



TEKNIK MESIN INDUSTRI JILID 1 untuk SMK

Sunyoto

Sunyoto



# Teknik Mesin INDUSTRI

JILID 1

untuk  
Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah

Departemen Pendidikan Nasional

Sunyoto, dkk.

# TEKNIK MESIN INDUSTRI

JILID 1

**SMK**



**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**  
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional  
Dilindungi Undang-undang

# TEKNIK MESIN INDUSTRI

## JILID 1

### Untuk SMK

Penulis : Sunyoto  
Karnowo  
S. M. Bondan Respati

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

SUN SUNYOTO  
t Teknik Mesin Industri Jilid 1 untuk SMK /oleh Sunyoto,  
Karnowo, S. M. Bondan Respati ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan  
Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen  
Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan  
Nasional, 2008.  
xii, 204 hlm  
Daftar Pustaka : Lampiran. A  
Daftar Gambar : Lampiran. B  
ISBN : 978-979-060-085-0  
ISBN : 978-979-060-086-7

Diterbitkan oleh

**Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan**

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah  
Departemen Pendidikan Nasional

Tahun 2008

## KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, telah melaksanakan kegiatan penulisan buku kejuruan sebagai bentuk dari kegiatan pembelian hak cipta buku teks pelajaran kejuruan bagi siswa SMK. Karena buku-buku pelajaran kejuruan sangat sulit di dapatkan di pasaran.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK dan telah dinyatakan memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008.

Kami menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada seluruh penulis yang telah berkenan mengalihkan hak cipta karyanya kepada Departemen Pendidikan Nasional untuk digunakan secara luas oleh para pendidik dan peserta didik SMK.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional ini, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkan *soft copy* ini diharapkan akan lebih memudahkan bagi masyarakat khususnya para pendidik dan peserta didik SMK di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri untuk mengakses dan memanfaatkannya sebagai sumber belajar.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Kepada para peserta didik kami ucapan selamat belajar dan semoga dapat memanfaatkan buku ini sebaik-baiknya. Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu ditingkatkan mutunya. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat kami harapkan.

Jakarta, 17 Agustus 2008  
Direktur Pembinaan SMK

## **PENGANTAR PENULIS**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas bimbingan dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan buku ini.

Buku yang diberi judul "Teknik Mesin Industri" ini disusun dengan memperhatikan rambu-rambu yang ada, antara lain Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan, Standar Isi, Standar Kompetensi Lulusan, dan Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya bidang keahlian Teknik Mesin.

Buku ini banyak membahas tentang mesin-mesin konversi energi, dimana sesuai dengan silabus dalam KTSP bidang Teknik Mesin materi tersebut terdapat dalam mata pelajaran produktif kategori dasar kompetensi kejuruan. Sesuai spektrum Pendidikan Kejuruan Kurikulum Edisi 2004, bidang keahlian Teknik Mesin terdiri dari 9 (sembilan) program keahlian dimana materi dasar kompetensi kejuruan diberikan kepada sembilan program keahlian tersebut.

Diharapkan buku ini dapat dijadikan pedoman atau rujukan bagi siswa dan guru SMK bidang keahlian Teknik Mesin khususnya, dan bidang keahlian lain pada umumnya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktur Pembinaan SMK, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Depdiknas yang telah memberi kepercayaan kepada penulis untuk menyelesaikan buku ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan juga kepada seluruh pihak yang terlibat dalam penulisan buku ini, baik dari kalangan akademisi maupun praktisi.

Akhir kata, mudah-mudahan buku ini bermanfaat bagi seluruh pembaca dan masyarakat luas pada umumnya. Kritik dan saran demi perbaikan buku ini akan penulis terima dengan senang hati. Wassalam.

Tim Penulis

## **ABSTRAK**

Buku Teknik Mesin Industri ini dibuat dengan harapan memberikan manfaat bagi para siswa Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) khususnya bidang keahlian Teknik Mesin, sehingga mereka mempunyai pengetahuan dasar tentang prinsip konversi energi dan mesin-mesinnya. Buku ini memaparkan teori dasar konversi energi dan ditambah dengan penjelasan kontruksi-kontruksi mesin pada setiap bab. Pada bab-bab awal dipaparkan tentang dasar-dasar kejuruan serta ilmu-ilmu dasar meliputi mekanika fluida, termodinamika, perpindahan panas. Penjelasan pada setiap bab dilengkapi dengan gambar-gambar dan diagram untuk mempermudah pemahaman siswa.

Uraian per bagian mengacu pada standar kompetensi dalam Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan (KTSP) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) khususnya bidang keahlian Teknik Mesin. Penjelasan ditekankan pada konsep dasar, mulai dari sejarah perkembangan sampai teknologi terbaru yang ada. Pembuktian secara kuantitatif terhadap konsep-konsep konversi energi dibatasi. Siswa dalam membaca buku ini diarahkan hanya untuk melogika teori dasar dengan tujuan mempermudah pemahaman.

Konsep konversi energi diuraikan dengan membahas terlebih dahulu teori yang mendasari. Untuk pompa, kompresor dan turbin air teori dasar yang diuraikan adalah sama, yaitu penerapan mekanika fluida. Pada mesin-mesin kalor, motor bakar, turbin gas, dan turbin uap, teori yang mendasari adalah termodinamika, mekanika fluida, dan perpindahan panas.

Untuk melengkapi paparan konsep-konsep dasar pada setiap bab diberikan contoh-contoh aplikasinya. Fokus pembahasan di dalam buku ini adalah mesin-mesin yang mengkonversi sumber-sumber energi yang tersedia di alam untuk menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan. Mesin-mesin pompa dan kompresor, dibahas detail dalam buku ini karena mesin-mesin tersebut dianggap sebagai alat bantu untuk pengoperasian mesin-mesin konversi. Selanjutnya dibahas tentang mesin-mesin panas, seperti motor bakar, turbin gas, dan turbin uap. Pada bagian akhir buku dibahas tentang turbin air, refrigerasi dan pengkondisian udara.

## DAFTAR ISI

### JILID 1

<b>BAB 1 DASAR KEJURUAN .....</b>	1
A. Dasar ilmu statiska .....	1
A.1. Tegangan tarik dan tekan.....	1
A.2. Rasio poison.....	2
A.3. Tegangan Geser.....	2
A.4. Tegangan Bending .....	2
A.5. Tegangan Maksimum .....	3
A.7. Torsi.....	3
B. Mengenal Elemen Mesin.....	4
B.1. Rem .....	5
B.2. Roda gigi.....	5
B.3. Bantalan.....	7
B.4. Pegas.....	8
B.5. Poros .....	10
B.6. Transmisi .....	11
C. Mengenal material dan kemampuan proses .....	14
C.1. Besi cor.....	14
C.2. Baja karbon .....	16
C.3. Material non logam .....	17
<b>BAB 2 MEMAHAMI PROSES–PROSES DASAR KEJURUAN .....</b>	19
A. Mengenal Proses Pengecoran Logam .....	19
B. Mengenal Proses Pembentukan Logam .....	21
B.1. Pembentukan plat .....	21
B.2. Kerja bangku.....	21
C. Proses Mesin Perkakas .....	24
C.1. Mesin bubut.....	24
C.2. Mesin fris .....	26

<b>D. MENGENAL PROSES MESIN KONVERSI ENERGI .....</b>	<b>27</b>
D.1. Termodinamika .....	27
D.2. Bentuk-bentuk energi	
D.3. Sifat energi .....	33
D.4. Hukum termodinamika .....	38
D.5. Gas Ideal.....	43
E. Dasar Fluida.....	46
E.1. Massa jenis .....	46
E.2. Tekanan .....	46
E.3. Kemampumampatan .....	48
E.4. Viskositas .....	49
E.5. Aliran fluida dalam pipa dan saluran .....	50
E.6. Kondisi aliran fluida cair .....	54
F. Perpindahan Panas.....	55
F.1. Konduksi.....	55
F.2. Konveksi .....	55
F.3. Radiasi.....	56
G. Bahan Bakar.....	57
G.1. Penggolongan bahan baker .....	58
G.2. Bahan-bakar cair.....	59
G.3. Bahan bakar padat.....	64
<b>BAB 3 MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT DAN LINGKUNGAN.....</b>	<b>66</b>
A. Keselamatan dan Kesehatan Kerja .....	66
A.1. Pendahuluan .....	66
A.2. Peraturan Perundangan K3.....	66
A.3. Prosedur Penerapan K3.....	68
A.4. Penerapan K3 Bidang Pesawat Uap dan Bejana Tekan....	70
A.5. Kebakaran dan Penanganannya.....	72
A.6. Kesehatan Kerja dan Lingkungan .....	74

<b>BAB 4 MENGGAMBAR TEKNIK.....</b>	77
A. Alat Gambar .....	77
A.1. Kertas gambar .....	77
B. Kop Gambar .....	82
C. Gambar Proyeksi .....	83
D. Skala .....	89
E. Ukuran dan Toleransi .....	90
F. Penyederhanaan gambar .....	92
G. Lambang Pengerjaan.....	93
<b>BAB 5 DASAR POMPA.....</b>	97
A. Prinsip Kerja Pompa.....	98
B. Klasifikasi Pompa .....	99
C. Komponen-Komponen Pompa.....	104
D. Konstruksi Pompa Khusus .....	106
D.1. Pompa sembur ( <i>jet pump</i> ).....	106
D.2. Pompa <i>viscous</i> .....	107
D.3. Pompa dengan volute ganda .....	108
D.4. Pompa CHOPPER .....	110
D.5. Pompa dengan <i>Reccesed Impeller</i> .....	110
D.6. Pompa lumpur ( <i>slurry</i> ) .....	111
D.7. Pompa LFH ( <i>Low Flow High Head</i> ).....	112
<b>BAB 6 PERFORMANSI POMPA SENTRIFUGAL.....</b>	113
A. Kecepatan Spesifik.....	113
B. Kurva Karakteristik .....	115
C. Head (Tinggi Tekan) .....	117
C.1. Head statis total.....	117
C.2. Head Kerugian (Loss).....	120
C.3. Head Hisap Positif Neto NPSH .....	125
C.4. Hal yang mempengaruhi NPSH yang tersedia.....	128
C.5. Putaran dan jenis pompa.....	129
D. Kerja, Daya dan Efisiensi Pompa.....	129

D.1. Definisi .....	130
E. Pemilihan Pompa.....	132
E.1. Kapasitas.....	133
E.2. Grafik kerja berguna.....	133
E.3. Hal yang mempengaruhi efisiensi pompa .....	133
F. Kavitasi.....	134
F.1. Tekanan uap zat cair .....	134
F.2. Proses kavitasi .....	134
F.3. Pencegahan kavitasi .....	135
G. Pemilihan Penggerak Mula.....	137
G.1. Roda gigi transmisi .....	140
G.2. Pompa dengan penggerak turbin angin.....	141
H. Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem.....	142
I. Operasi Pompa pada Kapasitas tidak Normal .....	144
I.1. Operasi dengan kapasitas tidak penuh .....	145
I.2. Operasi dengan kapasitas melebihi normal.....	146
J. Kontrol Kapasitas Aliran .....	146
J.1. Pengaturan katup.....	147
J.2. Pengaturan putaran .....	148
J.3. Pengaturan sudut sudu impeler .....	148
J.4. Pengaturan jumlah pompa .....	150
<b>BAB 7 GANGGUAN OPERASI POMPA.....</b>	<b>154</b>
A. Benturan Air ( <i>Water Hammer</i> ) .....	154
A.1. Kerusakan akibat benturan air .....	155
A.2. Pencegahan benturan air .....	155
B. Gejala Surjing .....	156
C. Tekanan Berubah-ubah .....	157

## JILID 2

<b>BAB 8 POMPA PERPINDAHAN POSITIF .....</b>	159
A. Klasifikasi Pompa Perpindahan Positif.....	159
B. Penggunaan .....	162
C. Pompa Gerak Bolak balik.....	162
C.1.Cara kerja pemompaan .....	162
C.2. Pemakaian.....	163
C.3. Kekurangan pompa bolak-balik.....	164
C.4. Komponen pompa gerak bolak-balik .....	164
C.5. Pompa daya .....	165
C.6. Pompa aksi langsung .....	168
D. Pompa Rotari .....	170
D.1. Pompa roda gigi .....	170
D.2. Lobe, Skrup, vanes, flexibel tube , radial axial, plunger dan circumferential pump.....	171
<b>BAB 9 DASAR KOMPRESOR.....</b>	180
A. Prinsip Kerja Kompresor .....	180
B. Klasifikasi Kompresor.....	183
C. Penggunaan Udara Mampat.....	188
D. Dasar Termodinamika Kompresi.....	189
D.1. Proses Kompresi .....	189
D.2. Temperatur Kompresi, Perbandingan Tekanan dan Kerja	192
E. Efisiensi Kompresor .....	194
E.1. Efisiensi laju kerja adiabatik kompresor.....	194
E.2. Efisiensi volumetrik.....	198
F. Jenis Penggerak dan Spesifikasi Kompresor .....	199
G. Konstruksi Kompresor Perpindahan positif.....	202
G.1. Konstruksi kompresor torak.....	202
G.2. Konstruksi kompresor sekrupKompresor skrup injeksi minyak .....	211

G.3. Konstruksi kompresor sudu luncur.....	215
G.4. Konstruksi kompresor jenis roots .....	218
H. Konstruksi Kompresor Rotari Aksial dan Radial .....	219
I. Gangguan Kerja Kompresor dan Cara Mengatasinya .....	222
I.1. Pembebanan lebih dan pemanasan lebih pada motor penggerak.....	222
I.2. Pemanasan lebih pada udara hisap .....	222
I.3. Katup pengaman yang sering terbuka .....	223
I.4. Bunyi dan getaran .....	223
I.5. Korosi .....	224
<b>BAB 10 DASAR MOTOR BAKAR</b>	
A. Sejarah Motor Bakar .....	230
B. Siklus 4 Langkah dan 2 Langkah.....	237
B.1. Siklus 4 langkah .....	237
B.2. Siklus 2 langkah .....	238
C. Daftar Istilah-Istilah Pada Motor Bakar .....	240
<b>BAB 11 SIKLUS MOTOR BAKAR .....</b>	<b>245</b>
A. Siklus Termodinamika Motor Bakar .....	245
A.1. Siklus udara ideal .....	245
A.2. Siklus aktual .....	250
B. Menghitung Efisiensi Siklus Udara Ideal.....	251
B.1. Efisiensi dari siklus Otto .....	252
B.2. Efisiensi siklus tekanan konstan.....	254
<b>BAB 12 PRESTASI MESIN .....</b>	<b>256</b>
A. Properti Geometri Silinder.....	258
A.1. Volume langkah dan volume ruang baker.....	261
A.2. Perbandingan kompresi ( compression ratio).....	261
A.3. Kecepatan piston rata-rata.....	262
B. Torsi dan Daya Mesin .....	262
C. Perhitungan Daya Mesin .....	264
C.1. Daya indikator .....	265
C.2. Daya poros atau daya efektif .....	279

C.3. Kerugian daya gesek .....	279
D. Efisiensi Mesin .....	279
D.1. Efisiensi termal .....	280
D.2. Efisiensi termal indikator.....	280
D.3. Efisiensi termal efektif.....	281
D.4. Efisiensi mekanik.....	281
D.5. Efisiensi volumetric.....	282
E. Laju pemakaian bahan bakar spesifik .....	283
F. Perhitungan performasi motor bakar torak .....	283
<b>BAB 13 KOMPONEN MESIN .....</b>	<b>289</b>
A. Mesin Motor Bakar .....	289
B. Bagian Mesin.....	289
B.1. Blok silinder .....	290
B.1.1. Silinder.....	292
B.2. Kepala silinder .....	295
B.2.1. Bentuk ruang bakar .....	295
B.3. Piston atau torak.....	296
B.4. Batang torak .....	300
B.5. Poros engkol.....	301
B.6. Roda gaya .....	302
B.7. Bantalan.....	302
B.8. Mekanik Katup .....	303
<b>BAB 14 KELENGKAPAN MESIN.....</b>	<b>304</b>
A Sistim Pelumasan .....	304
A.1.Minyak pelumas.....	305
A.2.Model pelumasan .....	308
A.3.Bagian-bagian utama pada sistim pelumasan tekan.....	311
A.4. Sistim ventilasi karter.....	313
A.5. Saringan minyak pelumas .....	313
A.6.Tangkai pengukur minyak.....	314
B. Sistim Pendinginan .....	315

B.1. Pendinginan air .....	315
B.2. Pendingin udara .....	320
<b>JILID 3</b>	
<b>BAB 15 TURBIN</b>	
B. Asas Impuls dan Reaksi .....	322
C. Segitiga Kecepatan.....	324
D. Turbin Impuls .....	327
D.1. Turbin impuls satu tahap ( Turbin De Laval) .....	330
D.2. Turbin impuls gabungan.....	332
E. Turbin Reaksi.....	336
<b>BAB 16 TURBIN GAS</b> .....	340
A. Sejarah Perkembangan .....	342
B. Dasar Kerja Turbin Gas .....	344
B.1. Bahan bakar turbin gas .....	346
B.2. Proses pembakaran .....	347
<b>BAB 17 SIKLUS TERMODINAMIKA</b> .....	351
A. Klasifikasi Turbin Gas .....	352
A.1 Turbin gas sistem terbuka ( langsung dan tidak langsung) .....	352
A.2. Turbin gas sistem tertutup ( langsung dan tidak langsung) .....	355
A.3. Turbin gas dua poros terpisah.....	357
A.4. Turbin gas dua poros terpusat .....	358
B. Efisiensi Turbin Gas.....	359
C. Modifikasi Turbin Gas .....	364
C.1. Turbin gas dengan regenerator.....	364
C.2. Turbin gas dengan pendingin sela (intercooler).....	366
C.3. Intercooler, Reheater, dan Regenerato.....	368
<b>BAB 18 KONTRUKSI TURBIN GAS</b> .....	370
A. Rotor .....	374

B. Ruang Bakar .....	375
C. Kompresor.....	377
D. Turbin .....	380
E. Aplikasi Turbin Gas .....	381
<b>BAB 19 MESIN TENAGA UAP.....</b>	<b>383</b>
A. Siklus Termodinamika Mesin Uap.....	384
B. Siklus Aktual dari Siklus Rankine .....	385
C. Peralatan Sistem Tenaga Uap .....	386
C.1. Boiler	386
C.2. Turbin Uap.....	391
C.3. Kondensor .....	394
D. Ekonomiser .....	395
E. Superheater.....	396
F. Burner.....	397
F.1.Burner untuk bahan bakar cair .....	398
F.2. Burner dengan bahan-bakar gas.....	399
F.3. Burner untuk bakar padat .....	401
<b>BAB 20 PRINSIP DASAR ALIRAN .....</b>	<b>405</b>
A. Sejarah Turbin Air .....	408
B. Instalasi Pembangkit Tenaga Air.....	411
C. Energi Potensial Aliran Air .....	414
C.1. Head air.....	415
D. Prinsip Peralihan Energi Aliran .....	416
E. Daya Turbin.....	417
F. Kecepatan Putar Turbin dan Kecepatan Spesifik.....	419
G. Perhitungan Performasi Turbin .....	420

<b>BAB 21 KLASIFIKASI TURBIN AIR .....</b>	423
A. Turbin Impuls atau Turbin Tekanan Sama.....	424
A.1. Turbin pelton .....	424
A.2. Turbin aliran ossberger .....	428
B. Turbin Reaksi atau Turbin Tekan Lebih.....	429
B.1. Turbin Francis.....	429
B.2. Turbin Kaplan .....	430
C. Perbandingan Karakteristik Turbin .....	432
<b>BAB 22 DASAR REFRIGERASI DAN PENGKONDISIAN UDARA.....</b>	<b>434</b>
A. Klasifikasi Mesin Refrigerasi .....	434
B. Penggunaan.....	435
B.1. Pengkondisian udara untuk industri .....	435
B.2. Pengkondisian udara untuk Laboratorium.....	436
B.3. Pengkondisian udara Ruang Komputer .....	436
B.4. Instalasi penkondisian udara pada Instalasi power plant .....	436
B.5. Pengkondisian udara pada rumah tangga .....	436
B.6. Pengkondisian udara untuk Automobil.....	437
B.7. Penyimpanan dan pendistribusian .....	437
C. Sistem Pengkondisian Udara .....	438
D. Peralatan Pengkondisian udara.....	439
E. Beban Pemanasan dan Pendinginan .....	440
F. Kualitas udara .....	444
<b>BAB 23 SIKLUS KOMPRESI UAP.....</b>	<b>446</b>
A. Prinsip Kerja.....	446
B. Daur Refrigerasi Kompresi Uap .....	448
C. Peralatan Utama Sistem Refrigerasi Kompresi Uap.....	452
D. Refrigeran .....	454
E. Perhitungan Koefisien Unjuk Kerja .....	455
F. Heat pump atau Pompa Kalor.....	458
G. Refrigerasi Absorbsi .....	459

# BAB 1 DASAR KEJURUAN

## A. Dasar ilmu statika

Desain mesin tidak lepas dari ilmu statika. Ilmu statika mempelajari tentang kekuatan material berdasarkan kombinasi tegangan dan regangan baik dua dimensi maupun tiga dimensi. Dalam material tidak lepas dari tegangan dan regangan, karena dari dua hal tersebut dapat dicari kekuatan dari bahan, seperti kekuatan tarik, bending dan puntir. Dalam bahasan ini akan diulas beberapa dasar dari statika.

### A.1. Tegangan tarik dan tekan.

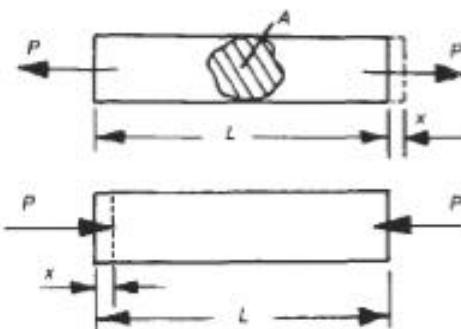
Dalam membahas kekuatan tarik tidak lepas dari tegangan dan regangan. Kedua sifat ini diukur saat melakukan uji tarik atau tekan (Gambar 1.1). Dalam tarik, regangan adalah pertambahan panjang dari material, sedangkan dalam tekan adalah pemendekan dari bahan yang ditekan.

$$\text{Tegangan } \sigma = \frac{\text{Daya}}{\text{Luas Penampang}} = \frac{P}{A}$$

$$\text{Regangan } e = \frac{\text{perpanjangan}}{\text{panjang mula}} = \frac{x}{L}$$

Hasil dari tegangan dan regangan jika dibagikan akan menghasilkan sebuah Modulus Young (E). Mudulus Young ini hanya berlaku pada daerah elastis dari sifat bahan.

$$\frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{\sigma}{e} = \text{Modulus Young } E \text{ atau } E = \frac{PL}{Ax}$$

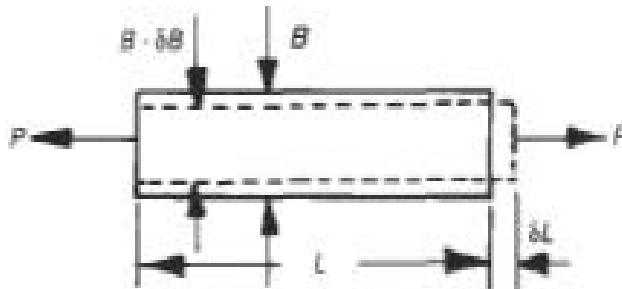


Gambar 1.1 Profil tegangan dan regangan

## A.2.Rasio poison

$$\nu = \frac{\text{kekuatan beban langsung}}{\text{kekuatan beban pada sudut yang benar}} = \frac{\delta B / B}{\delta L / L} = \frac{e_B}{e_L}$$

Satu hal yang perlu diketahui yaitu akibat dari gaya tarik yang terjadi adalah pengurangan diameter seperti terlihat dalam Gambar 2.1 di bawah ini:



Gambar 1.2 Profil tegangan dan regangan

## A.3.Tegangan Geser

Dalam bidang permesinan tidak lepas dari pergeseran. Pergeseran terjadi akibat adanya gaya yang menggeser benda sehingga terjadi tegangan dan regangan geser. Tegangan dan regangan geser dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$\text{Tegangan geser } \tau = \frac{P}{A}$$

$$\text{Regangan geser } \phi = \frac{\tau}{G} \text{ dengan } G = \text{Modulus geser}$$

$$\phi = \frac{x}{L}$$

$$G = \frac{PL}{Ax}$$

Catatan A adalah paralel dua beban

## A.4. Tegangan Bending

Suatu kontruksi dari bahan tidak lepas dari beban atau gaya yang menekan tidak pada titik pusat sehingga terjadi bending. Akibat dari gaya ini terjadi tegagan bending yang dapat dihitung seperti di bawah ini:

$$\text{Tegangan Bending } \sigma = \frac{My}{I}$$

dengan

$M$  = momen bending

$I$  = momen kedua dari area  
 $y$  = jarak titik pusat dengan titik beban

### A.5. Tegangan Maksimum

$$\sigma_m = \frac{My_m}{I}$$

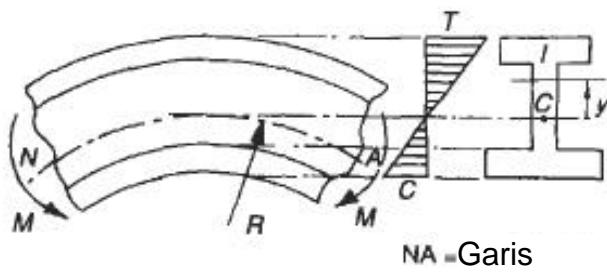
dengan  $y_m$  = harga maksimum  $y$  untuk tarik dan tegangan tekan

### A.6. Radius kurva

$$R = \frac{EI}{M}$$

Bending modulus

$$Z = I / y_m \text{ dan } \sigma_m = M / Z$$



Gambar 1.3 Radius kurva

### A.7. Torsi

Batang yang digunakan sebagai penghubung yang berputar akan terjadi momen puntir yang juga disebut Torsi. Untuk batang ini ada yang menggunakan batang pejal dan batang berlubang, keduanya mempunyai kelebihan dan kelemahan masing-masing.

#### A.7.1 Batang pejal

Pada batang pejal perhitungan kapasitas daya yang diterima dapat dihitung sebagai berikut:

Maksimum tegangan geser

$$\tau_m = \frac{16T}{\pi D^3}$$

Dengan  $D$  = diameter,  $T$  = torsi

Kapasitas torsi

$$T = \frac{\pi D^3 \tau_m}{16}$$

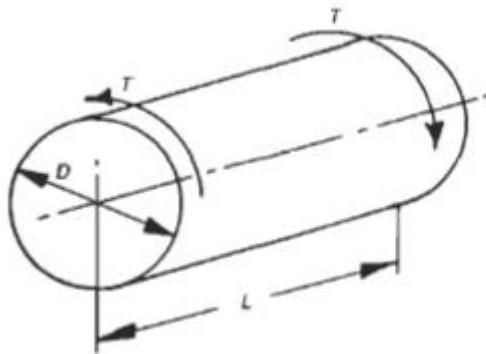
Kapasitas daya

$$P = \frac{\pi^2 ND^3}{8} \tau_m$$

dengan  $N$  = jumlah putaran per detik  
Sudut putaran

$$\theta = \frac{32TL}{\pi GD^4} \text{ rad}$$

Dengan  $G$  = shear modulus,  $L$  = panjang



Gambar 1.4 Torsi pada batang pejal

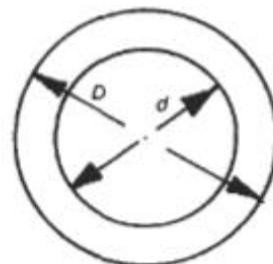
### A.7.2 Batang berlubang

Batang pejal mempunyai kelemahan beban lenturnya yang lebih kecil. Untuk mengatasinya dapat dipakai batang berlubang. Batang berlubang ini dapat memakai bahan yang lebih sedikit, tetapi kelemahan dari batang ini adalah lebih kaku dari batang pejal, sehingga lebih mudah patah. Untuk itu perlu diperhitungkan dengan baik sebelum memakainya. Perhitungan untuk mengetahui beban maksimum dapat dipakai persamaan di bawah ini:

$$\tau_m = \frac{16TD}{\pi(D^4 - d^4)}; T = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16D} \tau_m$$

Dengan,  $D$  = diameter luar,  $d$  = diameter dalam

$$P = \frac{\pi^2 N(D^4 - d^4) \tau_m}{8D}; \theta = \frac{32TL}{\pi G(D^4 - d^4)}$$



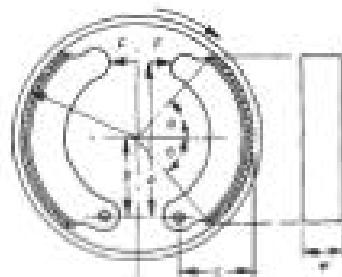
Gambar 1.5 Torsi pada batang berlubang

## B. Mengenal Elemen Mesin

Dalam industri mesin yang sering dilihat pada otomotif adalah rem, kopling, bantalan, roda gigi dan belt.

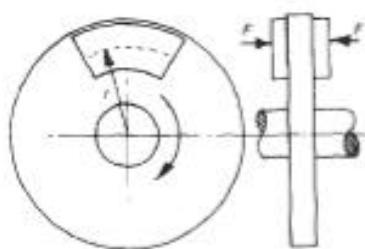
## B.1.Rem

Rem adalah piranti pada alat yang bergerak untuk menghentikan laju. Saat ini yan Gambar 1.68 Lambang proses pengelasan g sering digunakan pada dunia otomotif adalah rem tromol dan rem cakram.



Gambar 1.6 Rem Cakram

Rem tromol ini sering digunakan pada rem belakang sepeda motor atau mobil yang beredar di Indonesia.

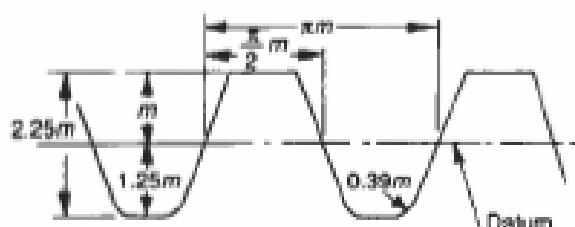


Gambar 1.7 Rem Tromol

Rem cakram ini sering digunakan pada rem depan sepeda motor atau mobil.

## B.2. Roda gigi

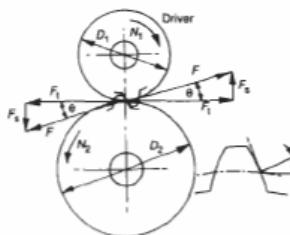
Roda gigi adalah elemen mesin berbentuk gigi yang berfungsi sebagai transmisi gerak putar dan daya dari komponen mesin satu ke lainnya. Efisiensinya mendekati 98% sehingga roda gigi banyak dipakai untuk membuat transmisi motor penggerak ke poros yang digerakan.



Gambar 1.8 Roda gigi metrik

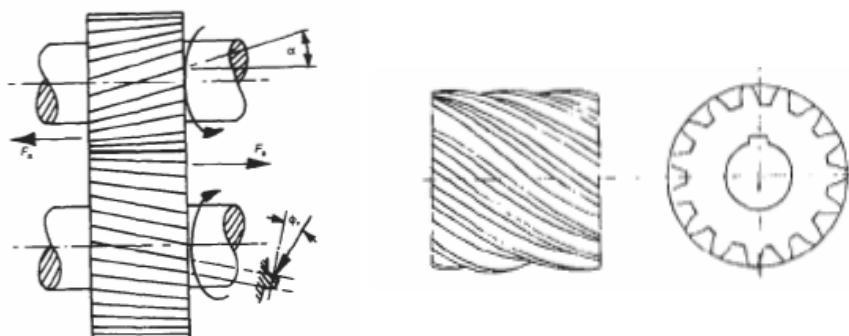
### B.2.1 Klasifikasi roda gigi

a. Roda gigi spur



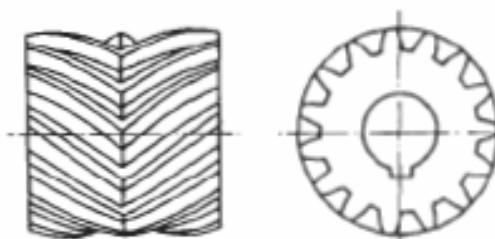
Gambar 1.9 Roda gigi spurs

b. Roda gigi helik



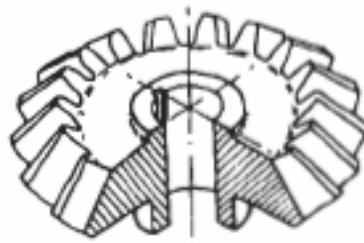
Gambar 1.10 Roda gigi helik

c. Roda gigi dobel helik



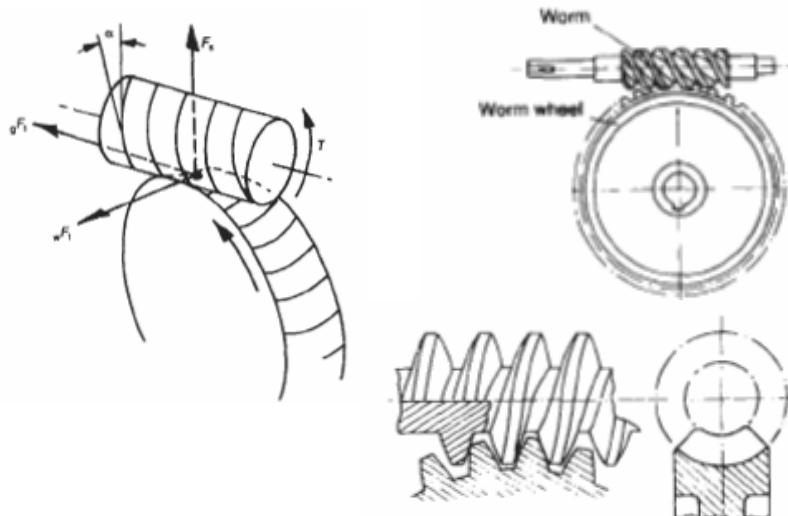
Gambar 1.11 Roda gigi dobel helik

d. Roda gigi Bevel



Gambar 1. 12 Roda gigi Bevel

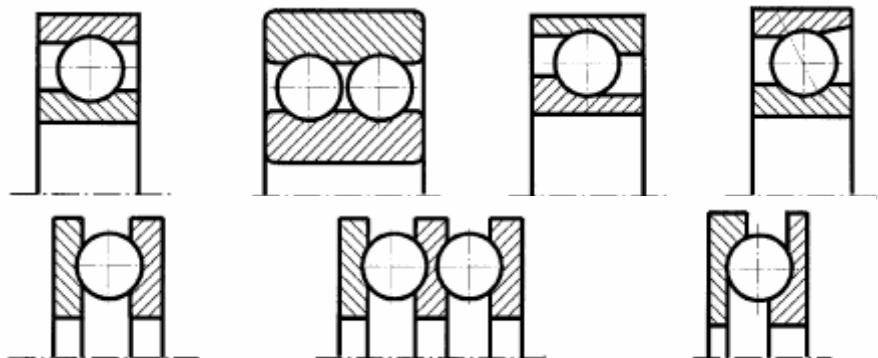
e. Roda gigi cacing



Gambar 1.13 Roda gigi cacing

### B.3 Bantalan

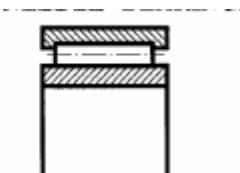
Bantalan adalah piranti untuk memegang antara benda yang berputar dengan benda yang tidak bergerak (rangka) agar gesekan yang terjadi lebih halus tanpa mengeluarkan suara. Klasifikasi bantalan ditunjukkan oleh gambar 1.14 di bawah ini.



Bantalan Bola



Bantalan Roll



Bantalan jarum



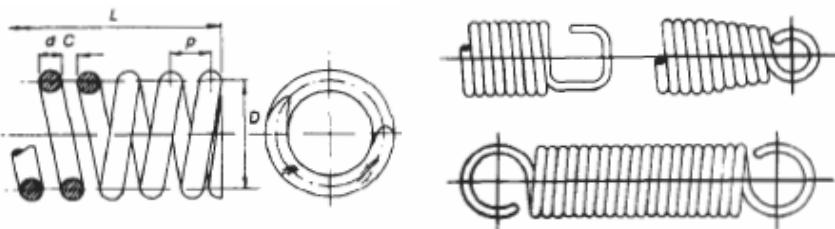
Bantalan Roll *taper*

Gambar 1.14 Klasifikasi Bantalan

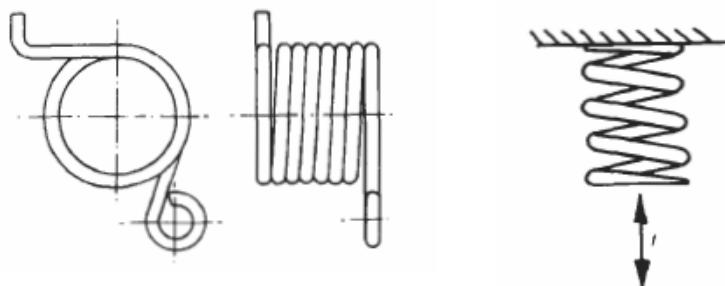
#### B.4. Pegas

Pegas adalah elemen mesin yang berfungsi untuk mengontrol gerakan dengan cara menahan, meredam getaran, menghaluskan tumbukan dan model pengontrolan gerakan lainnya. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa pegas adalah media penyimpan energi untuk

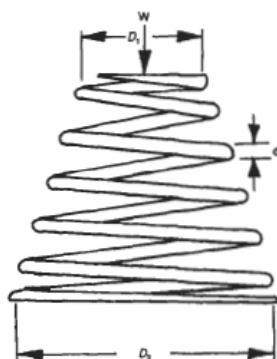
pengontrolan gerakan. Klasifikasi pegas adalah seperti dapat dilihat pada gambar 1.15 di bawah ini:



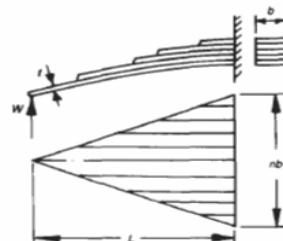
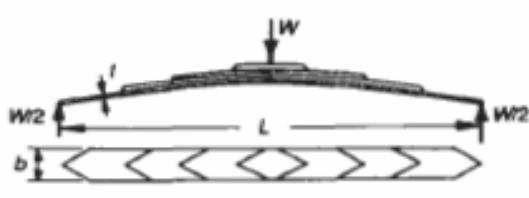
Pegas helik tekan



helik torsii



Pegas helik conical

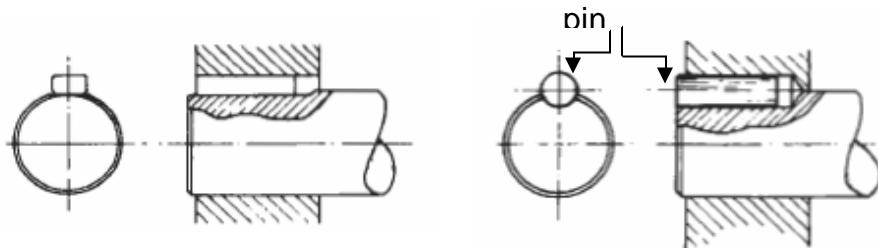


Pegas daun

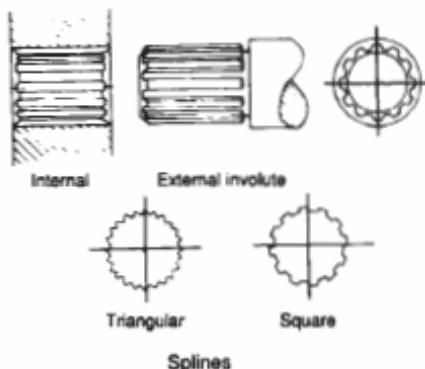
Gambar 1.15 Klasifikasi Pegas

## B.5. Poros

Elemen mesin yang penting terutama untuk pembahasan mesin-mesin konversi yaitu poros. Semua mesin mempunyai poros yang berputar. Poros berfungsi sebagai batang penghubung antar komponen mesin sekaligus memberikan energi yang dimiliki. Gambar 1.16 dan 1.17 adalah macam-macam poros yang biasa dipakai pada komponen-komponen mesin.

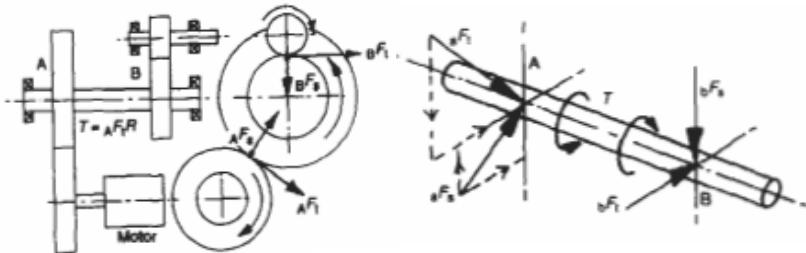


Poros dengan pin pengunci untuk mematikan gerakan relatif komponen lain dengan poros.

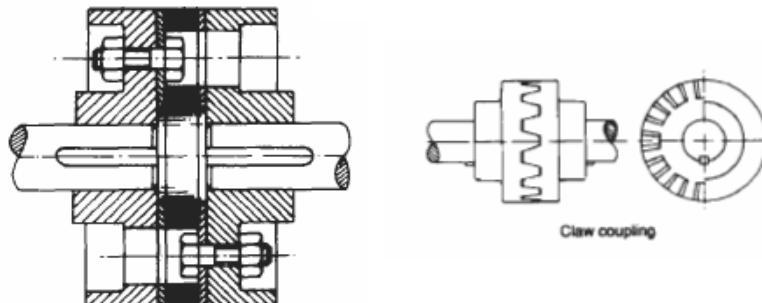


Poros dengan splin untuk mematikan gerakan relatif komponen lain dengan poros

Gambar 1.16 Macam-macam Poros



Poros pada transmisi roda gigi



Kopling poros untuk menghubungkan poros satu dengan lainnya dengan hubungan kaku

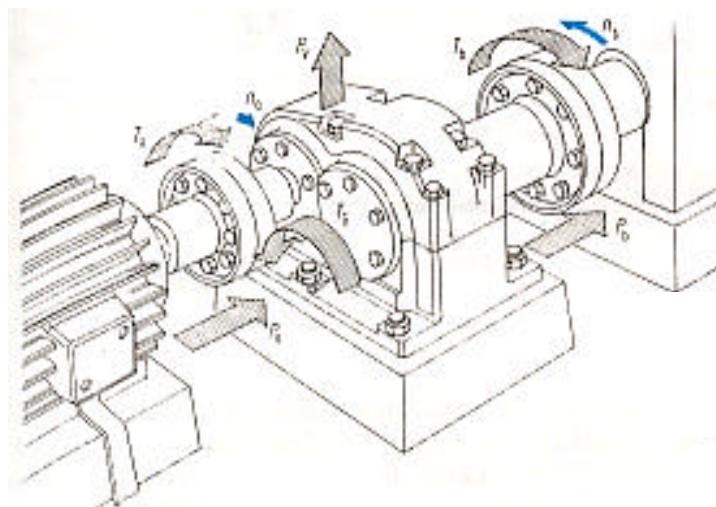
Gambar 1.17 Poros dengan penggunaannya

## B.6 Transmisi

Transmisi merupakan komponen mesin yang penting untuk menghubungkan antara mesin penggerak dengan yang digerakan. Sebagai contoh pada kendaraan bermotor, antara mesin dengan poros penerus dipasang transmisi. Fungsi pemasangan transmisi tersebut adalah untuk meneruskan putaran dan daya mesin. Disamping fungsi tersebut, transmisi sebagai pengontrol putaran sehingga kendaraan bermotor dapat dijalankan dengan mudah pada variasi kecepatan. Contoh lain pada instalasi pompa dengan penggerak motor bakar (diesel atau bensin) atau yang digerakan dengan motor listrik, pemasangan transmisi sangat penting disamping sebagai penerus daya, dengan pemasangan transmisi, putaran pompa dapat divariasi untuk pengaturan kapasitas aliran. Pada gambar 1.19 adalah instalasi kompresor dengan penggerak motor listrik dengan atau tanpa pemasangan transmisi. Dengan pemasangan transmisi sebagai pengatur putaran, nilai ekonomis konstruksinya jika dibandingkan dengan pengatur putaran menggunakan pengubah frekuensi adalah lebih besar . Dengan kata lain untuk tujuan yang sama harga kontruksi transmisi lebih murah.

Dari contoh-contoh tersebut secara umum transmisi berfungsi mengubah jumlah putaran dan momen putaran mesin daya dan mengatur

keduanya untuk kebutuhan kerja mesin. Pada gambar 1.18 adalah kontruksi dasar sebuah transmisi dengan komponen-komponen gayanya.



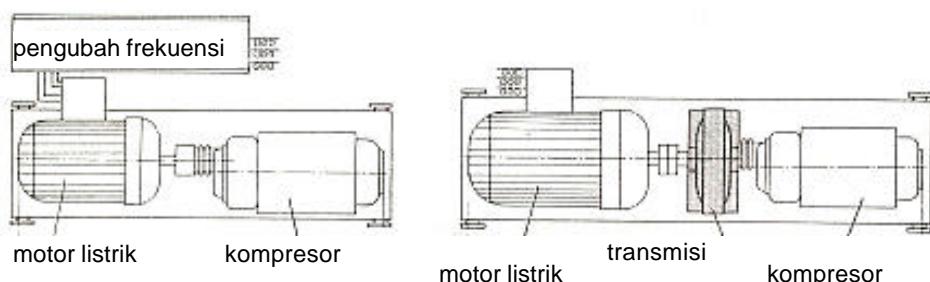
Gambar 1.18 Kontruksi dasar dari pemasangan transmisi

Perhitungan dasar transmisi adalah sebagai berikut

$$\text{Daya } \sum P = P_a + P_b + P_v = T_a \omega_a + T_b \omega_b = 0$$

$$\text{Efisiensi transmisi } \eta_G = \frac{P_b}{P_a}$$

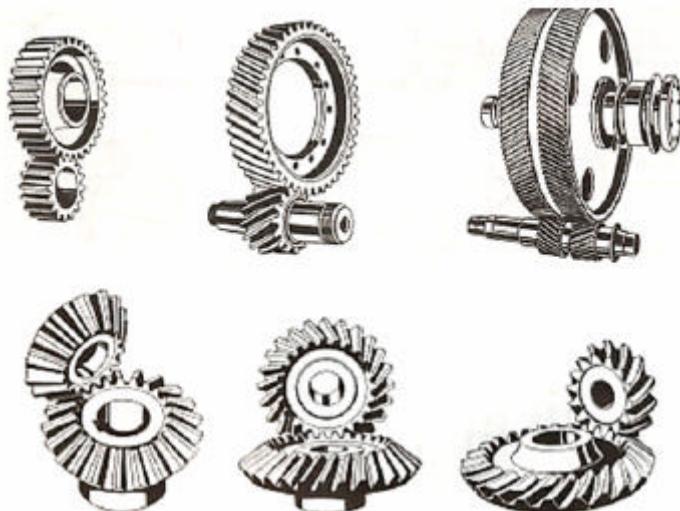
$$\text{Daya Kerugian panas } P_v = P_a (1 - \eta_g)$$



Gambar 1.19 Instalasi kompresor dengan dan tanpa transmisi  
Komponen yang dipakai untuk membuat sebuah kontruksi transmisi  
yaitu

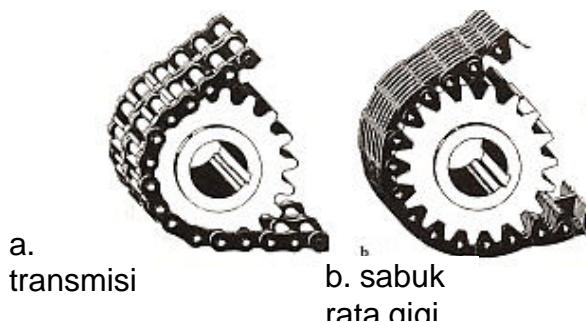
1. Roda gigi, transmisi dengan roda gigi paling banyak digunakan, hal ini karena transmisi ini mudah pemasangannya, efisiensinya tinggi, mudah pengoperasiannya, ukurannya relative kecil, dan

pemeliharaan mudah. Akan tetapi transmisi jenis ini transmisi gayanya kaku, sangat bising karena gesekan antara logam, dan sering tidak selaras putarannya. Beberapa model transmisi roda gigi dapat dilihat pada gambar 1.20



Gambar 1.20 Model transmisi roda gigi

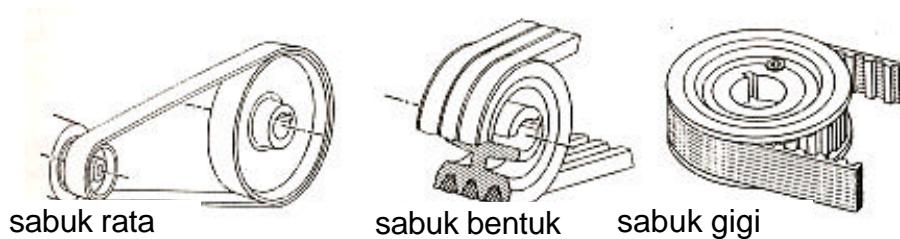
2. Transmisi dengan rantai Gambar 1.21a . Transmisi jenis ini sangat cocok dipakai untuk menghubungkan dua poros mesin yang sejajar, mudah dipasang dan dibongkar. Tetapi dibandingkan dengan transmisi roda gigi, transmisi rantai memiliki elemen kontruksinya banyak.



Gambar1.21 Tramisi rantai

### 3. Transmisi sabuk

Transmisi ini banyak dipakai untuk poros sejajar atau menyilang, keunggulan transmisi ini adalah kemampuan terhadap beban kejut dan tidak brisik, tidak memerlukan pelumasan, kontruksi sederhana dan murah. Transmisi sabuk dibedakan menjadi tiga yaitu transmisi sabuk rata, sabuk V dan sabuk gigi gambar 1.22



Gambar 1.22 Macam-macam sabuk

### C. Mengenal material dan kemampuan proses

Secara garis besar material atau bahan dibedakan menjadi dua, yaitu bahan logam (metal) dan non logam. Bahan logam dibedakan lagi menjadi logam besi (ferro) dan bukan besi (non ferro). Termasuk logam ferro adalah besi cor, baja karbon, baja paduan, dan baja stainless.

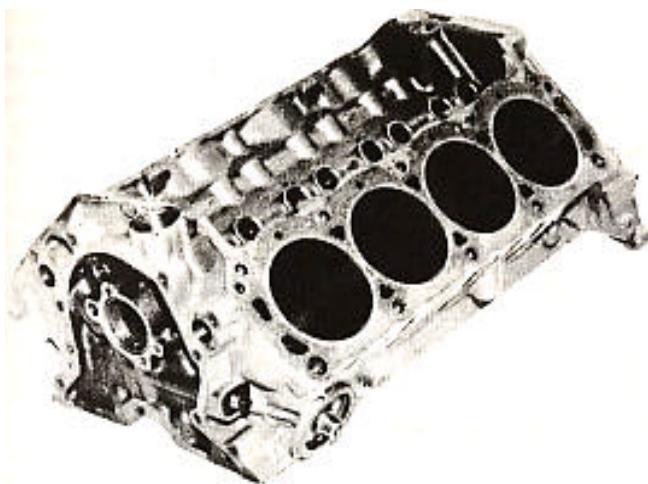
#### C.1 Besi cor

Besi cor merupakan paduan dari besi dan karbon sehingga suhu cair pada kisaran  $1200^{\circ}\text{C}$ . Hal ini lebih menguntungkan karena mudah dicairkan dan bahan bakar yang digunakan menjadi lebih irit, bentuk dari furnace lebih sederhana lihat gambar 1.22 berikut



Gambar 1.23 Furnace dengan pemanas listrik

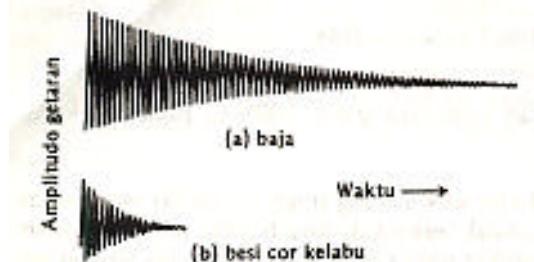
Logam cair mudah dicor karena dapat mengisi cetakan yang rumit dengan mudah. Karena itu besi cor merupakan bahan yang murah dan serba guna ditinjau dari segi desain produk.



Gambar 1.24 Blok mesin dari besi cor

a. Besi abu-abu

Dinamakan besi abu-abu karena warnanya yang abu-abu. Besi ini mempunyai kandungan 1,5-4,3% karbon dan 0,3-5% silikon ditambah manganese, belerang (sulphur) dan phosphorus. Bahan ini getas dengan kekuatan tarik rendah tetapi mudah untuk dicor. Hal ini disebabkan tingginya kadar carbon pada besi cor kelabu, tetapi kadar karbon tinggi membentuk serpihan yang dapat menahan redaman getaran dengan baik. Istilah tekniknya kapasitas peredam tinggi. (Lihat gambar 1.25)



Gambar 1.25 Amplitudo getaran besi cor dan baja

Dari gambar 1.25 dapat dilihat redaman besi cor kelabu lebih baik dari pada baja, Gambar 1.68 Lambang proses pengelasan sehingga bahan ini sering dipakai untuk meredam getaran mesin sebagai landasan mesin dan alat berat.

b. Besi Paduan

Besi paduan adalah besi yang dicampur dengan paduan nikel, kromium, molydenum, vanadium, copper dan zirconium. Paduan ini gunanya untuk mendapatkan besi yang kuat, keras, tahan aus, tahan panas, tahan karat, mampu mesin dan mampu disambung dengan bahan lain.

### c. Baja karbon

Baja karbon sering digunakan dalam konstruksi baik untuk bangunan ataupun alat-alat permesinan. Baja ini paduan dari besi dan karbon dengan beberapa elemen seperti manganese, silikon, sulphur, phosphorus, nikel dan kromium. Baja karbon mempunyai sifat yang unik dan dibagi tiga klasifikasi yaitu baja karbon rendah (0,05-0,3%C) dengan keuletan (*ductility*) yang tinggi dan mudah dibentuk; baja karbon sedang (0,3-0,6%) dengan perlakuan panas mempunyai kekuatan dan kekerasan lebih baik tetapi rentan terhadap keuletan (*ductility*); dan baja karbon tinggi (>0,6%) dengan kekerasan dan kekuatan tinggi, digunakan untuk alat, cetakan, pegas dan lain-lain.

### d. Baja Paduan

Berbeda dengan baja karbon, baja ini mempunyai proporsi paduan yang tinggi terhadap elemen paduannya. Bahan yang sering digunakan dalam baja paduan adalah: Efek dari penambahan paduan adalah

#### 1. *Aluminium*

Bahan ini membuat tahan oksidasi sehingga tahan dari serangan karat tetapi mengurangi kekuatan dari bahan. Persentase penggunaan 0-2%.

#### 2. *Chrom*

Pada penggunaan 0,3-4%, memperbaiki ketahanan aus, oksidasi, hambatan skala, kekuatan dan kekerasan. Peningkatan kekuatan pada temperatur tinggi tetapi kehilangan keuletan (*ductility*).

#### 3. *Cobalt*

Bahan ini memperbaiki kekerasan dan hambatan skala juga memperbaiki sifat potong untuk baja alat dengan 8-10%. Bersama kromium, cobalt memberikan baja paduan tinggi pada temperatur tinggi.

#### 4. *Tembaga (Copper)*

Pada tipikal range 0,2-0,5% memberikan tahan korosi dan kekuatan yield pada baja paduan.

#### 5. *Timah (Lead)*

Di atas 0,25% digunakan untuk meningkatkan mampu mesin pada baja karbon.

#### 6. *Mangan*

Pada range 0,3-2% mengurangi kerapuhan sulphur. Persentase 1-2% memperbaiki kekuatan dan kelenturan dan sifat non magnetis hingga 5%.

#### 7. *Molydenum*

Pada penggunaan 0,3-5% meningkatkan kekuatan temperatur tinggi, hambatan retak, dan kekerasan.

#### 8. *Nikel*

Pada range 0,3-5% meningkatkan kekuatan, kelenturan dan kekerasan tanpa aspek keuletan. Pada proporsi yang tinggi memperbaiki tahan korosi.

#### **9. Silikon**

Dengan penggunaan range 0,2-3% memperbaiki kekuatan dan kekerasan tetapi mengurangi keuletan. Silikon bahan yang mudah teroksidasi (berkarat).

#### **10. Sulphur (Belerang)**

Di atas 0,5% meningkatkan mampu mesin tetapi mengurangi keuletan dan mampu las.

#### **11. Titanium**

Pada proporsi 0,3-0,75% meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada baja maraging.

#### **12. Tungsten**

Bahan ini memberikan kekerasan tinggi dan kelenturan pada temperatur tinggi.

#### **13. Vanadium**

Bahan ini memperbaiki sifat kekerasan dan jika dikombinasikan dengan karbon dapat tahan aus.

### **e. Baja Stainless**

Baja karbon dengan campuran kromium 10% sehingga tahan terhadap karat.

Untuk logam non ferro banyak sekali jenisnya, antara lain aluminium, tembaga, seng, timah, titanium, perak, timah, dan lain-lain. Logam tersebut ada yang dalam bentuk logam murni dan ada yang campuran atau paduan. Contoh logam non ferro paduan adalah perunggu (paduan tembaga dengan timah) dan kuningan (paduan tembaga dengan seng). Masing-masing jenis logam tersebut mempunyai karakteristik atau sifat-sifat yang berbeda. Oleh karena itu penggunaan logam tersebut juga disesuaikan dengan sifat-sifat yang dimiliki masing-masing jenis logam.

Material non logam juga banyak jenisnya, antara lain plastik, komposit, keramik, dan lain-lain.

#### **a. Plastik**

Plastik adalah bahan berdasar polimer. Plastik ada dua macam, yaitu termoplastik polimer yang apabila dipanaskan akan meleleh dan dapat dicetak kembali, sedangkan termoset polimer adalah plastik yang apabila dipanaskan akan menjadi abu.

#### **b. Komposit**

Komposit adalah bahan yang terbuat dari resin dan matrik, resin sebagai pengikat biasanya plastik, dan matrik adalah penguat yang berbentuk serat yang diatur.

#### **c. Keramik**

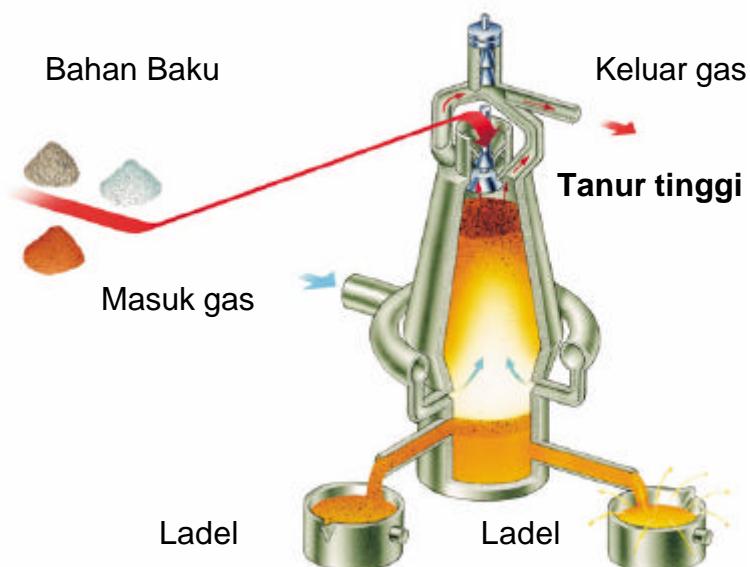
Keramik adalah bahan yang pembuatannya menggunakan powder teknologi. Hal ini dilakukan karena titik lebur dari keramik tinggi sekali

(diatas  $2000^{\circ}\text{C}$ ) sehingga untuk menyatukan dipanaskan hingga suhu sekitar 1200 sampai kulit dari butiran serbuk meleleh dan disatukan dengan butiran yang lain.

## BAB 2 MEMAHAMI PROSES-PROSES DASAR KEJURUAN

### A. Mengenal Proses Pengecoran Logam

Pengecoran adalah membuat komponen dengan cara menuangkan bahan yang dicairkan ke dalam cetakan. Bahan disini dapat berupa metal maupun non-metal. Untuk mencairkan bahan diperlukan *furnace* (dapur kupola). Furnace adalah sebuah dapur atau tempat yang dilengkapi dengan *heater* (pemanas). Bahan padat dicairkan sampai suhu titik cair dan dapat ditambahkan campuran bahan seperti chrom, silikon, titanium, aluminium dan lain-lain supaya bahan menjadi lebih baik. Bahan yang sudah cair dapat dituangkan ke dalam cetakan.



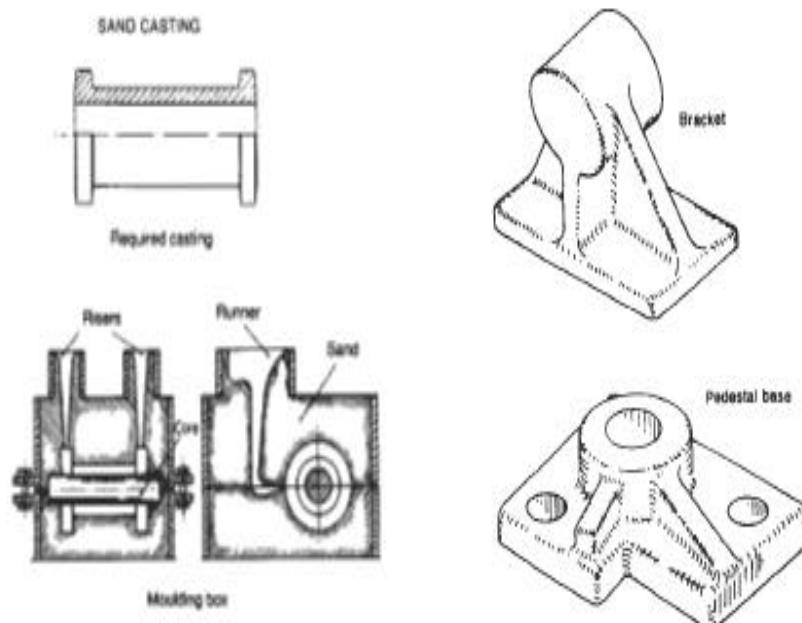
Gambar 2.1 Tanur tinggi

Gambar 2.1 diatas menerangkan pembuatan baja dengan tanur yang dialiri gas O<sub>2</sub> untuk mengurangi carbon. Bahan baku berupa biji besi dimasukkan kedalam tanur dan dialiri gas, bagian bawah baja cair ditampung kedalam ladel yang kemudian dimasukan ke dalam cetakan.



