



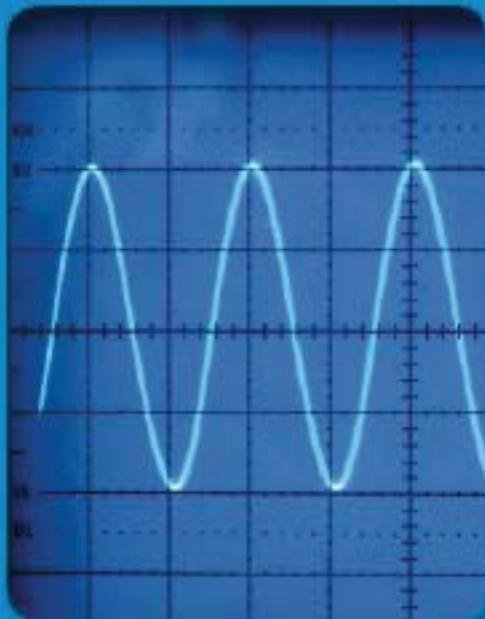
Aslimeri, dkk.



# Teknik Transmisi Tenaga Listrik

## JILID 2

untuk SMK



untuk Sekolah Menengah Kejuruan



Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah

Departemen Pendidikan Nasional

Aslimeri, dkk.

# TEKNIK TRANSMISI TENAGA LISTRIK

JILID 2

**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 TRANSMISI TENAGA LISTRIK

JILID 2

Untuk SMK

Penulis : Aslimeri  
Ganefri  
Zaedel Hamdi

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 18,2 x 25,7 cm

ASL ASLIMERI  
t Teknik Transmisi Tenaga Listrik Jilid 2 untuk SMK /oleh  
Aslimeri, Ganefri, Zaenal Hamdi ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan  
Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen  
Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan  
Nasional, 2008.  
ix, 162 hlm  
Daftar Pustaka : Lampiran. A  
ISBN : 978-979-060-159-8  
ISBN : 978-979-060-161-1

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, pada tahun 2008, telah melaksanakan penulisan pembelian hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui *website* bagi siswa SMK.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 12 tahun 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 di seluruh Indonesia.

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional tersebut, 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 ditayangkannya *soft copy* ini akan lebih memudahkan bagi masyarakat untuk mengaksesnya sehingga peserta didik dan pendidik di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Selanjutnya, 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,  
Direktur Pembinaan SMK

## **Kata Pengantar**

Akhir-akhir ini sudah banyak usaha penulisan dan pengadaan buku-buku teknik dalam Bahasa Indonesia. Namun untuk Teknik Elektro, hal ini masih saja dirasakan keterbatasan-keterbatasan terutama dalam mengungkapkan topik atau materi yang betul-betul sesuai dengan kompetensi dalam bidang Transmisi Tenaga Listrik untuk Sekolah Menengah Kejuruan. Hal inilah yang mendorong penulis untuk menyusun buku ini agar dapat membantu siapa saja yang berminat untuk memperdalam ilmu tentang Transmisi Tenaga Listrik.

Dalam buku ini dibahas tentang : pemeliharaan sistem DC, pengukuran listrik, transformator, gandu induk ,saluran udara tegangan tinggi, konstruksi kabel tenaga dan pemeliharaan kabel tenaga .

Penulis menyadari masih banyak kekurangan- kekurangan baik dalam materi maupun sistematika penulisan, untuk itu saran-saran dan kritik yang membangun guna memperbaiki buku ini akan diterima dengan senang hati.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada Direktur Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Depertemen Pendidikan Nasional yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menulis buku ini dan Drs.Sudaryono, MT yang telah bersedia menjadi editor buku ini. Juga penulis megucapkan terima kasih kepada Maneger PLN (persero) Udiklat Bogor yang telah banyak membantu penulis dalam menyediakan bahan untuk penulisan buku ini .

Harapan penulis semoga buku ini ada mamfaatnya untuk meningkatkan kecerdasan bangsa terutama dalam bidang teknik elektro .

Penulis

## Daftar Isi

Kata Pengantar .....	i
Daftar isi .....	ii
Diagram Pencapaian Kompetensi .....	ix

JILID 1	
<b>BAB. I. PEMELIHARAAN DC POWER</b> .....	<b>1</b>
1.1. Hukum Ohm .....	1
1.2. Hukum Kirchoff .....	3
1.3. Daya Dalam Rangkaian DC .....	6
1.3.1. Prinsip Dasar Rangkaian DC .....	7
1.3.2. Hubungan Antara Arus Tegangan dan Tahanan .....	8
1.4. Komponen Semikonduktor .....	15
1.5. Sistem DC Power .....	20
1.6. Charger (Rectifier) .....	25
1.6.1. Jenis Charger .....	25
1.6.2. Prinsip Kerja Charger .....	26
1.6.3. Bagian-Bagian Charger .....	27
1.7. Automatic Voltage Regulator .....	29
1.7.1. Komponen Pengantar Setting Tegangan .....	30
1.7.2. Komponen Pengantar Setting Floating .....	31
1.7.3. Komponen Pengantar Setting Equalizing .....	31
1.7.4. Komponen Pengantar Setting Arus .....	31
1.8. Rangkaian voltage Dropper .....	33
1.9. Rangkaian Proteksi Tegangan Surja Hubung .....	34
1.10. Pengertian baterai .....	37
1.10.1. Prinsip kerja baterai .....	37
1.10.2. Prinsip kerja baterai asam-timah .....	38
1.10.3. Poses pengisian baterai .....	38
1.10.4. Prinsip kerja baterai alkali .....	39
1.11. Jenis-jenis Baterai .....	39
1.12. Bagian-bagian Utama Baterai .....	46
1.13. Instalasi Sel Baterai .....	48
1.14. Pemeliharaan Ruang Baterai .....	52
1.15. Pengertian pemeliharaan DC power .....	54
1.15.1. Tujuan Pemeliharaan .....	54
1.15.2. Jenis Pemeliharaan .....	54
1.15.3. Pelaksanaan Pemeliharaan .....	55
1.15.4. Kegiatan Pemeliharaan .....	56
1.15.5. Pemeliharaan Charger .....	58
1.15.6. Pengukuran Arus Output Maksimum .....	61
1.16. Jadwal dan Chek list Pemeliharaan Charger .....	63
1.16.1. Pemeliharaan Baterai .....	63
1.16.2. Cara pelaksanaan pengukuran tegangan .....	64
1.16.3. Pengukuran Berat Jenis Elektrolit .....	65

1.16.4. Pengukuran Suhu Elektrolit .....	68
1.16.5. Jadwal pemeliharaan periodik baterai .....	70
1.17. Pengujian dan shooting pada DC Power.....	73
1.17.1. Pengujian Indikator Charger .....	73
1.17.2. Pengujian Kapasitas Baterai .....	75
1.17.3. Pengujian kadar Potassium Carbonate ( K <sub>2</sub> C0 <sub>3</sub> ) .....	81
1.18. Trouble shooting .....	90
1.18.1. Kinerja Baterai .....	91
1.19. Keselamatan kerja .....	95
<b>BAB. II. PENGKURAN LISTRIK .....</b>	<b>97</b>
2.1. Pengertian Pengukuran .....	97
2.2. Besaran Satuan dan dimensi .....	98
2.3. Karakteristik dan Klasifikasi Alat Ukur .....	101
2.4. Frekuensi Meter .....	109
2.5. Kwh Meter .....	111
2.6. Megger .....	111
2.7. Fase Squensi .....	112
2.8. Pengukuran Besaran Listrik .....	114
2.9. Prinsip kerja Kumparan Putar .....	116
2.10. Sistem Induksi .....	117
2.11. Sistem Elektro Dinamis .....	118
2.12. Sistem Kawat Panas .....	120
2.13. Alat Ukur Elektronik .....	120
2.14. Alat Ukur dengan Menggunakan Transformator .....	121
2.15. Macam-macam alat ukur untuk keperluan pemeliharaan.....	123
2.15.1.Meter Tahanan Isolasi .....	123
2.15.2.Meter Tahanan Pentahanan .....	123
2.15.3.Tester Tegangan tinggi .....	125
2.15.4.Tester Tegangan tembus .....	127
<b>BAB. III. TRANSFORMATOR .....</b>	<b>128</b>
3.1. Prinsip induksi .....	128
3.2. Kumparan Transformator .....	130
3.3. Minyak Transformator .....	131
3.4. Bushing .....	132
3.5. Tangki Konservator .....	132
3.6. Peralatan Bantu Pendingin Transformator .....	133
3.7. Tap Changer .....	135
3.8. Alat Pernapasan Transformator .....	135
3.9. Alat Indikator Transformator .....	137
3.10.Peralatan Proteksi Internal .....	137
3.11.Peralatan Tambahan Untuk Pengaman Transformator .....	142
3.12.Rele Proteksi Transformator dan Fungsinya .....	144
3.13.Announciator Sistem Instalasi Tegangan Tinggi .....	150
3.13.Parameter/Pengukuran Transformator .....	153

## JILID 2

<b>BAB IV. SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI .....</b>	<b>159</b>
4.1. Saluran Udara .....	160
4.2. Saluran Kabel .....	160
4.3. Perlengkapan SUTT/SUTETI .....	161
4.3.1.Tower .....	161
4.3.2.Bagian-bagian tower .....	165
4.4. Konduktor .....	170
4.5. Kawat Tanah .....	172
4.5.1.Bahan Kawat Tanah .....	173
4.5.2.Jumlah dan Posisi Kawat Tanah .....	173
4.5.3.Pentanahan Tower .....	173
4.6. Isolator .....	174
4.6.1.Isolator Piring .....	174
4.6.2.Nilai Isolator .....	178
4.6.3.Jenis Isolator .....	178
4.6.4.Speksifikasi isolator. ....	180
 <b>BAB V. GARDU INDUK .....</b>	 <b>184</b>
5.1. Busbar .....	184
5.1.1. Jenis Isolasi Busbar .....	184
5.1.2. Sistem Busbar (Rel) .....	184
5.1.3. Gardu Induk dengan single busbar .....	185
5.1.4. Gardu Induk dengan Doble busbar .....	186
5.1.5. Gardu Induk dengan satu setengah / one half busbar .....	186
5.2. Arrester .....	187
5.3. Transformator Instrumen .....	188
5.3.1. Transformator Tegangan .....	188
5.3.2. Transformator Arus .....	190
5.3.3. Transformator Bantu .....	191
5.3.4 Indikator Unjuk kerja Transformator Ukur .....	192
5.4. Pemisah (PMS) .....	194
5.4.1. Pemisah Engsel .....	195
5.4.2. Pemisah Putar .....	195
5.4.3. Pemisah Siku .....	195
5.4.4. Pemisah Luncur .....	196
5.5. Pemutus tenaga listrik (PMT) .....	199
5.5.1. Jenis Isolasi Pemutus Tenaga .....	199
5.5.2. PMT dengan Media pemutus menggunakan udara .....	201
5.5.3. PMT dengan Hampa Udara .....	204
5.5.4. PMT dengan Media pemutus menggunakan Minyak.....	206
5.5.5. PMT dengan Sedikit Minyak .....	207
5.6. Jenis Penggerak Pemutus Tenaga .....	209
5.6.1. Mekanik Jenis Spering .....	209
5.6.2. Mekanik Jenis Hidrolik .....	212

5.6.3. Penutupan PMT .....	216
5.6.4. Pembukaan PMT .....	216
5.7. Kompesator .....	220
5.7.1. Kompensator shunt .....	221
5.7.2. Kompensator reaktor shunt .....	222
5.8. Peralatan SCADA dan Telekomunikasi.....	223
5.8.1. Prinsip Dasar PLC .....	223
5.8.2. Peralatan Kopling .....	224
5.8.3. Kapasitor Kopling .....	225
5.8.4. Wave trap .....	226
5.8.5. Prinsip Kerja Dasar Wave trap .....	227
5.8.6. Line Matching Unit .....	230
5.9 . Peralatan Pengaman .....	231
5.9.1. Lightning Arester .....	232
5.10. Aplikasi PLC .....	233
5.10.1. Komunikasi Suara .....	233
5.10.2. Penggunaan Kanal Suara .....	234
5.10.3. Teleproteksi Protection Signalling .....	234
5.10.4. Ramute Terminal Unit (RTU) Tipe EPC 3200.....	235
5.11. Simbul-simbul yang ada pada Gardu Induk .....	236
5.12. Rele Proteksi dan Annunsiator .....	238
<b>BAB VI. SISTEM PENTANAHAN TITIK NETRAL .....</b>	<b>246</b>
6.1. Sistem Pentanahan Titik Netral .....	246
6.2. Tujuan Pentanahan Titik Netral .....	247
6.2.1. Sistem Yang tidak Ditanahkan .....	247
6.2.2. Metode Pentanahan titik Netral .....	247
6.3. Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi .....	247
6.4. Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan .....	248
6.5. Pentanahan Titik Netral Melalui Kumparan Peterson.....	251
6.6. Tranformator Pentanahan .....	252
6.7. Penerapan Sistem Pentanahan di Indonesia .....	253
6.8. Pentanahan Peralatan .....	254
6.9. Exposur tegangan .....	256
6.10. Pengaruh Busur Tegangan Terhadap Tenaga Listrik.....	258
6.10.1.Pengaruh tahanan Pentanahan Terhadap Sistem .....	258
6.10.2.Macam-macam Elektroda Pentanahan .....	258
6.11. Metode Cara Pentanahan .....	260
6.11.1.Pentanahan dengan Driven Ground. .....	260
6.11.2.Pentanahan Dengan Mesh atau Jala .....	261
6.12. Tahanan Jenis Tanah .....	262
6.13. Pengkuran Tahanan Pentanahan .....	263
<b>BAB VII. KONTRUKSI KABEL TENAGA .....</b>	<b>265</b>
7.1. Kabel Minyak .....	265
7.1.1. Bagian-bagian Kabel Minyak .....	265

7.1.2. Konduktor .....	265
7.1.3. Isolasi Kabel .....	266
7.1.4. Data Kimia .....	267
7.2. Karakteristik Minyak .....	268
7.3. Macam-macam Minyak Kabel .....	270
7.4. Tangki Minyak .....	272
7.5. Perhitungan Sistem Hidrolik .....	278
7.6. Keselamatan Kerja .....	280
7.7. Crossbonding dan Pentanahan .....	290
7.8. Cara Kontruksi Solid bonding .....	292
7.9. Tranposisi dan sambung Silang .....	294
7.10. Alat Pengukur Tekanan .....	299
7.11. Tekanan Pada Kabel Minyak .....	300
7.12. Kabel Tenaga XLPE .....	303
7.13. Kontruksi Kabel Laut .....	307

