel 18.2](#) dari [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\) Sec.18](#). Juga, nilai Z_1 didasarkan pada pengangkatan satu jangkar pada satu waktu, dan bahwa efek daya apung dan efisiensi pipa lubang jangkar (diasumsikan 70%) telah diperhitungkan. Secara umum, tegangan di setiap komponen transmisi puntir tidak melebihi 40% dari kekuatan luluh (atau tegangan bukti 0,2%) dari material di bawah kondisi pembebahan ini.

4.1.2 Unit daya harus mampu menyediakan kapasitas beban lebih sementara yang diperlukan untuk memutus jangkar. Kapasitas beban lebih atau "tarikan jangka pendek" ini sama dengan tarikan maksimum Z_{\max} dari

$$Z_{\max} = 1,5 \cdot Z_1 \quad [N]$$

pada kecepatan yang dikurangi untuk sekurang-kurangnya dua menit.

4.1.3 Pada puntir maksimum yang ditentukan dalam [4.1.2](#), beban lebih waktu singkat hingga 20% diperbolehkan dalam kasus mesin pembakaran dalam.

4.1.4 Tingkat gigi reduksi tambahan dapat dipasang untuk mencapai puntir maksimum.

4.1.5 Dengan mesin kerek jangkar yang dioperasikan secara manual, langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa jangkar dapat diangkat pada kecepatan rata-rata 0,033 m/s dengan tarikan yang ditentukan dalam [4.1.1](#). Hal ini harus dicapai tanpa melebihi gaya manual 150 N yang diterapkan pada radius engkol sekitar 350 mm dengan engkol tangan diputar sekitar 30 rpm.

4.2 Dimensi komponen transmisi beban dan penghenti rantai

4.2.1 Dasar untuk desain komponen transmisi beban dari mesin derek jangkar dan penghenti rantai adalah jangkar dan kabel rantai yang ditentukan dalam [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.18](#).

4.2.2 Rem pengangkat kabel harus didesain sedemikian rupa sehingga jangkar dan rantai dapat dihentikan dengan aman saat mengulurkan kabel rantai. Bila penghenti kabel rantai tidak dipasang, rem harus menghasilkan puntir yang mampu menahan tarikan sebesar 80% dari kekuatan putus minimum yang ditentukan dari kabel rantai tanpa deformasi permanen bagian kekuatan dan tanpa slip rem. Dimana penghenti kabel rantai dipasang, 45% dari kekuatan putus dapat diterapkan sebagai gantinya.

4.2.3 Desain dimensi dari bagian mesin kerek jangkar yang dikenai tarikan rantai ketika pengangkat kabel dilepaskan (kabel pengangkat, poros utama, peralatan pengereman, bedframe dan penambat dek) harus didasarkan pada tarikan teoritis yang sama dengan 80% dari beban putus nominal yang ditentukan dalam [Rules for Material \(Pt.1, Vol.V\)](#), untuk rantai yang bersangkutan. Desain poros utama harus memperhitungkan gaya pengereman, dan rem pengangkat kabel tidak tergelincir saat dikenai beban ini.

4.2.4 Tarikan teoritis dapat dikurangi hingga 45% dari beban putus nominal untuk rantai asalkan penghenti rantai yang disetujui oleh BKI dipasang.

4.2.5 Desain semua komponen mesin kerek jangkar lainnya harus didasarkan pada gaya yang bekerja

pada lingkaran pitch kabel pengangkat dan sama dengan tarikan maksimum yang ditentukan dalam 4.1.2.

4.2.6 Pada tarikan teoritis yang ditentukan dalam 4.2.3 dan 4.2.4, gaya yang bekerja pada roda rem tangan harus tidak melebihi 500 N.

4.2.7 Desain dimensi penghenti rantai harus didasarkan pada tarikan teoritis yang sama dengan 80% dari beban putus nominal rantai.

4.2.8 Tegangan total yang diterapkan pada setiap komponen bantalan beban harus berada di bawah titik leleh minimum (atau tegangan yang diizinkan 0,2%) dari material yang digunakan.

4.2.9 Pondasi dan tiang dari mesin kerek jangkar dan penghenti rantai diatur di [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.10, B.5.](#)

4.2.10 Desain rangkaian penggerak, termasuk penggerak utama, roda gigi reduksi, bantalan, clutches, poros, pengangkat kabel, dan pembautan harus mempertimbangkan efek dinamis dari penghentian dan penyalaan mendadak penggerak utama atau kabel rantai untuk membatasi beban inersia.

4.3 Persyaratan kekuatan untuk menahan *green sea forces*

4.3.1 Untuk kapal dengan panjang 80 m atau lebih, dimana ketinggian geladak terbuka di jalan kargo kurang dari 0,1 L atau 22 m diatas sarat air musim panas, mana yang lebih rendah, pemasangan mesin kerek jangkar yang terletak dalam seperempat panjang haluan kapal harus dapat menahan gaya *green sea*.

Berikut tekanan dan area terkait yang harus diterapkan ([Gambar 14.2.](#)):

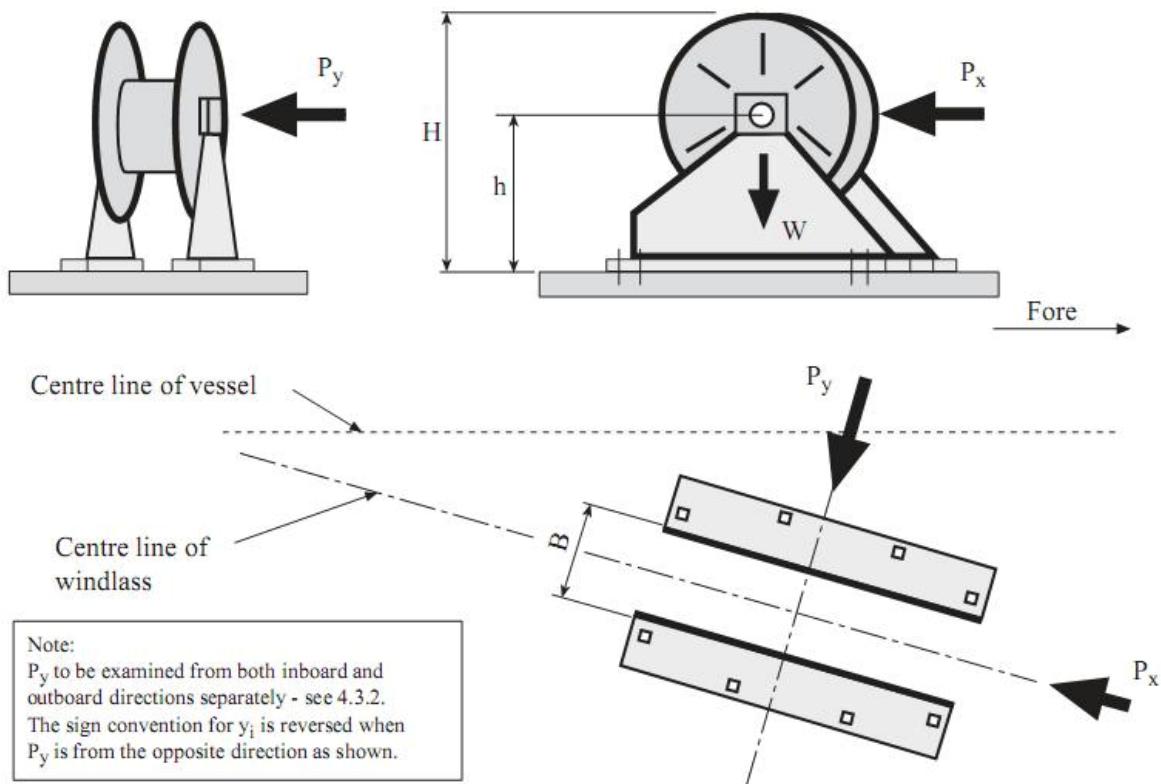
- 200 kN/m² normal terhadap sumbu poros dan menjauhi tegak lurus ke depan, diatas area proyeksi dalam arah ini
- 150 kN/m² sejajar dengan sumbu poros dan bekerja baik didalam maupun diluar kapal secara terpisah, selama beberapa kali area yang diproyeksikan ke arah ini

$$f = 1 + B/H, \text{ tapi tidak lebih besar dari } 2,5$$

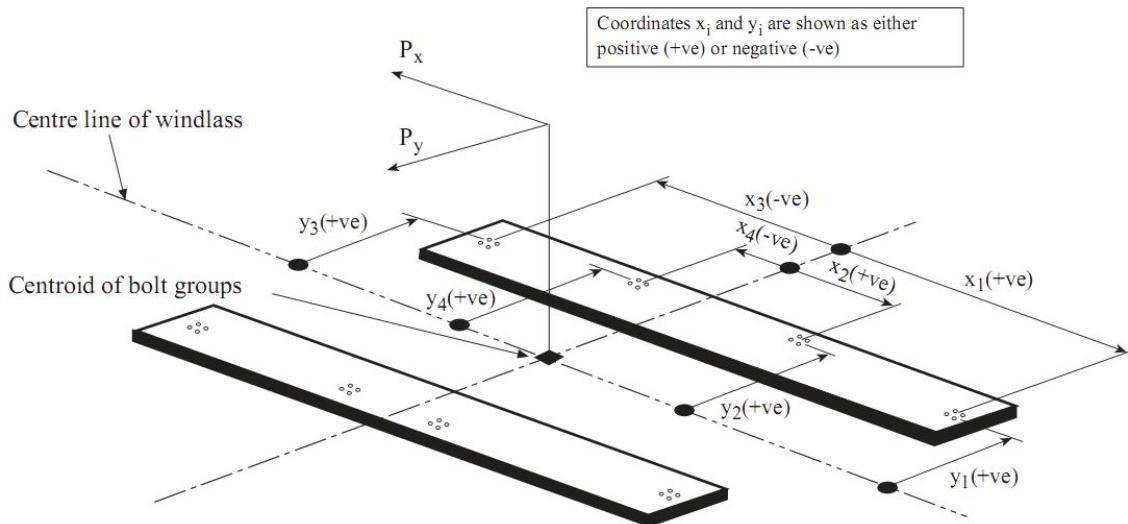
B = lebar mesin kerek jangkar diukur sejajar dengan sumbu poros [m]

H = tinggi keseluruhan mesin kerek jangkar [m]

Jika derek tambat merupakan bagian integral dengan mesin kerek jangkar, derek tersebut harus dianggap sebagai bagian dari mesin kerek jangkar.



Gambar 14.2 Arah gaya-gaya dan berat



Gambar 14.3 Tanda Konvensi

4.3.2 Gaya pada baut, *chocks* dan penghenti yang menahan mesin kerek jangkar ke geladak, yang disebabkan oleh gaya *green sea* yang ditentukan dalam [4.3.1](#), harus dihitung.

Mesin kerek jangkar ini didukung oleh kelompok baut N, masing-masing berisi satu atau lebih baut ([Gambar 14.3](#)).

Gaya aksial R_i dalam kelompok baut (atau baut) i, tegangan positif, diperoleh dari:

$$R_{xi} = \frac{P_x \cdot h \cdot x_i \cdot A_i}{I_x} \quad [kN] \quad (7)$$

$$R_{yi} = \frac{P_y \cdot h \cdot y_i \cdot A_i}{I_y} \quad [kN]$$

$$R_i = R_{xi} + R_{yi} - R_{si} \quad [kN]$$

P_x = gaya yang bekerja normal terhadap sumbu poros [kN]

P_y = gaya yang bekerja sejajar terhadap sumbu poros, baik didalam maupun diluar kapal dipilih manapun yang memberikan gaya yang lebih besar pada kelompok baut i [kN]

h = tinggi poros diatas pemasangan mesin kerek [cm]

x_i, y_i = koordinat x dan y kelompok baut i dari pusat massa dari semua kelompok baut N, positif di arah berlawanan dengan gaya yang diberikan [cm]

A_i = luas penampang semua baut dalam kelompok i [cm^2]

I_x = $\sum A_i x_i^2$ untuk kelompok baut N [cm^4]

I_y = $\sum A_i y_i^2$ untuk kelompok baut N [cm^4]

R_{si} = Reaksi statis di kelompok baut i, akibat berat dari mesin kerek jangkar [kN]

4.3.3 Gaya geser F_{xi} dan F_{yi} diterapkan pada kelompok baut i, dan resultan gaya gabungan diperoleh dari:

$$F_{xi} = \frac{P_x - \alpha m_w}{N} \quad [kN]$$

$$F_{yi} = \frac{P_y - \alpha m_w}{N} \quad [kN]$$

$$F_i = \sqrt{(F_{xi}^2 + F_{yi}^2)} \quad [kN]$$

α = koefisien gesek, diambil sama dengan 0,5

m_w = gaya berat mesin kerek jangkar [kN]

N = jumlah kelompok baut

Gaya tarik aksial dan gaya tekan serta gaya lateral yang dihitung di [4.3.1](#), [4.3.2](#) dan [4.3.3](#) juga harus dipertimbangkan didalam desain struktur pendukung.

4.3.4 Tegangan tarik aksial pada tiap baut pada setiap kelompok baut i harus dihitung. Gaya horisontal F_{xi} dan F_{yi} biasanya direaksikan dengan *shear chocks*.

Ketika baut "terpasang" dirancang untuk menopang gaya geser ini dalam satu atau kedua arah, tegangan ekivalen Von Mises pada masing-masing baut harus dihitung dan dibandingkan dengan tegangan sesuai beban yang diizinkan.

Dimana resin yang dapat dituang digabungkan dalam pengaturan penahanan, perhitungan harus diperhitungkan.

Faktor keamanan terhadap kekuatan yang diizinkan harus tidak kurang dari 2,0.

5. Uji pekerjaan di pabrik pembuat

5.1 Pengujian mesin penggerak

A.5.1 dapat diterapkan sebagaimana mestinya.

5.2 Uji Tekanan dan kekedapan

A.5.2 dapat diterapkan sebagaimana mestinya.

5.3 Pemeriksaan akhir dan pengujian operasional

5.3.1 Mesin kerek jangkar harus diperiksa selama fabrikasi di fasilitas pabrik pembuat oleh Surveyor untuk kesesuaian dengan rencana yang disetujui. Uji penerimaan, sebagaimana ditentukan dalam standar yang ditentukan dari kesesuaian, harus disaksikan oleh Surveyor dan termasuk pengujian berikut, minimum.

- 1) Uji tanpa beban. Mesin kerek jangkar harus dijalankan tanpa beban pada kecepatan nominal di setiap arah dengan total 30 menit. Jika mesin kerek jangkar dilengkapi dengan perpindahan gigi, putaran tambahan di setiap arah selama 5 menit pada setiap pergantian gigi diperlukan.
- 2) Uji beban. Mesin kerek jangkar harus diuji untuk memverifikasi bahwa tarikan kerja terus menerus, kapasitas beban lebih dan kecepatan mengangkat seperti yang ditentukan dalam 4.1 dapat dicapai.
- 3) Uji kapasitas rem. Daya tahan rem harus diverifikasi baik melalui pengujian atau dengan perhitungan.

5.3.2 Apabila pekerjaan pabrik pembuat tidak memiliki fasilitas yang memadai, uji tersebut termasuk penyesuaian perlindungan beban lebih dapat dilakukan di atas kapal. Dalam kasus ini, pengujian fungsi dalam pekerjaan pabrik pembuat harus dilakukan dalam kondisi tanpa beban.

5.3.3 Setelah pembuatan, penghenti rantai harus menjalani pemeriksaan akhir dan pengujian operasional di hadapan Surveyor BKI.

6. Uji coba di kapal

Peralatan jangkar harus diuji selama percobaan berlayar (*sea trial*).

Sebagai persyaratan minimum, uji ini diperlukan untuk menunjukkan bahwa persyaratan yang ditentukan dalam 4.1.1 dan 4.2.2 dapat terpenuhi.

Setiap unit harus diuji secara independen untuk penggereman, fungsi *clutch*, penurunan dan pengangkatan kabel rantai dan jangkar, penggunaan rantai yang tepat di atas pengangkat kabel, transit yang tepat dari rantai melalui pipa *hawse* dan pipa rantai, dan mempengaruhi penyimpanan yang tepat. dari rantai dan jangkar. Harus dikonfirmasi bahwa jangkar terpasang dengan benar pada posisi yang disimpan dan penghenti rantai berfungsi sebagaimana dirancang jika dipasang. Kecepatan pengangkatan rata-rata, sebagaimana ditentukan dalam 4.1.1, harus diukur dan diverifikasi. Kapasitas penggereman harus diuji dengan mengeluarkan dan menahan kabel rantai secara berkala dengan menggunakan rem. Jika kedalaman air yang tersedia tidak mencukupi, metode pengujian yang diusulkan akan dipertimbangkan secara khusus.

7. Penandaan

Mesin kerek jangkar harus ditandai secara permanen dengan informasi berikut:

- 1) Ukuran nominal rantai (misalnya 100/3/45 adalah penunjukan ukuran mesin kerek jangkar untuk rantai berdiameter 100 mm kabel K1-K3, dengan beban penahan 45% dari beban putus kabel rantai)

-
- 2) Kedalaman penjangkaran maksimum, dalam meter.

E. Derek

1. Derek tunda

Desain dan pengujian derek tunda harus mematuhi [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.27.C.5.](#)

2. Derek untuk roda gigi penanganan kargo dan peralatan angkat lainnya

Desain dan pengujian derek ini harus mematuhi [Regulations for the Construction and Survey of Lifting Appliances \(Pt.6, Vol.IV\)](#)

3. Derek sekoci penolong

Desain dan pengujian derek sekoci penolong harus mematuhi [Regulations for Life Saving Launching Appliances \(Pt.6, Vol.III\)](#).

4. Derek untuk peralatan khusus

[Regulations for the Construction and Survey of Lifting Appliances \(Pt.6, Vol.IV\)](#) harus diterapkan, dengan sesuai, sebagaimana mestinya, pada derek untuk peralatan khusus seperti rampa, roda gigi kerek dan tutup palka.

F. Sistem Hidrolik

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan yang terdapat dalam F. berlaku untuk sistem hidrolik yang digunakan, misalnya, untuk mengoperasikan palka, peralatan penutup di tutup kapal dan sekat, dan kerekkan. Persyaratan harus diterapkan dengan cara yang serupa dengan sistem hidrolik kapal yang lain kecuali jika dicakup oleh persyaratan [Bab 11](#).

1.2 Dokumen persetujuan

Diagram sistem hidrolik bersama dengan gambar silinder yang berisi semua data yang diperlukan untuk menilai sistem, misalnya data operasi, deskripsi, material yang digunakan dan lain-lain, harus diserahkan untuk dipersetujuan.

1.3 Desain dimensi

Untuk desain bejana tekan, lihat [Bab 8](#); untuk dimensi rakitan pipa dan selang, lihat [Bab 11](#).

2. Material

2.1 Material yang disetujui

2.1.1 Komponen yang memenuhi fungsi utama dalam sistem transmisi daya biasanya harus dibuat dari baja atau baja tuang sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#). Penggunaan material lainnya, sesuai dengan persetujuan khusus BKI.

Silinder lebih diutamakan terbuat dari baja, cor, baja atau besi cor nodular (dengan matriks feritik dominan).

- 2.1.2 Pipa harus dibuat dari tabung baja seamless atau dilas secara memanjang.
- 2.1.3 Dinding dengan tekanan-beban dari katup, fitting, pompa, motor dan lain-lain harus memenuhi persyaratan Bab 11.B.

2.2 Pengujian material

Komponen berikut harus diuji di bawah pengawasan BKI sesuai dengan [Rules for Materials \(Pt.1, Vol.V\)](#):

Tekanan pipa-pipa dengan $D_N > 50$ (lihat [Bab 11, Tabel 11.3](#))

Silinder, dimana produk tekanan kali diameter:

$$p_{e, \text{perm}} \cdot D_i > 20.000$$

$p_{e, \text{perm}}$ = tekanan kerja maksimum yang diizinkan [bar]

D_i = diameter dalam tabung [mm]

Untuk pengujian material dari akumulator hidrolik, lihat [Bab 8.B](#).

3. Peralatan operasional hidrolik untuk tutup palka

3.1 Desain dan konstruksi

3.1.1 Peralatan operasional hidrolik untuk tutup palka dapat dilayani baik oleh salah satu stasiun daya umum untuk semua tutup palka atau oleh beberapa stasiun daya secara individu yang ditetapkan untuk satu tutup palka. Dimana stasiun daya umum digunakan, sekurang-kurangnya dua unit pompa harus dipasang.

Dimana sistem disuplai secara individual, katup atau fitting diperlukan sehingga operasi dapat dipertahankan jika salah satu unit pompa gagal.

3.1.2 Pergerakan tutup palka tidak boleh dimulai hanya dengan menghidupkan pompa. Stasiun kendali khusus harus disediakan untuk mengendalikan pembukaan dan penutupan tutup palka. Kendali harus didesain sedemikian rupa sehingga, segera setelah dilepaskan, gerakan tutup palka berhenti dengan segera.

Palka biasanya harus terlihat dari stasiun kendali. Jika hal ini, dalam kasus luar biasa, menjadi tidak memungkinkan, pembukaan dan penutupan palka harus ditandai dengan alarm audio. Selain itu, stasiun kendali kemudian harus dilengkapi dengan indikator untuk memantau pergerakan tutup palka.

Di stasiun kendali, kendali yang mengatur operasi pembukaan dan penutupan harus ditandai dengan tepat.

3.1.3 Perlengkapan yang sesuai harus dipasang didalam, atau berbatasan langsung dengan, setiap unit daya (silinder atau sejenisnya) yang digunakan untuk mengoperasikan tutup palka agar dapat ditutup secara perlahan jika terjadi kegagalan daya, misalnya karena pipa yang pecah.

3.2 Pipa

3.2.1 Pipa harus dipasang dan diamankan sedemikian rupa untuk melindunginya dari kerusakan sekaligus memungkinkannya untuk dirawat dengan baik dari luar.

Pipa dapat diarahkan melalui tangki di terowongan pipa saja. Pemasangan pipa tersebut melalui ruang kargo harus dibatasi seminimal mungkin. Sistem perpipaan harus dilengkapi dengan katup pelepas untuk membatasi tekanan hingga tekanan kerja maksimum yang diizinkan.