Gambar 2.3 Penuangan besi cor

Cetakan untuk pengecoran dapat dibuat dengan pasir ataupun logam. Untuk komponen yang rumit dan tidak banyak jumlahnya biasanya memakai cetakan pasir, sedangkan komponen yang bentuk sederhana dan diproduksi masal dapat menggunakan cetakan logam. Dalam membuat cetakan yang perlu diperhatikan adalah porositas dan toleransi untuk *sringkage* (penyusutan) setelah penuangan. Porositas cetakan semakin tinggi semakin baik untuk mengeluarkan gas-gas yang terjebak di dalam cetakan. Untuk bentuk cetakan dan hasil pengecoran dapat dilihat pada gambar 2.4

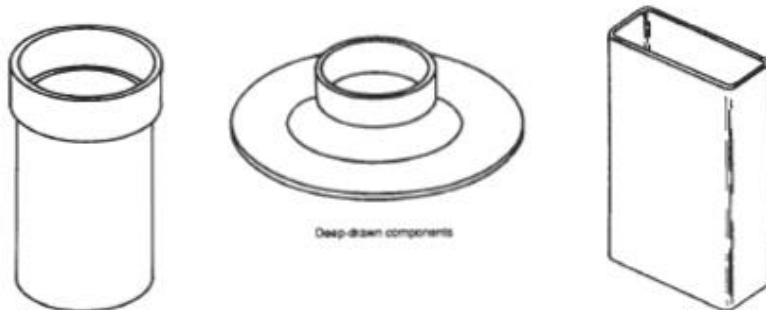


Gambar 2.4 Cetakan pasir dan hasil dari pengecoran.

## B. Mengenal Proses Pembentukan Logam

### B.1. Pembentukan plat

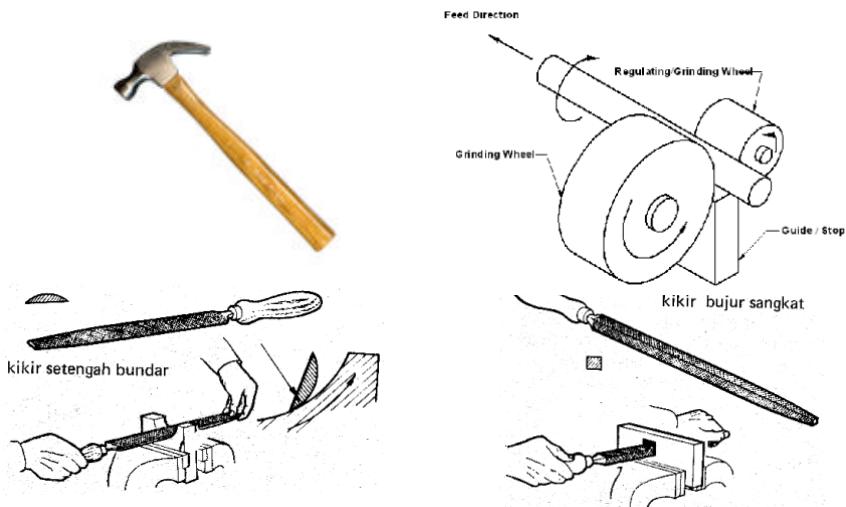
Pembentukan plat dari lembaran menjadi bentuk kotak atau cangkir dengan menggunakan tekanan dan cetakan (lihat gambar 2.29). Pembentukan plat ini dapat juga menekuk dari bahan.



Gambar 2.5 Hasil proses pembentukan

## B. Kerja Bangku

Kerja bangku adalah pekerjaan produksi komponen atau alat yang menggunakan meja kerja. Contohnya membuat komponen menggunakan alat-alat seperti ragum, palu, kikir, bor tangan, gerinda, dan lain-lain alat kerja bangku. Biasanya alat-alat ini digunakan untuk membuat benda kerja sederhana dan tingkat presisi yang tidak tinggi.

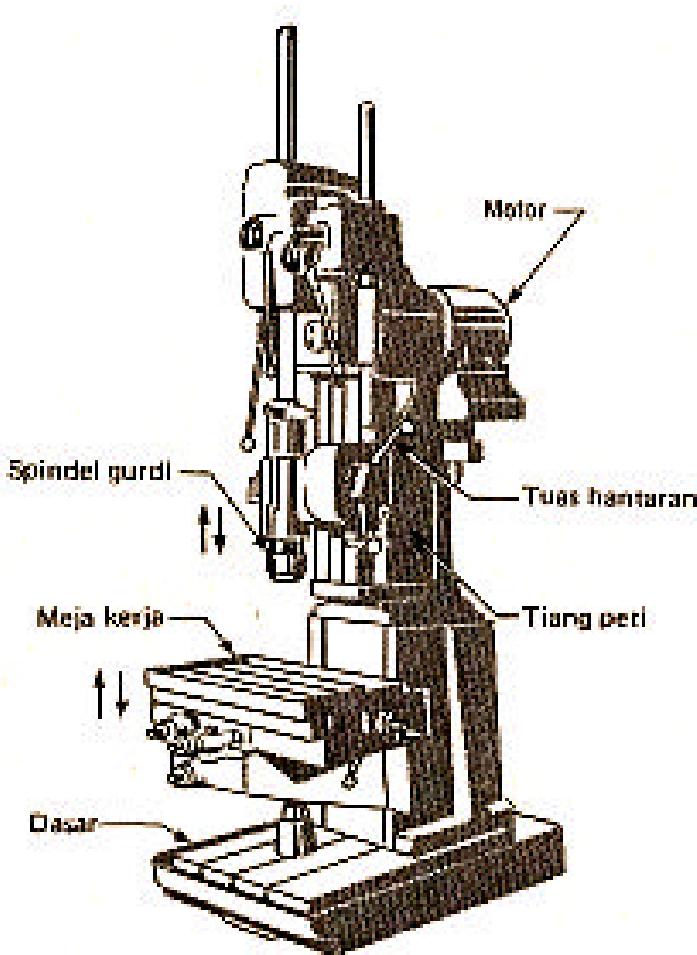


Gambar 2.6 Alat yang dipakai dalam kerja bangku.

Mesin-mesin perkakas yang menggunakan motor listrik untuk memantu kerja bantu ada beberapa yaitu mesin bor, mesin gergaji, mesin potong, mesin penekuk plat, mesin pembengkok pipa dan lain-lainnya.

### 1. Mesin bor

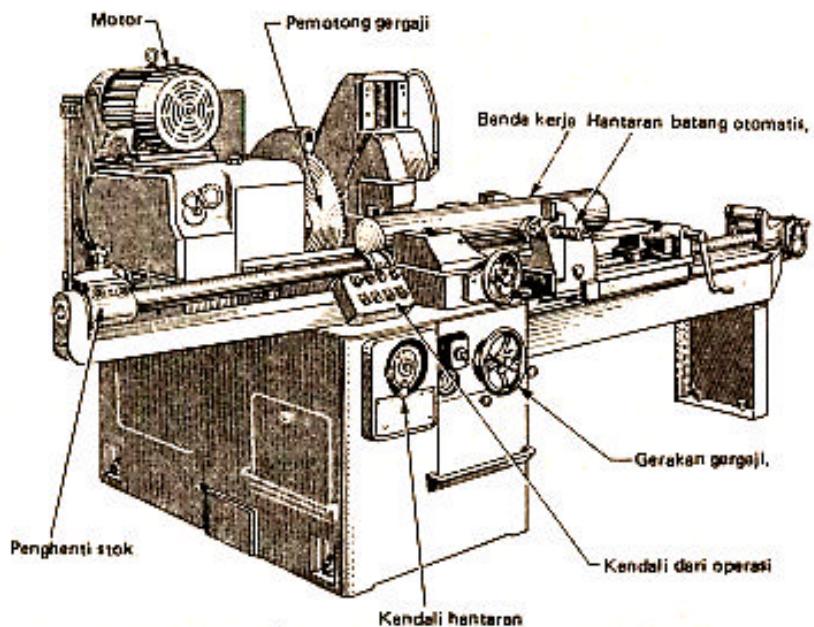
Mesin bor gunanya untuk melubangi benda dan memperbesar lobang yang sudah ada, berikut ditampilkan gambar mesin bor.



Gambar 2. 7 Mesin bor duduk

### 2. Mesin gergaji

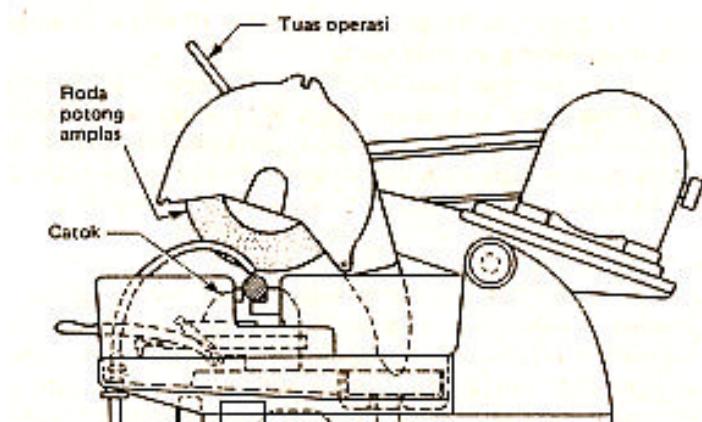
Mesin gergaji gunanya untuk memotong benda atau membelah benda, hal ini untuk mempercepat pemotongan dari benda mentah.



Gambar 2.8 Mesin gergaji

### 3. Mesin potong

Mesin potong gunanya untuk mempercepat pemotongan benda yang panjang.



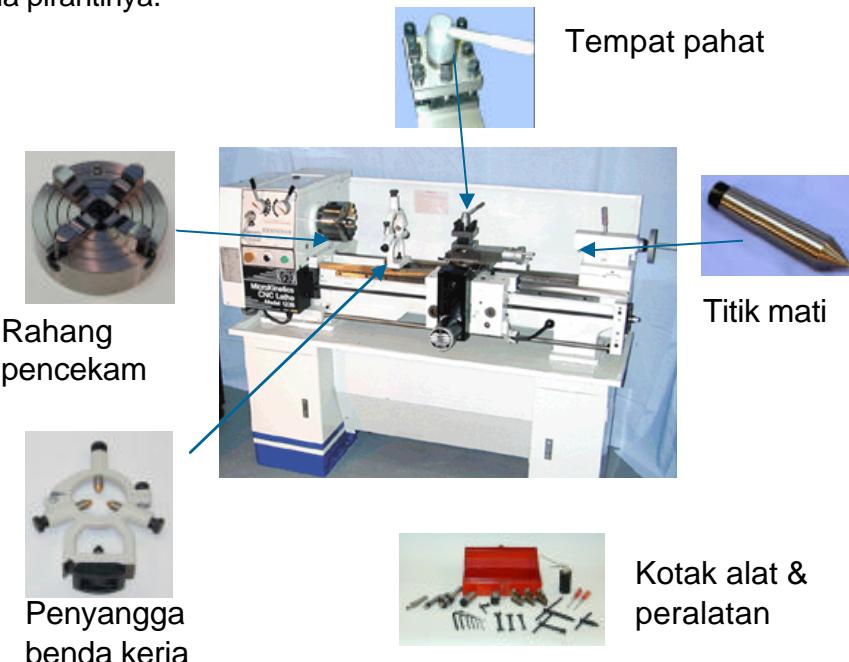
Gambar 2.9 Mesin potong

## C. Proses Mesin Perkakas

Mesin perkakas adalah alat yang dipakai untuk memproduksi barang dari barang mentah ke barang jadi. Biasanya mesin perkakas ini digunakan untuk finishing dari hasil pengcoran. Mesin-mesin perkakas yang sering digunakan yaitu mesin bubut, mesin frais, mesin bor dan lain-lain. Untuk otomasi mesin-mesin yang sudah dilengkapi dengan komputer terus dikembangkan sehingga hasilnya lebih akurat.

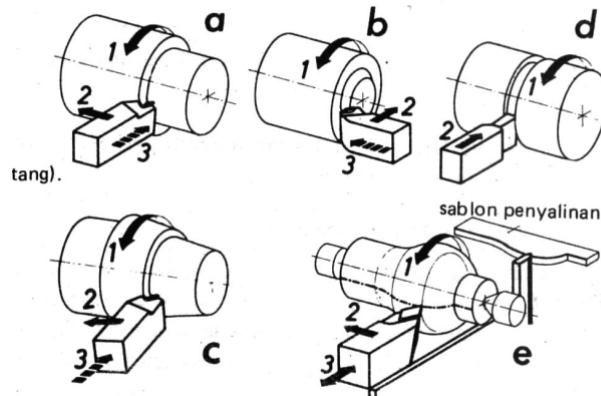
### C.1. Mesin bubut

Mesin ini pada prinsipnya adalah benda kerja yang berputar dipotong menjadi komponen yang diinginkan dalam bentuk silinder atau kerucut. Mesin ini hanya dapat membuat benda-benda yang berbentuk silinder. Pada gambar 1.31 dibawah menjelaskan mesin bubut dengan segala pirantinya.



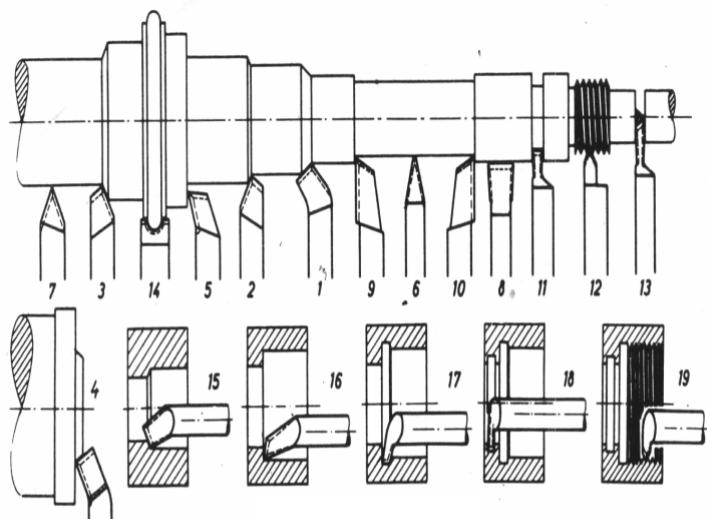
Gambar 2.10 Mesin bubut dengan pirantinya

Proses mesin bubut ini dengan cara memutar benda kerja yang kemudian disayat dengan pahat membentuk serpihan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.11 berikut ini:



Gambar 2.11 Proses pembubutan

Dalam pembubutan perlu digunakan beberapa pahat, pahat yang digunakan untuk bubut melintang, bubut alur dan lain sebagainya. Gambar 2.12 dibawah ini diperlihatkan macam-macam pahat dan penggunaannya

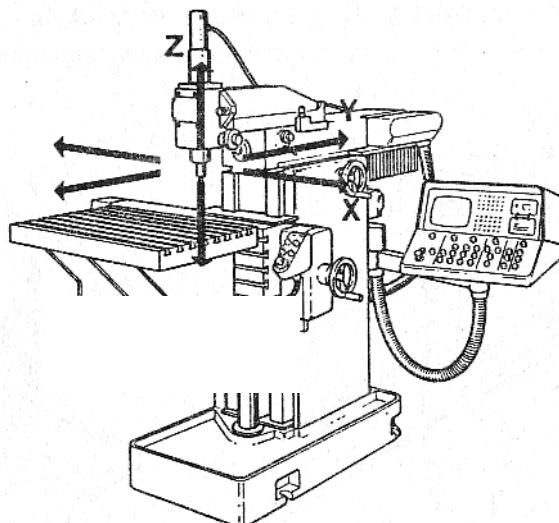


1 . . . Pahat kikis tekuk kanan; 2 . . . Pahat kikis lurus kanan; 3 . . . Pahat kikis lurus kiri;  
4 . . . Pahat kikis samping kanan; 5 . . . Pahat pucuk samping kanan; 6, 7 . . . Pahat poles pucuk;  
8 . . . Pahat poles lebar; 9 . . . Pahat bubut samping kanan; 10 . . . Pahat bubut samping kiri;  
11 . . . pahat alur; 12 . . . Pahat ulir pucuk; 13 . . . Pahat penggal; 14 . . . Pahat bubut bentuk;  
15 . . . Pahat bubut dalam; 16 . . . Pahat sudut dalam; 17, 18 . . . Pahat kait; 19 . . . Pahat ulir  
dalam.

Gambar 2.12 Macam-macam Pahat

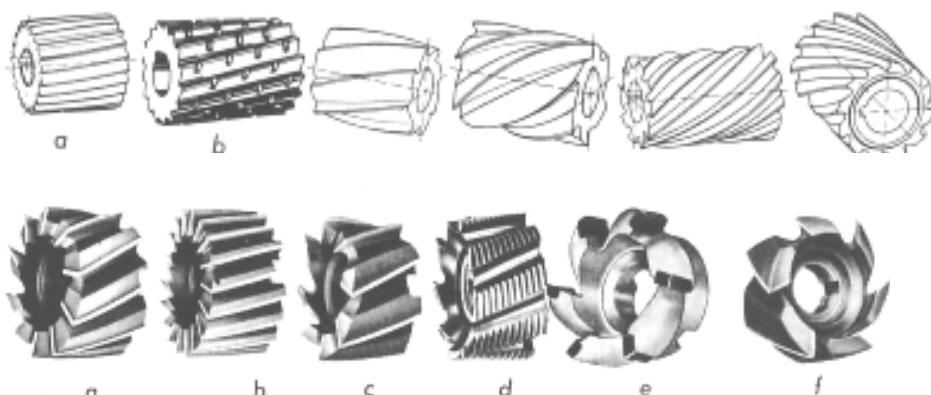
## C.2.Mesin fris

Mesin fris ini pada prinsipnya tool atau pahat yang berputar mengurangi dimensi benda kerja. Mesin ini juga dapat untuk menghaluskan permukaan, membuat alur, roda gigi, dan bentuk lain yang diinginkan sesuai kemampuan mesin. Bagian dari mesin fris adalah pencekam pahat yang berputar, meja yang dapat digerakkan maju mundur dan kanan kiri, dan motor penggerak pahat. Bentuk mesin fris dan gerakannya dapat dilihat pada Gambar 2.13 berikut ini



Gambar 2. 13 mesin CNC fris vertikal

Pahat untuk mesin fris berbeda dengan mesin bubut yang dapat dilihat pada gambar 2.14 berikut ini:



Gambar 2.14 Pahat untuk mesin fris

Untuk otomasi mesin-mesin perkakas digabungkan dengan komputer sering juga disebut CNC (*Computer Numerical Control*) seperti yang digambarkan di bawah ini.

Dengan mesin CNC produksi komponen dapat dipercepat dan lebih akurat. Mesin CNC ini dipakai untuk memproduksi massal. Mesin ini

membutuhkan operator yang mempunyai keahlian khusus yang dipersiapkan untuk menjalankan mesin CNC.



Gambar 2.15 Mesin bubut CNC

## D. Mengenal Proses Mesin Konversi Energi

Pengetahuan dasar tentang termodinamika, perpindahan panas dan mekanika fluida sangat membantu para calon operator dan staf pemeliharaan mesin-mesin industri. Konsep-konsep dasar akan dipakai dalam memahami prinsip-prinsip dasar kerja mesin-mesin industri. Pembahasan ditekankan pada hal-hal khusus yang berkenaan dengan konsep dasar. Untuk pembahasan yang menyeluruh pembaca dapat merujuk pada buku teks yang ada pada daftar pustaka.

### D.1. Termodinamika

Ilmu termodinamika adalah ilmu yang mempelajari hubungan panas dengan kerja. Dua besaran tersebut sangat penting untuk dipahami karakteristiknya untuk pemahaman dasar keteknikan. Jadi jelas pengetahuan dasar termodinamika sangat penting, karena dipakai untuk menganalisis kondisi operasi berbagai alat atau mesin yang berhubungan dengan panas dan kerja.

#### D.1.1 Sistem termodinamika

Untuk menganalisis mesin-mesin panas atau mesin-mesin fluida, mesin-mesin tersebut disebut dengan **benda kerja**. Fluida atau zat alir yang dipakai pada benda kerja disebut dengan **fluida kerja**. Sebagai contoh untuk pompa sebagai benda kerja, fluida kerjanya adalah zat cair (air, oli ), sedangkan kompresor, fluida kerjanya adalah udara

Untuk membedakan benda kerja dengan lingkungan sekitarnya, benda kerja sering disebut dengan **sistem**, yaitu setiap bagian tertentu, yang volume dan batasnya tidak perlu tetap, dimana perpindahan dan konversi energi atau massa akan dianalisis. Adapun istilah-istilah yang sering disebut adalah sebagai berikut.

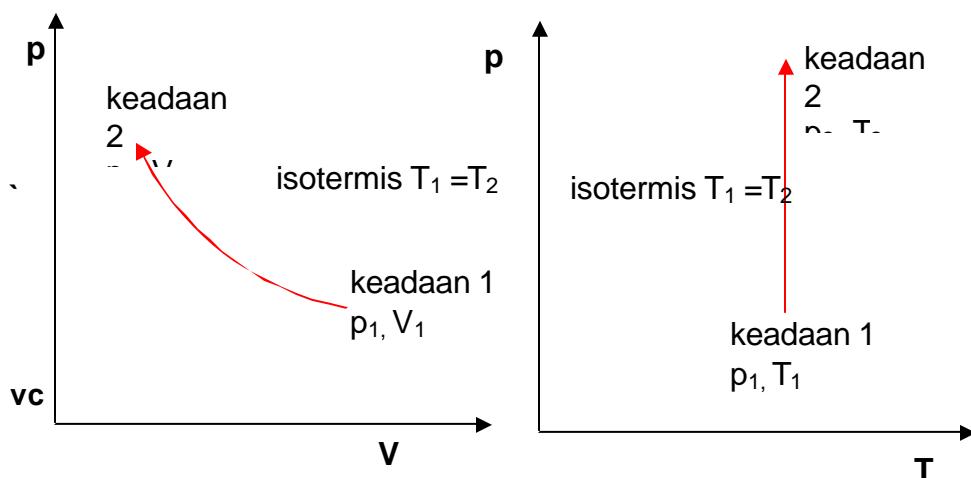
**Batas sistem** adalah garis imajiner yang membatasi sistem dengan lingkungannya

**Sistem tertutup** yaitu apabila sistem dan lingkungannya tidak terjadi pertukaran energi atau massa, dengan kata lain energi atau massa tidak melewati batas-batas sistem.

**Sistem terbuka** yaitu apabila energi dan massa dapat melintasi atau melewati batas-batas sistem. Sistem dengan lingkungannya ada interaksi

#### D.1.2. Besaran sistem termodinamika dan keadaan sistem

Dalam pembahasan setiap masalah yang berhubungan dengan kejadian-kejadian alam atau suatu proses fisika alam, untuk memudahkan pemahaman masalah tersebut, pemodelan matematis banyak digunakan. Pemodelan matematik adalah suatu metode untuk mencari hubungan antara faktor-faktor fisik yang satu dengan yang lainnya menggunakan simbol-simbol dan koordinat matematik. Dengan pemodelan tersebut, akan diperoleh suatu rumusan matematik yang dapat mewakili permasalahan fisik secara kuantitatif.



Gambar 2.16 Grafik proses keadaan termodinamik

Dalam ilmu termodinamika koordinat-koordinat atau besaran fisik akan selalu melingkupi semua rumusan termodinamika adalah **Voume V**, **Temperatur T**, **Tekanan p**, **Kerapatan ρ** dan besaran-besaran lainnya. Besaran- besaran ini akan mempengaruhi berbagai keadaan sistem termodinamika. Misalkan, sistem motor bakar akan berubah keadaannya apabila tekanan p kompresinya turun, yaitu tenaga yang dihasilkan berkurang. Perubahan keadaan temodinamika digambarkan pada grafik hubungan tekanan dengan volume atau tekanan dengan temperatur. Contoh perubahan keadaan termodinamika yaitu perubahan keadaan pada temperatur tetap (isotermis), penggambarannya pada grafik p-v dan p-t adalah sebagai berikut

Dari gambar di atas terlihat bahwa terjadi perubahan besaran pada keadaan satu ke keadaan dua. Perubahan tersebut akan tetap berlangsung sebelum ada proses keadaan yang lainnya. Proses keadaan selalu mempunyai satu atau lebih karakteristik yang spesifik. Sebagai contoh untuk proses keadaan isotermis, karakteristik yang pasti khusus adalah tidak ada perubahan temperatur selama proses.

Dalam termodinamika, besaran sistem dibagi menjadi dua yaitu besaran ekstensif dan besaran intensif. Adapun definisi masing-masing besaran adalah sebagai berikut.

[1] Besaran **ekstensif**, adalah besaran yang dipengaruhi oleh massa atau mol sistem. Contoh volume, kapasitas panas, kerja, entropi. Dari besaran-besaran **ekstensif** diperoleh harga-harga jenis (spesifik value). Harga jenis adalah perbandingan antara besaran ekstensif dengan massa sistem atau zat.

$$\text{Harga jenis} = \frac{\text{besaran ekstensif}}{\text{massa sistem}}$$

$$\text{Contoh Volume jenis} = \frac{\text{volume}}{\text{massa}}, \quad \text{Kapasitas jenis} = \frac{\text{Kapasitas}}{\text{massa}}$$

[2] Besaran **intensif**, adalah besaran yang tidak dipengaruhi oleh massa sistem. Contoh: tekanan, temperatur, dan lainnya

### D.1.3. Besaran-besaran pokok termodinamika

Besaran **temperatur** dan **tekanan** adalah besaran yang menjadi pokok dari sistem termodinamika, karena hubungan antar keduanya sangat penting untuk mencirikan proses keadaan sistem. Disamping itu besaran temperatur dan tekanan adalah besaran dari hasil pengukuran secara langsung dari suatu proses keadaan sistem. Hal ini berbeda dengan besaran lainnya yang tidak berdasarkan pengukuran, tetapi

diturunkan dari besaran temperatur dan tekanan. Sebagai contoh, kerja adalah besaran turunan dari tekanan atau temperatur.

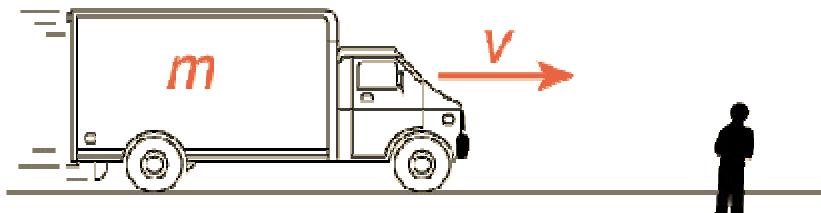
1. Kerja pada volume konstan  $W=m.R.\Delta T$
2. Kerja pada tekanan kostan  $W=p\Delta V$

## D.2. Bentuk-bentuk energi

Energi adalah suatu besaran turunan dengan satuan N.m atau Joule. Energi dan kerja mempunyai satuan yang sama. Sedangkan kerja dapat didefinisikan sebagai usaha untuk memindahkan benda sejauh S (m) dengan gaya F (Newton). Sedang bentuk-bentuk energi lain dijelaskan di bawah ini :

**Energi Kinetik** ; energi suatu benda karena bergerak dengan kecepatan V, sebagai contoh , mobil yang bergerak, benda jatuh dan lain-lain , maka energinya dapat dituliskan

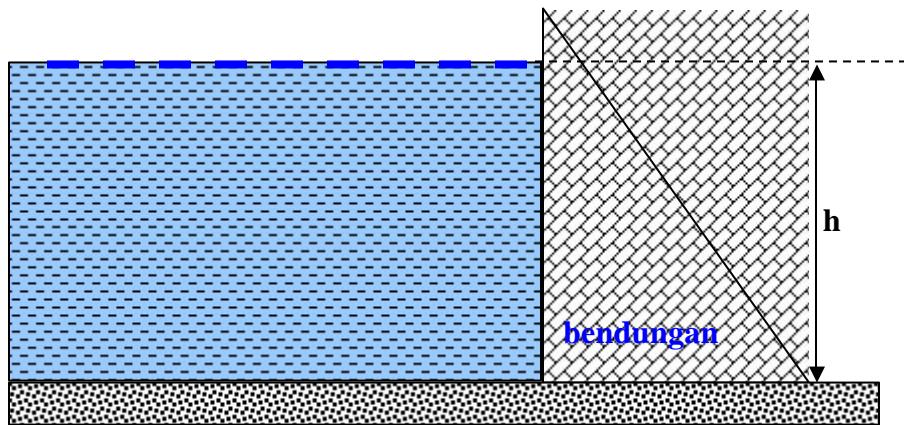
$$EK = \frac{1}{2} mV^2$$



Gambar 2.17 Pergerakan mobil dan Energi kinetik

**Energi potensial** adalah energi yang tersimpan pada benda karena kedudukannya. Sebagai contoh, **energi potensial air** adalah energi yang dimiliki air karena ketinggiannya dari permukaan.

$$Ep = m.g.h$$



Gambar 2.18 Energi potensial air pada bendungan

**Energi potensial pegas** adalah energi yang dimiliki oleh benda yang dihubungkan dengan pegas untuk berada pada kedudukan tertentu karena penarikan pegas.

$$Ep = 0,5 \cdot k \cdot x^2$$

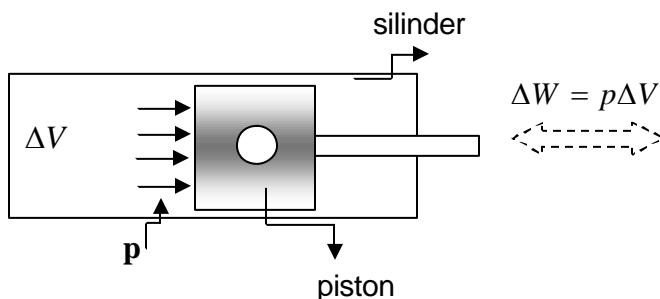
**Energi mekanik** adalah energi total yaitu penjumlahan antara energi kinetik dengan energi potensial.

$$Em = Ek + Ep$$

Adapun energi atau kerja mekanik pada mesin-mesin panas, adalah kerja yang dihasilkan dari proses ekspansi atau kerja yang dibutuhkan proses kompresi. Kerja mekanik ( $dW$ ) tersebut sebanding dengan perubahan volume ( $dV$ ) pada tekanan ( $p$ ) tertentu.

$$\Delta W = p \Delta V$$

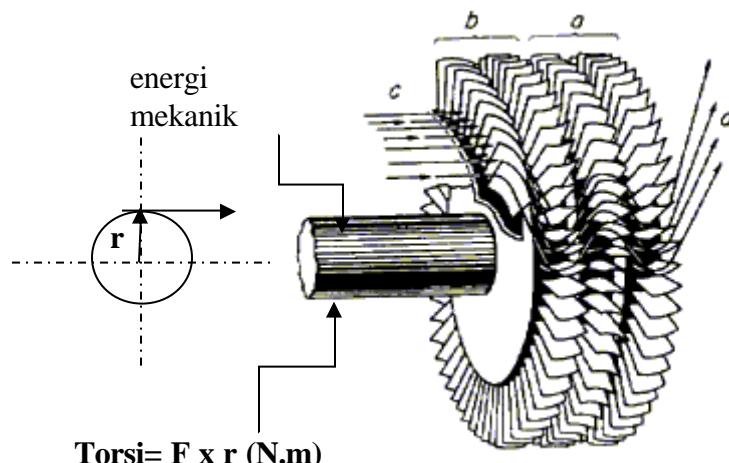
Sebagai contoh energi ini secara sederhana adalah pergerakan piston, putaran poros engkol, dan lain lain.



Gambar 2.19 Energi atau kerja pada piston

**Energi mekanik** pada benda-benda yang berputar misalnya poros mesin-mesin fluida (turbin, pompa, atau kompresor) dinamakan **Torsi**, yaitu energi yang dibutuhkan atau dihasilkan benda untuk berputar dengan gaya centrifugal  $F$  dimana energi tersebut pada  $r$  tertentu dari pusat putaran.

$$T = F \times r$$



Gambar 2.20 Energi mekanik poros turbin gas

**Energi Aliran** atau kerja aliran adalah kerja yang dilakukan oleh fluida yang mengalir untuk mendorong sejumlah massa  $m$  ke dalam atau ke luar sistem.

$$W_{\text{energi aliran}} = pV$$

**Panas (Q)** yaitu energi yang ditransfer ke atau dari substansi karena perbedaan temperatur. Dengan  $c$  panas jenis pada tekanan konstan atau volume konstan, energi ini dirumuskan:

$$Q = mc\Delta T$$

**Energi dalam (U)**; energi dari gas karena pergerakan pada tingkat molekul, pada gas ideal hanya dipengaruhi oleh temperatur saja.

**Entalpi (H)**; sejumlah panas yang ditambahkan pada 1 mol gas pada tekanan konstan, dengan  $c_p$  panas jenis pada tekanan konstan, dapat dirumuskan:

$$\Delta H = mc_p \Delta T$$

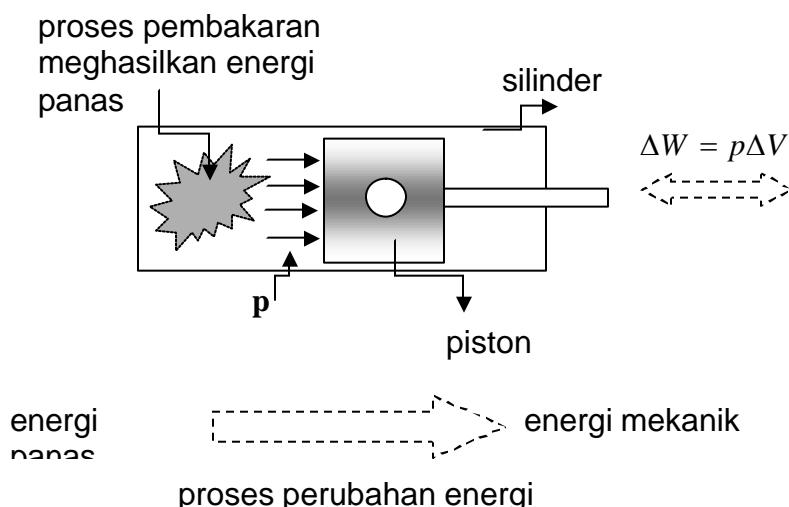
**Energi yang tersedia** ; bagian dari panas yang ditambahkan ke sistem yang dapat diubah menjadi kerja. Perbandingan antara jumlah energi

tersedia yang dapat diubah menjadi kerja dengan energi yang dimasukkan sistem adalah konsep efisiensi.

### D.3. Sifat energi

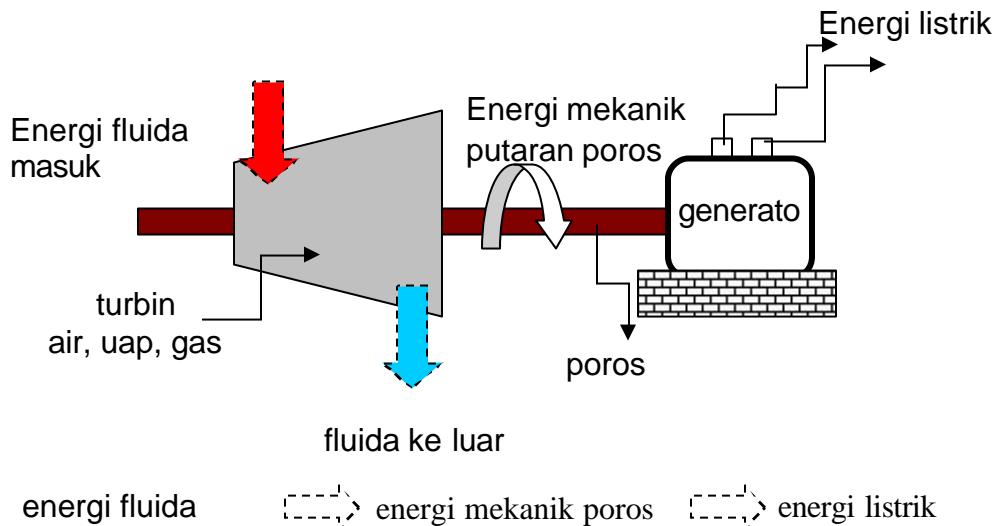
Energi di alam adalah kekal artinya energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi hanya dapat diubah dari energi satu ke energi lainnya (**Hukum kekekalan energi**). Ilmu yang mempelajari perubahan energi dari energi satu ke lainnya disebut dengan **ilmu konversi energi**. Tingkat keberhasilan perubahan energi disebut dengan efisiensi. Adapun sifat-sifat energi secara umum adalah :

1. **Transformasi energi**, artinya energi dapat diubah menjadi bentuk lain, misalkan energi panas pembakaran menjadi energi mekanik mesin

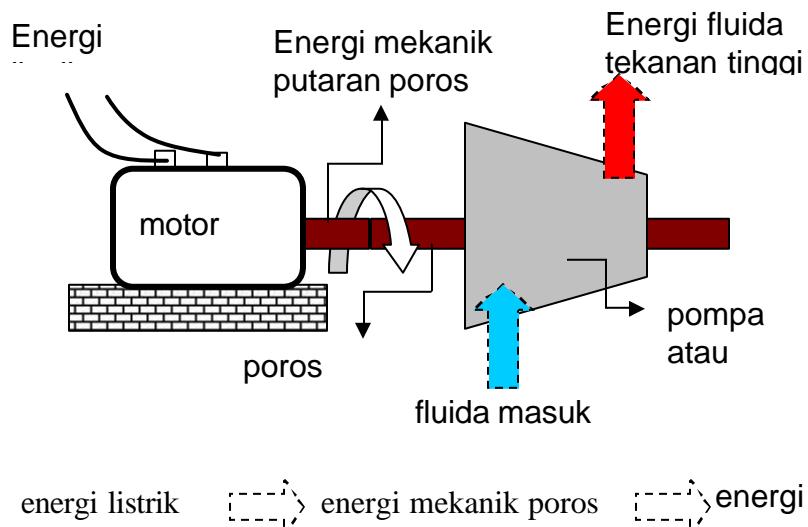


Gambar 2.21 Perubahan energi pada motor bakar

Contoh yang lain adalah proses perubahan energi atau konversi energi pada turbin dan pompa. Perubahan energi pada turbin adalah sebagai berikut, energi fluida (energi kinetik fluida) masuk turbin dan berekspansi, terjadi perubahan energi yaitu dari energi fluida menjadi energi mekanik putaran poros turbin. Kemudian, putaran poros turbin memutar poros generator listrik, dan terjadi perubahan energi kedua yaitu dari energi mekanik menjadi energi listrik.



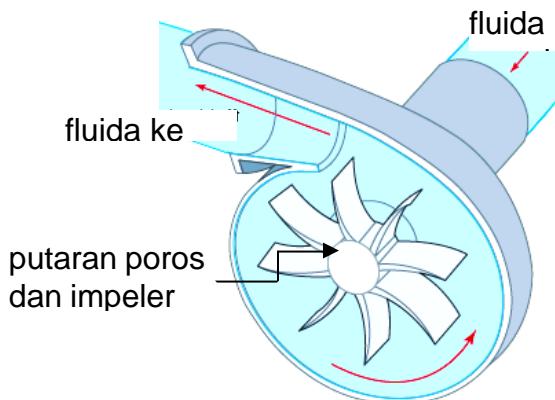
Gambar 2.22 Konversi energi pada turbin ( uap, gas,air)



Gambar 2.23 Konversi energi pada pompa atau kompresor

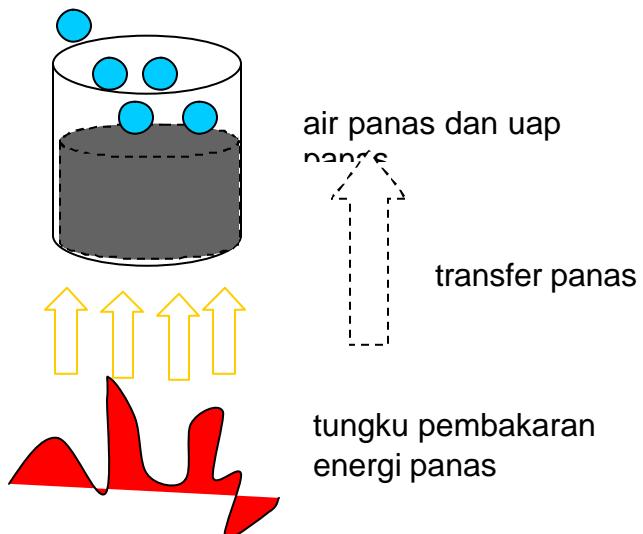
Pada Gambar 2.23 terlihat proses konversi energi dari energi listrik menjadi energi fluida. Prosesnya yaitu energi listrik akan diubah menjadi energi mekanik pada motor listrik, energi mekanik tersebut berupa

putaran poros motor listrik yang akan diteruskan ke poros pompa. Pada pompa terjadi perubahan energi mekanik menjadi energi fluida, fluida yang keluar dari pompa mempunyai energi yang lebih tinggi dibanding sebelum masuk pompa.



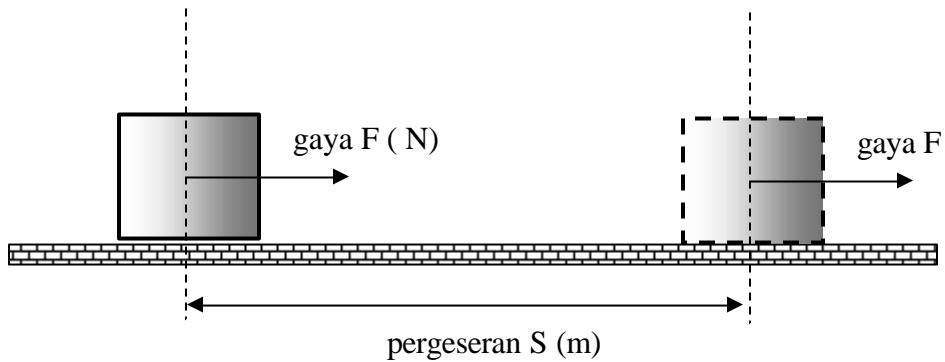
Gambar 2.24 Pompa sebagai mesin Konversi energi

2. **Transfer energi**, yaitu energi panas (*heat*) dapat ditransfer dari tempat satu ke tempat lainnya atau dari material satu ke material lainnya.

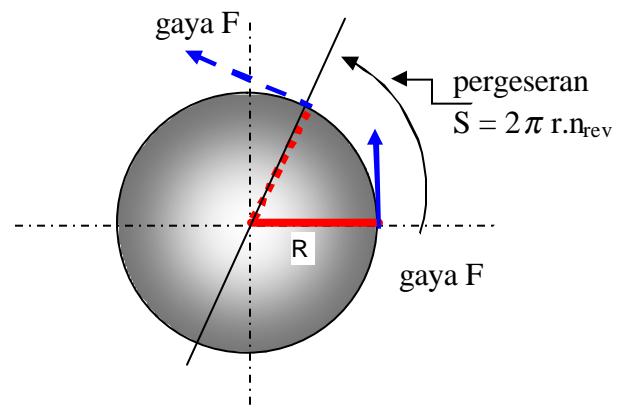


Gambar 2.25 Tranfer energi panas dari tungku ke air di panci

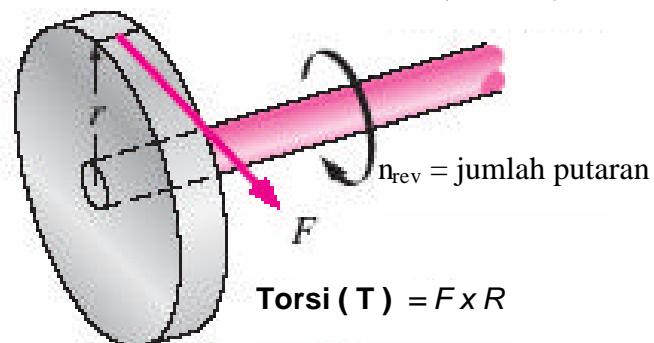
3. **Energi dapat pindah** ke benda lain melalui suatu gaya yang menyebabkan pergeseran, sering disebut dengan energi mekanik, seperti yang telah dibahas di bab sebelumnya.  $W = F \times S$



Gambar 2.26 Energi mekanik pergeseran translasi (linier)



$$W = (2\pi \cdot n_{rev}) \times T$$



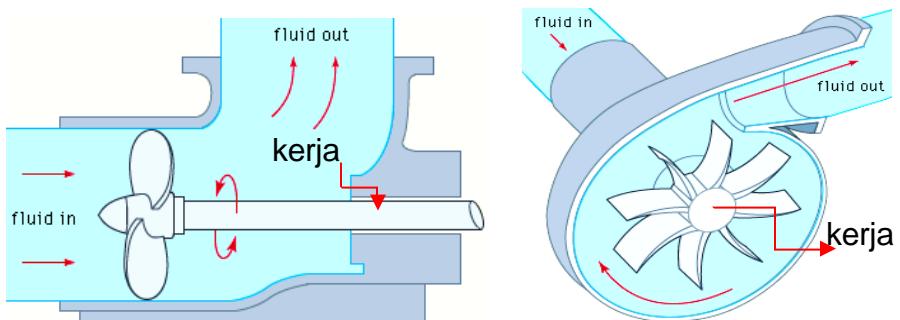
Gambar 2.27 Energi mekanik pergeseran rotasi ( angular)

$$T = F \times R$$

$W = F \times S$  dengan  $S = 2\pi r \cdot n_{rev}$  dan  $F = \frac{T}{r}$ , maka

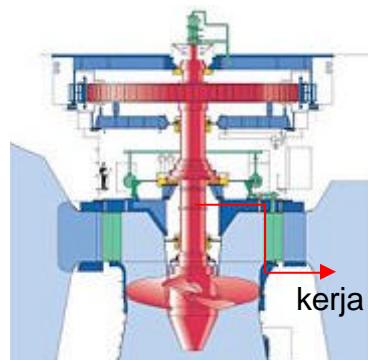
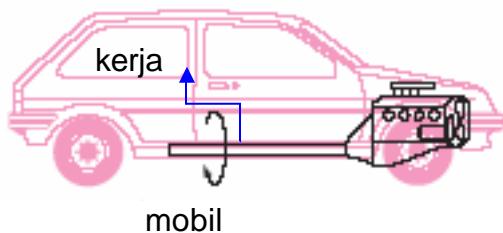
$$W = \frac{T}{r} 2\pi r \cdot n_{rev} = (2\pi \cdot n_{rev}) \times T \quad (\text{Kerja Mekanik Poros})$$

dimana  $n_{rev}$  = adalah jumlah putaran



pompa propeler

pompa centrifugal



Turbin

Ganbar 2.28 Mesin-mesin konversi energi dengan kerja poros

Energi mekanik **putaran poros** adalah yang paling sering digunakan untuk perhitungan mesin-mesin konversi energi, karena hampir sebagian besar mesin-mesin konversi adalah mesin-mesin rotari. Alasan pemilihan gerak putaran poros mesin (mesin rotari) sebagai transfer energi atau kerja dibanding dengan putaran bolak-balik (*reciprocating*) adalah karena gerak rotari mempunyai efisiensi mekanik yang tinggi, getaran rendah, dan tidak banyak memerlukan komponen

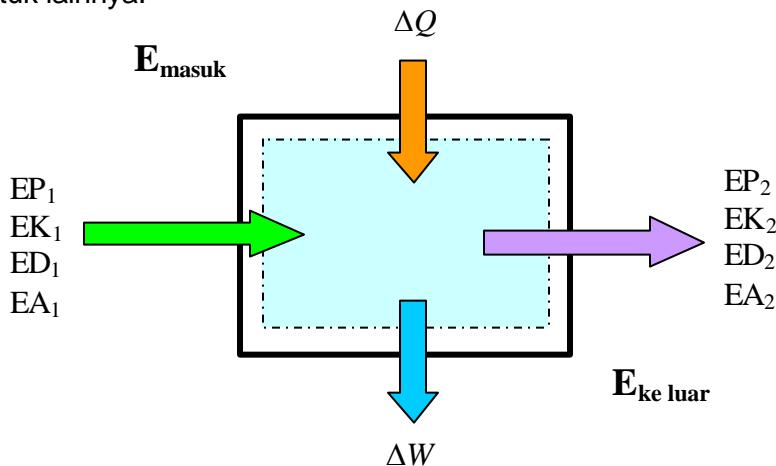
mesin yang rumit. Energi atau kerja langsung dapat ditransfer atau diterima peralatan tanpa peralatan tambahan.

**4. Energi adalah kekal**, tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan.

#### D.4. Hukum termodinamika

##### D.4.1. Hukum termodinamika I

Hukum pertama termodinamika adalah hukum konversi energi, hukum ini menyatakan bahwa *ENERGI TIDAK DAPAT DICIPATKAN ATAU DILENYAPKAN*, energi hanya dapat diubah dari bentuk satu ke bentuk lainnya.



Gambar 2.29 Dinamika perubahan energi pada suatu benda kerja

Hukum pertama Termodinamika dapat dituliskan sebagai berikut :

$$EP_1 + EK_1 + ED_1 + EA_1 + \Delta Q = EP_2 + EK_2 + ED_2 + EA_2 + \Delta W$$

Untuk sistem terbuka dimana ada pertukaran energi dan massa dari sistem ke lingkungan atau sebaliknya, maka persamaan energi di atas dapat dijabarkan sebagai berikut

$$mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + [U_1 + p_1V_1] + \Delta Q = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + [U_2 + p_2V_2] + \Delta W$$

dengan  $[pV + U] = H$  dapat dituliskan kembali menjadi

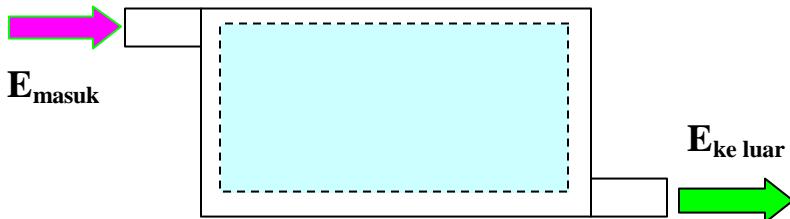
$$mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + H_1 + \Delta Q = mgZ_2 + m\frac{V_2^2}{2} + H_2 + \Delta W$$

$$E_{masuk} = mgZ_1 + m\frac{V_1^2}{2} + H_1 + \Delta Q$$

$$E_{\text{keluar}} = mgZ_2 + m \frac{V^2}{2} + H_2 + \Delta W$$

Jadi Hukum termo pertama dapat diutuliskan secara sederhana dengan persamaan berikut (untuk sistem terbuka)

$$E_{\text{masuk}} = E_{\text{keluar}} \quad \text{atau} \quad \Delta EP + \Delta EK + \Delta H + \Delta Q = \Delta W$$

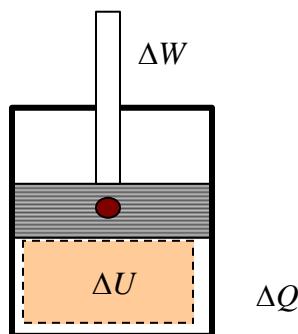


Gambar 2.30 Proses perubahan energi pada sistem terbuka

Jika Hukum termodinamika pertama dituliskan secara sederhana untuk sistem tertutup, dimana massa tidak dapat melintas batas sistem, maka suku EP, EK dan EA dapat dihilangkan dari persamaan. Persamaan dapat dituliskan kembali menjadi:

$$\Delta EP + \Delta EK + \Delta pV + \Delta Q = \Delta W + \Delta U \quad \Delta Q = \Delta W + \Delta U$$

Jadi untuk sistem tertutup persamaannya menjadi  $\Delta Q = \Delta W + \Delta U$



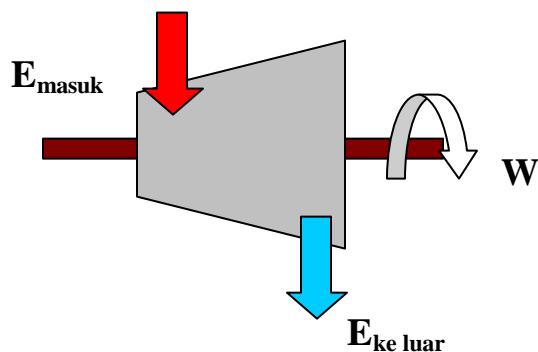
Gambar 2.31 Proses perubahan energi pada sistem tertutup

#### D.4.2 Contoh-contoh aplikasi hukum termodinamika I

Hukum-hukum termodinamika yang sudah diuraikan di atas adalah sangat berguna dalam menganalisis persoalan mesin-mesin konversi energi sederhana, sebagai contoh di bawah ini diuraikan pemodelan termodinamikanya.

##### 1. Konversi energi pada turbin

Turbin adalah salah satu mesin konversi energi yang cukup penting. Turbin di industri biasanya turbin uap atau gas. Keduanya merupakan alat ekspansi yang menghasilkan kerja mekanik poros. Di bawah ini ditunjukkan perhitungan kerja turbin sederhana.



Gambar 2.32 Konversi energi pada turbin

Pada turbin terjadi proses ekspansi adiabatis sehingga

$$\Delta Q = 0 \quad \Delta EP \text{ dan } \Delta EK = 0$$

$$mgZ_1 - mgZ_2 + m\frac{V_1^2}{2} - m\frac{V_2^2}{2} + H_1 - H_2 + \Delta Q = \Delta W$$

$$\Delta EP + \Delta EK + \Delta H + \Delta Q = \Delta W$$

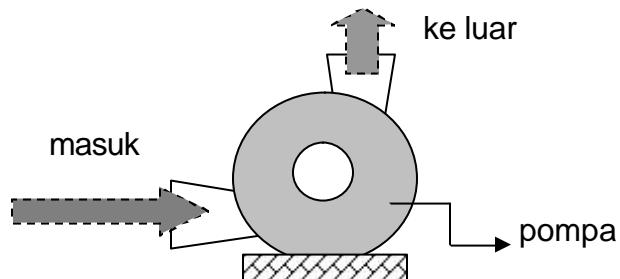
$$0 + 0 + \Delta H + 0 = \Delta W$$

$$\text{jadi kerja turbin adalah } \Delta W = H_1 - H_2$$

##### 2. Konversi pada pompa

Pompa juga merupakan alat mesin konversi energi, tetapi mesin ini banyak diaplikasikan sebagai alat bantu proses konversi. Sebagai contoh pompa banyak dipakai sebagai alat sirkulasi air pada instalasi pembangkit daya tenaga uap. Pompa bekerja dengan penggerak dari

luar. Jadi mesin ini adalah pengguna energi. Di bawah ini diberikan persoalan tentang pompa sentrifugal sederhana.



Gambar 2.33 Konversi pada pompa

$$\Delta EP + \Delta EK + \Delta H + \Delta Q = \Delta W$$

$$\text{dengan } \Delta EP + \Delta EK + \Delta Q = 0 \quad \Delta U = 0 \quad \Delta H = \Delta pV$$

maka kerja yang dibutuhkan pompa adalah

$$\Delta W = \Delta H = \Delta U + \Delta pV$$

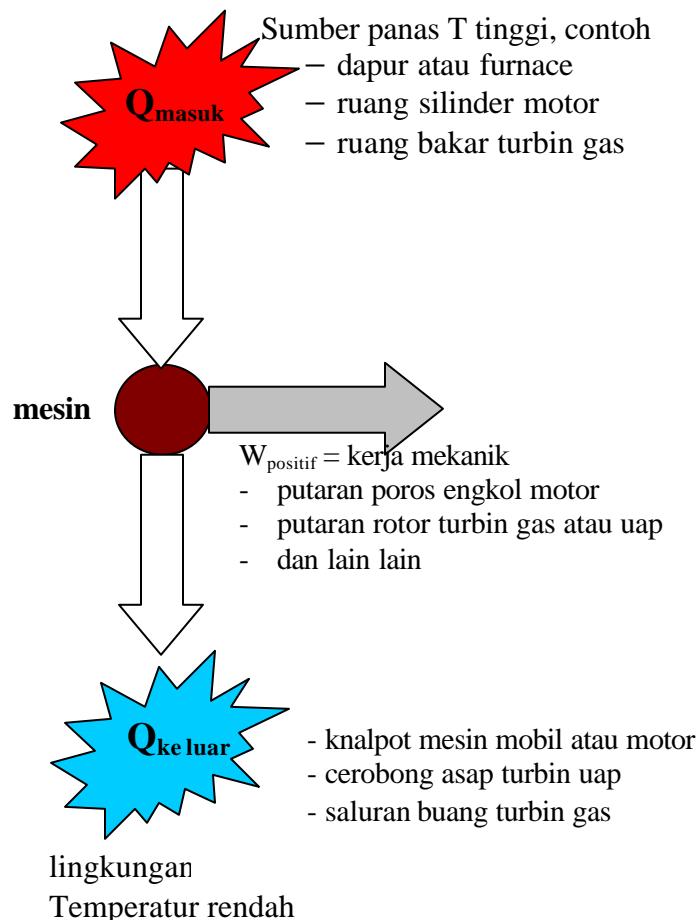
$$\Delta W = V[p_1 - p_2]$$

### D.4.3 Hukum termodinamika II

Tidak mungkin membuat siklus mesin yang mengubah energi panas yang ditambahkan, semuanya menjadi kerja. Konsep efisiensi seperti yang telah disebutkan yaitu:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \quad \text{dengan}$$

$$W_{net} = Q_{in} - Q_{out}$$



Gambar 2.34 Skema sederhana dari hukum termodinamika II

### D.5. Gas ideal

Aplikasi prinsip-prinsip dasar termodinamika pada mesin menggunakan fluida kerja yang dianggap ideal. Perumusannya adalah sebagai berikut:

$$pv = mRT$$

dengan  $R = Ru/M$  (Konstanta gas)  
 $= 0,2870 \text{ kJ/Kg.K}$  (untuk udara)  
 $Ru = 8,31447 \text{ kJ/kmol.K}$  (konstanta gas ideal)

#### D.5.1. Persamaan keadaan gas ideal

Gas ideal adalah gas yang dalam setiap keadaan mematuhi persamaan keadaan gas ideal yaitu:

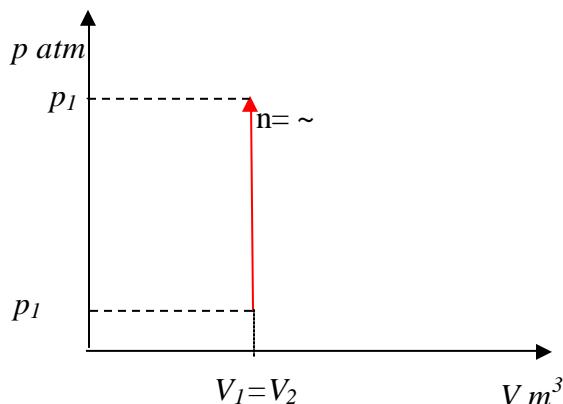
$$pV = mRT$$

$$pv = RT$$

dengan  $R$  = adalah konstanta gas spesifik,  
untuk udara  $R = 286,8 \text{ J/KgK}$

Pada suatu siklus termodinamika persamaan keadaan prosesnya selalu berubah mengikuti beberapa proses yang saling terkait. Ada tiga besaran yang selalu terkait dan dapat diukur langsung yaitu tekanan ( $p$ ), temperatur ( $T$ ) dan volume ( $V$ ). Adapun proses keadaan termodinamika adalah sebagai berikut.

#### 2. Proses volume konstan

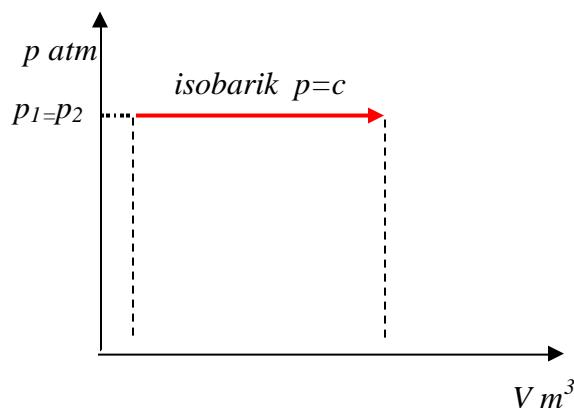


Gambar 2.35 Diagram  $p$ - $V$  proses volume konstan

Pada proses ini konstanta n pada politropik berharga  $n = \infty$  dan  $V = C$

### 3. Proses tekanan konstan

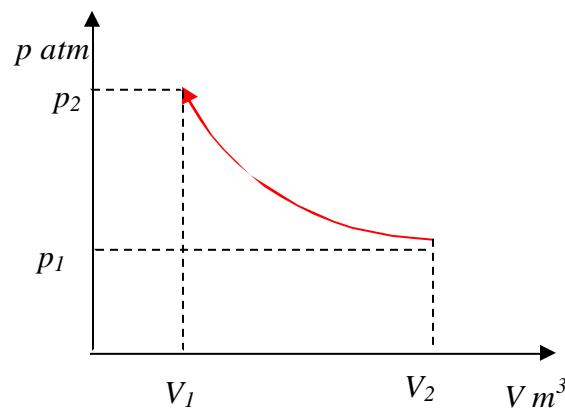
Pada proses ini konstanta n pada politropik berharga  $n = 0$  dan  $p = C$



Gambar 2.36 Diagram  $p$ - $v$  proses tekanan konstan

### 4. Proses temperatur konstan

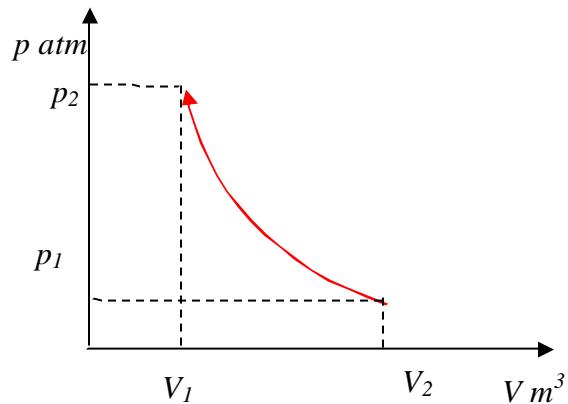
Pada proses ini konstanta n pada politropik berharga  $n = 1$  dan  $T = C$



Gambar 2.37 Diagram  $p$ - $v$  proses temperatur konstan

## 5. Proses Adiabatis ( $dq = 0$ )

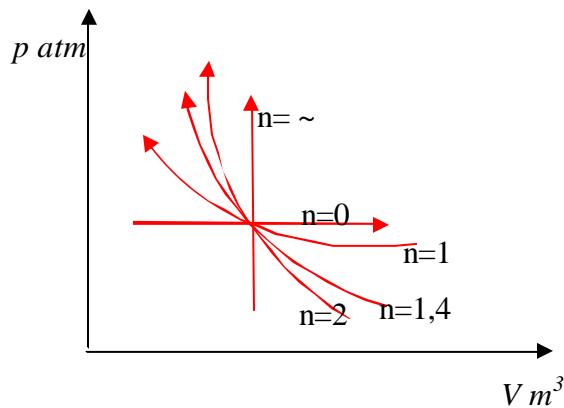
Pada proses ini konstanta n pada politropik berharga n = 1 dan T = C



Gambar 2.38 Diagram  $p$ - $v$  proses adiabatik

**6. Proses politropik** ; secara umum pesamaan keadaan gas ideal dapat dirumuskan sebagai berikut

$$[1] \quad pV^n = C \quad [2] \quad TV^{n-1} = C \quad [3] \quad T^{-1} p^{\frac{n-1}{n}} = C$$



Gambar 2.39 Diagram  $p$ - $v$  proses politropik

## E. Dasar Fluida

Definisi dari fluida adalah substansi yang mengalir karena antar partikel satu dengan lainnya bebas. Secara umum fluida dibagi menjadi fluida *compresible* (mampu mampat) dan *incompressible* (tak mampu mampat). Karakteristik fluida dapat dijelaskan dengan properti fluida. Adapun properti fluida yaitu temperatur, tekanan, massa, volume spesifik, dan kerapatan massa.