JILID 3	
<b>BAB VIII. PEMELIHARAAN KABEL TEGANGAN TINGGI .....</b>	310
8.1. Manajemen Pemeliharaan .....	310
8.1.1. Manajemen Pemeliharaan Peralatan .....	310
8.1.2. Perencanaan .....	311
8.1.3. Pengorganisasian .....	312
8.1.4. Penggerakan .....	313
8.1.5. Pengendalian .....	314
8.2. Pengertian dan tujuan Pemeliharaan .....	314
8.3. Jenis-jenis Pemeliharaan .....	315
8.4. Pemeliharaan Yang Dilakukan Terhadap Kabel Laut Tegangan Tinggi .....	318
8.5. Prosedur Pemeliharaan .....	321
8.6. Dekumen Prosedur Pelaksanaan Pekerjaan .....	330
8.7. Pemilihan Instalasi Kabel Tanah Jenis Oil Filled .....	332
8.8. Spare Kabel .....	335
8.9. Termination .....	335
8.10. Tank Chanber Umum .....	337
8.11. Anti Crossbonding Coverting .....	338
8.12. Cara mengukur Tekanan Minyak Dengan Manometer.....	342
8.13. Penggelaran Kabel .....	348
8.14. Regangan maksimum yang diizinkan pada Kabel .....	349
8.15. Perhitungan Daya tarik Horizontal .....	350
8.16. Peralatan Pergelaran kabel .....	353
8.17. Jadwal Pemeliharaan .....	353
8.18. Kebocoran minyak Kabel Tenaga .....	354
8.19. Gangguan kabel pada lapisan pelindung P.E. oversheath....	360
8.19.1.Methoda mencari lokasi gangguan pada lapisan pelindung kabel.....	360
8.19.2.Methoda Murray .....	360

8.20. Memperbaiki Kerusakan Kabel .....	366
8.20.1. Memperbaiki kerusakan lead sheath kabel .....	366
8.20.2. Mengganti Kabel yang rusak .....	367
8.21. Auxiliary Cable .....	370
<b>BAB . IX. PROTEKSI SISTEM PENYALURAN .....</b>	<b>372</b>
9.1. Perangkat Sistem Proteksi .....	373
9.1.1. Elemen Pengindra .....	373
9.1.2 Elemen Pembanding .....	373
9.1.3 Elemen Pengukur .....	373
9.2. Fungsi dan Peralatan Rele Proteksi .....	374
9.2.1. Sensitif. ....	374
9.2.2. Selektif .....	374
9.2.3. Cepat .....	374
9.2.4. Handal.....	375
9.2.5. Ekonomis .....	375
9.2.6. Sederhana .....	375
9.3. Penyebab Terjadinya Kegagalan Proteksi .....	375
9.4. Gangguan pada sistem Penyaluran .....	376
9.4.1. Gangguan Sistem .....	376
9.4.2 Gangguan Non Sistem .....	376
9.5. Proteksi Pengantar .....	376
9.6. Sistem Proteksi SUTET .....	378
9.7. Media Telekomunikasi .....	379
9.8. Relai Jarak .....	379
9.8.1. Prinsip Kerja Relai Jarak .....	379
9.8.2. Pengukuran Impedansi Gangguan Oleh Relai Jarak .....	381
9.8.3 Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa .....	381
9.8.4 Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa .....	381
9.8.5 Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa Ke Tanah.....	382
9.9. Karakteristik Rele Jarak .....	383
9.9.1. Karakteristik Impedansi .....	383
9.9.2. Karakteristik Mho .....	383
9.9.3 Karakteristik Reaktance .....	384
9.9.4 Karakteristik Quadrilateral .....	385
9.10. Pola Proteksi .....	386
9.10.1. Pola Dasar .....	386
9.10.2. Pola PUTT .....	386
9.10.3. Pola Permissive Underreach Transfer Trip .....	387
9.10.4. Pola Blocking .....	387
9.11. Current Differential Relay .....	390
9.12. Proteksi Transformator Tenaga .....	397
9.13. Rele Arus Lebih .....	400
9.14. Proteksi Penyulang 20 KV .....	401
9.15. Disturbance Fault .....	402
9.16. Basic Operation .....	404

9.17. Auto Recloser .....	405
<b>BAB . X. PEMELIHARAAN SUTT/SUTETI BEBAS TEGANGAN..</b>	<b>410</b>
10.1. Tujuan Pemeliharaan .....	410
10.2. Jenis-jensi pemeliharaan .....	410
10.2.1. Pemeliharaan Rutin : .....	410
10.2.2. Pemeriksaan Rutin.....	410
10.2.3. Pemeriksaan Sistematis.....	411
10.2.4. Pemeliharaan Korektif.....	412
10.2.5. Pemeliharaan Darurat.....	412
10.3. Prosedur Pemeliharaan SUTT/SUTET .....	413
10.3.1. Peralatan yang dipelihara .....	413
10.3.2. Peralatan Kerja .....	418
10.3.3. Petunjuk Pemeliharaan Peralatan .....	420
10.3.4. Pelaporan Pekerjan Pemeliharaan .....	421

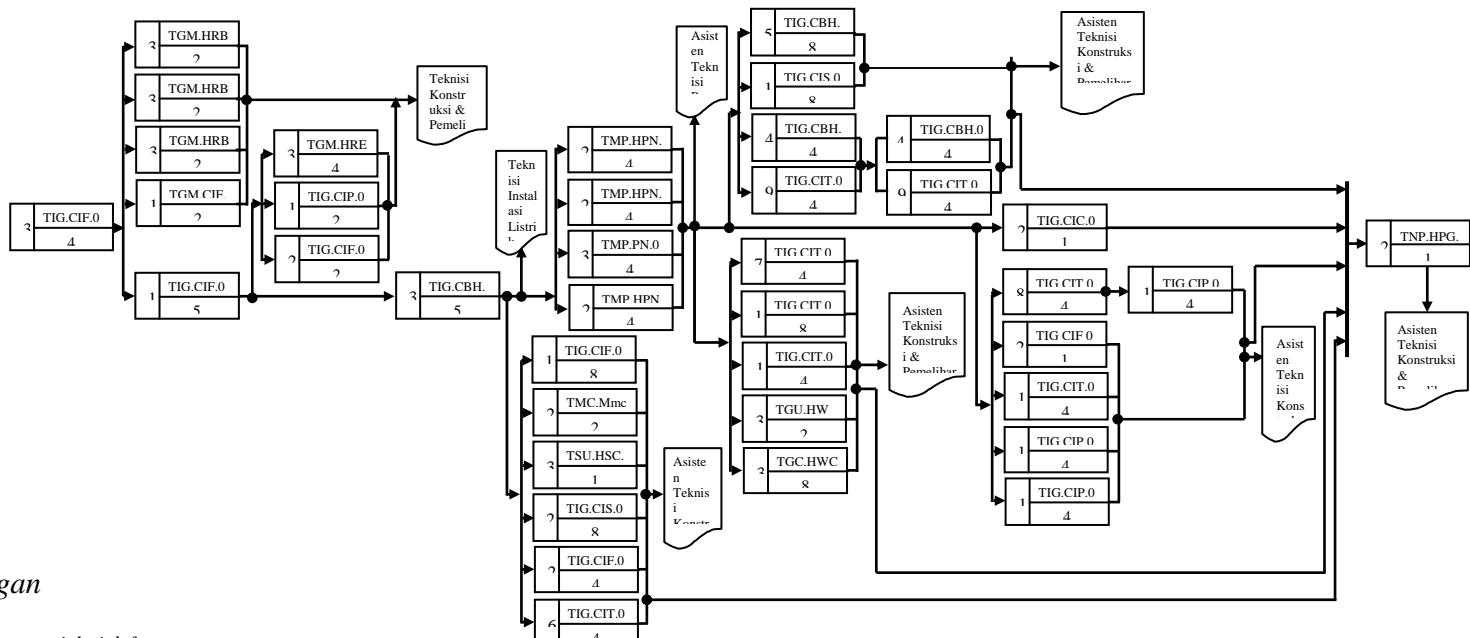
LAMPIRAN :

**Daftar Pustaka . .....**

A

## DIAGRAM PENCAPAIAN KOMPETENSI

menunjukkan tahapan atau tata urutan kompetensi yang diajarkan dan dilatihkan kepada peserta didik dalam kurun waktu yang dibutuhkan serta kemungkinan *multi exit-multi entry* yang dapat diterapkan.



### Keterangan

Nomor Kompetensi dari daftar keseluruhan kompetensi program keahlian teknik transmisi

= Outlet

Nomor Kode
Kompetensi
Jam Pencapaian
Kompetensi

## BAB IV

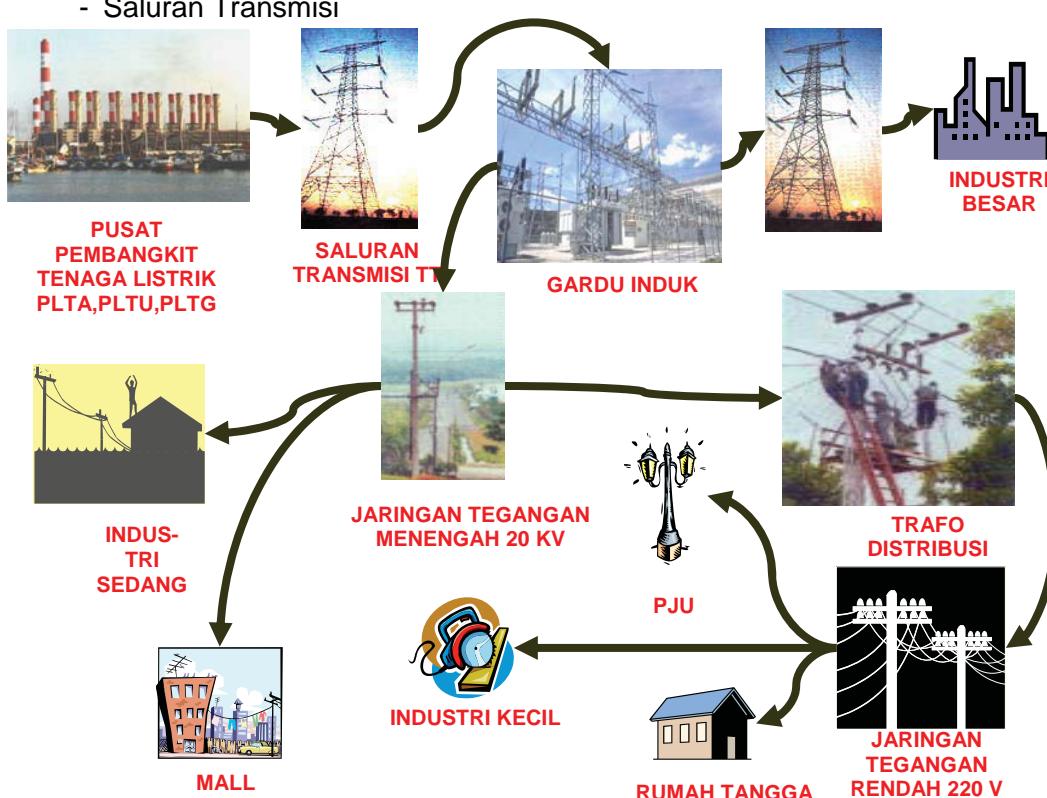
### SALURAN UDARA TEGANGAN TINGGI

Pembangunan Pusat Pembangkit dengan kapasitas produksi energi listrik yang besar: PLTA, PLTU, PLTGU, PLTG, PLTP memerlukan banyak persyaratan, terutama masalah lokasi yang tidak selalu bisa dekat dengan pusat beban seperti kota, kawasan industri dan lainnya. Akibatnya tenaga listrik tersebut harus disalurkan melalui sistem transmisi yaitu :

- Saluran Transmisi

- Gardu Induk
- Saluran Distribusi

Apabila salah satu bagian sistem transmisi mengalami gangguan maka akan berdampak terhadap bagian transmisi yang lainnya, sehingga Saluran transmisi, Gardu induk dan Saluran distribusi merupakan satu kesatuan yang harus dikelola dengan baik seperti gambar 4.1



Gambar 4.1. Sistem Penyaluran Daya Listrik

Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTETI) adalah sarana di udara untuk

menyalurkan tenaga listrik berskala besar dari Pembangkit ke pusat-pusat beban dengan menggunakan

tegangan tinggi maupun tegangan ekstra tinggi.

#### 4.1. Saluran Udara

SUTT/SUTETI merupakan jenis Saluran Transmisi Tenaga Listrik yang banyak digunakan di PLN daerah Jawa dan Bali karena harganya yang lebih murah dibanding jenis lainnya serta pemeliharaannya mudah.

Pembangunan SUTT/SUTETI sudah melalui proses rancang bangun yang aman bagi lingkungan serta sesuai dengan standar keamanan internasional, diantara nya:

- Ketinggian kawat penghantar
- Penampang kawat penghantar
- Daya isolasi
- Medan listrik dan Medan magnet
- Desis corona

Macam Saluran Udara yang ada di Sistem Ketenagalistrikan PLN P3B Jawa Bali seperti gambar 4.2 dan gambar 4.3

- a. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV
- b. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV
- c. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTETI) 500 kV



Gambar 4.2. SUTT 150 kV Sukolilo – Kenjeran



Gambar 4.3. SUTETI 500 kV Suralaya - Cilegon

#### 4.2. Saluran Kabel

Pada daerah tertentu (umumnya perkotaan) yang mempertimbangkan masalah estetika, lingkungan yang sulit mendapatkan ruang bebas, keandalan yang tinggi, serta jaringan antar pulau, dipasang Saluran Kabel.

- a. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 70 kV
  - b. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT) 150 kV
  - c. Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi (SKLTT) 150 kV
- Mengingat bahwa Saluran kabel biaya pembangunannya mahal dan pemeliharaannya sulit, maka jarang digunakan, Kontruksi Kabel dapat dilihat pada gambar 4.4



Gambar 4. 4.Kabel bawah laut

## 2. Saluran Isolasi Gas

Saluran Isolasi Gas (Gas Insulated Line/GIL) adalah Saluran yang diisolasi dengan gas, misalnya: gas SF<sub>6</sub>, seperti gambar 4.5. Karena mahal dan resiko terhadap lingkungan sangat tinggi maka saluran ini jarang digunakan



Gambar 4.5. Saluran Isolasi Gas

## 4. 3. Perlengkapan SUTT/SUTETI dan Fungsinya.

### 4.3.1.Tower:

Tenaga listrik yang disalurkan lewat sistem transmisi umumnya

menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya.

Tower adalah konstruksi bangunan yang kokoh, berfungsi untuk menyangga/merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang cukup agar aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya. Antara tower dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

### Jenis-jenis tower

Menurut bentuk konstruksinya jenis-jenis tower dibagi atas macam 4 yaitu;

- Lattice tower
- Tubular steel pole
- Concrete pole
- Wooden pole

Konstruksi tower dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4. 6. Lattice Tower



Gambar 4.7 Steel Pole

Konstruksi tower merupakan jenis konstruksi SUTT / SUTETI yang paling banyak digunakan di jaringan PLN karena mudah dirakit terutama untuk pemasangan di daerah pegunungan dan jauh dari jalan raya. Namun demikian perlu pengawasan yang intensif karena besi-besinya rawan terhadap pencurian.

Tower harus kuat terhadap beban yang bekerja padanya yaitu:

- Gaya berat tower dan kawat penghantar (gaya tekan)
- Gaya tarik akibat rentangan kawat
- Gaya angin akibat terpaan angin pada kawat maupun badan tower.

Menurut fungsinya tower dibagi atas 7 macam yaitu.