3.2.2 Sistem perpipaan harus dilengkapi dengan filter untuk membersihkan cairan hidrolik.

Peralatan harus disediakan untuk memungkinkan sistem hidrolik dapat disirkulasi.

3.2.3 Ruang akumulator dari akumulator hidrolik harus memiliki akses permanen ke katup pelepasan dari sistem yang terhubung. Ruang gas akumulator dapat diisi hanya dengan gas lembam. Gas dan media operasi harus dipisahkan oleh tabung akumulator, diafragma atau sejenisnya.

3.2.4 Koneksi antara sistem hidrolik yang digunakan untuk operasi tutup palka dan sistem hidrolik lainnya hanya diizinkan dengan persetujuan BKI.

3.2.5 Untuk indikator level minyak, lihat [A.3.12.1](#).

3.2.6 Cairan hidrolik harus sesuai dengan temperatur dan layanan yang diinginkan.

3.3 Selang rakit

Konstruksi selang rakit harus sesuai dengan [Bab 11.U](#). Persyaratan bahwa selang rakit harus dari konstruksi tahan api dapat disisihkan untuk jalur selang di ruang yang tidak terkena bahaya kebakaran dan dalam sistem yang tidak penting bagi keselamatan kapal.

3.4 Operasi darurat

Direkomendasikan agar perangkat yang independen dari sistem utama dan yang memungkinkan tutup palka dibuka dan ditutup jika terjadi kegagalan sistem utama. Perangkat tersebut dapat, misalnya, berbentuk cincin longgar yang memungkinkan tutup palka dipindahkan oleh derek kargo, derek penggulung tali dan lain-lain.

4. Peralatan penutup yang dioperasikan secara hidrolik di lambung kapal

4.1 Ruang lingkup

Persyaratan berikut berlaku untuk peralatan daya dari peralatan penutup yang dioperasikan secara hidrolik di dalam lambung kapal seperti pintu lambung dan pintu pendaratan yang tidak dioperasikan secara normal saat berada di laut. Untuk desain dan pengaturan penutup, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.6,H.](#)

4.2 Desain

4.2.1 Pergerakan pintu lambung dan lain-lain tidak boleh dimulai hanya dengan menhidupkan pompa di stasiun daya.

4.2.2 Kendali setempat, yang tidak dapat diakses oleh orang yang tidak berwenang, harus disediakan untuk setiap alat penutup di lambung kapal. Segera setelah kendali (tombol tekan, tuas atau yang sejenisnya) dilepaskan, gerakan alat harus segera dihentikan.

4.2.3 Peralatan penutup di lambung kapal biasanya harus terlihat dari stasiun kendali. Jika gerakan tidak dapat diamati, alarm audio harus dipasang. Selain itu, stasiun kontrol kemudian dilengkapi dengan indikator yang memungkinkan pelaksanaan gerakan dipantau.

4.2.4 Peralatan penutup di dalam lambung kapal harus dilengkapi dengan peralatan yang mencegahnya bergerak ke posisi ujungnya dengan kecepatan yang berlebihan. Perangkat tersebut tidak menyebabkan unit daya dimatikan.

Sejauh diperlukan, sarana mekanis harus disediakan untuk mengunci peralatan penutup pada posisi terbuka.

4.2.5 Setiap unit daya yang menggerakkan peranti penutup yang dioperasikan secara horizontal atau yang dioperasikan secara vertikal harus dilengkapi dengan katup throttle atau perangkat serupa untuk mencegah jatuhnya peranti penutup secara tiba-tiba.

4.2.6 Direkomendasikan agar daya penggerak dibagi antara setidaknya dua set pompa yang saling independen.

4.3 Pipa, selang rakit

3.2 dan 3.3 harus diterapkan dengan cara yang sama dengan pipa dan jalur selang dari peranti penutup yang dioperasikan secara hidrolik di dalam lambung kapal.

5. Penutup sekat

5.1 Umum

5.1.1 Ruang lingkup

.1 Persyaratan berikut berlaku untuk peralatan daya pintu sekat kedap air yang dioperasikan secara hidrolik pada kapal penumpang dan kargo.

.2 Untuk rincian jumlah, desain dan susunan pintu sekat, lihat [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.11, 29](#) dan [36](#).

SOLAS, Chapter II-1, Regulation 15, 16 and 25.9 tidak terpengaruh oleh ketentuan ini.

5.1.2 Desain

Pintu sekat harus berupa pintu geser berpenggerak daya yang bergerak secara horizontal. Desain lain memerlukan persetujuan BKI dan ketentuan langkah-langkah keamanan tambahan jika diperlukan.

5.1.3 Perpipaan

.1 Jika dapat diterapkan, persyaratan untuk pipa dalam sistem sekat penutup sekat hidrolik diatur oleh Peraturan dalam 3.2, dengan batasan bahwa penggunaan selang fleksibel tidak diizinkan.

.2 Cairan hidrolik harus sesuai dengan temperatur lingkungan dan layanan yang diinginkan.

5.1.4 Unit penggerak

.1 Saklar pemilih dengan saklar yang memposisikan "kendali lokal" dan "menutup semua pintu" harus disediakan di stasiun kendali pusat di anjungan.

Dalam kondisi normal, saklar ini harus disetel ke "kendali lokal".

Dalam posisi "kendali lokal", pintu dapat dibuka dan ditutup secara lokal tanpa penutupan otomatis.

Dalam posisi "tutup semua pintu", semua pintu tertutup secara otomatis. Pintu dapat dibuka kembali melalui perangkat kendali lokal tetapi akan menutup kembali secara otomatis segera setelah kendali pintu lokal dilepaskan.

Tidak mungkin untuk membuka pintu yang tertutup dari anjungan.

.2 Pintu sekat tertutup atau terbuka tidak boleh digerakkan secara otomatis jika terjadi kegagalan daya.

.3 Sistem kendali harus dirancang sedemikian rupa sehingga kesalahan individu di dalam sistem kendali, termasuk perpipaan, tidak memiliki pengaruh yang merugikan pada pengoperasian pintu sekat lainnya.

.4 Kendali untuk penggerak daya harus ditempatkan setidaknya 1,6 m di atas lantai di kedua sisi sekat yang dekat dengan pintu. Kendali harus dipasang sedemikian rupa sehingga orang yang melewati pintu dapat memegang kedua kendalian dalam posisi terbuka.

Kendali akan kembali ke posisi semula secara otomatis ketika dilepaskan.

.5 Arah pergerakan kendali harus ditandai dengan jelas dan harus sama dengan arah pergerakan pintu.

.6 Jika elemen individual gagal di dalam sistem kendali untuk penggerak daya, termasuk perpipaan tetapi tidak termasuk silinder penutup pada pintu atau komponen serupa, kemampuan operasional sistem kendali yang dioperasikan secara manual tidak boleh terganggu.

.7 Pergerakan pintu sekat yang digerakkan daya tidak dapat dimulai hanya dengan menyalaikan unit penggerak tetapi hanya dengan menggerakkan perangkat tambahan.

.8 Peralatan kendali dan pemantauan untuk unit penggerak harus ditempatkan di stasiun kendali pusat di anjungan.

5.1.5 Kendali manual

Setiap pintu harus memiliki sistem kendali manual yang independen dari penggerak daya.

5.1.6 Indikator

Indikator visual untuk menunjukkan apakah setiap pintu sekat terbuka penuh atau tertutup harus dipasang di stasiun kendali pusat di anjungan.

5.1.7 Peralatan listrik

Untuk detail peralatan listrik, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.9 and 14.D](#).

5.2 Kapal penumpang

Selain [5.1](#), persyaratan berikut harus dipertimbangkan dalam kasus kapal penumpang:

5.2.1 Desain dan lokasi

.1 Pintu sekat bersama-sama dengan pembangkit dan termasuk perpipaan, kabel listrik dan instrumen kendali harus memiliki jarak minimal $0,2 \times B$ dari tegak lurus yang memotong garis kontur lambung kapal pada saat muatan (B = lebar).

.2 Pintu sekat harus dapat ditutup dengan aman dengan menggunakan penggerak daya serta menggunakan kendali manual bahkan ketika kapal memiliki kemiringan permanen 15° .

.3 Gaya yang diperlukan untuk menutup pintu harus dihitung berdasarkan tekanan air statis minimal 1 m di atas ambang pintu.

.4 Semua pintu penggerak daya harus mampu ditutup secara bersamaan dari anjungan dengan kapal tegak dalam waktu tidak lebih dari 60 detik.

.5 Kecepatan penutupan setiap pintu individu harus memiliki kecepatan yang seragam. Waktu penutupannya dengan operasi daya dan dengan kapal tegak tidak boleh lebih dari 40 detik dan tidak kurang dari 20 detik dari awal gerakan dengan terbuka penuh sampai tertutup.

.6 Sistem penutup sekat yang dioperasikan dengan daya dapat dipasang sebagai opsi dengan penggerak hidrolik sentral untuk semua pintu atau dengan penggerak hidrolik atau elektrik yang saling independen untuk setiap pintu.

.7 Sistem penutup sekat tidak boleh dihubungkan ke sistem lain.

5.2.2 Sistem hidrolik sentral - penggerak daya

.1 Dua unit pompa daya yang saling independen harus dipasang jika memungkinkan di atas sekat atau geladak lambung timbul dan di luar ruang permesinan.

.2 Setiap unit pompa harus mampu menutup semua pintu sekat yang terhubung secara bersamaan.

.3 Sistem hidrolik harus menggabungkan akumulator dengan kapasitas yang cukup untuk mengoperasikan semua pintu yang terhubung tiga kali, yaitu tutup, buka dan tutup kembali, pada tekanan akumulator minimum yang diizinkan.

5.2.3 Penggerak hidrolik individu

.1 Unit pompa daya independen harus dipasang pada setiap pintu untuk membuka dan menutup pintu.

.2 Akumulator juga harus dilengkapi dengan kapasitas yang cukup untuk mengoperasikan pintu tiga kali, yaitu tutup, buka dan tutup kembali, pada tekanan akumulator minimum yang diizinkan.

5.2.4 Penggerak listrik individu

.1 Unit penggerak listrik independen harus dipasang pada setiap pintu untuk membuka dan menutup pintu.

.2 Jika terjadi kegagalan suplai daya utama ataupun suplai daya darurat, unit penggerak masih dapat mengoperasikan pintu tiga kali, yaitu tutup, buka dan tutup kembali.

5.2.5 Kendali manual

.1 Kendali manual harus dapat dioperasikan pada pintu dari kedua sisi sekat maupun dari stasiun kendali yang mudah dijangkau yang terletak di atas geladak sekat atau lambung timbul dan di luar ruang permesinan.

.2 Kendali di pintu adalah untuk memungkinkan pintu dibuka dan ditutup.

.3 Kendali di atas geladak memungkinkan pintu ditutup.

.4 Pintu yang terbuka penuh harus dapat ditutup dengan menggunakan kendali manual dalam waktu 90 detik dengan kondisi kapal tegak.

.5 Sarana komunikasi harus disediakan antara stasiun kendali untuk penggerak manual jarak jauh di atas sekat geladak lambung timbul dan stasiun kendali pusat di anjungan.

5.2.6 Indikator

Indikator yang dijelaskan dalam [5.1.6](#) harus dipasang di stasiun operasi untuk kendali manual di atas sekat atau geladak lambung timbul untuk setiap pintu.

5.2.7 Alarm

.1 Saat semua pintu ditutup dari anjungan, terdengar alarm audio di setiap pintu. Alarm ini dimulai setidaknya 5 detik - tetapi tidak lebih dari 10 detik - sebelum pintu mulai bergerak dan terus berlanjut sepanjang gerakan pintu.

.2 Ketika pintu ditutup dengan kendali jarak jauh menggunakan kendali manual di atas sekat atau geladak lambung timbul, alarm cukup berbunyi hanya saat pintu benar-benar bergerak.

.3 Pemasangan alarm visual tambahan yang terputus-putus mungkin diperlukan di area penumpang dan di area di mana ada tingkat kebisingan latar belakang yang tinggi.

.4 Dengan sistem hidrolik pusat, level minyak minimum yang diizinkan dalam tangki servis harus ditandai dengan menggunakan alarm audio dan visual independen di stasiun kendali pusat di anjungan.

.5 Alarm yang dijelaskan dalam [5.2.7.4](#) juga harus disediakan untuk memberi sinyal minimum yang diizinkan tekanan akumulator dari sistem hidrolik pusat.

.6 Sistem hidrolik terdesentralisasi yang memiliki unit penggerak individu di setiap pintu, tekanan akumulator minimum yang diizinkan harus ditandai menggunakan alarm kelompok di stasiun kendali pusat di anjungan.

Indikator visual juga harus dipasang di stasiun operasi untuk setiap pintu individu.

5.3 Kapal kargo

Selain spesifikasi yang ditetapkan pada [5.1](#) persyaratan berikut harus diperhatikan untuk kapal kargo:

5.3.1 Kendali manual

.1 Kendali manual harus dapat dioperasikan pada pintu dari kedua sisi sekat.

.2 Kendali memungkinkan pintu dibuka dan ditutup.

5.3.2 Alarm

Sementara semua pintu ditutup dari anjungan, alarm audio harus didengar akan dibunyikan setiap kali pintu sedang bergerak.

6. Kerekan

6.1 Definisi

Untuk keperluan persyaratan ini, kerekan mencakup peranti yang dioperasikan secara hidrolik seperti kerekan di ruang kemudi, lift, lift platform dan peralatan serupa.

6.2 Desain

6.2.1 Kerekan dapat disuplai baik oleh stasiun daya gabungan atau secara individu oleh beberapa stasiun daya untuk setiap peranti lift tunggal.

Dalam hal suplai catu daya gabungan dan penggerak hidrolik yang sistem perpipaanya terhubung ke sistem hidrolik lainnya, unit pompa kedua harus dipasang.

6.2.2 Pergerakan kerekan tidak boleh dimulai hanya dengan menghidupkan pompa. Pergerakan kerekan harus dikendalikan dari stasiun operasi khusus. Kendali harus diatur sedemikian rupa, segera setelah dilepaskan, gerakan kerekan segera berhenti.

6.2.3 Kendali lokal, yang tidak dapat diakses oleh orang yang tidak berwenang, harus dipasang. Pergerakan kerekan biasanya terlihat dari stasiun operasi. Jika gerakan tidak dapat diamati, alarm audio dan/atau visual harus dipasang. Selain itu, stasiun operasi kemudian dilengkapi dengan indikator untuk memantau pergerakan kerekan.

6.2.4 Perangkat harus dipasang yang mencegah kerekan mencapai posisi ujungnya pada kecepatan yang berlebihan. Perangkat ini tidak menyebabkan unit daya dimatikan. Sejauh diperlukan, alat mekanis harus disediakan untuk mengunci kerekan pada posisi ujungnya.

Jika perangkat penguncian tidak dapat diamati dari stasiun operasi, indikator visual harus dipasang di stasiun operasi untuk menunjukkan status penguncian.

6.2.5.3.1.3 harus diterapkan dengan cara yang analog dengan perangkat yang, jika unit daya gagal atau pipa pecah, pastikan kerekan diturunkan secara perlahan.

6.3 Pipa, rakitan selang

[3.2](#) dan [3.3](#) berlaku dengan cara analog dengan pipa dan jalur selang dari kerekan yang dioperasikan secara hidrolik.

7. Uji dalam pekerjaan di pabrik pembuat

7.1 Pengujian unit daya

Unit daya harus menjalani pengujian pada *test bed*. Laporan Uji Pabrik pembuat untuk pengujian ini ditunjukkan pada pemeriksaan akhir sistem hidrolik.

7.2 Uji tekanan dan kekedapan

[A.5.2](#) dapat diterapkan dengan cara yang analog.

8. Percobaan di kapal

Setelah instalasi, peralatan akan menjalani uji operasional.

Uji operasional pintu kedap air harus mencakup sistem operasi darurat dan penentuan waktu penutupan.

G. Sistem Kendali Pintu Kebakaran

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan G berlaku untuk sistem kendali pintu kebakaran yang dioperasikan dengan daya di kapal penumpang. Aturan ini memenuhi persyaratan untuk sistem kendali pintu kebakaran yang ditetapkan dalam SOLAS 74, Chapter II-2, Regulation 9.4 sebagaimana telah diubah. Persyaratan berikut dapat diterapkan sesuai dengan sistem kendali pintu kebakaran lainnya:

1.2 Dokumen persetujuan

Diagram listrik dan pneumatik bersama dengan gambar silinder yang berisi semua data yang diperlukan untuk menilai sistem, misalnya data operasi, deskripsi, material yang digunakan dan lain-lain, harus diserahkan dalam bentuk format elektronik untuk persetujuan.

1.3 Desain dimensi

Untuk desain bejana tekan, lihat Bab 8; untuk dimensi pipa, lihat Bab 11.

2. Material

2.1 Material yang disetujui

Silinder harus terbuat dari material yang tahan korosi.

Baja tahan karat atau tembaga harus digunakan untuk pipa.

Penggunaan material lain memerlukan persetujuan khusus dari BKI.

Penggunaan selang rakitan tidak diizinkan.

Material isolasi harus dari jenis yang disetujui.

Sifat kualitas dari semua komponen penting untuk operasi dan keselamatan harus sesuai dengan aturan dan standar yang diakui.

2.2 Pengujian material

Bukti yang sesuai mengenai sifat kualitas material yang digunakan harus dilengkapi. Untuk suku cadang di bawah tekanan Sertifikat sesuai Tabel 11.3, untuk semua suku cadang lainnya diperlukan Laporan Uji Pabrikan.

Surveyor BKI berhak untuk memerintahkan uji tambahan sendiri untuk dilakukan dimana dianggap bahwa kondisi tersebut dibenarkan.

Lihat Bab 8.B. untuk detail tentang pengujian material dari akumulator udara terkompresi.

3. Desain

3.1 Setiap pintu harus dapat dibuka dan ditutup oleh satu orang dari kedua sisi sekat

3.2 Pintu kebakaran harus mampu menutup secara otomatis bahkan terhadap sudut kemiringan permanen kapal 3,5 derajat.

3.3 Waktu penutupan pintu-pintu berengsel, dengan kapal tegak, tidak boleh lebih 40 detik dan tidak kurang dari 10 detik dari awal pergerakan pintu ketika pintu terbuka penuh ke posisi tertutupnya untuk setiap pintu individu.

Kecepatan penutupan pintu geser harus stabil dan, dengan kapal tegak, tidak boleh lebih dari 0,2 m/s dan tidak kurang dari 0,1 m/s.

Tindakan harus diambil untuk memastikan bahwa setiap orang di area pintu dilindungi dari pembalasan yang berlebihan.

3.4 Semua pintu harus mampu ditutup dari stasiun kendali pusat baik secara bersama-sama atau berkelompok. Juga dimungkinkan untuk memulai penutupan pada setiap pintu individu. Saklar penutup berbentuk saklar pengunci.

3.5 Indikator visual harus dipasang di stasiun kendali pusat untuk menunjukkan bahwa setiap pintu kebakaran tertutup penuh.

3.6 Pintu yang digerakkan daya yang mengarah dari "area khusus" (misalnya geladak mobil, geladak kereta api) sesuai dengan Chapter II-2, Regulation 3.46 SOLAS 74 sebagaimana diubah atau dari ruang yang sebanding ke stasiun kendali, tangga dan juga ke akomodasi dan ruang sevis dan yang tutup saat kapal di kapal berada di laut tidak perlu dilengkapi dengan indikator seperti yang dijelaskan dalam [3.5](#) dan alarm seperti yang dijelaskan dalam [3.12](#).

3.7 Agen operasi untuk sistem kendali harus dipasang di sebelah setiap pintu di kedua sisi sekat dan dengan operasinya pintu yang telah ditutup dari stasiun kendali pusat dapat dibuka kembali. Kendali akan kembali ke posisi semula saat dilepaskan, sehingga menyebabkan pintu untuk menutup lagi.

Dalam keadaan darurat adalah mungkin untuk menggunakan kendali untuk segera menghentikan pembukaan pintu dan menutupnya dengan segera.

Kombinasi kendali dengan pegangan pintu dapat diizinkan.

Kendali harus didesain sedemikian rupa sehingga pintu yang terbuka dapat ditutup secara lokal. Selain itu, setiap pintu harus dapat dikunci secara lokal sedemikian rupa sehingga tidak dapat dibuka lagi dengan kendali jarak jauh.

3.8 Unit kendali di pintu harus dilengkapi dengan perangkat yang akan mengeluarkan sistem pneumatik atau memutus energi listrik dari sistem kendali pintu, secara bersamaan mematikan jalur suplai utama dan dengan demikian memungkinkan operasi darurat dengan tangan.

3.9 Pintu akan menutup secara otomatis jika suplai daya pusat gagal. Pintu mungkin tidak terbuka kembali secara otomatis ketika suplai pusat dipulihkan.

Sistem akumulator harus ditempatkan di sekitar pintu yang cukup untuk memungkinkan suplai udara yang cukup untuk memungkinkan pintu dibuka dan ditutup sepenuhnya setidaknya sepuluh kali lagi, dengan kapal tegak, menggunakan kendali lokal.

3.10 Langkah-langkah harus diambil untuk memastikan bahwa pintu masih dapat dioperasikan dengan tangan jika terjadi kegagalan suplai energi.

3.11 Jika suplai energi pusat gagal di area kendali lokal pintu, kemampuan pintu lain untuk berfungsi mungkin tidak terpengaruh secara merugikan.

3.12 Pintu yang tertutup dari stasiun kendali pusat harus dilengkapi dengan alarm audio. Setelah perintah tutup pintu diberikan, alarm ini akan dimulai sekurang-kurangnya 5 detik, tetapi tidak lebih dari 10 detik sebelum pintu mulai bergerak dan terus berbunyi hingga pintu tertutup sepenuhnya.

3.13 Pintu kebakaran harus dilengkapi dengan pita pengaman sedemikian rupa sehingga pintu

penutup terbuka kembali segera setelah melakukan kontak dilakukan dengannya. Setelah kontak dengan pita pengaman, perjalanan pembukaan pintu tidak boleh lebih dari 1 m.