### E.1. Massa jenis

Massa jenis suatu fluida adalah massa per volume. Pada volume fluida yang tetap, massa jenis fluida tetap tidak berubah. Perumusannya adalah sebagai berikut :

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ kg/m}^3$$

Massa jenis fluida bervariasi bergantung jenis fluidanya. Pada kondisi atmosfer, massa jenis air adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$ , massa jenis udara  $1.22 \text{ kg/m}^3$  dan mercuri  $13500 \text{ kg/m}^3$ . Untuk beberapa fluida massa jenisnya bergantung pada temperatur dan tekanan, khususnya untuk fluida gas, perubahan keduanya akan sangat mempengaruhi massa jenis gas. Untuk fluida cairan pengaruh keduanya adalah kecil. Jika massa jenis fluida tidak terpengaruh oleh perubahan temperatur tekanan dinamakan fluida *incompressible* atau fluida tak mampu mampat.

Properti fluida yang lain yang berhubungan langsung dengan massa jenis adalah volume jenis, berat jenis, dan *specific gravity*. Volume jenis adalah kebalikan dari massa jenis yaitu volume fluida dibagi dengan massanya. Untuk berat jenis adalah massa jenis fluida dikalikan dengan percepatan gravitasi atau berat fluida per satuan volume dirumuskan sebagai berikut :  $\gamma = \rho g (\text{kg/m}^3)(\text{m/s}^2)$ .

Adapun untuk *specific gravity* adalah perbandingan antara massa jenis fluida dengan massa jenis air pada kondisi standar. Pada kondisi standar ( $4^\circ\text{C}$ ,  $1\text{atm}$ ) massa jenis air adalah  $\rho = 1000 (\text{kg/m}^3)$ . Perumusan

untuk menghitung *spessific gravity* adalah sebagai berikut  $S = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$ .

### E.2. Tekanan

Jika permukaan suatu zat (padat, cair dan gas) menerima gaya-gaya luar maka bagian permukaan zat yang menerima gaya tegak lurus akan mengalami tekanan. Bila gaya yang tegak lurus terhadap permukaan dibagi dengan luasan permukaan A disebut dengan tekanan, perumusannya sebagai berikut :

$$p = \frac{F}{A} [\text{kg/m}^2; \text{lb/ft}^2]$$

Dalam termodinamika tekanan secara umum dinyatakan dalam harga absolutnya. Tekanan absolut bergantung pada tekanan pengukuran sistem, dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Apabila tekanan pengukuran sistem di atas tekanan atmosfer, maka : tekanan absolut ( $p_{abs}$ )= tekanan pengukuran ( $p_{gauge}$ ) ditambah tekanan atmosfer ( $p_{atm}$ )

$$p_{abs} = p_{gauge} + p_{atm}$$

2. Apabila tekanan pengukuran di bawah tekanan atmosfer, maka : tekanan absolut ( $p_{abs}$ )= tekanan atmosfer ( $p_{atm}$ ) dikurangi tekanan pengukuran ( $p_{gauge}$ )

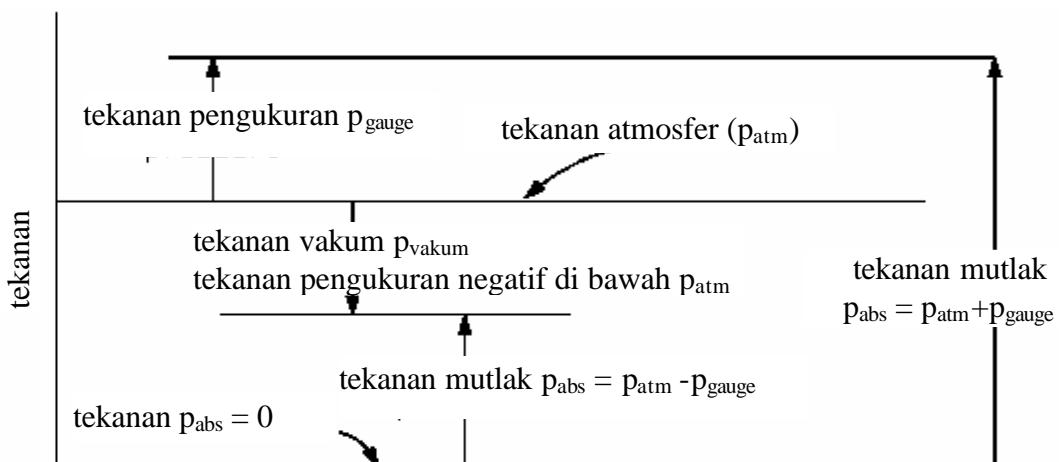
$$p_{abs} = p_{atm} - p_{gauge}$$

$$1 \text{ standar atmosfer} = 1,01324 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^3$$

$$= 14,6959 \text{ lb/in}^2$$

$$= 10332 \text{ kg/m}^2$$

$$= 1,01 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$



Gambar 2.40 Hubungan tekanan pengukuran, tekanan absolute, dan tekanan atmosfer

### E.2.1 Hubungan Tekanan dengan ketinggian atau ke dalaman

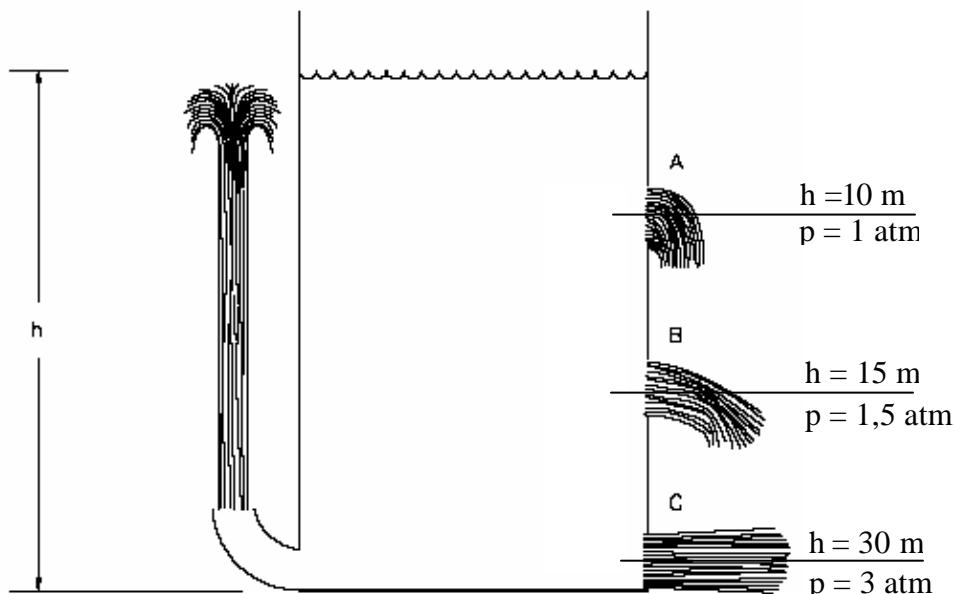
Apabila suatu benda berada pada ke dalaman tertentu pada sebuah zat maka untuk menghitung besarnya tekanan dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$p = \frac{F}{A}$$

$$p = \frac{mg}{A} = \frac{\rho Vg}{A} \text{ dengan } m = \rho V, \text{ untuk } V = AH$$

$$\text{rumusnya menjadi } p = \frac{\rho Vg}{A} = \frac{\rho AHg}{A} = \rho gH$$

dari rumus tersebut dapat diketahui bahwa tekanan suatu zat bergantung dari ketinggian atau ke dalaman H.



Gambar 2.41 Hubungan ketinggian dengan tekanan

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa semakin dalam posisi lubang, tekanan air yang menyebur semakin besar. Perubahan tekanan dengan perubahan ketinggian tidak terlalu mencolok apabila zat mempunyai massa jenis kecil seperti udara atau gas.

### E.3. Kemampumampatan

Kemampumampatan (*compressibility*)  $k$  suatu zat adalah pengaruh tekanan terhadap volume suatu zat pada temperatur konstan. Kemampumampatan adalah sama dengan modulus elastisity  $E_v$  dengan nilai berkebalikan. Perumusannya adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{1}{E_v} = -\frac{1}{v} \left( \frac{dv}{dp} \right)_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{d\rho}{dp} \right)_T$$

Tanda negatif pada persamaan di atas menunjukkan bahwa apabila terjadi kenaikan tekanan, volume zat akan berkurang.

Secara sederhana fluida berdasarkan dari kompresibilitasnya dibagi menjadi dua yaitu fluida gas dan fluida cair. Untuk fluida gas yang terdiri dari partikel-partikel yang bergerak bebas dan betuknya mengikuti wadahnya maka perubahan tekanan akan banyak menimbulkan perubahan volume. Perubahan properti gas sangat bergantung dari perubahan dari kondisi temperatur. Untuk fluida gas ideal pada temperatur konstan (isotermis) persamaan di atas dapat diubah menjadi:

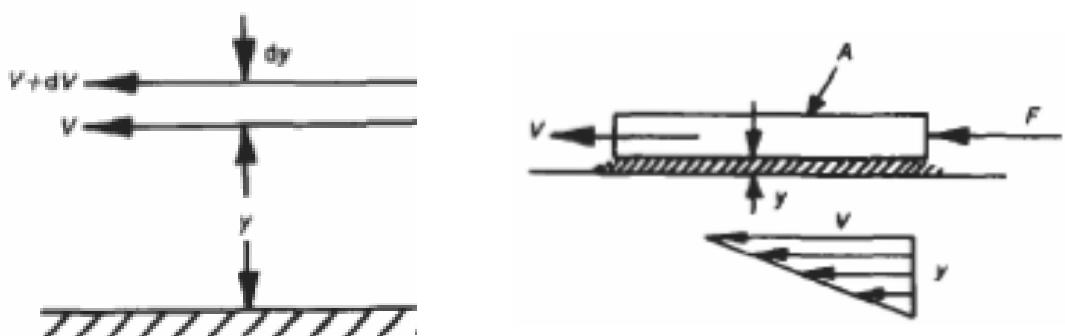
$$k = \frac{1}{\rho} \left( \frac{d\rho}{dp} \right)_T = \frac{1}{\rho} \left( \frac{d\rho}{d(\rho RT)} \right)_T$$

$$k = \frac{1}{E_v} = \frac{1}{\rho RT} = \frac{1}{p}$$

Jadi pada kondisi isotermis, kemampuan fluida gas (ideal) berkebalikan dengan nilai tekanannya. Sebagai contoh, pada permukaan air laut udara mempunyai nilai  $k$  20.000 kali dari nilai  $k$  air.

#### E.4. Viskositas

Viskositas atau kekentalan adalah sifat fluida yang penting yang menunjukkan kemampuan fluida untuk mengalir. Fluida dengan viskositas besar (kental) lebih sulit mengalir dibandingkan dengan fluida dengan viskositas kecil (encer). Viskositas suatu fluida sangat bergantung pada kondisi temperatur. Pada temperatur tinggi fluida gas mempunyai viskositas yang besar, hal ini berkebalikan dengan fluida cair, dengan kenaikan temperatur viskositas zat cair semakin kecil (encer).



Gambar 2.42 Gerak fluida pada fluida yang diam

Apabila suatu fluida diberi tekanan yang akan menggeser bagian fluida setebal  $dy$  dengan kecepatan  $V$  menjadi  $V + dV$ , maka tegangan gesernya akan sebanding dengan perbandingan perubahan kecepatan  $dv$  dengan tebal bagian fluida yang bergeser dikalikan dengan suatu konstanta. Konstanta tersebut dinamakan dengan viskositas (dinamik). Adapun besar gaya yang diperlukan untuk menggeser bagian fluida adalah:

$$F = \tau A = \mu A \frac{dV}{dy}$$

$$\frac{F}{A} = \tau = \mu \frac{dV}{dy}$$

Jadi besar gaya persatuan luas untuk menggeser fluida sebanding dengan konstanta viskositas dikalikan dengan gradien kecepatannya. Gaya akan semakin besar apabila kostanta viskositas besar. Jadi dapat disimpulkan bahwa kostanta tersebut adalah suatu tahanan fluida untuk mengalir (bergeser kontinyu). Semakin besar tahanan semakin sulit untuk mengalir, sebaliknya semakin kecil tahanan, akan fluida mudah mengalir.

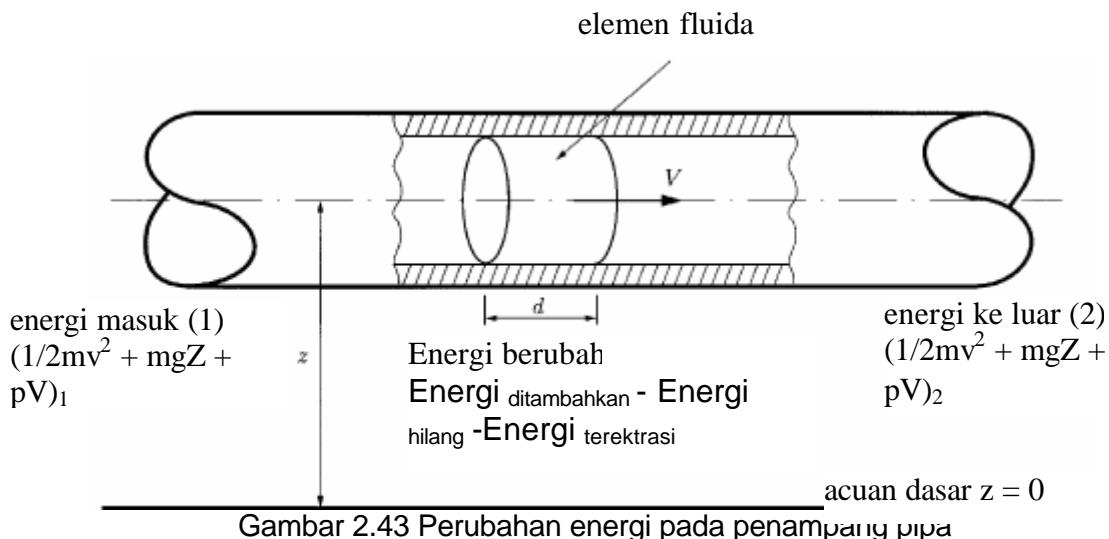
Apabila nilai viskositas suatu fluida dibagi dengan nilai massa jenisnya akan ketemu besaran yang sering disebut dengan viskositas kinematik. Adapun perumusan viskositas kinematik adalah sebagai

$$\text{berikut : } v = \frac{\mu}{\rho}$$

## E.5. Aliran fluida dalam pipa dan saluran

### E.5.1. Persamaan dasar Bernoulli

Fluida cair (takmampumampat) yang mengalir melalui suatu penampang sebuah pipa dan saluran apabila diabaikan faktor viskositi (fluida non viskositas) akan memenuhi hukum yang dirumuskan oleh Bernoulli. Perumusan tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut :



Gambar 2.43 Perubahan energi pada penampang pipa

$$\text{Energi masuk} + \text{Energi berubah} = \text{Energi ke luar}$$

$$\text{Energi berubah} = \text{Energi ditambahkan} - \text{Energi hilang} - \text{Energi terektrasi}$$

Apabila Energi terekstrasi = 0

Maka persamaan energi dapat disederhanakan menjadi

$$\text{Energi masuk} + \text{Energi berubah} = \text{Energi ke luar}$$

$$\text{Energi masuk} + \text{Energi hilang} = \text{Energi ke luar}$$

$$\text{Energi masuk} = (EK + EP + EA)_1$$

$$\text{Energi masuk} = \left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_1$$

$$\text{Energi ke luar} = (EK + EP + EA)_2$$

$$\text{Energi ke luar} = \left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_{2_1}$$

$$\text{Energi hilang} = E_{\text{los}}$$

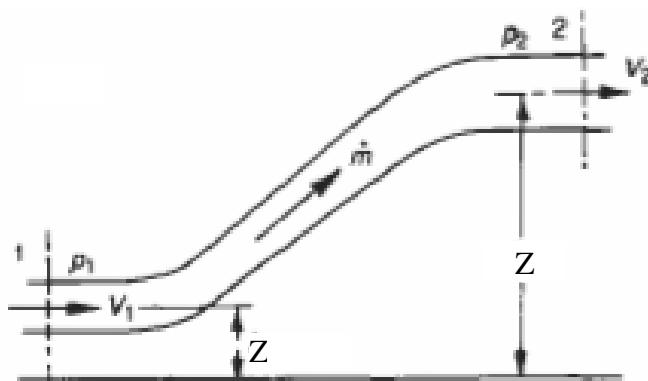
$$\text{Energi ditambahkan} = E_{\text{ad}}$$

Persamaan Bernoulli djabarkan sebagai berikut :

$$\left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_1 + E_{\text{ad}} - E_{\text{los}} = \left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_{2_1}$$

$$\left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_1 + E_{\text{ad}} = \left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_{2_2} + E_{\text{los}}$$

Apabila penampang saluran pipa dianggap permukaan sempurna sehingga tidak ada gesekan antara aliran fluida cair dengan permukaan pipa dan tidak ada energi yang ditambahkan maka persamaan Bernoulli dapat disederhanakan menjadi:



Gambar 2.44 Profil aliran fluida

Energi masuk = Energi ke luar

$$(EP + EK + PV)_1 = (EP + EK + PV)_2$$

$$\left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_1 = \left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_2$$

dibagi dengan m (Nm)

$$\left( gZ + \frac{v^2}{2} + \frac{pV}{m} \right)_1 = \left( gZ + \frac{v^2}{2} + \frac{pV}{m} \right)_2$$

$$\left( gZ + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right)_1 = \left( gZ + \frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} \right)_2 \quad \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

dibagi dengan  $g$  menjadi bentuk persamaan "head" (m)

$$\left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_1 = \left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_2 \quad \text{dengan } \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

dikalikan dengan  $gZ$  menjadi bentuk tekanan N/m<sup>2</sup>

$$\left( \rho gZ + \rho \frac{v^2}{2} + p \right)_1 = \left( \rho gZ + \rho \frac{v^2}{2} + p \right)_2$$

### E.5.2. Energi "Head"

Pada persamaan Bernoulli di atas sering dalam bentuk persamaan energi "Head".. Head adalah bentuk energi yang dinyatakan dalam satuan panjang "m" (SI). Head pada persamaan di atas terdiri dari head ketinggian "Z", head kecepatan " $v^2/2g$ ", dan head tekanan " $\frac{p}{\rho g}$ ". Head ketinggian menyatakan energi potensial yang dibutuhkan untuk mengangkat air setinggi "m" kolom air. Head kecepatan menyatakan energi kinetik yang dibutuhkan untuk mengalirkan air setinggi "m" kolom air. Yang terakhir, head tekanan adalah energi aliran dari "m" kolom air yang mempunyai berat sama dengan tekanan dari kolom "m" air tersebut.

### E.5.3. Modifikasi Persamaan dasar Bernoulli

Apabila penampang pipa di atas bukan permukaan sempurna sehingga terjadi gesekan antara aliran fluida dengan permukaan pipa maka persamaan energi menjadi:

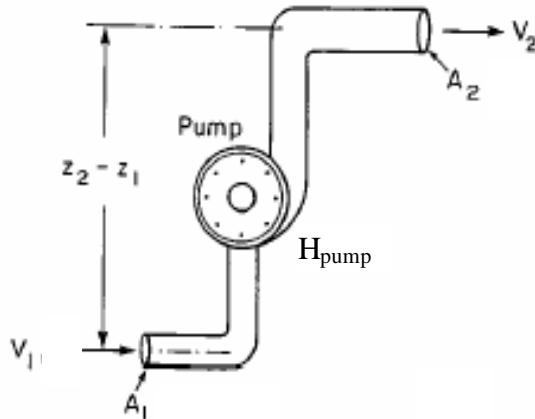
$$\left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_1 = \left( \frac{mV^2}{2} + mgZ + pV \right)_2 + E_{los}$$

Dalam bentuk head

$$\left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_1 = \left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_2 + H_{los}$$

$H_{los}$  = kerugian aliran karena gesekan (*friction*)

Apabila pada penampang saluran ditambahkan energi seperti pada gambar.



Gambar 2.45 Penambahan energi pompa ke aliran

Pompa akan memberikan energi tambahan pada aliran fluida sebesar  $Z_{ad}$ , sehingga persamaan menjadi :

$$\left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_1 + H_{ad} = \left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_2 + H_{los}$$

$$\left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_1 + H_{pumpa} = \left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_2 + H_{los} \quad H_{pumpa} = H_{ad}$$

#### E.5.4 Persamaan kontinuitas

Fluida yang mengalir melalui suatu penampang akan selalu memenuhi hukum kontinuitas yaitu laju massa fluida yang masuk  $\dot{m}_{masuk}$  akan selalu sama dengan laju massa fluida yang ke luar  $\dot{m}_{keluar}$ , persamaan kontinuitas adalah sebagai berikut :

$$\dot{m}_{masuk} = \dot{m}_{keluar}$$

$$(\rho A V)_1 = (\rho A V)_2 \quad \dot{m}_{masuk}$$



Gambar 2.46 Profil saluran fluida

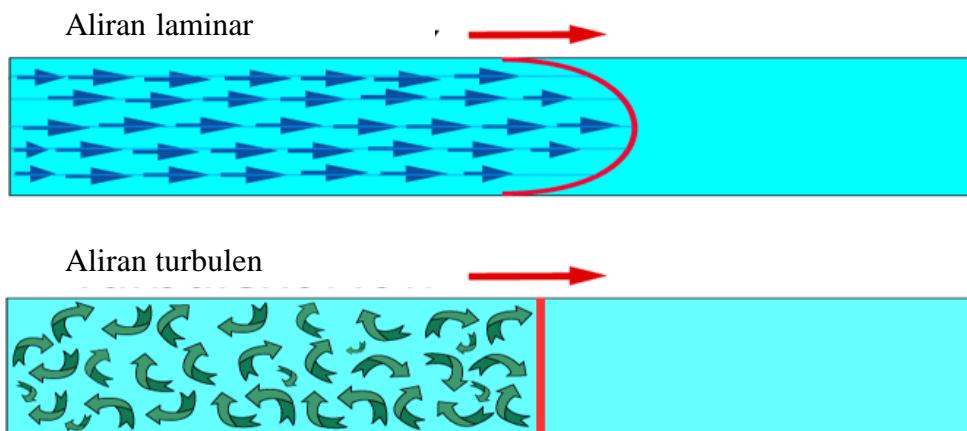
untuk fluida cair (takmampumampat)  $\rho_1 = \rho_2$

$$(AV)_1 = (AV)_2$$

## E.6 Kondisi aliran fluida cair

### E.6.1 Aliran laminar dan aliran turbulen

Secara garis besar kondisi aliran fluida cair pada penampang sebuah saluran dibagi menjadi tiga kondisi yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Pada aliran laminar zat cair mengalir sangat tenang, kecepatan aliran lambat. Apabila kecepatan fluida dinaikkan, aliran zat cair mulai sedikit bergerak. Untuk selanjutnya kecepatan fluida cair dinaikkan terus sehingga aliran fluida sangat bergerak dan sangat tidak teratur, timbul bunyi riak air yang saling bertumbukan. Kondisi aliran juga sangat dipengaruhi oleh kondisi permukaan penampang saluran (kekasarannya). Pada gambar menunjukkan gambaran kondisi aliran zat cair pada penampang pipa.



Gambar 2.47 Pola aliran Laminar dan turbulen

### E.6.2 Angka Reynolds

Kondisi aliran fluida akan sangat bergantung dari kecepatan aliran fluida, semakin tinggi kecepatan akan mempengaruhi pola aliran, kondisi aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen. Besaran yang dapat menghubungkan antara kecepatan aliran ( $v$ ), kondisi fluida ( $\rho, \mu$ ), dan kondisi penampang diameter pipa ( $D$ ) adalah angka Reynold (Re). Perumusannya adalah sebagai berikut :

$$Re = \rho \frac{vD}{\mu}$$

Angka Reynold akan mewakili kondisi aliran, untuk angka Reynold :

$Re < 2000$  Aliran Laminar

$2000 < Re < 3500$  Aliran Transisi

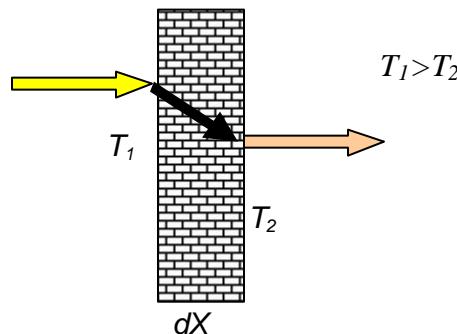
### C. Perpindahan Panas

Kalor merupakan suatu bentuk energi yang dapat pindah dari suatu tempat ke tempat lain. Perpindahan kalor melalui tiga cara yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

#### C.1 Konduksi

Apabila sebatang besi berbentuk balok kemudian diletakkan di suatu tempat, kemudian dipanasi salah satu sisi dari balok besi tersebut, maka dalam waktu tertentu sisi yang lain dari balok akan panas. Dari peristiwa tersebut dapat dikatakan bahwa kalor berpindah dari satu sisi balok besi ke sisi yang lain melalui proses konduksi. Jadi konduksi adalah proses perpindahan kalor melalui suatu zat tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut.

Adapun perumusannya adalah sebagai berikut



$$T_1 > T_2$$

$$\dot{Q} = kA \frac{dT}{dx}$$

dengan  $\dot{Q}$  = laju aliran kalor dal J/s

$k$  = adalah konduktivitas termal bahan dalam J/msK

$A$  = luas permukaan dalam  $m^2$

$dT/dX$  = adalah gradien suhu

Gambar 2.48 Perpindahan kalor konduksi pada sebuah plat

#### C.2. Konveksi

Proses pendidihan air di dalam suatu bejana apabila kita panasi akan terjadi aliran air dari bagian bawah bejana yang kena panas menuju permukaan kemudian air yang dingin dipermukaan turun ke dasar bejana, peristiwa tersebut terus-menerus sampai semua air di dalam bejana menjadi panas dan kemudian mendidih. Perpindahan kalor dengan cara demikian disebut dengan konveksi. Jadi konveksi adalah proses perpindahan kalor melalui suatu zat yang disertai dengan perpindahan partikel-partikel zat tersebut. Perumasananya adalah:

$$\dot{Q} = h.A.\Delta T$$

dengan  $\dot{Q}$  = laju aliran kalor dal J/s

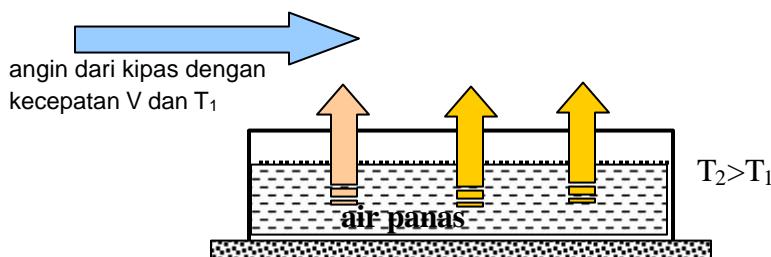
$h$  = koefesien konveksi dalam  $J/s^4 \cdot m^2 \cdot K^4$

$\Delta T$  = perbedaan suhu yang dipanasi K

A = luas permukaan dalam  $m^2$

Perpindahan kalor konveksi ada dua yaitu:

1. **Konveksi Alamiah.** Proses pemanasan air dalam bejana, atau ketel. Air yang kena panas menjadi lebih ringan sehingga naik ke permukaan digantikan oleh air yang dingin yang lebih berat.
2. **Konveksi Paksa.** Proses pendinginan pada radiator mobil akan lebih cepat kalau dipasang kipas



Gambar 2.49 Proses penguapan dan pelepasan panas

### C.3. Radiasi

Ruangan yang tertutup dari lingkungan dan diisolasi dengan kaca tembus cahaya sehingga tidak ada panas masuk melalui konduksi dan konveksi, tetapi terjadi kenaikan temperatur di dalam ruangan, kenaikan temperatur tersebut karena terjadi perpindahan panas radiasi matahari. Perumusannya adalah sebagai berikut:

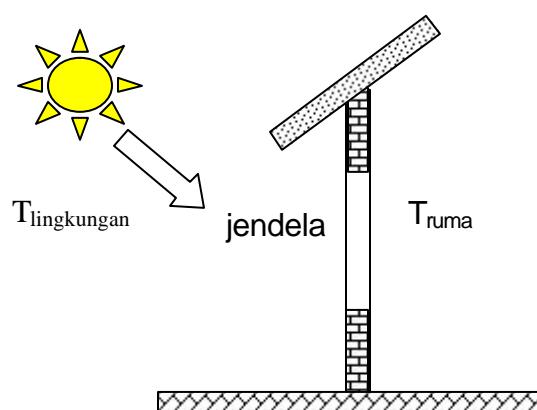
$$\dot{Q} = \sigma A \Delta T^4$$

dengan  $\dot{Q}$  = laju aliran kalor dal J/s

$\sigma$  = konstanta dalam  $J/s \cdot m^2 \cdot K^4$

A = luas permukaan dalam  $m^2$

$\Delta T$  = perbedaan suhu yang dipanasi K



Gambar 2.50 Proses perpindahan kalor radiasi pada jendela rumah

#### D. Bahan Bakar

Proses konversi energi sebagai usaha untuk menghasilkan energi berguna yang langsung dapat dipakai manusia dapat melalui cara yang beragam. Syarat terjadi proses konversi energi: pertama, harus ada sumber energi yang harus dikonversi; kedua, ada alat atau mesin sebagai tempat proses konversi. Apabila kedua syarat terpenuhi proses konversi energi akan berlangsung.

Dari keterangan di atas, dapat dinyatakan bahwa sumber energi adalah syarat pertama proses konversi. Sebagai contoh, salah satu dari sekian banyak sumber energi adalah bahan bakar. Adapun definisi dari bahan bakar adalah material, zat atau benda yang digunakan dalam proses pembakaran untuk menghasilkan energi panas. Jadi bahan bakar adalah salah satu sumber energi yang penting. Untuk menghasilkan energi yang dapat dimampatkan bahan bakar harus melalui proses pembakaran. Tanpa proses pembakaran energi tidak dapat diambil dari bahan bakar.

Dalam pemanfaatan sumber energi, khususnya bahan bakar sekarang ini, selalu ada dua hal yang menjadi perhatian utama yaitu ketersediaannya di alam dan efek samping proses konversi ke lingkungan. Adapun alasan dari dua hal tersebut adalah, pertama kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat, hal ini dapat dilihat dari volume penggunaan energi per harinya sudah besar. Alasan yang kedua adalah kondisi lingkungan yang semakin kritis dengan adanya pemanasan global. Untuk isu pemanasan global sekarang ini sedang dicari solusinya untuk mencegah dan mengembalikan ke keseimbangan sistem alam. Adapun proses pembakaran merupakan salah satu yang dianggap sebagai penyumbang pemanasan global, khususnya dari proses pembakaran bahan bakar fosil yang banyak menghasilkan polutan yang merusak lingkungan.

Dari faktor ketersediaanya di alam, bahan bakar dibagi menjadi dua kategori yaitu bahan bakar yang dapat diperbaharui (*renewable energi*) dan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui. Teknologi yang berkembang pesat adalah mesin-mesin yang mengkonversi sumber energi habis pakai. Saat ini sedang banyak dikembangkan teknologi konversi energi yang dapat diperbaharui. Karena kebergantungan masyarakat yang tinggi dengan ditunjang teknologi yang sudah maju, ketersediaannya sumber energi habis pakai di alam mulai kritis untuk beberapa tahun kemudian. Di bawah ini adalah data ketersediaan bahan bakar di alam.

Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa ketersediaan bahan bakar fosil di alam sudah semakin habis sehingga harus dicari sumber energi lain

yang masih banyak tersedia di alam yaitu bahan bakar nuklir. Disamping itu juga perlu dikembangkan teknologi yang dapat mengkonversi energi yang tidak habis pakai, seperti energi air, energi matahari, energi angin dan energi dari bahan organik atau yang dikenal dengan biomassa. Kelompok energi yang terakhir disebutkan adalah sumber energi yang paling ramah lingkungan karena tidak menghasilkan zat-zat polutan yang masuk ke lingkungan.

**Tabel 2.1 Ketersedian bahan bakar habis pakai**

Bahan bakar	Jenis	Energi (Q) $\times 10^{18}$ Joule
Fosil	Batu bara	32
Fosil	Minyak dan gas bumi	6
Fisi (nuklir)	Uranium dan torium	600
Fusi (nuklir)	Denterium	10 <sup>0</sup>

Pada industri bahan bakar yang digunakan mensyaratkan beberapa hal yaitu ketersediannya banyak, mudah dikelola, murah, nilai kalor tinggi dan yang paling penting adalah energi berguna yang dihasilkan per massa bahan bakarnya harus tinggi. Untuk kepentingan tersebut industri tinggal menghitung efisiensi penggunaan jenis bahan-bakar. Adapun jenis bahan-bakar yang dapat digunakan dalam industri adalah:

1. Bahan-bakar padat
2. Bahan-bakar cair
3. Bahan-bakar gas

Sebagai contoh penggunaan bahan bakar pada industri yaitu pada pusat pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pada pembangkitan ini digunakan sistem pembakitan uap dengan boiler dimana air diuapkan. Pada proses penguapan dibutuhkan energi panas dari proses pembakaran. Ketiga jenis bahan-bakar yang telah disebutkan di atas dapat digunakan untuk proses pembakaran. Contoh lain adalah pusat pembakitan listrik dengan turbin gas (PLTG). Untuk mesin turbin gas, ketiga jenis bahan bakar di atas juga dapat digunakan semua, bergantung pada perangkat mesin yang dipakai. Namun secara umum pemilihan bahan bakar yang akan digunakan adalah dengan pertimbangan kemampuan mesinnya sehingga untuk bahan bakar yang dipilih diperoleh energi berguna yang besar dengan efisiensi tinggi.

#### **D.1. Penggolongan bahan bakar**

Seperti yang telah disebutkan diatas, jenis bahan bakar dilihat dari bentuk fisiknya terdiri dari bahan bakar padat, cair dan gas. Jika dilihat dari ketersediaannya di alam, terdiri dari bahan bakar habis pakai dan bahan bakar tidak habis pakai. Disamping penggolongan bahan bakar berdasarkan bentuk fisik dan ketersediaannya, dapat juga digolongkan berdasar asalnya, yaitu:

1. Bahan bakar fosil.

2. Bahan bakar mineral
3. Bahan bakar nabati atau organik

Hingga saat ini bahan bakar yang paling sering dipakai adalah bahan bakar mineral cair dan fosil. Sebut saja bensin dan solar untuk bahan bakar mineral yang banyak digunakan untuk bahan bakar mesin motor bakar. Bahan-bakar fosil lain yang banyak digunakan adalah batu bara. Batu bara banyak digunakan untuk proses pembakaran pada dapur-dapur boiler pada mesin tenaga uap.

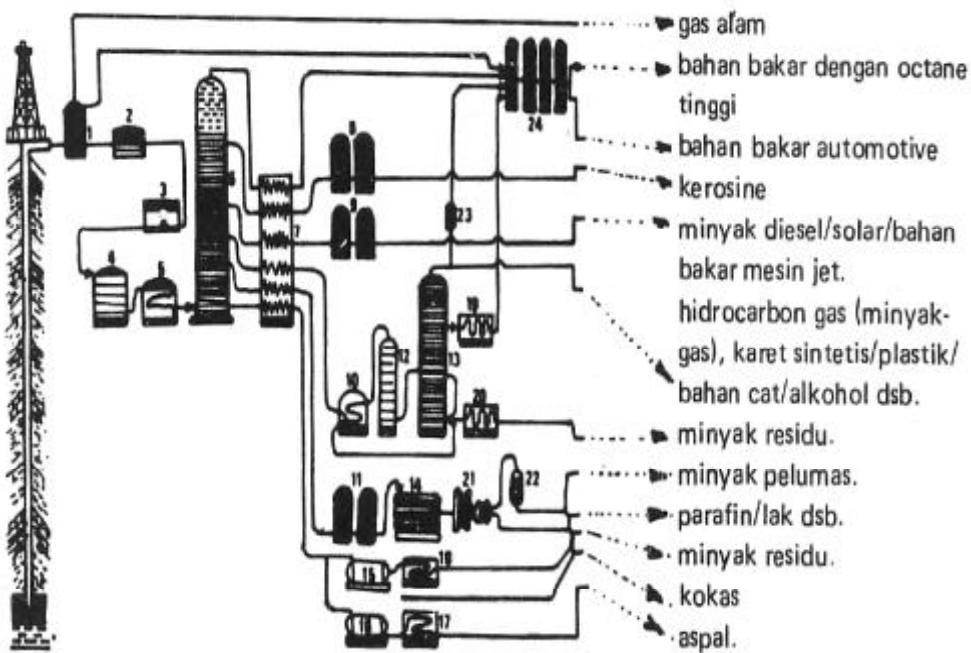
Setiap bahan bakar memiliki karakteristik dan nilai pembakaran yang berbeda-beda. Karakteristik inilah yang menentukan sifat-sifat dalam proses pembakaran, dimana sifat yang kurang menguntungkan dapat disempurnakan dengan jalan menambah bahan-bahan kimia ke dalam bahan bakar tersebut. Sebagai contoh, batu bara nilai kalornya sangat bervariasi bergantung kandungan karbonnya. Dengan alasan tersebut, sekarang banyak metode yang digunakan untuk menaikkan nilai kalor batu bara dengan proses penambahan kandungan karbon atau dengan cara pengurangan unsur-unsur pengotornya. Untuk bahan bakar cair, khususnya bensin atau solar biasanya ditambahkan bahan-bahan aditif dengan harapan akan mempengaruhi daya anti *knocking* atau daya letup dari bahan bakar, dan dalam hal ini menunjuk apa yang dinamakan dengan bilangan oktan (*octane number*) atau angka cetan pada solar. Proses pembakaran bahan bakar dalam motor bensin atau mesin pembakaran dalam sangat di pengaruhi oleh bilangan tersebut.

## D.2. Bahan-bakar cair

### D.2.1 Karakteristik bahan bakar cair minyak bumi

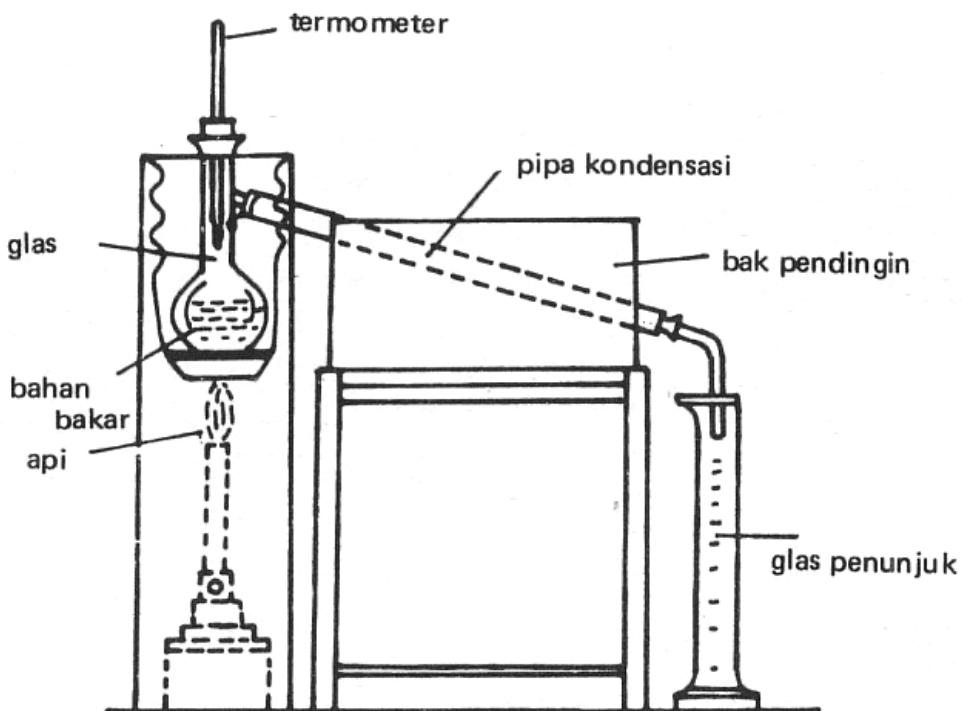
Bahan bakar cair adalah bahan bakar mineral cair yang diperoleh dari hasil tambang pengeboran sumur minyak bumi, dan hasil kasar yang diperoleh disebut dengan minyak mentah atau *crude oil*. Hasil dari pengolahan minyak mentah ini akan menghasilkan bermacam bahan bakar yang memiliki kualitas yang berbeda-beda. Di banyak negara, termasuk Indonesia, minyak merupakan bahan bakar yang telah lama dipakai oleh masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Sebelumnya, lebih banyak digunakan istilah minyak tanah, yang artinya minyak yang dihasilkan dari dalam tanah.

Minyak bumi merupakan bahan-bakar utama sejak pertama kali ditemukan. Laju pemakaiannya sejalan dengan perkembangan teknologi. Untuk memperoleh bahan bakar yang siap pakai seperti bensin, solar, minyak tanah dan lainnya, minyak bumi harus melalui proses pengolahan terlebih dahulu.



Gambar 2.51 Proses pengolahan minyak bumi

Minyak bumi mentah banyak mengandung senyawa gabungan dari hidrogen dan karbon. Unsur yang dapat terbakar adalah karbon dan hidrogen sedangkan yang lainnya adalah pengisi, seperti belerang, oksigen, dan nitrogen. Pengoperasian fisik dari kilang minyak seperti: penguapan, penggesekan, dan pendinginan untuk menentukan jenis hidrokarbon yang besar karena dalam material tersebut merupakan bagian yang penting dalam minyak, tetapi pengoperasian secara kimiawi, seperti: pengilangan dan penyaringan, hal ini dilakukan untuk mengelompokkan senyawa belerang, oksigen dan nitrogen, dengan metode yang sama seperti sejumlah hidrokarbon aktif untuk menyediakan senyawa-senyawa tersebut. Yang perlu mendapat perhatian adalah senyawa belerang yang dalam proses pembakaran sangat korosif terhadap material logam. Dengan alasan tersebut, kandungan belerang pada minyak cair harus diminimalkan atau dihilangkan sama sekali. Namun terkadang dengan adanya belerang efek pelumasan dari minyak cair tersebut adalah baik, khususnya untuk aplikasi pada motor dua langkah.



Gambar 2.52 Proses destilasi bahan-bakar cair

### D.2.2. Macam-macam bahan-bakar minyak

**Bensin** adalah hasil dari pemurnian neptha yang komposisinya dapat digunakan untuk bahan bakar pada motor bakar. Yang disebut dengan neptha adalah semua minyak ringan dengan komposisi karbon yang sedang yaitu 5 sampai 11 ikatan tak jenuh. Neptha berbentuk cairan dengan karakteristik di antara bensin dan kerosin. Bensin berasal dari kata *benzana*, lazim sebenarnya zat ini berasal dari gas tambang yang mempunyai sifat beracun, dapat bereaksi dengan mudah terhadap unsur- unsur lain. Bentuk ikatan adalah rangkap, dan senyawa molekulnya disebut alkina. Bahan bakar jenis ini biasa disebut dengan kata lain *gasoline*. Bensin pada dasarnya adalah persenyawaan jenuh dari hidro karbon, dan merupakan komposisi *isoctane* dengan *normal-heptana*, senyawa molekulnya tergolong dalam kelompok senyawa hidrokarbon *alkana*.

Proses pembuatan bensin yang digunakan pada motor bakar melalui beberapa cara, tetapi prinsipnya sama yaitu mendestilasi hidrokarbon pada suhu  $100^{\circ}$  F dan campuran tersebut terdiri dari :

1. *Straight run nephta* yaitu minyak bumi yang mendidih sampai suhu  $400^{\circ}$  F.
2. *Reformed Nephta* yaitu hasil yang sama volatilenya, diperoleh dengan pengolahan termis atau dengan dehidrogenisasi katalisasi dari nephta yang berat.
3. *Cracked nephta* produk yang sama volatilnya, diperoleh dengan proses termis atau katalis dari destilasi sedang seperti minyak gas
4. *Casing head gasoline*, gasolin yg diperoleh sebagai hasil dari proses destilasi kering natural gas.

Karakteristik bahan bakar bensin adalah mudah sekali menguap dan terbakar. Dengan karakteristik tersebut bensin dalam proses pembakaran dalam ruang bakar sangat mudah meledak (detonasi) yang cenderung tidak terkontrol pada kondisi temperatur dan tekanan tinggi. Karakteristik bensin ditunjukkan oleh suatu bilangan yang menunjukkan kemampuan bensin terhadap detonasi yang disebut dengan angka oktan. Jadi kualitas bensin dinyatakan dengan angka oktan, atau *octane number*. Angka oktan adalah persentase volume *isoctane* di dalam campuran antara *isoctane* dengan *normal heptane* yang menghasilkan intensitas *knocking* atau daya ketokan dalam proses pembakaran ledakan dari bahan bakar yang sama dengan bensin yang bersangkutan. *Isooctane* sangat tahan terhadap ketokan atau dentuman yang diberi angka oktan 100, *heptane* yang sangat sedikit tahan terhadap dentuman di beri bilangan 0. Pada motor percobaan, bermacam-macam bensin dibandingkan dengan campuran *isoctane* dan *normal heptane* tersebut. Bilangan oktan untuk bensin adalah sama dengan banyaknya persen *isoctane* dalam campuran itu. Pada gambar 2.53 adalah mesin uji angka oktan (CFR cooperative fuel research), pada mesin uji ini rasio kompresi dapat divariasi pas dengan yang diperlukan.

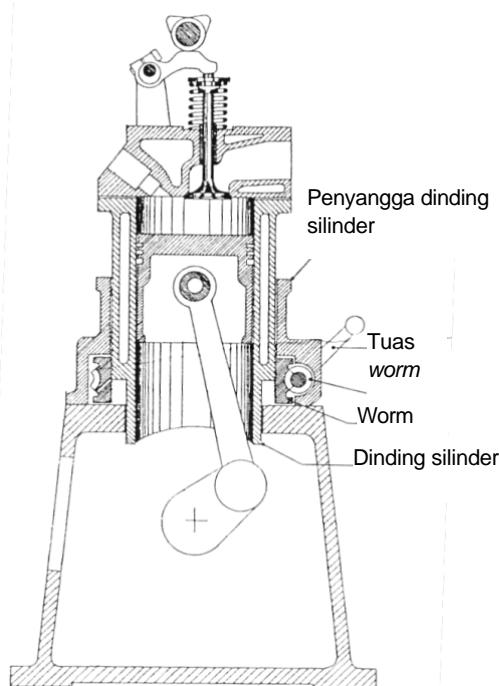
Semakin tinggi ON bahan bakar menunjukkan daya bakarnya semakin tinggi. Bensin yang ada di pasaran dikenal tiga kelompok: (1) *Regular-grade*, (2) *Premium-grade*, dan (3) *Third-grade Gassoline*. Adapun di Indonesia, Pertamina mengelompokkannya menjadi : bensin, premium, aviation gas dan super 98.

**Solar** adalah bahan bakar minyak hasil sulingan dari minyak bumi mentah, bahan bakar ini mempunyai warna kuning coklat yang jernih. Adapun sifat-sifat minyak solar yang lain adalah sebagai berikut.

1. Tidak berwarna atau berwarna kuning muda dan berbau.
1. Tidak mudah menguap dan pada temperatur normal tidak menguap.
2. Titik nyala atau temperatur minimum mulai terbakar bila di dekat api adalah  $40^{\circ}$  sampai  $100^{\circ}$  C, jika dibandingkan dengan bensin

yaitu sekitar  $10-15^{\circ}$  C, angka ini cukup tinggi dan aman untuk pemakaian.

3. Temperatur nyala atau *flash point* (temperatur dimana bahan bakar menyala dengan sendirinya tanpa pengaruh dari luar) adalah  $350^{\circ}$  (lebih rendah dari temperatur nyala bensin  $380^{\circ}$  C).



Gambar 2.53 Mesin uji nilai oktan CFR

Bahan-bakar solar yang baik adalah mempunyai titik nyalanya rendah atau mudah menyala, viskositasnya tepat, tidak terlalu kental, mudah menguap dan mengandung belerang yang rendah.

Minyak solar merupakan hasil dari pengolahan minyak bumi sama dengan bensin. Minyak solar ini biasanya digunakan sebagai bahan bakar pada semua jenis motor diesel dan juga sebagai bahan bakar untuk pembakaran langsung di dalam dapur-dapur kecil yang menghindaki hasil pembakaran yang bersih. Minyak ini sering disebut juga sebagai gas oil, ADO, HSD, atau Dieseline. Pada temperatur biasa, artinya pada suhu kamar tidak menguap, dan titik nyalanya jauh lebih tinggi daripada bahan bakar bensin.

Kualitas solar dinyatakan dengan angka setane atau *cetane number (CN)*. Bilangan setane yaitu besar persentase volume *normal cetane* dalam campurannya dengan *methyl/naphthalene* yang menghasilkan karakteristik pembakaran yang sama dengan solar yang bersangkutan

Secara umum solar dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (1) *Light Diesel Fuel (LDF)* mempunyai CN = 50, (2) *Medium Diesel Fuel (MDF)* mempunyai CN = 50, dan (3) *Heavy Diesel Fuel (HDF)* mempunyai CN = 35.

LDF dan MDF sering dikatakan sebagai solar no.1 dan 2. Perbedaan kedua jenis solar ini terletak pada efek pelumasannya saja. LDF dalam hal ini lebih encer, jernih, dan ringan, sedang MDF lebih gelap, berat, dan dalam pemakaiannya pada motor bakar diperlukan syarat-syarat khusus.

Minyak bensin dan solar seperti yang telah diuraikan di atas adalah minyak dengan kualitas prima, tetapi hanya cocok secara ekonomis diaplikasikan pada motor bakar saja. Untuk keperluan instalasi daya pembangkitan dan untuk pemakaian di industri, penggunaan bensin dan solar sangat tidak efisien. Sebagai penggantinya dipilih bahan bakar yang lebih murah namun ketersediaanya berlimpah. Salah satunya adalah **minyak bakar**. **Minyak bakar** adalah bahan bakar yang bukan berasal dari hasil penyulingan, tetapi jenis residu. Minyak ini mempunyai tingkat kekentalan yang tinggi dan juga titik tuang (*pour point*) yang lebih tinggi dari pada minyak diesel, berwarna hitam gelap. Karena viskositasnya tinggi, minyak bakar sebelum digunakan harus melalui pemanasan awal terlebih dahulu.

Minyak bakar banyak dipergunakan sebagai bahan bakar pada sistem pembakaran langsung dalam dapur-dapur industri yang besar atau pada pusat pembangkitan daya. Adapun pembakaran langsung yang dimaksud adalah pada sistem *eksternal combustion engine* atau mesin pembakaran luar, misalnya: pada mesin uap, mesin turbin gas dapur-dapur baja, dan lain sebagainya. Minyak ini disebut juga sebagai MFO (*Medium Fuel Oil*).

### D.3 Bahan bakar padat

#### D.3.1. Karakteristik bahan bakar padat

Bahan bakar padat merupakan salah satu jenis sumber energi yang sudah lama dipakai, bahkan sejak pertama kali manusia mengenal api. Manusia purba menggunakan ranting pohon dan batang pohon untuk membuat api. Dengan semakin berkembangnya kemajuan teknologi manusia mulai mencari bahan bakar selain kayu dan selanjutnya ditemukan bahan bakar fosil yaitu batu bara.

Dewasa ini batu bara merupakan salah satu sumber energi yang sangat penting. Industri-industri khususnya yang menggunakan tenaga uap sangat bergantung pada batu bara. Ketersedian batu bara di alam masih cukup banyak dibandingkan dengan minyak bumi, sehingga batu bara dapat menjadi pilihan utama di samping bahan bakar nuklir sebagai pengganti minyak bumi.

Batu bara berdasarkan kandungan karbon, zat terbang dan nilai kalorinya secara umum digolongkan menjadi 4 yaitu :

1. Batu-bara **antrasit** adalah batu bara yang kualitasnya paling tinggi dengan kandungan karbon yang tinggi yaitu sekitar 86 sampai 98 %. Antrasit adalah batu bara yang mengkilap, rapat, keras, dan rapuh.
2. Batu bara **bitumin**. Batu-bara ini mempunyai kandungan karbon sekitar 20 sampai 40 %. Batu bara ini banyak terdapat di alam.
3. Batu bara **Subbitumin** adalah batu bara yang sejenis bitumin dengan nilai kalor yang lebih rendah dengan kandungan zat terbang (volatile meter) yang lebih tinggi.
4. Batu bara **lignit** adalah batu bara dengan kualitas paling rendah dengan nilai kalor yang rendah juga.

### D.3.2. Proses pembakaran bahan bakar padat

Proses pembakaran dapat berlangsung apabila bahan bakar bercampur dengan oksidan yaitu oksigen dan pada lingkungan bertemperatur tinggi (ada penyalaan). Bahan bakar padat proses interaksi dengan oksigen akan terlalu lama apabila pada kondisi padat dengan dimensi besar. Untuk keperluan tersebut secara praktis pada industri-industri yang menggunakan batu bara selalu terdapat fasilitas penghacur batu bara menjadi serbuk (*pulvizer*).

Dengan kondisi serbuk batu bara mudah berinteraksi dengan oksigen sehingga dapat tercampur dengan lebih baik sebelum penyalaan. Adapun metode pembakaran bahan bakar padat batu bara yang banyak digunakan adalah sebagai berikut:

1. Stoker mekanik. Sistem ini merupakan sistem yang paling kuno dan masih secara luas digunakan. Adapun prosesnya adalah sebagai berikut. Batu bara diumpulkan melalui feeder ke conveyor mekanik sebagai tempat berlangsungnya proses pembakaran.
2. Pembakaran serbuk dengan tanur silikon. Pada metode ini batubara serbuk diumpulkan dengan pengkabutan melalui burner yang disebut tanur silikon.
3. Pembakaran dengan metode fluidisasi. Batu bara yang akan dibakar diumpulkan dari feeder ke sebuah ruangan tertutup kemudian dari bawah dihembuskan udara bertekanan sehingga serbuk batu bara terangkat seperti fluida gas dengan pembakaran.

# **BAB 3 MEREALISASIKAN KERJA AMAN BAGI MANUSIA, ALAT DAN LINGKUNGAN**

## **A. Keselamatan dan Kesehatan Kerja**

### **A.1 Pendahuluan**

Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan bagian penting yang harus dipahami dan diterapkan dalam dunia kerja, utamanya di dunia industri modern. Di dalam industri modern terdapat berbagai mesin, peralatan, dan proses produksi yang menuntut prosedur tertentu supaya terhindar dari kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Secanggih apapun mesin yang digunakan atau sebesar apapun produksi yang dihasilkan, semua itu tidak ada artinya apabila merugikan manusia atau pekerja. Hal ini didasari pertimbangan bahwa apabila terjadi kecelakaan kerja, terdapat dua kerugian, yaitu kerugian materi dan non materi. Kerugian yang bersifat materi dapat dicari gantinya serta dapat dinilai dengan uang, tetapi kerugian non materi, misalnya cacat, sakit, atau bahkan meninggal dunia, tidak dapat dinilai dengan uang.

Dengan menyadari arti penting keselamatan dan kesehatan kerja tersebut, maka sebelum terjun langsung di dunia kerja, seorang pekerja harus mengetahui rambu-rambu, peraturan-perundangan (regulasi), prosedur penerapan K3, serta teknis penerapan K3 di lapangan. Pada prinsipnya, tujuan utama penerapan K3 adalah agar kita dapat bekerja dengan aman, nyaman, terhindar dari kecelakaan, termasuk ledakan, kebakaran, penyakit akibat kerja, serta pencemaran lingkungan kerja.

### **A.2. Peraturan Perundangan K3**

Terdapat banyak peraturan perundangan yang terkait dengan pelaksanaan keselamatan dan kesehatan kerja. Peraturan perundangan tersebut berupa Undang-Undang, Peraturan Pemerintah, Keputusan Presiden, Keputusan Menteri, Peraturan Menteri serta Surat Edaran Menteri. Hal ini menunjukkan bahwa pemerintah serius dalam menangani K3. Salah satu Undang-Undang yang terkait dengan K3 adalah Undang-

Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan Kerja. Undang-undang ini merupakan pengganti undang-undang tentang K3 pada masa pemerintahan Belanda, yaitu *Veiligheids Reglement* Tahun 1910 (VR 1910 Stbl. 406). UU No. 1 Th. 1970 terdiri dari 11 Bab dan 18 Pasal, dan mulai berlaku sejak 12 Januari 1970.

Undang-Undang lain yang terkait dengan K3 adalah Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan. Undang-undang ini terdiri dari 28 bab dan 193 Pasal, dan mulai berlaku sejak 25 Maret 2003. Walaupun Undang-undang ini banyak mengatur tentang ketenagakerjaan, namun disinggung juga tentang K3, terutama pada Bab X yang berisi tentang Perlindungan, Pengupahan, dan Kesejahteraan. Terkait dengan K3 di bidang pesawat uap dan bejana tekan, terdapat Undang-Undang Uap Tahun 1930 (*Stoom Ordonantie 1930*).

Selain Undang-Undang, terdapat beberapa peraturan yang merupakan penjabaran atau pelaksanaan dari Undang-undang tentang K3. Beberapa peraturan yang terkait dengan K3 di bidang industri yang perlu diketahui antara lain:

- a. Peraturan Uap Tahun 1930 (*Stoom Verordening 1930*).
- b. Peraturan Menteri Perburuhan Nomor 7 Tahn 1964 tentang Syarat-syarat Kesehatan, Kebersihan, dan Penerangan di Tempat Kerja.
- c. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-01/MEN/1980 tentang Pemeriksaan Kesehatan Tenaga Kerja dalam Penyelenggaraan Kesehatan Kerja.
- d. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-01/MEN/1981 tentang Kewajiban Melapor Penyakit Akibat Kerja.
- e. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-03/MEN/1982 tentang Pelayanan Kesehatan Kerja.
- f. Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor: PER-01/MEN/1982 tentang Bejana Tekan.
- g. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-04.MEN/1987 tentang Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja dan Tata Cara Penunjukan, Kewajiban dan Wewenang Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- h. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-02.MEN/1992 Cara Penunjukan, Kewajiban dan Wewenang Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- i. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-04/MEN/1995 tentang Perusahaan Jasa Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- j. Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor: PER-05/MEN/1996 tentang Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- k. Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor: KEP. 13/MEN/1984 Tentang Pola Kampanye Nasional Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

Sebagai penjabaran dari peraturan perundangan di atasnya, terdapat beberapa Peraturan Khusus yang mengatur lebih detail tentang pelaksanaan K3. Beberapa Peraturan Khusus yang perlu diketahui antara lain:

- a. Peraturan Khusus AA  
Peraturan Khusus untuk Pertolongan Pertama pada Kecelakaan.
- b. Peraturan Khusus B  
Peraturan Khusus tentang Instalasi-instalasi Listrik Arus Kuat dalam Pabrik-pabrik, Bengkel-bengkel dan Bangunan-bangunan.
- c. Peraturan Khusus DD  
Peraturan Khusus untuk Bejana-bejana berisi udara yang dikempa dan dipergunakan untuk menggerakkan motor-motor bakar.
- d. Peraturan Khusus FF  
Peraturan Khusus mengenai Perusahaan-perusahaan, Bengkel-bengkel dimana dibuat, dipakai atau dikempa gas di dalabolol baja, silinder atau bejana.
- e. Peraturan Khusus K  
Peraturan Khusus mengenai Pabrik-pabrik dan Tempat-tempat dimana bahan-bahan yang dapat meledak diolah atau dikerjakan
- f. Peraturan Khusus L  
Peraturan Khusus mengenai Usaha-usaha Keselamatan Kerja untuk Pekerjaan-pekerjaan di Tangki-tangki Apung.

Banyaknya peraturan perundangan di atas tidak untuk dihafal, namun sekedar untuk diketahui, dipahami dan selanjutnya dapat diterapkan di lapangan. Untuk mengetahui isinya, para calon tenaga kerja dapat memilih dan membaca peraturan perundangan yang sesuai dengan bidang yang terkait langsung dengan pekerjaannya. Untuk mendapatkan undang-undang dan peraturan tersebut sebagian dapat dibeli di toko buku. Apabila tidak ditemukan di toko buku, dapat ditemui di perpustakaan-perpustakaan atau di dinas/instansi terkait.