- Dead end tower yaitu tiang akhir yang berlokasi di dekat Gardu induk, tower ini hampir

sepenuhnya menanggung gaya tarik

- Section tower yaitu tiang penyekat antara sejumlah tower penyangga dengan sejumlah tower penyangga lainnya karena alasan kemudahan saat pembangunan (penarikan kawat), umumnya mempunyai sudut belokan yang kecil.
- Suspension tower yaitu tower penyangga, tower ini hampir sepenuhnya menanggung gaya berat, umumnya tidak mempunyai sudut belokan
- Tension tower yaitu tower penegang, tower ini menanggung gaya tarik yang lebih besar daripada gaya berat, umumnya mempunyai sudut belokan
- Transposition tower yaitu tower tension yang digunakan sebagai tempat melakukan perubahan posisi kawat fasa guna memperbaiki impendansi transmisi.
- Gantry tower yaitu tower berbentuk portal digunakan pada persilangan antara dua Saluran transmisi. Tiang ini dibangun di bawah Saluran transmisi existing.
- Combined tower yaitu tower yang digunakan oleh dua buah saluran transmisi yang berbeda tegangan operasinya

Menurut susunan/konfigurasi kawat fasa tower dikelompokkan atas.

- Jenis delta digunakan pada konfigurasi horisontal/mendatar
- Jenis piramida digunakan pada konfigurasi vertikal/tegak.
- Jenis Zig-zag yaitu kawat fasa tidak berada pada satu sisi lengan tower.

**Type tower terdiri dari :**

Dilihat dari type tower dibagi atas beberapa tipe seperti tabel 4.1 dan tabel 4.2

Tabel 4.1 Tower 150 kV

TYPE TOWER	FUNGSI	SUDUT
Aa	Suspension	0° – 3°
Bb	Tension / section	3° – 20°
Cc	Tension	20° – 60°
Dd	Tension	60° – 90°
Ee	Tension	> 90°
Ff	Tension	> 90°
Gg	Transposisi	

Kontruksi towernya dapat dilihat pada gambar 4.8, 4.9, 4.10 dan 4.11.



Gambar 4.8 Tower 4 sirkit tipe suspensi  
tipe tension



Gambar 4.9 Tower 4 sirkit

Tabel 4.2 Tower 500 kV

TIPE TOWER		FUNGSI	SUDUT
SIRKIT TUNGGAL	SIRKIT GANDA		
A	AA	Suspension	0° – 2°
A R	AA R	Suspension	0° – 5°
B	BB	Tension	0° – 10°
C	CC	Tension	10° – 30°
D	DD	Tension	30° – 60°
E	EE	Tension	60° – 90°
F	FF	Dead end	0° – 45°
G	GG	Transposisi	



Gambar 4.10 Tower 2 sirkit tipe suspensi



Gambar 4.11 Tower 2 sirkit tipe tension

#### 4. 3.2. Bagian-bagian tower:

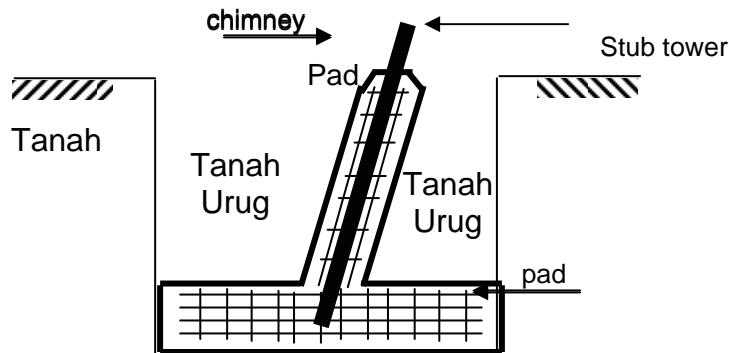
##### Pondasi:

Pondasi adalah konstruksi beton bertulang untuk mengikat kaki tower (stub) dengan bumi. Jenis pondasi tower beragam menurut kondisi tanah tempat tapak tower berada dan beban yang akan

ditanggung oleh tower. Pondasi tower yang menanggung beban tarik dirancang lebih kuat/besar daripada tower tipe suspension.

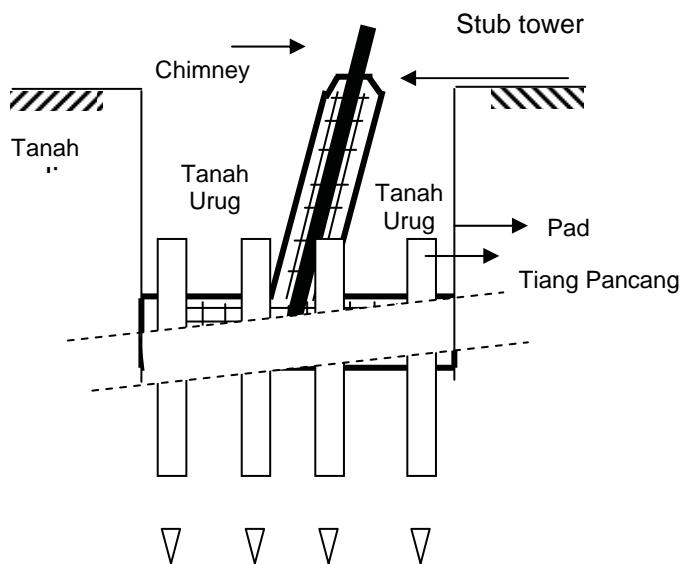
Jenis pondasi:

- Normal dipilih untuk daerah yang dinilai cukup keras tanahnya, seperti gambar 4.12



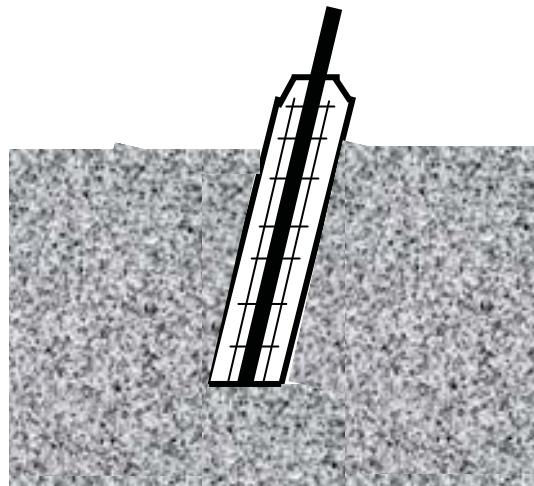
Gambar 4.12 pondasi tower untuk tanah keras

- Spesial: Pancang ( fabrication dan cassing) dipilih untuk daerah yang lembek/tidak keras sehingga harus diupayakan mencapai tanah keras yang lebih dalam seperti gambar 4.13



Gambar 4.13 Pondasi tower untuk daerah yang lembek

- Raft dipilih untuk daerah berawa / berair
- Auger dipilih karena mudah pengrajaannya dengan mengebor dan mengisinya dengan semen
- Rock: drilled dipilih untuk daerah berbatuan



Gambar 4.14 pemasangan pondasi untuk tower lattice dan tower pole



Gambar 4.15 Pondasi tower (lattice) SUTET  
500 kV Gresik - Krian



Gambar 4. 16 Pondasi steel pole 500 kV  
dead end Suralaya

#### **Stub:**

Stub adalah bagian paling bawah dari kaki tower, dipasang bersamaan dengan pemasangan pondasi dan diikat menyatu dengan pondasi.

Bagian atas stub muncul dipermukaan tanah sekitar 0,5 sampai 1 meter dan dilindungi semen serta dicat agar tidak mudah berkarat.

Pemasangan stub paling menentukan mutu pemasangan tower, karena harus memenuhi syarat:

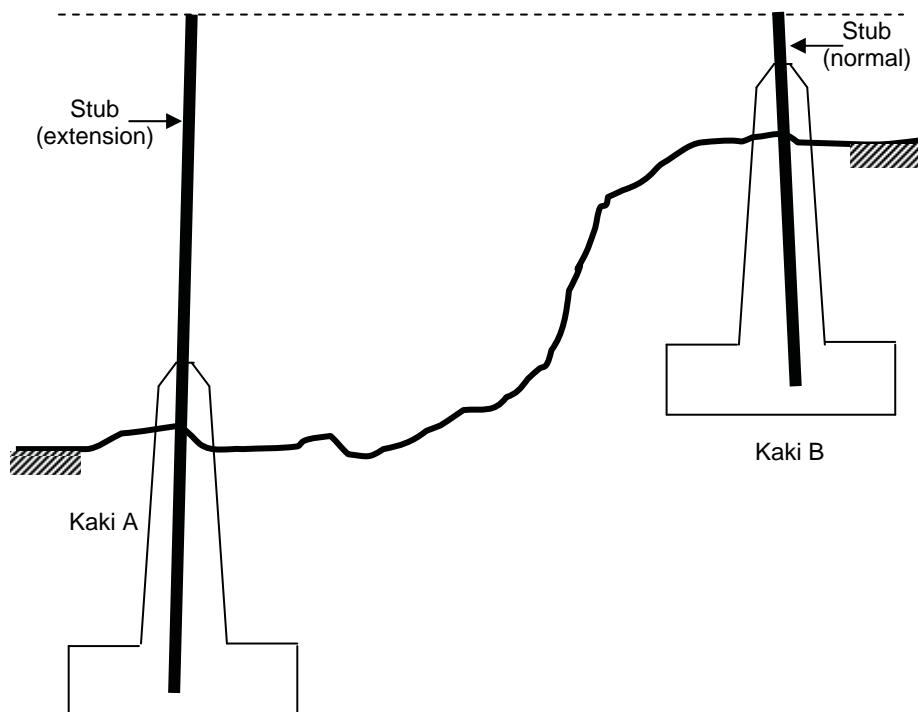
- Jarak antar stub harus benar
- Sudut kemiringan stub harus sesuai dengan kemiringan kaki tower
- Level titik hubung stub dengan kaki tower tidak boleh beda 2 mm (milimeter)

Apabila pemasangan stub sudah benar dan pondasi sudah kering maka kaki-kaki tower disambung ke lubang-lubang yang ada di stub.

### Leg.

Leg adalah kaki tower yang terhubung antara stub dengan body tower. Pada tanah yang tidak rata perlu dilakukan penambahan atau pengurangan tinggi leg. Sedangkan body harus tetap sama tinggi permukaannya.

Pengurangan leg ditandai: -1; -2; -3  
Penambahan leg ditandai: +1; +2; +3



Gambar 4.17 Leg Extension kaki tower

### **Common Body.**

Common body adalah badan tower bagian bawah yang terhubung antara leg dengan badan tower bagian atas (super structure). Kebutuhan tinggi tower dapat dilakukan dengan pengaturan tinggi common body dengan cara penambahan atau pengurangan.

Pengurangan common body ditandai: -3

Penambahan common body ditandai: +3; +6; +9; +12; +15

### **Super structure**

Super structure adalah badan tower bagian atas yang terhubung dengan common body dan cross arm kawat fasa maupun kawat petir. Pada tower jenis delta tidak dikenal istilah super structure namun digantikan dengan "K" frame dan bridge.

### **6). Cross arm**

Cross arm adalah bagian tower yang berfungsi untuk tempat menggantungkan atau mengaitkan isolator kawat fasa serta clamp kawat petir. Pada umumnya cross arm berbentuk segitiga kecuali tower jenis tension yang mempunyai sudut belokan besar berbentuk segi empat.

### **K frame**

K frame adalah bagian tower yang terhubung antara common body dengan bridge maupun cross arm. K frame terdiri atas sisi kiri dan kanan yang simetri.

K frame tidak dikenal di tower jenis pyramid

### **Bridge**

Bridge adalah penghubung antara cross arm kiri dan cross arm tengah. Pada tengah-tengah bridge terdapat kawat pengantar fasa tengah. Bridge tidak dikenal di tower jenis pyramida

### **Rambu tanda bahaya.**

Rambu tanda bahaya berfungsi untuk memberi peringatan bahwa instalasi SUTT/SUTETI mempunyai resiko bahaya. Rambu ini bergambar petir dan tulisan AWAS BERBAHAYA TEGANGAN TINGGI. Rambu ini dipasang di kaki tower lebih kurang 5 meter diatas tanah sebanyak dua buah disisi yang menghadap tower nomor kecil dan sisi yang menghadap nomor besar.

### **Rambu identifikasi tower dan pengantar/jalur**

Rambu identifikasi tower dan pengantar/jalur berfungsi untuk memberitahukan identitas tower:

- Nomor tower
- Urutan fasa
- Pengantar/Jalur
- Nilai tahanan pentanahan kaki tower

Rambu ini dipasang di kaki tower lebih kurang 5 meter diatas tanah sebanyak dua buah disisi yang menghadap tower nomor kecil dan sisi yang menghadap nomor besar dan bersebelahan dengan Rambu tanda bahaya.

Pada daerah super stucture juga dipasang rambu penghantar/jalur agar petugas bisa mengenali

penghantar/jalur yang boleh dikerjakan.



Gambar 4.18.a Rambu tanda bahaya tower



Gambar 4.18.b Rambu identitas dan jalur

#### Anti Climbing Device (ACD)

ACD disebut juga penghalang panjat berfungsi untuk menghalangi orang yang tidak berkepentingan untuk naik tower. ACD dibuat runcing, berjarak 10 cm dengan yang lainnya dan dipasang di setiap kaki tower dibawah Rambu tanda bahaya.

#### Step bolt

Step bolt adalah baut yang dipasang dari atas ACD ke sepanjang badan tower hingga super structure dan arm kawat petir. Berfungsi untuk pijakan petugas sewaktu naik maupun turun dari tower.



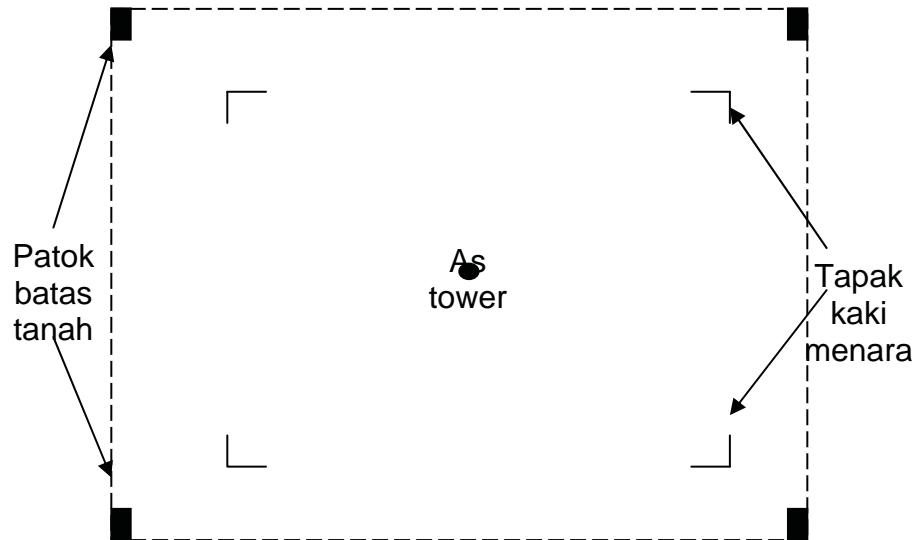
Gambar 4.19 Baut Panjat (step bolt)



Gambar 4.20 Penghalang Panjat

## Halaman tower

Halaman tower adalah daerah tapak tower yang luasnya diukur dari proyeksi keatas tanah galian pondasi. Biasanya antara 3 hingga 8 meter di luar stub tergantung pada jenis tower .