3.14 Kendali pintu lokal, termasuk semua komponen, harus dapat diakses untuk pemeliharaan dan penyetelan.

3.15 Sistem kendali harus dari desain yang disetujui. Kemampuan untuk beroperasi jika terjadi kebakaran harus dibuktikan sesuai dengan FTP-Code¹ dan di bawah pengawasan BKI. Sistem kendali harus sesuai dengan persyaratan minimum berikut.

3.15.1 Pintu masih harus mampu dioperasikan dengan aman selama 60 menit pada temperatur sekitar minimum 200 °C melalui suplai energi pusat.

3.15.2 Suplai energi pusat untuk pintu lain yang tidak terpengaruh oleh kebakaran tidak boleh diganggu.

3.15.3 Pada temperatur sekitar yang melebihi 300 °C, suplai energi pusat harus dimatikan secara otomatis dan sistem kendali lokal dimatikan. Energi sisa masih cukup untuk menutup pintu yang terbuka sepenuhnya selama proses ini.

Perangkat *shut-off* harus mampu mematikan suplai energi selama satu jam dengan variasi temperatur yang sesuai dengan kurva waktu-suhu standar yang diberikan dalam SOLAS 74, Chapter II-2, Regulation 3.

3.16 Sistem pneumatik harus terlindungi dari tekanan lebih.

3.17 Fasilitas drainase dan ventilasi harus disediakan.

3.18 Fasilitas penyaringan udara dan pengeringan harus disediakan.

3.19 Untuk rincian perlengkapan listrik, lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.14.D](#).

4. Uji pekerjaan di pabrik pembuat

Sistem kendali lengkap harus menjalani uji persetujuan tipe. Selain itu, konstruksi yang diperlukan sesuai dengan **2.** dan **3.** dan pengoperasian harus dibuktikan untuk keseluruhan penggerak.

5. Uji coba di kapal

Setelah instalasi, sistem harus menjalani uji operasi yang juga mencakup operasi darurat dan verifikasi waktu penutupan.

H. Stabilisator

1. Umum

1.1 Ruang lingkup

Persyaratan yang terdapat dalam **H.** berlaku untuk unit penggerak stabilisator yang diperlukan untuk pengoperasian dan keselamatan kapal.

1.2 Dokumen persetujuan

Gambar rakitan dan umum bersama dengan diagram peralatan hidrolik dan listrik yang berisi semua data

¹ IMO Res. MSC.61 (67)

yang diperlukan untuk pemeriksaan harus diserahkan dalam bentuk format elektronik untuk persetujuan.

2. Desain

A.2.1.3 dan A.2.1.4 dapat diterapkan dengan cara sama dengan koneksi pipa unit penggerak hidrolik.

3. Tekanan dan tes kekedapan

A.5.2 dapat diterapkan dengan cara yang analog.

4. Uji coba di kapal

Efisiensi operasional peralatan stabilisir harus ditunjukkan selama percobaan laut.

Bab 15 Persyaratan Khusus Kapal Tangki

A.	Umum.....	15–1
B.	Persyaratan Umum untuk Kapal Tangki	15–3
C.	Kapal Tangki untuk Pengangkut Minyak dan Cairan yang Mudah Terbakar lainnya yang Memiliki Titik Nyala 60 °C atau lebih rendah.....	15–14
D.	Sistem Gas Lembam Kapal Tangki	15–18
E.	Persyaratan tambahan untuk Pemasangan Sistem Manajemen Air Balas	15–25

A. Umum

1. Ruang Lingkup

1.1 Persyaratan ini berlaku kapal tangki untuk pengangkut cairan yang mudah terbakar, beracun, korosif atau berbahaya. Peraturan internasional dan nasional tetap tidak berlaku.

1.2 Untuk tujuan persyaratan ini, kapal tangki yang dimaksud adalah:

- a) Kapal pengangkut cairan dalam tangki yang merupakan bagian dari lambung, dan
- b) Kapal dengan tangki tetap independen dari lambung dan digunakan untuk pengangkut cairan.

1.3 Sebagai tambahan persyaratan umum untuk kapal tangki pada B:

- Kapal Tangki pengangkut kargo minyak mengacu pada ketentuan C.
- Kapal Tangki pengangkut bahan kimia berbahaya dalam bentuk curah mengacu pada ketentuan [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk \(Pt.1, Vol. X\)](#).
- Kapal Tangki pengangkut gas cair dalam bentuk curah mengacu pada ketentuan [Rules for Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk \(Pt.1, Vol. IX\)](#).
- Untuk pembangkit gas lembam lihat D.
- Lokasi tangki bahan bakar di area kargo pada kapal tangki minyak dan kimia lihat [bab 10.B.2.1.6](#)

2. Definisi

Untuk tujuan Bab ini, **area kargo** termasuk tangki kargo, ruang muat untuk tangki kargo independen, tangki dan ruang yang berdekatan dengan tangki kargo, koferdam, ruang pompa kargo dan area di atas ruang tersebut.

Untuk tujuan Bab ini, sistem perpipaan dan ventilasi yang **terpisah** adalah ventilasi yang dapat, bila perlu, terisolasi dari sistem perpipaan lainnya dengan menghilangkan bagian spool atau katup dan pemotongan (blanking) ujung pipa.

Untuk keperluan Bab ini, sistem perpipaan dan ventilasi **independen** adalah ventilasi yang tidak mempunyai sarana untuk koneksi ke sistem lain yang tersedia.

3. Dokumen persetujuan

3.1 Sesuai dengan jenis kapal, setidaknya dokumen-dokumen (skema-skema rencana, gambar-gambar rincian/pengaturan) yang ditentukan pada [3.2](#) bersama-sama dengan semua informasi yang diperlukan untuk penilaiannya harus disampaikan kepada BKI dalam format elektronik.

3.2 Untuk kapal pengangkut cairan yang mudah terbakar dan bahan kimia:

- sistem perpipaan kargo termasuk lokasi pompa kargo dan permesinan penggeraknya

- penetrasi poros kedap gas untuk pompa dan kipas
- sistem ventilasi tangki kargo dengan katup *pressure-vacuum relief* termasuk *flame arrestors* dan pipa pengumpul dan tangki kargo uap balik
- perangkat pengukuran/duga tangki kargo, peralatan indikasi alarm level/limpah dan temperatur bilga dan jalur air balas untuk area kargo
- peralatan ventilasi untuk ruang di area kargo
- jalur pemanas dan penguapan untuk tangki kargo
- peralatan kebakaran/pemadam untuk area kargo
- sistem pembersihan tangki kargo tetap
- sistem katup yang dikendalikan dari jarak jauh termasuk peralatan penggerak
- detail dari muatan cair yang akan dibawa
- detail dari material yang bersentuhan dengan kargo atau uap
- perhitungan penurunan tekanan dari sistem ventilasi berdasarkan laju maksimum pemuatian/pembongkaran
- pengaturan pembebasan gas untuk tangki kargo dan balas dan koferdam
- sistem pelepas darurat untuk perpipaan pembebasan haluan dan pengaturan SPM
- pembangkit gas lembam dan sistem untuk tangki kargo, pelembaman tangki balas
- kipas yang digerakkan secara mekanis di area kargo
- peralatan keselamatan di ruang pompa, pemantauan temperatur bantalan/rumah pompa kargo dan lain-lain.
- sistem deteksi gas di ruang pompa.
- detail dan pengaturan perangkat pembangkit gas lembam termasuk semua perangkat kendali dan pemantauan;
- pengaturan sistem perpipaan untuk distribusi gas lembam.

4. Referensi pada Peraturan lainnya

Peraturan Klasifikasi dan Konstruksi Kapal Samudra.

- lambung kapal: [Rules for Hull \(Pt.1, Vol. II\), Section. 24](#).
- jaringan perpipaan, pompa, katup dan fitting: [Bab. 11](#).
- pemadam kebakaran dan perlindungan kebakaran: [Bab 12](#).
- peralatan listrik: [Rules for Electrical Installation \(Pt. 1, Vol.IV\), Section 15](#).
- Memperhatikan juga ketentuan dari Internasional Convention for the Prevention of Pollution from Ships of 1973 and of the relevant Protocol of 1978 (MARPOL 73/78) Annex I & II.

B. Persyaratan Umum untuk Kapal Tangki

1. Pompa kargo

1.1 Lokasi

1.1.1 Pompa kargo harus ditempatkan di geladak, di tangki kargo atau di kamar khusus pompa yang terpisah dari kamar lain kapal oleh geladak dan sekat kedap gas. Kamar pompa harus dapat diakses hanya dari area kargo dan harus tidak terhubung ke kamar mesin atau ruang yang berisi sumber api.

1.1.2 Penetrasi dari sekat kamar pompa pada poros harus dilengkapi dengan perapat kedap gas. Untuk pelumasan perapat dari luar kamar pompa harus dibuat sesuai ketentuan.

Panas berlebih dari perapat dan percikan bunga api harus dihindari dengan desain yang tepat dan pemilihan material yang sesuai.

Jika *steel bellows* digunakan dalam penetrasi sekat kedap gas, baja harus dikenai uji tekanan pada 5 bar sebelum pemasangan.

1.2 Peralatan dan pengoperasian

1.2.1 Pompa kargo harus dilindungi dari tekanan berlebih dengan menggunakan *relief valves* yang dibuang ke jalur hisap pompa.

Dimana pada aliran $Q = 0$ tekanan buang dari pompa sentrifugal tidak melebihi tekanan desain perpipaan kargo, *relief valves* dapat ditiadakan jika sensor temperatur dipasang di rumah pompa yang menghentikan pompa atau mengaktifkan alarm jika terjadi panas berlebih.

1.2.2 Harus dimungkinkan untuk mengendalikan kapasitas pompa kargo baik dari ruang pompa maupun dari sebuah lokasi yang sesuai di luar kamar pompa. Sarana harus tersedia untuk menghentikan pompa kargo yang diletakkan di atas geladak tangki.

1.2.3 Pada semua posisi pengoperasian pompa dan posisi penanganan kargo di geladak, alat pengukur tekanan untuk memantau tekanan pompa harus dipasang. Tekanan kerja maksimum yang diizinkan harus ditunjukkan dengan tanda merah pada skala.

1.2.4 Pipa penguras pompa yang digerakkan oleh uap dan jalur uap harus berakhir pada ketinggian yang cukup di atas dasar bilga untuk mencegah masuknya residu kargo.

1.3 Penggerak

1.3.1 Motor penggerak harus dipasang di luar area kargo. Pengecualian dapat dilakukan untuk mesin digerakkan oleh uap dimana suhu uap tidak melebihi 220°C .

1.3.2 Mesin penggerak pompa kargo hidrolik (misalnya untuk pompa terendam) dapat dipasang di dalam area kargo.

1.3.3 Untuk motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa kargo lihat [Rules for Electrical Installations \(Pt.1, Vol.IV\) Sec.15](#).

2. Sistem jalur kargo

2.1 Instalasi jalur

2.1.1 Sistem jalur kargo harus dipasang secara permanen dan sepenuhnya terpisah dari sistem perpipaan lainnya. Secara umum, jalur mungkin tidak melampaui area kargo. Untuk jalur kargo haluan dan buritan, lihat C.5, dan [Rules for Ships Dangerous Chemical in Bulk \(Pt.1, Vol.X\) Sec.3.3.7](#)

2.1.2 Jalur kargo harus dipasang sehingga kargo yang tersisa dapat dialirkan ke tangki kargo. Pipa pengisian untuk tangki kargo harus diperpanjang sampai dasar tangki.

2.1.3 *Expansion bends, expansion bellows* dan *expansion joint* lain yang disetujui harus dipasang seperlunya.

2.1.4 *Inlet* air laut harus dipisahkan dari jalur kargo misalnya dengan dua *stop valves*, salah satunya harus dikunci dalam posisi tertutup.

2.1.5 *Inlet* dan *outlet* air laut (kotak laut) untuk sistem balas dan kargo harus diatur secara terpisah.

2.2 Desain jalur kargo

2.2.1 Untuk desain jalur kargo, lihat [Bab 11.C](#). Ketebalan minimum dinding harus sesuai dengan [Tabel 11.5](#), grup N. *Delivery heads* yang memungkinkan dari pompa darat dan tangki gravitasi harus diperhitungkan.

2.2.2 Pengelasan adalah metode yang disukai untuk menghubungkan jalur kargo.

Pipa minyak kargo harus tidak boleh melewati tangki balas. Pengecualian untuk pipa dengan panjang pendek dapat disetujui oleh BKI dengan syarat [4.3.4](#) diterapkan secara analog.

2.3 Katup, perlengkapan dan peralatan

2.3.1 Sambungan selang harus dibuat dari baja tuang atau material liat lainnya dan harus dilengkapi dengan *shut-off valves* dan *blind flanges*.

2.3.2 Batang perpanjangan untuk *stop valves* di dalam tangki kargo harus dilengkapi dengan penetrasi geladak kedap gas dan indikator buka/tutup. Semua *stop valves* kargo lain harus dirancang untuk menunjukkan apakah katup terbuka atau tertutup.

2.3.3 Mekanisme pengoperasian darurat harus disediakan untuk *stop valves* yang digerakkan secara hidrolik atau pneumatik. Pompa yang dioperasikan dengan tangan yang terhubung ke sistem hidrolik sehingga dapat diisolasi dapat dianggap sebagai mekanisme operasi darurat.

Mekanisme pengoperasian darurat yang dikendalikan dari geladak dapat ditiadakan asalkan tangki kargo dapat dikosongkan dengan jalur lain atau *shut-off valves* terletak di tangki yang berdekatan.

2.3.4 Pada posisi untuk memantau operasi pemuatan dan pembuangan kargo, jalur kargo harus dilengkapi dengan alat ukur tekanan dengan tanda merah yang menunjukkan tekanan kerja maksimum yang diizinkan.

2.3.5 Ketentuan harus dibuat untuk pengeringan aman, pembebasan gas dan pembersihan sistem jalur kargo.

3. Pemanasan tangki dan uap keluar

3.1 Pemanasan tangki

Hal ini mengacu pada persyaratan yang sesuai mengenai pemanasan bahan bakar, [Bab 10.B.5](#).

3.2 Katup dan perlengkapan untuk sistem pemanas tangki

Jalur uap ke kumparan pemanas individu dari tangki kargo harus dilengkapi dengan *screw-down non-return valves*. Sarana pengujian kondensat untuk masuknya minyak harus dipasang sebelum *stop valves* dalam koil pemanas *outlet*.

3.3 Kondensat balik

Kondensat dari sistem pemanas akan dikembalikan ke sistem air umpan melalui tangki observasi. Tangki observasi kondensat harus diatur dan dilengkapi sehingga residu kargo di kondensat tidak akan menimbulkan bahaya di kamar mesin atau ruang bebas gas lainnya. Pipa ventilasi harus dilengkapi dengan *flame arrester* yang memenuhi [6](#) dan harus diarahkan ke geladak terbuka dalam posisi yang aman.

3.4 Pemanasan tangki dengan media perpindahan panas khusus

3.4.1 Sistem minyak termal mengacu pada persyaratan [Bab 7.II](#) dan [11.Q](#).

3.4.2 Sistem sirkuit sekunder harus disediakan yang seluruhnya terletak di area kargo.

Sistem sirkuit-tunggal dapat disetujui jika:

- bejana ekspansi yang tersebut dalam [Bab 7.II](#), [C.3](#) diatur sehingga pada level cairan minimum di bejana ekspansi, tekanan dalam sistem minyak termal dengan pompa sirkulasi cairan termal tidak beroperasi harus sekruang-kurangnya 0,3 bar lebih tinggi dari tekanan statis dari kargo
- semua katup penutup antara tangki kargo dan bejana ekspansi dapat dikunci pada posisi terbuka, dan
- sarana untuk mendeteksi gas yang mudah terbakar di bejana ekspansi tersedia. Penggunaan sebuah unit portabel dapat disetujui.

3.5 Jalur uap keluar

Jalur uap dari uap keluar tangki kargo dan jalur kargo harus dilengkapi dengan *screw-down non-return valves*.

3.6 Sistem pemanas tangki kapal tangki kimia

Sebagai tambahan mengacu pada persyaratan [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk \(Pt.1, Vol.X\) Sec.7](#)

4. Sistem bilga dan balas

4.1 Perhitungan diameter pipa bilga

4.1.1 Sistem bilga untuk area kargo harus dipisahkan dari area lain.

Sistem bilga untuk area kargo harus ditempatkan di area kargo.

Sistem bilga untuk ruang permesinan mengacu pada [Bab 11.N.2.3](#).

4.1.2 Untuk ruang di area kargo dari pengangkut kombinasi, sistem bilga harus dirancang sesuai dengan Bab 11.N.2.2.

4.1.3 Ruang tangki independen pada kapal tangker menurut A.1.2. b), diameter jalur bilga utama dan cabang dihitung sebagai berikut:

$$d_H = 1,68 \cdot \sqrt{(B+H)\ell_2 - (b+h)\ell_{T2}} + 25 \quad [\text{mm}]$$

$$d_z = 2,15 \cdot \sqrt{(B+H)\ell - (b+h)\ell_T} + 25 \quad [\text{mm}]$$

dimana :

d_H = diameter dalam jalur bilga utama [mm]

d_z = diameter dalam jalur bilga cabang [mm]

B = lebar kapal [m]

H = lebar dalam (moulded) kapal [m]

ℓ_2 = panjang total area kargo [m]

ℓ = panjang kompartemen kedap air [m]

b = lebar maksimum tangki kargo [m]

h = kedalaman maksimum tangki kargo [m]

ℓ_{T2} = panjang total dari semua tangki kargo [m]

ℓ_T = panjang tangki di kompartemen kedap air [m]

Kapasitas setiap pompa bilga harus dihitung sesuai dengan Bab 11.N.3.1. Sekurang-kurangnya dua pompa bilga harus disiapkan.

4.1.4 Jika pompa bilga terpisah, misalnya ejector disediakan untuk kompartemen dengan tangki independen dengan sekat kedap air kapasitas pompa harus dievaluasi sebagaimana ditetapkan dalam 4.1.3 dan harus dibagi menurut panjang masing-masing kompartemen. Untuk setiap kompartemen dua pompa bilga harus dipasang dengan kapasitas masing-masing tidak kurang dari $5 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.1.5 Ruang untuk tangki independen harus dilengkapi dengan pengaturan pipa duga.

Jika jalur air balas atau pendingin dipasang di ruang tangki bilga independen harus dilengkapi alarm level.

4.2 Pemompaan bilga kamar pompa kargo dan koferdam di area kargo

4.2.1 Peralatan pemompaan bilga harus berada di area kargo untuk servis kamar pompa kargo dan koferdam. Pompa kargo juga dapat digunakan sebagai pompa bilga. Pada kapal tangki minyak yang digunakan secara eksklusif untuk pengangkut cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala di atas 60°C , kamar pompa kargo dan koferdam dapat dihubungkan ke sistem bilga ruang mesin.

4.2.2 Jika pompa kargo digunakan sebagai pompa bilga, tindakan harus diambil, misalnya dengan *screw-down non-return valves*, untuk memastikan bahwa kargo tidak dapat memasuki sistem bilga. Jika jalur bilga dapat diberi tekanan dari sistem kargo, *non-return valve* tambahan harus dipasang.

4.2.3 Sarana harus disediakan untuk memompa bilga ketika keadaan khusus yang membuat kamar pompa tidak dapat diakses. Peralatan yang diperlukan untuk hal ini harus dapat dioperasikan dari luar kamar pompa atau dari rumah kamar pompa di atas geladak tangki (geladak lambung timbul).

4.3 Sistem balas di area kargo

4.3.1 Sarana untuk menambah balas pada tangki balas terpisah yang berdekatan dengan tangki kargo harus ditempatkan di area kargo dan harus independen dari sistem perpipaan didepan dan dibelakang dari koferdam.

4.3.2 Pada kapal tangki minyak tangki haluan dapat dihubungkan ke sistem balas pada kondisi berikut:

- 1) Tangki haluan dianggap sebagai ruang bahaya gas
- 2) Zona berbahaya sebagaimana didefinisikan dalam IEC 60092-502 harus dipertimbangkan di sekitar pipa ventilasi udara.
- 3) Perlatan harus disediakan di geladak terbuka untuk pengukuran konsentrasi gas yang mudah terbakar di dalam tangki ceruk.
- 4) Perencanaan pipa duga ke tangki haluan langsung dari geladak terbuka;
- 5) Akses ke tangki haluan langsung dari geladak terbuka. Alternatif lain, akses tidak langsung dari geladak terbuka ke tangki haluan melalui ruang tertutup dapat diterima dengan ketentuan bahwa:
 - A) Jika ruang tertutup terpisah dari tangki kargo dengan koferdam, akses diberikan melalui sebuah lubang lalu orang dibaut kedap gas yang terletak pada ruang tertutup dan tanda peringatan harus disediakan di lubang lalu orang yang menyatakan bahwa tangki haluan hanya mungkin dibuka setelah:
 - telah terbukti bebas gas; atau
 - peralatan listrik yang tidak memiliki sertifikat aman di ruang tertutup terisolasi.
 - B) Jika ruang tertutup mempunyai batas umum dengan tangki kargo dan karena itu merupakan area berbahaya, ruang tertutup dapat memiliki ventilasi secara baik.

4.3.3 Pada kapal tangki minyak koneksi buang darurat melalui sebuah bagian spool untuk pompa kargo dapat disediakan. Perangkat *non-return* dalam sistem balas harus disediakan untuk mencegah aliran balik kargo ke dalam tangki balas. Bagian spool bersama dengan pemberitahuan peringatan harus dipasang di lokasi yang terlihat di kamar pompa.