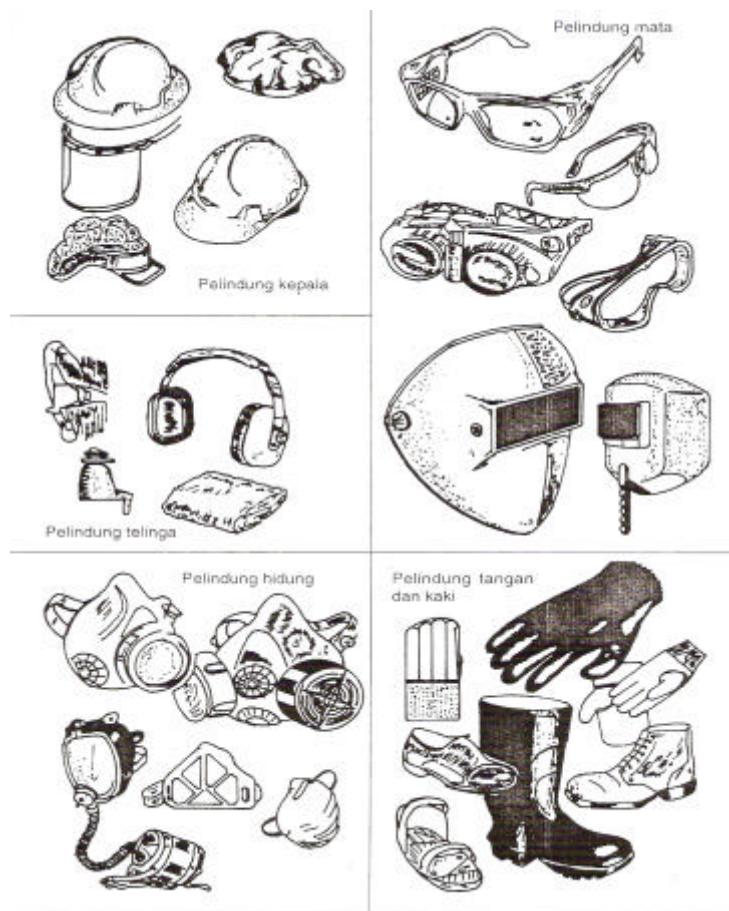
### A.3. Prosedur Penerapan K3

Setelah mengetahui peraturan perundangan tentang K3, yang tak kalah penting adalah menerapkan prosedur K3 di tempat kerja. Bidang pekerjaan maupun tempat kerja bermacam-macam, oleh karena itu masing-masing bidang pekerjaan memerlukan prosedur penerapan K3 yang berbeda. Namun demikian terdapat beberapa prinsip dasar penerapan K3 yang berlaku secara umum. Salah satu aspek yang perlu diketahui adalah pengetahuan tentang alat-alat pelindung diri.

Pemakaian alat pelindung diri atau pekerja perlu disesuaikan dengan jenis pekerjaannya. Misalnya alat pelindung kepala bagi pekerja proyek bangunan dengan operator mesin bubut akan lain, demikian juga kaca

mata bagi operotor mesin bubut tentu lain dengan kaca mata bagi operator las. Secara umum, berbagai alat pelindung diri bagi pekerja meliputi:

- a. Alat pelindung kepala (berbagai macam topi, helm)
- b. Alat pelindung muka dan mata (berbagai jenis kaca mata)
- c. Alat pelindung telinga (berbagai macam tutup telinga)
- d. Alat pelindung hidung (berbagai macam masker)
- e. Alat pelindung kaki (berbagai macam sepatu)
- f. Alat pelindung tangan (berbagai macam sarung tangan)
- g. Alat pelindung badan (apron, wearpack, baju kerja)



Gambar 3.1.Berbagai macam alat pelindung diri

Biasanya tiap perusahaan/industri mempunyai model, warna pakaian kerja, serta alat pelindung diri lain yang sudah ditentukan oleh masing-masing perusahaan. Seorang pekerja tinggal mengikuti peraturan pemakaian pakaian kerja serta alat pelindung diri yang sudah ditentukan perusahaan.

Perlu mendapatkan penekanan adalah kesadaran dan kedisiplinan pekerja untuk memakai pakaian dan alat-alat perlindung diri tersebut. Kadang-kadang pekerja enggan memakai alat perlindung diri karena merasa kurang nyaman atau tidak bebas. Hal ini dapat berakibat fatal. Pekerja tidak menyadari akibat atau dampak yang terjadi apabila terjadi kecelakaan kerja. Contoh sederhana adalah pemakaian helm bagi pengendara sepeda motor, mereka memakai helm apabila ada polisi saja. Padahal pemakaian helm adalah demi keselamatan mereka sendiri.

#### A 4. Penerapan K3 Bidang Pesawat Uap dan Bejana Tekan

Terkait dengan materi buku ini yang banyak mengulas tentang mesin-mesin konversi energi, utamanya tentang pompa, kompresor dan ketel uap, maka pembahasan tentang K3 dipilih yang berhubungan dengan pesawat uap dan bejana tekan. Berdasarkan Undang-Undang Uap Tahun 1930 pasal 12, pesawat uap harus dilengkapi dengan alat pengaman yang disesuaikan dengan penggolongan ketel uapnya. Dengan adanya alat pengaman, maka pesawat ketel uap yang dioperasikan akan aman bagi operator maupun lingkungannya.

Perlengkapan ketel uap seperti yang disyaratkan dalam Undang Undang Uap terdiri dari:

- a. Katup Pengaman (*Safety Valve*)  
Alat ini berfungsi untuk menyalurkan tekanan yang melebihi kapasitas tekanan ketel. Apabila tidak ada katup pengaman, ketel dapat meledak karena adanya tekanan lebih yang tidak mampu ditahan ketel.
- b. Manometer (*Pressure Gauge*)  
Alat ini berfungsi untuk mengetahui tekanan yang ada dalam ketel uap dan tekanan kerja yang diijinkan dari ketel uap harus dinyatakan dengan garis merah.
- c. Gelas Praduga (*Water Level*)  
Alat ini berfungsi untuk mengetahui kedudukan permukaan air dalam ketel uap.
- d. Suling Tanda bahaya  
Alat ini berfungsi untuk memberi isyarat suara apabila air di dalam ketel melampaui batas terendah yang ditentukan.
- e. Keran Pembuang (*Blow Down*)  
Alat ini berfungsi untuk mengeluarkan kotoran berupa lumpur, lemak, dan kotoran lain dari dala ketel. Yang perlu diperhatikan adalah pada waktu membuka keran ini, ketel pada kondisi tekanan dan suhu yang sudah rendah serta pembukaan dilakukan secara perlahan-lahan.
- f. Lubang Pembersih

Lubang pembersih berguna bagi petugas pemeriksa/pembersih ketel uap dalam membersihkan atau mengeluarkan kotoran-kotoran dari dalam ketel.

g. Plat Nama

Plat nama berbentuk persegi panjang ukuran 140 x 80 mm dan harus dipasang pada ketel yang berguna untuk mengetahui data yang ada pada ketel uap.

Selain perlengkapan pengaman di atas, yang tak kalah penting untuk diperhatikan adalah pemeliharaan dan pengawasan pesawat uap pada waktu operasional. Hal ini untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan atau kecelakaan kerja. Apabila sampai terjadi gangguan atau kecelakaan kerja, kerugian yang timbul antara lain: a) Terganggunya proses produksi, b) Produktivitas menurun, c) Kualitas produksi jelek/tidak sesuai standar, d) Hilangnya waktu kerja, e) Biaya perbaikan pesawat, dan f) Kerugian bagi pekerja yang tertimpa kecelakaan (sakit, cacat, dan meninggal dunia).

Menyadari dampak yang timbul akibat gangguan atau kecelakaan kerja tersebut, maka penting untuk diperhatikan perlengkapan K3 bagi seorang pekerja, baik menyangkut pekerja, mesin dan peralatan, maupun lingkungan tempat kerja.

Kecelakaan atau bahaya yang mungkin timbul dari pesawat uap dan bejana tekan bermacam-macam, antara lain:

- a. Semburan api, air panas, uap, gas dan fluida lain
- b. Debu berbahaya
- c. Pencemaran lingkungan berupa asap/gas berbahaya
- d. Sentuhan listrik
- e. Kebakaran
- f. Ledakan
- g. Gangguan kesehatan
- h. Dan lain-lain.

Kecelakaan (*accident*) di atas dapat timbul karena beberapa hal, antara lain:

- a. Konstruksi yang salah atau tidak memenuhi syarat
- b. Tidak dilengkapi alat pengaman, atau terdapat alat pengaman tetapi tidak berfungsi dengan baik
- c. Pemeriksaan yang tidak teliti
- d. Proses kerja yang tidak normal/tidak sesuai prosedur
- e. Pelayanan yang tidak sesuai prosedur

f. Terdapat cacat konstruksi pada saat pengoperasian

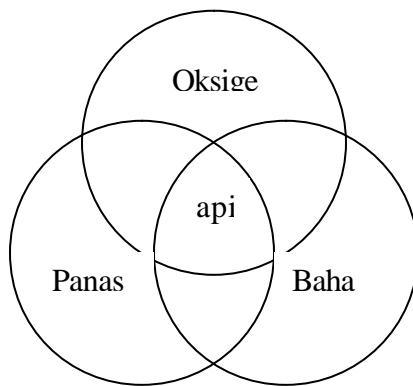
Untuk mencegah dan menghindari kecelakaan kerja, perlu dilakukan pengawasan kerja secara menyeluruh mulai dari tahap perencanaan sampai dengan pemakaian/pengoperasian pesawat uap dan bejana tekan beserta instalasinya.

#### A.5. Kebakaran dan Penanganannya

Dari berbagai jenis kecelakaan di tempat kerja, yang perlu mendapatkan perhatian adalah kebakaran. Kecelakaan jenis ini paling rawan terjadi, baik di tempat kerja umum dan lebih-lebih di industri, pabrik atau bengkel. Apabila sampai terjadi kebakaran, kerugian yang ditimbulkannya pun cukup besar, bukan hanya kerugian materi tetapi juga kerugian non materi, misalnya korban meninggal dunia.

Kebakaran dapat disebabkan oleh beberapa hal, dan kadang-kadang oleh sebab yang sepele, antara lain membuang puntung rokok sembarangan, percikan api, hubungan pendek listrik, tata letak peralatan dan bahan yang sembarangan, ledakan tabung, dan lain-lain. Mengingat rawannya kebakaran serta besarnya kerugian yang mungkin timbul, maka penanganan tentang kebakaran perlu mendapat perhatian bagi pekerja.

Secara teori, kebakaran atau api dapat terjadi karena 3 (tiga) unsur yang ada secara bersamaan, yaitu: oksigen, panas, dan bahan yang dapat terbakar.



Gambar 3.2 Segitiga Api (*Triangle of Fire*)

Dengan teori tersebut dapat dipahami bahwa apabila salah satu unsur tidak ada, maka kebakaran atau api tidak akan terjadi. Pemahaman

tentang terjadinya api berguna dalam upaya pemadaman kebakaran. Terdapat empat prinsip dalam pemadaman api, yaitu:

- a. Prinsip mendinginkan (*cooling*), misalnya dengan menyemprotkan air.
- b. Prinsip menutup bahan yang terbakar (*starvation*), misalnya menutup dengan busa.
- c. Prinsip mengurangi oksigen (*dilution*), misalnya menyemprotkan gas CO<sub>2</sub>.
- d. Prinsip memutus rantai rangkaian api dengan media kimia
- e.

Penerapan prinsip-prinsip pemadaman kebakaran di atas tidak dapat disamaratakan, tetapi harus memperhatikan jenis bahan apa yang terbakar dan media apa yang sesuai untuk memadamkannya.

Klasifikasi kebakaran di Indonesia mengacu pada standar Amerika NFPA (*National Fire Prevention Association*), yang dimuat dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja No. Per. 04/Men/1980. Berdasarkan NFPA, terdapat 4 (empat) klasifikasi kebakaran, seperti pada Tabel di bawah.

**Tabel 3.1 Klasifikasi Kebakaran**

Kelas	Jenis Kebakaran
Kelas A	Kebakaran bahan padat kecuali logam, dan meninggalkan arang dan abu (kertas, kayu, kain dan sejenisnya)
Kelas B	Kebakaran jenis bahan cair dan gas (bensin, solar, minyak pelumas, minyak tanah, aspal, gemuk, alkohol, gas alam, gas LPG dan sejenisnya)
Kelas C	Kebakaran pada peralatan listrik yang bertegangan
Kelas D	Kebakaran pada bahan logam, seperti magnesium, alumunium, kalium, dll

Mengingat karakteristik bahan yang terbakar yang berbeda-beda, maka diperlukan media pemadaman yang berbeda pula sehingga proses pemadaman berhasil efektif, seperti terlihat pada tabel di bawah.

**Tabel 3.2 Jenis Media Pemadaman dan Aplikasinya**

Klasifikasi	Jenis Kebakaran	Jenis Media Pemadam Kebakaran				
		Tipe Basah		Tipe Kering		
		Air	Busa	Powder	CO <sub>2</sub>	Clean Agent
Kelas A	Bhn padat spt. Kayu	VVV	V	VV	V	VVV*)
	Bahan berharga	XX	XX	VV**) )	VV	VVV
Kelas B	Bahan cair	XXX	VVV	VV	V	VVV
	Bahan gas	X	X	VV	V	VVV

Kelas C	Panel listrik	XXX	XXX	VV	VV	VVV
Kelas D	Magnesium Alumunium, Kalium, dll	XXX	XXX	Khusus	X	XXX

**Keterangan:**

VVV : sangat efektif

VV : dapat digunakan

V : kurang tepat/tidak dianjurkan

X : tidak tepat

XX : merusak

XXX: berbahaya

\*): tidak efisien

\*\*) : kotor/korosif

## A. 6. Kesehatan Kerja dan Lingkungan

Dalam uraian sebelumnya telah dijelaskan tentang keselamatan dan kesehatan kerja yang disingkat dengan K3. Apabila dicermati, sebenarnya terdapat dua aspek yang perlu diperhatikan. Pertama, masalah keselamatan, dan yang kedua masalah kesehatan. Kedua hal ini berbeda, namun saling terkait. Berbicara masalah keselamatan berarti terkait bagaimana supaya bekerja dengan selamat dan tidak terjadi kecelakaan. Sedangkan masalah kesehatan, terkait bagaimana supaya pekerja dalam kondisi sehat atau tidak terkena penyakit akibat kerja. Dengan pengertian ini, maka dapat terjadi kondisi dimana pekerja tidak mengalami kecelakaan namun menderita sakit, misalnya kebiasaan bekerja yang buruk, menghirup udara kotor, berdebu atau gas beracun, atau bekerja di lingkungan kerja yang tidak sehat. Lebih lanjut, orang yang terkena penyakit akan lebih mudah atau rawan mengalami kecelakaan kerja. Dengan demikian antara keselamatan dan kesehatan kerja saling terkait.

Peraturan perundangan yang khusus mengatur tentang kesehatan kerja telah disinggung dalam uraian sebelumnya. Dalam uraian ini akan dibahas sedikit tentang faktor-faktor bahaya lingkungan yang dapat menimbulkan kecelakaan maupun penyakit akibat kerja. Faktor-faktor tersebut antara lain:

a. **Faktor Fisik**

- 1) Kebisingan, yaitu bunyi yang didengar sebagai suatu rangsangan pada telinga dan tidak dikehendaki. Kebisingan di atas batas normal (85 dB) harus dihindari guna mencegah gangguan syaraf, kelelahan mental, dan untuk meningkatkan semangat kerja.
- 2) Iklim Kerja, yaitu suatu kombinasi dari suhu kerja, kelembaban udara, kecepatan gerakan udara dan suhu radiasi pada suatu tempat kerja. Suhu ideal sekitar 24-26° C. Suhu yang terlalu tinggi

dapat berakibat dehidrasi, *heat cramps*, *heat stroke*, dan *heat exhaustion*.

- 3) Penerangan/Pencahayaan, merupakan suatu kondisi agar pekerja dapat mengamati benda yang sedang dikerjakan secara jelas, cepat, nyaman, dan aman. Intensitas penerangan dipengaruhi oleh jenis sumber cahaya (lampu listrik, sinar matahari, dll), daya pantul, dan ketajaman penglihatan. Kebutuhan akan intensitas penerangan dipengaruhi juga oleh tempat kerja dan jenis pekerjaan. Apabila penerangan kurang, dapat berakibat pada kesehatan, misalnya: kelelahan mata, kelelahan mental, sakit kepala, dan dapat menimbulkan kecelakaan kerja.
- 4) Radiasi, yaitu efek negatif dari gelombang mikro, sinar ultra violet, dan sinar infra merah. Gangguan kesehatan karena radiasi dapat berupa kerusakan kulit, kerusakan mata, hingga gangguan syaraf.
- 5) Tekanan Udara, dapat berupa kondisi tempat kerja dengan tekanan udara terlalu rendah atau terlalu tinggi sehingga dapat mengganggu kesehatan kerja.
- 6) Getaran, biasanya muncul bersamaan dengan kebisingan. Efek getaran yang berlebihan dapat mengganggu peredaran darah, gangguan syaraf, hingga kerusakan sendi dan tulang.

#### **b. Faktor Kimia**

Penanganan bahan kimia dalam industri memerlukan perhatian khusus agar dapat memberikan perlindungan optimal bagi pekerja, masyarakat umum dan lingkungan sekitar. Terdapat berbagai jenis bahan kimia berbahaya, antara lain bahan kimia mudah terbakar, seperti benzena, aseton, dan eter; bahan kimia mudah meledak, antara lain ammonium nitrat dan nitroglycerin; bahan kimia beracun dan korosif misalnya asam chlorida, serta bahan kimia yang bersifat radioaktif.

#### **c. Faktor Biologi**

Faktor biologis penyakit akibat kerja banyak ragamnya, antara lain karena virus, bakteri, jamur, cacing, dan kutu. Penyakit akibat faktor biologis biasanya dapat menular, sehingga upaya pencegahan akan lebih baik, misalnya dengan menjaga kebersihan lingkungan serta pemberian vaksinasi.

#### **d. Faktor Psikolog**

Gangguan kesehatan tidak hanya yang terlihat namun dapat berupa gangguan psikologis atau kejiwaan dimana hal ini hanya terlihat dari perilaku pekerja. Pekerja yang stress atau mengalami tekanan jiwa karena lingkungan kerja yang tidak kondusif akan berpengaruh besar pada produktivitas kerja. Oleh karena itu perlu diciptakan lingkungan kerja yang aman dan nyaman dengan

memanipulasi lingkungan fisik maupun lingkungan sosial atau hubungan antar pekerja.

#### e. Faktor Ergonomi

Ergonomi adalah ilmu penyesuaian peralatan dan perlengkapan kerja dengan kemampuan esensial manusia untuk memperoleh keluaran (output) yang optimum. Dengan kata lain, penerapan prinsip ergonomi merupakan penciptaan suatu kombinasi yang paling serasi antara dua sub sistem, yaitu: teknologi-struktural (perangkat keras, mesin, alat) dengan sosio-prosesual (kemampuan anggota badan, indera manusia). Misalnya, dalam mengatur ukuran tinggi rendahnya mesin harus disesuaikan dengan tinggi badan operator/pekerjanya sehingga si pekerja tidak mudah lelah. Kombinasi hubungan mesin/alat dengan kemampuan manusia yang semakin baik dapat meningkatkan produktivitas, sebaliknya apabila tidak seimbang dapat berakibat pada penurunan produktivitas, target tidak tercapai, hingga dapat menimbulkan kecelakaan dan penyakit akibat kerja.

## BAB 4 MENGGAMBAR TEKNIK

Gambar teknik adalah sarana yang penting untuk melukiskan daya cipta melalui garis. Yang lebih penting lagi gambar merupakan sarana dari pendesain untuk memberikan pekerjaan kepada operator. Lebih mudahnya sang insinyur tidak perlu menjelaskan secara detail kepada operator tetapi cukup dengan menunjukkan gambar, sang operator dapat memahami pekerjaannya.



Gambar. 4.1 Meja gambar

Hal ini perlu adanya penyeragaman dalam persepsi gambar agar semua orang dapat membaca gambar dengan tepat dan benar. Untuk itu dalam menggambar teknik perlu adanya beberapa aturan yang baku sehingga menghindari salah baca. Aturan baku dalam menggambar teknik yaitu: ukuran, skala, garis yang dipakai, lambang-lambang, simbol-simbol, toleransi, kop gambar, keterangan gambar dan lain-lainnya. Untuk beberapa gambar teks yang dipakai harus dengan standar tertentu.

### A. Alat Gambar

Sebelum menggambar ada beberapa alat yang perlu disiapkan seperti meja gambar, mistar (lurus, segitiga  $45^\circ$ , segitiga  $30^\circ$ - $60^\circ$ ), busur derajat, kertas gambar, kertas kalkir, pena, pensil, dan penghapus pensil. Mistar yang digunakan harus yang berstandar ISO (*Internasional Standart Organization*) seperti Rotring dan Steadler.

#### A.1 Kertas gambar

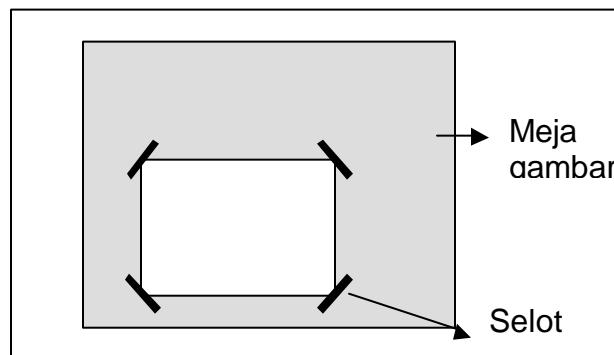
Beberapa kertas yang adapat dipakai untuk menggambar teknik adalah:

- Kertas padalarang
- Kertas manila
- Kertas strimin
- Kertas roti
- Kertas kalkir

Ukuran gambar teknik sudah ditentukan berdasarkan standar. Ukuran pokok kertas gambar adalah A0. Ukuran A0 adalah  $1\text{ m}^2$  dengan perbandingan  $\sqrt{2} : 1$  untuk panjang : lebar. Ukuran A1 diperoleh dengan membagi dua ukuran panjang A0. Ukuran A2 diperoleh dengan membagi dua ukuran panjang A1. Demikian seterusnya. Ukuran kertas gambar dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Ukuran kertas standar

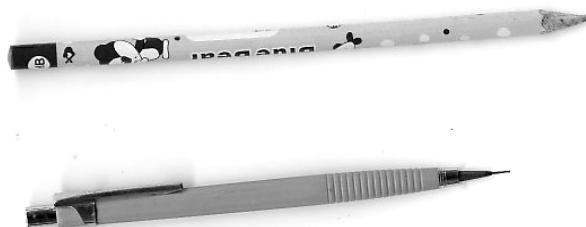
Seri	Ukuran Kertas	Ukuran Garis Tepi	
		Kiri	C
A0	1.189 x 841	20	10
A1	841 x 594	20	10
A2	594 x 420	20	10
A3	420 x 297	20	20
A4	297 x 210	15	5
A5	210 x 148	15	5



Gambar 4.2 Cara menempel kertas pada meja gambar

### A.1.2 Pensil

Pensil adalah alat gambar yang paling banyak dipakai untuk latihan menggambar atau menggambar gambar teknik dasar. Pensil gambar terdiri dari batang pensil dan isi pensil. Pensil ada beberapa macam baik pensil batang maupun pensil mekanik. Bentuk pensil dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Bentuk pensil

Berdasarkan kekerasannya pensil dapat dibedakan menjadi:

Tabel 4.2 Klasifikasi pensil

Keras	Sedang	Lunak
4H	3H	2B
5H	2H	3B
6H	H	4B
7H	F	5B
8H	HB	6B
9H	B	7B

### A.1.3 Rapido

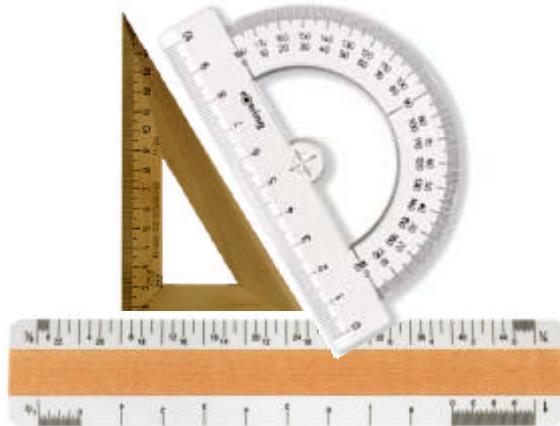
Untuk rapido yang dipakai dalam untuk menggambar diatas kertas kalkir, untuk rapido dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4.4 Pena Rapido

### A.1.4. Penggaris

Penggaris digunakan untuk menggambar garis supaya lurus. Banyak penggaris yang mempunyai fungsi berbeda-beda, penggaris lurus untuk membuat garis lurus. Penggaris segitiga untuk menggambar sudut yang sederhana karena sepasang penggaris segitiga memiliki sudut  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$ . Sedangkan untuk mengukur sudut dapat menggunakan busur derajat. Bentuk penggaris dapat dilihat pada gambar 1.41 dibawah ini:



Gambar 4.5 Satu set pengaris

#### A.1.5. Jangka

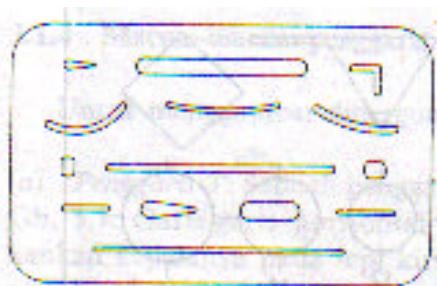
Jangka digunakan untuk membuat garis lingkaran dengan cara menancapkan salah satu ujung batang pada pusat lingkaran dan ujung yang lainnya berfungsi sebagai pensil menggambar lingkaran.



Gambar 4.6 Jangka

#### A.1.6. Penghapus dan alat pelindung penghapus

Ada dua macam bentuk penghapus yaitu lunak dan keras. Penghapus lunak untuk menghapus goresan pensil dan penghapus keras untuk goresan tinta. Untuk melindungi garis agar tidak ikut terhapus pada saat menghapus diperlukan alat pelindung penghapus, berikut ini dapat dilihat gambar 1.43 pelindung penghapus.



Gambar 4.7 Pelindung penghapus

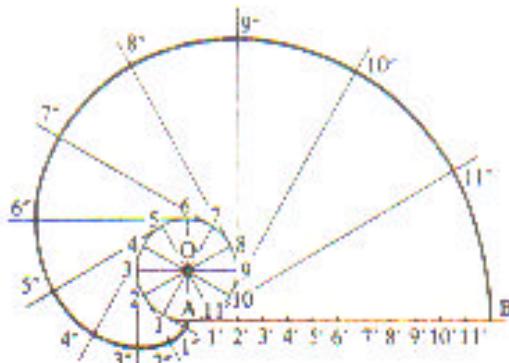
#### A.1.7. Mal lengkung

Mal lengkung digunakan untuk membuat garis lengkung yang rumit dan tidak dapat dijangkau dengan jangka. Untuk itu diperlukan mal lengkung, contoh mal lengkung dapat dilihat dibawah ini:



Gambar 4.8 Mal lengkung

Hasil dari mal lengkung ini dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini:

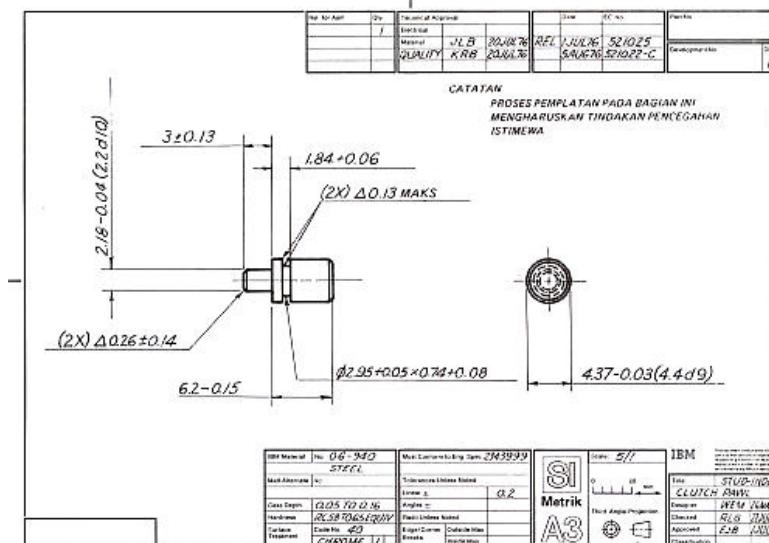


Gambar 4.9 hasil mal lengkung

Menggambar garis harus mengikuti aturan yang berlaku. Garis-garis yang sering digunakan dalam menggambar yaitu:

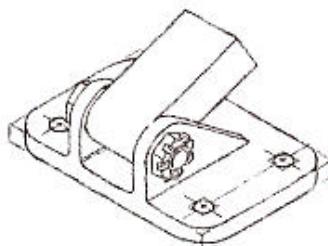
- garis tebal digunakan untuk benda yang digambar
- garis tipis digunakan untuk ukuran
- garis putus-putus untuk garis yang tidak kelihatan
- garis titik digunakan untuk menggambar garis tengah atau mirror

Gambar mesin dengan manual biasanya dengan menggunakan proyeksi. Proyeksi yang digunakan dapat menggunakan proyeksi Amerika maupun Eropa. Bedanya proyeksi Amerika yaitu menggambar dengan tampak bentuk sebenarnya, sedangkan proyeksi Eropa yang digambar adalah bayangan dari tampak depan. Contoh gambar 1.46 adalah proyeksi Amerika:



Gambar 4.10 Gambar proyeksi amerika

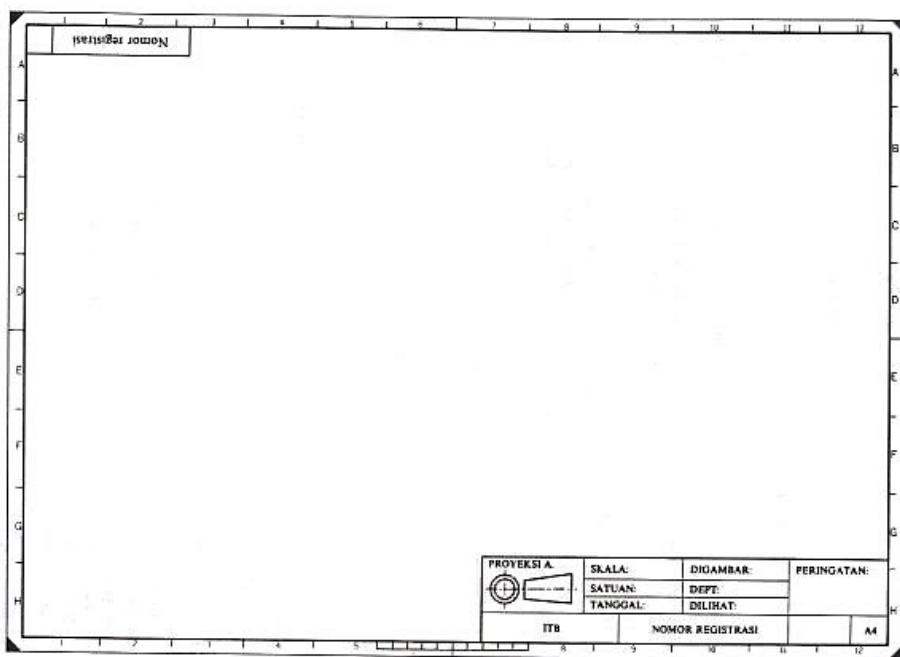
Dalam gambar manual ada juga yang dalam bentuk tiga dimensi seperti gambar proyeksi isometris. Dalam beberapa hal gambar isometris lebih mudah untuk dilihat, tetapi kesulitan untuk memberikan ukuran dan skala. Dalam bentuk proyeksi isometris dapat dilihat langsung bentuk dari benda kerja tanpa harus membayangkan gabungan dari gambar seperti dalam gambar proyeksi ortogonal. Sebagai contohnya dapat dilihat gambar 4.11 isometris sebagai berikut:



Gambar 4.1 Gambar Isometris Komponen

## B. Kop Gambar

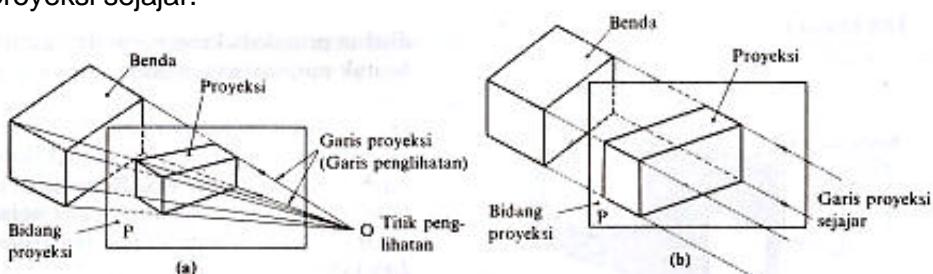
Dalam menggambar teknik perlu adanya bingkai dan kop gambar standar yang dipakai, hal ini untuk menyeragamkan dan dapat ditelusuri si penggambar. Contoh kop gambar berserta bingkainya ada pada gambar 1.48 dibawah ini:



Gambar 4.12 Kop Gambar dengan bingkainya

### C. Gambar Proyeksi

Untuk menyajikan sebuah benda tiga dimensi ke dalam sebuah bidang dua dimensi dipergunakan cara proyeksi. Proyeksi dengan cara sudut pandang dari satu titik disebut proyeksi prespektif, hal ini dapat dilihat pada gambar 4.13a dan gambarnya disebut gambar prespektif. Jika titik penglihatan tak terhingga maka proyeksi yang dihasilkan disebut proyeksi sejajar seperti dalam gambar 4.13b dan gambarnya disebut proyeksi sejajar.



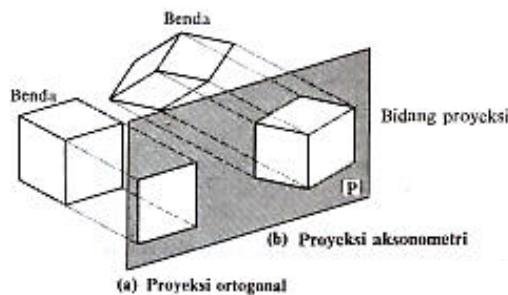
Gambar 4.13 proyeksi

Pada proyeksi sejajar garis-garis proyeksi berdiri tegak lurus pada bidang proyeksi P, cara proyeksinya disebut proyeksi ortogonal. Selain itu garis proyeksi dapat dibuat membuat sudut dengan bidang P, cara proyeksi ini disebut proyeksi miring.

Cara proyeksi yang dipergunakan untuk gambar satu pandangan terdiri dari proyeksi aksonometri, proyeksi miring dan proyeksi prespektif.

### a. Gambar aksonometri

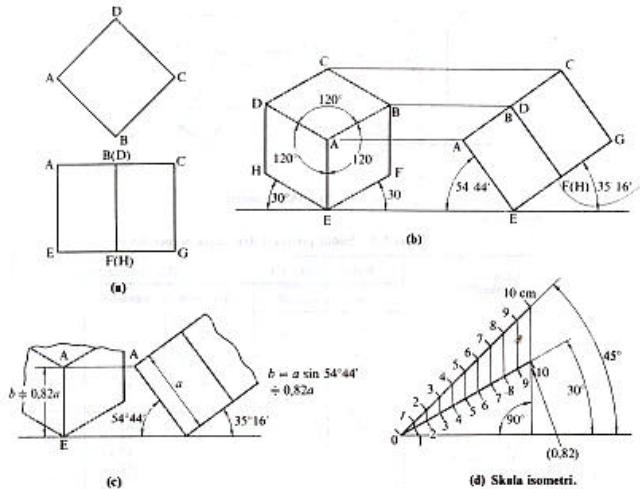
Gambar yang disajikan dalam proyeksi ortogonal hanya dapat dilihat dari satu pandangan saja, seperti yang dilihat pada gambar 4.14a. jika benda tiga dimensi dimiringkan maka akan terlihat tiga muka secara bersamaan, gambar yang demikian akan menyerupai bentuk aslinya (lihat gambar 4.14b). Gambar yang dapat dilihat tiga muka disebut gambar aksonometri. Tiga bentuk gambar aksonometri adalah isometri, dimetri dan trimetri.



Gambar 4.14 Proyeksi aksonometri dan ortogonal

#### 1) Proyeksi isometri

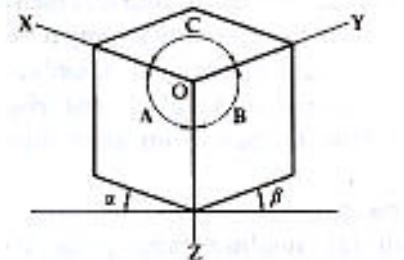
Pada gambar isometri benda tiga dimensi dilihat pada  $45^\circ$  seperti dalam gambar 4.15a, kemudian bagian belakang benda diangkat  $35^\circ 16'$  gambar 4.15b, maka benda dapat dilihat tiga muka dengan bagian yang sama panjang dan sudut yang sama yaitu  $120^\circ$ . Proyeksi ini disebut proyeksi isometri dengan panjang sisi lebih pendek dari sebenarnya.



Gambar 4.15 isometri

## 2) Proyeksi dimetri

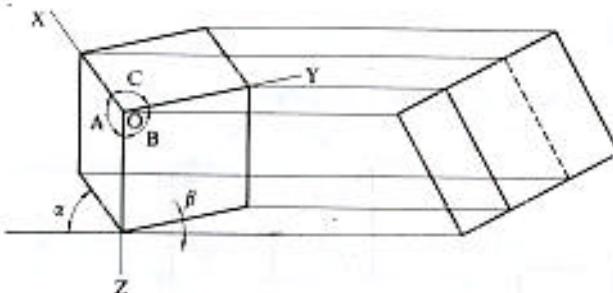
Proyeksi dimetri adalah proyeksi yang menggambarkan benda tiga dimensi dengan perpendekan dua sisi dan dua sudut dengan garis horizontal sama (lihat gambar 4.16)



Gambar 4.16 dimetri

## 3) Proyeksi trimetri

Proyeksi trimetri adalah proyeksi dengan skala pendekatan tiga sisi dan tiga sudut tidak sama. Proyeksi ini dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 trimetri

### b. Gambar isometri

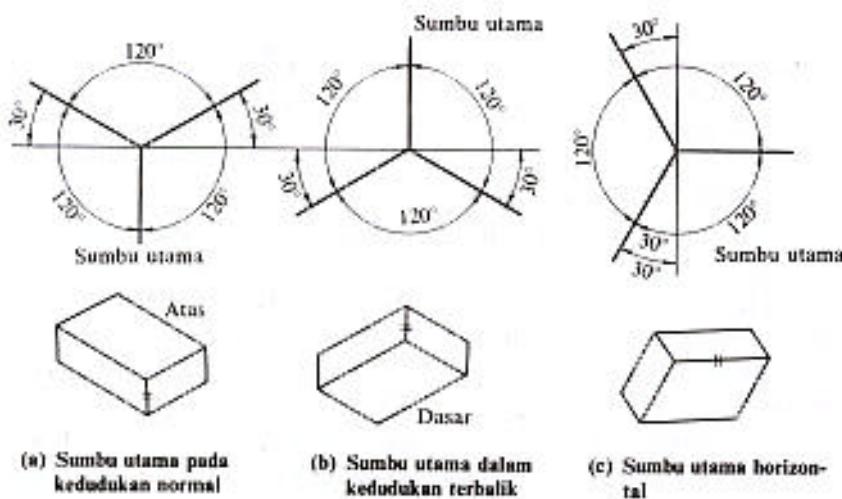
Pada proyeksi aksonometri tidak terdapat panjang yang sebenarnya, maka dalam menggambar aksonometri memakan waktu lebih lama. Untuk mempercepat penggambaran tiga dimensi maka ada cara lain dengan gambar isometri.

Gambar isometri adalah penggambaran dengan satu sisi yang dibuat sama ukuran dengan benda aslinya atau satu sumbu yang dibuat sama dengan aslinya, jadi gambar isometri lebih sederhana dan banyak dipakai untuk membuat gambar satu pandangan. Untuk lebih jelasnya dapat diuraikan dibawah ini:

#### 1) Tentukan letak sumbu-sumbu isometri

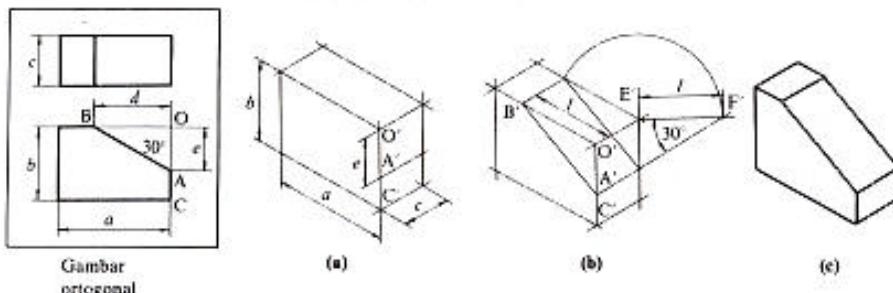
Letak sumbu isometri adalah (Gambar 4.18):

- Sumbu-sumbu pada kedudukan normal
- Sumbu-sumbu pada kedudukan terbalik
- Sumbu utama pada kedudukan horizontal



Gambar 4.18 sumbu isometri

- 2) Gambarlah benda tersebut dengan sisi-sisi yang akan memberikan panjang sisi yang sebenarnya, sejajar dengan sumbu isometri. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.19



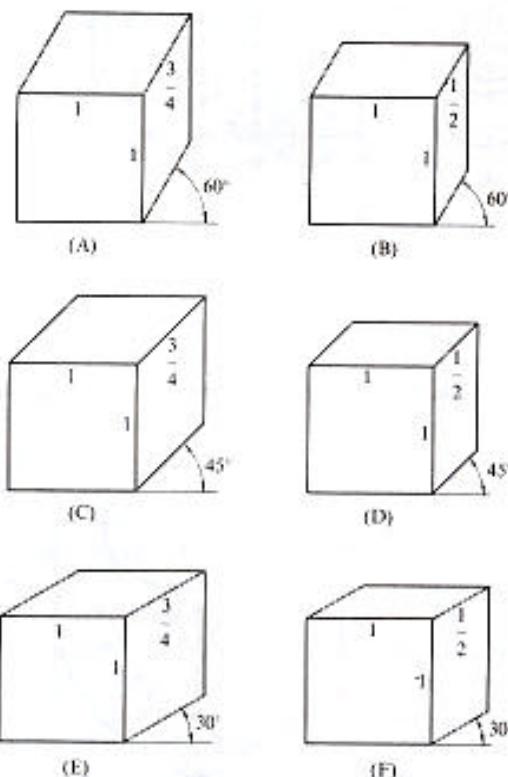
Gambar 4.19 Proyeksi isometri

### c. Gambar proyeksi miring

Pada gambar proyeksi miring adalah gabungan dari gambar ortogonal dan gambar isometri, gambar ini caranya dengan menggambar lebih dahulu tampak depan dengan ukuran sebenarnya. Setelah itu garis-garis proyeksi dibuat miring membentuk sudut terhadap bidang proyeksi. Peletakan benda dapat dibuat sesukanya, tetapi biasanya yang memberikan keterangan paling banyak dibuat sejajar dengan bidang proyeksi vertikal (tampak depan). Dengan demikian satu sisi dibuat dengan ukuran sebenarnya seperti gambar ortogonal.

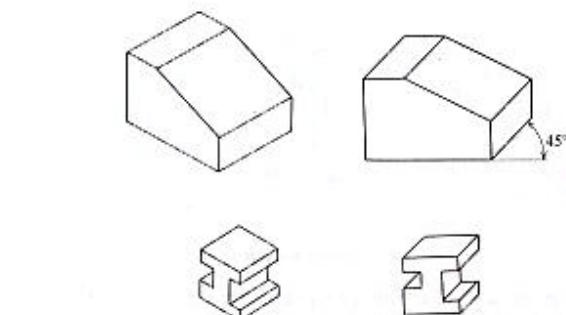
Sudut yang menggambarkan kedalaman biasanya  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  dan  $60^\circ$  terhadap sumbu horizontal. Sudut-sudut ini dipakai karena sudah banyak garisan segitiga yang mempunyai sudut ini. Skala pemendekan

ditentukan yaitu  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{2}$  dan  $\frac{3}{4}$  tergantung dari sudut yang dipergunakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.20.



Gambar 4.20 Proyeksi miring

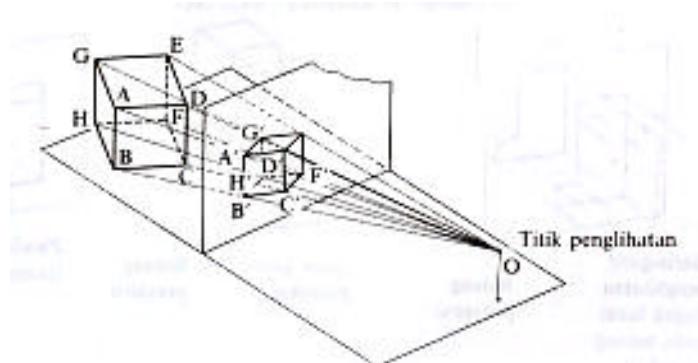
Secara sekilas proyeksi miring mirip dengan isometri untuk membedakannya dapat dilihat pada gambar 4.21. Dari gambar dapat dilihat jika proyeksi isometri yang didepan dan diukur sesuai dengan sebenarnya adalah sumbu dan proyeksi miring, sisi sebelah depan yang diukur sesuai benda belakangnya baru diproyeksikan.



Gambar 4.21 Proyeksi Isometri dan Proyeksi miring

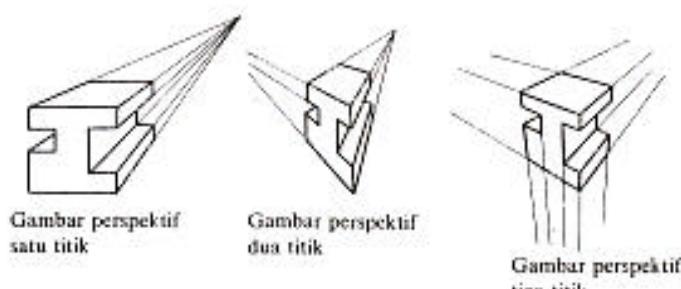
#### d. Gambar proyeksi prespektif

Gambar proyeksi prespektif adalah jika antara benda dan mata (titik penglihatan) diberi sebuah bidang gambar, maka bidang gambar ini akan terbentuk sebuah bayangan dari benda tadi (Gambar 4.22). Gambar prespektif ini serupa dengan apa yang dilihat oleh manusia dan sering dipakai dalam arsitektur. Gambar proyeksi prespektif merupakan gambar pandangan tunggal yang terbaik, tetapi cara menggambarnya yang sulit dan rumit dari pada cara yang lainnya. Untuk gambar yang kecil tidak menguntungkan oleh karena itu jarang dipakai untuk menggambar komponen kecil.



Gambar 4.22 cara pandang gambar prespektif

Gambar prespektif dapat digambar dengan dua atau tiga titik hilang untuk memperjelas gambar contohnya dapat dilihat pada gambar 4.23

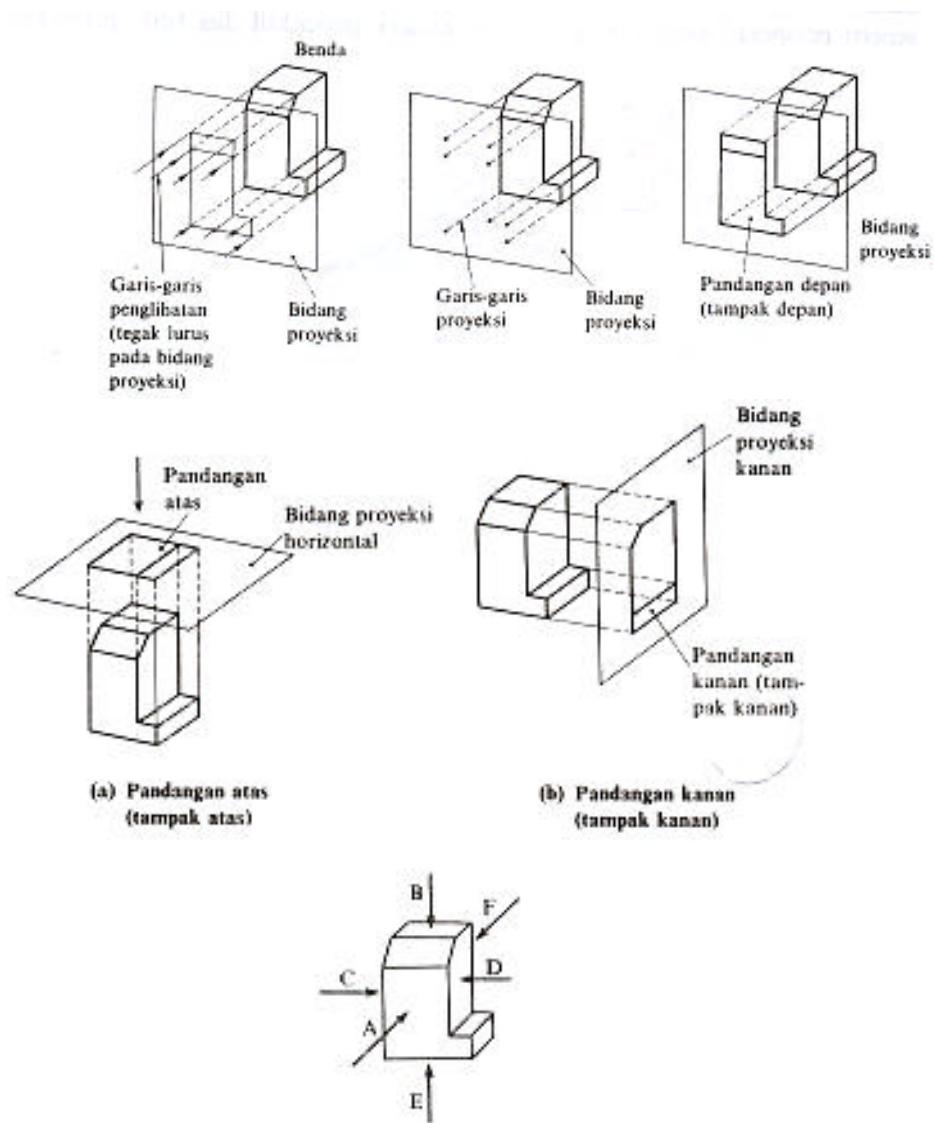


Gambar 4.23 titik hilang prespektif

#### e. Proyeksi Ortogonal (gambar pandangan majemuk)

Gambar proyeksi ortogonal sering disebut gambar kerja karena memberikan informasi yang lengkap dan tepat tentang benda tiga dimensi. Dalam proyeksi ortogonal ada enam pandang untuk penggambarannya tetapi jika dua atau tiga gambar sudah memberikan informasi yang lengkap tidak perlu digambar semua. Jadi untuk proyeksi ortogonal tidak hanya terdapat satu gambar tapi beberapa gambar yang dilihat dari beberapa pandangan seperti tampak depan, tampak samping

kanan dan kiri, tampak atas, tampak bawah dan tampak belakang. Pandangan yang ada dalam proyeksi ortogonal dapat dilihat pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Pandangan Ortogonal

#### D. Skala

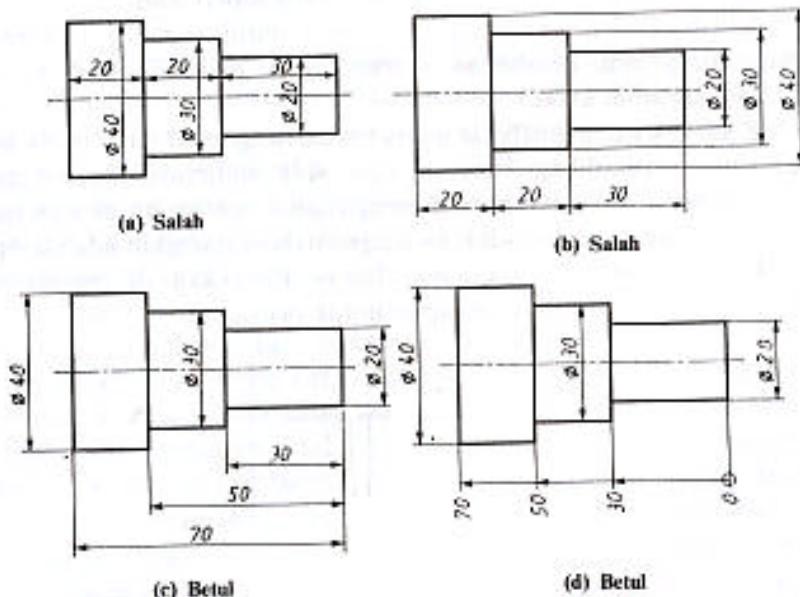
Skala adalah pemberian ukuran lebih kecil atau lebih besar dari ukuran benda yang sebenarnya. Keterbatasan ukuran kertas membuat benda yang besar tidak dapat digambar pada kertas, sebaliknya untuk benda yang kecil jika diberi ukuran akan sulit dibaca. Skala untuk memperkecil gambar yang sering dipakai yaitu 1:2, 1:5, 1:10, 1:100, dan seterusnya sedangkan untuk memperbesar gambar skala yang dipakai

yaitu 2:1, 5:1, 10:1, dan seterusnya. Jika skalanya sama dengan benda aslinya maka dapat ditulis 1:1.

Sebagai contoh dalam gambar 1.32 ditulis skala 5:1 maka benda aslinya adalah lebih kecil 1/5 dari gambar.

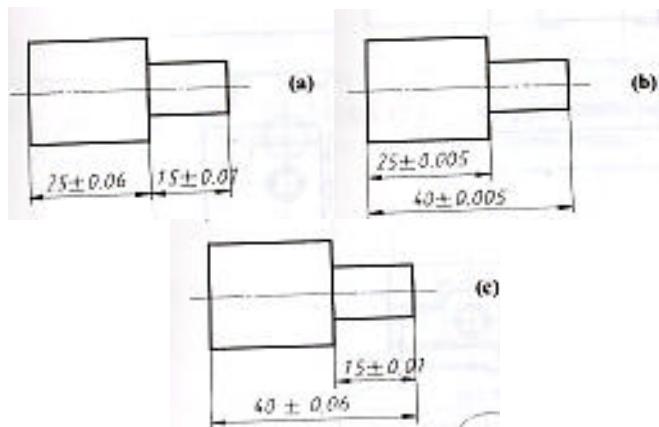
### E. Ukuran dan toleransi

Ukuran diperlukan dalam gambar teknik untuk memberikan informasi kepada operator tentang besaran geometrik benda. Untuk memberikan ukuran ini tidak boleh salah tafsir dan jelas tujuannya. Pandangan yang banyak diberikan ukuran adalah pandangan depan lihat gambar 4.25



Gambar 4.25 penyajian gambar poros

Toleransi ditulis untuk penggeraan yang memang tidak dapat mengukur dengan tepat seperti dalam pembubutan ataupun pengefraisan. Gambar 4.26 memberikan informasi toleransi terhadap pembuatan silinder bertingkat. Toleransi ini sangat berguna karena dalam penggeraan komponen ketidak telitian tidak dapat dihindari sehingga operator dapat membuat ukuran benda lebih kecil atau lebih besar asal tidak melebihi dari batas toleransi. Batas toleransi ada batas atas dan batas bawah maka penulisan menggunakan tanda  $\pm$ .



Gambar 4.26 Ukuran beserta toleransinya

Dalam penulisan toleransi mempunyai standar yang dikeluarkan oleh ISO/R286 (ISO System of Limits and Fits). Standar ISO menuliskan kwalitas toleransi, ada 18 kwalitas toleransi yaitu IT 01, IT 0, IT 1 sampai dengan IT 16. Nilai toleransi meningkat dari IT 0,1 sampai IT 16. IT 01 samapai dengan IT 4 digunakan untuk penggeraan yang sangat teliti, seperti alat ukur, instrumen optik dansebagainya. Tingkat IT 5 sampai dengan IT 11 dipakai dalam bidang permesinan umum, untuk bagian mamu tukar dapat digolongkan pekerjaan sangat teliti dan pekerjaan biasa. Tingkat IT12 smapai IT 16 dipakai untuk penggeraan kasar.

Tabel 4.3 Nilai numerik untuk toleransi standar (metrik)

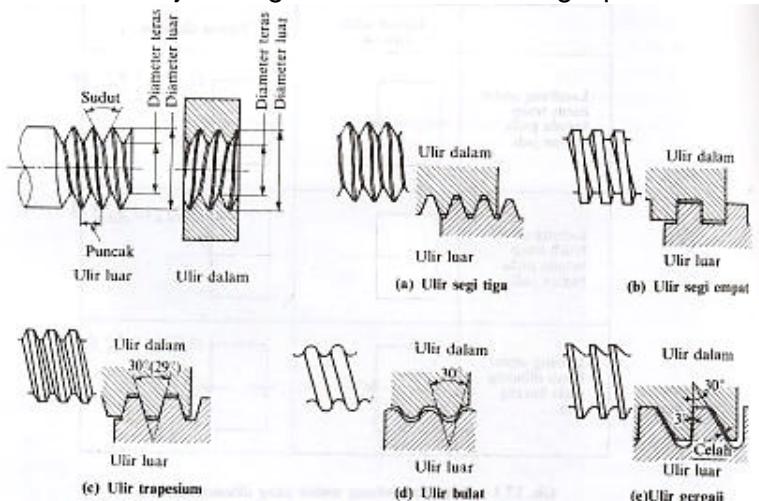
Kwalitas		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14*	15*	16*
Toleransi standar dalam mikron ( $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$ ) untuk tingkat diameter dalam mm	< 0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	
	> 3 to 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
	> 6 to 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
	> 10 to 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100
	> 18 to 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300
	> 30 to 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600
	> 50 to 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900
	> 80 to 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200
	> 120 to 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500
	> 180 to 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900
	> 250 to 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200
	> 315 to 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600
	> 400 to 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000

\*s/d 1 mm, kwalitas 14 s/d 16 tidak dibenarkan.

Catatan: Nilai numerik yang diperbaiki dari ISA lama dalam kotak garis tebal

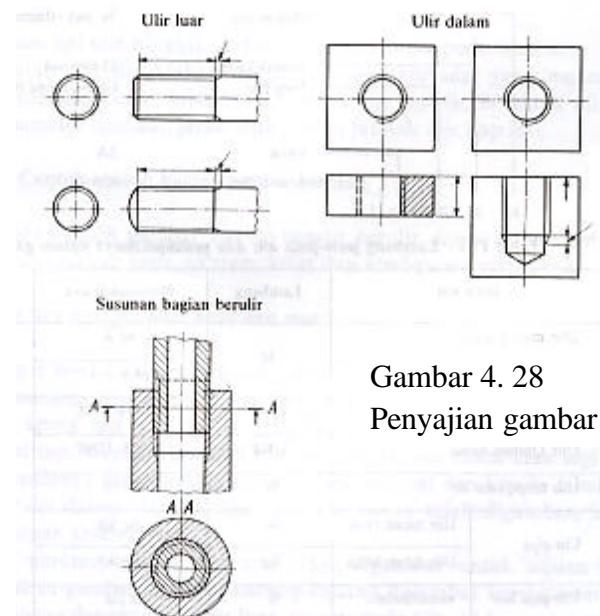
## F. Penyederhanaan gambar

Gambar teknik yang menyajikan secara lengkap akan membuat penggambaran lebih lama mengerjakan untuk itu ada penyajian-penyajian gambar yang disederhanakan contohnya seperti ulir dan lubang senter. Gambar 4.27 menunjukkan gambar ulir secara lengkap.



Gambar 4.27 penyajian ulir lengkap

Dari gambar diatas dapat disederhanakan dengan menggambarkan seperti gambar 4.28 dibawah ini.



Gambar 4. 28  
Penyajian gambar ulir

Untuk lebih jelas dalam penggerjaan gambar ulir ini diberi keterangan sesuai dengan standart ISO seperti:

### 1. Ular Metrik sesuai ISO

M 50 x 3 - 2 LH	Jenis ulir Ukuran ulir	Metrik 50 mm - diameter luar
	Kisar	3 mm
	Kelas	2
	LH	Kiri (LH - left hand, pengertian Internasional)

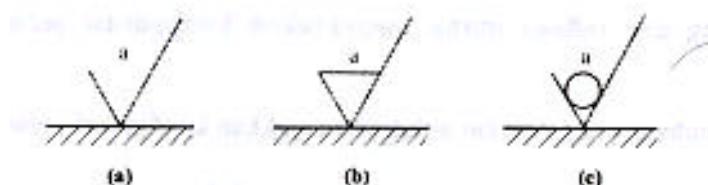
### 2. Ular Inci sesuai ISO

$\frac{1}{4}$ - 28 UNF - 3A - LH	Ukuran ulir	$\frac{1}{4}$ inci - diameter luar
	Jumlah kisar	28 tiap inci
	Jenis ulir	UNF-Unified National Fine
	Kelas	3A
	Arah lilitan	Kiri

Gambar 4.29 Keterangan Gambar Ular

### G. Lambang penggerjaan

Untuk memperjelas pada operator mesin maka pada gambar perlu adanya lambang penggerjaan seperti kualitas kekasaran seperti pada gambar 1.66 berikut ini:



Gambar 4.30 lambang penggerjaan

Dari gambar dapat dilihat lambang dasar permukaan (a), lambang penggerjaan mesin (b), dan lambang permukaan yang bahannya tidak boleh dibuang (c). sedangkan a adalah angka kekasaran dalam mikrometer. Lambang arah penggerjaan dapat dituliskan pada samping kanan dari lambang penggerjaan seperti dalam Tabel 4.4 berikut ini:

Tabel 4.4 Lambang arah penggerjaan

Lambang	Pengertian
=	Sejajar dengan bidang proyeksi, dari pandangan di mana lambangnya dipergunakan
⊥	Tegak lurus pada bidang proyeksi dari pandangan di mana lambangnya dipergunakan
X	Saling berpotongan dalam dua arah miring relatif terhadap bidang proyeksi dari pandangan di mana lambangnya dipergunakan
M	Dalam segala arah
C	Kurang lebih bolat relatif terhadap titik pusat permukaan, terhadap mana lambangnya dipergunakan
R	Kurang lebih radial relatif terhadap titik pusat permukaan, terhadap mana lambangnya dipergunakan

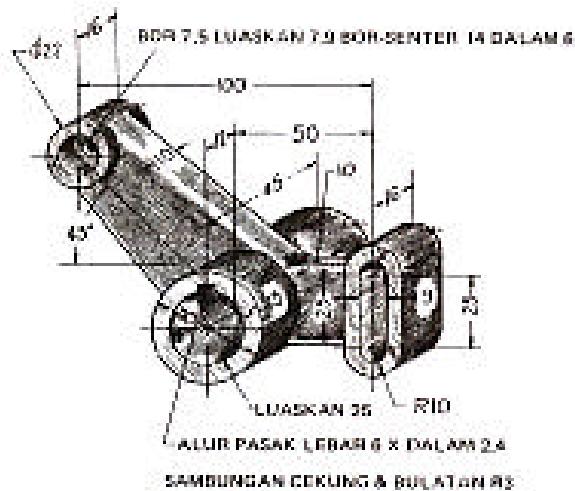
Lambang-lambang lain yang disertakan dalam gambar seperti penyambungan las. Contohnya dapat dilihat dari Tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Lambang proses pengelasan

Sambungan las			Benda	Penunjukan
Las alur persegi	Celah akar 2 mm			
Las alur V	Tebal Dalam alur Sudut alur Celah akar 19 mm 16 mm 60° 2 mm			
Las alur V ganda	Dalam alur Sisi panah Sisi sebelah Sudut alur Sisi panah Sisi sebelah Celah akar 16 mm 9 mm 60° 90° 3 mm			
Las alur U ganda	Dalam alur Sudut alur Jari-jari alur Celah akar 25 mm 25° 6 mm 0 mm			
Las alur tirus	Dengan bilah Sambungan T Sudut alur Celah akar 45° 6,4 mm			
Las alur tirus ganda	Sisi panah Dalam alur Sudut alur Sisi sebelah Dalam alur Sudut alur Celah akar 16 mm 45° 9 mm 45° 2 mm			
Las alur J ganda	Dalam alur Sudut alur Jari-jari Celah akar 28 mm 35° 13 mm 2 mm			
Las alur J-ganda	Dalam alur Sudut alur Jari-jari Celah akar 24 mm 35° 13 mm 3 mm			

Saat ini sudah banyak *software* yang menawarkan paket menggambar dengan komputer, sehingga gambar-gambar dalam bentuk tiga dimensi dapat digambar dengan tepat sekaligus ukuran-ukurannya. Hal ini sekaligus mempermudah bagi operator untuk menerjemahkan gambar ke dalam pekerjaannya. Bahkan ada paket *software* yang sudah

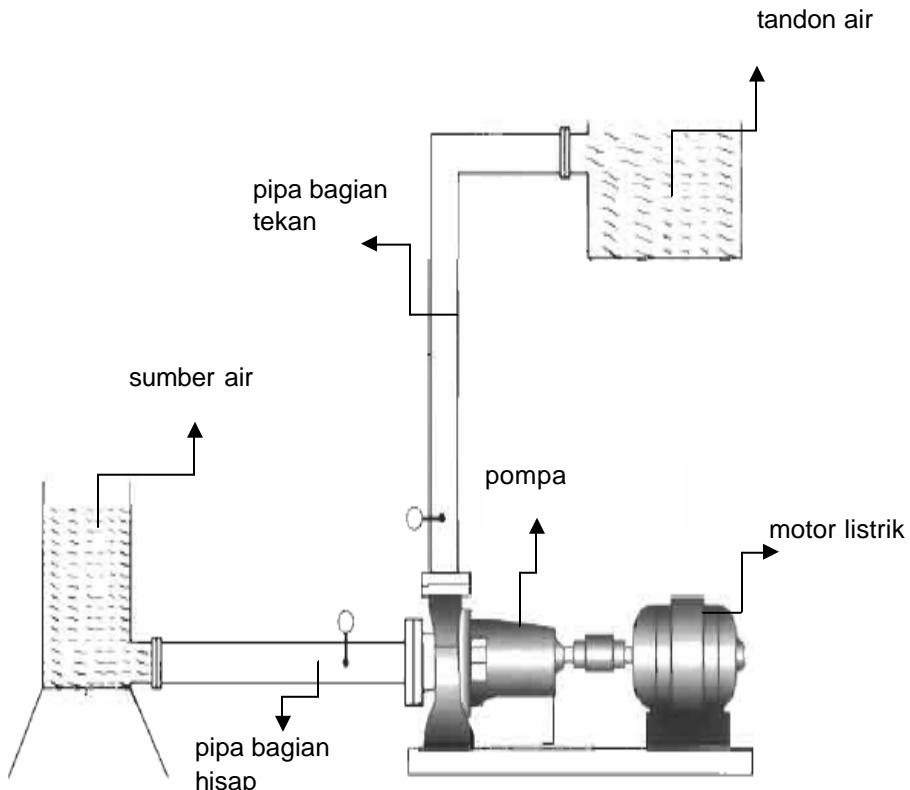
dilengkapi dengan *hardware* penggerjaannya. Untuk yang terakhir ini dalam mendesain proses produksi tidak perlu lagi mengetik CNC code tetapi dari gambar dapat diterjemahkan prosesnya melalui simulasi gambar. Ada banyak *software* seperti AutoCad yang digunakan dalam menggambar teknik.