Gambar 4.21 Halaman tower

### 4.4. Konduktor

Konduktor adalah media untuk tempat mengalirkan arus listrik dari Pembangkit ke Gardu induk atau dari GI ke GI lainnya, yang terentang lewat tower-tower. Konduktor pada tower tension dipegang oleh tension clamp, sedangkan pada tower suspension dipegang oleh suspension clamp. Dibelakang clamp tersebut dipasang rencengan isolator yang terhubung ke tower.

#### a. Bahan konduktor

Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat-sifat sebagai berikut :

- 1). konduktivitas tinggi.
- 2) kekuatan tarik mekanikal tinggi
- 3) titik berat
- 4) biaya rendah
- 5) tidak mudah patah

Konduktor jenis Tembaga (BC : Bare copper) merupakan penghantar yang baik karena memiliki konduktivitas tinggi dan kekuatan mekanikalnya cukup baik. Namun karena harganya mahal maka konduktor jenis tembaga rawan pencurian.

Aluminium harganya lebih rendah dan lebih ringan namun konduktivitas dan kekuatan mekanikalnya lebih rendah dibanding tembaga.

Pada umumnya SUTT maupun SUTETI menggunakan ACSR (Almunium Conductor Steel Reinforced).

Bagian dalam kawat berupa steel yang mempunyai kuat mekanik tinggi, sedangkan bagian luarnya mempunyai konduktifitas tinggi. Karena sifat electron lebih menyukai bagian luar kawat daripada bagian sebelah dalam kawat maka ACSR cocok dipakai pada SUTT/SUTETI. Untuk daerah yang udaranya mengandung kadar belerang tinggi dipakai jenis ACSR/AS, yaitu kawat steelnya dilapisi dengan almunium.

Pada saluran transmisi yang perlu dinaikkan kapasitas penyalurannya namun SUTT tersebut berada didaerah yang rawan longsor, maka dipasang konduktor jenis TACSR (Thermal Almunium Conductor Steel Reinforced) yang mempunyai kapasitas besar tetapi berat kawat tidak mengalami perubahan yang banyak.

Konduktor pada SUTT/SUTET merupakan kawat berkas (stranded) atau serabut yang dipilin, agar mempunyai kapasitas yang lebih besar dibanding kawat pejal.

### b. Urutan fasa

Pada sistem arus putar, keluaran dari generator berupa tiga fasa, setiap fasa mempunyai sudut pergeseran fasa  $120^\circ$ . Pada SUTT dikenal fasa R; S dan T yang urutan fasanya selalu R diatas, S ditengah dan T dibawah. Namun pada SUTETI urutan fasa tidak selalu berurutan karena selain panjang, karakter SUTETI banyak dipengaruhi oleh faktor kapasitansi

dari bumi maupun konfigurasi yang tidak selalu vertikal. Guna keseimbangan impedansi penyaluran maka setiap 100 km dilakukan transposisi letak kawat fasa.

### c. Penampang dan jumlah konduktor.

Penampang dan jumlah konduktor disesuaikan dengan kapasitas daya yang akan disalurkan, sedangkan jarak antar kawat fasa maupun kawat berkas disesuaikan dengan tegangan operasinya.

Jika kawat terlalu kecil maka kawat akan panas dan rugi transmisi akan besar. Pada tegangan yang tinggi (SUTETI) penampang kawat , jumlah kawat maupun jarak antara kawat berkas mempengaruhi besarnya corona yang ditengarai dengan bunyi desis atau berisik.

### d. Jarak antar kawat fasa:

Jarak kawat antar fasa SUTT 70kV idealnya adalah 3 meter, SUTT= 6 meter dan SUTETI=12 meter. Hal ini karena menghindari terjadinya efek ayunan yang dapat menimbulkan flash over antar fasa.

### e. Perlengkapan kawat penghantar

Perlengkapan atau fitting kawat penghantar adalah: Spacer, vibration damper.

Untuk keperluan perbaikan dipasang repair sleeve maupun

armor rod. Sambungan kawat disebut mid span joint.

### Repair Sleeve

Repair sleeve adalah selongsong aluminium yang terbelah menjadi dua bagian dan dapat ditangkapkan pada kawat penghantar, berfungsi untuk memperbaiki konduktifitas kawat yang rantas,

Cara pemasangannya dipress dengan hydraulic tekanan tinggi

### Bola Pengaman

Bola pengaman adalah rambu peringatan terhadap lalu lintas udara, berfungsi untuk memberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat kawat transmisi. Bola pengaman dipasang pada ground wire pada setiap jarak 50m hingga 75 meter sekitar lapangan/bandar udara.

### Lampu Aviasi

Lampu aviasi adalah rambu peringatan berupa lampu terhadap lalu lintas udara, berfungsi untuk memberi tanda kepada pilot pesawat terbang bahwa terdapat kawat transmisi. Jenis lampu aviasi adalah sebagai berikut.

- Lampu aviasi yang terpasang pada tower dengan supply dari Jaringan tegangan rendah
- Lampu aviasi yang terpasang pada kawat penghantar dengan sistem induksi dari kawat penghantar

### Arching Horn

Arching horn adalah peralatan yang dipasang pada sisi Cold (tower) dari rencengan isolator.

Fungsi arcing horn:

- Media pelepasan busur api dari tegangan lebih antara sisi Cold dan Hot (kawat penghantar)
- Pada jarak yang diinginkan berguna untuk memotong tegangan lebih bila terjadi: sambaran petir; switching; gangguan, sehingga dapat mengamankan peralatan yang lebih mahal di Gardu Induk (Trafo)

Media semacam arcing horn yang terpasang pada sisi Hot (kawat penghantar) adalah:

- **Guarding ring** : berbentuk oval, mempunyai peran ganda yaitu sebagai arcing horn maupun pendistribusi tegangan pada beberapa isolator sisi hot. Umumnya dipasang di setiap tower tension maupun suspension sepanjang transmisi.

### Arcing ring :

berbentuk lingkaran, mempunyai peran ganda yaitu sebagai arcing horn maupun pendistribusi tegangan pada beberapa isolator sisi hot. Umumnya hanya terpasang di tower dead end dan gantry GI

### 4. 5. Kawat Tanah

Kawat Tanah atau Earth wire (kawat petir / kawat tanah) adalah media untuk melindungi kawat fasa dari sambaran petir. Kawat ini dipasang di atas kawat fasa dengan sudut perlindungan yang sekecil

mungkin, karena dianggap petir menyambar dari atas kawat. Namun jika petir menyambar dari samping maka dapat mengakibatkan kawat fasa tersambar dan dapat mengakibatkan terjadinya gangguan.

Kawat pada tower tension dipegang oleh tension clamp, sedangkan pada tower suspension dipegang oleh suspension clamp. Pada tension clamp dipasang kawat jumper yang menghubungkannya pada tower agar arus petir dapat dibuang ke tanah lewat tower. Untuk keperluan perbaikan mutu pentanahan maka dari kawat jumper ini ditambahkan kawat lagi menuju ketanah yang kemudian dihubungkan dengan kawat pentanahan.

#### **4.5.1. Bahan Kawat Tanah**

Bahan ground wire terbuat dari steel yang sudah digalvanis, maupun sudah dilapisi dengan almunium. Pada SUTETI yang dibangun mulai tahun 1990an, didalam ground wire difungsikan fibre optic untuk keperluan telemetri, tele proteksi maupun telekomunikasi yang dikenal dengan OPGW (*Optic Ground Wire*), sehingga mempunyai beberapa fungsi.

#### **4.5.2. Jumlah dan posisi Kawat Tanah**

Jumlah Kawat Tanah paling tidak ada satu buah diatas kawat fasa, namun umumnya di setiap tower dipasang dua buah. Pemasangan yang hanya satu buah untuk dua pengantar akan membuat sudut perlindungan

menjadi besar sehingga kawat fasa mudah tersambar petir.

Jarak antara ground wire dengan kawat fasa di tower adalah sebesar jarak antar kawat fasa, namun pada daerah tengah gawangan dapat mencapai 120% dari jarak tersebut.

#### **4.5.3. Pentanahan Tower**

Pantanahan Tower adalah perlengkapan pembumian sistem transmisi, berfungsi untuk meneruskan arus listrik dari badan tower kebumi.

##### **1. Nilai pentanahan tower**

Nilai pentanahan tower harus dibuat sekecil mungkin agar tidak menimbulkan tegangan tower yang tinggi yang pada akhirnya dapat mengganggu sistem penyiaran:

Sistem 70kV : maksimal 5 Ohm

Sistem 150kV : maksimal 10 Ohm

Sistem 500kV : maksimal 15 Ohm

##### **2. Jenis pentanahan**

- Electroda bar: suatu rel logam yang ditanam di dalam tanah. Pentanahan ini paling sederhana dan efektif, dimana nilai tahanan tanah adalah rendah

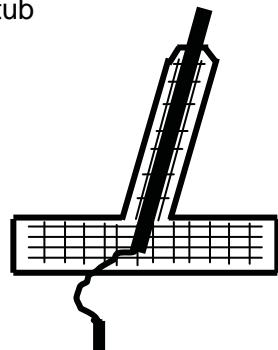
Electroda plat : plat logam yang ditanam di dalam tanah secara horisontal atau vertikal. Pentanahan ini umumnya untuk pengamanan terhadap petir.

Counter poise electrode: suatu konduktor yang digelar secara horisontal di dalam tanah. Pentanahan ini dibuat pada daerah yang nilai tahanan tanahnya tinggi. Atau untuk memperbaiki nilai

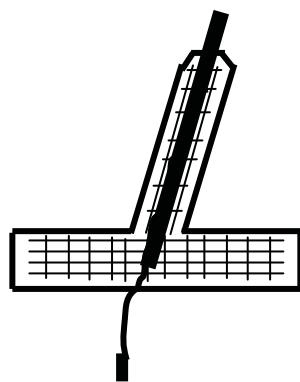
tahanan pentanahan. Mesh electroda: yaitu sejumlah konduktor yang digelar secara horizontal di tanah yang umumnya cocok untuk daerah kemiringan.

### 3. Jenis sambungan pada tower

- Penyambungan langsung pada stub bagian bawah
- Penyambungan dibagian atas stub



Gambar 4. 22 Penyambungan pada bagian bawah stub



Gambar 4.23 Penyambungan pada bagian atas stub

### 4. Komponen pentanahan tower

- Kawat pentanahan: terbuat dari bahan yang konduktifitasnya besar: tembaga.

- Klem pentanahan atau sepatu kabel: bahan tembaga yang tebal
- Batang pentanahan: terbuat dari pipa tembaga atau besi galvanis
- Klem sambungan kawat pentanahan terbuat dari tembaga.

### 4. 6. Isolator

Isolator adalah media penyekat antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan. Fungsi isolator pada SUTT/SUTETI adalah untuk mengisolir kawat fasa dengan tower. Pada umumnya isolator terbuat dari porselen atau kaca dan berfungsi sebagai isolasi tegangan listrik antara kawat penghantar dengan tiang.

Macam-macam isolator yang dipergunakan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah sebagai berikut :

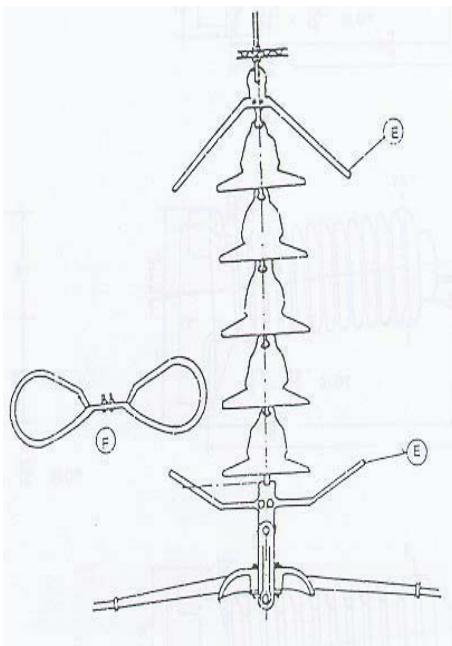
#### 4.6.1. Isolator Piring

Dipergunakan untuk isolator penegang dan isolator gantung, dimana jumlah piringan isolator disesuaikan dengan tegangan sistem pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) tersebut (lihat gambar 4.24 dan 4.25). Isolator tonggak saluran vertikal (lihat gambar 4.26). Isolator tonggak saluran horizontal (lihat gambar 4.27)

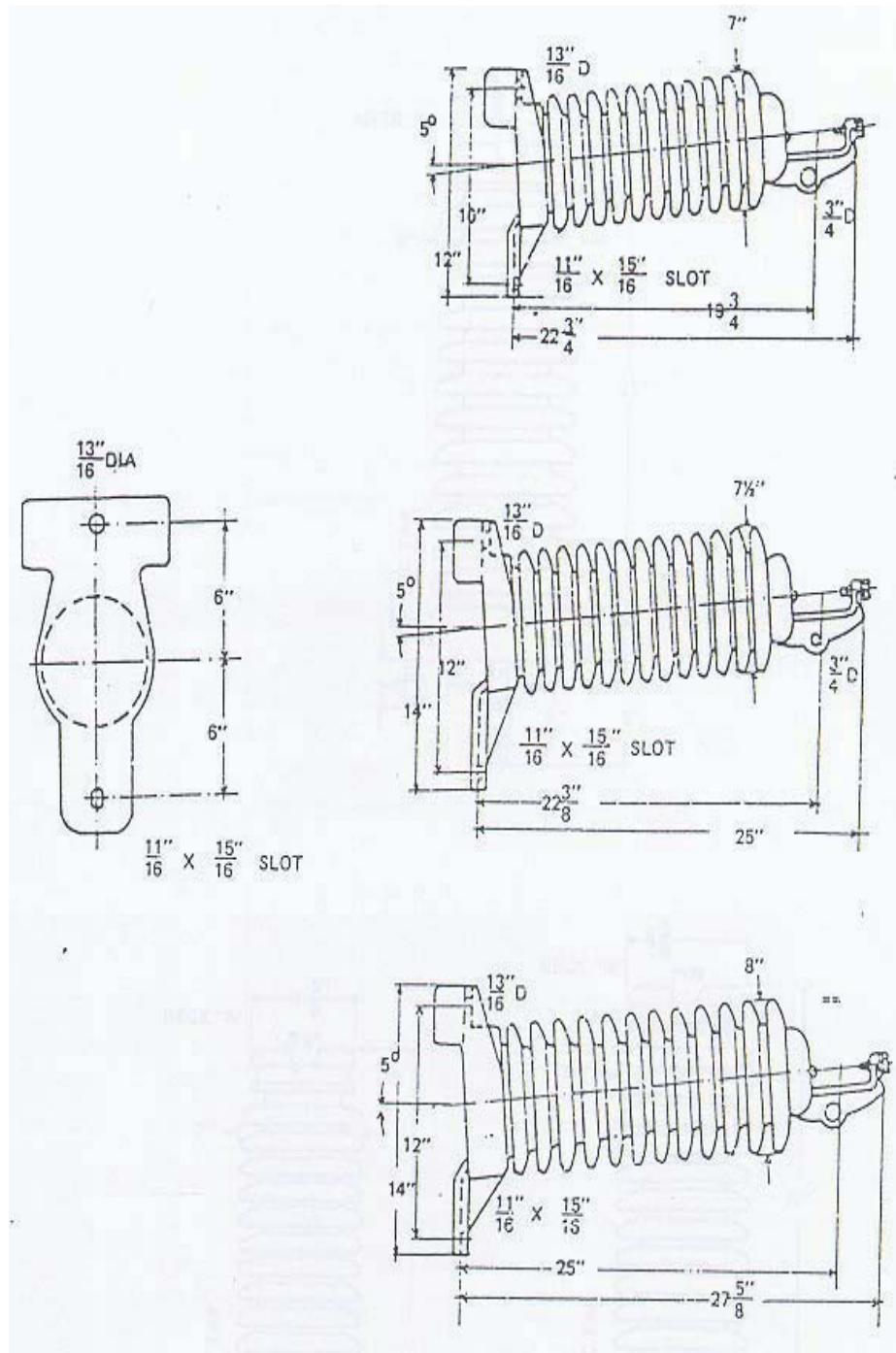
Pada isolator gantung pada umumnya diperlengkapi dengan : Tanduk busur berfungsi untuk melindungi isolator dari tegangan Surja. bagian E pada gambar 4.28.