4.3.4 Pipa balas yang melewati tangki kargo dan pipa minyak kargo yang melewati tangki balas terpisah, sebagaimana diizinkan oleh Regulation 19.6.3.6 dari MARPOL Annex I sebagaimana diubah dengan resolusi IMO hingga MEPC.314 (74), harus memenuhi persyaratan berikut:

- Pipa harus dari *heavy gauge steel* dengan ketebalan dinding minimum sesuai dengan tabel di bawah ini dengan sambungan las atau *heavy flanged* yang jumlahnya harus dijaga seminimal mungkin.
- Hanya *expansion bends (not glands)* yang diizinkan pada jalur ini di dalam tangki kargo untuk servis tangki balas dan di dalam tangki kargo untuk servis tangki kargo. Ketebalan dinding minimal:

hingga DN 50	6,3 mm
DN 100	8,6 mm
DN 125	9,5 mm
DN 150	11,0 mm
DN 200 dan lebih besar	12,5 mm
- Ketebalan yang ditunjukkan di atas mengacu pada baja karbon. Hanya pipa yang sepenuhnya dilas atau setara yang diizinkan
- ketika kargo selain produk minyak yang diangkut, relaksasi dari persyaratan tersebut dapat disetujui oleh BKI.
- Koneksi antara pipa kargo dan pipa balas yang disebutkan di atas tidak diizinkan kecuali untuk pembuang darurat sebagaimana ditentukan dalam Unified Interpretation to Regulation 1.18 of MARPOL Annex I sebagaimana diubah dengan resolusi IMO hingga MEPC.314(74)

Namun demikian, ketentuan dapat dibuat untuk pembuang darurat dari balas terpisah melalui sarana koneksi ke pompa kargo melalui bagian spool portabel. Pada kasus ini *non-return valves* harus dipasang pada koneksi balas terpisah untuk mencegah mengalirnya minyak ke tangki balas. Bagian spool portabel harus dipasang pada posisi yang mencolok di ruang pompa dan pemberitahuan permanen yang membatasi penggunaannya harus ditampilkan secara mencolok di sebelahnya.

Shut-off valves harus disediakan untuk *shut-off* kargo dan jalur balas sebelum bagian spool dilepas.

- Pompa balas harus ditempatkan di kamar pompa kargo, atau ruang serupa di dalam area kargo yang tidak terdapat sumber penyulut apa pun.

5. Ventilasi dan pembebas gas

5.1 Ventilasi kamar kargo dan pompa balas di area kargo

5.1.1 Kamar pompa harus berventilasi dengan kipas penggerak mekanis dari jenis ekstraksi. Udara segar harus dimasukkan ke dalam kamar pompa dari atas. Sistem ventilasi ini harus tidak terhubung ke ruang lainnya.

5.1.2 Saluran pembuangan harus dipasang sedemikian rupa sehingga bukaan hisapnya dekat dengan bagian bawah kamar pompa. Lubang hisap darurat harus ditempatkan sekitar 2,0 m di atas lantai kamar pompa. Bukaan ini harus dilengkapi dengan alat penutup yang juga dapat dioperasikan dari geladak utama

Bukaan darurat harus mempunyai ukuran yang cukup untuk memungkinkan sekurang-kurangnya 3/4 dari volume yang diperlukan dari pembuangan udara untuk diekstraksi dengan bukaan bawah tertutup.

Persyaratan lebih lanjut lihat [C.3](#) atau [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk \(Pt.1, Vol. X\), Sec 12.](#)

5.2 Pembebas gas tangki kargo, ruang lambung ganda, tangki balas, terowongan pipa dan koferdam

5.2.1 Ketentuan harus dibuat untuk pembebas gas dari tangki kargo, ruang lambung ganda, tangki balas, terowongan pipa dan koferdam. Kipas angin portabel yang sesuai dengan [5.3](#) dapat digunakan.

Jika kipas dipasang secara permanen untuk tangki pembebas gas yang memiliki koneksi ke jalur minyak kargo, tindakan harus diambil, misalnya dengan menghilangkan bagian spool dari saluran ventilasi atau dengan menggunakan *blank flanges*, untuk memastikan bahwa baik kargo maupun uap tidak dapat menembus ke dalam saat kipas tidak digunakan.

5.2.2 Bukaan *inlet* yang digunakan untuk pembebas gas pada tangki kargo atau pembersih dengan gas lembam harus terletak baik langsung di bawah geladak atau pada ketinggian 1 m di atas bagian bawah tangki.

5.2.3 Bukaan *outlet* pembebas gas untuk tangki kargo harus ditempatkan sejauh mungkin dari bukaan *inlet* udara/gas lembam pada ketinggian sekurang-kurangnya 2 m di atas geladak.

Campuran gas/udara harus dibuang secara vertikal.

5.2.4 Bukaan outlet untuk tangki kargo pembebas gas harus didesain sedemikian rupa, dengan mempertimbangkan kapasitas kipas, kecepatan keluar gas/udara paling sedikit 20 m/s.

5.2.5 Pada kapal dengan sistem gas lembam, area bebas dari bukaan ventilasi harus didesain sehingga kecepatan keluar sekurang-kurangnya 20 m/s dapat dipertahankan jika 3 tangki kargo secara simultan dibersihkan dengan gas lembam.

5.2.6 Bukaan untuk pembebas gas harus dilengkapi dengan tutup *screw-down*.

5.2.7 Pada kapal tanpa sistem lembam, bukaan ventilasi yang digunakan untuk pelepas gas harus dilengkapi dengan *flame arresters* sesuai dengan 6.

Pemasangan *flame arresters* dapat ditiadakan jika kecepatan minimal 30 m/s dalam bukaan ventilasi terbukti.

5.2.8 Bukaan ventilasi sesuai dengan 5.4.8 juga dapat digunakan untuk pembebas gas dari tangki kargo.

5.3 Desain dan konstruksi kipas dengan penggerak mekanis di area kargo

5.3.1 Saluran *inlet* dan *outlet* ventilasi harus dilengkapi dengan jaring pelindung dengan ukuran mesh tidak melebihi 13 mm.

5.3.2 Panas berlebih dari komponen mekanik dari kipas dan percikan bunga api harus dihindari dengan desain yang tepat dan dengan pemilihan material yang sesuai. Kelonggaran keselamatan antara rumah kipas dan impeller harus kurang dari 1/10 dari diameter dalam bantalan impeller, dibatasi minimal 2 mm dan untuk mencegah kontak apapun antara rumah dan rotor. Kelonggaran maksimum harus tidak lebih dari 13 mm. Persyaratan di atas juga berlaku untuk kipas portabel.

5.3.3 Material berikut atau kombinasi material untuk impeler/rumah yang dapat digunakan:

- 1) impeler dan/atau rumah dari material non-logam, dengan memberikan perhatian pada penghilangan listrik statis,
- 2) impeler dan rumah dari material non-metallic,
- 3) impeler dari paduan aluminium atau paduan magnesium dan ferrous (termasuk baja austenitik tahan karat) di mana cincin dengan ketebalan yang sesuai pada material non-ferrous dipasang searah impeler,
- 4) setiap kombinasi ferrous (termasuk baja austenitik tahan karat) impeler dan rumah dengan tidak kurang dari 13 mm.

5.3.4 Impeler dan rumah berikut ini dianggap sebagai percikan api dan tidak diizinkan:

- 1) impeler dari aluminium atau paduan magnesium dan rumah ferrous, terlepas dari kerenggangan ujung,
- 2) rumah yang terbuat dari paduan aluminium atau paduan magnesium dan impeler ferrous, terlepas dari kerenggangan ujung,
- 3) setiap kombinasi dari impeler ferrous dan rumah dengan kerenggangan ujung desain kurang dari 13 mm.

Uji tipe pada produk jadi harus dilakukan sesuai dengan persyaratan BKI atau standar nasional atau internasional yang setara.

5.3.5 Penggerak kipas mengacu pada persyaratan dalam 1.3. Motor elektrik harus ditempatkan di luar saluran ventilasi.

5.4 Ventilasi tangki kargo

5.4.1 Bukaan pada tangki kargo harus ditempatkan dan diatur, sehingga campuran gas yang dapat menyala tidak dapat terbentuk di ruang tertutup yang mengandung sumber penyulutan atau di sekitar sumber penyulutan di geladak.

5.4.2 Ventilasi tangki kargo hanya dapat dilakukan melalui alat pelepas tekanan/vakum yang disetujui memenuhi fungsi berikut:

- a) aliran udara atau gas dalam jumlah besar selama operasi bongkar/muat dan balas, dan

b) aliran udara atau gas dalam volume kecil selama pelayaran.

5.4.3 Pengaturan ventilasi dapat dipasang secara individual pada setiap tangki atau dapat dihubungkan ke sistem header umum atau ke sistem gas lembam.

5.4.4 Bila pengaturan ventilasi lebih dari satu tangki dihubungkan ke sistem header ventilasi, perangkat *shut-off* harus tersedia di setiap tangki. Bila katup *stop valves* digunakan, katup tersebut harus dilengkapi dengan pengaturan penguncian.

5.4.5 Bila perangkat *shut-off* sesuai dengan [5.4.4](#) tersedia, tangki kargo harus dilindungi terhadap tekanan positif dan negatif yang berlebih yang disebabkan oleh variasi termal. Perangkat pelepas tekanan/vakum sebagaimana ditentukan dalam [5.4.2.b\)](#) harus dipasang.

5.4.6 Pengaturan ventilasi harus disambungkan ke bagian atas setiap tangki kargo sedemikian rupa sehingga, dalam kondisi normal trim and list, udara mengalir sendiri ke dalam tangki kargo. Jika pengaturan pengurasan sendiri tidak memungkinkan, sarana yang dipasang secara permanen untuk mengalirkan saluran ventilasi ke tangki kargo harus tersedia.

5.4.7 Dimana cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala 60°C atau kurang diangkut, bukaan *inlet* dan *outlet* sistem ventilasi harus dilengkapi dengan flame arresters yang disetujui sesuai dengan [6](#).

5.4.8 Ventilasi untuk pembuangan udara atau gas dalam volume besar selama operasi penanganan kargo dan balas harus didesain sesuai dengan prinsip-prinsip berikut:

- Tergantung pada ketinggian ventilasi, ini harus memungkinkan aliran bebas campuran uap atau mencapai kecepatan minimal 30 m/s.
- Campuran uap harus dibuang secara vertikal ke atas.
- Bagian yang jelas dari ventilasi harus di desain sesuai dengan laju pembebanan maksimum dengan mempertimbangkan faktor evolusi gas 1,25.

5.4.9 Tangki kargo harus dilengkapi dengan alarm level tinggi yang independen dari alat ukur atau dengan sarana yang setara untuk menjaga terhadap kenaikan cairan dalam sistem ventilasi hingga ketinggian melebihi *head* desain tangki kargo.

5.4.10 Katup tekanan dan vakum dapat diatur lebih tinggi selama pelayaran untuk mencegah kehilangan kargo daripada ventilasi terkendali selama pemuatan.

5.4.11 Katup tekanan/vakum yang terletak di *masthead risers* dapat dipasang dengan pengaturan *by-pass* yang dapat dibuka selama operasi kargo. Indikator harus dengan jelas menunjukkan apakah katup *by-pass* dalam posisi terbuka atau tertutup.

5.4.12 Dengan menggunakan perangkat pelepas tekanan/vakum harus dimungkinkan untuk menghilangkan tekanan tangki kargo sepenuhnya. Indikator harus jelas menunjukkan apakah perangkat terbuka atau tertutup.

5.4.13 Desain, ketinggian dan lokasi ventilasi tangki harus ditentukan dengan memperhatikan kargo kapal yang dimaksudkan, lihat [C](#) dan [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk \(Pt.1, Vol.X\)](#).

5.4.14 Dalam desain katup tekanan dan vakum dan penentuan tekanan bukaannya, perhatian harus diberikan untuk:

- laju pemuatan bongkar muat maksimum
- faktor evolusi gas
- hambatan aliran dalam sistem ventilasi, dan
- tekanan tangki yang diizinkan

Untuk kapal tangki kimia lihat juga [Rules for Ships Carrying Dangerous Chemicals in Bulk \(Pt.1, Vol.X\)](#).

5.4.15 Dimana *flame arresters* statis, misalnya *flame screens* dan *detonation arresters*, digunakan, perhatian harus diberikan untuk teritip yang disebabkan oleh kargo.

5.4.16 *Headers* ventilasi dapat digunakan sebagai jalur uap balik. Koneksi jalur uap balik harus dilengkapi dengan katup *shut-off* dan *blind flanges*.

5.4.17 *Headers* ventilasi harus dilengkapi dengan sarana pengeringan yang aman.

5.4.18 Jika uap balik disyaratkan oleh MARPOL 73/78, Annex VI, Regulation 15 (*Volatile organic compounds*), persyaratan tambahan yang terdapat dalam IMO MSC/Circ. 585 harus ditaati. Detailnya akan ditentukan dengan BKI berdasarkan kasus per kasus.

5.5 Ventilasi dari ruang lain kapal

Saat mengatur saluran intakes dan outlets ventilasi untuk bangunan atas dan ruang permesinan, perhatian harus diberikan terhadap posisi ventilasi tangki dan ruang pompa.

6. Perangkat untuk mencegah lewatnya api

6.1 Perangkat untuk mencegah lewatnya api seperti *flame arresters*, *flame screens*, *detonation arrester* dan ventilasi kecepatan tinggi harus mendapat persetujuan dari BKI.

6.2 *Flame arresters* harus dibuat dari material yang tahan, baik terhadap kargo maupun air laut.

Elemen *arresters* harus didesain sehingga pengencang terlindung terhadap kelonggaran pada kondisi servis. Elemen *arresters* harus dapat diganti.

6.3 *Flame arresters* harus dilindungi terhadap kerusakan dan masuknya air laut dan hujan.

6.4 Efektivitas *flame arresters* harus diverifikasi oleh institusi yang diakui oleh BKI.

6.5 Ventilasi kecepatan tinggi dengan kecepatan maksimal tidak kurang dari 30 m/s untuk menghilangkan uap campuran dari sekitar kapal dapat digunakan sebagai *flame arresters* asalkan telah diuji oleh institusi yang diakui oleh BKI.

6.6 Ventilasi kecepatan tinggi dapat digunakan untuk ventilasi terkendali dibanding menggunakan katup *pressure-relief*.

7. Indikator level tangki

7.1 Pengukur level

7.1.1 Tangki dengan sistem ventilasi terkendali harus dilengkapi dengan tipe pengukur level tertutup yang disetujui oleh BKI.

7.1.2 Selain itu, tangki tangki tersebut harus dilengkapi dengan salah satu sistem duga yang dijelaskan dalam [7.2](#) dan [7.3](#).

7.2 Ullage ports

7.2.1 Pipa duga dan *ullage ports* harus dapat ditutup dengan tutup kedap air.

7.2.2 Tutup ini harus metutup sendiri setelah operasi pipa duga.

7.2.3 Pipa duga dan *ullage ports* dan lubang lainnya dalam tangki kargo, misalnya untuk memulai pembersihan tangki dan peralatan ventilasi, tidak boleh ditempatkan di ruang tertutup atau semi tertutup.

7.3 Pipa duga

7.3.1 Pipa duga harus berakhir cukup tinggi di atas geladak tangki untuk menghindari tumpahan kargo selama pendugaan.

7.3.2 Ketentuan harus dibuat untuk penutup kedap air dari pipa duga dengan penutup yang dapat menutup sendiri.

7.3.3 Jarak dari pipa duga dari dasar tangki tidak dapat lebih besar dari 450 mm.

7.3.4 Pipa duga tangki minyak kargo dan pipa udara harus tidak boleh melalui tangki balas. Pengecualian mengacu pada [4.3.4](#) secara analog.

7.4 Perlindungan pengisian berlebih tangki

Ketentuan harus dibuat untuk menjaga terhadap kenaikan cairan dalam sistem ventilasi ke ketinggian yang akan melebihi *head* desain tangki kargo. Ini harus dilakukan dengan alarm tingkat tinggi atau sistem kendali luapan atau sarana lain yang setara, bersama dengan perangkat pengukur dan prosedur pengisian tangki kargo.

Alarm level tinggi harus independen dari sistem pengukuran level tertutup.

Sistem pengukuran level kombinasi dan sistem alarm level tinggi dapat diterima sebagai setara dengan sistem independen asalkan pemantauan mandiri yang ekstensif tergabung dalam sistem yang mencakup semua kesalahan yang masuk akal.

Untuk kapal dengan sistem kontrol emisi uap, alarm tingkat tinggi dan alarm aliran berlebih diperlukan sesuai dengan MSC/Circ.585.

7.5 Peralatan pengambilan sampel

Peralatan untuk mengambil sampel kargo dari tangki bertekanan harus mendapat persetujuan oleh BKI.

8. Peralatan pembersihan tangki

8.1 Peralatan tetap pembersihan tangki harus mendapat persetujuan dari BKI. Peralatan ini harus dipasang dan didukung sehingga tidak ada resonansi alami yang terjadi di bawah kondisi operasi kapal.

8.2 Pondasi atau dukungan perlengkapan harus didesain sehingga mampu sepenuhnya menahan gaya reaksi yang dibuat oleh medium pencuci.

8.3 Peralatan pembersihan tangki harus terbuat dari baja. Material lainnya hanya dapat digunakan dengan persetujuan BKI.

8.4 Peralatan pencucian tangki harus diikat pada lambung kapal.

8.5 Kapal tangki yang dilengkapi untuk pencucian minyak mentah harus dilengkapi dengan sistem gas lembam sesuai dengan [D](#).

9. Tindakan pencegahan terhadap muatan elektrostatik, timbulnya percikan api dan permukaan yang panas

9.1 Tindakan pencegahan terhadap arus elektrostatik

9.1.1 Seluruh sistem kargo serta peralatan yang dipasang secara permanen di area kargo, misalnya derek yang dioperasikan secara pneumatik, penggerak hidrolik dan ejektor, harus diikat ke lambung kapal.

9.1.2 Selang kargo, selang udara terkompresi, selang pencuci tangki atau selang lain yang digunakan di dalam tangki kargo atau di geladak dalam area tangki kargo harus dilengkapi dengan pengaturan pembatas di seluruh panjangnya termasuk kopling.

9.1.3 Sarana harus disediakan untuk pembumian ventilator portabel ke lambung kapal sebelum digunakan.

9.2 Material untuk penutup tangki

Penutup yang dapat dilepas yang terbuat dari baja, kuningan atau perunggu dapat digunakan.

Aluminium dan glass reinforced plastic (GRP) tidak diperbolehkan.

9.3 Tindakan pencegahan terhadap percikan api dari mesin dan saluran buang boiler

Outlets jalur gas buang dari mesin utama/bantu dan dari boiler dan peralatan pembakaran lainnya harus diempatkan pada ketinggian yang cukup di atas geladak.

Jarak horisontal ke area kargo harus tidak kurang dari 10 m.

Jarak ini dapat dikurangi menjadi 5 m asalkan *spark arresters* yang disetujui untuk mesin pembakaran dalam dan *spark traps* untuk jalur gas buang boiler/peralatan pembakaran lainnya dipasang.

9.4 Perlindungan terhadap percikan api

Penyimpangan terhadap [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.24, A.12](#) (larangan cat aluminium) pipa aluminium *hot-dipped* dapat digunakan dalam tangki balast, tangki kargo gas lembam dan di geladak terbuka dimana dilindungi terhadap dampak mekanis.

9.5 Perlindungan terhadap permukaan panas

Pada kapal tangki minyak, temperatur media uap dan pemanas harus tidak lebih 220 °C. Pada kapal tangki kimia temperatur ini harus tidak boleh melebihi klas temperatur kargo.

10. Peralatan pendekripsi gas

Setiap kapal tangki minyak harus dilengkapi dengan sekurang-kurangnya dua detektor gas portabel yang mampu mengukur:

- konsentrasi uap yang mudah terbakar di udara (%LEL)
- dan sekurang-kurangnya dua penganalisis O₂ portabel.

Sebagai alternatif, sekurang-kurangnya dua detektor gas, masing-masing mampu mengukur konsentrasi oksigen dan uap yang mudah terbakar di udara (%LEL), harus disediakan.

Selain itu, untuk kapal tangki minyak yang dilengkapi dengan sistem gas lembam, sekurang-kurangnya dua detektor gas portabel harus mampu mengukur konsentrasi uap yang mudah terbakar di atmosfer gas lembam (% gas berdasarkan volume).

11. Uji

Setelah instalasi, sistem kargo dan sistem pemanas bersama dengan katup dan perlengkapannya harus menjalani uji tekanan hidrolik pada 1,5 kali dari tekanan kerja maksimum yang diijinkan $p_{e, perm}$, dengan ketentuan bahwa tekanan uji harus sekurang-kurangnya 5 bar.

12. Kapal tangki minyak yang bergerak secara eksklusif dalam pengangkut kargo minyak dengan titik nyala di atas 60 °C

Secara umum [1.1](#), [1.3](#), [2.1.1](#), [3.4.2](#), [4.3.1](#), [4.3.2](#), [5.2.2](#), [5.2.3](#), [5.2.4](#), [5.2.5](#), [5.2.7](#), [5.3](#), [5.4](#) (kecuali [5.4.9](#)), [6](#) dan [7.1](#) dari Bab B tidak berlaku dalam kasus tangki minyak yang secara eksklusif pengangkut cairan yang mudah terbakar dengan titik nyala di atas 60 °C.

C. Kapal Tangki untuk Pengangkut Minyak dan Cairan yang Mudah Terbakar lainnya yang Memiliki Titik Nyala 60 °C atau lebih rendah

1. Umum

Persyaratan ini berlaku selain persyaratan umum di [B](#).

1.1 Gas lembam tangki kargo

Kapal tangki 20.000 DWT keatas harus dilengkapi dengan sistem gas lembam yang dipasang secara permanen sesuai dengan [D](#).

Untuk kapal tangki yang kurang dari 20.000 DWT lihat [D.9](#).

2. Gas lembam ruang lambung ganda

2.1 Pada kapal tangki minyak, disyaratkan untuk dilengkapi dengan sistem gas lembam, koneksi yang sesuai untuk suplai gas lembam harus disediakan pada ruang lambung ganda. Bila perlu, pipa pembersih tetap yang diatur untuk memperhitungkan konfigurasi ruang ini harus dipasang.

2.2 Bila ruang tersebut terhubung ke sistem distribusi gas lembam yang dipasang secara permanen, sarana yang tepat (misalnya *second water seal* dan *check valve*) harus disediakan untuk mencegah uap kargo memasuki ruang lambung ganda.

2.3 Bila tidak ada sistem distribusi permanen yang dipasang, sejumlah sarana yang memadai untuk koneksi ke ruang ini harus disediakan pada gas lembam utama.

3. Ventilasi ruang di area kargo

3.1 Ruang kargo dan ruang pompa balas harus dilengkapi dengan sistem ventilasi mekanis tipe ekstraksi yang mampu melakukan sekurang-kurangnya 20 pergantian udara per jam.