#### Gambar 4.31 Gambar AutoCad

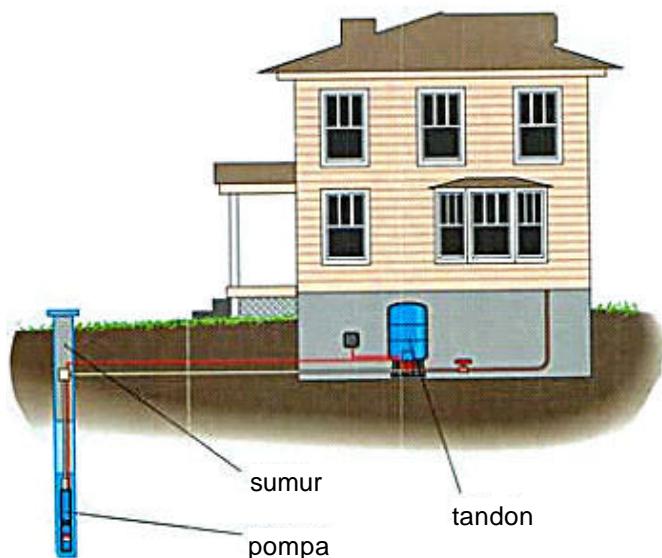
## BAB 5 DASAR POMPA

Pompa merupakan salah satu jenis mesin yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli atau minyak pelumas, serta fluida lainnya yang tak mampu mampat. Industri-industri banyak menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu yang penting untuk proses produksi. Sebagai contoh pada pembangkit listrik tenaga uap, pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler atau membantu sirkulasi air yang akan diuapkan di boiler.



Gambar 5.1 Instalasi pompa

Pada industri, pompa banyak digunakan untuk mensirkulasi air atau minyak pelumas atau pendingin mesin-mesin industri. Pompa juga dipakai pada motor bakar yaitu sebagai pompa pelumas, bensin atau air pendingin. Jadi pompa sangat penting untuk kehidupan manusia secara langsung yang dipakai di rumah tangga atau tidak langsung seperti pada pemakaian pompa di industri.

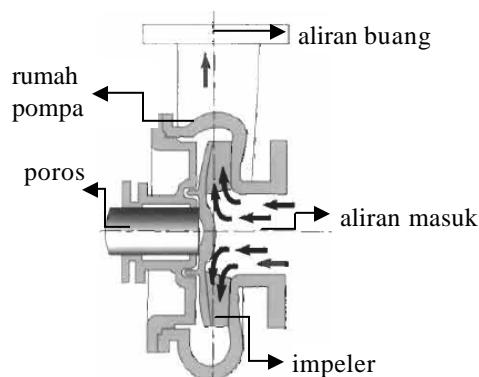


Gambar 5.2 Instalasi pompa pada rumah tangga

Pada pompa akan terjadi perubahan dari energi mekanik menjadi energi fluida. Pada mesin-mesin hidrolik termasuk pompa, energi fluida ini disebut head atau energi persatuan berat zat cair. Ada tiga bentuk head yang mengalami perubahan yaitu head tekan, kecepatan dan potensial.

### A. Prinsip Kerja Pompa

Pada pompa terdapat suatu-sudut impeler [gambar 5.3] yang berfungsi sebagai tempat terjadi proses konversi energi dari energi mekanik putaran menjadi energi fluida head. Impeler dipasang pada poros pompa yang berhubungan dengan motor penggerak, biasanya motor listrik atau motor bakar

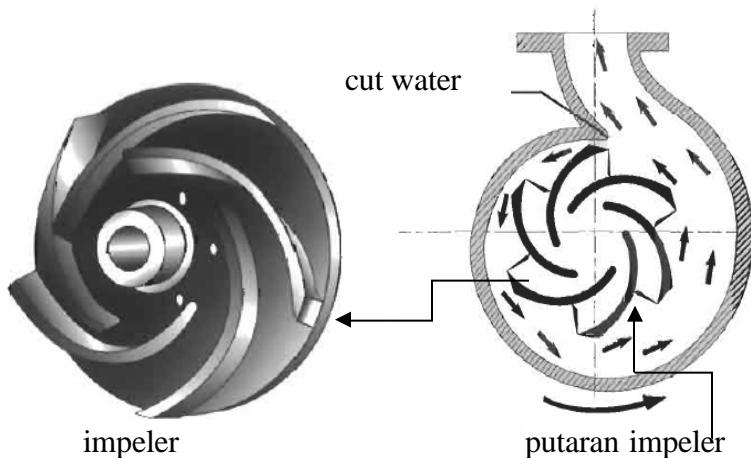


Gambar 5.3 Proses pemompaan

Poros pompa akan berputar apabila penggeraknya berputar. Karena poros pompa berputar impeler dengan suatu-sudut impeler berputar, zat cair yang ada di dalamnya akan ikut berputar sehingga tekanan dan kecepatannya naik dan terlempar dari tengah pompa ke saluran yang berbentuk volut atau spiral kemudian ke luar melalui nosel .

Jadi fungsi impeler pompa adalah mengubah energi mekanik yaitu putaran impeler menjadi energi fluida (zat cair). Dengan kata lain, zat cair yang masuk pompa akan mengalami pertambahan energi. Pertambahan energi pada zat cair mengakibatkan pertambahan head tekan, head kecepatan dan head potensial. Jumlah dari ketiga bentuk head tersebut dinamakan head total. Head total pompa juga dapat didefinisikan sebagai selisih head total (energi persatuan berat) pada sisi hisap pompa dengan sisi ke luar pompa.

Pada gambar 5.4, aliran air di dalam pompa akan ikut berputar karena gaya sentrifugal dari impeler yang berputar.



Gambar 5.4 Perubahan energi zat cair pada pompa

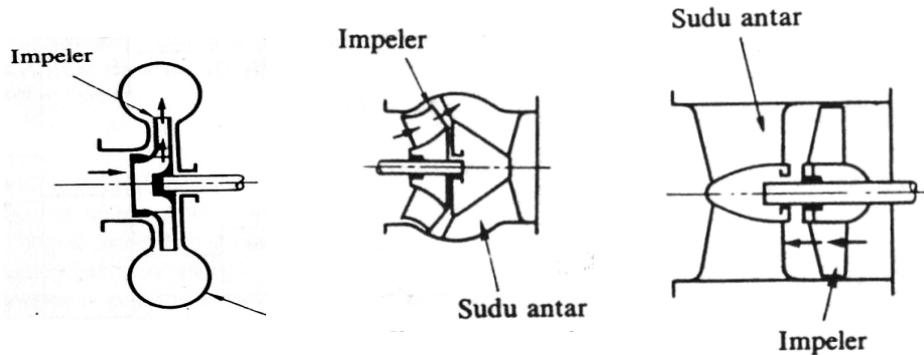
## B. Klasifikasi Pompa

Menurut bentuk impelernya, pompa sentrifugal diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu impeler aliran radial, impeler aliran axial dan impeler aliran radial dan axial [gambar 5.5]. Pompa radial mempunyai konstruksi yang mengakibatkan zat cair ke luar dari impeler tegak lurus dengan poros pompa. Sedangkan untuk pompa axial, arah aliran akan sejajar dengan poros pompa, dan pompa aliran campuran arah aliran berbentuk kerucut mengikuti bentuk impelernya.

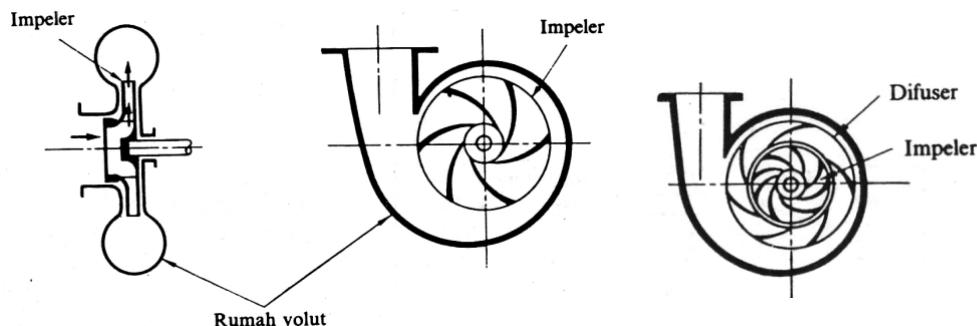
Menurut bentuk rumah pompa, pompa dengan rumah berbentuk volut disebut dengan pompa volut, sedangkan rumah dengan difuser disebut pompa difuser

Pada pompa difuser, dengan pemasangan difuser pada sekeliling luar impeler, akan memperbaiki efisiensi pompa dan menambah kokoh rumah pompa. Dengan alasan itu, pompa jenis ini banyak dipakai pada pompa besar dengan head tinggi. Berbeda dengan pompa jenis tersebut,

pompa aliran campuran sering tidak menggunakan difuser, tetapi rumah volut karena zat cair lebih mudah mengalir dan tidak tersumbat, pompa jenis ini banyak dipakai pada pengolahan limbah



Gambar 5.5 Klasifikasi pompa berdasar bentuk impeller4



Gambar 5.6 Klasifikasi pompa berdasar rumah pompa4

Menurut jumlah aliran yang masuk, pompa sentrifugal diklasifikasikan menjadi pompa satu aliran masuk dan dua aliran masuk [gambar 5.7]. Pompa hisapan tunggal banyak dipakai karena konstruksinya sederhana. Permasalahan pada pompa ini yaitu gaya aksial yang timbul dari sisi hisap, dapat di atasi dengan menambah ruang pengimbang, sehingga tidak perlu lagi menggunakan bantalan aksial yang besar.

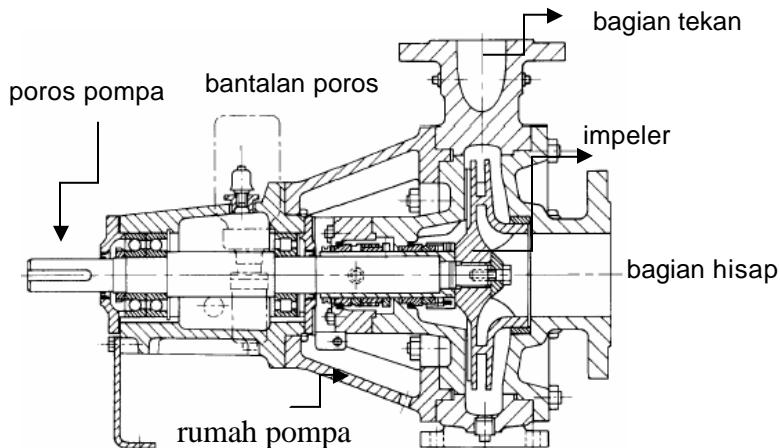
Untuk pompa dua aliran masuk banyak dipakai pada pompa berukuran besar atau sedang. Konstruksi pompa ini terdiri dua impeler saling membelakangi dan zat cair masuk dari kedua sisi impeler, dengan konstruksi seperti itu, permasalahan gaya aksial tidak muncul karena saling mengimbangi. Debit zat cair ke luar dua kali dari debit zat cair yang masuk lewat dua sisi impeler. Pompa jenis ini juga dapat beropersi pada putaran yang tinggi. Untuk aliran masuk yang lebih dari dua, prinsip kerjanya sama dengan yang dua aliran masuk.



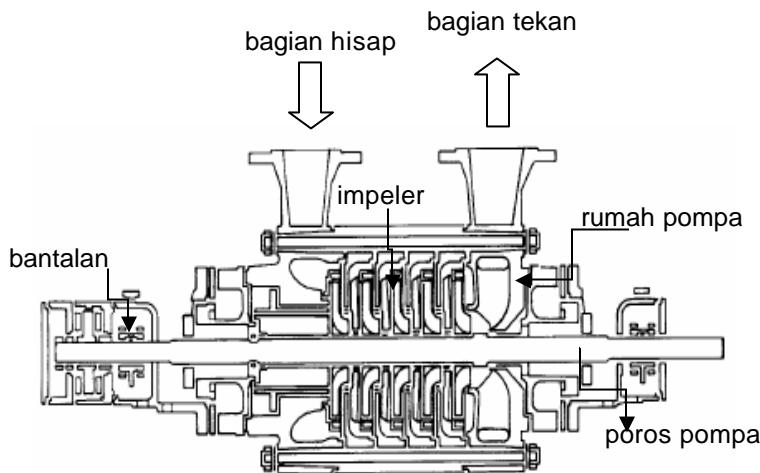
Gambar 5.7 Klasifikasi pompa berdasarkan jumlah aliran masuk

Jika pompa hanya mempunyai satu buah impeler disebut pompa satu tingkat [gambar 5.8], yang lainnya dua tingkat, tiga dan seterusnya dinamakan pompa banyak tingkat [gambar 5.9]. Pompa satu tingkat hanya mempunyai satu impeler dengan head yang relatif rendah. Untuk yang banyak tingkat mempunyai impeler sejumlah tingkatnya. Head total adalah jumlah dari setiap tingkat sehingga untuk pompa ini mempunyai head yang realtif tinggi.

Konstruksi impeler biasanya menghadap satu arah tetapi untuk menghindari gaya aksial yang timbul dibuat saling membekali. Pada rumah pompa banyak tingkat, dapatnya dipasang diffuser, tetapi ada juga yang menggunakan volut. Pemasangan diffuser pada rumah pompa banyak tingkat lebih menguntungkan daripada dengan rumah volut, karena aliran dari satu tingkat ketingkat berikutnya lebih mudah dilakukan.



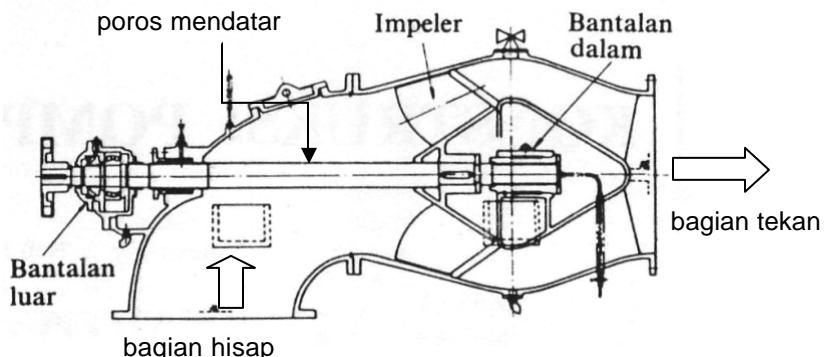
Gambar 5.8 Pompa satu tingkat



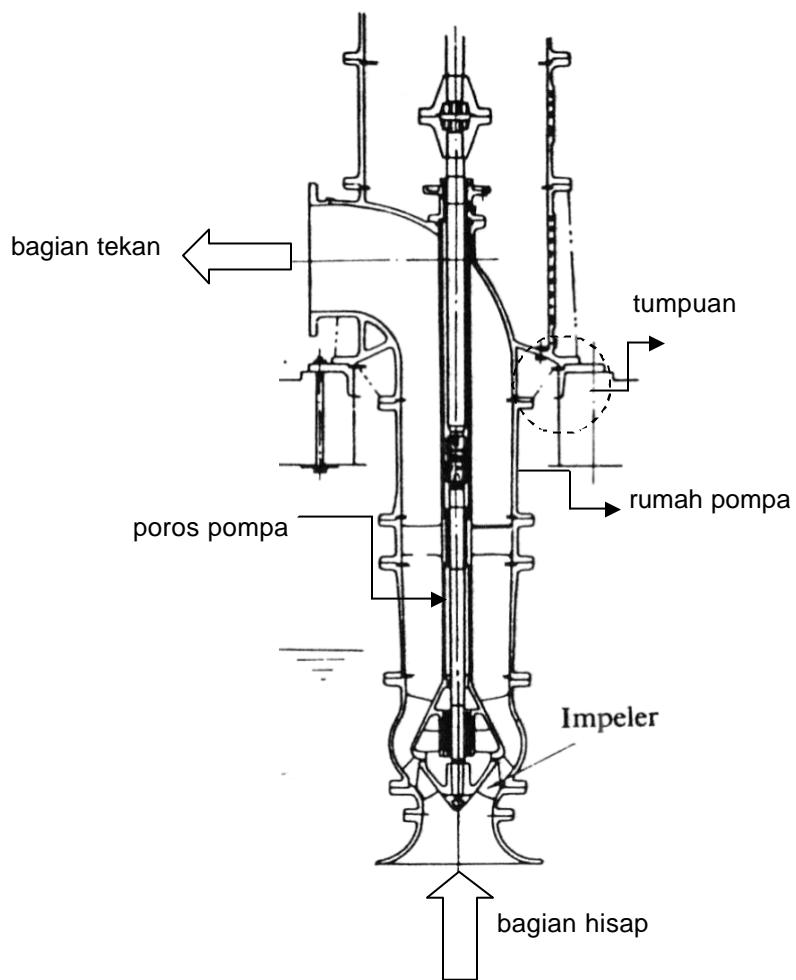
Gambar 5.9 Pompa banyak tingkat ( *multistage* )

Berdasar dari posisi poros, pompa dibedakan menjadi dua yaitu pompa horizontal [gambar 5.10] dan vertikal [gambar 5.11]. Pompa poros horizontal mempunyai poros dengan posisi mendatar. sedangkan pompa poros tegak mempunyai poros dengan posisi tegak. Pompa aliran axial dan campuran banyak dibuat dengan poros tegak. Rumah pompa dipasang dengan ditopang pada lantai oleh pipa yang menyalurkan zat cair ke luar pompa. Posisi poros pompa adalah tegak dan dipasang sepanjang sumbu pipa air ke luar dan disambungkan dengan motor penggerak pada lantai. Poros ditopang oleh beberapa bantalan, sehingga kokoh dan biasanya diselubungi pipa selubung yang berfungsi untuk saluran minyak pelumas.

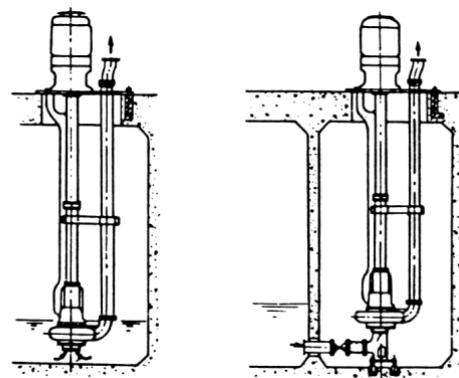
Pompa poros tegak berdasar posisi pompanya ada dua macam yaitu pompa sumuran kering dan sumuran basah [gambar 5.12]. Sumuran kering pompa dipasang di luar tadahisap, sedangkan sumuran basah sebaliknya.



Gambar 5.10 Pompa horizontal



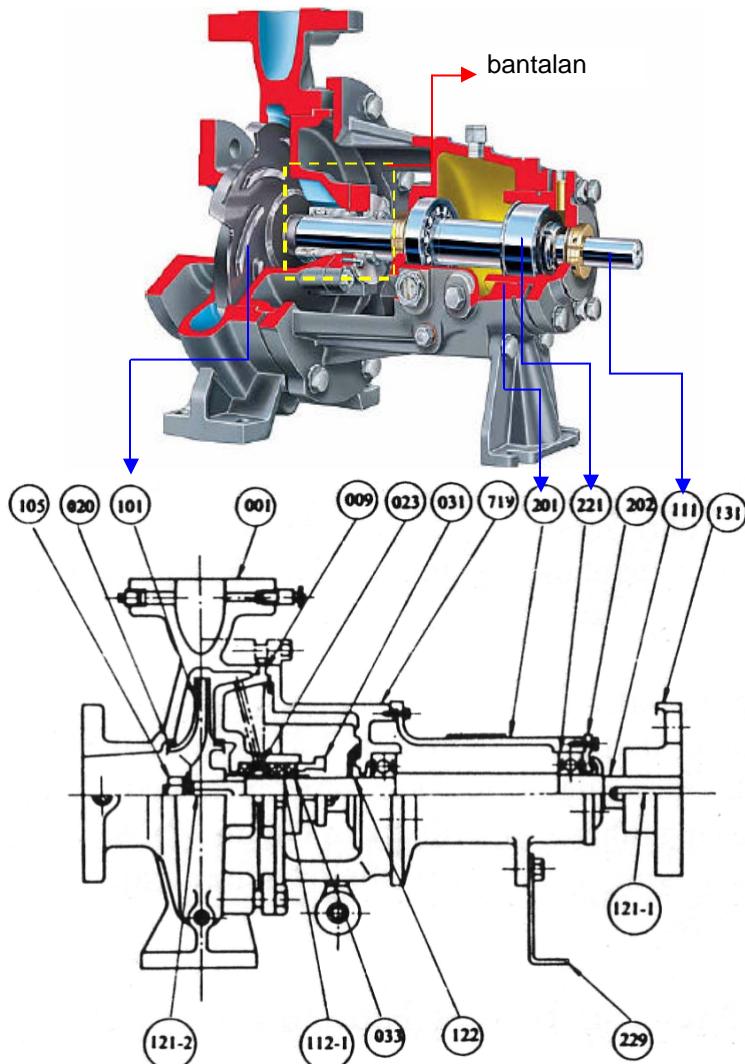
Gambar 5.11 Pompa vertikal



Gambar 5.12 Pompa sumuran kering dan basah

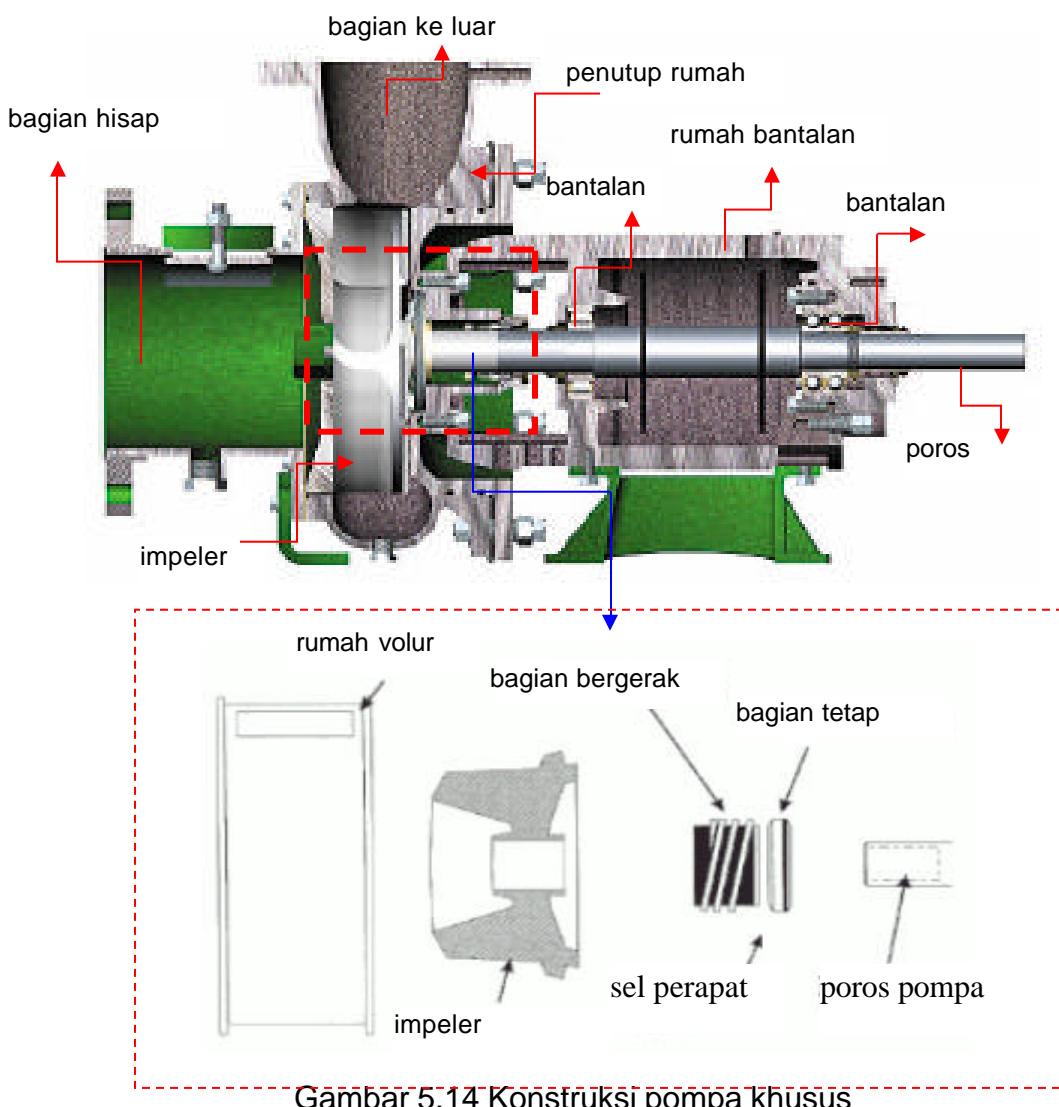
### C. Komponen-Komponen Pompa

Komponen-komponen penting pada pompa sentrifugal adalah komponen yang berputar dan komponen tetap. Komponen berputar terdiri dari poros dan impeler, sedangkan komponen yang tetap adalah rumah pompa (*casing*), bantalan (*bearing*). Komponen lainnya dapat dilihat secara lengkap seperti pada gambar di bawah.



Gambar 5.13 Konstruksi pompa

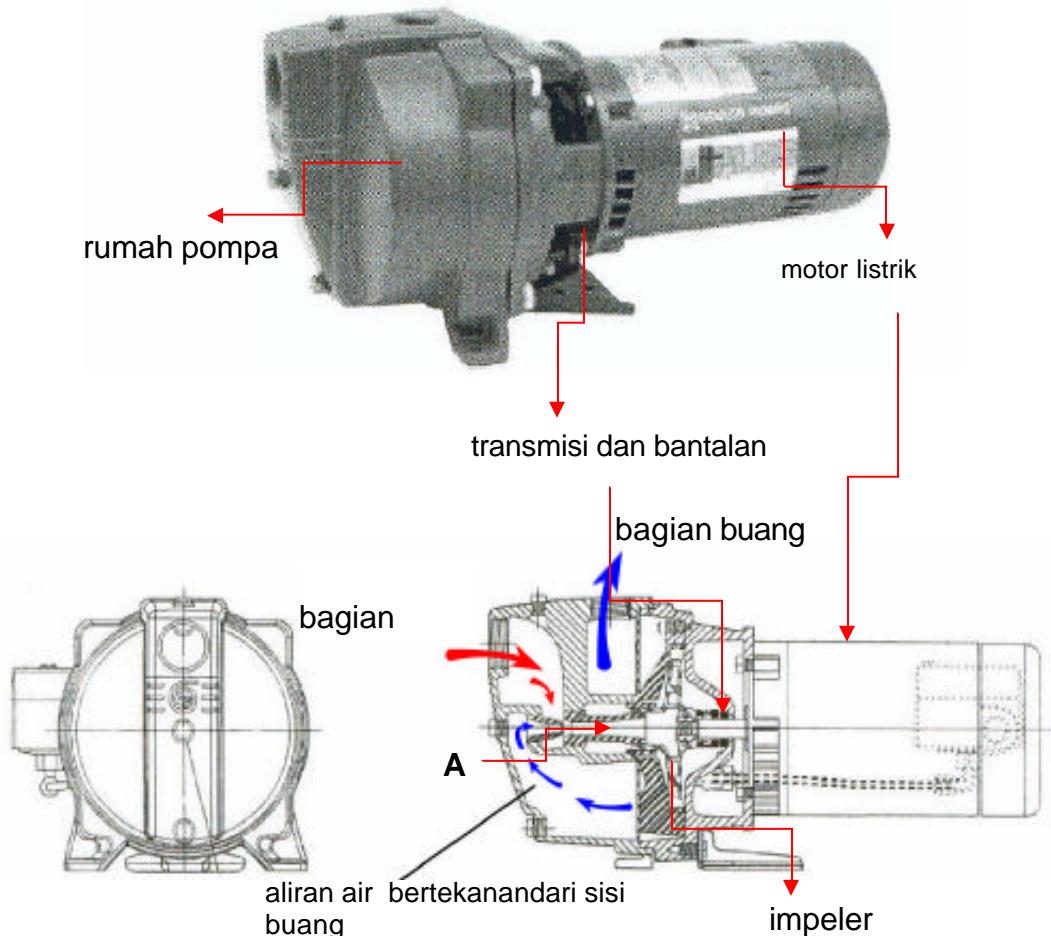
No.	Nama bagian	No.	Nama bagian	No.	Nama bagian
011	Rumah	101	Impeler	201	Rumah bantalan
009	Tutup rumah	105	Mur impeler	202	Tutup bantalan
020	Cincin penyekat	111	Poros	221	Bantalan bola
023	Cincin perapat	112-1	Selubung	229	Penopang
031	Penekan paking	121-1	Pasak	719	Penyangga
033	Paking	121-2	Pasak		
		122	Cincin pelempar		
		131	Kopling		



## D. Konstruksi Pompa Khusus

Pada bagian A sudah dijelaskan konstruksi pompa dengan komponen-komponennya. Pada dasarnya pompa didesain hanya untuk memindahkan air dari sumber air ke tempat yang akan dilayani. Akan tetapi dalam perkembangannya, penggunaan pompa meluas tidak hanya untuk fluida air saja. Berbagai proses industri banyak membutuhkan pompa-pompa khusus yang melayani zat cair dengan karakteristik yang sangat beragam. Sebagai contoh, pada industri kertas zat cair yang akan dipindahkan adalah bubur kayu, dimana bubur kayu ini karakteristiknya sangat berbeda dengan air. Dengan alasan tersebut, saat ini banyak dibuat pompa-pompa dengan keperluan khusus untuk melayani zat cair yang khusus pula.

### D.1 Pompa sembur (*jet pump*)



Gambar 5.15 Pompa sembur (*jet pump*)

Pompa sembur dibuat untuk keperluan pemompaan zat cair (air atau minyak bumi) pada sumur yang sangat dalam, dengan diameter sumur yang kecil, dengan kondisi tersebut pompa standar tidak dapat digunakan. Hal tersebut dikarenakan, tekanan vakum pada sisi hisap pompa standar tidak cukup kuat untuk menghisap zat cair pada ke dalaman zat cair melebihi kondisi operasi normal. Untuk itu perlu dirancang pompa dengan kevakuman yang besar pada sisi hisapnya. Pompa sembur dapat dilihat pada gambar 5.15

Konstruksi pompa sembur terdiri dari komponen-komponen pompa centrifugal standar, yaitu impeler, rumah pompa, transmisi dan bantalan, saluran hisap dan buang, dan sebagai tambahan pada bagian hisap pompa dipasang venturi [gambar 5.15.]. Fungsi venturi disini adalah untuk membuat kevakuman pada sisi hisap semakin besar, dengan demikian energi hisapan menjadi lebih besar atau dengan kata lain head hisap yang dapat di atasi pompa lebih besar. Venturi mempunyai diameter yang kecil, dimana zat cair bertekanan dari sisi buang yang disirkulasikan, akan dipercepat sehingga terjadi kevakuman yang besar pada bagian pompa berdekatan dengan impeler ( bagian A)

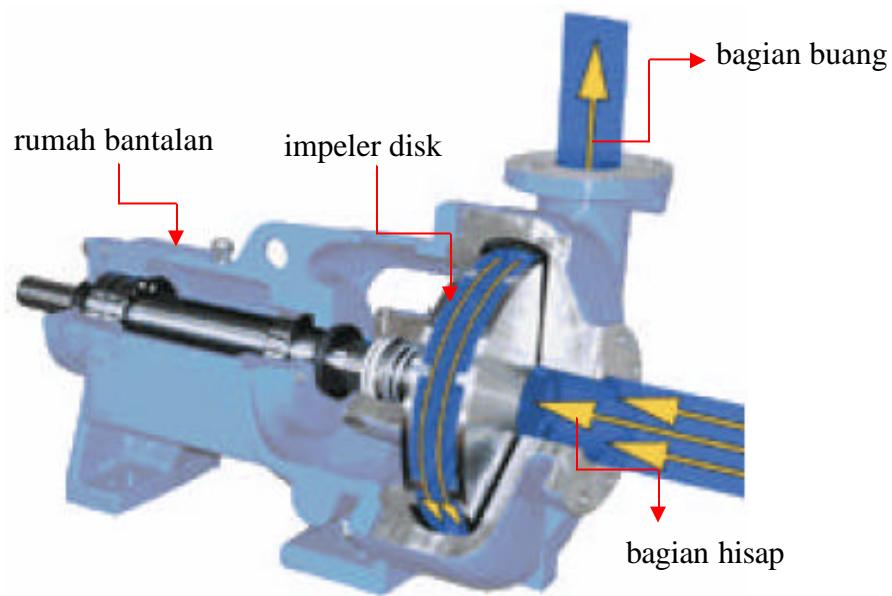
Pemasangan venturi untuk kevakuman dapat diletakkan di dalam pompa Untuk pompa sembur dengan pemasangan venturi di luar pompa, prinsip kerjanya sama dengan pemasangan yang di dalam.

## D.2 Pompa *viscous*

Pompa standar menggunakan impeler untuk memubah energi mekanik menjadi energi fluida. Impeler terdiri dari sudu-sudu (*vane*) impeler yang berbentuk tertentu yang dimaksudkan untuk memaksimalkan perubahan energi. Untuk operasi yang standar dengan kondisi zat cair standar, pompa tidak akan bermasalah. Untuk kondisi khusus yaitu pada zat cair yang banyak terdifusi gas-gas atau udara atau untuk penggunaan zat cair yang mengandung partikel-partikel padatan, pompa yang digunakan harus khusus pula.

Dengan kondisi zat cair yang seperti di atas, penggunaan pompa dengan konstruksi standar sangat tidak menguntungkan, komponen-komponen pompa khususnya impeler akan mengalami kerusakan pada sudu-sudu impellernya. Pemeliharaan dan perawatan menjadi mahal dan performa pompa rendah. Untuk mengatasinya, komponen pompa yaitu pada impelernya harus dimodifikasi, sehingga dapat bekerja dengan kondisi tersebut di atas dengan aman dan performa tinggi.

Gambar 5.16 adalah pompa yang dibuat khusus untuk melayani dan beroperasi dengan zat cair yang mengandung udara atau gas dan partikel-partikel padatan. Impelernya berbentuk disk datar. Proses perpindahan energinya dengan proses geseran, yaitu fluida cair akan dipindahkan dengan gaya geser impeler.



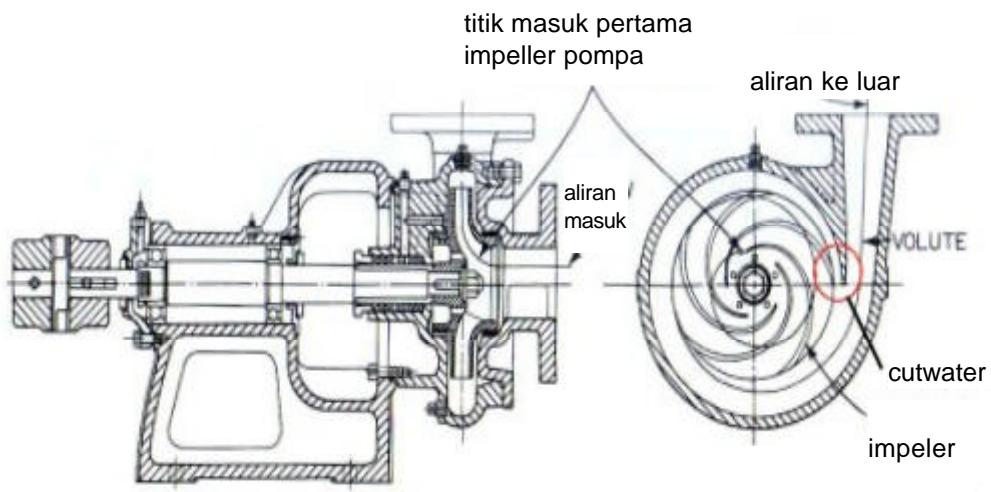
Gambar 5.16 Pompa viscous

Energi mekanik akan berpindah dari impeler ke fluida cair, sehingga fluida cair mengalami kenaikan energi kecepatan yang akan diubah menjadi energi tekanan pada bagian buangnya. Keuntungan dengan penggunaan impeler dengan model disc adalah dapat digunakan dengan aman apabila zat cair banyak mengandung gas atau padatan, resiko kerusakan karena tumbukan rendah dengan kondisi seperti itu pompa lebih awet. Jenis impeler pompa ini adalah tebuka sehingga sangat menguntungkan apabila pompa bekerja dengan zat cair yang banyak mengandung partikel padat.

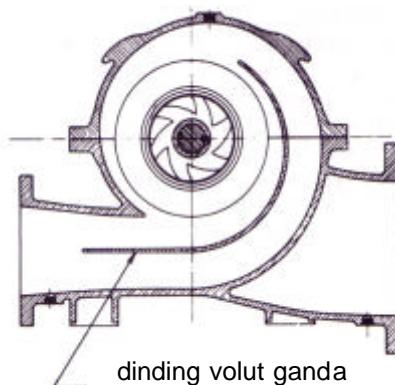
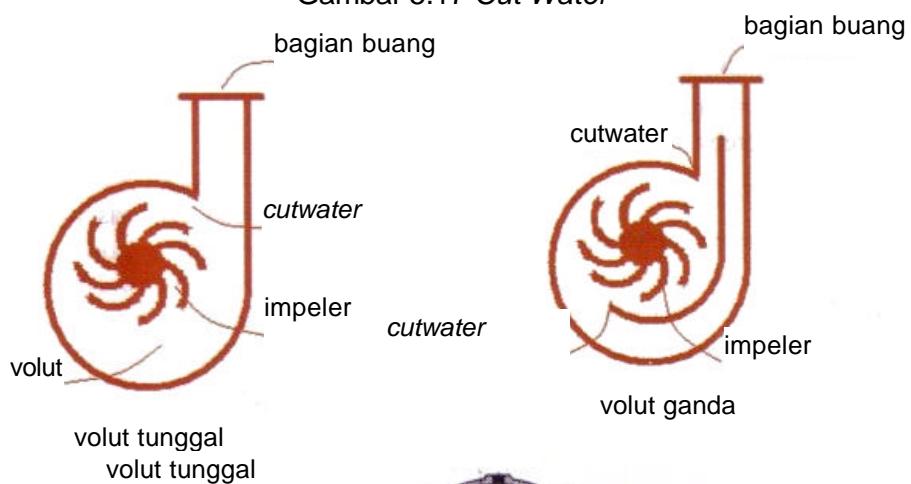
### D.3 Pompa dengan volute ganda

Pada pompa dengan volute tunggal pada proses konversi energi selalu timbul gaya hidrolik (tekan fluida tak beraturan) terutama pada daerah *cut water* [gambar 5.17]. Gaya hidrolik tersebut sering berefek negatif terhadap komponen-komponen di dalam pompa khususnya komponen yang berputar yaitu impeler. Karena ditumbuk berulang-ulang oleh gaya hidrolik, impeller pompa dapat mengalami keausan.

Untuk mengatasi timbulnya gaya hidrolik yaitu pada daerah *cut water* di dalam pompa, dibuat pompa dengan volute ganda. Dengan volute ganda, *cut water* menjadi dua buah sehingga gaya hidrolik yang timbul akan saling menyeimbangkan, sehingga tidak menimbulkan efek yang negatif pada impeler. Penggunaan volute ganda akan menyebabkan pompa lebih awet dan hal ini mengurangi biaya perawatan. Akan tetapi biaya pembuatan pompa menjadi mahal dan performa pompa berkurang. Adapun karakteristik operasi volute ganda dapat dilihat pada gambar.



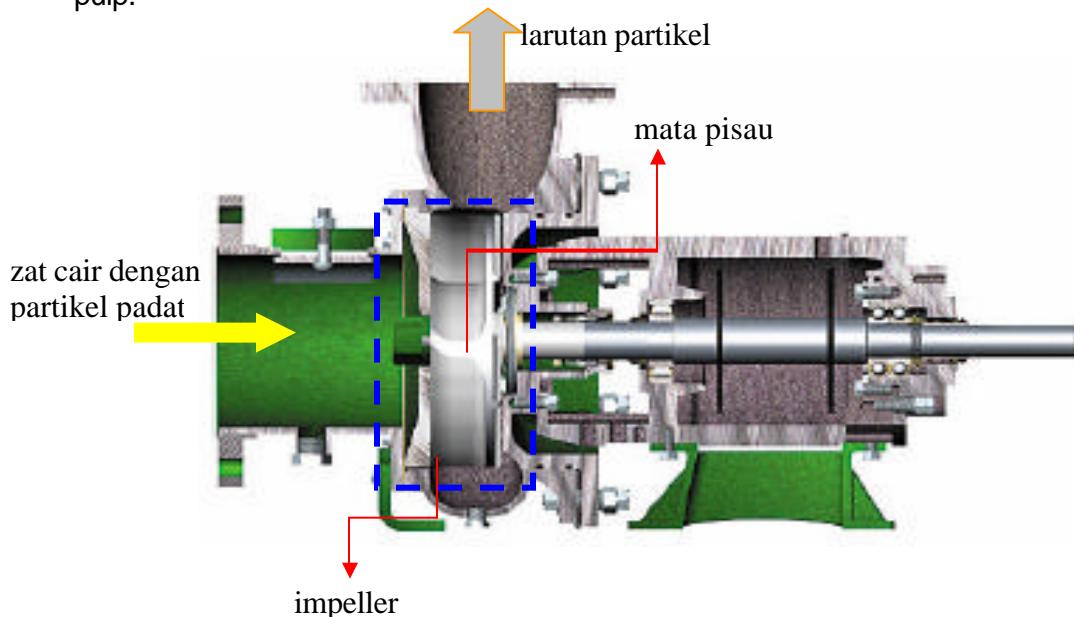
Gambar 5.17 Cut Water



Gambar 5.18 Volut tunggal dan ganda

#### D.4 Pompa CHOPPER

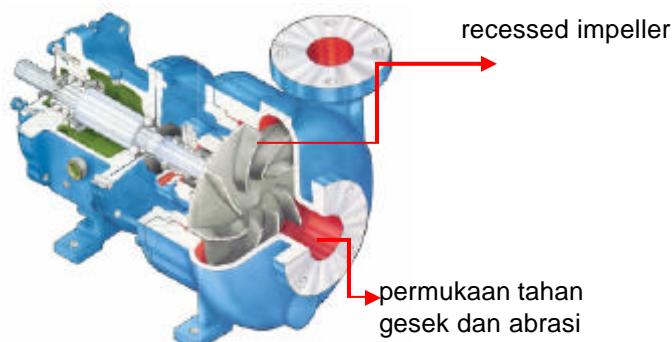
Pada instalasi pengolahan limbah, baik limbah industri maupun limbah rumah tangga banyak dipasang pompa untuk menangani limbah-limbah cair yang banyak mengandung material/partikel padat (solid). Untuk keperluan tersebut, pompa yang sering dipakai adalah pompa Chopper. Pompa ini memiliki impeller yang mempunyai mata pisau sehingga partikel-partikel padat akan dihancurkan dan larut dalam air. Pompa jenis ini juga banyak dipakai pada industri pengolahan kertas dan pulp.



Gambar 5.19 Pompa Chopper

#### D.5 Pompa dengan *Reccesed Impeller*

Pompa volut (*end suction*) jenis ini banyak dipakai untuk jenis zat cair yang banyak mengandung partikel-partikel padat berserat, zat cair yang mengandung gas dan zat cair yang sensitif mudah menimbulkan gesekan.

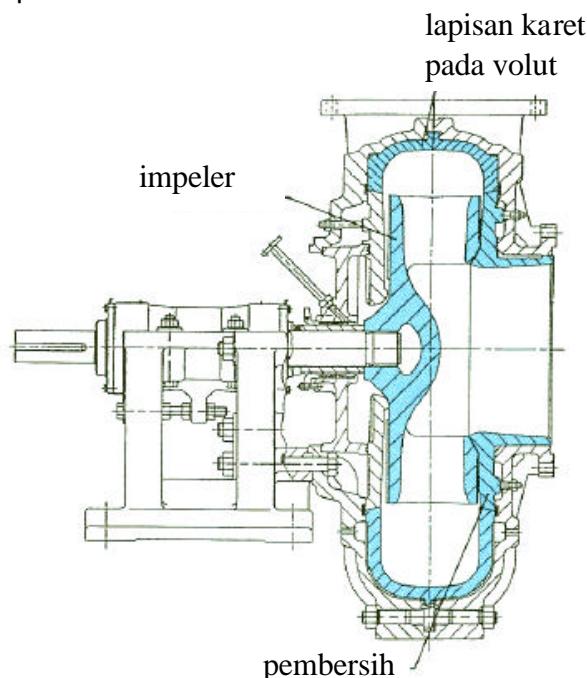


Gambar 5.20 Pompa *reccesed impeller*

Pompa mempunyai impeler yang khusus (*recessed impeller*), dengan permukaan rumah pompa dan impeler yang dilapisi dari material tahan gesek, sehingga lebih tahan terhadap gesekan dan kavitas. Pada zat cair yang banyak mengandung serat pada pompa biasa akan mudah sekali mampat atau alirannya akan tersumbat oleh serat-serat, tetapi dengan penggunaan pompa jenis ini masalah tersebut dapat diatasi. Pompa ini juga mampu melayani zat cair yang banyak mengandung gas atau udara sampai 5 % dari total volume.

#### D.6 Pompa lumpur (*slurry*)

Banyak pompa dipakai pada instalasi pengolahan dengan zat cair dengan kandungan bahan/material padat yang berlebih dengan bentuk fisik lumpur, seperti adukan semen, atau lumpur pasir. Sifat dari lumpur tersebut sangat abrasif sehingga sangat merusak pada komponen-komponen pompa.

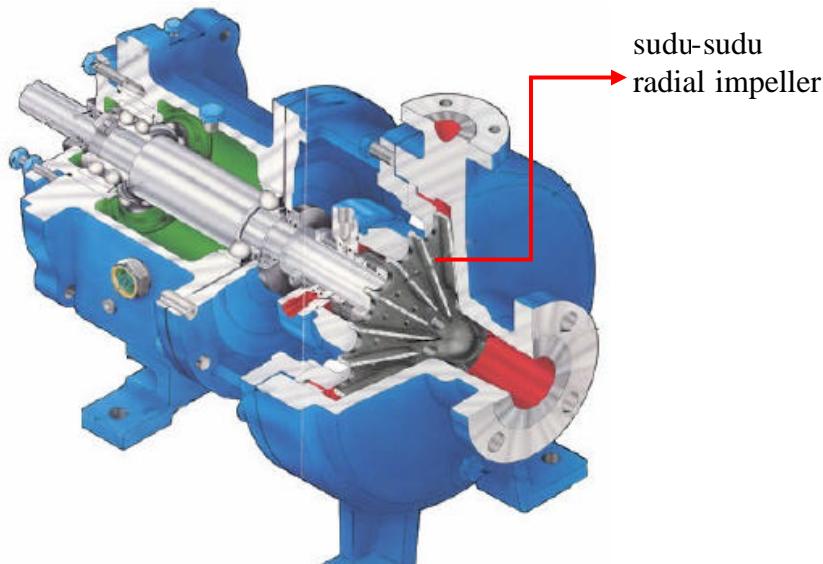


Gambar 5.21 Pompa lumpur (*slurry*)

Untuk mengatasi hal tersebut, pada komponen pompa yaitu pada rumah pompa dan impeler pompa dilapisi dengan bahan terbuat dari karet (*rubber*). Sifat bahan pelapis yang terbuat dari karet sangat elastis. Pada proses pemompaan material padat lumpur akan teredam gaya tumbuknya pada rumah pompa dan impeler, atau tidak mengenai permukaan logam secara langsung sehingga tidak menimbulkan erosi dan abrasi. Karena jenis fluidanya adalah zat cair (lumpur) dengan kekentalan tinggi, NPSH untuk pompa jenis ini adalah lebih tinggi dibanding dengan pompa biasa.

#### D.7 Pompa LFH (*Low Flow High Head*)

Bentuk sudu impeler pompa volut jenis ini adalah radial [Gambar 5.22]. Pompa ini banyak dioperasikan untuk melayani instalasi dengan zat cair yang bersifat korosif, dengan debit kecil pada head yang tinggi. Untuk keperluan tersebut pada impeler dan rumah pompa (*volut*) dilapisi dengan material yang tahan korosi.

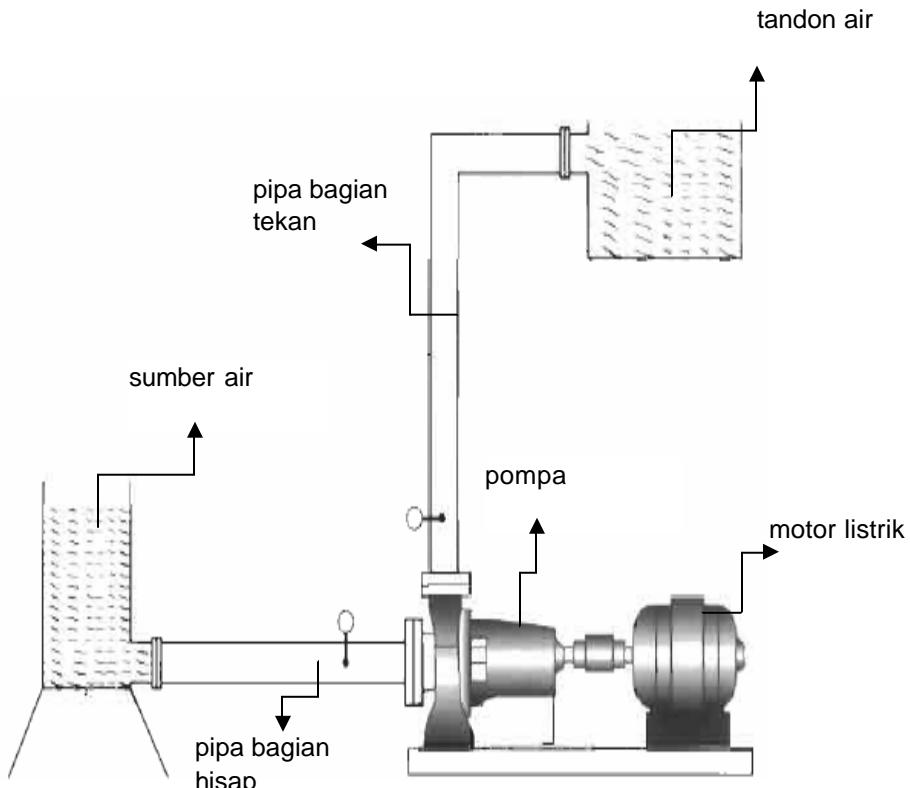


Gambar 5.22 Pompa volut LFH

Pompa ini beroperasi pada debit yang rendah karena pada aliran yang lebih tinggi pompa bekerja dengan risiko cepat rusak dan memerlukan perawatan yang lebih mahal. Jadi pompa ini dirancang khusus untuk bekerja pada debit yang kecil dengan performa yang normal.

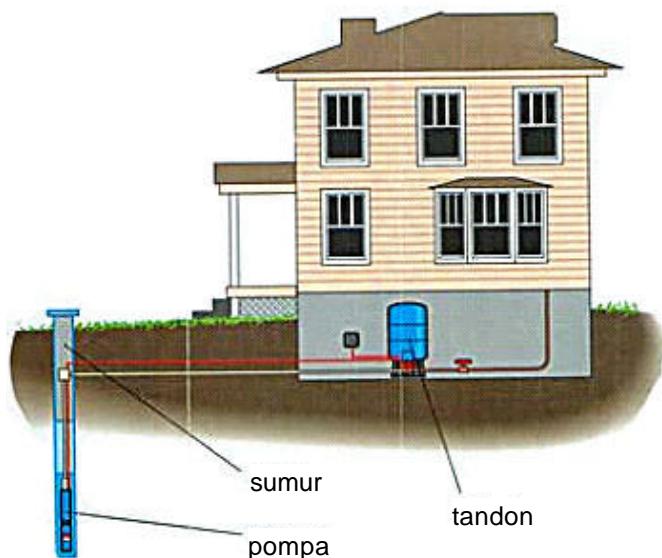
## BAB 5 DASAR POMPA

Pompa merupakan salah satu jenis mesin yang berfungsi untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang diinginkan. Zat cair tersebut contohnya adalah air, oli atau minyak pelumas, serta fluida lainnya yang tak mampu mampat. Industri-industri banyak menggunakan pompa sebagai salah satu peralatan bantu yang penting untuk proses produksi. Sebagai contoh pada pembangkit listrik tenaga uap, pompa digunakan untuk menyuplai air umpan ke boiler atau membantu sirkulasi air yang akan diuapkan di boiler.



Gambar 5.1 Instalasi pompa

Pada industri, pompa banyak digunakan untuk mensirkulasi air atau minyak pelumas atau pendingin mesin-mesin industri. Pompa juga dipakai pada motor bakar yaitu sebagai pompa pelumas, bensin atau air pendingin. Jadi pompa sangat penting untuk kehidupan manusia secara langsung yang dipakai di rumah tangga atau tidak langsung seperti pada pemakaian pompa di industri.

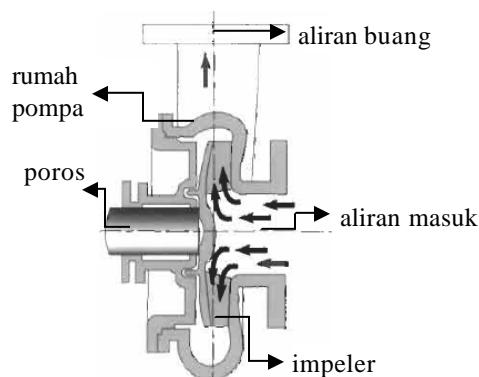


Gambar 5.2 Instalasi pompa pada rumah tangga

Pada pompa akan terjadi perubahan dari energi mekanik menjadi energi fluida. Pada mesin-mesin hidrolik termasuk pompa, energi fluida ini disebut head atau energi persatuan berat zat cair. Ada tiga bentuk head yang mengalami perubahan yaitu head tekan, kecepatan dan potensial.

### A. Prinsip Kerja Pompa

Pada pompa terdapat suatu impeler [gambar 5.3] yang berfungsi sebagai tempat terjadi proses konversi energi dari energi mekanik putaran menjadi energi fluida head. Impeler dipasang pada poros pompa yang berhubungan dengan motor penggerak, biasanya motor listrik atau motor bakar

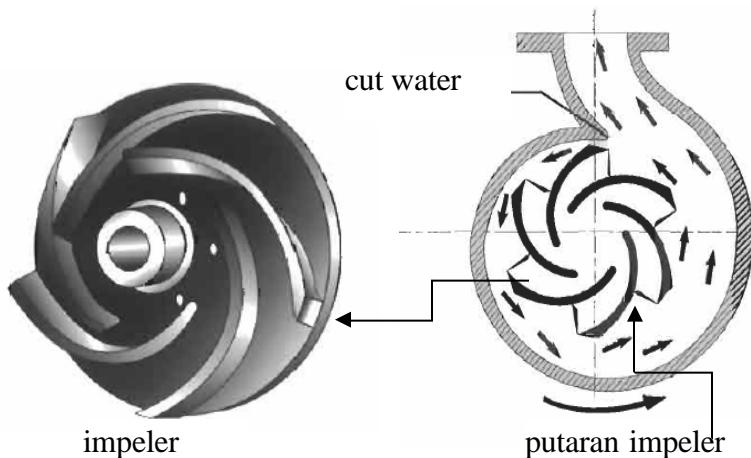


Gambar 5.3 Proses pemompaan

Poros pompa akan berputar apabila penggeraknya berputar. Karena poros pompa berputar impeler dengan suatu impeler berputar, zat cair yang ada di dalamnya akan ikut berputar sehingga tekanan dan kecepatannya naik dan terlempar dari tengah pompa ke saluran yang berbentuk volut atau spiral kemudian ke luar melalui nosel .

Jadi fungsi impeler pompa adalah mengubah energi mekanik yaitu putaran impeler menjadi energi fluida (zat cair). Dengan kata lain, zat cair yang masuk pompa akan mengalami pertambahan energi. Pertambahan energi pada zat cair mengakibatkan pertambahan head tekan, head kecepatan dan head potensial. Jumlah dari ketiga bentuk head tersebut dinamakan head total. Head total pompa juga dapat didefinisikan sebagai selisih head total (energi persatuan berat) pada sisi hisap pompa dengan sisi ke luar pompa.

Pada gambar 5.4, aliran air di dalam pompa akan ikut berputar karena gaya sentrifugal dari impeler yang berputar.



Gambar 5.4 Perubahan energi zat cair pada pompa

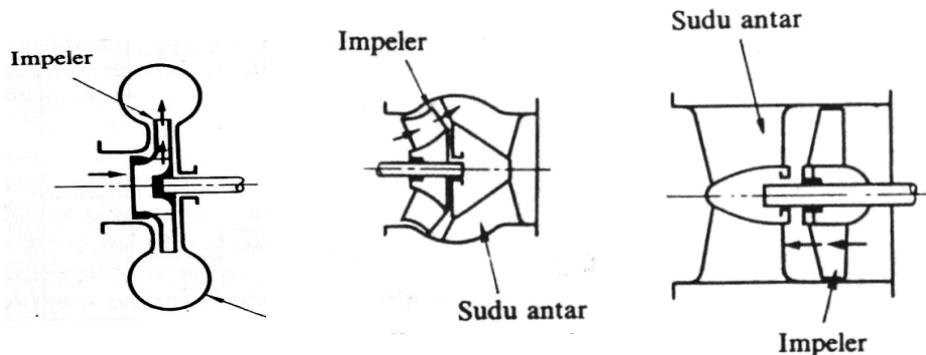
## B. Klasifikasi Pompa

Menurut bentuk impelernya, pompa sentrifugal diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu impeler aliran radial, impeler aliran axial dan impeler aliran radial dan axial [gambar 5.5]. Pompa radial mempunyai konstruksi yang mengakibatkan zat cair ke luar dari impeler tegak lurus dengan poros pompa. Sedangkan untuk pompa axial, arah aliran akan sejajar dengan poros pompa, dan pompa aliran campuran arah aliran berbentuk kerucut mengikuti bentuk impelernya.