Cincin perisai (grading ring)  
Fungsi dari cincin perisai yaitu  
untuk meratakan (mendistribusikan)

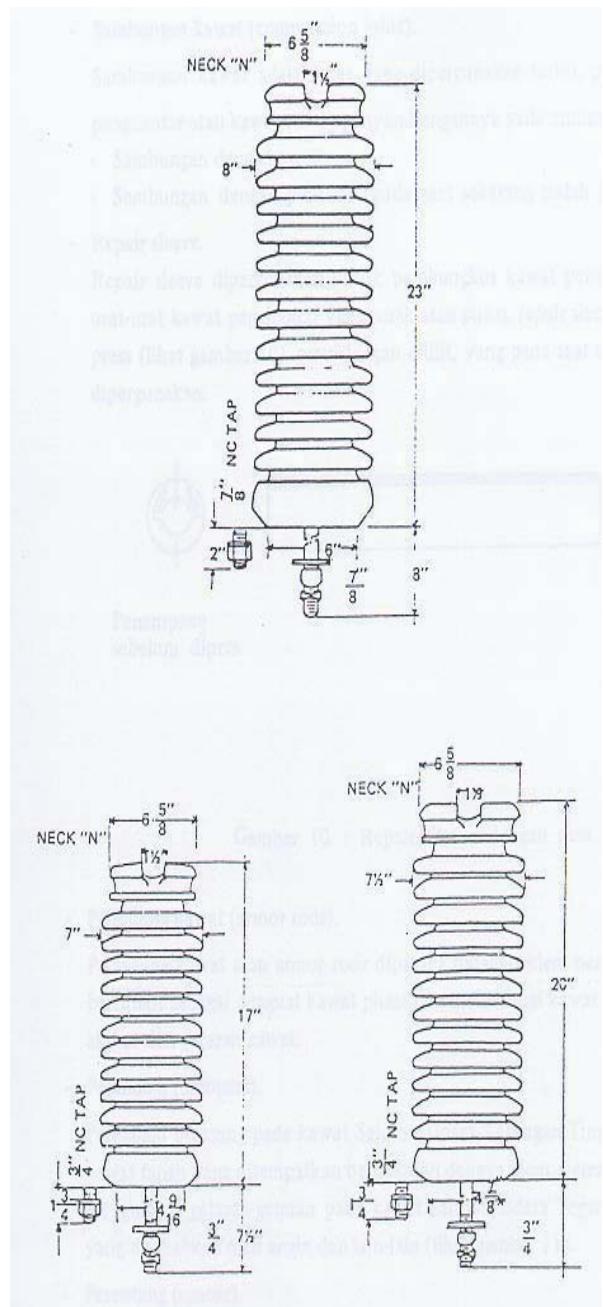
medan listrik dan distribusi  
tegangan yang terjadi pada isolator,  
bagian F gambar 4.24



Gambar 4.24 : Susunan Isolator Piring.



Gambar 4.25 : Isolator Tonggak Saluran Horisontal



Gambar 4.26 : Isolator Tonggak Saluran Vertikal

#### **4.6.2. Nilai isolasi**

Besarnya isolasi pada umumnya 3 hingga 3,3 kali tegangan sistem, dimaksudkan akan tahan terhadap muka tegangan petir pada waktu 1,2 mikro detik. Apabila nilai isolasi menurun akibat dari polutan maupun kerusakan pada isolasinya, maka akan terjadi kegagalan isolasi yang akhirnya dapat menimbulkan gangguan.

#### **4.6.3. Jenis isolator**

Isolator terbagi atas beberapa jenis yaitu:

##### **Menurut bentuknya:**

- Piringan yaitu isolator yang berbentuk piring, salah satu sisi dipasang semacam mangkuk logam dan sisi lainnya dipasang pasak. Antara pasak dengan mangkuk diisolasi dengan semen khusus.

Ada dua macam model sambungannya: Ball & socket; clevis & eye. Pemasangan isolator jenis piring ini digandeng-gandengkan dengan piringan lainnya. Jumlahnya disesuaikan dengan kebutuhan isolasi terhadap tegangan yang bekerja di transmisi tersebut. Jenis ini mempunyai fleksibilitas yang tinggi, karena bisa dipakai sebagai isolator gantung maupun isolator tarik.

- Long rod adalah isolator yang berbentuk batang panjang, di kedua ujungnya dipasang

sarana penghubung yang terbuat dari logam. Sirip-sirip isolator berada di antara kedua ujung tersebut. Isolator jenis ini dipakai sebagai isolator gantung.

- Pin isolator tidak digunakan di SUTT/SUTETI.
- Post isolator adalah isolator berbentuk batang panjang, di kedua ujungnya dipasang sarana penghubung yang terbuat dari logam. Isolator ini dipakai sebagai isolator yang didudukkan.

##### **Menurut bahannya**

Bahan isolator terbuat dari:

- Keramik: mempunyai keunggulan tidak mudah pecah, tahan terhadap cuaca, harganya relatif mahal. Pada umumnya isolator menggunakan bahan ini.
- Gelas/kaca: Mempunyai kelemahan mudah pecah namun harganya murah. Digunakan hanya untuk isolator jenis piring.

Sambungan isolator yaitu batang pasak dan mangkuknya terbuat dari logam digalvanis. Pada daerah yang banyak mengandung uap garam maupun zat kimia tertentu dapat membuat batang pasak karatan dan putus. Akhir-akhir ini dikembangkan teknik untuk melapisi batang pasak tersebut dengan zink.

##### **Menurut bentuk pasangannya**

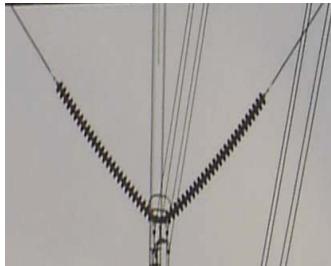
- "I" string
- "V" string

- Horisontal string
- Single string
- Double string
- Quadruple

Pada daerah yang rawan lingkungan maupun kemampuan mekanik yang belum mencukupi harus dilakukan penguatan rencengan isolator, sebagai contoh:dibuat double string.



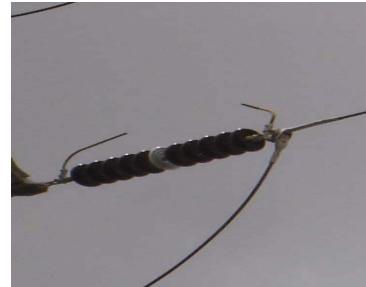
Gambar 4.27  
Isolator renceng untuk tower suspension (“I” type)



Gambar 4. 28  
Isolator renceng untuk tower tension SUTETI (“V” type)



Gambar 4.29 Konfigurasi Isolator tower Suspensi SUTET 500 kV



Gambar 4.30 Isolator renceng untuk tower tension (Horizontal type)



Gambar 4.31  
Isolator yang terpasang pada  
tension tower type DD

#### 4.6.4. Speksifikasi isolator

Setiap isolator harus mempunyai speksifikasi dari fabrikan yang mencantumkan:

- Standar mutu, misalnya dari IEC
- Type
- Model sambungan
- Panjang creepage atau alur (mm)
- Kuat mekanik (kN)
- Panjang antar sambungan (mm)
- Berat satuan (kg)
- Diameter (mm)
- Tegangan lompatan api frekwensi rendah kondisi basah (kV)
- Tegangan lompatan impuls kondisi kering (kV)
- Tegangan tembus (kV)

#### 1. Karakteristik listrik Isolator

Bahan Isolator yang diapit oleh logam merupakan kapasitor. Kapasitansinya diperbesar oleh polutan maupun kelembaban udara dipermukaannya. Bagian ujung saluran mengalami tegangan permukaan yang paling tinggi, sehingga dibutuhkan arcing horn untuk membagi tegangan tersebut lebih merata ke beberapa piring isolator lainnya.

#### 2. Karakteristik mekanik

Isolator harus memiliki kuat mekanik guna menanggung beban tarik kawat maupun beban berat isolator dan kawat penghantar. Umumnya mempunyai Safety faktor .

#### 3. Perlengkapan/fitting isolator

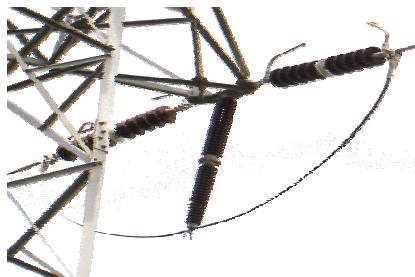
Berfungsi untuk menghubungkan rencengan isolator dengan arm tower maupun kawat penghantar, diantaranya: U bolt; shackle; ball eye; ball clevis; socket eye; socket clevis; link; extension link; double clevis, dan lain sebagainya, Bahan terbuat dari baja digalvanis dan mempunyai kuat mekanik sesuai beban yang ditanggungnya.

#### 4. Tension clamp

Tension clamp adalah alat untuk memegang ujung kawat penghantar, berfungsi untuk menahan tarikan kawat di tower tension. Pemasangan tension clamp harus benar-benar sempurna agar kawat penghantar tidak terlepas. Sisi lain dari tension clamp

dihubungkan dengan perlengkapan isolator agar tidak terjadi pemanasan yang akhirnya dapat memutuskan hubungan kawat jumper.

Pada tower tension dibutuhkan kawat penghubung antara kedua ujung kawat penghantar di kedua sisi cross arm, kawat ini disebut jumper. Bagian bawah tension clamp terdapat plat berbentuk lidah untuk menghubungkan kawat jumper tersebut. Sambungan ini harus kuat dan kencang



Gambar 4.32 Tension clamp



Gambar 4.33 . Tension clamp

### 5. Suspension clamp

Suspension clamp adalah alat yang dipasangkan pada kawat penghantar ke perlengkapan isolator gantung, berfungsi untuk

memegang kawat penghantar pada tower suspension. Kawat penghantar sebelum dipasang suspension clamp pada harus dilapisi armor rod agar mengurangi kelelahan bahan pada kawat akibat dari adanya vibrasi atau getaran pada kawat penghantar.

Pada kondisi tertentu yaitu letak tower yang terlalu rendah dibanding tower-tower sebelahnya maka dipasang pemberat atau counter weight agar rencengan isolator tidak tertarik ke atas.

### 6. Compression joint

Karena masalah transportasi, panjang konduktor dan GSW dalam satu gulungan (haspel) mengalami keterbatasan. Oleh karenanya konduktor dan GSW tersebut harus disambung, sambungan (joint) harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain :

- konduktivitas listrik yang baik
- kekuatan mekanis dan ketahanan yang tangguh  
Compression joint adalah material untuk menyambung kawat penghantar yang cara penyambungannya dengan alat press tekanan tinggi.  
Compression joint kawat penghantar terdiri dari dua komponen yang berbeda yaitu:
- Selongsong steel berfungsi untuk menyambung steel atau bagian dalam kawat penghantar ACSR
- Selongsong almunium berfungsi untuk menyambung almunium

atau bagian luar kawat penghantar ACSR

Penyambungan kawat didahului dengan penyambungan kawat steel, dilanjutkan dengan penyambungan kawat almunium.

.Penempatan compression joint harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Diusahakan agar berada di tengah-tengah gawangan atau bagian terrendah daripada andongan kawat.
- Tidak boleh berada di dekat tower tension (sisi kawat yang melengkung ke bawah terhadap tengah gawang).
- Tidak boleh di atas jalan raya, rel KA, SUTT lainnya

## 7. Spacer

Spacer adalah alat perentang kawat penghantar terbuat dari bahan logam dan berengsel yang dilapisi karet. Pada SUTETI spacer ini merangkap sebagai vibration damper.

Fungsi spacer adalah:

- Memisahkan kawat berkas agar tidak beradu
- Pada jarak yang diinginkan dapat mengurangi bunyi desis / berisik corona

Penempatan yang dipandu dari fabrikan dapat mengurangi getaran kawat



Gambar 4.33 Spacer untuk konduktor berkas 2 kawat (twin conductors)



Gambar 4.34 Spacer untuk konduktor berkas 4 kawat (quadruple)

## 8. Damper

Damper atau vibration damper adalah alat yang dipasang pada kawat penghantar dekat tower, berfungsi untuk meredam getaran agar kawat tidak mengalami kelelahan bahan.

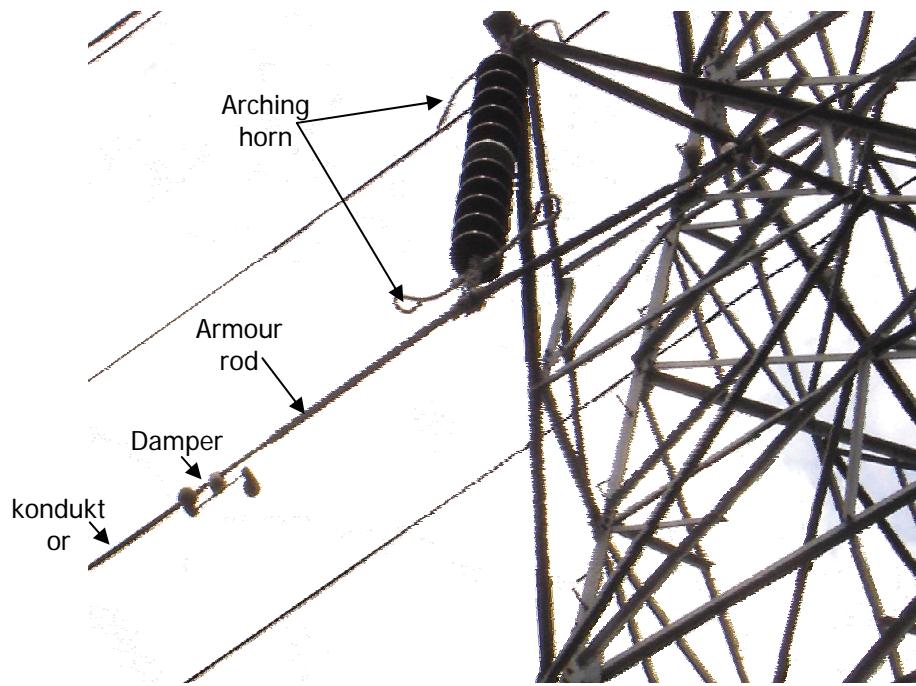
Bentuk damper menyerupai dua buah bandul yang dapat membuang getaran kawat.



Gambar 4.35 Damper

## 9. Armor Rod

Armor rod adalah alat berupa sejumlah urat kawat yang dipilin, berfungsi untuk melindungi kawat dari kelelahan bahan maupun akibat adanya kerusakan. Bahan armor rod adalah almunium keras, sehingga dapat menjepit kawat dengan erat.