3.2 *Intakes* dan *outlets* udara harus ditempatkan sejauh mungkin satu sama lain untuk mencegah resirkulasi uap kargo berbahaya.

3.3 *Intakes* dan *outlets* udara harus ditempatkan pada jarak horisontal minimal 3 m dari bukaan area akomodasi, ruang servis dan permesinan, stasiun kendali dan ruang lain di luar area kargo.

- 3.4 Ketinggian *intakes* dan *outlets* udara di atas geladak cuaca harus sekurang-kurangnya 3 m.
- 3.5 *Outlets* udara harus ditempatkan pada ketinggian 2 m di atas jalan gang, dimana jarak antara saluran *outlets* dan gang ini kurang dari 3 m.
- 3.6 Instrumen portabel yang sesuai untuk mengukur oksigen dan uap yang mudah terbakar di ruang yang disebutkan pada B.5.2 harus disediakan. Instrumen detektor gas yang disyaratkan pada B.10 dapat diterima untuk tujuan ini. Dalam memilih instrumen ini, perhatian harus diberikan pada kesesuaianya untuk digunakan dalam kombinasi dengan pipa pengambilan sampel tetap yang disebutkan di bawah ini.

Jika pengukuran di ruang lambung ganda tidak dapat dilakukan dengan handal menggunakan selang pengambilan sampel fleksibel, pipa pengambilan sampel tetap yang disesuaikan dengan konfigurasi ruang ini harus disediakan. Material dan dimensi dari jalur tetap harus untuk mencegah pembatasan fungsinya. Pipa plastik harus bersifat konduktif secara elektrik.

4. Ventilasi tangki kargo

4.1 Tangki Kargo harus dilengkapi dengan perangkat ventilasi yang berlebih sesuai dengan B.5.4. Kedua perangkat harus memenuhi persyaratan sebagaimana diatur dalam B.5.4.2.a).

4.1.1 Dalam hal diperlukan untuk memisahkan tangki atau kelompok tangki dari sistem umum untuk operasi kargo/balas, tangki atau kelompok tangki ini harus dilengkapi dengan perangkat ventilasi yang berlebih sesuai dengan 4.1.

4.1.2 Dari pada perangkat berlebih sesuai 4.1 setiap tangki kargo dapat dilengkapi dengan sistem ventilasi tunggal dengan syarat bahwa setiap tangki kargo dilengkapi dengan sensor tekanan lebih/kurang yang memiliki indikator di ruang kendali kargo atau di lokasi dimana operasi kargo dikendalikan. Alarm harus diaktifkan di lokasi di atas ketika terjadi tekanan lebih/kurang.

4.2 Bukaan ventilasi harus dilengkapi dengan *flame arresters* sesuai dengan B.6

4.3 Bukaan ventilasi untuk operasi pemuatan dan pembuangan harus ditempatkan pada jarak horizontal sekurang-kurangnya 10 m dari berikut ini:

- saluran *intakes* udara atau bukaan udara ke ruang tertutup yang berisi sumber penyalaan
- permesinan geladak dan peralatan yang merupakan bagian dari sumber penyalaan.

Ketinggian minimum bukaan ventilasi tangki kargo di atas geladak tangki dan/atau di atas jalan gang depan dan belakang - bila dipasang dalam jarak 4 m dari gang harus dipertahankan:

- bukaan *outlet* ventilasi kecepatan tinggi 2 m
- bukaan *outlet* ventilasi lainnya 6 m

4.4 Bukaan untuk melepaskan sejumlah kecil uap (*breather valves*) harus ditempatkan pada jarak horizontal sekurang-kurangnya 5 m dari saluran *intakes* udara atau bukaan ke ruang tertutup yang berisi sumber penyalaan dan dari mesin geladak yang dapat menjadi sumber penyalaan.

Ventilasi harus ditempatkan minimal 2 m di atas geladak cuaca.

4.5 Tekanan bukaan untuk pemuatan atau pelayaran masing-masing *relief valves* harus disesuaikan untuk tidak melebihi nilai " p_v " atau " $p_{v\min}$ " yang digunakan untuk perhitungan kekuatan tangki kargo pada Rules for Hull (Pt.1, Vol.II), Sec.4.D.1.1.

4.6 Tangki penampung minyak kotor harus dilengkapi dengan pengaturan ventilasi yang sama dengan tangki kargo.

5. Jalur kargo haluan dan buritan

5.1 Jalur kargo untuk pemuatan dan pembongkaran pada haluan atau buritan dapat disetujui pada kondisi berikut.

5.2 Di luar area kargo, jalur kargo haluan dan buritan hanya boleh ditempatkan di geladak terbuka.

5.3 Jaringan pipa depan dan belakang area kargo harus memiliki sambungan yang dilas. Koneksi flensa untuk katup, alat kelengkapan dan kompensator dapat diizinkan jika diperlukan. Jaringan pipa harus ditandai dengan jelas dan harus dilengkapi dengan katup *shut-off* di area kargo. Bila tidak dalam servis, jaringan pipa harus dapat dipisahkan pada titik ini dengan bagian spool yang dapat dilepas dan *blank flanges* atau dengan dua katup *series-mounted* yang dapat dikunci pada posisi tertutup dan memiliki pengeringan antara.

5.4 Koneksi darat harus dilengkapi dengan katup *shut-off* dan *blank flange*. Blank flange dapat dihindari jika kopling selang paten yang sesuai dipasang.

5.5 Pelindung percikan harus disediakan pada koneksi darat. Baki pengumpul harus dipasang di bawah manifold transfer.

5.6 Sarana yang harus disediakan dimana jaringan pipa diluar area kargo dapat dengan aman dialirkan ke tangki kargo dan menjadi gas lembam.

5.7 Sarana komunikasi harus disediakan antara stasiun kendali kargo dan koneksi darat.

5.8 Peralatan pemadam kebakaran busa berikut sesuai dengan Bab 12.K. harus disediakan untuk peralatan kargo haluan dan buritan:

- monitor tambahan untuk melindungi area manifold,
- aplikator untuk melindungi jalur kargo di depan atau di belakang area kargo.

5.9 Peranti listrik dalam jarak 3 m di luar koneksi darat kargo harus memenuhi persyaratan yang dinyatakan dalam [Rules for Electrical Installations \(Pt. 1, Vol. IV\), Sec.15](#).

5.10 Perlengkapan kargo haluan dan buritan harus diatur sehingga tidak menghalangi peluncuran sekoci penolong. Stasiun peluncuran harus dilindungi dengan baik terhadap kargo yang keluar dari pipa atau selang kargo yang rusak.

5.11 Kapal tangki dengan perlengkapan haluan untuk menangani kargo minyak pada *single-point mooring* di laut harus memenuhi tambahan persyaratan berikut dari 5.1 sampai 5.10:

- Sistem penyemprot air yang dipasang harus disediakan untuk menutupi area sumbat rantai dan kopling selang.
- Pipa udara ke tangki depan haluan harus ditempatkan sejauh mungkin dari area berbahaya gas.
- Sistem pelepasan cepat darurat harus disediakan untuk selang kargo dan sistem penambatan kapal. Titik pemisahan yang harus ditempatkan di luar lambung kapal, lihat juga [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.24](#).
- Manual pengoperasian harus di bawa diatas kapal yang berisi tindakan keselamatan yang diperlukan seperti pengoperasian sistem pelepasan cepat darurat dan tindakan pencegahan jika terjadi tegangan tinggi dalam sistem tambat.

6. Pengangkut kombinasi

6.1 Dengan pengecualian residu minyak di tangki minyak kotor, pengangkutan kargo curah dan minyak secara bersamaan tidak diperbolehkan.

6.2 Jaringan pipa ke tangki minyak kotor harus dilengkapi dengan *spectacle flanges* yang dikombinasi dengan katup *shut-off* atau sebagai alternatif, bagian spool dengan dua *blank flanges* pada setiap spool. Ketika kargo curah sedang diangkut, sistem perpipaan tangki minyak kotor harus dipisahkan dari semua jaringan pipa lainnya.

6.3 Tangki minyak kotor harus dilengkapi dengan sistem ventilasi independen.

6.4 Pompa tetap harus dilengkapi dengan sistem perpipaan untuk membuang minyak kotor. Saluran buang harus diarahkan langsung ke geladak dan harus dapat dipisahkan dari semua sistem lain dengan menggunakan bagian spool selama pengangkutan kargo curah.

Koneksi selang harus dilengkapi dengan sebuah katup *shut-off* dan sebuah *blank flange*.

6.5 Tangki minyak kotor pembawa kombinasi harus dilengkapi dengan sarana pelembaman atau dihubungkan ke sistem gas lembam tetap, lihat [D.3.9](#).

6.6 Koferdam yang berdekatan dengan tangki minyak kotor tidak boleh memiliki koneksi pipa dengan sistem kargo atau balas. Fasilitas harus disediakan untuk memungkinkan koferdam untuk diisi dengan air dan dikeringkan, lihat juga [Rules for Hull \(Pt.1, Vol.II\), Sec.24.G.3](#).

6.7 Pipa kargo dibawah geladak tidak boleh ditempatkan di ruang muat atau tangki balas. Pipa kargo harus diatur dalam saluran pipa yang ditunjuk.

6.8 Bila saluran tersebut terletak dalam tingkat kerusakan yang diperkirakan, pengaturan harus dibuat untuk menghindari banjir berlanjut dari kompartemen lain yang tidak dianggap rusak.

6.9 Perlengkapan balas untuk tangki yang terletak di area kargo harus ditempatkan di area kargo. Perlengkapan tersebut harus tidak terhubung dengan ruang permesinan.

6.10 Ruang kargo dan ruang yang berdampingan harus mampu berventilasi dengan menggunakan kipas mekanis portabel atau tetap.

6.11 Sistem deteksi gas tetap dengan desain yang disetujui dengan alarm visual dan suara harus disediakan untuk ruang pompa kargo, saluran pipa dan koferdam yang berdekatan dengan tangki minyak kotor.

6.12 Untuk semua ruang dan tangki yang tidak disebutkan dalam [6.10](#) dan [6.11](#) yang terletak di area kargo, sarana yang memadai untuk memverifikasi tidak adanya uap yang mudah terbakar harus disediakan di geladak atau di posisi lain yang mudah dijangkau.

7. Peralatan keselamatan di kamar pompa kargo

7.1 Perangkat sensor temperatur harus dipasang pada selubung pompa kargo, balas dan pengupasan rumah pompa, bantalan dan pada perapat poros sekat kedap gas.

Alarm visual dan suara harus dilakukan di kamar kendali kargo atau stasiun kendali pompa.

7.2 Penerangan kamar pompa, kecuali penerangan darurat, harus saling bertautan dengan ventilasi sehingga penerangan hanya dapat dinyalakan ketika ventilasi sedang operasi. Kegagalan ventilasi harus tidak akan menyebabkan penerangan padam.

7.3 Sistem untuk pemantauan terus menerus dari konsentrasi uap yang mudah terbakar harus dipasang.

Pengambilan sampel berurutan dapat diterima, jika dikhususkan untuk titik pengambilan sampel ruang pompa saja dan waktu pengambilan sampel cukup singkat.

7.3.1 Titik pengambilan sampel atau kepala detektor harus dipasang di lokasi yang sesuai, misalnya di saluran *exhaust* ventilasi dan di bagian bawah kamar pompa di atas pelat lantai, sehingga kemungkinan kebocoran dapat segera dideteksi.

7.3.2 Dimana perpipaan pengambilan sampel gas diarahkan ke ruang aman gas seperti Kamar Kendali Kargo, Anjungan Navigasi atau Kamar Mesin, persyaratan berikut yang harus diperhatikan:

.1 Pipa pengambilan sampel gas harus dilengkapi dengan *flame arresters*. *Outlets* gas sampel harus diatur di tempat terbuka di lokasi yang aman.

.2 Penetrasi sekat dari pipa sampel harus dari jenis yang disetujui. Katup *Isolating* manual harus dipasang di setiap jalur pengambilan sampel di sekat di sisi aman gas.

.3 Peralatan deteksi gas termasuk perpipaan sampel, pompa sampel, solenoid, analyzer, dan lain-lain harus diatur dalam kabinet baja yang tertutup sepenuhnya dengan pintu gasket yang dipantau untuk kebocoran gas oleh titik pengambilan sampelnya sendiri. Pada konsentrasi gas di atas 30% LEL di dalam kabinet, seluruh peralatan listrik unit analisis harus di *shut down*.

.4 Bila kabinet sesuai [7.3.2.3](#) tidak dapat diatur langsung pada sekat pipa sampel harus dari baja atau yang setara dan tanpa koneksi katup sekat dan unit analisis yang dapat dilepas. Pipa harus diarahkan pada jalur terpendek melalui ruang ini.

7.3.3 Ketika konsentrasi uap yang mudah terbakar melebihi 10% dari batas bawah yang mudah terbakar, alarm visual dan suara harus dilakukan di kamar pompa, kamar kendali mesin, kamar kendali kargo dan anjungan navigasi.

7.4 Perangkat pemantauan level bilga harus disediakan di semua kamar pompa, memicu alarm visual dan suara di kamar kendali kargo atau stasiun kendali kargo dan di anjungan.

D. Sistem Gas Lembam Kapal Tangki

1. Umum

1.1 Sistem gas lembam harus mampu memasok gas rendah oksigen atau campuran gas untuk mencapai atmosfer gas lembam di tangki kargo dan tangki minyak kotor.

1.2 Gas lembam dapat dihasilkan oleh boiler utama atau bantu (pembangkit gas buang), generator gas lembam dengan unit pembakaran independen, generator Nitrogen atau peralatan lainnya.

Persyaratan tambahan atau penyimpangan untuk jenis sistem yang relevan ditentukan dalam [5](#), [6](#) dan [7](#).

1.3 Dalam operasi normal, sistem gas lembam harus mencegah udara mengalir ke dalam tangki dan harus menjaga kandungan oksigen dari atmosfer tangki sekurang-kurangnya 8% volume. Namun, ketentuan harus dibuat untuk ventilasi tangki bila akses diperlukan.

1.4 Harus dimungkinkan untuk membersihkan tangki kosong dengan gas lembam untuk mengurangi kandungan hidrokarbon hingga kurang dari 2% volume untuk memastikan ventilasi yang aman selanjutnya.

1.5 Dalam kondisi operasi normal, yaitu ketika tangki penuh atau diisi dengan gas lembam, harus dimungkinkan untuk mempertahankan tekanan positif di dalam tangki.

1.6 Bukaan gas buang untuk pembersihan tangki harus diatur di lokasi yang sesuai di geladak dan harus memenuhi [B.5.2.5](#).

1.7 Sistem harus mampu mengalirkan gas lembam pada laju sekurang-kurangnya 125% dari total kapasitas buang dari pompa kargo.

1.8 Kandungan oksigen dari gas lembam atau nitrogen yang dihasilkan harus tidak lebih 5% volume. Nilai yang lebih rendah mungkin diperlukan untuk aplikasi khusus (yaitu pada kapal tangki kimia atau gas).

1.9 Sarana harus disediakan untuk menstabilkan kandungan oksigen yang diperlukan selama start up dan pembuangan gas lembam/nitrogen dengan kandungan oksigen yang terlalu tinggi ke atmosfer selama kondisi operasi abnormal.

1.10 Sistem harus dapat memastikan bahwa volume gas yang ditentukan dalam [1.7](#) tersedia selama pembuangan. Dilain waktu, jumlah gas yang cukup sesuai dengan [1.5](#) harus tersedia secara permanen.

1.11 Bagian dari sistem gas lembam yang bersentuhan dengan uap dan/atau cairan korosif dari gas lembam harus tahan terhadapnya atau harus dilindungi dengan pelapis yang sesuai.

1.12 Instruksi pengoperasian harus disusun untuk sistem gas lembam yang berisi instruksi untuk pengoperasian dan pemeliharaan sistem bersama dengan pemberitahuan tentang bahaya kesehatan dan peraturan keselamatan untuk pencegahan kecelakaan.

2. Instalasi

2.1 Sistem gas lembam dapat dipasang di ruang permesinan atau di ruang terpisah.

2.2 Ruang gas lembam yang terpisah harus hanya berisi komponen dari sistem gas lembam. Ruang gas lembam harus tidak memiliki ke pintu masuk, atau bukaan intake udara ke dalam ruang akomodasi dan servis atau stasiun kendali.

2.3 Pintu masuk dan bukaan intake udara harus diatur pada sekat ujung ruang yang tidak menghadap ke area kargo. Sebagai alternatif, bukaan dapat ditempatkan di sekat sisi pada jarak L/25, dengan jarak minimal 5 m, dari sekat depan.

2.4 Ventilasi paksa mekanik harus disediakan untuk kamar generator gas lembam. Untuk peralatan pemadam kebakaran, lihat [Bab 12, Tabel 12.1](#).

2.5 Saluran gas lembam harus tidak boleh diarahkan melalui ruang akomodasi dan servis atau stasiun kendali.

3. Sistem perpipaan

3.1 Perangkat hilir dari *non-return* yang disyaratkan oleh [3.11](#), gas lembam utama dapat dibagi menjadi dua sistem atau lebih.

3.2 Jalur gas lembam harus diatur sedemikian rupa untuk mencegah akumulasi kargo atau air.

3.3 Jalur gas lembam utama harus dilengkapi dengan koneksi darat.

3.4 Gas lembam utama harus dilengkapi dengan satu atau lebih perangkat untuk menjaga dari tekanan dan vakum yang berlebih. Perangkat ini harus dirancang untuk melindungi tangki dan *water seal* dari tekanan yang berlebih jika terjadi kegagalan perangkat yang ditentukan pada [3.8](#) dan harus dilindungi dari pembekuan.

3.5 Koneksi antara gas lembam utama dan sistem kargo harus dilengkapi dengan sarana isolasi yang sesuai. Ini dapat terdiri dari:

- dua *shut-off* dengan ventilasi antara, atau
- dua *shut-off* dengan bagian spool antara.

Katup pada sisi jalur kargo harus katup *screw-down non-return*.

3.6 Saluran gas lembam ke tangki individu harus dilengkapi dengan perangkat *shut-off*. Jika katup yang digunakan untuk tujuan ini, katup tersebut harus dilengkapi dengan perangkat pengunci.

3.7 Semua tangki harus dilengkapi dengan perangkat pelepas tekanan-vakum.

3.8 Untuk pemindahan uap/gas lembam dalam volume besar selama pemuatan atau balas, jalur utama gas lembam harus dilengkapi dengan tiang *blow-off* atau katup ventilasi kecepatan tinggi kecuali perangkat ini dipasang pada tangki kargo itu sendiri. Desain perangkat ini harus sesuai dengan [B.5.4](#).

3.9 Pada kombinasi pengangkut, *spectacle flanges* harus dipasang pada saluran gas lembam untuk memungkinkan ruang kargo diisolasi dari sistem gas lembam.

Sistem lembam tangki minyak kotor harus dimungkinkan ketika kargo selain minyak sedang diangkut.

3.10 Pada saluran buang dari blower ke area kargo, katup kontrol harus dipasang pada sekat ruang paling depan yang aman untuk gas yang dilalui jalur ini. Katup ini harus menutup secara otomatis dibawah kondisi yang dinyatakan pada [Tabel 15.1](#).

Selain itu, katup ini harus secara otomatis mengontrol laju aliran dalam sistem kecuali perangkat lain yang setara yang disediakan untuk tujuan itu.

3.11 Dua perangkat *non-return* harus dipasang di jalur gas lembam utama untuk mencegah masuknya gas hidrokarbon atau uap ke dalam ruang permesinan, jalur gas buang dan ruang aman gas. Perangkat *non-return* ini harus tetap beroperasi di semua posisi trim normal dan gerakan kapal dan harus ditempatkan di area kargo antara katup kendali ([3.10](#)) dan koneksi paling belakang ke tangki kargo atau perpipaan kargo.

- a) Pertama perangkat *non-return* harus berupa *water seal*.
 - Dua pasokan air independen yang terpisah harus disediakan untuk *water seal*.
 - Saluran *inlet* dan *outlet* yang terhubung ke *water seal* harus dilengkapi dengan *water loops* atau perangkat yang setara. *Water loops* harus dijaga agar tidak dikosongkan oleh vakum.
 - *Water seal* geladak dan semua pengaturan loop harus mampu mencegah kembalinya uap hidrokarbon pada tekanan yang sama dengan tekanan uji tangki kargo.
 - *Water seal* harus dilindungi dari pembekuan. Perangkat pemanas harus didesain untuk mencegah panas berlebih dari *water seal*.
- b) Kedua perangkat *non-return* harus berupa *screw-down* tipe *check valve* atau terdiri *check valve* dan katup *shut-off* yang dipasang di bagian hilir *water seal*.
- c) Diantara *control valve* dan *water seal*, katup harus dipasang sehingga saluran gas lembam antara kedua katup ini dapat diturunkan tekanannya.

4. Peralatan pemantauan

4.1 Instrumen pengukuran harus dipasang untuk indikasi terus menerus dan merekam secara permanen tekanan dalam pipa gas lembam utama dan kandungan oksigen dari gas lembam yang di suplai.

Instrumen ini harus diatur di kamar kendali kargo, jika tersedia, atau di lokasi yang dapat diakses oleh petugas kargo.

Jalur sensor tekanan harus tidak boleh diarahkan langsung ke ruang aman gas. Pemancar atau peralatan yang setara harus dipasang.

4.2 Untuk pengendalian atmosfer tangki, selain instrumen yang dipersyaratkan pada [B.10](#), instrumen portabel tambahan untuk mengukur konsentrasi hidrokarbon dalam atmosfer gas lembam harus disediakan. Tangki dan ruang yang diperlukan untuk di lembam harus dilengkapi dengan koneksi yang sesuai.

4.3 Perlengkapan yang sesuai harus disediakan untuk kalibrasi peralatan pengukur gas yang terpasang permanen dan portabel.

4.4 Alarm level rendah di *water seal* dan alarm tekanan untuk saluran gas lembam utama harus tetap beroperasi ketika pembangkit gas lembam tidak dalam servis.

4.5 Sebagai persyaratan minimum, alat pengukur, alarm dan perlengkapan keselamatan yang sesuai dengan [Tabel 15.1](#) harus dipasang.