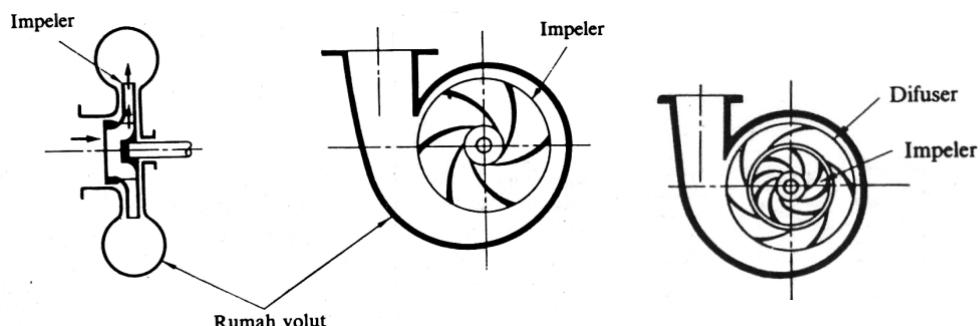
Menurut bentuk rumah pompa, pompa dengan rumah berbentuk volut disebut dengan pompa volut, sedangkan rumah dengan difuser disebut pompa difuser

Pada pompa difuser, dengan pemasangan difuser pada sekeliling luar impeler, akan memperbaiki efisiensi pompa dan menambah kokoh rumah pompa. Dengan alasan itu, pompa jenis ini banyak dipakai pada pompa besar dengan head tinggi. Berbeda dengan pompa jenis tersebut,

pompa aliran campuran sering tidak menggunakan difuser, tetapi rumah volut karena zat cair lebih mudah mengalir dan tidak tersumbat, pompa jenis ini banyak dipakai pada pengolahan limbah



Gambar 5.5 Klasifikasi pompa berdasar bentuk impeller4



Gambar 5.6 Klasifikasi pompa berdasar rumah pompa4

Menurut jumlah aliran yang masuk, pompa sentrifugal diklasifikasikan menjadi pompa satu aliran masuk dan dua aliran masuk [gambar 5.7]. Pompa hisapan tunggal banyak dipakai karena konstruksinya sederhana. Permasalahan pada pompa ini yaitu gaya aksial yang timbul dari sisi hisap, dapat di atasi dengan menambah ruang pengimbang, sehingga tidak perlu lagi menggunakan bantalan aksial yang besar.

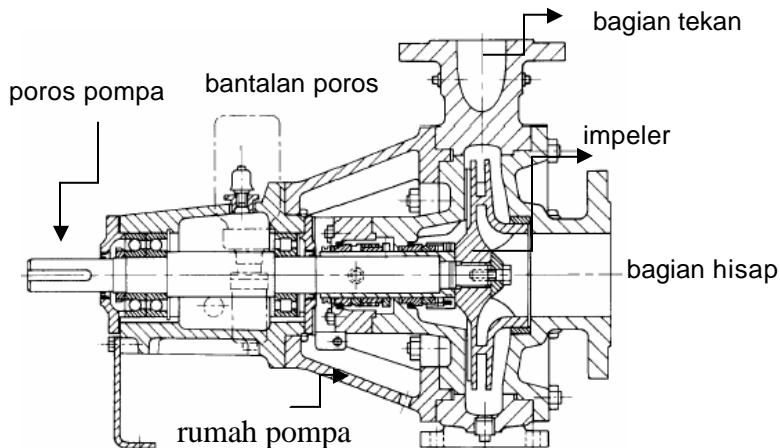
Untuk pompa dua aliran masuk banyak dipakai pada pompa berukuran besar atau sedang. Konstruksi pompa ini terdiri dua impeler saling membelakangi dan zat cair masuk dari kedua sisi impeler, dengan konstruksi seperti itu, permasalahan gaya aksial tidak muncul karena saling mengimbangi. Debit zat cair ke luar dua kali dari debit zat cair yang masuk lewat dua sisi impeler. Pompa jenis ini juga dapat beropersi pada putaran yang tinggi. Untuk aliran masuk yang lebih dari dua, prinsip kerjanya sama dengan yang dua aliran masuk.



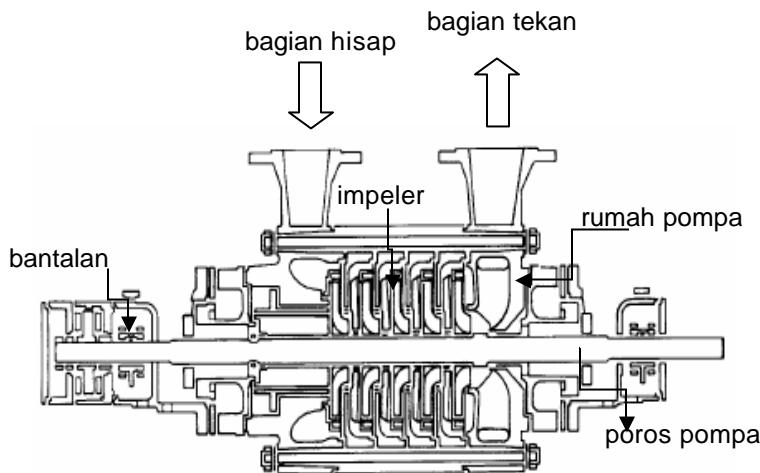
Gambar 5.7 Klasifikasi pompa berdasarkan jumlah aliran masuk

Jika pompa hanya mempunyai satu buah impeler disebut pompa satu tingkat [gambar 5.8], yang lainnya dua tingkat, tiga dan seterusnya dinamakan pompa banyak tingkat [gambar 5.9]. Pompa satu tingkat hanya mempunyai satu impeler dengan head yang relatif rendah. Untuk yang banyak tingkat mempunyai impeler sejumlah tingkatnya. Head total adalah jumlah dari setiap tingkat sehingga untuk pompa ini mempunyai head yang realtif tinggi.

Konstruksi impeler biasanya menghadap satu arah tetapi untuk menghindari gaya aksial yang timbul dibuat saling membekali. Pada rumah pompa banyak tingkat, dapatnya dipasang diffuser, tetapi ada juga yang menggunakan volut. Pemasangan diffuser pada rumah pompa banyak tingkat lebih menguntungkan daripada dengan rumah volut, karena aliran dari satu tingkat ketingkat berikutnya lebih mudah dilakukan.



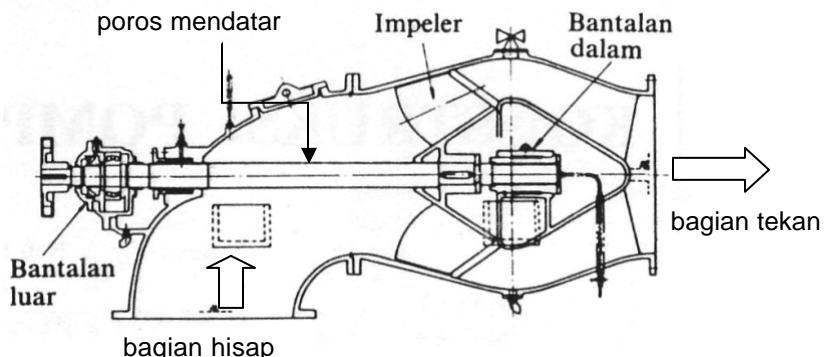
Gambar 5.8 Pompa satu tingkat



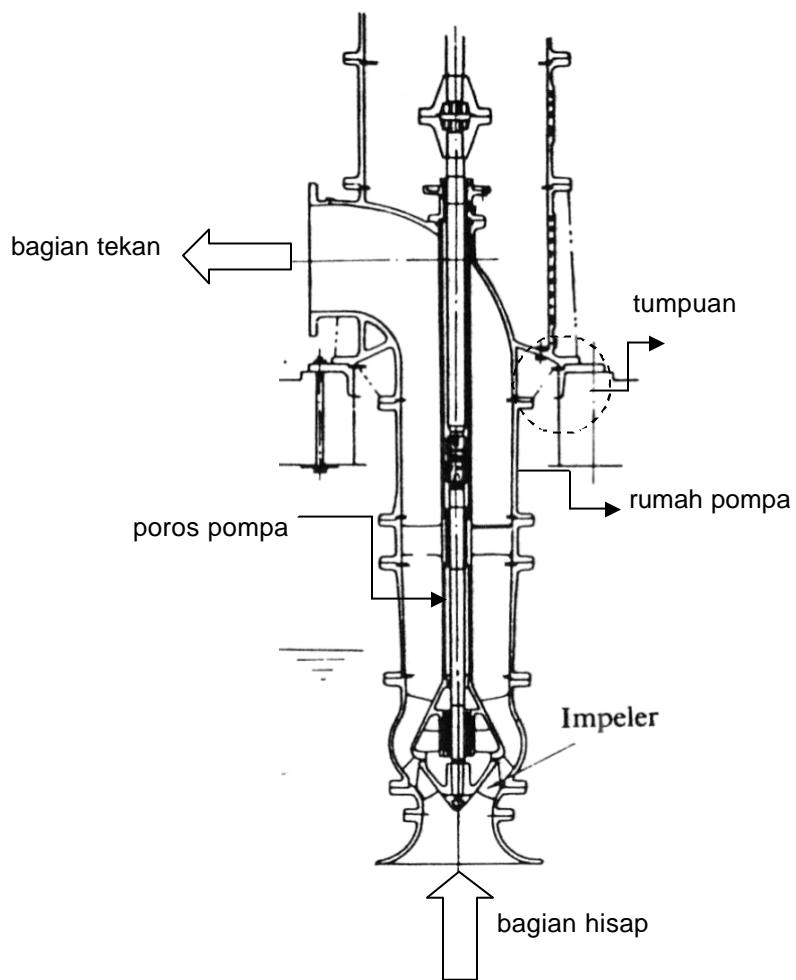
Gambar 5.9 Pompa banyak tingkat ( *multistage* )

Berdasar dari posisi poros, pompa dibedakan menjadi dua yaitu pompa horizontal [gambar 5.10] dan vertikal [gambar 5.11]. Pompa poros horizontal mempunyai poros dengan posisi mendatar. sedangkan pompa poros tegak mempunyai poros dengan posisi tegak. Pompa aliran axial dan campuran banyak dibuat dengan poros tegak. Rumah pompa dipasang dengan ditopang pada lantai oleh pipa yang menyalurkan zat cair ke luar pompa. Posisi poros pompa adalah tegak dan dipasang sepanjang sumbu pipa air ke luar dan disambungkan dengan motor penggerak pada lantai. Poros ditopang oleh beberapa bantalan, sehingga kokoh dan biasanya diselubungi pipa selubung yang berfungsi untuk saluran minyak pelumas.

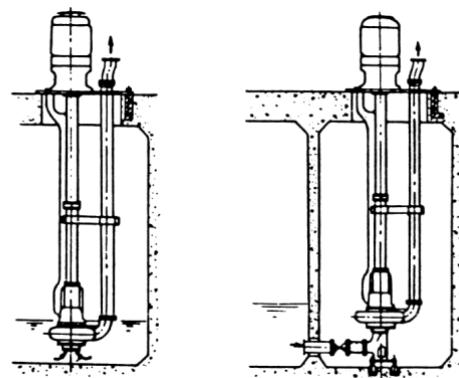
Pompa poros tegak berdasar posisi pompanya ada dua macam yaitu pompa sumuran kering dan sumuran basah [gambar 5.12]. Sumuran kering pompa dipasang di luar tadahisap, sedangkan sumuran basah sebaliknya.



Gambar 5.10 Pompa horizontal



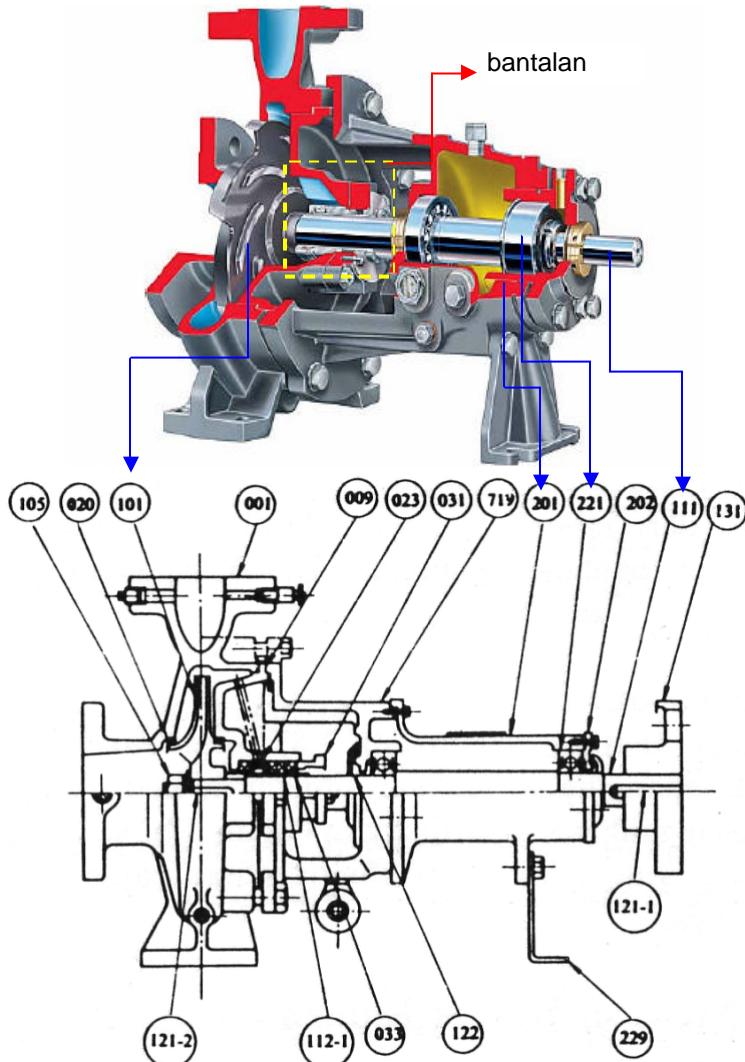
Gambar 5.11 Pompa vertikal



Gambar 5.12 Pompa sumuran kering dan basah

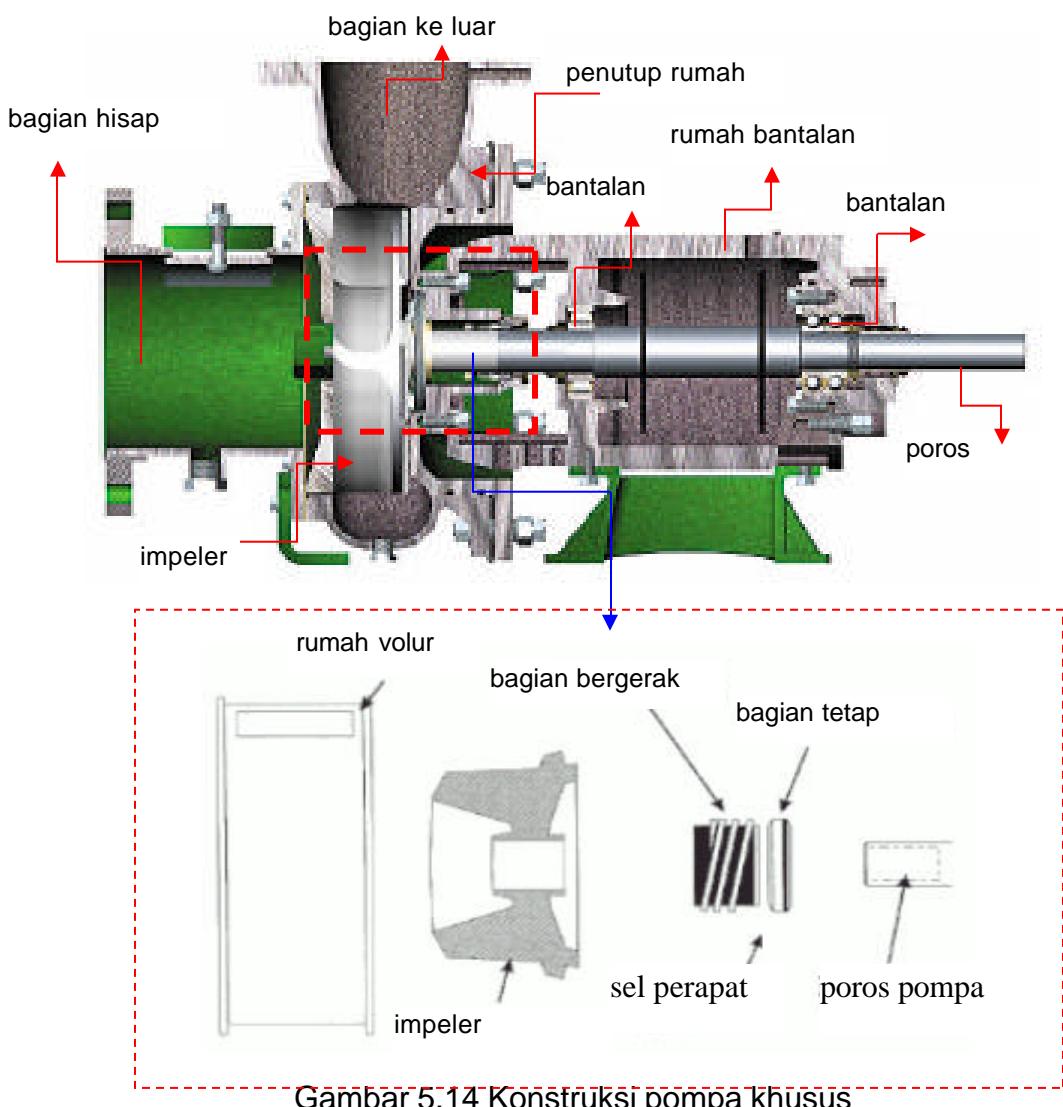
### C. Komponen-Komponen Pompa

Komponen-komponen penting pada pompa sentrifugal adalah komponen yang berputar dan komponen tetap. Komponen berputar terdiri dari poros dan impeler, sedangkan komponen yang tetap adalah rumah pompa (*casing*), bantalan (*bearing*). Komponen lainnya dapat dilihat secara lengkap seperti pada gambar di bawah.



Gambar 5.13 Konstruksi pompa

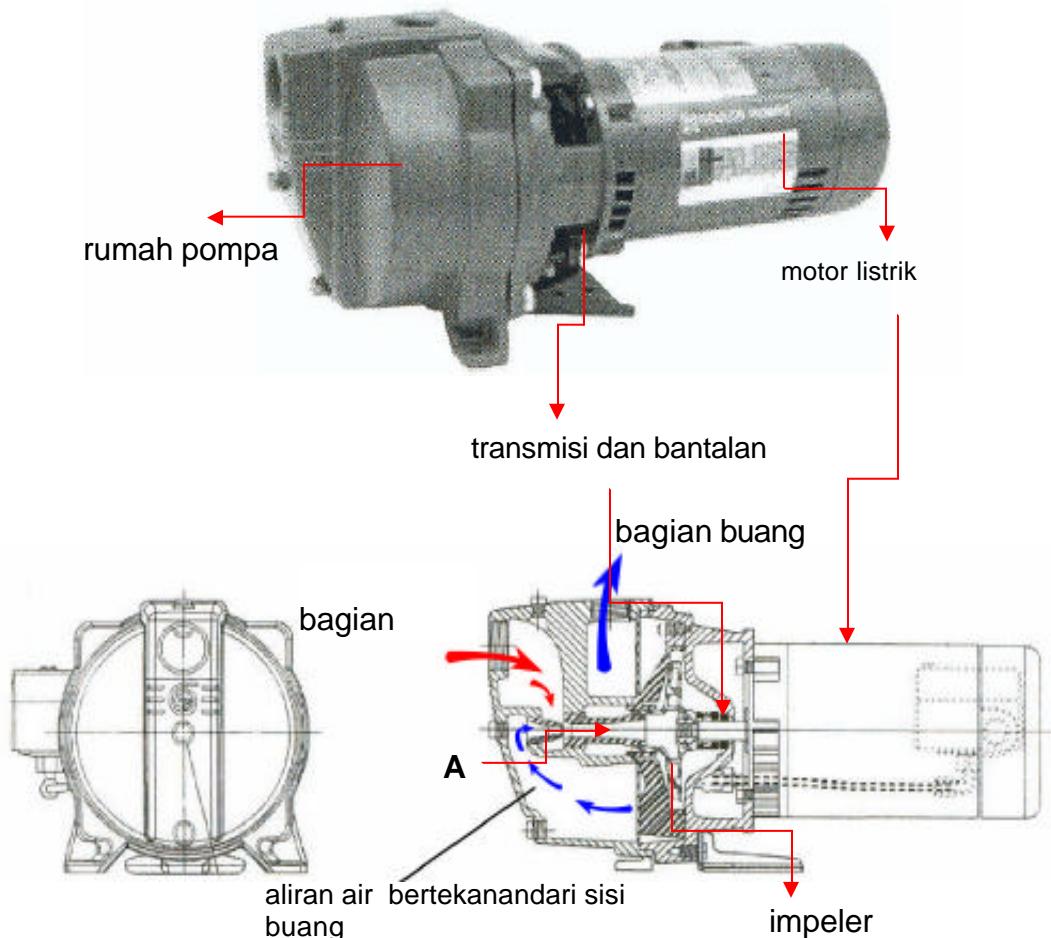
No.	Nama bagian	No.	Nama bagian	No.	Nama bagian
011	Rumah	101	Impeler	201	Rumah bantalan
009	Tutup rumah	105	Mur impeler	202	Tutup bantalan
020	Cincin penyekat	111	Poros	221	Bantalan bola
023	Cincin perapat	112-1	Selubung	229	Penopang
031	Penekan paking	121-1	Pasak	719	Penyangga
033	Paking	121-2	Pasak		
		122	Cincin pelempar		
		131	Kopling		



## D. Konstruksi Pompa Khusus

Pada bagian A sudah dijelaskan konstruksi pompa dengan komponen-komponennya. Pada dasarnya pompa didesain hanya untuk memindahkan air dari sumber air ke tempat yang akan dilayani. Akan tetapi dalam perkembangannya, penggunaan pompa meluas tidak hanya untuk fluida air saja. Berbagai proses industri banyak membutuhkan pompa-pompa khusus yang melayani zat cair dengan karakteristik yang sangat beragam. Sebagai contoh, pada industri kertas zat cair yang akan dipindahkan adalah bubur kayu, dimana bubur kayu ini karakteristiknya sangat berbeda dengan air. Dengan alasan tersebut, saat ini banyak dibuat pompa-pompa dengan keperluan khusus untuk melayani zat cair yang khusus pula.

### D.1 Pompa sembur (*jet pump*)



Gambar 5.15 Pompa sembur (*jet pump*)

Pompa sembur dibuat untuk keperluan pemompaan zat cair (air atau minyak bumi) pada sumur yang sangat dalam, dengan diameter sumur yang kecil, dengan kondisi tersebut pompa standar tidak dapat digunakan. Hal tersebut dikarenakan, tekanan vakum pada sisi hisap pompa standar tidak cukup kuat untuk menghisap zat cair pada ke dalaman zat cair melebihi kondisi operasi normal. Untuk itu perlu dirancang pompa dengan kevakuman yang besar pada sisi hisapnya. Pompa sembur dapat dilihat pada gambar 5.15

Konstruksi pompa sembur terdiri dari komponen-komponen pompa centrifugal standar, yaitu impeler, rumah pompa, transmisi dan bantalan, saluran hisap dan buang, dan sebagai tambahan pada bagian hisap pompa dipasang venturi [gambar 5.15.]. Fungsi venturi disini adalah untuk membuat kevakuman pada sisi hisap semakin besar, dengan demikian energi hisapan menjadi lebih besar atau dengan kata lain head hisap yang dapat di atasi pompa lebih besar. Venturi mempunyai diameter yang kecil, dimana zat cair bertekanan dari sisi buang yang disirkulasikan, akan dipercepat sehingga terjadi kevakuman yang besar pada bagian pompa berdekatan dengan impeler ( bagian A)

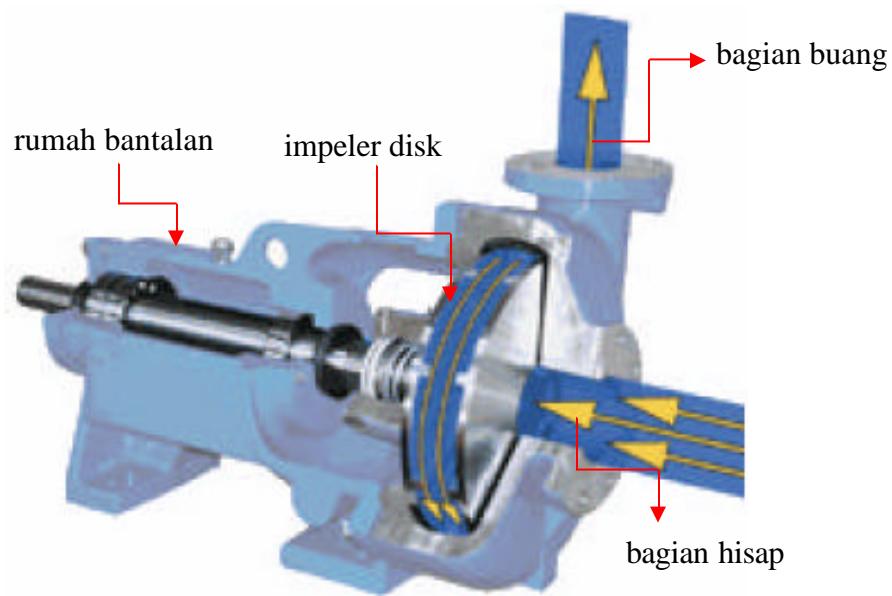
Pemasangan venturi untuk kevakuman dapat diletakkan di dalam pompa Untuk pompa sembur dengan pemasangan venturi di luar pompa, prinsip kerjanya sama dengan pemasangan yang di dalam.

## D.2 Pompa *viscous*

Pompa standar menggunakan impeler untuk memubah energi mekanik menjadi energi fluida. Impeler terdiri dari sudu-sudu (*vane*) impeler yang berbentuk tertentu yang dimaksudkan untuk memaksimalkan perubahan energi. Untuk operasi yang standar dengan kondisi zat cair standar, pompa tidak akan bermasalah. Untuk kondisi khusus yaitu pada zat cair yang banyak terdifusi gas-gas atau udara atau untuk penggunaan zat cair yang mengandung partikel-partikel padatan, pompa yang digunakan harus khusus pula.

Dengan kondisi zat cair yang seperti di atas, penggunaan pompa dengan konstruksi standar sangat tidak menguntungkan, komponen-komponen pompa khususnya impeler akan mengalami kerusakan pada sudu-sudu impellernya. Pemeliharaan dan perawatan menjadi mahal dan performa pompa rendah. Untuk mengatasinya, komponen pompa yaitu pada impelernya harus dimodifikasi, sehingga dapat bekerja dengan kondisi tersebut di atas dengan aman dan performa tinggi.

Gambar 5.16 adalah pompa yang dibuat khusus untuk melayani dan beroperasi dengan zat cair yang mengandung udara atau gas dan partikel-partikel padatan. Impelernya berbentuk disk datar. Proses perpindahan energinya dengan proses geseran, yaitu fluida cair akan dipindahkan dengan gaya geser impeler.



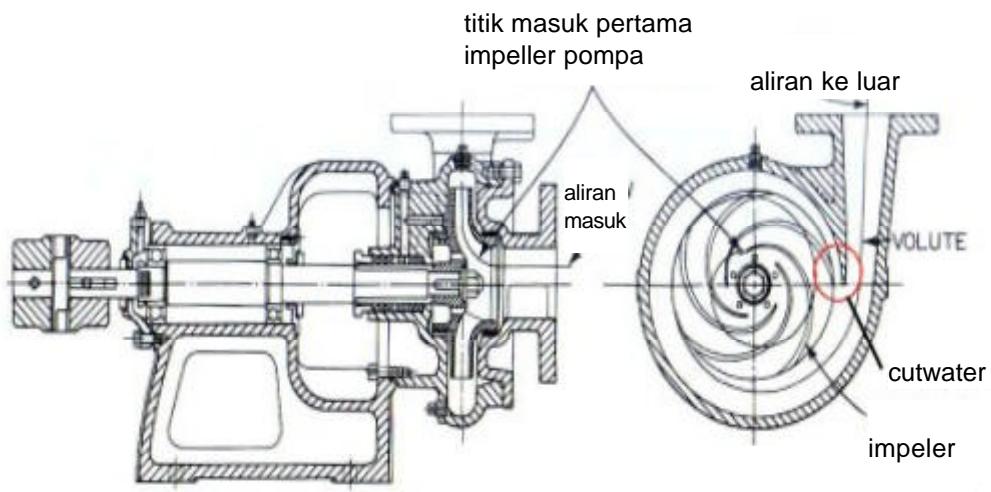
Gambar 5.16 Pompa viscous

Energi mekanik akan berpindah dari impeler ke fluida cair, sehingga fluida cair mengalami kenaikan energi kecepatan yang akan diubah menjadi energi tekanan pada bagian buangnya. Keuntungan dengan penggunaan impeler dengan model disc adalah dapat digunakan dengan aman apabila zat cair banyak mengandung gas atau padatan, resiko kerusakan karena tumbukan rendah dengan kondisi seperti itu pompa lebih awet. Jenis impeler pompa ini adalah tebuka sehingga sangat menguntungkan apabila pompa bekerja dengan zat cair yang banyak mengandung partike padat.

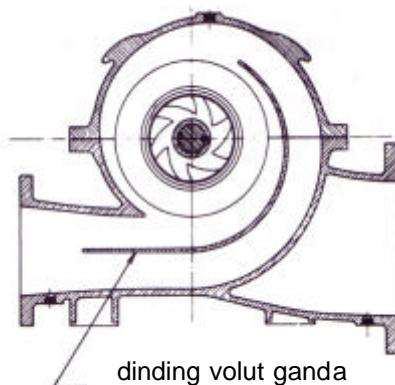
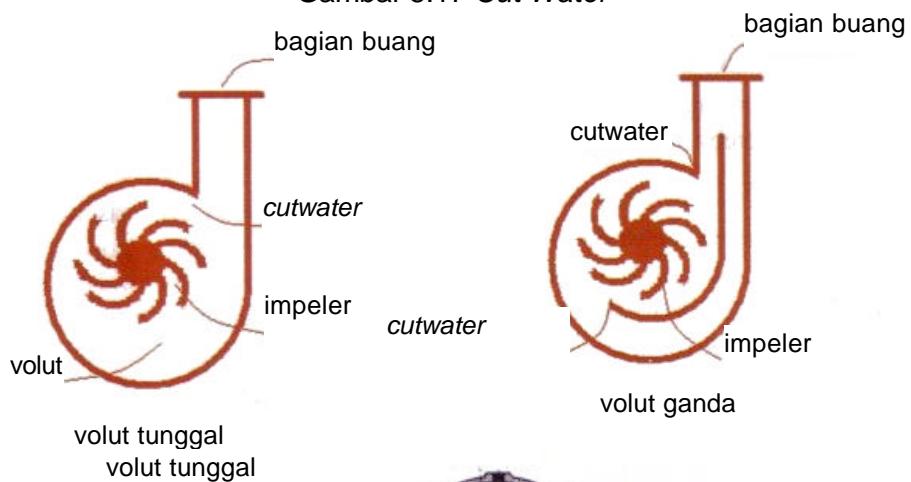
### D.3 Pompa dengan volute ganda

Pada pompa dengan volute tunggal pada proses konversi energi selalu timbul gaya hidrolik (tekan fluida tak beraturan) terutama pada daerah *cut water* [gambar 5.17]. Gaya hidrolik tersebut sering berefek negatif terhadap komponen komponen di dalam pompa khususnya komponen yang berputar yaitu impeler. Karena ditumbuk berulang-ulang oleh gaya hidrolik, impeller pompa dapat mengalami keausan.

Untuk mengatasi timbulnya gaya hidrolik yaitu pada daerah *cut water* di dalam pompa, dibuat pompa dengan volute ganda. Dengan volut ganda, *cut water* menjadi dua buah sehingga gaya hidrolik yang timbul akan saling menyeimbangkan, sehingga tidak menimbulkan efek yang negatif pada impeler. Penggunaan volute ganda akan menyebabkan pompa lebih awet dan hal ini mengurangi biaya perawatan. Akan tetapi biaya pembuatan pompa menjadi mahal dan performa pompa berkurang. Adapun karakteristik operasi volute ganda dapat dilihat pada gambar.



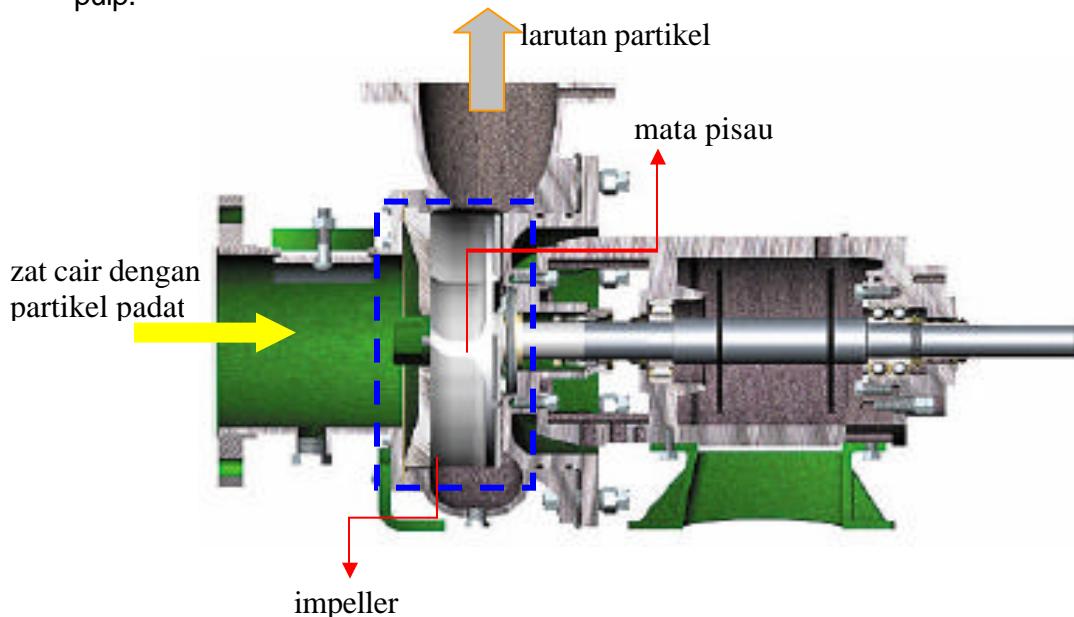
Gambar 5.17 Cut Water



Gambar 5.18 Volut tunggal dan ganda

#### D.4 Pompa CHOPPER

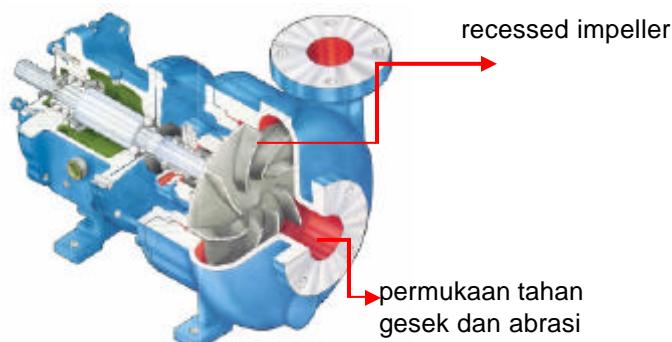
Pada instalasi pengolahan limbah, baik limbah industri maupun limbah rumah tangga banyak dipasang pompa untuk menangani limbah-limbah cair yang banyak mengandung material/partikel padat (solid). Untuk keperluan tersebut, pompa yang sering dipakai adalah pompa Chopper. Pompa ini memiliki impeller yang mempunyai mata pisau sehingga partikel-partikel padat akan dihancurkan dan larut dalam air. Pompa jenis ini juga banyak dipakai pada industri pengolahan kertas dan pulp.



Gambar 5.19 Pompa Chopper

#### D.5 Pompa dengan *Reccesed Impeller*

Pompa volut (*end suction*) jenis ini banyak dipakai untuk jenis zat cair yang banyak mengandung partikel-partikel padat berserat, zat cair yang mengandung gas dan zat cair yang sensitif mudah menimbulkan gesekan.

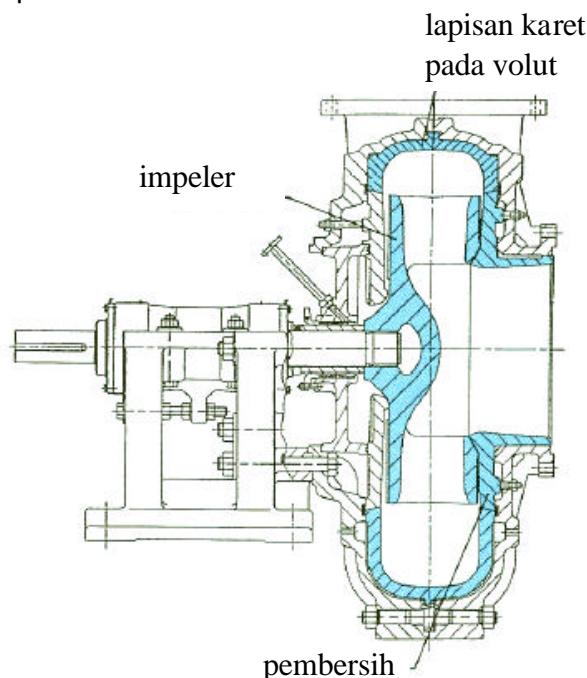


Gambar 5.20 Pompa *reccesed impeller*

Pompa mempunyai impeler yang khusus (*recessed impeller*), dengan permukaan rumah pompa dan impeler yang dilapisi dari material tahan gesek, sehingga lebih tahan terhadap gesekan dan kavitas. Pada zat cair yang banyak mengandung serat pada pompa biasa akan mudah sekali mampat atau alirannya akan tersumbat oleh serat-serat, tetapi dengan penggunaan pompa jenis ini masalah tersebut dapat diatasi. Pompa ini juga mampu melayani zat cair yang banyak mengandung gas atau udara sampai 5 % dari total volume.

#### D.6 Pompa lumpur (*slurry*)

Banyak pompa dipakai pada instalasi pengolahan dengan zat cair dengan kandungan bahan/material padat yang berlebih dengan bentuk fisik lumpur, seperti adukan semen, atau lumpur pasir. Sifat dari lumpur tersebut sangat abrasif sehingga sangat merusak pada komponen-komponen pompa.

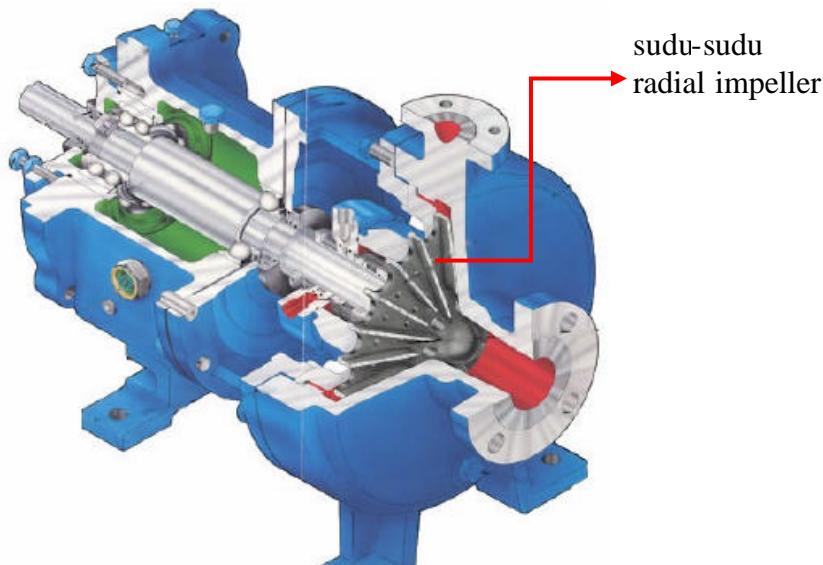


Gambar 5.21 Pompa lumpur (*slurry*)

Untuk mengatasi hal tersebut, pada komponen pompa yaitu pada rumah pompa dan impeler pompa dilapisi dengan bahan terbuat dari karet (*rubber*). Sifat bahan pelapis yang terbuat dari karet sangat elastis. Pada proses pemompaan material padat lumpur akan teredam gaya tumbuknya pada rumah pompa dan impeler, atau tidak mengenai permukaan logam secara langsung sehingga tidak menimbulkan erosi dan abrasi. Karena jenis fluidanya adalah zat cair (lumpur) dengan kekentalan tinggi, NPSH untuk pompa jenis ini adalah lebih tinggi dibanding dengan pompa biasa.

#### D.7 Pompa LFH (*Low Flow High Head*)

Bentuk sudu impeler pompa volut jenis ini adalah radial [Gambar 5.22]. Pompa ini banyak dioperasikan untuk melayani instalasi dengan zat cair yang bersifat korosif, dengan debit kecil pada head yang tinggi. Untuk keperluan tersebut pada impeler dan rumah pompa (*volut*) dilapisi dengan material yang tahan korosi.



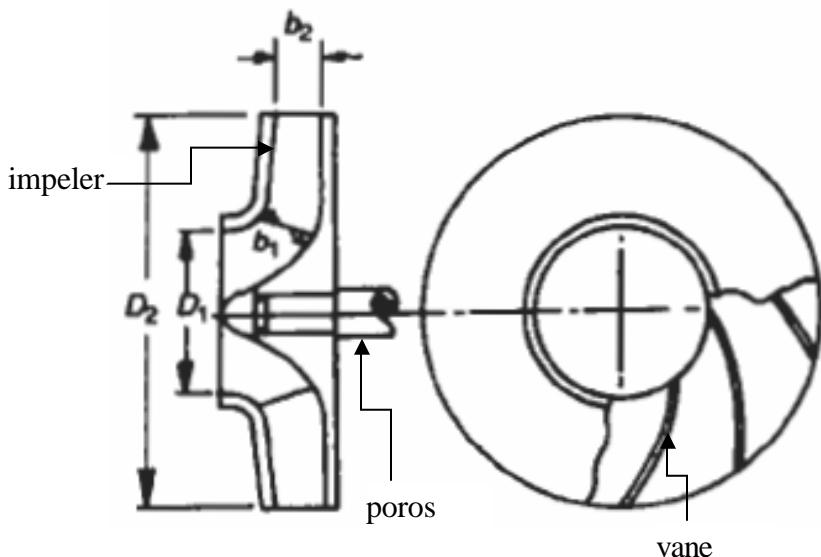
Gambar 5.22 Pompa volut LFH

Pompa ini beroperasi pada debit yang rendah karena pada aliran yang lebih tinggi pompa bekerja dengan risiko cepat rusak dan memerlukan perawatan yang lebih mahal. Jadi pompa ini dirancang khusus untuk bekerja pada debit yang kecil dengan performa yang normal.

## BAB 6 PERFORMANSI POMPA SENTRIFUGAL

### A. Kecepatan Spesifik

Pada gambar 6.1 memperlihatkan ukuran-ukuran dasar pompa sentrifugal. Zat cair akan masuk melalui sisi hisap dengan diameter  $D_1$ . Diameter impeler sisi masuk adalah  $D_1$  dan pada sisi ke luar adalah  $D_2$ . Ukuran- ukauran tersebut akan menentukan kapasitas pompa dan tinggi tekan pompa. Terutama perbandingan  $D_2/D_1$  yaitu perbandingan diameter impeler sisi masuk dan ke luar pompa. Semakin besar head yang di inginkan, maka  $D_2/D_1$  harus dibuat besar, sehingga dapat diperoleh suatu kerja gaya sentrifugal optimal.

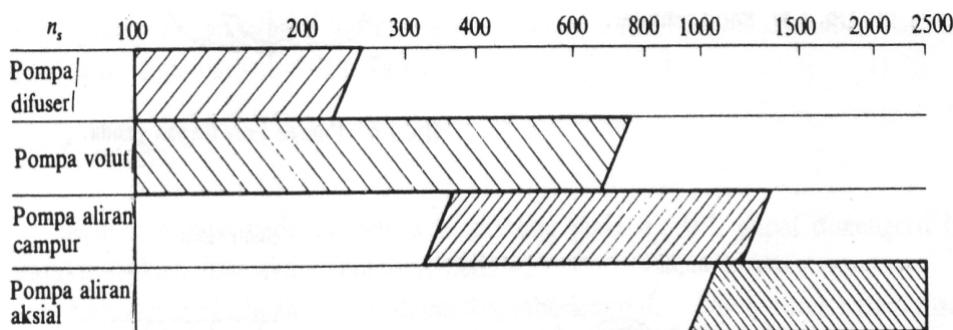
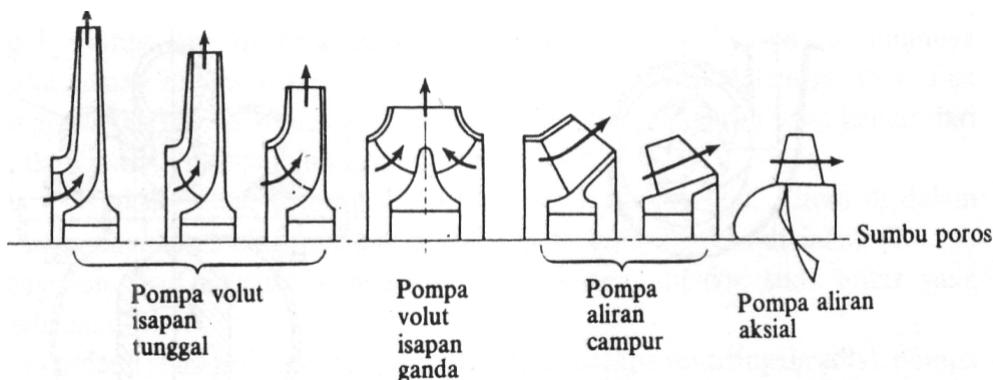


Gambar 6.1 Ukuran-ukuran dasar pompa

Dalam merancang pompa, besaran yang paling penting untuk ditentukan adalah kecepatan spesifik. Dengan mengetahui kecepatan spesifik, parameter-parameter pompa yaitu kapasitas pompa, tinggi kenaikan pompa atau head, dan perbandingan diameter impeler dapat ditentukan. Perumusannya adalah:

$$n_s = n \frac{Q^{0.5}}{H^{0.75}}$$

Kecepatan spesifik  $n_s$  adalah kecepatan putar yang sebenarnya  $n$  dari pompa pembanding yang mempunyai geometri sudu-sudu impeler sebangun dan dapat menghasilkan tinggi kenaikan  $H = 1\text{m}$  dan  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{dt}$ <sup>6</sup>. Dari perumusan kecepatan spesifik di atas dapat disimpulkan bahwa pompa dengan head total yang tinggi dan kapasitas yang kecil cenderung mempunyai harga  $n_s$  yang kecil, sebaliknya head total rendah dan kapasitas besar mempunyai  $n_s$  besar



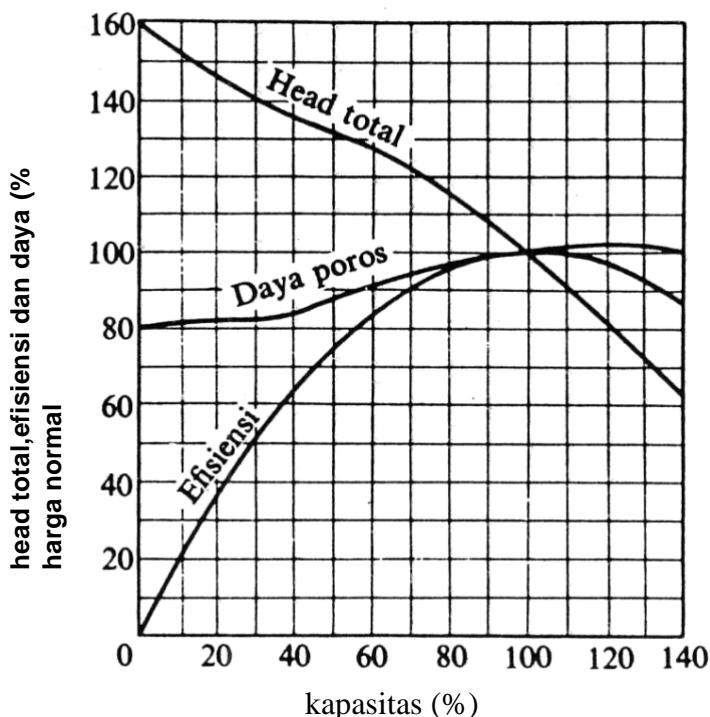
Gambar 6.2 Harga  $n_s$  dengan bentuk impeler dan jenis pompa

Pada gambar 6.2 menunjukkan harga  $n_s$  dalam hubungannya dengan bentuk impeler yang bersangkutan dan jenis pompa yang pas dengan harga  $n_s$ . Untuk harga  $n_s$  rendah, impeler berbentuk sentrifugal atau radial dengan pompa sentrifugal hisapan tunggal atau ganda. Semakin besar  $n_s$ , lebar saluran pada impeler akan bertambah besar. Harga  $n_s$  terus diperbesar sehingga akan diperoleh aliran campur, dimana arah aliran diagonal atau menyudut terhadap sumbu poros. Jika  $n_s$  diperbesar lagi, maka akan diperoleh arah aliran yaitu axial atau sejajar dengan sumbu poros. Jadi, bentuk-bentuk impeler dapat ditentukan hanya dengan menentukan harga  $n_s$ .

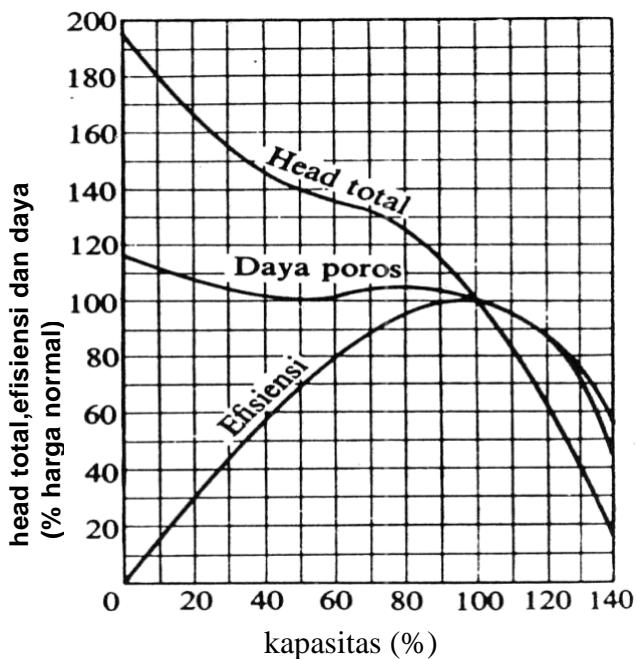
## B. Kurva Karakteristik

Kurva karakteristik menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa terhadap kapasitasnya. Pada gambar 6.3 mewakili nilai  $n_s$  yang kecil dengan jenis pompa sentrifugal volut, gambar 6.4 nilai  $n_s$  sedang dengan jenis pompa aliran campur dan gambar 6.5 nilai  $n_s$  besar dengan pompa aliran axial. Dari gambar-gambar tersebut, menunjukkan semakin besar nilai  $n_s$ , kurva head kapasitas menjadi semakin curam, artinya pada nilai-nilai  $n_s$  besar, harga head mengecil dan kapasitas atau debit menjadi besar.

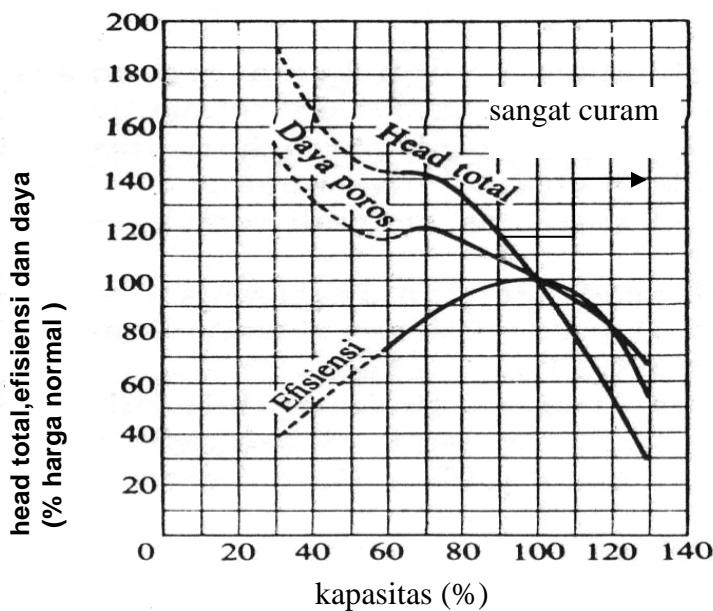
Head pada kapasitas 0% semakin besar pada nilai-nilai  $n_s$  besar. Kurva daya terhadap kapasitas pada kapasitas 0% akan mempunyai harga minimum pada  $n_s$  kecil, sebaliknya pada  $n_s$  besar harganya maksimum. Pada kurva efisiensi, kapasitas pada tiga grafik mendekati bentuk busur dan hanya sedikit bergeser dari nilai optimumnya apabila kapasitasnya berubah.



Gambar 6.3 Grafik karakteristik pompa dengan  $n_s$  kecil



Gambar 6.4 Grafik karakteristik pompa dengan  $n_s$  sedang



Gambar 6.5 Grafik karakteristik pompa dengan  $n_s$  besar

### C. Head ( Tinggi Tekan)

Pada uraian tentang persamaan Bernoulli yang dimodifikasi untuk aplikasi pada instalasi pompa, terlihat bahwa persamaan Bernoulli dalam bentuk energi "head" terdiri dari empat bagian "head" yaitu head elevasi, head kecepatan, head tekanan, dan head kerugian (gesekan aliran). Persamaan Bernoulli dalam bentuk energi head :

$$\left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_1 + H_{pompa} = \left( Z + \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} \right)_2 + H_{losses}$$

$$H_{pompa} = \left( Z_1 - Z_2 + \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g} \right) + H_{losses}$$

$$H_{pompa} = \left( \Delta Z + \Delta \frac{p}{\rho g} + \Delta \frac{v^2}{2g} \right) + H_{losses}$$

$$h_{statistot\#} = \left( \Delta Z + \Delta \frac{p}{\rho g} \right)$$

$\Delta Z = h_z$  = head elevasi, perbedaan tinggi muka air sisi masuk dan ke luar (m).

$\Delta \frac{v^2}{2g} = h_v$  = head kecepatan sisi masuk dan ke luar (m)

$\Delta \frac{p}{\rho g} = h_p$  = head tekanan sisi masuk dan ke luar (m)

$H_{losses}$  = head kerugian (m)

$$H_{totalpompa} = (h_z + h_p + h_v) + H_{losses}$$

#### C.1 Head statis total

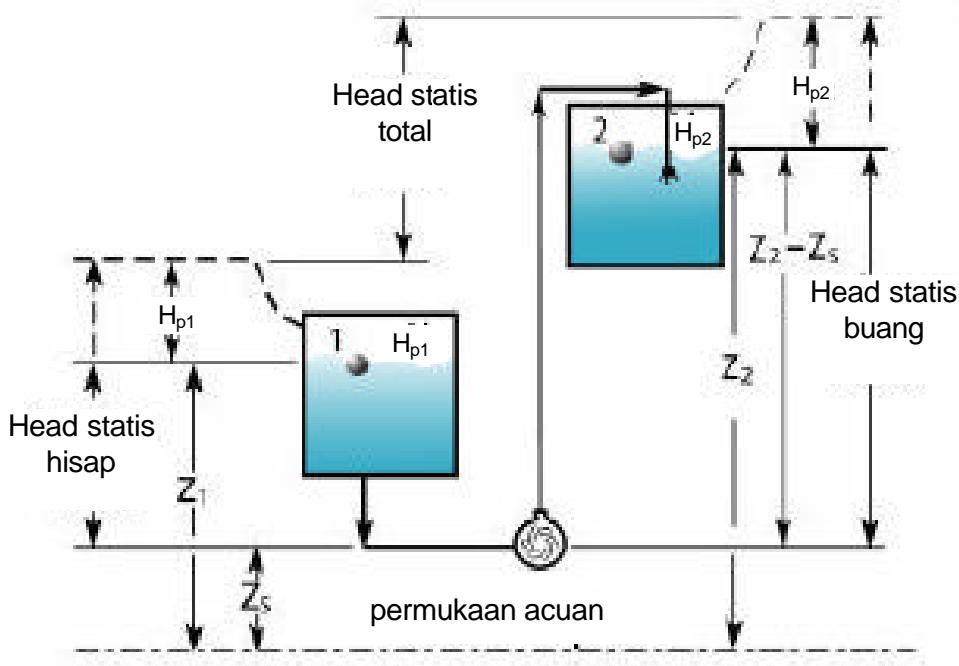
Head statis adalah penjumlahan dari head elevasi dengan head tekanan. Head statis terdiri dari head statis sisi masuk (head statis hisap) dan sisi ke luar (head statis hisap). Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$h_{statisisap} = \left( Z + \frac{p}{\rho g} \right)_1$$

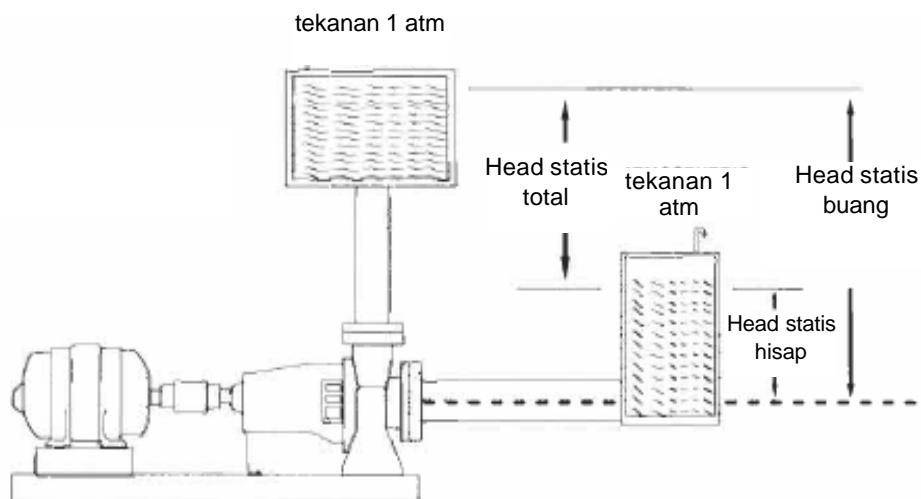
$$h_{statisbuang} = \left( Z + \frac{p}{\rho g} \right)_2$$

$$h_{statistot\#} = \left( Z_2 + \frac{p_2}{\rho g} - Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right)$$

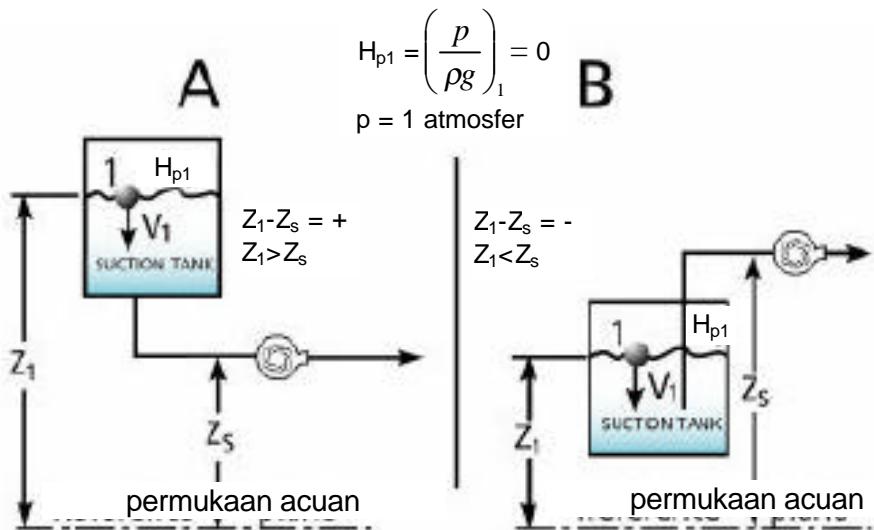
$$h_{statistotal} = h_{statisbuang} - h_{statisisap}$$



Gambar.6.6 Head statis total



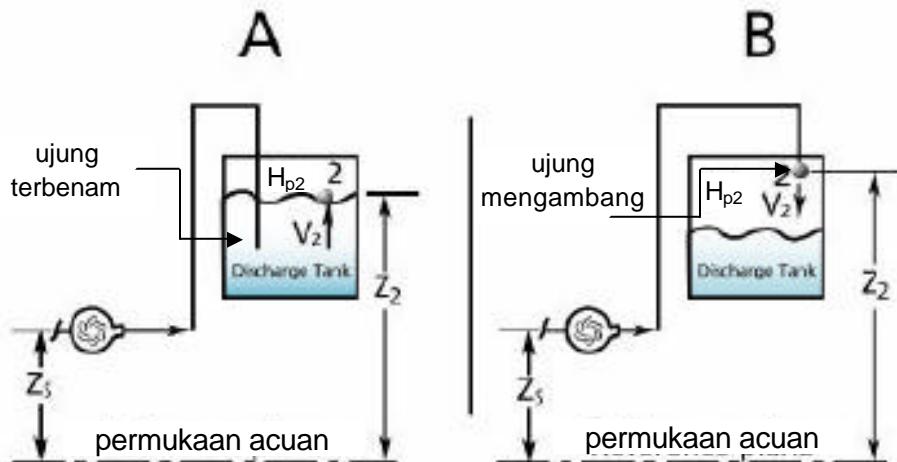
Gambar 6.7 Head statis total  $p_1 = p_2 = 1$  atmosfer (tandon terbuka)



$$h_{statisisap} = \left( Z_1 - Z_s + \frac{p}{\rho g} \right) \quad h_{statisisap} = -$$

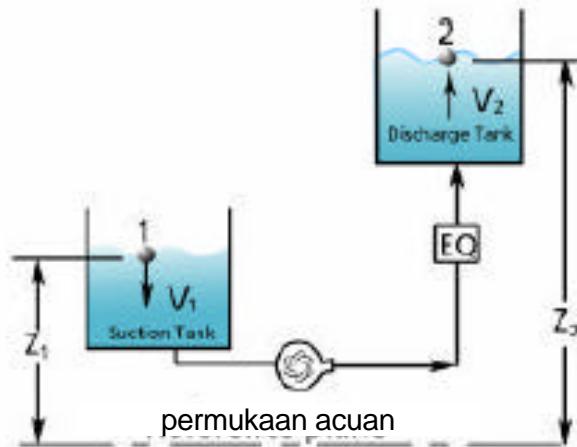
$$h_{statisisap} = +$$

Gambar 6.8 Head statis hisap [A] pompa di bawah tandon, [b] pompa di atas tandon



$$h_{statisbuang} = \left( Z_2 - Z_s + \frac{p}{\rho g} \right)$$

Gambar 6.9 Head statis buang [A] ujung terbenam, [b] ujung mengambang



$$\Delta \frac{v^2}{2g} = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = h_k$$

$$v_1 \approx 0 \quad \Delta \frac{v^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g} = h_k$$

Gambar 6.10 Head kecepatan

## C.2. Head Kerugian (Loss)

Head kerugian yaitu head untuk mengatasi kerugian kerugian yang terdiri dari kerugian gesek aliran di dalam perpipaan, dan head kerugian di dalam belokan-belokan (elbow), percabangan, dan perkutupan (valve)

$$H_{loss} = H_{gesekan} + H_{sambungan}$$

### C.2.1 Head kerugian gesek di dalam pipa [ $H_{gesekan}$ ]

Aliran fluida cair yang mengalir di dalam pipa adalah fluida viskos sehingga faktor gesekan fluida dengan dinding pipa tidak dapat diabaikan, untuk menghitung kerugian gesek dapat menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$v = CR^p S^q$$

$$R = \frac{\text{Luas penampang pipa}}{\text{saluran yang dibasai fluida}} \quad [\text{Jari jari hidrolik}]$$

$$S = \frac{h_f}{L} \quad [\text{Gradien hidrolik}]$$

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad [\text{head kerugian gesek dalam pipa}]$$

dengan  $v$  = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

$C, p, q$  = Koefesien –koefesien

$\lambda$  = Koefesien kerugian gesek

$g$  = Percepatan gravitasi m/s<sup>2</sup>

$L$  = Panjang pipa (m)

$D$  = Diameter dalam pipa (m)

Perhitungan kerugian gesek di dalam pipa dipengaruhi oleh pola aliran, untuk aliran laminar dan turbulen akan menghasilkan nilai koefesian yang berbeda, hal ini karena karakteristik dari aliran tersebut. Adapun perumusan yang dipakai adalah sebagai berikut :

#### A. Aliran Laminar ( $Re < 2300$ )

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

#### B. Aliran Turbulen $Re > 4000$

$$\lambda = 0,02 + \frac{0,0005}{D}$$

Untuk pipa yang panjang menggunakan rumus sebagai berikut

$$v = 0,849CR^{0,63}S^{0,54}$$

$$R = \frac{\text{Luas penampang pipa}}{\text{saluran yang dibasai fluida}} \quad [\text{Jari jari hidrolik}]$$

$$S = \frac{h_f}{L} \quad [\text{Gradien hidrolik}]$$

$$h_f = \frac{10,66Q^{1,85}}{C^{1,85}D^{4,85}} x L$$

dengan  $v$  = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

$C, p, q$  = Koefesien –koefesien

$\lambda$  = Koefesien kerugian gesek

$g$  = Percepatan gravitasi m/s<sup>2</sup>

$L$  = Panjang pipa (m)

$D$  = Diameter dalam pipa (m)

#### C.2.2. Kerugian head dalam jalur pipa [ $H_{sambungan}$ ]

Kerugian head jenis ini terjadi karena aliran fluida mengalami gangguan aliran sehingga mengurangi energi alirnya, secara umum rumus kerugian head ini adalah :

$$h_f = f \frac{v^2}{2g}$$

dengan  $f$  = koefesien kerugian

kerugian head ini banyak terjadi pada :

A. Pada belokan (elbow)

Untuk belokan lengkung koefesien kerugian dihitung dengan rumus

$$f = \left[ 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

Untuk belokan patah

$$f = 0,946 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,046 \sin^4 \frac{\theta}{2}$$

B. Pada perkutupan sepanjang jalur pipa

Pemasangan katup pada instalasi pompa adalah untuk pengontrolan kapasitas, tetapi dengan pemasangan katup tersebut akan mengakibatkan kerugian energi aliran karena aliran dicekik. Perumusan untuk menghitung kerugian head karena pemasangan katup adalah sebagai berikut :

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

dengan  $f_v$  = koefesien kerugian katup

Dari uraian di atas secara umum head total pompa dapat dituliskan sebagai berikut

$$H_{totalpompa} = (h_z + h_p + h_v) + H_{losses}$$

$$H_{totalpompa} = h_{statistot} + h_v + h_{gesekan} + h_{sambungan}$$

### Contoh Soal

Sebuah instalasi pompa dipasang untuk melayani keperluan pengairan irigasi sawah. Selisih permukaan muka air yaitu dari permukaan sungai dengan permukaan sawah adalah 10 m. Debit aliran yang dipompakan adalah sebesar  $0,5 \text{ m}^3/\text{menit}$  melalui sebuah pipa besi cor dengan diameter dalam 60 mm, panjang pipa seluruhnya 20 m, dengan 3 buah belokan lengkung  $45^\circ$  ( $R/D = 2$ ) dan satu belokan patah  $30^\circ$ . Pada ujung saluran pipa hisap dipasang katup dengan saringan, dan pada sisi buang dipasang katup cegah tutup cepat jenis pegas. Dari data tersebut hitung head total pompa?