Gambar 4.36. Pemasangan pelindung kawat tranmisi

## BAB V

### GARDU INDUK

Gardu induk adalah merupakan alat penghubung listrik dari jaringan transmisi ke jaringan distribusi perimer yang kistrukturnya

dapat dilihat pada gambar 5.1, bahan bahan yang ada pada gardu induk meliputi.



Gambar 5.1 Gardu induk

#### 5.1. BUSBAR

Busbar atau rel adalah titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Berdasarkan jenis isolasi busbar gardu induk dibagi menjadi :

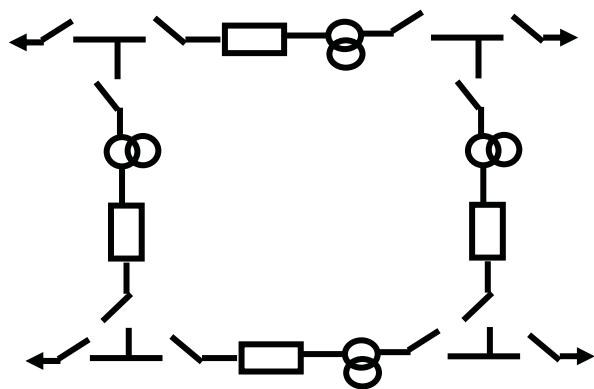
##### 5.1.1 .Jenis Isolasi Busbar

Gardu induk seperti ini sangat hemat tempat sebab menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan dan ditempatkan didalam suatu selubung besi. Sering disebut Gardu Induk SF<sub>6</sub> atau disingkat GIS.

#### 5.1.2. Sistem Busbar (Rel)

Busbar atau rel adalah titik pertemuan/hubungan trafo-trafo tenaga, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik/daya listrik. Berdasarkan busbar gardu induk dibagi menjadi :

Gardu Induk dengan sistem ring busbar adalah gardu induk yang busbar berbentuk ring yaitu semua rel/busbar yang ada tersambung satu sama lain dan membentuk seperti ring/cincin, seperti gambar 5.2

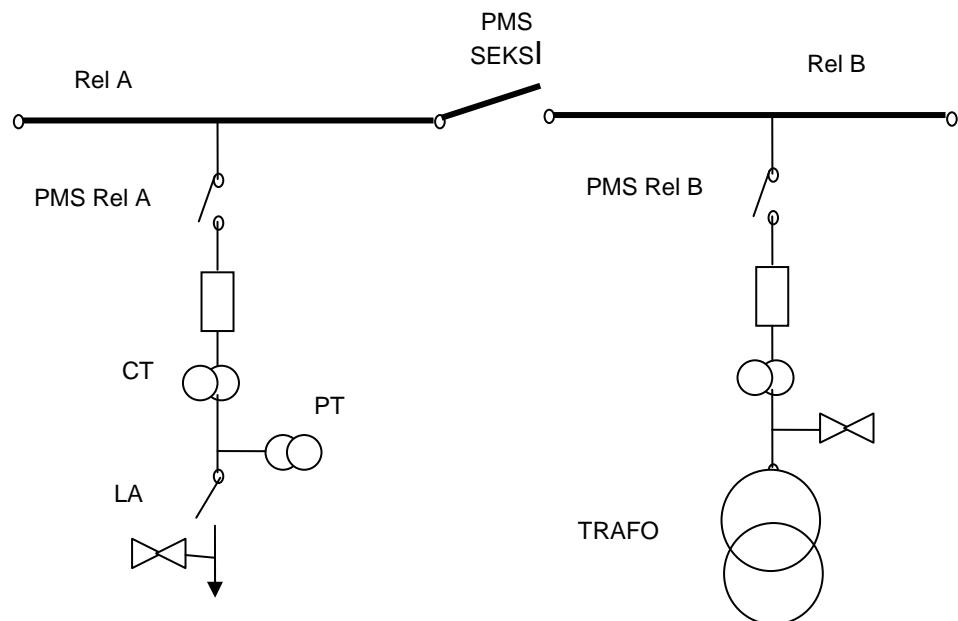


Gambar 5.2 sistem rel busbar

### 5.1.3. Gardu Induk dengan single busbar.

Adalah gardu induk yang mempunyai satu / single busbar .

pada umumnya gardu dengan sistem ini adalah gardu induk diujung atau akhir dari suatu transmisi, seperti gambar 5.3

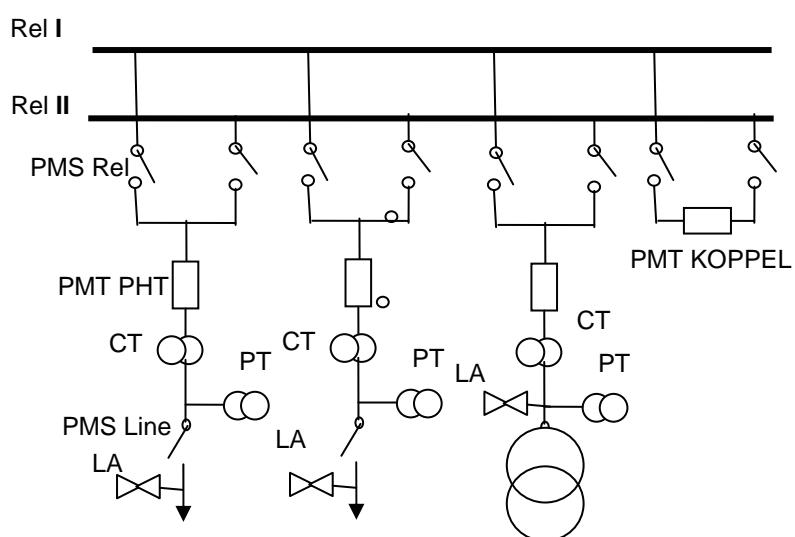


Gambar 5.3. gardu induk single busbar

#### **5.1.4. Gardu Induk dengan double busbar.**

Adalah gardu induk yang mempunyai dua / double busbar . Sistem ini sangat umum, hampir semua gardu induk menggunakan

sistem ini karena sangat efektif untuk mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sistem (*maneuver system*).seperti gambar 5.4

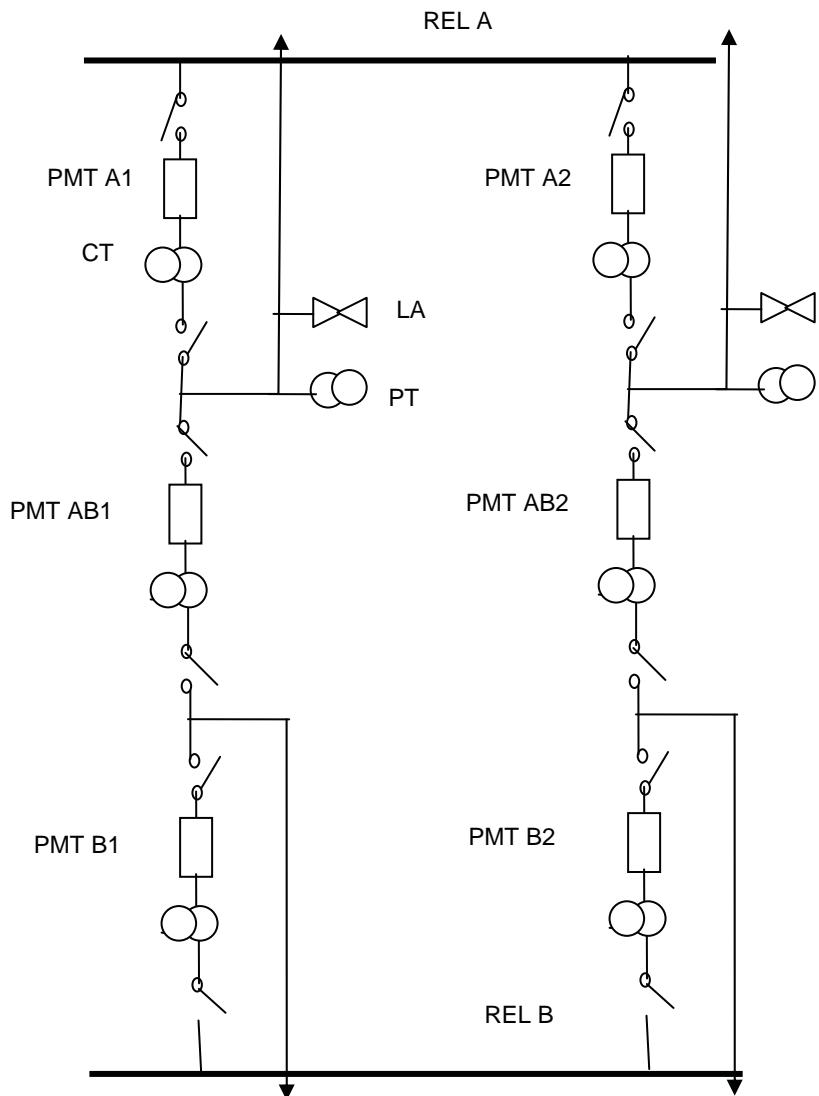


Gambar 5.4. gardu induk double busbar

#### **5.1.5. Gardu Induk dengan satu setengah / one half busbar**

Adalah gardu induk yang mempunyai dua / double busbar . Gardu induk Pembangkitan dan gardu induk yang sangat besar menggunakan sistem ini karena

sangat efektif dalam segi operasional dan dapat mengurangi pemadaman beban pada saat melakukan perubahan sistem (*maneuver system*). Sistem ini menggunakan 3 buah PMT didalam satu diagonal yang terpasang secara seri, seperti gambar 5.5



Gambar 5.5. gardu induk satu setengah CB

## 5.2. Arrestor

Sambaran petir pada koynduktor hantaran udara merupakan suntikan muatan listrik. Suntikan muatan ini menimbulkan kenaikan tegangan pada jaringan, sehingga pada jaringan timbul kenaikan tegangan atau tegangan lebih yang berbentuk gelombang

impulse dan merambat sepanjang penghantar.

Jika tegangan lebih akibat surja petir atau surja pemutusan tiba digardu induk, maka tegangan lebih tersebut akan merusak isolasi peralatan gardu induk. Oleh sebab itu perlu suatu alat yang melindungi peralatan sebab tegangan lebih

akibat sambaran petir dan atau surja pemutusan akan merusak isolasi peralatan. Pelindung ini dalam keadaan normal bersifat isolasi dan jika terjadi tegangan lebih akan berubah menjadi penghantar dan mengalirkan muatan surja tsb ke tanah. Sistem pentanahan harus dipisahkan dari pentanahan untuk pentanahan dari pengaman petir atau switching.

Lighning Arrester / LA yang biasa di sebut Arrester, di Gardu Induk berfungsi sebagai pengaman instalasi (peralatan listrik pada instalasi) dari gangguan tegangan lebih akibat sambaran petir (*lightning Surge*) maupun oleh surja hubung (*Switching Surge*).

### 5.3. Tranformator instrumen .

Untuk proses pengukuran digardu induk diperlukan tranformator instrumen. Tranformator instrumen ini dibagi atas dua kelompok yaitu .

#### 5.3.1. Tranformator Tegangan

Transformator tegangan adalah trafo satu fasa yang menurunkan

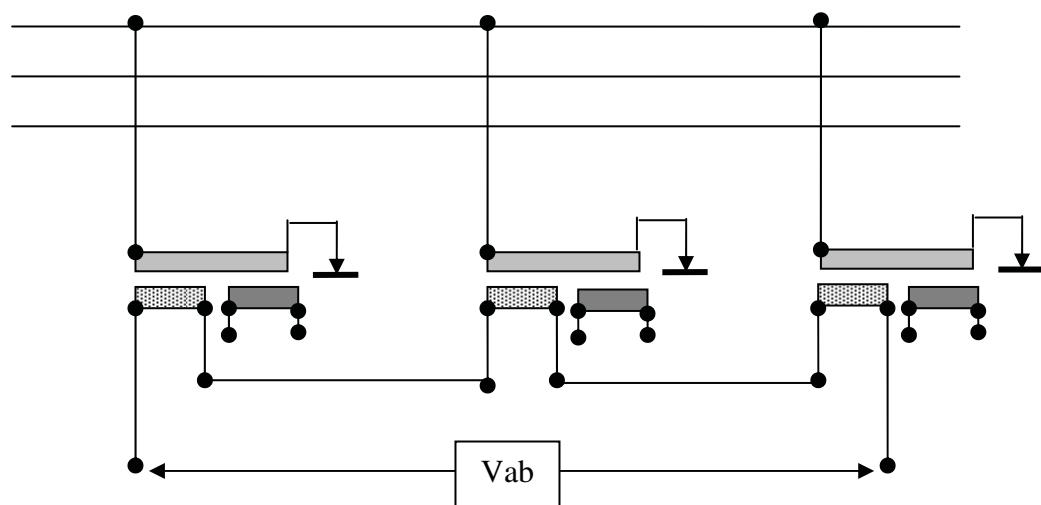
tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang dapat diukur dengan Voltmeter yang berguna untuk indikator, relai dan alat sinkronisasi. Ada dua macam trafo tegangan yaitu :

##### a. Tranformator tegangan magnetik.

Tranformator ini pada umumnya berkapasitas kecil yaitu antara 10 – 150 VA.

Faktor ratio dan sudut fasa trafo tegangan sisi primer dan tegangan sekunder dirancang sedemian rupa supaya faktor kesalahan menjadi kecil. Salah satu ujung kumparan tegangan tinggi selalu diketanahkan.

Trafo tegangan kutub tunggal yang dipasang pada jaringan tiga fasa disamping belitan pengukuran, biasanya dilengkapi lagi dengan belitan tambahan yang digunakan untuk mendeteksi arus gangguan tanah. Belitan tambahan dari ketiga trafo tegangan dihubungkan secara serie seperti pada gambar :5.6



Gambar 5.6

Pada kondisi normal tidak muncul tegangan pada terminal  $V_{ab}$ , tetapi jika terjadi gangguan tanah pada salah satu fasanya, maka tegangan yang tidak terganggu naik sebesar  $\sqrt{3}$  dari tegangan semula sehingga pada terminal  $V_{ab}$  akan dibangkitkan tegangan sebesar  $3 V_n$ . Tegangan ini akan memberi penguatan pada relai gangguan fasa ke tanah. Tegangan pengenal belitan gangguan tanah biasanya dipilih sedemikian rupa sehingga saat gangguan tanah  $V_{ab}$  mencapai harga yang sama dengan tegangan sekunder fasa-fasa.