5. Pembangkit gas buang boiler

5.1 Pembangkit boiler harus dilengkapi dengan kendali pembakaran otomatis.

5.2 Sekurang-kurangnya dua blower gas lembam harus dipasang, yang bekerja bersama-sama, dapat mengirimkan sekurang-kurangnya jumlah gas yang ditentukan pada [1.7](#). Setiap blower harus mampu memberikan sekurang-kurangnya 1/3 dari aliran gas yang dibutuhkan (42% dari laju total pengiriman pompa kargo). Blower harus dilengkapi dengan katup *shut-off* pada sisi hisap dan pengiriman.

Jika blower juga digunakan untuk membebaskan gas, saluran *inlets* udara harus dilengkapi dengan pengaturan *blanking* (untuk ventilasi ruang di area kargo, lihat [B.5.2](#)).

5.3 *Scrubber* gas harus disediakan di luar area kargo, dimana gas didinginkan secara efektif dan padatan dan produk pembakaran belerang dihilangkan. Pemisah yang sesuai harus dipasang di *outlet scrubber*.

5.4 Suplai air pendingin ke peralatan harus dipastikan tanpa mengganggu setiap layanan penting di kapal.

Ketentuan juga harus dibuat untuk pasokan alternatif air pendingin.

5.5 Pengambilan gas buang boiler harus dilengkapi dengan katup *shut-off* dengan indikator posisi jarak jauh. Blower jelaga harus saling bertaut dengan katup ini sehingga boiler hanya dapat dioperasikan saat ketika pengambilan gas buang ditutup.

Ketentuan harus dibuat (misalnya melalui *air seal* dan koneksi uap) untuk menjaga efisiensi penyegelan dan fungsi mekanis katup ini.

Perangkat *shut-off* kedua harus dipasang pada saluran *inlet* scrubber untuk memastikan bahwa gas tidak bisa masuk ke scrubber selama pemeliharaan.

Tabel 15.1 Indikator, alarm dan perangkat keamanan untuk sistem gas lembam

Item di pantau	Indikasi			Alarm			Aktuasi			Aplikasi		
	Ruang permesinan/ECR	Kamar kendali kargo atau stasiun	Anjungan navigasi	Nilai batas	Ruang permesinan/ECR	Kamar kendali kargo atau stasiun	Blower/kipas stop	Close regulating valve	Shut-down N ₂ generator	Rekaman permanent	Sistem gas buang	Generator IG dengan pembakar
O2 - kandungan setelah blower, IG/N ₂ Generator	x	x	-	>8%	x	x	-	-	x	x	x	x
Tekanan di jalur geladak utama	-	x	x	1), 2), 3)	x	x	-	-	-	x	x	x
Tekanan di tangki minyak kotor (hanya OBO)	-	x	x	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Katup pengatur kegagalan daya	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x
Alarm kegagalan daya dan sistem kendali	-	-	-	-	x	x	-	-	-	-	x	x
Tekanan air pendingin/scrubber aliran	x	-	-	Rendah	x	-	x ⁵⁾	x	-	-	x	x
Scrubber level air	-	-	-	Tinggi	x	-	x	x	-	-	x	x
Temperatur gas setelah blower/IG generator	x	-	-	Tinggi	x	-	x ⁵⁾	x	-	-	x	x
Tekanan setelah blower/IG generator	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x
Kegagalan blower	x	-	-	-	x	x	-	x	-	-	x	x
Level di water seal geladak	x	-	-	Rendah 4)	x	x	-	-	-	-	x	x
Kegagalan nyala api	x	-	-	-	x	-	-	-	-	-	-	x
Suplai bahan bakar	x	-	-	Rendah	x	-	-	-	-	-	-	x
Kegagalan dayat generator lembam/N ₂ pembangkit	-	-	-	-	x	x	-	x	-	-	-	x
Temperatur udara outlet kompresor	x	x	-	Tinggi	x	x	-	x	x	-	-	x
Tekanan udara umpan	x	x	-	Rendah	x	x	-	x	x	-	-	x
Level pada separator air	x	x	-	Tinggi	x	x	-	x	x	-	-	x
Kegagalan pemanas listrik	x	x	-	-	x	x	x	-	x	-	-	x
Temperatur udara inlet generator N ₂	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x
Tekanan N ₂ inlet generator	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x

1) Pengaturan alarm Tekanan tinggi di bawah tekanan pembebas P/V katup/breaker

2) Pengaturan alarm tekanan rendah pada 10 mbar

3) Alarm tekanan rendah kedua 10 mbar, atau sebagai alternatif: Stop pompa kargo

4) Alarm level harus tetap beroperasi ketika perangkat dihentikan

5) Pada generator IG dengan pembakaran: Stop pasokan bahan bakar

6. Generator gas lembam dengan peralatan pembakar independen

- 6.1 Peralatan pembakar dengan kendali pembakaran otomatis sesuai dengan Bab 9 harus dipasang.
- 6.2 Pembangkit harus mampu mengrimkan volume yang ditentukan dalam 1.7 dan 5.2.

6.3 Meskipun 5.2, hanya satu blower yang dipasang secara permanen perlu disediakan jika suku cadang yang cukup dibawa untuk blower dan penggerak blower untuk memastikan bahwa kerusakan dapat diperbaiki dengan peralatan yang tersedia di kapal.

6.4 Untuk pompa umpan bahan bakar, 6.3 berlaku secara analog.

6.5 Peralatan gas lembam harus dilengkapi dengan sistem penyalaan otomatis yang dapat memastikan bahwa hanya gas dengan komposisi yang di perlukan yang dapat di suplai.

6.6 Jika lebih dari satu generator gas lembam dipasang, setiap unit harus dilengkapi dengan perangkat *shut-off* di sisi pengiriman.

7. Sistem generator nitrogen

7.1 Persyaratan berikut berlaku untuk sistem generator yang memproduksi nitrogen dengan memisahkan udara menjadi gas komponennya dengan melewatkannya terkompresi melalui bundel serat berongga, membran *semi-permeable* atau bahan penyerap.

7.2 Kecuali dinyatakan lain, persyaratan dalam 1, 2, 3. dan 4. berlaku. Indikator, alarm dan fungsi otomatis sesuai Tabel 14.1 harus dipasang dan diatur.

7.3 Jika generator nitrogen diatur dalam kompartemen terpisah, sistem ventilasi ekstraksi mekanis independen yang menyediakan 6 pergantian udara per jam harus dipasang sebagai pengganti persyaratan yang ditetapkan dalam 2.4. Kandungan oksigen dalam kompartemen ini harus dipantau dan konsentrasi di bawah 19,5% dari volume harus memicu alarm.

7.4 Dua kompresor udara harus disediakan bersama dengan kapasitas yang dipersyaratkan pada 1.7. Kapasitas tersebut harus dibagi rata antara kedua kompresor. Jika kompresor yang tidak sama dipasang, kapasitas terendah tidak boleh kurang dari 1/3 dari total kapasitas yang dibutuhkan.

Satu kompresor udara dapat diterima dengan syarat bahwa suku cadang yang cukup untuk kompresor dan penggerak utama dibawa di kapal yang memungkinkan perbaikan oleh awak dalam waktu yang wajar.

7.5 Sistem pengolahan udara umpan yang beroperasi terus menerus harus disediakan untuk menghilangkan air dan minyak bebas dari udara terkompresi dan untuk mempertahankan temperatur tertentu.

7.6 Jika dipasang, tangki penerima/penyangga nitrogen dapat dipasang bersama dengan instalasi nitrogen di kompartemen yang sama atau di kompartemen khusus atau di area kargo. Akses ke kompartemen ini harus diatur dari geladak terbuka dengan pintu terbuka ke luar. Ventilasi permanen dan oksigen pemantauan sesuai dengan 7.3 harus dipasang.

7.7 Udara yang diperkaya oksigen dari generator nitrogen dan gas produk yang diperkaya nitrogen dari katup keselamatan tangki receiver/buffer nitrogen harus dibuang ke lokasi yang aman di geladak terbuka.

7.8 Untuk memungkinkan pemeliharaan, sarana isolasi yang memadai harus disediakan antara generator, *receiver*, *buffer tank* dan komponen lainnya.

7.9 Dalam penyimpangan dari 3.11 a) yang pertama dari dua perangkat *non-return* di jalur geladak utama harus dari pengaturan blok ganda dan saluran pembuangan. Kedua, perangkat *non-return* harus memenuhi 3.11 b).

8. Pembangkit gas lembam kapal tangki kimia

8.1 Persyaratan ini berlaku selain 1., 5. dan 6.

8.2 Sebagai alternatif dari *water seal* yang disebutkan dalam [3.11.a\)](#), katup *shut-off* ganda dengan katup ventilasi antara dapat dipasang dengan persetujuan khusus BKI asalkan:

- katup ini beroperasi secara otomatis dan
- pembukaan/penutupan dikendalikan langsung oleh aliran gas lembam atau tekanan diferensial dan
- alarm dipasang untuk memberi sinyal kegagalan katup (misalnya "Blower stop" dengan "Katup terbuka").

8.3 Meskipun [1.7](#), laju pengiriman yang lebih rendah dapat disetujui untuk pembangkit jika laju pembuangan pompa kargo dibatasi hingga 80% dari aliran gas lembam yang tersedia. Catatan yang sesuai harus disertakan dalam petunjuk pengoperasian.

8.4 Harus dimungkinkan untuk mengisolasi tangki kargo dari sistem gas lembam dengan bagian spool atau *double blanks* dengan ventilasi antara.

8.5 Pembangkit gas lembam harus didesain sehingga tekanan kerja maksimum yang diijinkan $p_{e,perm}$ tidak melebihi tekanan uji tangki kargo.

9. Generator gas lembam untuk kapal tangki yang tidak tercakup dalam C 1.1

9.1 Pembangkit gas lembam yang digunakan secara eksklusif untuk menyelimuti kargo, melembamkan ruang disekitar tangki dan sistem pembersihan dan komponen instalasi tidak dipersyaratkan untuk memenuhi [1.4](#), [1.7](#), [3.4](#), [3.6](#), [3.8](#), [3.9](#), [3.11](#), [4.4](#), [5](#), [6.2](#), [6.3](#), [6.4](#) dan [7](#).

9.2 Dalam saluran gas lembam utama di dalam area kargo, dua perangkat *non-return* harus dipasang secara seri. Jika peralatan dilengkapi dengan koneksi tetap ke tangki kargo, desain perangkat *non-return* harus memenuhi [3.11 a\)](#) hingga [3.11 c\)](#). Jika tidak, bagian spool yang dapat dilepas harus dipasang di semua koneksi ke tangki kargo, ruang di sekitar tangki, jaringan pipa kargo dan proses.

Perangkat *shut-off* harus dipasang di hulu dan hilir dari bagian spool ini. Katup *reducing valves* harus didukung oleh katup *safety*.

9.3 Ruang yang akan di lembam, harus dilengkapi dengan sarana untuk mengukur tekanan dan dengan koneksi untuk memeriksa atmosfir tangki serta dengan perangkat keselamatan yang sesuai untuk mencegah tekanan berlebih atau vakum. Instrumen pengukur yang sesuai harus disediakan untuk pengukuran oksigen dan gas hidrokarbon dan uap.

9.4 Jika unit penyerap dipasang, unit harus dirancang untuk operasi regenerasi otomatis.

9.5 Tangki penyimpanan gas lembam dan penyerap dan unit filter yang dioperasikan di bawah tekanan harus sesuai dengan [Bab 8](#).

10. Sistem penyimpanan gas lembam

10.1 Umum

Sistem penyimpanan gas lembam juga dapat disediakan untuk melembamkan ruang di sekitar tangki dan untuk menyelimuti kargo di tangki. Jumlah gas yang disimpan harus cukup untuk memungkinkan hilangnya gas lembam selama pelayaran.

10.2 Desain

10.2.1 Gas lembam dapat disimpan dalam bejana tekan atau silinder. Bejana tekan harus ditempatkan di area kargo di geladak terbuka atau di ruang terpisah. Bejana tekan dan silinder bertekanan memenuhi pada persyaratan pada [Bab 8](#) secara analog.

Ketentuan dari [Bab 12.G.2.2](#) dan [G.3](#). berlaku jika relevan dengan pemasangan bejana tekan dan silinder di ruang tertutup.

10.2.2 Katup *pressure reducing* yang didukung oleh katup *safety* harus dipasang pada bejana tekan dan baterai silinder. Sistem perpipaan hilir harus dipasang sesuai dengan [9.2](#).

10.2.3 Ruang yang harus dilembam dilengkapi sesuai dengan [9.3](#).

E. Persyaratan tambahan untuk Pemasangan Sistem Manajemen Air Balas

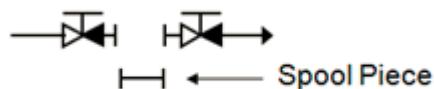
1. Umum

1.1 Klasifikasi area berbahaya harus sesuai dengan IEC 60092-502.

1.2 Untuk kapal tangki yang membawa cairan mudah terbakar yang memiliki titik nyala tidak melebihi 60 °C atau produk yang tercantum dalam Kode IBC yang memiliki titik nyala tidak melebihi 60 °C atau kargo yang dipanaskan hingga suhu di atas titik nyalanya dan kargo yang dipanaskan hingga temperatur 15 °C dari titik nyalanya. Secara umum, dua BWMS independen mungkin diperlukan - yaitu satu untuk tangki balas di area berbahaya dan yang lainnya untuk tangki balas di area tidak berbahaya.

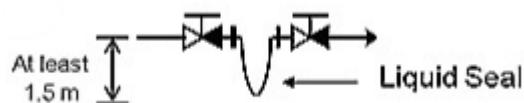
1.3 Interkoneksi perpipaan balas antara area tidak berbahaya dan di area tidak berbahaya dapat diterima jika pengaturan isolasi yang sesuai diterapkan. Sarana isolasi yang sesuai adalah sebagai berikut:

1.3.1 Dua katup *screw down check* secara seri dengan bagian spool ([Gambar 15.1](#)), atau



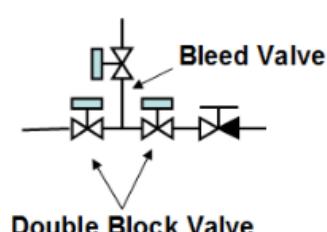
Gambar 15.1

1.3.2 Dua *screw down check valves* secara seri dengan *liquid seal* dengan kedalaman sekurang-kurangnya 1,5 m ([Gambar 15.2](#)), atau



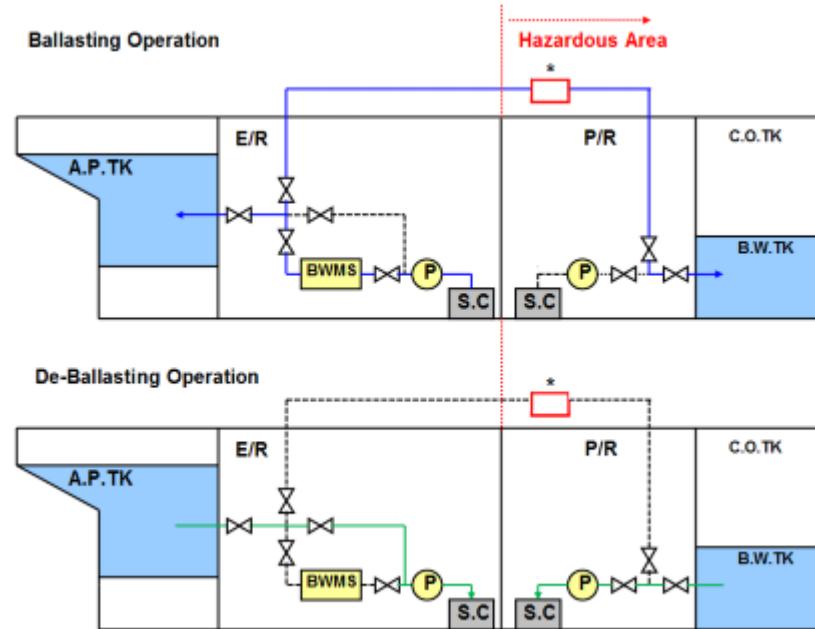
Gambar 15.2

1.3.3 Automatic double block and bleed valve dan non-return valve ([Gambar 15.2](#))

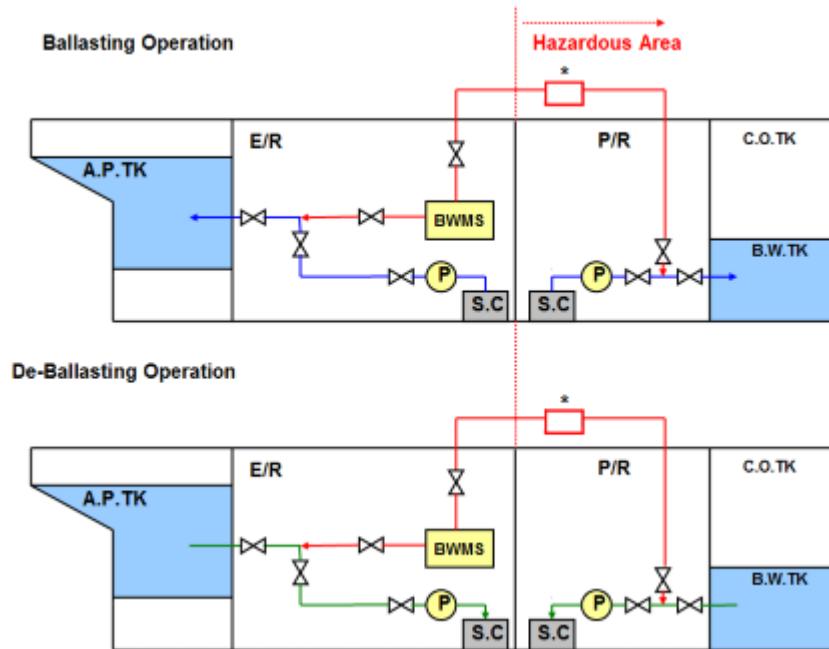


Gambar 15.3

Contoh pengaturan isolasi yang sesuai ditunjukkan pada [Gambar 15.4](#) dan [Gambar 15.5](#). Pengaturan isolasi harus dipasang di geladak yang terbuka di daerah berbahaya. Juga, air balas yang berasal dari daerah berbahaya tidak boleh dibuang ke daerah yang tidak berbahaya, kecuali sebagaimana yang ditentukan oleh Bab 11.P.1.6.7. E



Gambar 15.4. BWMS yang tidak memerlukan perawatan lanjut



Gambar 15.5 BWMS yang memerlukan perawatan lanjut (tipe Injeksi)



- : Sarana Isolasi yang Tepat: Dua (2) katup *screw down check* secara seri dengan bagian spool atau *liquid seal*, atau *automatic double block* dan katup *bleed*.

Bab 16 Getaran Puntir

A.	Definisi.....	16-1
B.	Perhitungan Getaran Puntir.....	16-1
C.	Tegangan Getaran Puntir yang Diperbolehkan	16-2
D.	Pengukuran Getaran Torsional	16-8
E.	Rentang Operasi yang Dilarang.....	16-8
F.	Permesinan Bantu.....	16-9

A. Definisi

Untuk tujuan persyaratan ini, beban getaran puntir adalah beban tambahan akibat getaran puntir. Getaran ini dihasilkan dari puntiran secara bergantian yang ditumpangkan pada torsi rata-rata.

Untuk kapal dengan kelas es, beban yang dihasilkan dari baling-baling/ interaksi es harus dihitung secara terpisah, [lihat Bab 13](#).

B. Perhitungan Getaran Puntir

1. Sebuah analisis getaran puntir yang meliputi tekanan getaran puntir yang diharapkan dalam sistem poros utama termasuk cabang-cabangnya harus diserahkan kepada BKI untuk mendapatkan persetujuan. Untuk memfasilitasi proses persetujuan yang lancar dan efisien, gambar-gambar dapat disampaikan dalam format elektronik. Data berikut harus dimasukkan untuk dianalisis:

Data input

- sistem getaran puntir yang setara
 - momen inersia dan elastisitas/kekakuan puntir tanpa momen inersia dengan keseluruhan sistem
- penggerak utama
 - jenis mesin, rating daya, rating kecepatan, siklus per putaran, desain (segaris/tipe V), jumlah silinder, pengatur pembakaran, diameter silinder, langkah, rasio langkah terhadap batang penghubung, massa yang berosilasi dari satu engkol roda gigi, eksitasi spektrum mesin dalam bentuk koefisien tangensial (untuk mesin jenis baru/tidak konvensional)
- peredam getaran
 - jenis, koefisien redaman, momen inersia, kekakuan dinamis
- kopling elastis
 - jenis, koefisien redaman, momen inersia kekakuan dinamis
- roda gigi reduksi/power take off (PTO)
 - jenis, momen inersia untuk roda dan pinyon, rasio per mesh individu roda gigi, kekakuan efektif
- sistem poros
 - diameter poros dari poros engkol, poros antara, poros roda gigi, poros tekan dan poros propeller
- propeller
 - jenis, diameter, jumlah daun, rasio pitch dan area yang diperluas, momen inersia dalam momen inersia udara air yang tertahan (untuk pitch nol dan penuh untuk propeller CP)

Data Output/Hasil

- frekuensi natural dengan bentuk (mode) getarannya yang relevan
- beban-beban (torsi atau tegangan) getaran paksa tegangan gesek/torsi getaran puntir yang terhitung di semua elemen penting dari sistem dengan referensi khusus untuk mendefinisikan dengan jelas kecepatan resonansi untuk seluruh rentang kecepatan operasi. Hasil harus mencakup nilai-nilai yang disintesis (jumlah vektorial harmonik secara keseluruhan) untuk torsion/tegangan.
- waktu maksimum yang diizinkan untuk melewati kisaran kecepatan yang dilarang, dalam hal rentang operasi dilarang tercapai untuk operasi terus menerus

2. Perhitungan harus dilakukan baik itu untuk operasi normal (distribusi tekanan seragam secara menyeluruh dalam silinder atau penyimpangan kecil dalam distribusi tekanan misalnya $\pm 5\%$) dan operasi kegagalan pembakaran (satu silinder tanpa pengapian, kompresi silinder masih ada).