**Jawab :**

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 Q &= 0,5 \text{ m}^3/\text{menit} [0,0083 \text{ m}^3/\text{detik}] \\
 H_z &= 10 \text{ m} \\
 D &= 60 \text{ mm} [0,06 \text{ m}] \\
 A &= 1/4\pi D^2 [1/4\pi 0,06^2] \\
 L &= 20 \text{ m} \\
 C &= 100 [\text{Pipa besi cor (tua)}] \\
 R/D &= 2 \text{ elbow } 45^\circ \\
 f &= 0,165 \text{ elbow patah kasar } 30^\circ \\
 f_v &= 1,91 \text{ katup hisap dengan saringan} \\
 f_v &= 6,6 \text{ katup cegah tutup cepat jenis pegas}
 \end{aligned}$$

A. Menghitung kerugian pipa lurus

$$\begin{aligned}
 h_f &= \frac{10,66Q^{1,85}}{C^{1,85}D^{4,85}} x L \\
 h_f &= \frac{10,66 \times 0,0083^{1,85}}{100^{1,85} \times 0,06^{4,85}} \times 20 = 5,07 \text{ m}
 \end{aligned}$$

B. Menghitung kerugian head satu elbow lengkung  $45^\circ$

Koefesien gesek  $f$

$$\begin{aligned}
 f &= \left[ 0,131 + 1,847 \left( \frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left( \frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \\
 f &= \left[ 0,131 + 1,847 \left( \frac{1}{2 \times 2} \right)^{3,5} \right] \left( \frac{45}{90} \right)^{0,5} \\
 f &= [0,131 + 1,847(0,25)^{3,5}] (0,5)^{0,5} = 0,1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$h_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$Q = A \cdot v$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0083}{0,25 \times 3,14 \times 0,0036} = 2,94 \text{ m/s}$$

$$h_f = 0,1 \frac{2,94^2}{2 \times 9,8} = 0,044$$

B. Menghitung kerugian head satu elbow patah  $30^\circ$

Koefesien gesek  $f = 0,165$

$$h_f = f \frac{v^2}{2g}$$

$$h_f = 0,165 \frac{2,94^2}{2 \times 9,8} = 0,073m$$

C. Menghitung kerugian head katup hisap  
Koefesien gesek  $f_v = 1,91$

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

D. Menghitung kerugian head katup cegah tutup cepat jenis pegas  
Koefesien gesek  $f_v = 6,6$

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

D. Menghitung head kecepatan ke luar

$$h_k = \Delta \frac{v^2}{2g} = \frac{v_2^2}{2g}$$

E. Menghitung head total pompa

$$H_{totalpompa} = (h_z + h_p + h_k) + H_{losses}$$

$$H_{totalpompa} = h_{statistotik} + h_k + h_{gesekan} + h_{sambungan}$$

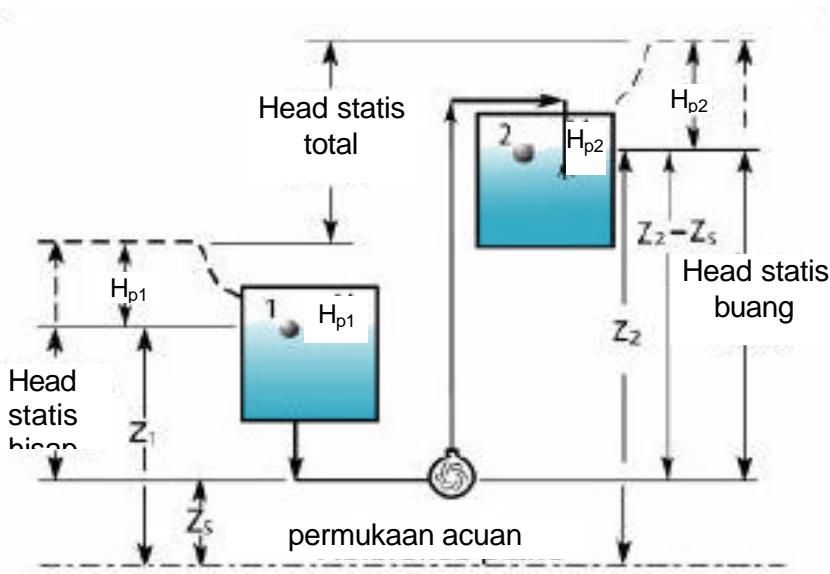
$h_p = 0$  permukaan air terbuka

$$h_{statistotik} = (Z_2 - Z_1) = 10m$$

### Soal:

1. Sebuah gedung bertingkat memerlukan sebuah instalasi pompa untuk melayani air bersih pada lantai 4 dengan ketinggian dari permukaan tanah adalah 15 m. Sebuah tandon air terletak pada permukaan tanah dengan ketinggian permukaan air adalah 5 meter disediakan untuk melayani air bersih tersebut. Hitung head total pompa apabila debit alirannya adalah  $1 \text{ m}^3/\text{menit}$  melalui pipa baja berdiameter 200mm, terdapat lima elbow lengkung  $90^\circ$  ( $R/D=3$ ), dan satu katup cegah tutup cepat pada bagian buangnya ?

2. Hitung head statis pompa pada instalasi pompa gambar berikut :



### C.3. Head Hisap Positif Neto NPSH

Gejala kavitas terjadi apabila tekanan statis suatu aliran zat cair turun sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Kavitas banyak terjadi pada sisi hisap pompa, untuk mencegahnya nilai head aliran pada sisi hisap harus di atas nilai head pada tekanan uap jenuh zat cair pada temperatur bersangkutan. Pengurangan head yang dimiliki zat cair pada sisi hisapnya dengan tekanan zat cair pada tempat tersebut dinamakan *Net Positif Suction Head* (NPSH) atau nilai head positif neto. Ada dua macam NPSH yaitu NPSH tersedia pada instalasi dan NPSH yang diperlukan pompa.

Perumusan dari NPSH tersedia dengan instalasi pompa:

$$h_{av} = \frac{P_{atm}}{\rho g} - \frac{P_{uap}}{\rho g} + h_{statisisap} - h_{lossisap}$$

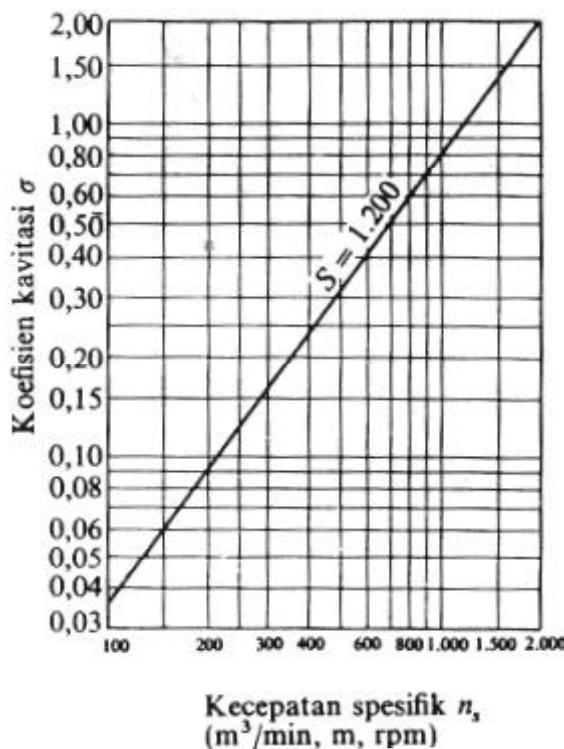
Dimana  $h_{sv} = NPSH$  yang tersedia (m)

$\frac{P_{atm}}{\rho g}$  = head tekanan atmosfer (m)

$\frac{P_{uap}}{\rho g}$  = head tekanan uap jenuh (atm)

$h_{statisisap}$  = head hisap statis (m)

$h_{lossisap}$  = kerugian head di dalam pipa hisap (m)



Gambar 6.11 Koefesien kavitasι

Gejala kavitasι terjadi pada titik terdekat setelah sisi masuk sudu impeler di dalam pompa. Di daerah tersebut, tekanan lebih rendah daripada tekanan pada lubang hisap pompa. Hal ini disebabkan zat cair mengalir melalui nosel hisap sehingga kecepatannya naik. Dengan kenaikan kecepatan, tekanan zat cair menjadi turun.

Untuk menghindari kavitasι karena kondisi tersebut, maka tekanan pada lubang masuk pompa dikurangi penurunan tekanan di dalam pompa, harus lebih tinggi dari pada tekanan uap jenuh air. *Head tekanan yang sama dengan penurunan tekanan disebut NPSH yang diperlukan.* Jadi untuk menghindari kavitasι pada pompa harus dipenuhi persyaratan berikut ;

$$NPSH \text{ tersedia} \geq NPSH \text{ yang diperlukan}$$

NPSH diperlukan berbeda untuk setiap pompa bergantung dari kondisi kerjanya. Harga NPSH diperlukan diperoleh dari pabrik pembuat pompa. Harga **NPSH yang diperlukan** dapat juga menggunakan perumusan sebagai berikut :

$$h_{req} = \left( \frac{n}{S} \right)^{4/3} Q_N^{2/3} \text{ [NPSH diperlukan]}$$

dengan

$$S = \frac{n_s}{\sigma^{3/4}}$$

$$H_{req} = \sigma H_N$$

dimana S = kecepatan spesifik hisap pompa, untuk pompa bentuk umum S = 1200

$\sigma$  = koefesien kavitas (gambar 6.11)

$Q_N, H_N$  = pada kondisi efisiensi maksimum

### Contoh Soal

Instalasi air pada sebuah kantor menggunakan pompa ( $S = 1200$ ) dengan kondisi efisiensi maksimum mempunyai debit ( $Q_N$ )  $1 \text{ m}^3/\text{menit}$ ,  $H_N = 20 \text{ m}$  pada putaran  $2500 \text{ rpm}$ . Air yang dipompa pada kondisi  $20^\circ \text{C}$  1 atm, posisi lubang hisap pompa terletak 5 meter di atas permukaan air. Apabila kerugian head pada sisi hisap pompa adalah 0,5 m, selidiki apakah pompa bekerja dengan aman tanpa kavitas ?

Diketahui :

$$Q_N = 1 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$H_N = 20 \text{ m}$$

$$n = 2500 \text{ rpm}$$

$$T/p \text{ air} = 20^\circ \text{C}; 1 \text{ atm} (1 \text{ atm} = 10332 \text{ kgf/m}^2)$$

$$\gamma = 998,3 \text{ kgf/m}^3$$

$$p_{uapjenuh} = 238,3 \text{ kgf/m}^2 (20^\circ \text{C}; 1 \text{ atm})$$

$$H_{satati \ hisap} = 5 \text{ m}$$

$$H_{losshisap} = 0,5 \text{ m}$$

$$N_s = n \frac{Q_N^{0,5}}{H_N^{0,75}} = 2500 \frac{1^{0,5}}{20^{0,75}}$$

$$N_s = 290$$

Dari gambar diketahui  $\sigma = 0,14$  sehingga NPSH diperlukan dapat dihitung dengan rumus

$$H_{req} = \sigma H_N$$

$$H_{req} = 0,14 \times 20 \text{ m} = 2,8 \text{ m} \text{ [NPSH diperlukan]}$$

$$\text{NPSH tersedia} = \frac{10332}{998,3} - \frac{238,3}{998,3} - 5 - 0,5 = 4,6 \text{ m}$$

Karena persyaratan terpenuhi yaitu :

**NPSH tersedia  $\geq$  NPSH yang diperlukan**

**4,6 m       $\geq$  2,8 m**

pompa beroperasi aman tanpa kavitası.

**Soal :**

1. Periksa kemungkinan terjadi kavitası pada instalasi pompa seperti pada contoh soal, jika temperatur air yang dialirkan adalah :
  - A.  $30^{\circ}\text{C}$
  - B.  $40^{\circ}\text{C}$
  - C.  $50^{\circ}\text{C}$
2. Periksa kemungkinan terjadi kavitası pada instalasi pompa seperti pada contoh soal, jika posisi lubang hisap pompa semakin naik menjadi
  - A. 8 meter
  - B. 12 meter
6. 1. Periksa kemungkinan terjadi kavitası pada instalasi pompa seperti pada contoh soal, jika saluran pada sisi hisap dipasang elbow lengkung 3 buah  $90^{\circ}$  ( $R/D = 2$ ) dan pada ujung hisap dipasang katup dengan saringannya.

**C.4. Hal yang mempengaruhi NPSH yang tersedia**

Perancangan instalasi pompa harus banyak mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi dari operasi pompa. Perubahan kondisi lingkungan akan mempengaruhi dari kinerja pompa, khususnya pada perubahan dari NPSH tersedia. Di bawah ini penjelasan masing-masing faktor yang dapat mempengaruhi dari perubahan tersebut.

**[1] Pengaruh dari temperatur zat cair**

Tekanan uap dari zat cair dapat berubah menurut temperaturnya, maka NPSH yang tersedia juga dapat bervariasi pas dengan perubahan temperatur zat cair yang dihisap. Pada temperatur yang tinggi akan menaikkan tekanan uap dari zat cair sehingga akan mengurangi NPSH yang tersedia.

**[2] Pengaruh dari tekanan zat cair yang dihisap.**

Zat cair yang dihisap pada tangki yang tertutup atau terbuka, atau kondisi instalasi pompa di tempat-tempat yang tinggi, pada kondisi tersebut tekanan lingkungan rendah dibandingkan daerah lain. Pada tekanan atmosfer yang rendah, NPSH tersedia juga rendah.

**[3] Kondisi ketinggian permukaan air pada tandon hisap relatif terhadap posisi hisap pompa, semakin tinggi NPSH naik.**

**[4] Kerugian gesekan pada sisi hisap, semakin besar kerugian gesek pada sisi hisap akan semakin menurunkan nilai NPSH tersedia**

## C.5. Putaran dan jenis pompa

Setelah kapasitas, head total pompa, dan NPSH sudah ditentukan, selanjutnya putaran pompa dan jenis pompa dapat ditentukan juga. Pemilihan pompa dengan putarannya harus dapat mengatasi kapasitas dan head yang diperlukan, dan juga pelaksanaan instalasi pompa harus memenuhi NPSH yang aman bagi timbulnya kavitas.

Pompa berukuran besar atau pompa khusus dapat digunakan untuk memenuhi kapasitas dan head yang dibutuhkan. Dapat juga digunakan pompa-pompa berukuran sedang atau kecil produksi pabrik.

### 1.Putaran pompa

Cara menentukan putaran pompa sebagai berikut ;

- a. Jika menggunakan motor listrik sebagai penggerak pompa, maka putaran harus dipilih dari putaran standar yang ada untuk motor motor tersebut
- b. Dengan memakai putaran yang telah ditentukan, maka kapasitas normal, head normal pompa dan harga  $n_s$  dapat ditentukan.
- c. Jika harga  $n_s$  sudah diketahui menurut putarannya perlu diperiksa apakah masih dalam daerah yang pas dengan jenis pompa yang bersangkutan.
- d. Putaran pompa juga harus memenuhi syarat aman dari kavitas yaitu  **$NPSH \text{ tersedia} \geq NPSH \text{ diperlukan}$** .

### 2. Jenis pompa

Pemakaian pompa untuk kapasitas dan head total tertentu dapat digunakan beberapa macam jenis pompa. Jenis pompa poros mendatar atau tegak dapat menjadi pilihan dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- a. Operasi pompa tidak terlalu berat dan sering dibongkar pasang secara ekonomis lebih menguntungkan menggunakan pompa poros mendatar.
- b. Jika pompa harus bekerja head hisap statis cukup besar, atau pompa harus bekerja otomatis dan luas ruangan yang tersedia untuk instalasi terbatas, pompa poros tegak menjadi pilihan utama.

Pemilihan jenis pompa juga dapat berdasarkan pada kondisi pemasangannya seperti pompa yang digunakan untuk memompa zat acir khusus seperti air limbah, air berlumpur, minyak bumi dan lainnya. Kondisi pemasangan seperti mudah terkena banjir, permukaan hisap yang berfluktuasi, permukaan air dalam, dapat menjadi pertimbangan untuk memilih pompa yang pas.

## D. Kerja, Daya dan Efisiensi Pompa

Pompa merupakan mesin yang bekerja dengan menggunakan energi luar. Energi dari luar diubah menjadi putaran poros pompa dimana

impeler terpasang padanya. Perubahan energi dari satu kebentuk lainnya selalu tidak sempurna dan ketidaksempurnaan perubahan ini yang disebut dengan efisiensi.

#### D.1 Definisi

Ada beberapa definisi yang berhubungan dengan kerja pompa, yaitu:

[1] Efisiensi adalah perbandingan kerja berguna dengan kerja yang dibutuhkan mesin

[2] Daya rotor (motor penggerak) adalah jumlah energi yang masuk motor penggerak dikalikan efisiensi motor penggerak. Dirumuskan dengan persamaan:

$$P_{rotor} = \Sigma Dayapenggerak X \eta_{motorpenggerak}$$

[3] Daya poros pompa atau daya efektif pompa adalah daya dihasilkan dari putaran rotor motor listrik dikalikan dengan efisiensi koplingnya, dihitung dengan persamaan:

$$P_{poros} = \frac{\eta_{transmisi} \times P_{rotor}}{(1 + \alpha)}$$

di mana  $\eta$  = efisiensi transmisi (tabel)

$P_{rotor}$  = daya rotor (watt)

$P_r$  = daya poros ( watt)

$\alpha$  = faktor cadangan (tabel)

Tabel 5.1 faktor cadangan daya dari motor penggerak

Motor Penggerak	$\alpha$
Motor Induksi	0,1-0,2
Motor Bakar kecil	0,15-0,25
Motor Bakar Besar	0,1-0,2

Tabel 5.2 efisiensi berbagai jenis transmisi

Jenis Transmisi	$\eta$
Sabuk rata	0,9-0,93
Sabuk V	0,95
Roda gigi	0,92-0,98
Kopling hidrolik	0,95-0,97

[4] Daya air adalah kerja berguna dari pompa persatuan waktunya, kerja berguna ini yang diterima air pada pompa, perumusan dari daya air adalah sebagai berikut. Apabila pompa dengan kapasitas aliran sebesar Q dan head total H maka energi yang diterima air persatuan waktunya adalah:

$$P_{air} = \gamma \cdot Q \cdot H$$

di mana  $\gamma$  = berat air persatuan volume N/m<sup>3</sup>

$Q$  = kapasitas (m<sup>3</sup>/dtk)

$H$  = head pompa (m)

$P_w$  = daya air (Watt)

[5] Efisiensi pompa didefinisikan sebagai perbandingan antar daya air dengan daya pada poros. Perumusan efisiensi adalah sebagai berikut:

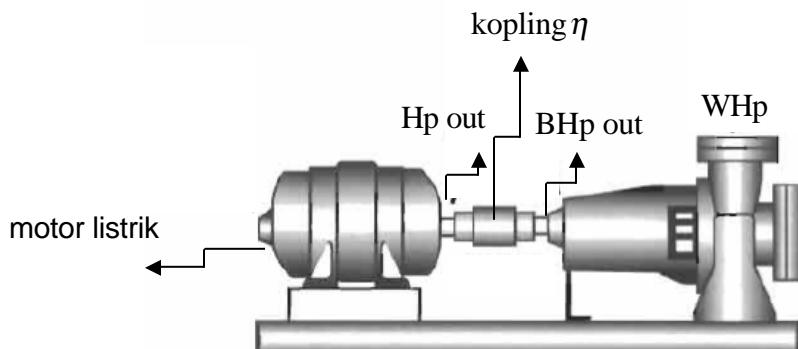
$$\eta_{pompa} = \frac{\text{daya air}}{\text{daya pada poros}} = \frac{P_{air}}{P_{poros}}$$

$$\eta_{pompa} = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta_{transmisi} \times P_{rotor}} (1 + \alpha)$$

$$\eta_{pompa} = \frac{\gamma \times Q \times H \times (1 + \alpha)}{\eta_{transmisi} \times \eta_{motorpenggerak} \times \sum \text{daya penggerak}}$$

Gambar berikut akan membantu memahami proses perubahan dari kerja pompa. Apabila semua satuan daya dikonversikan ke *Horse power* sehingga ada istilah-istilah sebagai berikut:

- Untuk daya air dapat disebut *Water Horse Power WHP*
- Untuk daya poros dapat disebut *Brake Horse Power BHP*
- Untuk daya rotor dalam *Horse power*
- Untuk daya penggerak masuk *KW*



Gambar 6.12 Pompa dan penggerak mula motor listrik

### Contoh soal

Sebuah pompa digunakan pada instalasi air pendingin pada sebuah pabrik. Dari data didapat head total pompa terpasang adalah 40 m, debit

aliran adalah  $0,5 \text{ m}^3/\text{menit}$ . Pompa mempunyai efisiensi kerja rata-rata 80%. Pompa digerakan dengan menggunakan motor bakar besar dengan transmisi yang digunakan adalah sabuk V. Apabila diketahui efisiensi motor bakar adalah 75%, berapa daya motor bakar yang digunakan penggerak pompa?

**Diketahui:**

$$\begin{aligned} H \text{ pompa} &= 40 \text{ m} \\ Q &= 0,5 \text{ m}^3/\text{menit.} \\ \eta \text{ pompa} &= 80\% \\ \eta \text{ sabuk V} &= 95\% [\text{tabel}] \\ \eta \text{ motor bakar} &= 75\% \\ \alpha \text{ penggerak} &= 0,15 [\text{tabel}] \\ \gamma \text{ air} &= 1000 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\eta_{pompa} = \frac{\gamma \times Q \times H \times (1 + \alpha)}{\eta_{transmisi} \times \eta_{motorpenggerak} \times \Sigma dayapenggerak}$$

$$\Sigma dayapenggerak = \frac{\gamma \times Q \times H \times (1 + \alpha)}{\eta_{transmisi} \times \eta_{motorpenggerak} \times \eta_{pompa}}$$

$$\Sigma dayapenggerak = \frac{1000 \times \frac{0,5}{60} \times 40 \times (1 + 0,15)}{0,95 \times 0,75 \times 0,8}$$

$$\Sigma dayapenggerak = 0,67 \text{ KW}$$

**Soal :**

Seperangkat instalasi pompa menangani irigasi pada tambak udang. Debit yang dialirkan  $2 \text{ m}^3/\text{menit}$ , head pompa = 10 m. Motor penggerak yang dipakai adalah motor bakar kecil dengan transmisi roda gigi. Daya penggerak adalah 1 KW dengan efisiensi 80%. Berapakah efisiensi kerja pompa pada kondisi tersebut?

### E. Pemilihan Pompa

Penggunaan pompa pada industri, kantor atau rumah tangga harus seefektif mungkin sehingga kebutuhan daya penggerak dapat diminimumkan. Pemilihan pompa yang akan dipasang harus pas dengan kebutuhan. Kapasitas atau debit aliran dan head yang diperlukan untuk mengalirkan zat cair yang akan dipompa harus diketahui. Gejala kavitas selama proses pemompaan juga harus diperhatikan, karena gejala ini akan menurunkan unjuk kerja pompa dan membutuhkan biaya perawatan yang besar.

Untuk menghindari kavitas tersebut, tekanan minumum pada sisi hisap pompa yang akan dipasang harus diketahui. Setelah mengetahui

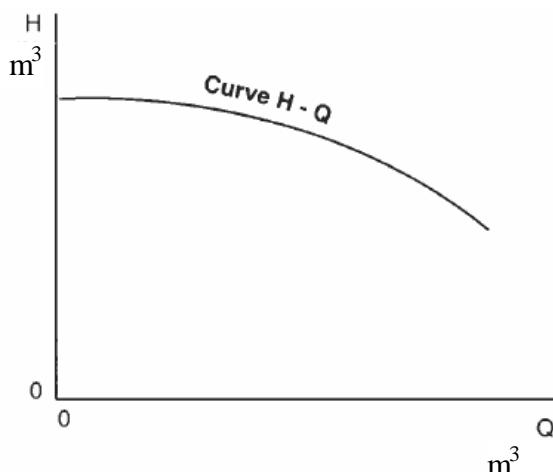
tekanan hisap minimum kita dapat menentukan putaran pompa. Jadi dalam pemilihan pompa yang akan dipasang harus diperhatikan kebutuhan kapasitas aliran, head total aliran, dan putaran pompa.

### E.1 Kapasitas

Kapasitas atau debit aliran harus ditentukan terlebih dahulu menurut kebutuhan dari pemakai. Jadi harus dianalisis terlebih dulu seberapa besar debit zat cair yang dibutuhkan pemakai. Sebagai contoh pada rumah tangga kebutuhan air dalam sehari relatif lebih kecil dibandingkan kebutuhan air pada perkantoran atau industri..

### E.2. Grafik kerja berguna

Grafik hubungan antara head dan kapasitas adalah grafik dasar untuk memahami unjuk kerja dan operasi pompa. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa dengan kenaikan kapasitas, head pompa akan menurun dan untuk kondisi sebaliknya, kenaikan head pompa, kapasitas menurun.



Gambar 6.13 Grafik kerja berguna

### E.3 Hal yang mempengaruhi efisiensi pompa

Banyak faktor yang berpengaruh pada pompa sehingga dapat menurunkan atau menaikkan efisiensinya. Impeler merupakan salah satu komponen yang sangat berpengaruh terhadap efisiensi pompa. Hal-hal berikut berhubungan dengan impeler pompa:

- Kecepatan impeler
- Diameter impeler
- Jumlah sudu impeler
- Ketebalan dari impeler
- udut pitch dari sudu impeler

Adapun faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi efisiensi pompa adalah sebagai:

**[1] Kondisi permukaan pada permukaan dalam pompa.**

Hal ini akan mempengaruhi harga dari kecepatan spesifik dari pompa. Memperbaiki kualitas dari permukaan dalam pompa akan memperkecil  $n_s$

**[2] Kerugian mekanis dari pompa**

Bantalan (*bearing*), paking (*packing*) dan sil (*seal*) dan lainnya dapat mengurangi energi dari poros pompa, sehingga dapat mengurangi efisiensi pompa.

**[3] Diameter impeler**

Mengurangi diameter impeler terpasang akan mengurangi efisiensi. Jadi tidak dibenarkan memotong impeler dari ukuran yang seharusnya.

**[4] Kekentalan zat cair.**

Pemilihan pompa yang tepat untuk zat cair yang akan dipompa akan menghindari operasi yang tidak tepat. Setiap zat cair memiliki kekentalan tertentu, dengan demikian pompa yang dioperasikan dengan zat cair dengan kekentalan melebihi dari yang seharusnya akan mengurangi efisiensi pompa.

**[5] Kondisi zat cair yang dipompa**

Apabila terdapat kandungan-kandungan material padat akan memperberat kerja pompa, sehingga pompa harus dirancang khusus, dengan demikian efisiensi pompa akan turun.

## F. Kavitas

### F.1. Tekanan uap zat cair

Tekanan uap dari zat cair adalah tekanan mutlak pada temperatur tertentu dimana pada kondisi tersebut zat cair akan menguap atau berubah fase dari cairan menjadi gas. Tekanan uap zat cair naik demikian juga dengan temperatur zat cair tersebut. Pada tekanan atmosfer temperatur pendidihan air pada suhu 100 °C, akan tetapi apabila kondisi tekanan zat cair tersebut diturunkan tekanannya di bawah 1 atm proses pendidihan memerlukan temperatur kurang dari 100 °C. Kondisi sebaliknya apabila kondisi tekanan zat cair naik labih dari 1 atm maka akan dibutuhkan temperatur yang lebih tinggi dari 100 °C

Pada instalasi pompa penurunan tekanan terjadi disepanjang perpipaan terutama bagian pipa hisap, di dalam pompa sendiri penurunan tekanan pompa terjadi pada bagian nosel hisap, karena dibagian tersebut terjadi penyempitan saluran yang mengakibatkan kenaikan kecepatan dan penurunan tekanan.

### F.2. Proses kavitas

Dalam pembahasan mesin-mesin hidrolik termasuk pompa ada suatu gejala pada proses aliran zat cair yang cenderung mengurangi

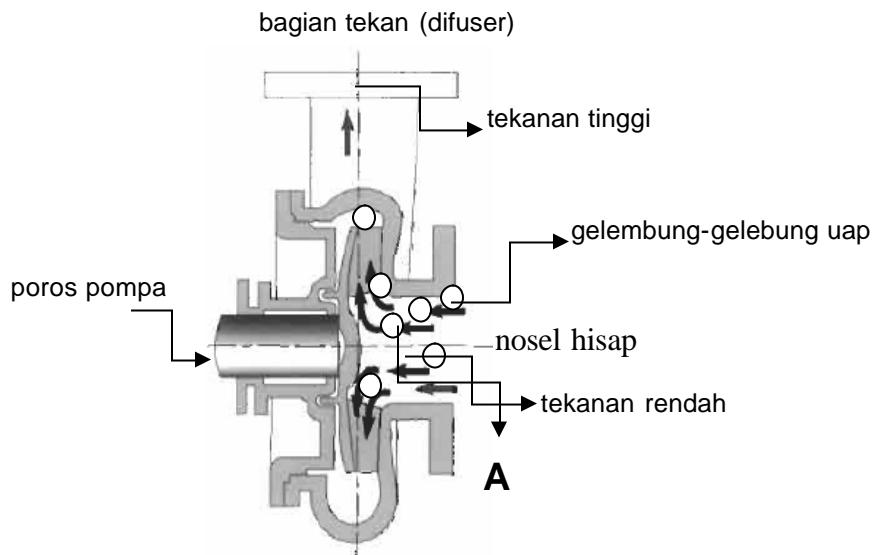
unjuk kerja atau efisiensi dari pompa, gejala tersebut adalah kavitas. Gejala kavitas terjadi karena menguapnya zat cair yang sedang mengalir di dalam pompa atau di luar pompa, karena tekanannya berkurang sampai di bawah tekanan uap jenuhnya. Air pada kondisi biasa akan mendidih dan menguap pada tekanan 1 atm pada suhu  $100^{\circ}\text{C}$ , apabila tekanan berkurang sampai cukup rendah, air pada suhu udara lingkungan yaitu sekitar  $20^{\circ}\text{C}$ - $33^{\circ}\text{C}$  akan mendidih dan menguap. Penguapan akan menghasilkan gelembung gelembung uap. Tempat-tempat bertekanan rendah atau berkecepatan tinggi mudah terjadi kavitas, terutama pada sisi hisap pompa [gambar 6.14, 6.15]. Kavitas akan timbul apabila tekanannya terlalu rendah

. Gejala kavitas yang timbul pada pompa biasanya ada suara berisik dan getaran, unjuk kerjanya menjadi turun, kalau dioperasikan dalam jangka waktu lama akan terjadi kerusakan pada permukaan dinding saluran dan bagian pompa yang lainnya terutama impeler [gambar 6.16, 6.17]. Permukaan dinding saluran akan berlubang-lubang karena erosi kavitas sebagai akibat tumbukan gelembung gelembung yang pecah pada dinding secara terus menerus.

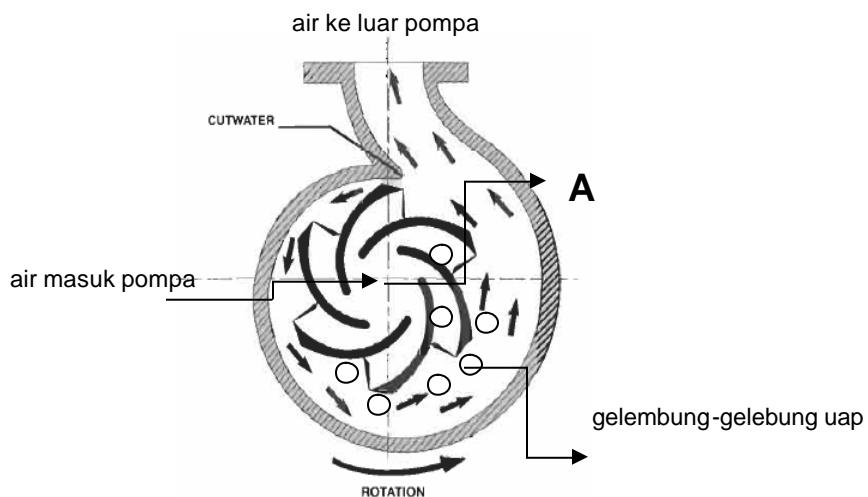
### F.3. Pencegahan kavitas

Cara menghindari proses kavitas yang paling tepat adalah dengan memasang instalasi pompa dengan NPSH yang tersedia lebih besar dari pada NPSH yang diperlukan. NPSH yang tersedia dapat diusahakan oleh pemakai pompa sehingga nilainya lebih besar dari NPSH yang diperlukan. Berikut ini hal-hal yang diperlukan untuk instalasi pompa:

1. Ketinggian letak pompa terhadap permukaan zat cair yang dihisap harus dibuat serendah mungkin agar head hisap statis lebih rendah pula.
2. Pipa Hisap harus dibuat sependek mungkin. Jika terpaksa dipakai pipa hisap yang panjang, sebaiknya diambil pipa yang berdiameter satu nomer lebih besar untuk mengurangi kerugian gesek.
3. Tidak dibenarkan untuk mengurangi laju aliran dengan menghambat aliran disisi hisap.
4. Head total pompa harus ditentukan sedemikian hingga pas dengan yang diperlukan pada kondisi operasi yang sesungguhnya.
5. Jika head pompa sangat berfluktuasi, maka pada keadaan head terendah harus diadakan pengamanan terhadap terjadinya kavitas. Dalam beberapa hal terjadinya akavitas tidak dapat dihindari dan tidak mempengaruhi performa pompa, sehingga perlu dipilih bahan impeler yang tahan erosi karena kavitas.



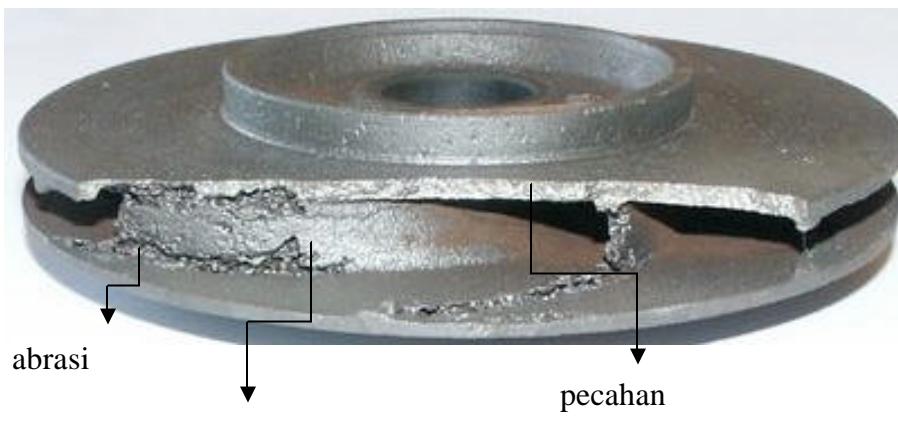
Gambar 6.14 Proses kavitas



Gambar 6.15 Proses kavitas



Gambar 6.16 Abrasi pada impeler



Gambar 6.17 Kerusakan impeler karena kavitas

## G. Pemilihan Penggerak Mula

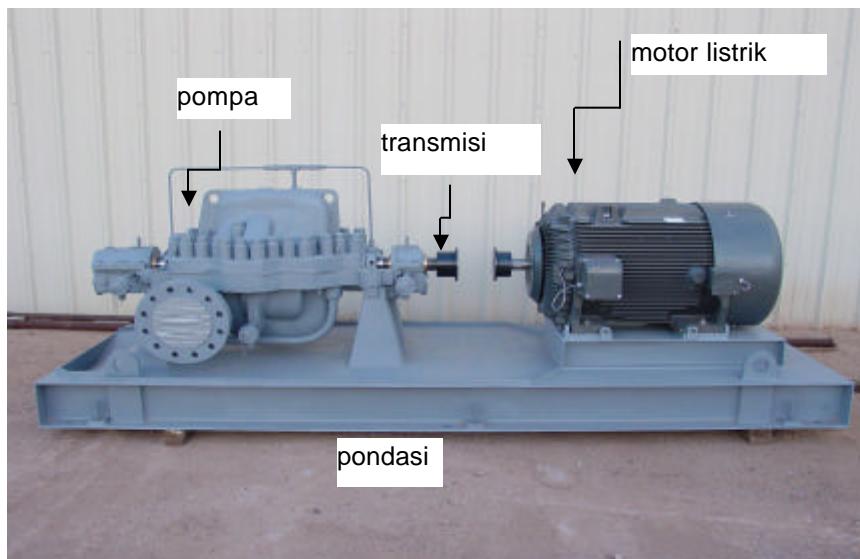
Penggerak mula yang dipakai untuk meggerakan poros pompa dapat berasal dari dua macam tipe yang umum, yaitu motor listrik dan motor bakar. Masing-masing tipe mempunyai keuntungan dan kerugian untuk dipakai sebagai penggerak. Di bawah ini dijabarkan keuntungan dan kelebihan dari masing-masing penggerak mula tersebut.

### [A] Motor listrik

1. Keuntungan
  - a. Jika tenaga lisrik ada di sekitar instalasi pompa maka penggunaan listrik untuk penggerak pompa menjadi pilihan utama, karena akan lebih ekonomis .
  - b. Pengoperasiannya lebih mudah
  - c. Ringan
  - d. Tidak menimbulkan getaran
  - e. Pemeliharaan atau perawatan murah
  - f. Pengaturan mudah
  - g. Tidak polusi suara dan udara
2. Kerugian
  - a. Jika aliran listrik padam pompa tidak dapat dipakai sama sekali
  - b. Jika pompa tidak dioperasikan atau jarang diopersikan, biaya beban tetap harus dibayar
  - c. Jika kondisi instalasi jauh dari sumber listrik, maka biaya penyambungan menjadi kendala utama dan pasti akan mahal



Gambar 6.18 Pompa tegak dengan penggerak motor listrik



Gambar 6.19 Pompa dengan penggerak motor listrik

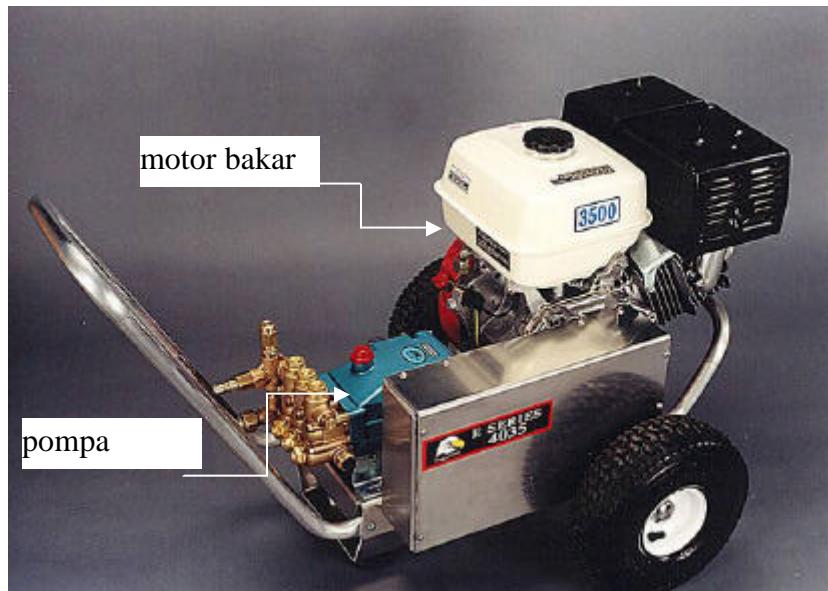
### [B] Motor torak

## 1. Keuntungan

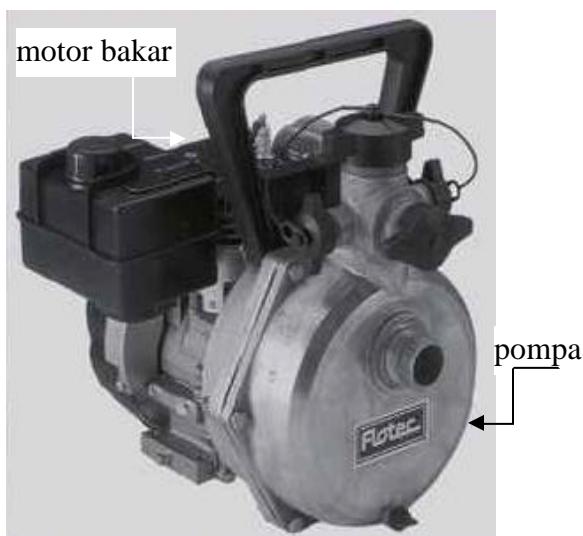
- a. Operasi tidak bergantung dari tenaga listrik
  - b. Biaya fasilitas tambahan lebih rendah
  - c. Mudah dipindah-pindah sampai daerah terpencil

## 2.Kerugian

- a. Mesin lebih mahal
- b. Biaya perawatan dan pemeliharaan akan mahal
- c. Pengoperasian akan terganggu apabila pasokan bahan -bakar kurang
- d. Motor torak lebih berat dari pada motor listrik
- e. Memerlukan air pendingin yang jumlahnya lebih besar
- f. Getaran dan suara yang ditimbulkan sangat besar



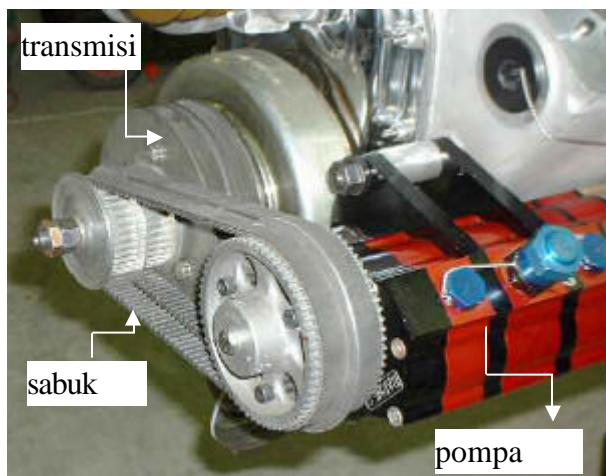
Gambar 6.20 Pompa *portable* dengan penggerak motor bakar



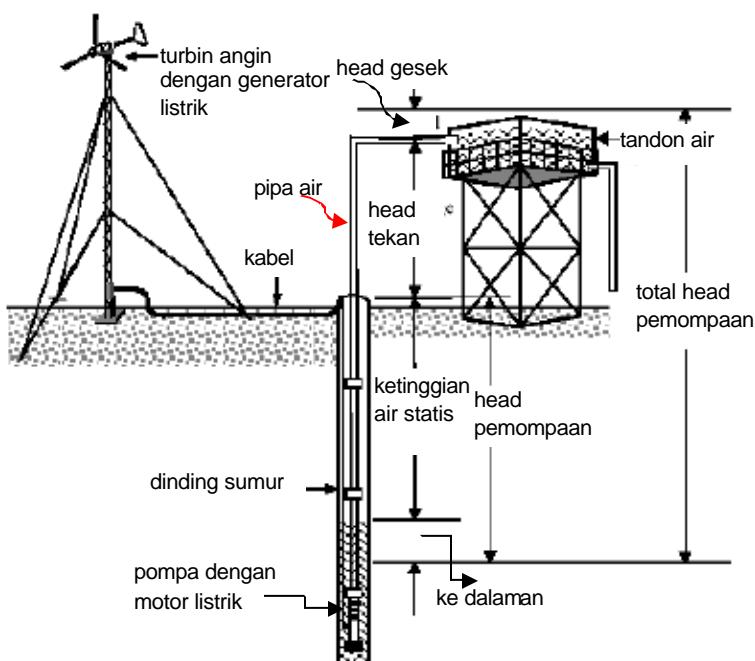
Gambar 6.21 Pompa *portable* dengan penggerak motor bakar

## G.1 Roda gigi transmisi

Jika putaran pompa lebih besar atau kecil dari sumber penggeraknya maka untuk memenuhi kebutuhan putaran yang tepat dipasang roda gigi transmisi. Roda gigi transmisi akan mengatur tingkat putaran pada pompa. Untuk pompa-pompa yang kecil dapat dipakai sabuk sebagai media transfer daya dari penggerak ke poros pompa.



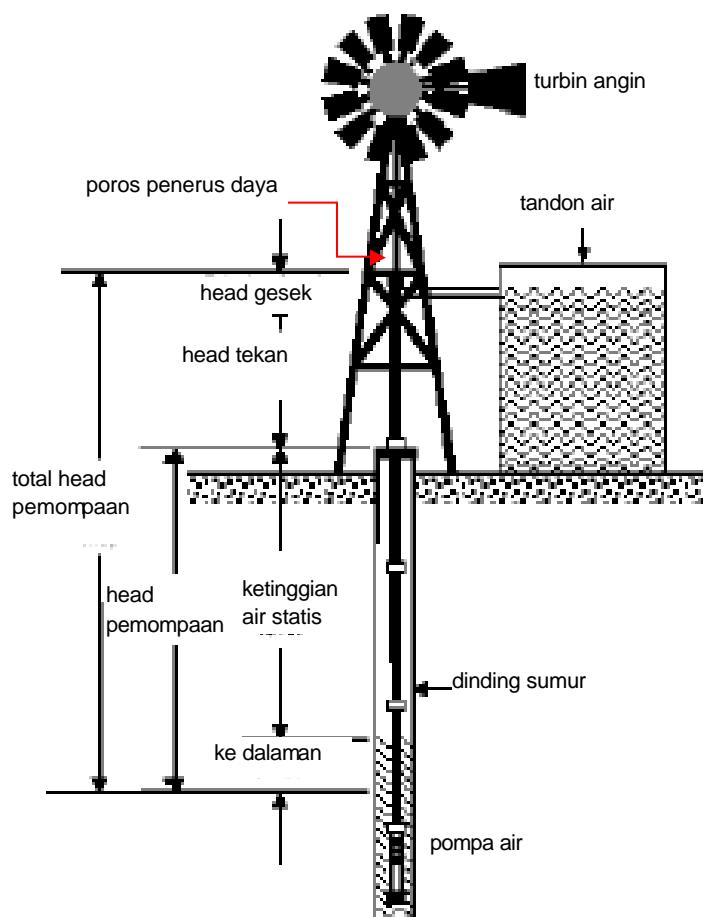
Gambar 6.22 Penggunaan transmisi *belt*



Gambar 6.23 Instalasi pompa dengan sumber energi angin

## G.2. Pompa dengan penggerak turbin angin

Turbin angin banyak dipakai sebagai penggerak pompa, khususnya pada daerah dengan kecepatan angin tinggi. Sebagai contoh pada daerah pantai, kecepatan angin dapat di atas rata-rata daerah lain, sehingga dapat diubah menjadi energi yang berguna untuk menggerakkan pompa yaitu dengan pemasang turbin angin [gambar 6.23 dan 6.24]. Pompa banyak dipakai untuk drainase atau untuk aerasi pada tambak-tambak. Tentunya dengan pemilihan penggerak mula yang dipakai adalah turbin angin, permasahan ketiadaan energi listrik untuk motor listrik menjadi teratasi. Memang ada kendala kalau kecepatan angin pada bulan-bulan tertentu sepanjang tahun tidak besar, yang mengakibatkan kerja pompa tidak maksimal.



Gambar 6.24 Pompa dengan penggerak mula turbin angin

## H. Kurva Head Kapasitas Pompa dan Sistem

Sebelum pelaksanaan instalasi pompa untuk keperluan tertentu, ada beberapa hal yang penting untuk diperhatikan, seperti pompa harus dapat mengatasi head yang besarnya bergantung dari kapasitas atau laju aliran. Pompa melayani kebutuhan head yang tinggi dengan kapasitas yang rendah, atau pompa harus melayani kebutuhan kapasitas yang besar dengan head yang rendah.

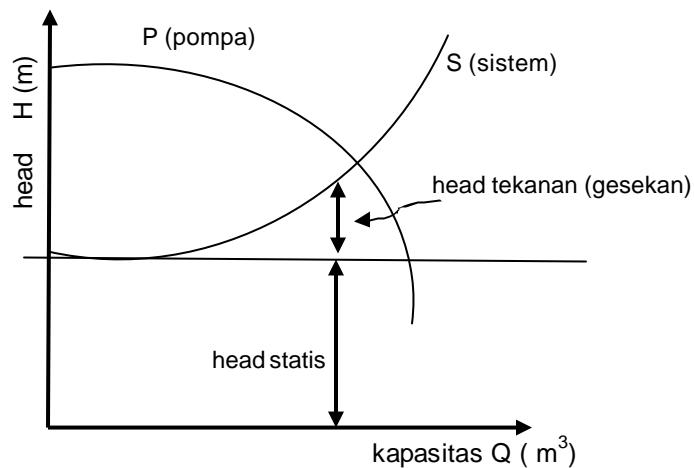
Hubungan antara head dan kapasitas pompa dan sistem disajikan dalam grafik kurva head kapasitas seperti terlihat pada gambar 6.25. Dari grafik ini akan terbaca kemampuan dari pompa untuk memenuhi head pada kapasitas aliran tertentu. Pada operasinya, disamping harus memenuhi head pompa, pompa juga harus memenuhi head dari sistem instalasi.

Head sistem adalah head yang diperlukan untuk megalirkan zat cair melalui sistem pipa, head ini sama dengan head untuk megatasi kerugian gesek ditambah head statis sistem. Head statis adalah head potensial dari beda ketinggihan permukaan dan beda tekanan statis pada kedua permukaan zat cair ditadah hisap dan ditadah ke luar. Dari grafik pada Gambar 6.25 dapat dilihat terdapat titik perpotongan antara head pompa dengan sistem. Titik perpotong tersebut merupakan titik kerja pompa dan sistem. Pada titik ini menunjukkan bahwa head yang dibutuhkan sistem sama dengan head yang dapat diberikan pompa pada kapasitas yang sama.

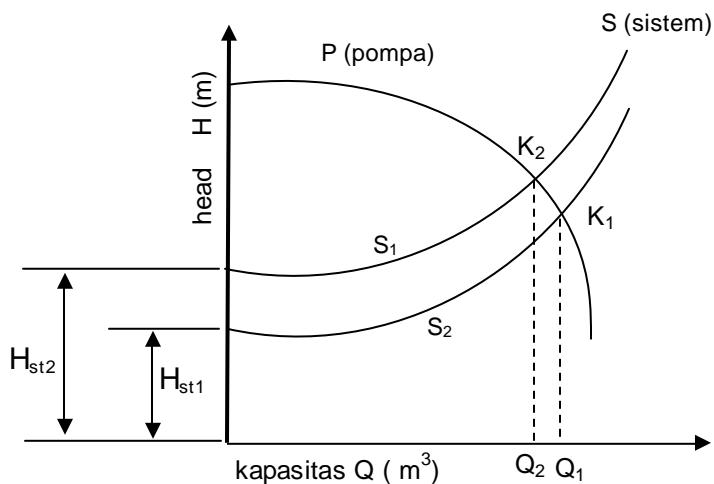
Kurva head laju aliran dari sistem berubah sebagai contoh karena head statis atau tahanan sistem pipa berubah. Apabila hal demikian terjadi maka titik kerja pompa sistem juga berubah. Dapat dilihat pada Gambar 6.26 adalah contoh perubahan dari titik kerja. Head statis berubah dari  $H_{st1}$  menjadi  $H_{st2}$ , kurva sistem berubah dari  $S_1$  ke  $S_2$  dan titik kerja berubah dari  $K_1$  menjadi  $K_2$ . Kapasitasnya pun berubah dari  $Q_1$  menjadi  $Q_2$ .

Pada Gambar 6.27 menunjukkan perubahan dari titik kerja  $K_1$  menjadi  $K_2$ , hal ini terjadi karena adanya perubahan kurva sistem  $S_1$  menjadi  $S_2$ . Dari perubahan itu mengakibatkan kapasitas berubah dari  $Q_1$  menjadi  $Q_2$ . Kenaikan tahanan pompa dapat terjadi karena katup pengaturan diperkecil pembukaannya.

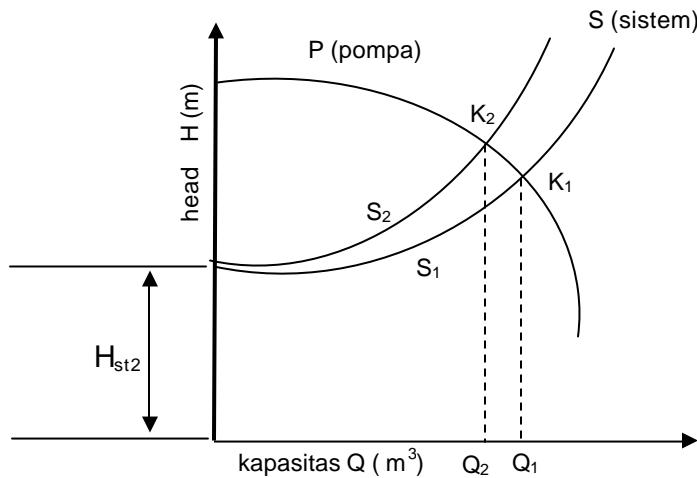
Dari dua contoh di atas menunjukkan bahwa selama operasi pompa apabila terjadi perubahan head statis dan head kerugian gesek, akan menggeser kurva sistem dari pompa. Sehingga titik kerja dari pompa juga akan berubah dan selanjutnya kapasitasnya pun berubah.



Gambar 6.25 Grafik kurva head kapasitas



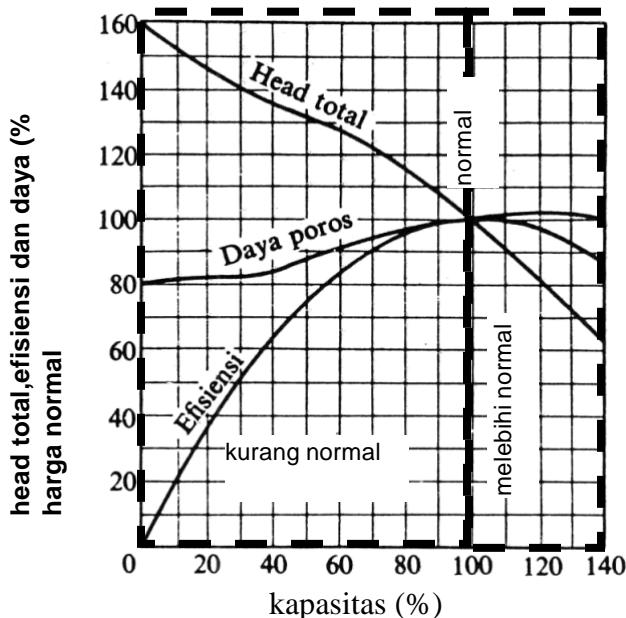
Gambar 6.26 Kurva head pompa dengan variasi head statis



Gambar 6.27 Kurva head pompa dengan kenaikan tahanan

### I. Operasi Pompa pada Kapasitas tidak Normal

Operasi instalasi pompa dengan melayani head tertentu akan berjalan normal dan mencapai harga efisiensi maksimum pada kapasitas aliran mencapai harga normal atau pada kapasitas penuh, seperti terlihat pada Gambar 6.28

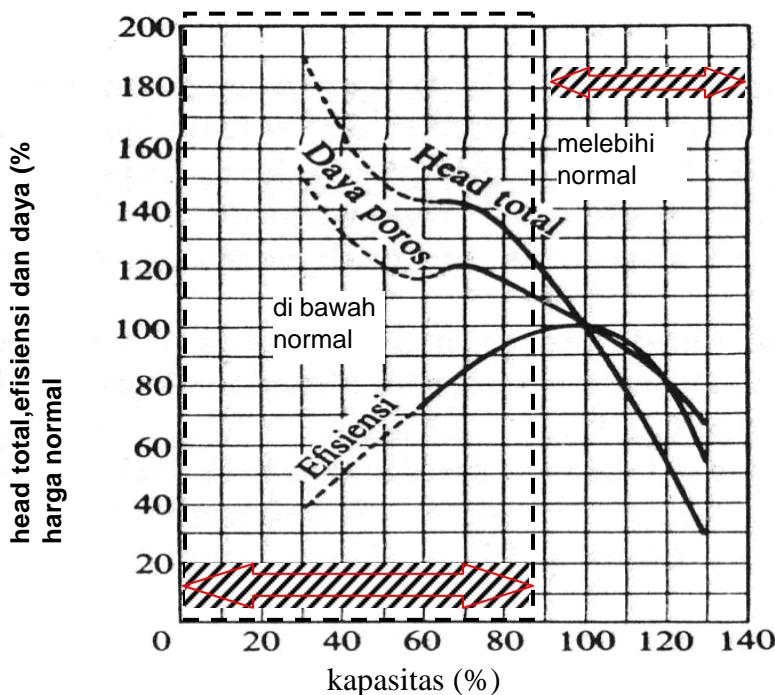


Gambar 6.28 Grafik head kapasitas dengan variasi operasi pompa

Dari grafik di atas, pompa yang beroperasi pada kapasitas tidak penuh atau berlebih, efisiensi operasinya rendah. Kasus khusus yaitu pada kapasitas tidak penuh, daya poros yang diperlukan bertambah besar. Sebaliknya, untuk operasi pompa pada kondisi kapasitas melebihi normal, daya poros bertambah turun, tetapi dengan head yang juga menurun. Jadi, ada dua kasus khusus operasi pompa yang tidak efisien, dan ini mengakibatkan kerugian. Berikut ini penjelasan lebih lanjut kasus tersebut.

### I.1. Operasi dengan kapasitas tidak penuh

Pompa yang beroperasi pada kapasitas tidak penuh akan timbul banyak permasalahan, akibatnya efisiensinya menjadi turun. Untuk pompa radial pada kapasitas rendah, gaya radial menjadi besar, pada pompa aksial daya poros semakin besar [Gambar 6..29], timbul suara dan getaran. Pada pompa volut dengan kondisi operasi tersebut gaya radial yang ditimbulkan sangat besar dan tidak seimbang, apabila pompa beroperasi lama akan menyebabkan poros pompa patah. Gejala lain yang selalu muncul pada pompa dengan kapasitas aliran yang terlalu kecil atau bahkan mendekati nol, yaitu pompa akan menjadi panas, dan ini adalah kerugian operasi. Panas akan timbul pada impeler karena kurang pendinginan dari zat cair.