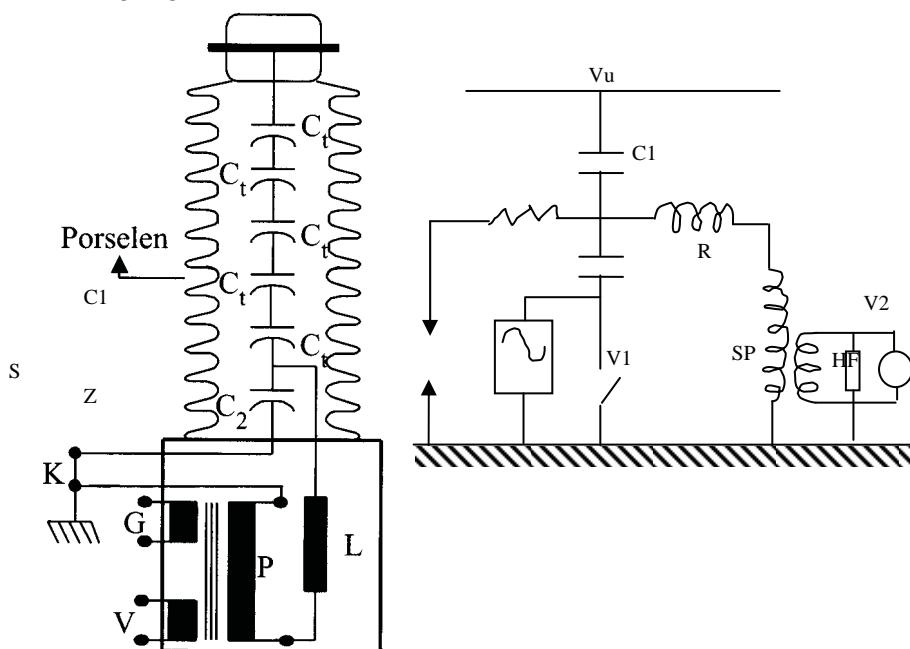
### b. Trafo Tegangan Kapasitif

Karena alasan ekonomis maka trafo tegangan menggunakan pembagi tegangan dengan menggunakan kapasitor sebagai pengganti trafo tegangan induktif.

Tranformator tegangan

Pembagi tegangan kapasitif dapat digambarkan seperti gambar dibawah ini.

Oleh pembagi kapasitor, tegangan pada  $C_2$  atau tegangan primer trafo penengah  $V_1$  diperoleh dalam orde puluhan kV, umumnya 5, 10, 15 dan 20 kV. Kemudian oleh trafo magnetik tegangan primer diturunkan menjadi tegangan sekunder standar 100 atau  $100\sqrt{3}$  Volt. Jika terjadi tegangan lebih pada jaringan transmisi, tegangan pada kapasitor  $C_2$  akan naik dan dapat menimbulkan kerusakan pada kapasitor tersebut. Untuk mencegah kerusakan tersebut dipasang sela pelindung (SP). Sela pelindung ini dihubung seri dengan resistor  $R$  untuk membatasi arus saat sela pelindung bekerja untuk mencegah efek feroresonansi



Gambar 5.7 Pemasangan Tranformator tegangan

Rancangan trafo tegangan kapasitor adalah gulungan kertas yang dibatasi oleh lembaran aluminium yang merupakan bentuk kapasitor (dua plat paralel) sehingga bentuknya ramping dan dapat dimasukan kedalam tabung poselin. Belitan resonansi dan belitan trafo magnetik intermediasi ditempatkan didalam bejana logam. Terminal K dapat dikebumikan langsung atau dihubungkan dengan alat komunikasi yang signalnya menumpang pada jaringan sistem. Agar efektif sebagai kopling kapasitor, maka besarnya kapasitansi  $C_1$  dan  $C_2$  secara perhitungan harus memiliki nilai minimum 4400 pF.

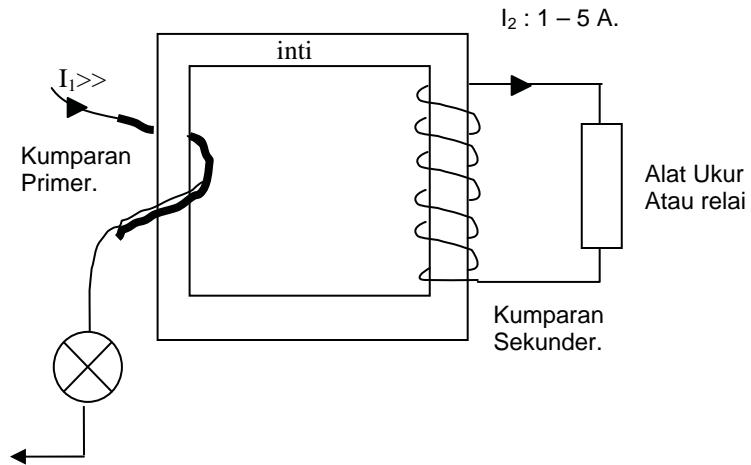
Keburukan trafo tegangan kapasitor adalah terutama karena adanya induktansi pada trafo magnetik yang non linier, mengakibatkan osilasi resonansinya yang timbul menyebabkan tegangan tinggi yang cukup besar dan menghasilkan panas yang tidak diinginkan pada inti magnetik dan belitan sehingga menimbulkan panas yang akan mempengaruhi hasil penunjukan tegangan. Diperlukan elemen peredam yang akan mengahsilkan tidak ada efek terhadap hasil pengukuran walaupun kejadian tersebut hanya sesaat.

### 5.3.2. Tranformator arus.

Trafo arus digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan amper lebih yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Jika arus hendak diukur mengalir pada tegangan rendah dan besarnya dibawah 5 amper, maka pengukuran dapat dilakukan secara langsung sedangkan arus yang besar tadi harus dilakukan secara tidak langsung dengan menggunakan trafo arus sebutan trafo pengukuran arus yang besar.

Disamping untuk pengukuran arus, trafo arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi. Kumparan primer trafo arus dihubungkan secara serie dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan peralatan meter dan rele proteksi.

Trafo arus bekerja sebagai trafo yang terhubung singkat. Kawasan kerja trafo arus yang digunakan untuk pengukuran biasanya 0,05 sampai 1,2 kali arus yang akan diukur. Trafo arus untuk tujuan proteksi biasanya harus mampu bekerja lebih dari 10 kali arus pengenalnya.



Gambar 5.8 Tranformator Arus

Prinsip kerja transformator ini sama dengan trafo daya satu fasa. Jika pada kumparan primer mengalir arus  $I_1$ , maka pada kumparan primer akan timbul gaya gerak magnet sebesar  $N_1 I_1$ . gaya gerak magnet ini memproduksi fluks pada inti. Fluks ini membangkitkan gaya gerak listrik pada kumparan sekunder. Jika kumparan sekunder tertutup, maka pada kumparan sekunder mengalir arus  $I_2$ . arus ini menimbulkan gaya gerak magnet  $N_2 I_2$  pada kumparan sekunder.

Perbedaan utama trafo arus dengan trafo daya adalah: jumlah belitan primer sangat sedikit, tidak lebih dari 5 belitan. Arus primer tidak mempengaruhi beban yang terhubung pada kumparan sekundernya, karena arus primer ditentukan oleh arus pada jaringan yang diukur. semua beban pada kumparan sekunder dihubungkan serie. terminal sekunder trafo tidak boleh terbuka, oleh karena itu terminal kumparan sekunder harus

dihubungkan dengan beban atau dihubung singkat jika bebannya belum dihubungkan.

### 5.3.3. TRANSFORMATOR BANTU (AUXILLIARY)

Transformator bantu adalah trafo yang digunakan untuk membantu beroperasinya secara keseluruhan gardu induk tersebut. Jadi merupakan pasokan utama untuk alat-alat bantu seperti motor-motor 3 fasa yang digunakan sebagai motor pompa sirkulasi minyak trafo beserta motor-motor kipas pendingin. Yang paling penting adalah sebagai pasokan sumber tenaga cadangan seperti sumber DC yang merupakan sumber utama jika terjadi gangguan dan sebagai pasokan tenaga untuk proteksi sehingga proteksi tetap bekerja walaupun tidak ada pasokan arus AC.

Transformator bantu sering disebut sebagai trafo pemakaian

sendiri sebab selain fungsi utama sebagai pemasuk alat-alat bantu dan sumber/penyimpan arus DC (baterai) juga digunakan untuk penerangan, sumber untuk sistem sirkulasi pada ruang baterai, sumber penggerak mesin pendingin (Air Conditioner) karena beberapa proteksi yang menggunakan elektronika/digital diperlukan temperatur ruangan dengan temperatur antara 20°C - 28°C. Untuk mengoptimalkan

pembagian sumber tenaga dari transformator bantu adalah pembagian beban yang masing-masing mempunyai proteksi sesuai dengan kapasitasnya masing-masing. Juga diperlukan pembagi sumber DC untuk kesetiap fungsi dan bay yang menggunakan sumber DC sebagai penggerak utamanya. Untuk itu disetiap gardu induk tersedia panel distribusi AC dan DC.

#### **5.3.4. Indikasi Unjuk kerja transformator ukur**

Untuk mengetahui Indikasi Unjuk kerja transformator ukur dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Indikasi Unjuk kerja transformator ukur

Indikasi	keterangan
VTBO (Voltage transformer breaker open)	Indikasi ini menunjukkan bahwa saklar tegangan dari VT trip, dan kontak bantunya mengirim sinyal ke panel kontrol VTBO (Voltage transformer breaker open) dan bel berbunyi
MCB PT failure,	Indikasi ini menunjukkan bahwa saklar tegangan dari VT trip, dan kontak bantunya mengirim sinyal ke panel kontrol MCB VT failure, dan bel berbunyi
Keteraturan stranded konduktor/ kawat terpasang.	Rusaknya uliran stranded konduktor akan menyebabkan korona & ketidakaturan distribusi arus listrik yang mengalir pada lokasi tersebut. Efek korona akan menyebabkan timbulnya ionisasi udara sekitar yang menghasilkan gas yang bersifat elektrolis. Deteksi unjuk kerja kesiapan Bus-bar terhadap kondisi keteraturan stranded konduktornya adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung dengan mata telanjang atau dengan teropong.
Ketahanan tegangan string set/post insulator pemegang konduktor	Pada kondisi tertentu, polutan tersebut akan menyebabkan flash over dipermukaan insulator dari sisi konduktor phasa ke ground. Polutan ada yang bersifat isolator & konduktor/semi konduktor. Pada polutan yang bersifat isolator, terkadang secara fisik terlihat nyata/kotor (misal polutan semen) akan tetapi pada polutan jenis ini pengaruhnya terhadap ketahanan tegangan

	<p>insulator hanya signifikan pada kondisi basah/hujan dan permukaan polutan membentuk alur air/embun yang tidak terputus.</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan Bas-bar terhadap pengaruh polutan yang menempel pada permukaan insulatornya adalah dengan pengamatan visual &amp; pendengaran. Pada kondisi malam/dini hari jika sudah terjadi bunyi hizing yang keras akibat korona dan sesekali sudah terjadi partial discharge/loncatan bunga api secara bergantian merata di seluruh permukaan keping/sirip insulator terpasang, maka bus-bar secara teknis tidak laik lagi untuk dioperasikan dan harus sesegera mungkin dilaksanakan pembersihan permukaan insulatornya.</p>
Kesiapan peralatan yang tersambung langsung dengan bus-bar.	<p>Deteksi unjuk kerja kesiapan Bus-bar terhadap kesiapan peralatan yang tersambung langsung denganya adalah sesuai dengan deteksi unjuk kerja masing-masing peralatan terpasang (PMS bus bay Pht/trf, PMS/PMT/CT Bay Couple daan CVT/PT).</p>
Kekuatan sistem isolasi bus-bar GIS.	<p>Deteksi unjuk kerja kesiapan Bus-bar terhadap kondisi sistem isolasinya pada GIS adalah dengan pembacaan tekanan Gas SF6 pada density monitor yang terpasang pada masing masing kompartemen (dibandingkan dengan acuan standart manual operasinya).</p>
Kekuatan mekanik & elektrik Clamp-clamp konduktor & peralatan	<p>pemuaian clamp &amp; konduktor atau clamp dengan terminal peralatan akibat pembebahan lebih sesaat/arus gangguan sesaat pada kondisi tertentu akan menurunkan/ menghilangkan kekuatan elektriknya yang selanjutnya akan menyebabkan kegagalan kekuatan mekaniknya (PG Clamp/T Clamp sambungan bus-bar ke PMS melorot/lepas dll)</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan Bus-bar terhadap kondisi kekuatan elektrik clamp-camp konduktor &amp; peralatan adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung pada malam hari (lampu penerangan switch yard dipadamkan) atau berdasarkan hasil deteksi dengan peralatan thermovision. Sedangkan kondisi kekuatan mekanik clamp-clamp dapat diperiksa secara visual pada siang hari dengan memakai teropong atau mata telanjang.</p>

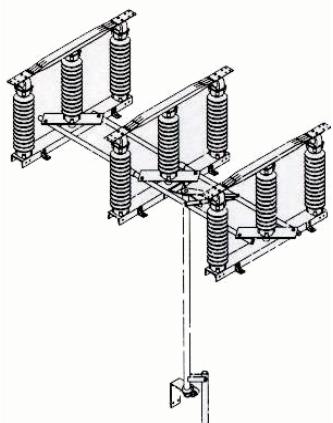
Kekuatan mekanik & elektrik clamp grounding serandang bus-bar.	Hilangnya kekuatan elektrik & mekanik clamp grounding serandang bus-bar (akibat korosi, kawat terlepas dari sepatunya dll) akan sangat berbahaya terhadap keselamatan personil. Deteksi unjuk kerja kesiapan Bus-bar terhadap kondisi kekuatan elektrik & mekanik clamp grounding serandang bus-bar adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung.
Kekuatan kawat tanah & clamp pengikatnya.	Menurunnya kekuatan kawat tanah & clampnya biasanya disebabkan oleh korosi. Kondisi tersebut sangat rawan putus baik akibat terpaan angin atau pada saat kawat tersebut teraliri rambatan gelombang/arus petir. Deteksi unjuk kerja kesiapan Bus-bar terhadap kondisi kekuatan kawat tanah & clamp pengikatnya adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung dengan mata telanjang atau dengan teropong.
Area Bus-bar terbebas dari benda-benda asing	Area bus-bar harus terbebas dari benda-benda asing baik yang bersifat konduktor (layang-layang dengan benang terbuat kawat tembaga dll) atau yang bersifat isolator (layang-layang dengan benang nylon/plastik/katun, terpal plastik dll). Pada kondisi normal kemungkinan benda asing yang bersifat konduktor tidak membahayakan (hanya menempel di ujung serandang post), Deteksi unjuk kerja kesiapan Bas-bar terhadap terbebasnya dari benda benda asing adalah dengan pengamatan visual secara langsung dengan mata telanjang.

#### 5.4. Pemisah

Pemisah adalah suatu alat untuk memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan tinggi. Ada dua macam fungsi PMS, yaitu :

- Pemisah Tanah (Pisau Pentanahan) ; Berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi .

- Pemisah Peralatan ; Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. Pms ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban.



Gambar 5. 9 Pemisah.

Parameter PMS yang harus diperhatikan adalah :

- Kemampuan mengalirkan arus (Arus Nominal = Ampere )
- Kemampuan mengalirkan arus ditentukan oleh besarnya penampang dua batang kontak, dengan demikian permukaan sentuh dari keduanya sangat menentukan. Apabila sebagian permukaan kontak terdapat kotoran (berkarat) akan sangat mempengaruhi luasnya penampang dan dalam batas tertentu kontak akan menjadi panas.
- Kemampuan tegangan ( Rating Tegangan = kV )
- Tegangan operasi PMS dapat dilihat dari kekuatan isolasinya. Semakin tinggi tegangan akan semakin panjang/tinggi isolator penyangga yang dipergunakan.
- Kemampuan menahan Arus Hubung Singkat ( kA : Kilo Ampere )

Apabila terjadi hubung singkat, dimana arus hubung-singkat

berlipat kali arus nominalnya, dalam waktu singkat ( detik ) PMS harus mampu menahan dalam batas yang diijinkan.