3. Ketika instalasi memungkinkan berbagai modus operasi, karakteristik getaran torsional harus diselidiki untuk semua mode yang memungkinkan, misalnya dalam instalasi yang dilengkapi dengan propeller pitch terkendali untuk pitch nol dan full, dengan roda gigi *power take off* gigi terintegrasi pada roda gigi utama atau di poros engkol ujung depan untuk generator yang dibebani dan diam, dengan kampas kopling untuk cabang-cabang yang terikat dan terlepas.

4. Perhitungan getaran puntir juga meliputi tekanan/torsi yang dihasilkan dari superposisi beberapa harmonika (nilai disintesis) sejauh relevan untuk penilaian keseluruhan sistem, lihat juga 1, data output.

5. Jika modifikasi dimasukkan ke dalam sistem yang memiliki pengaruh besar pada karakteristik getaran puntir, perhitungan getaran puntir harus disesuaikan dan dikirim ulang untuk disetujui.

6. Jika sebuah mesin elektrik (misalnya motor yang dikendalikan konverter statis) dapat menghasilkan eksitasi periodik yang menyebabkan tekanan getaran puntir relevan dalam sistem secara keseluruhan, hal ini harus diperlakukan dalam perhitungan getaran puntir paksa. Pabrik pembuat mesin listrik bertanggung jawab untuk menentukan spektrum eksitasi dengan cara yang tepat untuk melakukan perhitungan getaran torsional paksa.

C. Tegangan Getaran Puntir yang Diperbolehkan

1. Sistem poros

1.1 Tegangan amplitudo puntir bolak-balik dikenal sebagai $(\tau_{\max} - \tau_{\min})/2$ sebagaimana dapat diukur pada poros dalam kondisi yang relevan selama siklus berulang.

Perhitungan getaran puntir harus memasukkan operasi normal dan operasi dengan salah satu silinder macet (yaitu tidak ada injeksi tetapi dengan kompresi) sehingga menimbulkan tegangan getaran torsional tertinggi dalam sistem poros.

Untuk operasi kontinyu, tekanan yang diizinkan (τ_1) karena getaran torsional bolak-balik harus tidak melebihi nilai yang diberikan oleh rumus berikut:

$$\pm \tau_1 = c_w \cdot c_k \cdot c_d \cdot (3 - 2 \cdot \lambda^2) \quad [\text{N/mm}^2] \quad (1)$$

untuk nilai rasio kecepatan $\lambda < 0,9$

$$\pm \tau_1 = c_w \cdot c_k \cdot c_d \cdot 1.38 \quad [\text{N/mm}^2] \quad (2)$$

untuk nilai rasio kecepatan $0,9 \leq \lambda \leq 1,05$

Untuk melewati *barred speed range* getaran puntir untuk kondisi tunak (τ_2) tidak boleh melebihi nilai yang diberikan oleh rumus:

$$\pm \tau_2 = 1,7 \cdot \frac{\tau_1}{\sqrt{c_k}} \quad (3)$$

dimana:

- τ_1 = amplitudo tegangan yang diijinkan karena getaran puntir untuk operasi berkelanjutan [N/mm^2]
 τ_2 = amplitudo tegangan yang diijinkan karena getaran puntir kondisi tunak dalam *barred speed range* [N/mm^2]
 c_B = kekuatan tarik utama minimum yang ditentukan dari bahan poros [N/mm^2]
 c_D = faktor ukuran
= $0,35 + 0,93 \cdot \text{do-0,2}$
 c_k = faktor bentuk untuk poros antara dan propeller tergantung pada detail desain dan konstruksi sambungan mekanis yang diterapkan pada garis poros. Nilai untuk c_k diberikan pada [Tabel 16.1](#).
 d_o = diameter poros [mm]
 λ = rasio kecepatan
= n/n_o
 n = kecepatan [rpm]
 n_o = kecepatan nominal [rpm]
 R_m = kekuatan tarik material poros [N/mm^2]
 c_w = faktor material
= $\frac{R_m + 160}{18}$ (4)

Ketika poros dapat mengalami tegangan-tegangan getaran dekat dengan tegangan yang diizinkan untuk operasi transien, bahan-bahan harus memiliki kekuatan tarik minimum ultimate $R_m \geq 500 \text{ N/mm}^2$. Jika tidak, bahan-bahan yang memiliki memiliki kekuatan tarik minimum ultimate $R_m \geq 400 \text{ N/mm}^2$ dapat digunakan.

Untuk tujuan rumus (1), (2), (3) nilai perhitungan kekuatan tarik yang diterapkan harus tidak melebihi batas berikut:

- R_m = 600 N/mm^2
– Untuk poros propeller pada umumnya
– Untuk semua poros lainnya terutama poros antara, yang terbuat dengan ditempa, karbon paduan rendah atau karbon baja mangan
- R_m = 800 N/mm^2
Untuk semua poros kecuali poros propeller yang dibuat dari baja tempa baja paduan tinggi. Formula (3) harus diterapkan dalam hubungannya dengan baja tersebut dan fitur desain khusus saja.

Jika amplitudo tegangan melebihi nilai-nilai batas τ_1 untuk operasi berkelanjutan, termasuk kondisi kermacetan satu silinder jika dimaksudkan untuk terus beroperasi dalam kondisi seperti itu, rentang kecepatan yang dilarang harus diterapkan yang harus dilewati dengan cepat.

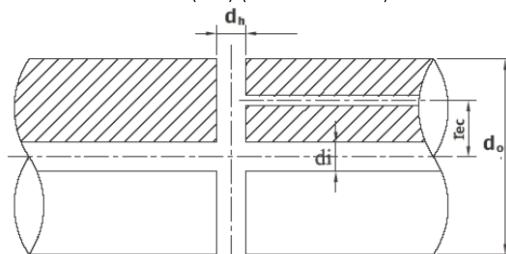
Tabel 16.1 Faktor bentuk untuk poros antara dan propeller

k	c_K	Jenis Poros
Poros antara dengan		
1,0	1,0	Flensa kopling integral ¹ dan bagian lurus
1,0	1,0	Kopling suaian kerut ²
1,10	0,60	Koneksi pasak, tirus ^{3 4}
1,10	0,45	Koneksi pasak, silindris ^{3 4}
1,10	0,50	Lubang radial ⁵
1,20	0,30 ⁷	Slot longitudinal ⁶
Poros tekan eksternal ke mesin		
1,10	0,85	di kedua sisi lengkungan pendorong ¹
1,10	0,85	dijalan bantalan ketika bantalan rol digunakan
Poros propeller		
1,20	0,55	Propeller flensa terpasang, atau tirus tanpa pasak ⁸
1,26	0,55	Baling-baling dengan pasak 8
1,15	0,80	Antara ujung depan dari bantalan paling buritan dan segel tabung buritan

Catatan:

Transisi diameter harus dirancang baik dengan lancip halus ataupun dengan radius melengkung. Untuk petunjuk, radius melengkung sama dengan perubahan diameter yang dianjurkan.

1. Jari-jari fillet tidak boleh kurang dari $0,08d_o$.
2. k dan c_K mengacu pada bagian poros polos saja. Jika poros dapat mengalami tegangan getaran dekat dengan tekanan yang diizinkan untuk operasi berkelanjutan, penambahan diameter ke diameter suaian kerut harus dilakukan, misalnya peningkatan diameter 1 hingga 2% dan radius kelengkungan seperti yang dijelaskan dalam catatan tabel. Pada jarak tidak kurang dari $0,2d_o$ dari ujung pasak, diameter poros dapat direduksi menjadi diameter yang dihitung dengan $k = 1,0$.
3. Pasak umumnya tidak digunakan dalam instalasi dengan rentang kecepatan yang dilarang.
4. Diameter radial bore (d_h) tidak melebihi $0,3d_o$.
5. Persimpangan antara bore radial dan aksial eksentrik (rec) (lihat di bawah) tidak tercakup dalam Bab ini.



6. Subjek pada keterbatasan sebagai panjang slot (l)/diameter luar $< 0,8$ dan diameter dalam (d_i)/diameter luar $< 0,7$ dan lebar slot (e)/diameter luar $> 0,15$. Pembulatan ujung slot harus kurang dari $e/2$. Pembulatan tepi sebaiknya dihindari karena hal ini meningkatkan sedikit konsentrasi tegangan.

Nilai k dan c_K berlaku untuk slot 1, 2, dan 3, yaitu dengan slot pada 360 dan 180 dan masing-masing terpisah 120 derajat.

7. $c_K = 0,3$ adalah perkiraan dalam batasan pada 6. Perkiraan yang lebih akurat dari faktor konsentrasi tegangan (scf) dapat ditentukan dari IACS UR M68.7.3 atau dengan aplikasi langsung perhitungan FE. Dalam hal ini:

$$c_K = 1,45/scf$$

Perhatikan bahwa scf didefinisikan sebagai rasio antara tegangan utama lokal maksimum dan $\sqrt{3}$ kali tegangan torsional nominal (ditentukan untuk poros berlubang tanpa slot).

8. Berlaku untuk bagian poros propeller antara tepi depan dari bantalan poros paling belakang dan permukaan depan dari hub propeller (atau poros flensa), tetapi tidak kurang dari 2,5 kali diameter yang diperlukan.

Tabel 16.1 Faktor bentuk untuk poros antara dan propeller (lanjutan)

Penjelasan k dan c_K

Faktor k (untuk kelelahan siklus rendah) dan c_K (untuk kelelahan siklus tinggi) memperhitungkan pengaruh:

- Faktor konsentrasi tegangan (scf) relatif terhadap konsentrasi tegangan untuk flensa dengan jari-jari fillet 0,08d_o (konsentrasi tegangan geometrik sekitar 1,45).

a. $C_K = \frac{1,45}{scF}$ dan $K = \left[\frac{scf}{1,45} \right]^x$

dimana eksponen x mempertimbangkan sensitivitas takik siklus rendah.

- Sensitivitas takik. Nilai-nilai yang dipilih terutama representatif untuk baja lunak ($\sigma_B < 600$), sedangkan pengaruh gradien tegangan curam dalam kombinasi dengan baja berkekuatan tinggi dapat diabaikan.
- Ukuran faktor c_D sebagai fungsi diameter saja tidak murni mewakili pengaruh ukuran statistik, melainkan kombinasi pengaruh statistik ini dan sensitivitas takik.

Nilai aktual untuk k dan c_K dibulatkan.

Rentang kecepatan dilarang dalam kondisi operasi normal tidak dapat diterima di atas $\lambda = 0,8$.

Rentang kecepatan dilarang dalam kondisi salah satu silinder dari kapal mesin propulsi tunggal harus memungkinkan navigasi yang aman.

Batas rentang kecepatan yang dilarang ditentukan sebagai berikut:

- 1) Rentang kecepatan yang dilarang harus mencakup menutup semua kecepatan di mana batas penerimaan (τ_1) terlampaui. Untuk propeller pitch terkontrol dengan kemungkinan kontrol pitch dan kecepatan individual, kondisi pitch penuh dan nol harus dipertimbangkan.
Selain itu, toleransi tachometer harus ditambahkan. Pada setiap ujung rentang kecepatan yang dilarang, mesin harus stabil beroperasi.
- 2) Secara umum, dan tunduk pada 1) rumus berikut dapat diterapkan, asalkan amplitudo tegangan pada batas rentang kecepatan yang dilarang kurang dari τ_1 dalam kondisi operasi normal dan stabil.

$$\frac{16 \cdot n_c}{18 - \lambda_c} \leq n \leq \frac{(18 - \lambda_c) \cdot n_c}{16}$$

n_c = kecepatan kritis dalam putaran per menit (kecepatan resonansi) [rpm]

λ_c = rasio kecepatan kritis = n_c/n_o

1.2. Pada rentang kecepatan $0,9 \leq \lambda \leq 1,05$ torsi bolak balik dalam sistem perporosan tidak boleh melebihi 75% dari torsi rata-rata beban penuh yang ditransmisikan oleh sistem poros tersebut. Dengan persetujuan dari BKI, 90% dari torsi rata-rata dapat diizinkan asalkan torsi hanya ditransmisikan dalam koneksi dengan gesekan saja atau flensa tempa integral diterapkan.

1.3. Untuk sistem propeller pitch terkendali, nilai-nilai τ_2 yang diizinkan dalam rentang kecepatan yang dilarang dapat melebihi ketentuan asalkan sistem ini dioperasikan pada pitch rendah dan tegangan geser tambahan tetap di bawah τ_2 untuk nilai $\lambda = 0,6$ yang dihitung dengan rumus (3). Penerapan alternatif ini, yang tunduk pada persetujuan khusus, memerlukan desain yang memadai per kasus. Terutama persilangan cepat rentang kecepatan dilarang harus dijamin dengan tambahan langkah-langkah yang memadai. Dalam kasus seperti itu dimensi yang memadai dari semua koneksi di sistem poros untuk torsi dinamis dengan kecepatan resonansi harus dibuktikan secara individual.

2. Poros engkol

2.1. Poros engkol yang digunakan untuk mesin pada kapal yang dikelaskan oleh BKI harus disetujui atas dasar [Petunjuk untuk Perhitungan Poros Engkol Mesin Diesel \(Bag. 1, Vol. P\)](#). Untuk penerapan pedoman ini distribusi tekanan gas dalam silinder pada sudut engkol disampaikan oleh produsen mesin. Produsen mesin juga menerapkan persetujuan tegangan geser tambahan maksimal (vibratory), yang merujuk ke engkol dengan beban tertinggi karena torsi dan kekuatan lentur rata-rata. Normalnya tegangan geser tambahan yang disetujui ini dapat diterapkan untuk evaluasi pertama dari tegangan getaran terhitung dalam poros engkol melalui model getaran torsional. Nilai-nilai umum adalah antara 30 dan 70 N/mm² untuk mesin kecepatan menengah dan tinggi dan antara 25 dan 40 N/mm² untuk mesin dua-langkah, tetapi konfirmasi khusus dari nilai yang dipertimbangkan untuk penilaian oleh BKI diperlukan.

Untuk keterangan lebih lanjut lihat juga [Bab 2.C.1](#).

2.2. Ketika batas yang umumnya disetujui untuk tegangan-tegangan getaran untuk poros engkol mesin sebagaimana didefinisikan pada [2.1](#) terlampau, pertimbangan khusus dapat diterapkan untuk menentukan batas yang lebih tinggi untuk kasus khusus yang diselidiki. Untuk ini, perhitungan rinci sistem (gabungan aksial/model torsional) dan penerapan data sebenarnya yang dihitung dalam model sesuai dengan [Petunjuk untuk Perhitungan Poros Engkol Mesin Diesel \(Bag. 1, Vol. P\)](#), seperti dikutip pada [2.1](#) diperlukan. Pertimbangan khusus seperti itu khususnya penerapan aksial perhitungan kombinasi getaran aksial dan torsional, hanya dapat dipertimbangkan untuk penambahan dua perangkat mesin 2-langkah yang dipasangkan secara langsung. Untuk evaluasi semacam itu dalam kasus apapun faktor penerimaan sesuai dengan Pedoman BKI harus tidak kurang dari 1,15 pada seluruh rentang kecepatan.

2.3. Peredam getaran torsional yang bertujuan untuk mengurangi tegangan di poros engkol harus sesuai untuk digunakan untuk mesin diesel. BKI berhak untuk meminta bukti ini, bandingkan juga dengan [F](#).

Peredam getaran torsional harus mampu diperiksa kemampuan kinerjanya dalam kondisi dirakit atau harus mampu dibongkar dengan cukup mudah untuk tujuan pemeriksaan. Persyaratan ini tidak berlaku untuk media kecil atau mesin-mesin kecepatan tinggi, sejauh pergantian peredam adalah bagian dari layanan reguler dari mesin dan interval pergantian tetap merupakan bagian dari persetujuan poros engkol mesin.

3. Gigi-gigi

3.1. Dalam rentang kecepatan layanan $0,9 \leq \lambda \leq 1,05$, tidak ada torsi bolak-balik yang lebih tinggi dari 30% dari torsi nominal rata-rata untuk tahap ini yang harus biasanya terjadi pada setiap gigi yang bertautan. Secara umum, nilai untuk torsi maksimum rata-rata yang ditransmisikan oleh tahapan gigi harus diterapkan untuk tujuan evaluasi sebagai torsi nominal rata-rata.

Jika sistem gigi ini terbukti dirancang untuk kekuatan yang lebih tinggi, maka, dengan perjanjian dengan BKI, 30% dari torsi desain gigi bertautan yang bersangkutan dapat diterapkan sebagai beban.

3.2. Ketika melewati kecepatan resonansi di bawah kisaran kecepatan operasional saat penyalakan dan penghentian perangkat, torsi bolak-balik gigi tidak dapat melebihi dua kali torsi rata-rata nominal roda gigi yang telah dirancang.

3.3. Pembalikan beban karena torsi bolak-balik biasanya hanya diperbolehkan saat melewati kecepatan rendah berkisar hingga $\lambda \leq 0,35$.

Jika, dalam kasus khusus, penerapan gigi di rentang kecepatan $\lambda \leq 0,35$ tidak dapat dihindari, rentang kecepatan yang dilarang sesuai dengan [E.1](#) harus ditentukan.

Persyaratan ini tidak berlaku untuk roda gigi yang bekerja tanpa beban (misalnya tahap diam dari roda gigi mundur atau roda gigi diam dari generator yang digerakkan poros tanpa beban). Hal ini dicakup oleh ketentuan-ketentuan sesuai dengan [3.4](#).

3.4. Pada instalasi di mana bagian-bagian dari tahap perangkat roda gigi bekerja tanpa beban, torsi getaran torsional dalam operasi kontinyu tidak boleh melebihi 20% dari torsi nominal untuk menghindari tegangan yang tidak dapat diterima karena gemeretak gigi (gear hammering). Hal ini berlaku tidak hanya untuk tahap roda gigi tetapi juga untuk bagian-bagian yang merupakan subyek getaran torsional (misalnya pembawa kopling multi cakram). Untuk bagian-bagian yang dibebani dari sistem roda gigi, ketentuan sesuai dengan [3.1](#) berlaku.

Torsi bolak-balik yang lebih tinggi dapat disetujui oleh BKI jika bukti diajukan bahwa langkah-langkah desain telah diperkenalkan dengan mempertimbangkan beban-beban yang lebih tinggi tersebut, lihat [3.1](#).

4. Kopling fleksibel

4.1. Kopling fleksibel harus dirancang untuk menahan beban getaran torsional yang terjadi selama pengoperasian kapal. Dalam konteks ini, total beban yang dihasilkan, sesuai dengan [B.4.](#), dari superimposisi beberapa perintah harus diperhitungkan, lihat juga [Bab 5](#).

4.2. Kopling fleksibel harus mampu mentransmisikan dalam waktu yang wajar torsi bolak-balik yang meningkat yang terjadi pada kondisi operasi normal sesuai dengan [B.2](#). Waktu yang wajar adalah waktu yang diperlukan secara umum sampai operasi kegagalan pembakaran terdeteksi dan perangkat propulsi ditransfer ke kondisi operasi yang aman.

Dalam rentang kecepatan dimana, pada kondisi operasi normal, operasi kontinyu tidak diperbolehkan harus ditunjukkan sesuai dengan [E.2](#).

5. Generator yang digerakkan dengan poros

5.1. Dalam instalasi dengan generator secara langsung dan kaku dipasangkan ke mesin (tanpa ujung poros engkol) perlu untuk memastikan bahwa akselerasi tidak melebihi nilai yang ditentukan oleh produsen dalam setiap bagian dari generator.

Kriteria yang berlaku dalam kasus-kasus tersebut haruslah akselerasi tangensial, yang merupakan produk dari akselerasi angular dan radius efektif. Akselerasi angular ditentukan dengan perhitungan getaran torsional secara paksa dan dianggap sebagai nilai yang disintesis dari semua perintah utama. Namun, untuk pertimbangan penyederhanaan dari kecepatan resonansi yang keluar, nilai harmonik individu dapat digunakan sebagai pengganti untuk penilaian.

5.2. Amplitudo getaran torsional (sudut) dari generator poros yang digerakkan secara normal tidak boleh melebihi nilai elektrik $\pm 5^\circ$. Amplitudo getaran elektrik diperoleh dengan mengalikan amplitudo getaran mekanis dengan jumlah pasangan kutub. Apakah BKI mampu mengizinkan nilai yang lebih tinggi, tergantung pada konfigurasi sistem listrik kapal.

6. Unit terhubung

6.1. Jika unit lanjut, misalnya turbin atau kompresor, yang dipasangkan dengan sistem propulsi utama dengan atau tanpa kemampuan untuk melepas kopling, perhatian harus diberikan untuk unit ini ketika menyelidiki beban getaran torsional.

Dalam penilaian beban dinamis, batas seperti yang didefinisikan oleh pembuat terkait harus dipertimbangkan selain kriteria sebagaimana tercantum dalam [1](#). Jika batas ini terlampaui, unit yang bersangkutan harus terlepas atau rentang operasi yang dilarang sesuai dengan [E.1](#) harus dinyatakan.

Pelepasan dari unit tersebut harus umumnya tidak menyebabkan beban lebih substansial dari sistem utama dalam hal melebihi batas τ_2 untuk sistem poros, torsi maksimum untuk kopling fleksibel atau sejenisnya.

6.2. Dalam kasus khusus, perhitungan getaran torsional paksa, termasuk untuk operasi yang terganggu (unit yang dilepas), seperti yang dinyatakan dalam [B.1](#). akan diminta untuk diserahkan kepada BKI. Dalam kasus tersebut, BKI berhak menetapkan kinerja pengukuran konfirmasi (bandingkan [D.](#)), termasuk seperti yang berkaitan dengan operasi yang terganggu.

D. Pengukuran Getaran Torsional

1. Selama uji coba laut kapal, getaran torsional dari perangkat propulsi harus diukur pada seluruh rentang operasi. Investigasi pengukuran meliputi kondisi normal serta kegagalan pembakaran. Rentang kecepatan, yang telah dinyatakan sebagai rentang kecepatan yang dilarang sesuai dengan [E.1](#). untuk operasi kesalahan pembakaran harus tidak diselidiki dengan pengukuran, sejauh rentang ini akhirnya dinyatakan sebagai "dilarang" dengan dasar yang handal dan perhitungan yang disetujui dan didokumentasikan dengan memadai.