Gambar 6.29 Grafik head kapasitas pompa axial

Panas yang timbul pada operasi kapasitas tidak penuh akan terbawa aliran. Apabila pompa beroperasi dalam keadaan katup tertutup atau terbuka sangat kecil, maka kerugian akan meningkat, sedangkan panas yang dibawa ke luar sangat sedikit. Hal ini mengakibatkan temperatur pompa akan naik dengan cepat. Kenaikan temperatur pompa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\Delta t = \frac{(1 - \eta)H}{427\eta}$$

dimana  $\Delta t$  = adalah kenaikan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\eta$  = efisiensi pompa pada titik operasi

H = head total pompa pada titik operasi

Apabila pompa dengan head tinggi dioperasikan pada kapasitas rendah, temperatur akan naik dan menyebabkan kesulitan seperti kavitas, pada kondisi ini penguapan zat cair sangat banyak dan menimbulkan kerusakan pada komponen pompa, khususnya impeler. Kerusakan akan lebih parah pada operasi pompa dengan zat cair panas. Untuk mengatasinya, sebagian zat cair terpaksa harus dibocorkan ke luar bila laju aliran sangat kecil, hal ini dilakukan untuk mencegah naiknya temperatur melebihi batas normal. Kenaikan temperatur yang diizinkan adalah  $10^{\circ}\text{C}$ , khusus untuk pompa yang digunakan untuk pengisi ketel, kenaikan yang diizinkan harus diperhitungkan atas dasar kondisi dimana tidak akan terjadi penguapan pada ruang pengimbang.

## I.2. Operasi dengan kapasitas melebihi normal

Permasalahan akan timbul pada operasi pompa dengan kapasitas melebihi normal atau di atas titik efisiensi optimumnya. Dapat dilihat pada Gambar 6.5 pada pompa sentrifugal, dengan kenaikan kapasitas aliran efisiensi menurun dan daya poros naik. Permasalahan lain yang timbul adalah terjadi kavitas, karena NPSH yang diperlukan akan naik. Untuk mengatasinya perlu disediakan NPSH pada laju aliran maksimum yang lebih besar dari pada NPSH yang diperlukan.

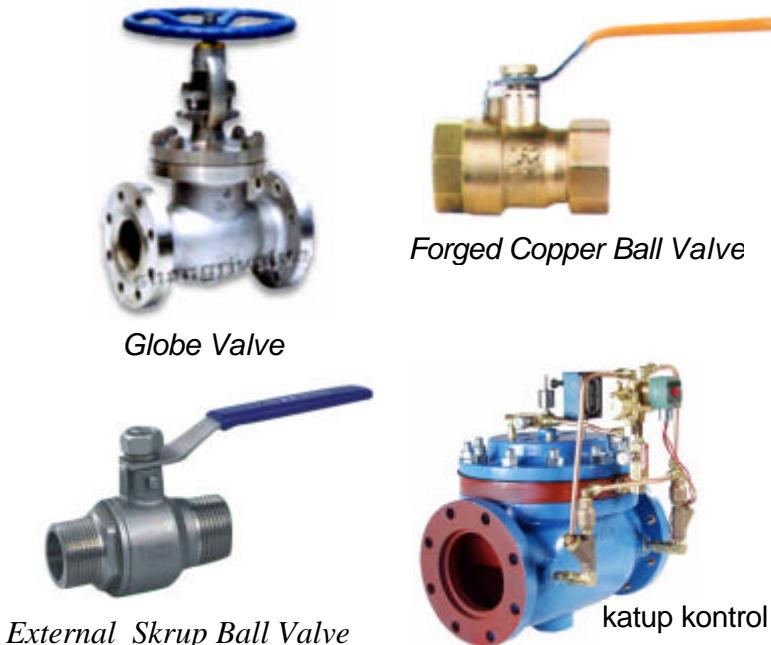
Jika pompa sentrifugal dengan  $\eta$  rendah dan dioperasikan pada kondisi kapasitas melebihi normal, daya poros yang dibutuhkan akan naik, untuk itu, perlu dipilih motor penggerak berdaya besar, sehingga mampu mengatasi operasi pompa yang berlaku. Jika hal tersebut tidak dilakukan, motor akan mengalami pembebanan berlebih, dan dapat mengakibatkan kerusakan.

## J. Kontrol Kapasitas Aliran

Kebutuhan pelayanan kapasitas operasi pompa tidak selalu tetap, tetapi disesuaikan dengan kebutuhan, sehingga kapasitas aliran harus diatur untuk menyesuaikan kebutuhan. Berikut ini diuraikan cara-cara pengaturan.

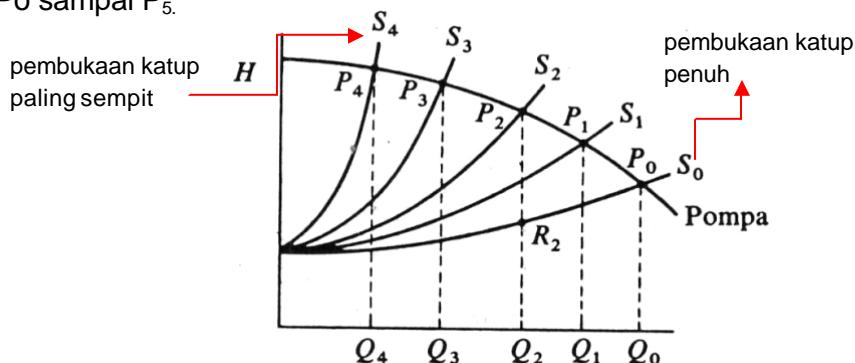
### J.1. Pengaturan katup

Pada instalasi pompa terdapat katup-katup untuk pengaturan kapasitas, terutama pada sisi pipa ke luar pompa. Laju aliran diatur dengan menghambat aliran dengan mengubah-ubah pembukaan katup. Berbagai macam tipe katup untuk kontrol kapasitas dapat dilihat pada Gambar 6.30



Gambar 6.30 Berbagai macam katup

Pada grafik head kapasitas operasi pompa pada Gambar 6.31 dapat dilihat dengan mengubah-ubah katup kapasitas aliran berubah dari  $Q_0$  sampai  $Q_5$ . Jika katup dibuka penuh maka mempunyai kurva karakteristik  $S_0$ , selanjutnya pembukaan diperkecil sehingga kurva karakteristik menjadi  $S_1$ , sampai  $S_5$ . Titik operasinya akan berubah dari  $P_0$  sampai  $P_5$ .



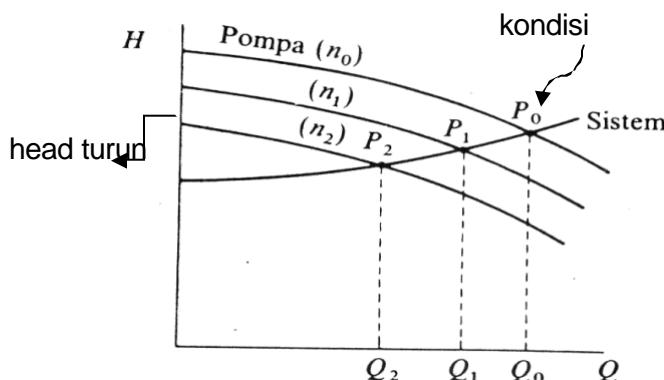
Gambar 6.31 Kurva head kapasitas dengan pengaturan katup

Dengan mengubah-ubah pembukaan katup kapasitas aliran menjadi berubah, akan tetapi timbul tahanan katup sehingga menaikkan kerugian daya. Dengan kata lain, kapasitas aliran semakin dikurangi, tahanan katup semakin besar dan kerugian head juga akan semakin besar.

### J.2. Pengaturan putaran

Pengaturan kapasitas dengan katup seperti telah diuraikan di atas, kerugian yang ditimbulkan besar, terutama kerugian head aliran. Dapat dilihat pada grafik head kapasitas pada Gambar 6.32, dengan mengubah-ubah putaran pompa dari  $n_0$ , sampai  $n_2$ , kapasitas akan berubah dari  $Q_0$  sampai  $Q_2$ . Titik operasi berubah dari  $P_0$  sampai  $P_2$ . Untuk mengatur putaran dapat dilakukan dengan mengatur putaran motor penggeraknya, atau dengan mengubah perbandingan putaran pada alat transmisi daya porosnya.

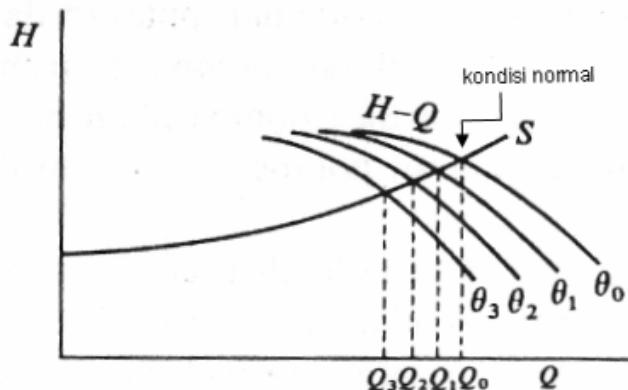
Dari uraian di atas, pengaturan kapasitas dengan cara mengubah-ubah putaran pompa akan mengubah kurva karakteristik H-Q pompa, sehingga titik perpotongan antara kurva HQ pompa dengan kurva HQ sistem menjadi bergeser. Pengaturan kapasitas dengan putaran memberikan kerugian yang lebih kecil dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan dengan katup, hal ini karena perubahan kapasitas aliran dengan metode ini, tidak mengubah kondisi saluran instalasi pompa, sehingga tidak ada kenaikan tahanan aliran.



Gambar 6.32 Kurva head kapasitas dengan pengaturan putaran

### J.3. Pengaturan sudut sudut impeler

Untuk pompa-pompa yang besar dan bekerja pada instalasi pompa dengan kapasitas besar, pengaturan kapasitas dapat dilakukan dengan mengatur sudut sudut impeler. Pada gambar 6.33 dapat dilihat bahwa dengan mengubah sudut sudut, dapat mengubah kurva H-Q dari pompa, sehingga titik perpotongan dengan kurva H-Q sistem berubah.

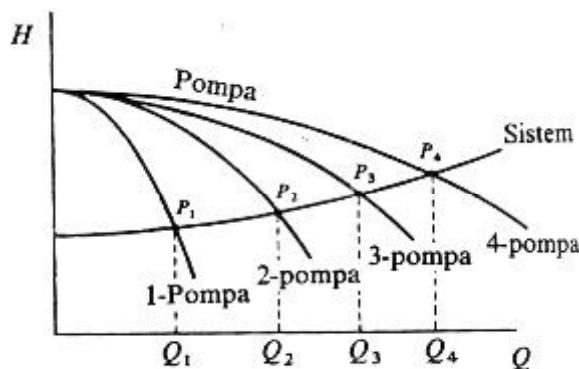


Gambar 6.33 Kurva head kapasitas dengan pengaturan sudut impeler

Karena titik perpotongan yang merupakan titik operasi pompa bergeser, kapasitas aliran yang dihasilkan pun berubah dari  $Q_0$  sampai  $Q_5$ . Pengaturan kapasitas dengan model ini sangat efektif terutama untuk perbedaan yang besar antara head statis sistem dan head statis pompa. Tetapi, pengaturan sudut sudu impeler hanya mudah diterapkan untuk pompa yang besar, untuk pompa berukuran kecil akan mengalami kesukaran.

#### J.4. Pengaturan jumlah pompa

Pada pusat instalasi pompa dengan kapasitas besar, sering digunakan beberapa buah pompa untuk melayani kebutuhan laju aliran yang besar. Dengan demikian perubahan kebutuhan kapasitas pompa dapat dilakukan dengan mengurangi atau menambah jumlah pompa. Pada gambar adalah grafik  $H-Q$  instalasi pompa dengan 4 buah pompa dipasang paralel. Kurva  $H-Q$  pompa akan bervariasi, titik operasi pompa pun bergeser dari  $P_1$  sampai  $P_5$ . Dengan memasang pompa semakin banyak kapasitas alirannya semakin besar, dari  $Q_1$  sampai  $Q_5$ .



Gambar 6.34 Kurva head kapasitas dengan pengaturan jumlah pompa

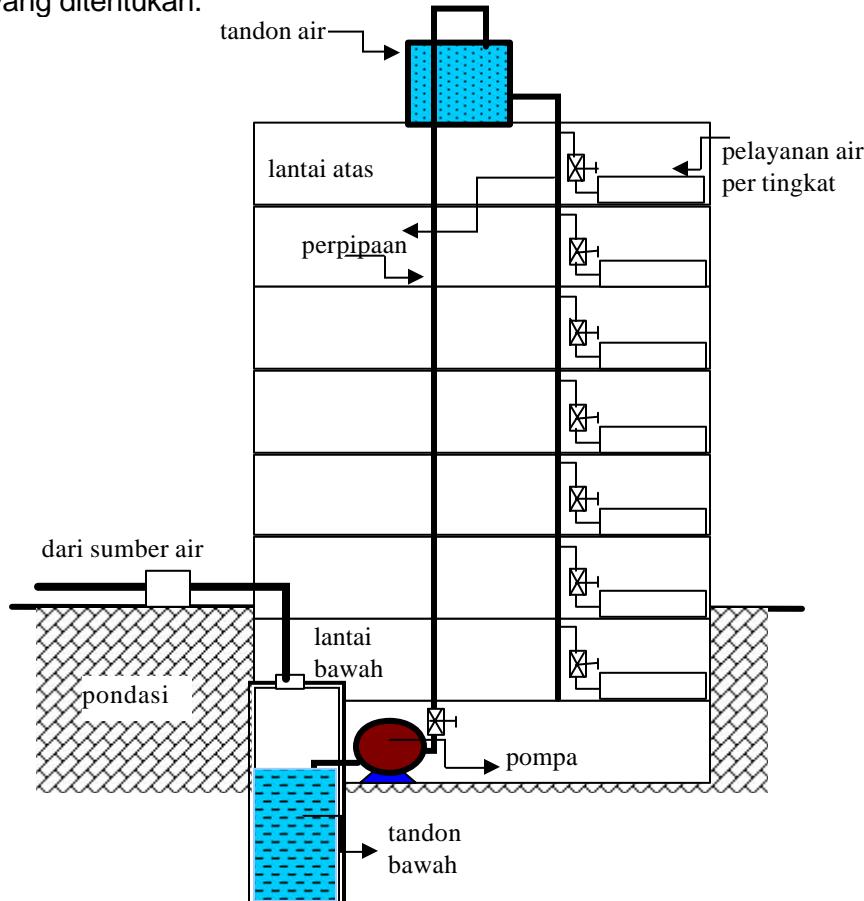
## J.5. Pengaturan kapasitas aliran dengan reservoir atau tandon

Pengaturan kapasitas aliran pompa dapat dilakukan dengan memasang tandon sebagai penumpul air sementara, kemudian air didistribusikan ke tempat yang membutuhkan pas dengan kapasitasnya.

Ada dua cara yang dapat digunakan untuk pengaturan laju aliran model ini yaitu:

### [1] Penyedian air dengan tangki atas

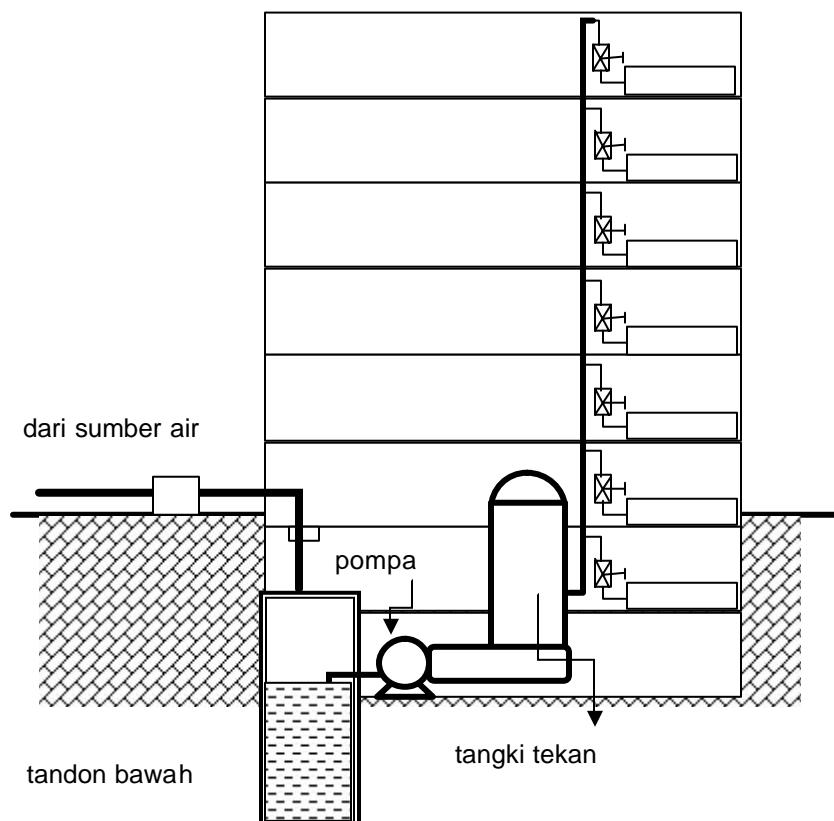
Model penyedian kapasitas aliran jenis ini dilakukan dengan memasang sebuah tangki atas dipuncak gedung-gedung atau di atas menara air. Dari tangki atas air dibagikan ke tempat-tempat yang membutuhkan. Kapasitas aliran diatur dengan memasang katup pada masing-masing jalur pipa sehingga pas dengan yang dibutuhkan. Pompa bekerja secara otomatis untuk mengisi tangki atas, apabila jumlah air di dalam tangki surut sampai level tertentu, pompa secara otomatis akan bekerja untuk mengisi tangki tersebut sampai level air yang ditentukan.



Gambar 6.35. Pengaturan kapasitas dengan reservoir atau tandon

## [2]Penyedian air dengan tangki tekan

Pelayanan air dengan kapasitas aliran yang dapat diatur dengan metode tangki tekan sangat efektif apabila pompa yang beroperasi tidak dapat melayani tempat-tempat yang tinggi. Atau head yang dimiliki pompa kecil untuk melayani head dari sistem. Metode menggunakan tangki tekan, yang berupa bejana tertutup, dipasang didekat pompa. Air dari sumber air dipompa ke tangki tekan kemudian disalurkan ketempat-tempat yang membutuhkan. Pompa bekerja otomatis merespon dari tekanan yang berkurang di dalam tangki tekan. Udara mencegah pompa beroperasi secara berulang-ulang karena merespon tekanan di dalam tangki tekan. Pemasangan kompresor akan sangat membantu untuk menyuplai udara tekan ke tangki tekan.



Gambar 6.36 Pengaturan kapasitas dengan tangki tekan

## Rangkuman

1. Kecepatan spesifik  $n_s$  adalah kecepatan putar yang sebenarnya  $n$  dari pompa pembanding yang mempunyai geometri sudu-suđu impeler sebangun dan dapat menghasilkan tinggi kenaikan  $H = 1\text{m}$  dan  $Q = 1 \text{ m/dt}^3$ .
2. Kurva karakteristik menyatakan besarnya head total pompa, daya poros, dan efisiensi pompa terhadap kapasitasnya
3. Head statis adalah penjumlahan dari head elevasi dengan head tekanan.
4. Head kerugian yaitu head untuk mengatasi kerugian kerugian yang terdiri dari kerugian gesek aliran didalam perpipaan, dan head kerugian didalam belokan-belokan (elbow), percabangan, dan perkutupan (valve)
5. Pengurangan head yang dimiliki zat cair pada sisi isapnya dengan tekanan zat cair pada tempat tersebut dinamakan *Net Positif Suction Head (NPSH)* atau nilai head positif neto.
6. Untuk menghindari kavitas pada pompa harus dipenuhi persyaratan berikut ;  $NPSH_{tersedia} \geq NPSH_{yang\ diperlukan}$
7. Hal yang mempengaruhi NPSH yang tersedia
  - a. Pengaruh dari temperatur dari zat cair
  - b. Pengaruh dari tekanan dari zat cair yang dihisap.
  - c. Kondisi ketinggian permukaan air pada tandon isap relatif terhadap posisi isap pompa, semakin tinggi NPSH naik.
  - d. Kerugian gesekan pada sisi isap, semakin besar kerugian gesek pada sisi isap akan semakin menurunkan nilai NPSH tersedia
8. Hal yang mempengaruhi efisiensi pompa
  - a. Kecepatan impeler
  - b. Diamter impeler
  - c. Jumlah suđu impeler
  - d. Ketebalan dari impeler
  - e. sudut pitch dari suđu impeler
9. Penggerak mula yang dipakai untuk meggerakan poros pompa dapat berasal dari dua macam tipe yang umum yaitu motor listrik dan motor bakar

**Soal**

1. Jelaskan tentang kecepatan spesifik pompa! dan bagaimana kalau ada dua buah pompa mempunyai kecepatan spesifik yang sama?
2. Jelaskan tentang Head total pompa dan sebutkan faktor-faktor yang mempengaruiinya!
3. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruui performansi pompa!
4. Jelaskan tentang NPSH !
5. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai NPSH tersedia adalah perubahan temperatur lingkungan instalasi, coba anda jelaskan !

# BAB 7 GANGGUAN OPERASI POMPA

Pada instalasi pompa sering dijumpai berbagai kerusakan peralatan, misalnya katup-katup, pipa-pipa, sambungan, dan komponen-komponen dalam pompa sendiri. Kerusakan-kerusakan tersebut diakibatkan oleh gangguan-gangguan yang terjadi selama pompa beroperasi. Gangguan-gangguan yang sering terjadi adalah benturan air, *surging* dan fluktuasi tekanan.

## A. Benturan Air (*Water Hammer*)

Gejala benturan air sering terjadi pada operasi pompa dan pada kondisi ini banyak menimbulkan kerusakan pada peralatan instalasi. Benturan air terjadi karena pada aliran terjadi kenaikan dan penurunan tekanan secara tiba-tiba. Benturan air dapat terjadi karena dua sebab yaitu:

1. Penutupan katup secara tiba-tiba
2. Pompa mendadak berhenti bekerja

Sebab pertama banyak terjadi pada waktu pengaturan kapasitas aliran, jika pengaturannya tidak benar, maka katup menutup penuh secara tiba-tiba, aliran akan terhenti dan seolah-olah zat cair membentur katup. Karena kondisi tersebut, timbul tekanan yang melonjak dan diikuti fluktuasi tekanan di sepanjang pipa untuk beberapa saat.

Selama pompa beroperasi, poros pompa menggunakan penggerak dari luar, yang biasa digunakan yaitu motor listrik atau motor bakar. Khusus untuk pompa yang menggunakan motor listrik sebagai penggeraknya, masalah akan timbul apabila listrik tiba-tiba mati yaitu motor listrik tidak bekerja, akibatnya pompa akan berhenti mendadak. Aliran air akan terhalang impeler sehingga mengalami perlambatan yang mendadak, hal tersebut menyebabkan lonjakan tekanan pada pompa dan pipa.

Dari dua sebab tersebut di atas, terlihat apabila terjadi gangguan operasi pompa, masalah yang akan timbul adalah terjadi lonjakan tekanan yang tiba-tiba karena aliran terhalang dan berhenti, kemudian terjadi benturan air pada peralatan. Kerusakan yang timbul disamping karena lonjakan tekanan, jatuhnya tekanan juga dapat menyebabkan kerusakan.

Di bawah ini diuraikan beberapa kemungkinan yang terjadi pada operasi pompa yang berhenti bekerja apabila listrik mati ;

**[1] Pompa tidak dilengkapi katup pada sisi ke luar.** Pada waktu listrik padam, pompa tiba-tiba berhenti, tetapi impeler masih berputar karena gaya kelembaman bagian yang berputar. Putaran ini kan segera berhenti karena energi kinetiknya terserap air. Karena aliran terhenti sehingga head dan kapasitas menjadi hilang. Head pompa tidak lagi mengatasi head dari sistem mengakibatkan tekanan pada sisi ke luar pompa menjadi negatif, kondisi ini menyebabkan aliran balik dari pipa sisi ke luar menuju pompa. Tekanan yang tadinya negatif menjadi positif pada pipa sisi keluar pompa. Aliran balik dengan tekan positif akan membentur impeler pompa dan akan memutar impeler dengan putaran yang berlawanan dengan kerja pompa normal, dengan kata lain pompa bekerja sebagai turbin.

**[2] Pompa yang dilengkapi dengan katup pada sisi ke luar pompa.** Pemasangan katup ini akan mencegah aliran balik dari sisi ke luar pompa menuju pompa. Katup ini akan merespon aliran balik dengan langsung menutup aliran. Di dalam pompa, impeler setelah listrik mati tetap berputar tetapi akan segera berhenti secara berangsur angsur.

**[3] Pompa dilengkapi dengan katup yang dapat diatur.** Pemasangan katup pada sisi ke luar pompa untuk mencegah aliran balik akan lebih efektif apabila katup tersebut dapat diatur sehingga penutupannya tidak tiba-tiba sehingga alirannya tidak berhenti mendadak dan lonjakan tekanan dapat dihindari.

#### A.1. Kerusakan akibat benturan air

Kerusakan yang ditimbulkan dari benturan air seperti yang telah disebutkan di atas adalah sebagai berikut :

1. Peralatan instalasi pompa seperti katup, perpipaan dan pompa dapat pecah karena lonjakan tekanan.
2. Pada waktu terjadi tekanan negatif pada aliran sisi ke luar pompa, pipa dapat mengempis dan pecah.
3. Tekanan negatif yang timbul dapat menyebabkan penguapan zat cair apabila tekanan tersebut di bawah tekanan uap zat cair. Penguapan zat cair akan menghasilkan banyak gelembung-gelembung uap air yang dapat pecah dan menghantam dinding pipa atau pompa sehingga menimbulkan kerusakan.
4. Apabila instalasi pompa tidak diberi pengaman sehingga terjadi aliran balik yang akan memutar impeler pompa, putaran ini berkebalikan dari putaran normal pompa, kondisi ini mengakibatkan kerusakan pada motor penggeraknya.

#### A.2 Pencegahan benturan air

Proses terjadinya benturan air yaitu karena head pompa tidak dapat mengatasi head sistem sehingga terjadi tekanan negatif pada sisi ke luar pompa, kondisi ini menyebabkan aliran balik dari sisi ke luar pompa menuju pompa. Selanjutnya terjadi kenaikan tekanan yang drastis yang

menuju impeler pompa. Berdasarkan kondisi tersebut, untuk mencegah terjadinya benturan air, tekanan negatif dan lonjakan tekanan harus dicegah.

### [1] Pecegahan timbulnya tekanan negatif

- a. Katup laluan udara, katup ini dipasang ditempat dimana terjadi tekanan negatif sehingga udara dari atmosfer masuk ke dalam pipa untuk menyeimbangkan tekanan di dalam pipa dan di luar pipa.
- b. Kamar udara, kamar udara ini berbentuk bejana tertutup yang terisi air sampai ketinggihan tertentu, bagian atas bejana terisi udara bertekanan. Apabila terjadi tekanan negatif, udara bertekanan akan langsung mengisi sehingga tekanan tidak terlalu jatuh.
- c. Roda gaya pada poros pompa, roda gaya tersebut dapat menyimpan energi, sehingga pada waktu pompa mati impeler dapat terus berputar dan berhenti perlahan-lahan. Hal ini dapat mencegah penurunan tekanan yang berlebihan.
- d. Memperbesar ukuran pipa, dengan memperbesar ukuran pipa kecepatan aliran akan berkurang sehingga gaya yang ditimbulkan karena benturan akan berkurang.
- e. Bentuk pipa pada sisi ke luar harus menjamin tidak terjadi pemisahan kolom zat cair.

### [2] Pecegahan timbulnya lonjakan tekanan

- a. Penggunaan katup kontrol (penutupan lambat). Pada pemasangan katup pada sisi ke luar pompa untuk menahan aliran balik menuju pompa, katup tersebut harus mampu mengontrol aliran agar tidak berhenti mendadak. Pada permulaan bekerja katup tersebut harus mampu mencegah lairan yang menuju impeler, kemudian selanjutnya menutup perlahan-lahan sehingga aliran tidak berhenti mendadak dan lonjakan tekanan tidak terjadi. Jenis katup yang biasa dipakai adalah jenis katup jarum, katup putar dan katup kupu-kupu.
- b. Penggunaan katup pelepas tekanan. Katup pelepas tekanan dipasang pada jalur pipa untuk mengurangi lonjakan tekanan dengan cara melepaskan tekanan
- c. Penggunaan katup cegah (penutupan cepat). Katup ini harus menutup sesaat sebelum aliran balik terjadi, sehingga dihindari aliran balik yang besar, dengan demikian lonjakan tekanan dihindari.

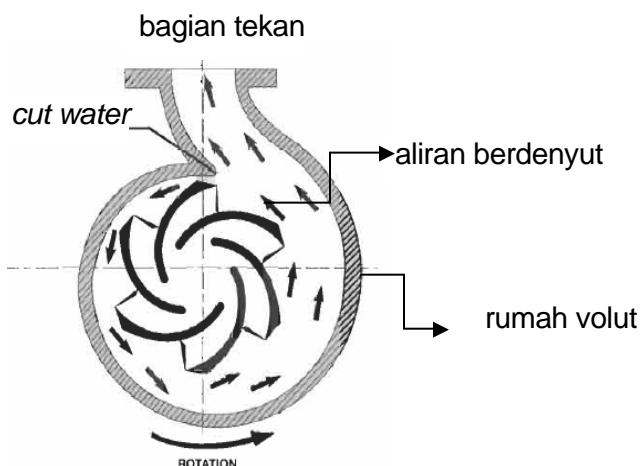
## B. Gejala Surjing

Gejala surjing sering terjadi pada operasi pompa, laju aliran berubah-ubah secara periodik dan pada aliran terjadi fluktuasi tekanan. Gejala ini timbul karena pompa beroperasi dengan *head* yang semakin menurun dan *head* sistem yang naik. Atau, *head* pompa tidak mampu mengatasi *head* dari sistem secara normal. Untuk mencegah surjing harus dipilih pompa dengan *head* yang cukup tinggi, sehingga pada waktu pompa *head* nya menurun tidak sampai terjadi surjing.

### C. Tekanan Berubah-ubah

Gejala tekanan yang berubah-ubah atau berfluktuasi sepanjang aliran banyak terjadi pada pompa sentrifugal, khususnya pada pompa volut. Di dalam pompa ada daerah antara sisi luar impeler dan ujung dari volut (*cut water*), yang apabila setiap kali impeler berputar dan melewati daerah ini, tekanan zat cair akan berdenyut. Denyut yang terus-menerus akan dirasakan sebagai fluktuasi tekanan yang merambat pada zat cair di dalam pipa ke luar. Apabila denyut tekanan zat cair beresonansi dengan kolom air menyebabkan getaran dan bunyi.

Untuk mencegah fluktuasi tekanan antara pompa dan jalur pipa ke luar, pada jalur ke luar pompa dipasang peredam bunyi yaitu kamar ekspansi. Kamar ekspansi akan memotong rambatan gelombang dari fluktuasi tekanan sehingga tidak sampai beresonansi dengan kolom air.



Gambar 7.1 Fluktuasi tekanan pada pompa volut

### Rangkuman

1. Gangguan-gangguan yang sering terjadi adalah benturan air, *surging* dan fluktuasi tekanan.
2. Salah satu cara mencegah bentyran air yaitu memperbesar ukuran pipa.
3. Untuk mecegah surjing harus dipilih pompa dengan *head* yang cukup tinggi, sehingga pada waktu pompa *head* nya menurun tidak sampai terjadi surjing.

4. Untuk mencegah dari fluktuasi tekanan antara pompa dan jalur pipa keluar, pada jalur keluar pompa dipasang peredam bunyi yaitu kamar ekspansi.

Soal.

1. Sebutkan macam-macam gangguan pada pompa dan kerusakan apa yang terjadi apabila gangguan-gangguan tersebut tidak segera diperbaiki.
2. Sebutkan cara-cara mengatasi gangguan tersebut !
3. Jelaskan tentang Cut Water, apa pengaruhnya terhadap operasi pompa !

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Ackermann, T., 2005, *Wind Power in Power Sistem*, England, John Wiley and Sons Ltd.
- Anonamius, 1992. *Doe Fundamental Handbook of Thermodinamic*.
- Cengel, Y.A., 2005. *Thermodynamics An Engineering Approach*. Edisi 5 .McGraw Hill.New York.
- Dietzel, F., 1993. *Turbin, Pompa dan Kompresor* , Jakarta Erlangga.
- Doland, J.J.,1984. *Hydro Power Engineering*. New York. The Ronald Press Company.
- El-Mallahawy, F., 2000, *Fundamentals and Technology of Combustion*, McGraw Hill.
- Heat Transfer and Fluid Flow*, U.S. Departement of Energy, Washington D.C
- Mathur, M.L. dan Sharma, R.P., 1980, *A course in Internal Combustion Engine*, Edisi 3, Delhi India, Hanpat Rai and Sons, Nai Sarak
- Sayig, A.A.M, 1997, "Renewable Energi", Journal of the World Renewable Energi, UK
- Shlyakin, P., 1999. *Teori dan Perancangan Steam Turbines*. Jakarta Erlangga.
- Silalahi, Bernnet NB. 1995. *Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT Pustaka Binaman Pressindo
- Sularso dan Tahara, H., 2000. *Pompa dan Kompresor*. Jakarta Pradnya Paramita.
- Dinas Tenaga Kerja dan Transmigrasi Provinsi Jawa Tengah. 2007. *Bimbingan Teknis Calon Ahli K3*
- Sumakmur PK. 1996. *Keselamatan Kerja & Pencegahan Kecelakaan*. Jakarta: PT. Gunung Agung
- , 1996. *Higene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Jakarta: PT. Gunung Agung

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Profil tegangan dan regangan .....	1
Gambar 1.2 Profil tegangan dan regangan .....	2
Gambar 1.3 Radius kurva.....	3
Gambar 1.4 Torsi pada batang pejal .....	4
Gambar 1.5 Torsi pada batang berlubang.....	4
Gambar 1.6 Rem Cakram.....	5
Gambar 1.7 Rem Tromol.....	5
Gambar 1.8 Roda gigi metrik.....	5
Gambar 1.9 Roda gigi spurs.....	6
Gambar 1.10 Roda gigi helik .....	6
Gambar 1.11 Roda gigi dobel helik .....	6
Gambar 1. 12 Roda gigi Bevel.....	7
Gambar 1.13 Roda gigi cacing .....	7
Gambar 1.14 Klasifikasi Bantalan.....	8
Gambar 1.15 Klasifikasi Pegas.....	9
Gambar 1.16 Macam-macam Poros.....	0
Gambar 1.17 Poros dengan penggunaannya .....	11
Gambar 1.18 Kontruksi dasar dari pemasangan transmisi.....	12
Gambar 1.19 Instalasi kompresor dengan dan tanpa transmisi .....	12
Gambar 1.20 Model transmisi roda gigi.....	13
Gambar 1.21 Tramisi rantai .....	13
Gambar 1.22 Macam-macam sabuk .....	14
Gambar 1.23 Furnace dengan pemanas listrik.....	14
Gambar 1.24 Blok mesin dari besi cor.....	15
Gambar 1.25 Amplitudo getaran besi cor dan baja .....	15
Gambar 2.1 Tanur tinggi .....	19
Gambar 2.3 Penuangan besi cor.....	20
Gambar 2.4 Cetakan pasir dan hasil dari pengecoran .....	20

Gambar2.5 Hasil proses pembentukan.....	21
Gambar 2.6 Alat yang dipakai dalam kerja bangku.....	21
Gambar 2. 7 Mesin bor duduk.....	22
Gambar 2.8 Mesin gergaji .....	23
Gambar 2.9 Mesin potong.....	23
Gambar 2.10 Mesin bubut dengan pirantinya .....	24
Gambar 2.11 Proses pembubutan .....	25
Gambar 2.12 Macam-macam Pahat .....	25
Gambar 2. 13 mesin CNC fris vertikal.....	26
Gambar 2.14 Pahat untuk mesin fris.....	26
Gambar 2.15 Mesin bubut CNC .....	27
Gambar 2.16 Grafik proses keadaan termodinamik.....	28
Gambar 2.19 Energi atau kerja pada piston.....	31
Gambar 2.20 Energi mekanik poros turbin gas.....	32
Gambar 2.21 Perubahan energi pada motor bakar.....	33
Gambar 2.22 Konversi energi pada turbin ( uap, gas,air) .....	34
Gambar 2.23 Konversi energi pada pompa atau kompresor .....	34
Gambar 2.24 Pompa sebagai mesin Konversi energi .....	35
Gambar 2.25 Tranfer energi panas dari tungku ke air di panci .....	35
Gambar 2.26 Energi mekanik pergeseran translasi (linier) .....	36
Gambar 2.27 Energi mekanik pergeseran rotasi ( angular) .....	36
Ganbar 2.28 Mesin-mesin konversi energi dengan kerja poros.....	37
Gambar 2.29 Dinamika perubahan energi pada suatu benda kerja.....	38
Gambar 2.30 Proses perubahan energi pada sistem terbuka.....	39
Gambar 2.31 Proses perubahan energi pada sistem tertutup .....	39
Gambar 2.32 Konversi energi pada turbin .....	40
Gambar 2.33 Konversi pada pompa .....	41
Gambar 2.34 Skema sederhana dari hukum termodinamika II.....	42
Gambar 2.35 Diagram $p$ - $V$ proses volume konstan .....	43

Gambar 2.36 Diagram <i>p-v</i> proses tekanan konstan .....	44
Gambar 2.37 Diagram <i>p-v</i> proses temperatur konstan .....	44
Gambar 2.38 Diagram <i>p-v</i> proses adiabatik .....	45
Gambar 2.39 Diagram <i>p-v</i> proses politropik .....	45
Gambar 2.40 Hubungan tekanan pengukuran, tekanan absolute, dan tekanan atmosfer.....	47
Gambar 2.41 Hubungan ketinggian dengan tekanan .....	48
Gambar 2.42 Gerak fluida pada fluida yang diam .....	49
Gambar 2.43 Perubahan energi pada penampang pipa .....	50
Gambar 2.44 Profil aliran fluida .....	51
Gambar 2.45 Penambahan energi pompa ke aliran.....	53
Gambar 2.46 Profil saluran fluida E.6 Kondisi aliran fluida cair.....	53
Gambar 2.47 Pola aliran Laminar dan turbulen.....	54
Gambar 2.48 Perpindahan kalor konduksi pada sebuah plat.....	55
Gambar 2.49 Proses penguapan dan pelepasan panas .....	56
Gambar 2.50 Proses perpindahan kalor radiasi pada jendela rumah .....	56
Gambar 2.51 Proses pengolahan minyak bumi.....	60
Gambar 2.52 Proses destilasi bahan-bakar cair.....	61
Gambar 2.53 Mesin uji nilai oktan CFR .....	63
Gambar 3.1.Berbagai macam alat pelindung diri .....	69
Gambar 3.2 Segitiga Api ( <i>Triangle of Fire</i> ) .....	72
Gambar 4.1 Meja gambar.....	77
Gambar 4.2 Cara menempel kertas pada meja gambar .....	78
Gambar 4.3 Bentuk pensil .....	78
Gambar 4.4 Pena Rapido .....	79
Gambar 4.5 Satu set pengarís .....	80
Gambar 4.6 Jangka .....	80
Gambar 4.7 Pelindung penghapus .....	81

Gambar 4.8 Mal lengkung .....	81
Gambar 4.9 Hasil mal lengkung .....	81
Gambar 4.10 Gambar proyeksi amerika .....	82
Gambar 4.11 Gambar Isometris Komponen .....	82
Gambar 4.12 Kop Gambar dengan bingkainya.....	83
Gambar 4.13 Proyeksi.....	83
Gambar 4.14 Proyeksi aksonometri dan ortogonal .....	84
Gambar 4.15 Isometri.....	84
Gambar 4.16 Dimetri .....	85
Gambar 4.17 Trimetri .....	85
Gambar 4.18 sumbu isometri .....	86
Gambar 4.19 Proyeksi isometri .....	86
Gambar 4.20 Proyeksi miring .....	87
Gambar 4.21 Proyeksi Isometri dan Proyeksi miring .....	87
Gambar 4.22 cara pandang gambar prespektif.....	88
Gambar 4.23 titik hilang prespektif.....	88
Gambar 4.24 Pandangan Ortogonal .....	89
Gambar 4.25 penyajian gambar poros .....	90
Gambar 4.26 Ukuran beserta toleransinya .....	91
Gambar 4.27 penyajian ulir lengkap.....	92
Gambar 4. 28 Penyajian gambar ulir.....	92
Gambar 4.29 Keterangan Gambar Ulir .....	93
Gambar 4.30 lambang penggerjaan.....	93
Gambar 4.31 Gambar AutoCad .....	96
Gambar 5.1 Instalasi Pompa.....	97
Gambar 5.2 Instalasi pompa rumah tangga .....	98
Gambar 5.3 Proses pemompaan .....	98
Gambar 5.4 Perubahan energi zat cair pada pompa .....	99
Gambar 5.5 Klasifikasi pompa berdasar bentuk impeler.....	100
Gambar 5.6 Klasifiaksi pompa berdasar rumah pompa .....	100
Gambar 5.7 Klasifikasi pompa berdasarkan jumlah aliran masuk .	101

Gambar 5.8 Pompa satu tingkat.....	101
Gambar 5.9 Pompa banyak tingkat ( <i>multistage</i> ) .....	102
Gambar 5.10 Pompa horizontal.....	102
Gambar 5.11 Pompa vertikal .....	103
Gambar 5.12 Pompa sumuran kering dan basah.....	103
Gambar 5.13 Konstruksi pompa .....	104
Gambar 5.14 Konstruksi pompa khusus.....	105
Gambar 5.15 Pompa sembur ( <i>jet pump</i> ) .....	106
Gambar 5.16 Pompa viscous .....	108
Gambar 5.17 <i>Cut Water</i> .....	109
Gambar 5.18 Volut tunggal dan ganda.....	109
Gambar 5.19 Pompa Chopper.....	110
Gambar 5.20 Pompa <i>reccesed impeller</i> .....	110
Gambar 5.21 Pompa lumpur ( <i>slurry</i> ) .....	111
Gambar 5.22 Pompa volut LFH .....	112
Gambar 6.1 Ukuran-ukuran dasar pompa .....	113
Gambar 6.2 Harga $n_s$ dengan bentuk impeler dan jenis pompa ....	114
Gambar 6.3 Grafik karakteristik pompa dengan $n_s$ kecil.....	115
Gambar 6.4 Grafik karakteristik pompa dengan $n_s$ sedang .....	116
Gambar 6.5 Grafik karakteristik pompa dengan $n_s$ besar.....	116
Gambar 6.6 Head statis total .....	118
Gambar 6.7 Head statis total $p_1 = p_2 = 1$ atmosfer (tandon terbuka)	118
Gambar 6.8 Head statis hisap [A] pompa di bawah tandon,	
[b] pompa di atas tandon .....	119
Gambar 6.9 Head statis buang [A] ujung terbenam, [b]	
ujung mengambang .....	119
Gambar 6.10 Head kecepatan.....	120
Gambar 6.11 Koefesien kavitasi.....	126
Gambar 6.12 Pompa dan penggerak mula motor listrik .....	131
Gambar 6.13 Grafik kerja berguna .....	133

Gambar 6.14 Proses kavitasி .....	136
Gambar 6.15 Proses kavitasὶ .....	136
Gambar 6.16 Abrasi pada impeler .....	136
Gambar 6.17 Kerusakan impeler karena kavitasὶ .....	137
Gambar 6.18 Pompa tegak dengan penggerak motor listrik.....	138
Gambar 6.19 Pompa dengan penggerak motor listrik.....	138
Gambar 6.20 Pompa <i>portable</i> dengan penggerak motor bakar.....	139
Gambar 6.21 Pompa <i>portable</i> dengan penggerak motor bakar.....	139
Gambar 6.22 Penggunaan transmisi <i>belt</i> .....	140
Gambar 6.23 Instalasi pompa dengan sumber energi angin .....	140
Gambar 6.24 Pompa dengan penggerak mula turbin angin .....	141
Gambar 6.25 Grafik kurva head kapasitas.....	143
Gambar 6.26 Kurva head pompa dengan variasi head statis .....	143
Gambar 6.27 Kurva head pompa dengan kenaikan tahanan.....	144
Gambar 6.28 Grafik head kapasitas dengan variasi operasi pompa	144
Gambar 6.29 Grafik head kapasitas pompa axial .....	145
Gambar 6.30 Berbagai macam katup .....	147
Gambar 6.31 Kurva head kapasitas dengan pengaturan katup ..	147
Gambar 6.32 Kurva head kapasitas dengan pengaturan putaran ..	148
Gambar 6.33 Kurva head kapasitas dengan pengaturan sudut impeler.....	149
Gambar 6.34 Kurva head kapasitas dengan pengaturan jumlah pompa .....	149
Gambar 6.35. Pengaturan kapasitas dengan reservoir atau tandon	150
Gambar 6.36 Pengaturan kapasitas dengan tangki tekan .....	151
 Gambar 7.1 Fluktuasi tekanan pada pompa volut.....	157
 Gambar 8.1 Pompa perpindahan positif gerak bolak-balik .....	160
Gambar 8.2 Pompa perpindahan positif gerak putar ( <i>rotary</i> ).....	161
Gambar 8.3 Pompa perpindahan positif gerak putar ( <i>rotary</i> ).....	161

Gambar 8.4 Pompa plunger tekanan tinggi .....	163
Gambar 8.5 Pompa plunger tekanan tinggi .....	164
Gambar 8.6 Kapasitas aliran pada pompa torak .....	164
Gambar 8.7 Macam-macam katup .....	165
Gambar 8.8 Cara kerja pompa torak .....	166
Gambar 8.9 Pompa torak .....	167
Gambar 8.10 Cara kerja pompa diagfragma penggerak mekanik..	168
Gambar 8.11 Pompa diagfragma penggerak hidrolik .....	169
Gambar 8.12 Pompa diagfragma penggerak pegas mekanik ..	170
Gambar 8.13 Pompa roda gigi internal eksternal .....	171
Gambar 8.14 Pompa lobe .....	172
Gambar 8.15 Pompa lobe dengan 3 buah lobe .....	173
Gambar 8.16 Pompa ulir dengan 3 buah ulir.....	173
Gambar 8.17 Proses penekanan zat cait pada pompa 2 buah ulir.	175
Gambar 8.18 Pompa ulir dengan 2 buah ulir .....	174
Gambar 8.19 Pompa ulir tunggal <i>( progresive cavity singgle skrup pump)</i> .....	175
Gambar 8.20 Pompa vane ( <i>sliding vane rotary pump</i> ) .....	175
Gambar 8.21 Pompa vane dengan 5 buah vane .....	175
Gambar 8.22 <i>Flexible tube pump</i> .....	176
Gambar 8.23 <i>Radial plunger dan axial plunger rotary pump</i> .....	177
Gambar 8.24 <i>Circumferential piston rotary pump</i> .....	177
Gambar 9.1 Pompa ban .....	180
Gambar 9.2 Kompresor udara penggerak motor bakar .....	181
Gambar 9.3 Proses kerja dari kompresor torak kerja tunggal .....	182
Gambar 9.4 Proses kerja dari kompresor torak kerja ganda .....	183
Gambar 9.5 Klasifikasi kompresor .....	184
Gambar 9.6 Kompresor Vane .....	185
Gambar 9.7 Kompresor jenis Root .....	185
Gambar 9.8 Kompresor skrup atau ulir.....	186

Gambar 9.9 Kompresor torak kerja tunggal .....	186
Gambar 9.10 Kompresor torak kerja ganda .....	187
Gambar 9.11 Kompresor centrifugal satu tingkat.....	187
Gambar 9.12 Kompresor banyak tingkat.....	187
Gambar 9.13 Grafik tekanan kapasitas kompresor.....	188
Gambar 9.14 Proses kompresi isotermal .....	190
Gambar 9.16 Perbandingan kerja yang dibutuhkan untuk proses ..	191
kompresi isotermal dan .....	193
Gambar 9.17 Penghematan kerja pengkompresian dengan memasang kompresor dua tingkat .....	193
Gambar 9.18 Grafik $p$ -V Proses kompresi pada kompresor torak .	198
Gambar 9.19 Kompresor dengan penggerak motor lisrik .....	201
Gambar 9.19 Kompresor Roots .....	201
Gambar 9.20 Konstruksi dari pompa vane dan kompresor vane ....	202
Gambar 9.21 Kompresor torak dengan pendingin udara .....	203
Gambar 9.23 Kompresor torak dengan pendingin air .....	203
Gambar 9.24 Konstruksi kompresor torak silinder .....	204
Gambar 9.25 Konstruksi kompresor torak silinder .....	204
Gambar 9.26 Konstruksi katup kompresor jenis cincin .....	205
Gambar 9.27 Konstruksi katup kompresor jenis pita.....	206
Gambar 9.28 Konstruksi katup kompresor jenis kanal.....	206
Gambar 9.29 Konstruksi katup kompresor jenis kepak.....	206
Gambar 9.30 Pengaturan kapasitas kompresor .....	208
Gambar 9.31 Pelumasan paksa pada kompresor .....	209
Gambar 9.32 Pelumasan luar kompresor torak .....	210
Gambar 9.33 Proses pemampatan pada kompresor sekrup .....	211
Gambar 9.34 Proses pemampatan pada kompresor sekrup injeksi minyak .....	213
Gambar 9.35 Kompresor sekrup injeksi minyak.....	214
Gambar 9.36 Kompresor sekrup kecil kompak jenis injeksi minyak	215
Gambar 9.37 Kompresor sudu jenis injeksi minyak .....	216
Gambar 9.38 Kompresor Roots dengan 2 lobe.....	217

Gambar 9.38 Kompresor Roots.....	218
Gambar 9.40 Kompresor tekanan sedang atau blower .....	219
Gambar 9.41 Konstruksi kompresor aksial .....	220
Gambar 9.42 Konstruksi kompresor aksial radial .....	221
Gambar 10.1 Mesin pembakaran dalam .....	197
Gambar 10.2 Mesin pembakaran dalam .....	198
Gambar 10.3 Mesin pembakaran luar .....	199
Gambar 10.4 Mesin Lenoir .....	200
Gambar 10.5 <i>Otto langen engin</i> generasi pertama .....	201
Gambar 10.6 <i>Otto langen engin</i> generasi kedua .....	202
Gambar 10.7 Prinsip kerja mesin dengan konsep Beau de Rochas .....	203
Gambar 10.8 Mesin Otto pertama .....	204
Gambar 10.9 Mesin Otto horizontal.....	204
Gambar 10.10 Dasar kerja dari mesin Disel.....	205
Gambar 10.11 Mesin Disel modern .....	206
Gambar 10.12 Mesin disel 2 langkah .....	206
Gambar 10.14 Proses kerja 2 langkah .....	208
Gambar 10.15 Mesin pembakaran dalam .....	210
Gambar 10.16 Komponen-komponen mesin 4 tak dan 2 tak .....	211
Gambar 10.17 Komponen mesin multi silinder.....	212
Gambar 10.18 Komponen mesin tampak depan dan samping .....	213
Gambar 10.19 Komponen mesin mekanik katup dan torak.....	214
Gambar 11.1 Siklus udara volume konstan.....	246
Gambar 11.2 Siklus Udara Tekanan Konstan .....	247
Gambar 11.3 Mesin otto dan mesin disel .....	248
Gambar 11.4 Siklus gabungan .....	249
Gambar 11.5 Siklus aktual otto.....	250
Gambar 11.6 Siklus aktual disel .....	251
Gambar 11.7 Bagan efisiensi kerja dari motor bakar .....	252

Gambar 11.8 Grafik efisiensi terhadap rasio kompresi mesin otto..	253
Gambar 12.1 Keseimbangan energi pada motor bakar .....	256
Gambar 12.2 Diagram proses konversi energi pada motor bakar ....	257
Gambar 12.3 Properties geometri silinder moto bakar.....	258
Gambar 12.4 Geometri silinder .....	259
Gambar 12.5 Langkah mesin .....	260
Gambar 12.6 Volume langkah dan volume ruang bakar.....	261
Gambar 12.7 Skema pengukuran torsi .....	263
Gambar 12.8 Skema dinamometer .....	263
Gambar 12.9 Mesin uji elektrik.....	266
Gambar 12.10 Mesin uji mekanis.....	267
Gambar 12.11 Diagram indikator mesin uji mekanik.....	268
Gambar 12.12 Diagram indikator mesin uji elektrik.....	269
Gambar 12.13 Kerja indikator otto .....	270
Gambar 12.14 Kerja indikator total.....	271
Gambar 12.15 Supercharger pada motor bakar .....	272
Gambar 12.16 Prinsip turbocharger pada motor bakar .....	273
Gambar 12.17 Instalasi turbocharger pada motor-bakar .....	274
Gambar 12.18 Perubahan diagram indikator dengan supercharging.....	275
Gambar 12.19 Diagram tekanan rata-rata .....	276
Gambar 12.20 Diagram indikator rata-rata.....	277
Gambar 13.1 Mesin dan komponen-komponennya .....	290
Gambar 13.2 Blok silinder model in line .....	290
Gambar 13.3 Blok silinder model V-8.....	291
Gambar 13.4 Model susunan blok silinder .....	291
Gambar 13.5 Bentuk susunan silinder .....	293
Gambar 13.6 Bak engkol.....	294
Gambar 13.7 Kepala silinder.....	295
Gambar 13.8 Model ruang bakar .....	296

Gambar 13.9 Kontruksi torak.....	297
Gambar 13.10 Model torak atau piston .....	298
Gambar 13.11 Ring piston.....	299
Gambar 13.12 Kontruksi dari batang penghubung.....	300
Gambar 13.13 Poros engkol.....	301
Gambar 13.14 Bantalan.....	302
Gambar 14.1 Pelumasan pada bantalan.....	305
Gambar 14.2 Proses pelumasan percikan .....	308
Gambar 14.3 Proses pelumasan paksa dan campur .....	309
Gambar 14.4 Komponen pelumasan dan sirkulasi pelumas .....	310
Gambar 14.5 Komponen-komponen pelumasan pada mesin disel	310
Gambar 14.6 Pompa minyak pelumas jenis roda gigi .....	311
Gambar 14.7 Pompa roda gigi jenis rotor.....	312
Gambar 14.8 Pengatur tekanan minyak .....	312
Gambar 14.9 Peredaran minyak pelumas dan penyaring minyak..	313
Gambar 14.10 Sirkulasi pelumas pada mesin multisilinder .....	314
Gambar 14.11 Proses pendinginan pada mesin .....	315
Gambar 14.12 Sirkulasi pendingin air pada kondisi mesin dingin dan mesin panas .....	316
Gambar 14.13. Model sirkulasi air pendingin .....	317
Gambar 14.14 Radiator .....	318
Gambar 14.15 Termostat.....	320
Gambar 14.16 Pendingin udara.....	321
Gambar 14.17 Pendingin udara paksa .....	321
Gambar 15.1 Mesin uap Hero	322
Gambar 15.2 Azas impuls pada plat datar dan sudu.....	324
Gambar 15.3 Sudu sudu impuls pada rotor turbin uap.....	325
Gambar 15.4 Mesin uap Branca dengan turbin impuls .....	326
Gambar 15.5 Mesin uap Newton gaya aksi rekasi .....	326

Gambar 15.6 Gaya aksi reaksi pada balon .....	327
Gambar 15.7 Segitiga kecepatan pada sudut turbin impuls.....	327
Gambar 15.8 Proses ekspansi pada nosel .....	328
Gambar 15.9 Fungsi nosel .....	329
Gambar 15.10 Segitiga kecepatan sudut bergerak turbin reaksi .....	330
Gambar 15.11 Bentuk sudut tetap turbin impuls .....	331
Gambar 15.12 Turbin uap impuls satu tahap .....	331
Gambar 15.13 Susunan turbin uap Curtiss .....	333
Gambar 15.14 Segitiga kecepatan turbin uap Curtiss.....	334
Gambar 15.15 Segitiga kecepatan turbin uap Rateau .....	335
Gambar 15.16 Susunan turbin uap Rateau.....	336
Gambar 15.17 Susunan turbin uap Rateau.....	337
Gambar 15.18 Susunan turbin uap Rateau.....	338
Gambar 16.1 Mesin pembakaran dalam ( turbin gas dan motor bakar).....	340
Gambar 16.2 Perbandingan turbin gas dan mesin disel .....	341
Gambar 16.3 Pesawat terbang pendahulu dengan turbin gas .....	343
Gambar 16.4 Perkembangan turbin gas menjadi mesin modern....	343
Gambar 16.5 Turbin gas pesawat terbang .....	344
Gambar 16.6 Turbin gas untuk industri ( pembangkit listrik).....	345
Gambar 16.7 Ruang bakar dan proses pembakaran turbin gas .....	347
Gambar 17.1 Diagram $p-v$ dan $T-s$ .....	351
Gambar 17.2 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka langsung .....	352
Gambar 17.3 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung.....	355
Gambar 17.4 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung.....	355
Gambar 17.5 Bagan kerja turbin gas sistem tertutup langsung .....	357

Gambar 17.6 Bagan kerja turbin gas sistem tertutup tak langsung .....	338
Gambar 17.7 Turbin gas industri dengan dua poros dan dua turbin.....	339
Gambar 17.10 Bagan kerja turbin gas sistem terbuka tak langsung .....	
dengan pemasangan pemanas awal atau <i>REGENERATOR</i> .....	346
Gambar 17.11 Diagram <i>t-s</i> turbin gas dengan regenerator.....	346
Gambar 17.12 Diagram <i>t-s</i> turbin gas sistem tertutup dengan regenerator.....	347
Gambar 17.13 Diagram <i>t-s</i> turbin gas sistem terbuka dengan regenerator.....	348
Gambar 17.14 Diagram <i>p-v</i> kompresor bertingkat dengan <i>intercooler</i> .....	350
Gambar 17.15 Bagan dan diagram <i>p-v</i> turbin gas dengan <i>intercooler</i> , <i>regenerator</i> dan <i>reheater</i> .....	351
Gambar 20.1 Turbin gas dan komponen-komponennya .....	352
Gambar 20.2 Turbin gas dan komponen-komponennya .....	353
Gambar 20.3 Turbin gas mini dan komponen-komponennya.....	354
Gambar 20.4 Pusat pembangkit tenaga gabungan .....	355
Gambar 20.5 Rotor Turbi gas .....	356
Gambar 20.6 Ruang bakar turbin gas .....	357
Gambar 20.7 Ruang bakar turbin gas .....	357
Gambar 20.8 Ruang bakar turbin gas pesawat terbang.....	358
Gambar 20.9 Ruang bakar turbin gas pindustri.....	359
Gambar 20.10 Kompresor tubin axial .....	360
Gambar 20.11 Kompresor radial dengan diffuser.....	360
Gambar 20.12 Bentuk dari sudu jalan turbin .....	360
Gambar 20.13 Turbin gas skala industri .....	363

Gambar 21.1 Instalasi sistem pembangkit uap .....	365
Gambar 21.2 Bagan siklus Rankin	
Gambar 21.3 Bagan siklus Rankin.....	366
Gambar 21.4 Diagram siklus aktual Rankine .....	367
Gambar 21.5 Proses ireversibeliti pada pompa dan turbin .....	368
Gambar 21.6 a. sirkulasi alamiah.....	369
Gambar 21.6 b. sirkulasi paksa	369
Gambar 21.7 Boiler pipa api ( <i>fire tube boiler</i> ) .....	370
Gambar 21.8 Boiler pipa api ( <i>fire tube boiler</i> ) 2 pass.....	371
Gambar 21.9 Boiler pipa api ( <i>fire tube boiler</i> ) 2 pass.....	371
Gambar 21.10 Boiler pipa air model horizontal .....	372
Gambar 21.11 Boiler pipa air model vertikal .....	372
Gambar 21.12 Bentuk sudu-sudu turbin uap .....	373
Gambar 21.13 Model susunan sudu sudu pada TU.....	373
Gambar 21.14 Turbin uap dan profil sudu sudu dengan segitiga kecepatan.....	374
Gambar 21.16 Kondensor dengan pendingin udara .....	376
Gambar 21.17 Kondensor dengan pendingin air .....	376
Gambar 21.22. Vaporising burner .....	380
Gambar 21.23. Pressure jet burner.....	381
Gambar 21.24 Twin fluid atomizer burner.....	381
Gambar 21.26 Aerated burner. ....	382
Gambar 21.25 Non aerated burner	382
Gambar 21.27 Pulvizer fuel burner .....	384
Gambar 21.28.Underfeed stoker.....	384
Gambar 21.29 Fixed grate burner.....	385
Gambar 21.31.Fluidized bed stoker.....	386
Gambar 22.1 Waduk sebagai sumber energi potensial air .....	387
Gambar 22.2 Instalasi Turbin air pada aliran sungai.....	388

Gambar 22.3 Instalasi pembangkit listrik tenaga air ( <i>Micro Hydro</i> )	388
Gambar 22.4 Roda air kuno .....	390
Gambar 22.5 Turbin Fourneyron .....	390
Gambar 22.6 Turbin Fourneyron .....	391
Gambar 22.7 Tipe turbin air yang paling populer .....	392
Gambar 22.8 Tingkat head sumber air .....	393
Gambar 22.10 Perubahan energi pada instalasi turbin air .....	396
Gambar 22.12 Prinsip impuls dan reaksi pada roda jalan pelton dan francis .....	399
Gambar 22.11 Prinsip impuls dan reaksi.....	398
Gambar 22.13 instalasi PLTA dengan turbin air jenis pelton 6 nosel .....	402
Gambar 23.1 Kincir air.....	405
Gambar 23.2 Turbin impuls dan proses penyemprotan .....	406
Gambar 23.3 Roda jalan turbin pelton.....	407
Gambar 23.4 Instalasi Turbin Pelton poros horizontal.....	407
Gambar 23.5 Instalasi turbin pelton poros vertikal .....	409
Gambar 23.6 Pengaturan nosel pada turbin pelton.....	409
Gambar 23.7 Konstruksi dari turbin impuls ossberger.....	410
Gambar 23.9 Aliran air masuk turbin Francis .....	412
Gambar 23.10 Instalasi turbin francis .....	412
Gambar 23.11 Turbin kaplan dengan sudu jalan yang dapat diatur	413
Gambar 23.12 Instalasi pembangkit dengan turbin kaplan .....	414
Gambar 24.1 Refrigerator.....	418
Gambar 24.2 Instalasi penyegar udara rumah .....	422
Gambar 24.3 Beban pendinginan.....	425
Gambar 24.4 Beban pemanasan.....	426
Gambar 25.1 Prinsip dasar dari mesin pendingin dan pemanas....	429
Gambar 25.2 Daur refrigerasi carnot .....	430

Gambar 25.3 Diagram t-s daur refrigerasi carnot	
Gambar 25.5 Diagram t-s siklus kompresi uap .....	433
Gambar 25.6 Diagram p-h daur kompresi uap.....	433
Gambar 25.7 Daur kompresi uap aktual .....	434
Gambar 25. 4 Daur refrigerasi kompresi uap .....	432
Gambar 25.8 Bagan mesin <i>Air Conditioner</i> .....	436
Gambar 25.9 Aliran refrigeran didalam saluran pipa.....	437
Gambar 25.10 Mesin pendingin sekaligus pemanas .....	441
Gambar 25.11 Skema refrigerasi absorpsi.....	442

ISBN 978-979-060-085-0  
ISBN 978-979-060-086-7

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 15.906,00