Pengukuran diperlukan oleh BKI untuk semua perangkat dengan torsi nominal melebihi 40 kNm. Untuk perangkat lain yang tidak memenuhi kondisi ini, BKI berhak untuk meminta pengukuran tergantung pada hasil perhitungan. Persyaratan untuk pengukuran akan dikomunikasikan ke galangan/pemasok mesin dengan surat persetujuan untuk perhitungan getaran torsional.

Ketika pengukuran perangkat propulsi yang identik (khusus kapal bersaudara) tersedia, pengukuran getaran torsional lanjut untuk kapal terulang dapat, dengan persetujuan dari BKI, ditiadakan.

Dalam hal hasil pengukuran tidak cukup meyakinkan dalam hal perhitungan, BKI berhak untuk meminta penyelidikan lebih lanjut atau persetujuan baru dari model perhitungan yang direvisi dan disesuaikan.

2. Ketika perangkat propulsi yang ada dimodifikasi, BKI berhak untuk meminta penyelidikan baru dari karakteristik getaran torsional.

E. Rentang Operasi yang Dilarang

1. Rentang operasi, yang karena besarnya tegangan getaran torsional dan/atau torsi hanya dapat dilewati dengan cepat (operasi transient), harus diindikasikan sebagai rentang operasi yang dilarang dengan tanda merah pada tachometer atau dengan beberapa cara lain yang cocok di stasiun operasi. Lihat juga [D.2](#).

Dalam operasi normal, rentang kecepatan $\lambda \geq 0,8$ harus tetap dijaga bebas dari rentang operasi yang dilarang.

Dalam menentukan rentang operasi yang dilarang harus diamati bahwa navigasi dan fungsi manuver tidak sangat dibatasi. Lebar rentang kecepatan yang dilarang harus dipilih dengan sebuah cara sehingga tekanan pada sistem poros tersebut tidak melebihi batas τ_1 yang diperbolehkan untuk operasi kontinyu dengan kelonggaran yang memadai, mengingat ketidakakuratan dari tachometer dan perangkat pengaturan kecepatan. Untuk perangkat yang bergigi, rentang kecepatan yang dilarang, jika ada, merujuk pada tautan gigi dan kopling elastis dan harus ditentukan dengan cara yang sama dengan mengacu pada torsi getaran yang diizinkan atau kehilangan daya yang diperbolehkan untuk komponen ini (lihat juga [C.4](#). Dan [C.5](#)).

2. Langkah-langkah yang diperlukan untuk menghindari beban berlebih pada perangkat propulsif pada kondisi operasi abnormal harus ditampilkan di papan instruksi yang ditempel di semua stasiun kontrol mesin.

F. Permesinan Bantu

1. Mesin bantu yang penting seperti generator diesel dan pendorong haluan harus dirancang sedemikian rupa sehingga rentang kecepatan operasi bebas dari tegangan yang tidak dapat diterima karena getaran torsional sesuai dengan C.

2. Generator

2.1 Untuk set generator diesel dengan output mekanik lebih dari 150 kW, perhitungan getaran torsional harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan. Penyelidikan harus mencakup frekuensi natural serta perhitungan getaran paksa. Kecepatan kisaran 90% sampai 105% dari kecepatan nominal harus diselidiki pada kondisi beban penuh.

2.2 Untuk generator yang dipasangkan secara kaku (tanpa kopling elastis), torsi getaran di bagian input dari poros generator tidak boleh melebihi 250% dari torsi nominal. Untuk tujuan peraturan ini torsi nominal adalah torsi yang dapat dihitung dengan menggunakan data aktual dari mesin diesel (output nominal / kecepatan nominal).

Kepatuhan batas 250% dalam rentang kecepatan 90% sampai 105% dari kecepatan nominal harus dibuktikan. Perhitungan untuk rentang kecepatan ini harus dilakukan dengan menggunakan eksitasi sesuai dengan torsi nominal mesin.

Melebihi batas 250% dapat dipertimbangkan dalam kasus luar biasa, asalkan produsen generator tersebut telah merancang generator untuk torsi dinamik yang lebih tinggi. Tapi juga dalam kasus seperti nilai tertinggi 300% dari torsi nominal sebenarnya dari set seperti yang dijelaskan di atas tidak boleh terlampaui.

3. Pendorong Haluan (Bow Thruster)

3.1 Untuk pendorong haluan (bow thruster) serta untuk mesin bantu penting lanjut yang didorong oleh mesin diesel dengan output mekanik yang lebih tinggi dari 150 kW, perhitungan getaran torsional natural serta paksa harus diserahkan kepada BKI untuk persetujuan. Perhitungan getaran torsional harus fokus ke profil beban yang sebenarnya dari perangkat.

3.2 Untuk pendorong haluan (bow thruster) serta untuk mesin bantu lanjut penting yang digerakkan oleh motor listrik, pemasok harus berhati-hati agar gaya eksitasi yang relevan (misalnya frekuensi daun propeller atau yang serupa) tidak dapat menyebabkan beban getaran torsional tidak dapat diterima. Dalam kasus khusus, BKI mungkin memerlukan penyampaian perhitungan yang sesuai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 17 Suku Cadang

A. Umum	17-1
B. Jumlah Suku Cadang	17-1

A. Umum

1. Suku cadang pada umumnya tidak wajib untuk retensi BKI. Namun, diasumsikan bahwa persediaan suku cadang yang cukup untuk memenuhi kebutuhan yang ditimbulkan oleh rencana operasi kapal yang terawat di atas kapal. Isinya harus diputuskan dengan mempertimbangkan:

- probabilitas kebutuhan sebagai konsekuensi dari kemungkinan kegagalan
- kemungkinan kegagalan dan efek pada fungsi utama
- kemungkinan staf kapal melakukan perbaikan yang diperlukan

Peraturan ini dianggap telah dipatuhi jika rentang suku cadang sesuai dengan tabel yang diberikan di bawah ini dan memungkinkan untuk perluasan sistem dan komponen yang dipasang terkait pada saat penyerahan (*commissioning*).

2. Tergantung pada desain dan pengaturan perangkat mesin, servis dan pengoperasian kapal yang dimaksudkan, dan juga rekomendasi pabrik pembuat, volume suku cadang yang berbeda dapat disepakati antara pemilik kapal dan BKI.

Bila volume suku cadang didasarkan pada pengaturan khusus antara pemilik kapal dan BKI, dokumentasi teknis harus disediakan.

Daftar suku cadang yang relevan harus dibawa ke dalam kapal.

3. Dalam kasus sistem propulsi dan mesin bantu penting yang tidak termasuk dalam tabel berikut, kisaran suku cadang yang diperlukan harus ditentukan pada setiap kasus individual antara galangan kapal/pemilik kapal dan BKI.

4. Daftar suku cadang yang ditentukan dalam Bab ini berlaku untuk kapal untuk servis tidak terbatas. Semua kapal lain harus disepakati antara pemilik kapal dan BKI.

B. Jumlah Suku Cadang

Daftar suku cadang sesuai dengan Tabel 17.1 hingga 17.5 adalah suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk setiap jenis aplikasi.

Tabel 17.1 Daftar suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk mesin pembakaran dalam utama kapal

untuk servis tidak terbatas

Item	Suku Cadang	Jumlah yang direkomendasikan
1. Bantalan Utama	Bantalan utama atau kulit untuk satu bantalan pada tiap ukuran dan tipe yang dipasang, lengkap dengan shims, baut, dan mur	1
2. Blok Pendorong Utama	Bantalan untuk satu muka blok dorong tipe Michell, atau Sepatu dorong logam putih lengkap dari jenis cincin padat, atau Balapan dalam dan luar dengan rol, di mana bantalan dorong rol dipasang	1 set
3. Silinder Liner	Liner silinder, lengkap dan siap dipasang, termasuk gasket	1
4. Penutup Silinder	Penutup silinder, lengkap dengan katup, cincin sambungan, dan gasket. Baut dan mur penutup silinder, untuk satu silinder	1 1/2 set
5. Katup Silinder	Katup buang, lengkap dengan casing, dudukan, pegas, dan perlengkapan lainnya untuk satu silinder	2 set
	Katup saluran masuk udara, lengkap dengan selubung, dudukan, pegas, dan perlengkapan lainnya untuk satu silinder	1 set
	Katup udara start, lengkap dengan selubung, dudukan pegas, dan perlengkapan lainnya	1
	Katup sentinel tekanan berlebih silinder, lengkap	1
	Katup bahan bakar dari setiap ukuran dan jenis dipasang, lengkap dengan semua perlengkapannya, untuk satu mesin	1 set ¹
6. Bantalan Rod Penghubung	Bantalan ujung bawah atau cangkang dari masing-masing ukuran dan jenis dipasang, lengkap dengan shim, baut dan mur, untuk satu silinder	1 set
	Bantalan ujung atas atau cangkang dari masing-masing ukuran dan jenis dipasang, lengkap dengan shim, baut dan mur, untuk satu silinder	1 set
7. Piston	Jenis kepala silang; piston dari setiap jenis dipasang, lengkap dengan batang piston, kotak isian, skirt, cincin, kancing dan mur	1
	Jenis batang piston: piston masing-masing jenis dipasang, lengkap dengan skirt, cincin, stud, mur, pin gudgeon dan batang penghubung	1
8. Cincin Piston	Cincin piston untuk satu silinder	1 set
9. Pendingin Piston	Pipa pendingin telescopic dan perlengkapannya atau yang setara untuk satu silinder unit	1 set
10. Pelumas Silinder	Pelumas lengkap dari ukuran yang paling besar dengan chain dirve atau roda gigi, atau suku cadang yang setara	1
11. Pompa Injeksi Bahan Bakar	Pompa bahan bakar lengkap atau memungkinkan pergantian saat dilaut, set lengkap bagian kerja untuk satu pompa (plunger, katup, pegas, dll) atau yang setara dengan pompa bertekanan tinggi	1
12. Pipa Injeksi Bahan Bakar	Pipa bahan bakar tekanan tinggi dengan dinding ganda pada masing-masing ukuran dan bentuk yang terpasang, lengkap dengan kopling	1
13. Blower Bilas (termasuk turbo chargers)	Rotor, rotor shaft, bantalan, cincin nozel, dan roda gigi atau yang setara dengan bagian kerja jika dari tipe lain	1 set ²
14. Sistem Bilas	Katup penyedot dan pengiriman untuk satu pompa pada masing-masing tipe yang terpasang	1 set
15. Gigi reduksi dan atau pembalik	Bushing bantalan lengkap, dari setiap ukuran dipasang di rakitan kotak roda gigi Balap rol atau bola, dari setiap ukuran yang dipasang di rakitan kotak roda gigi	1 set
Catatan kaki:		
1. (a) Mesin dengan satu atau dua katup bahan bakar per silinder: lengkap satu set katup bahan bakar (b) Mesin dengan tiga atau lebih katup bahan bakar per silinder: Dua katup lengkap per silinder, dan jumlah bagian katup yang mencukupi, diluar body untuk bentuk yang sesuai dengan yang dipasang pada katup lengkap, untuk melayani satu mesin		
2. Suku cadang mungkin dapat diabaikan jika dapat ditunjukkan saat test bench untuk satu tipe mesin yang bersangkutan, bahwa mesin dapat bermanuver secara memuaskan dengan satu blower tidak berfungsi Pengaturan blanking dan pemblokiran yang diperlukan untuk menjalankan dengan satu blower tidak berfungsi harus tersedia di kapal		
Catatan:		
1. Ketersediaan suku cadang lainnya, seperti roda gigi dan rantai untuk penggerak camshaft, harus dipertimbangkan dan diputuskan secara khusus oleh pemiliknya.		
2. Diasumsikan bahwa kru baru memiliki peralatan dan perlengkapan yang diperlukan.		
3. Ketika suku cadang yang direkomendasikan digunakan, disarankan agar suku cadang baru dipasok sesegera mungkin.		
4. Dalam hal instalasi multi-mesin, suku cadang minimum yang direkomendasikan hanya diperlukan untuk satu mesin.		
5. Untuk suku cadang mesin yang dikontrol secara elektronik seperti yang direkomendasikan oleh perancang/produsen mesin.		

Tabel 17.2 Daftar suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk setiap jenis pembakaran internal tambahan generator listrik penggerak mesin untuk layanan penting di atas kapal untuk layanan tak terbatas

Item	Suku Cadang	Jumlah yang direkomendasikan
1. Bantalan Utama	Bantalan utama atau kulit untuk satu bantalan pada tiap ukuran dan tipe yang dipasang, lengkap dengan shims, baut, dan mur	1
	Katup buang, lengkap dengan casing, dudukan, pegas, dan perlengkapan lainnya untuk satu silinder	2 sets
	Katup saluran masuk udara, lengkap dengan selubung, dudukan, pegas, dan perlengkapan lainnya untuk satu silinder	1 set
2. Katup Silinder	Katup udara start, lengkap dengan selubung, dudukan pegas, dan perlengkapan lainnya	1
	Katup sentinel tekanan berlebih silinder, lengkap	1
	Katup bahan bakar dari setiap ukuran dan jenis dipasang, lengkap dengan semua perlengkapannya, untuk satu mesin	1/2 set
	Bantalan ujung bawah atau cangkang dari masing-masing ukuran dan jenis dipasang, lengkap dengan shim, baut dan mur, untuk satu silinder	1 set
3. Bantalan Rod Penghubung	Piston tipe trunk: pin gudgeon dengan bushing untuk satu silinder piston	1 set
4. Cincin Piston	Cincin piston untuk satu silinder	1 set
5. Pendingin Piston	Pipa pendingin telescopic dan perlengkapannya atau yang setara untuk satu silinder unit	1 set
6. Pompa Injeksi Bahan Bakar	Pompa bahan bakar lengkap atau memungkinkan pergantian saat dilaut, set lengkap bagian kerja untuk satu pompa (plunger, katup, pegas, dll) atau yang setara dengan pompa bertekanan tinggi	1
7. Pipa Injeksi Bahan Bakar	Pipa bahan bakar tekanan tinggi dengan dinding ganda pada masing-masing ukuran dan bentuk yang terpasang, lengkap dengan kopling	1
8. Gasket and packing	Gasket, dan packing special pada masing-masing ukuran dan tipe yang terpasang untuk penutup silinder dan silinder liner untuk satu silinder	1 set
Catatan:		
1. Ketersediaan dari suku cadang lain harus dipertimbangkan secara khusus dan tergantung dari keputusan pemilik kapal.		
2. Diasumsikan bahwa kru yang diatas kapal dilengkapi dengan peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan		
3. Saat suku cadang yang direkomendasikan digunakan, sangat dianjurkan agar suku cadang baru disediakan secepat mungkin.		
4. Dimana jumlah generator sesuai dengan kapasitas yang dipasang untuk melayani kebutuhan penting diluar jumlah kebutuhan, suku cadang dapat diabaikan.		
5. Untuk suku cadang mesin yang dikontrol secara elektronik seperti yang direkomendasikan oleh perancang/produsen mesin.		

Tabel 17.3 Daftar suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk turbin uap utama kapal untuk layanan tak terbatas

Item	Suku Cadang	Jumlah yang direkomendasikan
1. Shaft Turbin	Cincin penyegel karbon, jika dipasang, dengan pegas untuk setiap cincin penyegel ukuran dan jenis gland	1 set
2. Filter Minyak	Keranjang saringan atau sisipan, untuk filter dengan desain khusus, dari setiap jenis dan ukuran	1 set

Catatan:

1. Ketersediaan dari suku cadang lain harus dipertimbangkan secara khusus dan tergantung dari keputusan pemilik kapal.
2. Diasumsikan bahwa kru yang diatas kapal dilengkapi dengan peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan
3. Saat suku cadang yang direkomendasikan digunakan, sangat dianjurkan agar suku cadang baru disediakan secepat mungkin.
4. Dalam hal instalasi multi-mesin, suku cadang minimum yang direkomendasikan hanya diperlukan untuk satu mesin.

Tabel 17.4 Daftar suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk turbin uap tambahan yang menggerakkan generator listrik untuk layanan penting kapal untuk layanan tak terbatas

Item	Suku Cadang	Jumlah yang direkomendasikan
1. Shaft Turbin	Cincin penyegel karbon, jika dipasang, dengan pegas untuk setiap cincin penyegel ukuran dan jenis gland	1 set
2. Filter Minyak	Keranjang saringan atau sisipan, untuk filter dengan desain khusus, dari setiap jenis dan ukuran	1 set

Catatan:

1. Ketersediaan dari suku cadang lain harus dipertimbangkan secara khusus dan tergantung dari keputusan pemilik kapal.
2. Diasumsikan bahwa kru yang diatas kapal dilengkapi dengan peralatan dan perlengkapan yang dibutuhkan
3. Saat suku cadang yang direkomendasikan digunakan, sangat dianjurkan agar suku cadang baru disediakan secepat mungkin.
4. Dimana jumlah generator sesuai dengan kapasitas yang dipasang untuk melayani kebutuhan penting diluar jumlah kebutuhan, suku cadang dapat diabaikan.

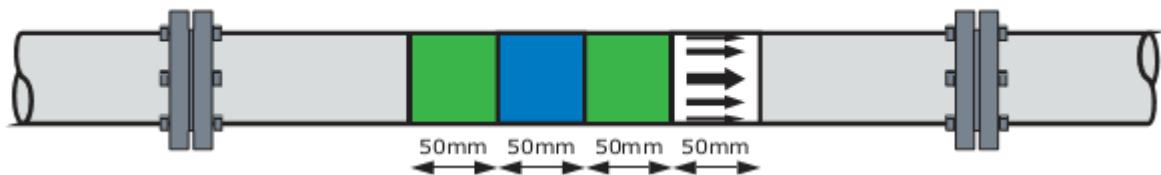
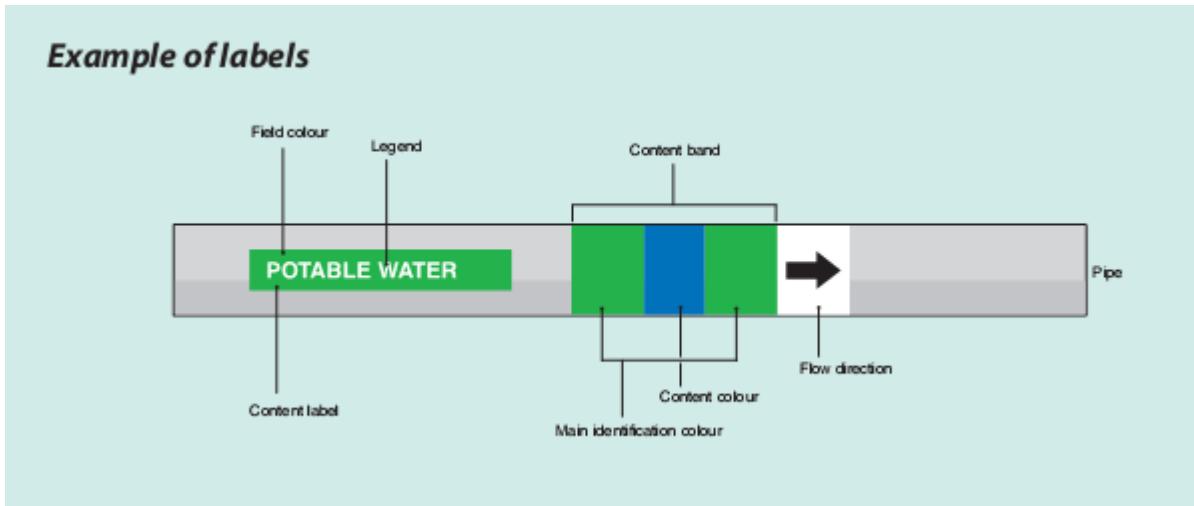
Tabel 17.5 Daftar suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk mesin bantu penting kapal untuk layanan tak terbatas

1. Mesin pembakaran internal bantu dan turbin uap yang menggerakkan mesin servis penting selain generator		
Jumlah suku cadang minimum yang direkomendasikan untuk mesin pembakaran internal bantu dan turbin uap yang menggerakkan mesin servis penting harus sesuai dengan yang direkomendasikan untuk mesin pembakaran internal dan turbin yang menggerakkan generator listrik. Ketika unit tambahan untuk tujuan yang sama dan kapasitas yang memadai dipasang, suku cadang dapat dihilangkan.		
2. Pompa¹		
Item	Suku Cadang	Jumlah yang direkomendasikan
a. Pompa Piston	Katup dengan dudukan dan pegas, untuk masing-masing ukuran yang dipasang	1 set
	Cincin piston, masing-masing tipe dan ukuran untuk satu piston	1 set
b. Pompa Sentrifugal	Bantalan untuk masing-masing tipe dan ukuran	1
	Penyegelan rotor dari setiap jenis dan ukuran	1
c. Pompa tipe gear	Bantalan dari setiap jenis dan ukuran	1
	Penyegelan rotor dari setiap jenis dan ukuran	1
3. Kompresor untuk layanan penting		
Suku Cadang	Jumlah yang direkomendasikan	
Katup hisap dan pengiriman lengkap dari setiap ukuran dipasang dalam satu unit	1/2 set	
Cincin piston dari setiap jenis dan ukuran dipasang untuk satu piston	1 set	
4. Umum		
Direkomendasikan bahwa, untuk pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan mesin-mesin penting, peralatan atau perlengkapan khusus akan digunakan, ini tersedia di atas kapal. Ketika suku cadang yang direkomendasikan digunakan, disarankan agar suku cadang baru dipasok secepat mungkin		
Notes:		
1. Ketika pompa siaga dengan nilai yang memadai tersedia, suku cadang dapat ditiadakan.		

Lampiran A Penandaan Pipa

- A. Susunan Penandaan.....A-1
- B. Tipe PenandaanA-2

A. Susunan Penandaan



B. Tipe Penandaan

Main- and additional colours	Main- and additional colours	Main- and additional colours	Main and- additional colours
Black (BK) Waste media	Green (GN) Sea water	Silver (SR) Steam	Yellow (YEO) Flammable gases
Blue (BU) Fresh water	Grey (GY) Non-flammable gases	Red (RD) Fire fighting- fire protection	Maroon (MN) Masses (dry and wet)
Brown (BN) Fuel	Orange (OG) Oil other than fuel	White (WH) Air in ventilation systems	Violet (VT) Acids, alkalis