Besaran parameter tersebut dapat dibaca pada name plat yang terpasang pada PMS.

Disamping itu parameter yang berkaitan dengan mekanik penggerak adalah :

- Tekanan udara kompresor (bila menggunakan tenaga penggerak pneumatik )
- Tekanan minyak hidrolik (bila menggunakan tenaga penggerak hidrolik ).

Menurut gerakan lengannya, pemisah dapat dibedakan menjadi :

#### **5.4.1. Pemisah Engsel**

Dimana pemisah tersebut gerakannya seperti engsel PMS ini biasa dipakai untuk tegangan menengah (20 kV, 6 kV )

#### **5.4.2. Pemisah Putar**

Dimana terdapat 2(dua) buah kontak diam dan 2(dua) buah kontak gerak yang dapat berputar pada sumbunya.

#### **5.4.3. Pemisah Siku.**

Pemisah ini tidak mempunyai kontak diam, hanya terdapat 2(dua) kontak gerak yang gerakannya mempunyai sudut  $90^\circ$ .



Dua kontak gerak  
Mekanik penggerak

Tenaga penggerak PMS PMS ini dapat dari motor maupun pneumatik (tekanan udara) dan dapat dioperasikan dari panel kontrol.

Gambar 5. 10 Pemisah Siku

#### 5.4.4. Pemisah Luncur.

PMS ini gerakan kontaknya keatas-kebawah ( vertikal) atau kesamping (mendarat) Banyak dioperasikan pada instalasi 20 kV. Pada PMT 20 kV type draw-out setelah posisi Off dan dilepas/dikeluarkan dari Cubicle maka pisau kontaktor penghubung dengan Busbar adalah berfungsi sebagai PMS.



Kontaktor berfungsi sebagai PMS

Tabung PMT

Untuk keperluan pemeliharaan, PMT ini dapat dikeluarkan dari kubikel/sel 20 kV dengan cara menarik keluar secara manual (draw-out).

Selesai pemeliharaan, PMT dapat dimasukkan kembali ( draw-in ) dan pada posisi tertentu kontaktor (berfungsi PMS) akan berhubungan langsung dengan Busbar 20 kV. Namun harus dipastikan terlebih dulu sebelumnya bahwa PMT dalam posisi **Off**.

Gambar 5. 11 Pemisah Luncur

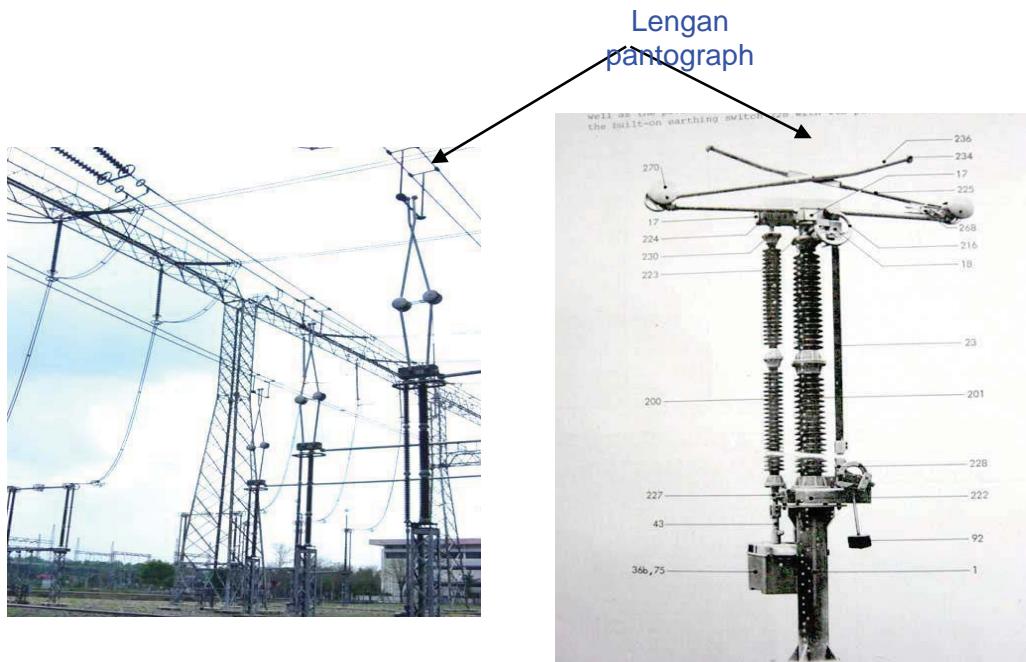
PMT 20 kV draw-out

Pemisah Pantograph.

PMS ini mempunyai kontak diam yang terletak pada rel dan kontak gerak yang terletak pada ujung lengan pantograph. Jenis ini banyak dioperasikan pada sistem tegangan 500 kV.

PMS 500 kV posisi masuk (On)

PMS 500 kV posisi lepas (Off)



Gambar 5. 12 Pemutus

### Tenaga penggerak PMS.

Jenis tenaga penggerak PMS dapat dibedakan :

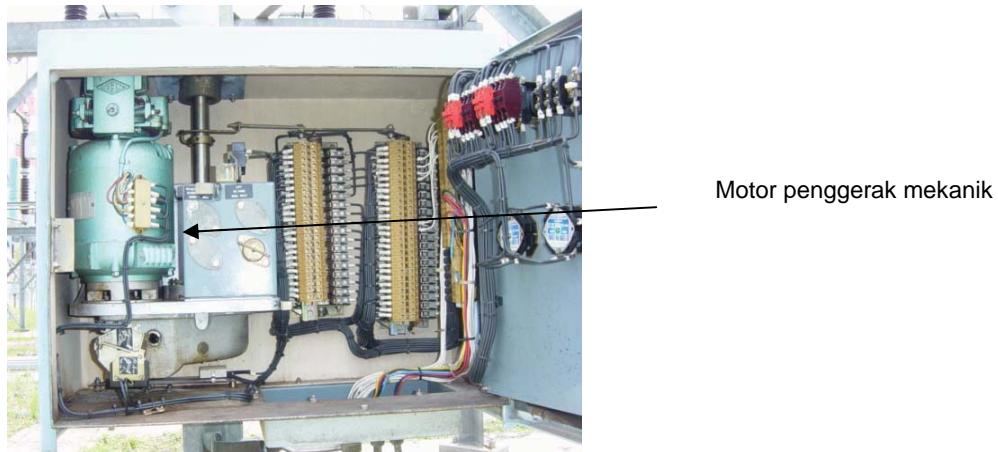
#### Secara Manual

Pengoperasian PMS ini (mengeluarkan / memasukkan) secara manual dengan memutar/menggerakkan lengan yang sudah terpasang permanen.

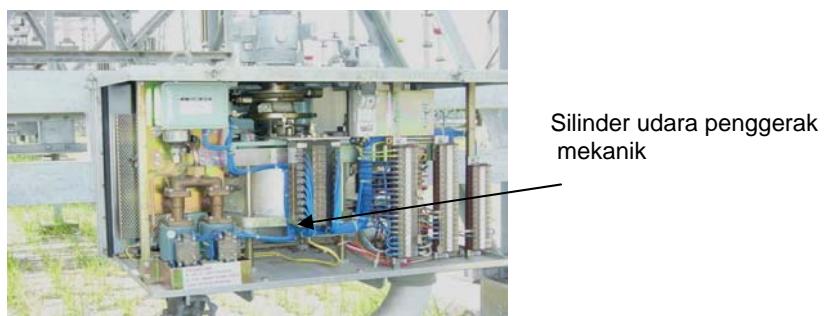
PMS 150 kV posisi masuk

#### Tenaga penggerak dengan motor

Motor penggerak ini terpasang pada box mekanik dimana box harus dalam keadaan bersih. Secara periodik dilakukan pemeliharaan kebersihan pada terminal kabel wiring, kontaktor-kontaktor dan dilakukan pelumasan pada poros/roda gigi. Pintu box harus tertutup rapat agar semut atau binatang kecil lainnya tidak bisa masuk kedalamnya.



Gambar 5. 13. Mekanik PMS dengan penggerak motor  
 Tenaga penggerak pneumatik (tekanan udara)  
 Tekan udara dapat diperoleh dari kompresor udara sentral yang terpasang dalam rumah kompresor.



Gambar 5. 14. Mekanik PMS tekanan udara  
**Indikasi Unjuk Kerja.**

Dalam pengoperasian PMS terutama pada saat memasukkan, yang harus diperhatikan adalah posisi melekatnya kontak gerak dengan kontak diam. Ada kalanya terjadi bahwa bila PMS tersebut dioperasikan secara remote dari panel kontrol, lampu indikator sudah menyatakan masuk (lampu menyala merah) namun kondisi diluar kedua kontaktor belum

melekat dengan normal. Untuk itu diperlukan pemeriksaan secara visual (pandangan mata) yang menyatakan kepastian bahwa kedua kontaktor sudah melekat sempurna.

Untuk mempertahankan unjuk kerjanya yang optimal, PMS secara periodik tahunan dilakukan pemeliharaan bersamaan dengan pemeliharaan peralatan yang terpasang dalam satu bay.

Dalam pemeliharaan dilaksanakan pembersihan pada kontaktor dari kotoran-kotoran (karat) dan setelah itu diberikan pelumasan (greese). Pelumasan juga diberikan pada peralatan mekanik PMS yang terdapat roda-gigi, tuas dsb.

### 5.5. Pemutus Tenaga.

Pemutus tenaga adalah alat yang terpasang di Gardu Induk yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutus arus beban atau arus gangguan.

Pada waktu menghubungkan atau memutus beban akan terjadi tegangan recovery yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan busur api.

Jenis media pemadam busur api pada pemutus tenaga yaitu : Gas, vaccum,minyak dan udara.

- PMT jenis gas ,menggunakan gas SF6 (hexafluoride)
- Sifat-sifat gas SF 6: tidak berbau, tidak berwarna,tidak beracun
- Sifat gas SF 6 sebagai bahan pemadam busur : cepat kembali sebagai dielektrik,Tidak terjadi karbon selama terjadi busur,tidak mudah terbakar thermal conductivitnya yang baik, tidak menimbulkan bunyi berisik.

#### 5.5.1. Jenis Isolasi Pemutus Tenaga

Pemadaman busur api listrik saat pemutusan atau penghubungan arus beban atau arus gangguan dapat dilakukan oleh beberapa macam bahan, yaitu diantaranya : Gas, Udara, Minyak

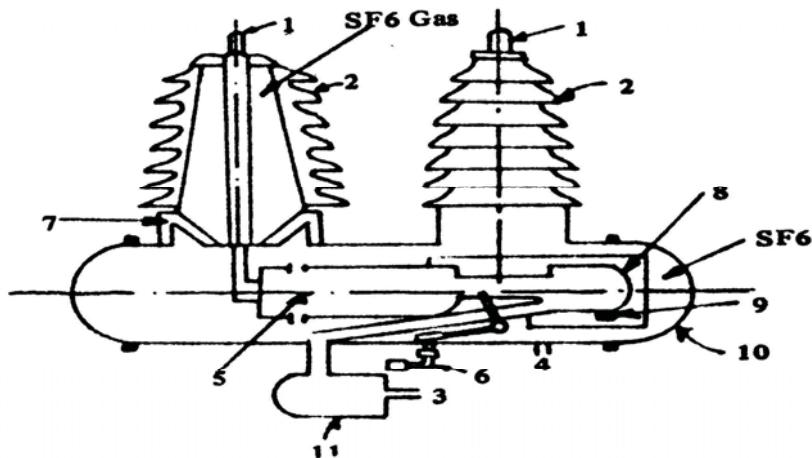
atau dengan hampa udara (Vacum).

PMT dengan media pemutus dengan Gas. Media gas yang digunakan pada tipe PMT ini adalah Gas SF6 (Sulphur Hexafluoride). Sifat-sifat gas SF6 murni ialah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar.

Pada temperatur diatas 150 ° C gas SF6 mempunyai sifat tidak merusak metal, plastik dan bermacam-macam bahan yang umumnya digunakan dalam pemutus tenaga tegangan tinggi. Sebagai isolasi listrik, gas SF6 mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi ( 2,35 kali udara ) dan kekuatan dielektrik ini bertambah dengan pertambahan tekanan. Sifat lain dari gas SF6 ialah mampu mengembalikan kekuatan dielektrik dengan .

Pada masa lalu PMT dengan media pemutus menggunakan SF6 ada 2 tipe, yaitu :

- Tipe tekanan ganda ( Double Pressure Type ), dimana pada saat ini sudah tidak diproduksi lagi.
- Pada tipe tekanan ganda, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api.
- Pada sistem gas tekanan tinggi tekanan gas  $\pm 12 \text{ kg/cm}^2$  dan pada sistem gas tekanan rendah, tekanan gas  $\pm 2 \text{ kg/cm}^2$ .
- Gas pada sistem tekanan rendah kemudian dipompakan kembali ke sistem tekanan tinggi. cepat, setelah arus bunga api listrik melalui titik nol.



GAMBAR 5.15 PMT Dengan Gas SF6 Bertangki Ganda

Satu Katup PMT Dengan Gas SF6 Bertangki Ganda Dalam Tanki Tertutup  
Keterangan :

Sambungan terminal-terminal (Connection Terminals).

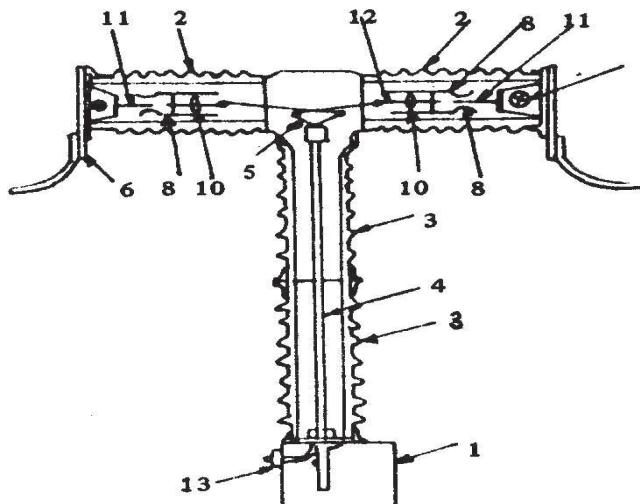
Isolator-isolator atas (Upper Insulators).

Jalan masuknya gas SF6 : 14 kg/cm<sup>2</sup> ( SF6 inlet 14 kg/cm<sup>2</sup> ).

Jalan keluarnya gas SF6 : 2 kg/cm<sup>2</sup> ( SF6 outlet 2 kg/cm<sup>2</sup> ).

Tipe tekanan tunggal ( single pressure type ).

Pada PMT tipe tekanan tunggal, PMT diisi dengan gas SF 6 dengan tekanan kira-kira 5 kg/ cm<sup>2</sup>. Selama pemisahan kontak-kontak, gas SF6 ditekan kedalam suatu tabung/cylinder yang menempel pada kontak bergerak. Pada waktu pemutusan gas SF6 ditekan melalui nozzle dan tiupan ini yang mematikan busur api.



GAMBAR 5.16 PMT Satu Katup 245 kV dengan Gas SF6  
PMT Satu Katup 245 kV dengan Gas SF6

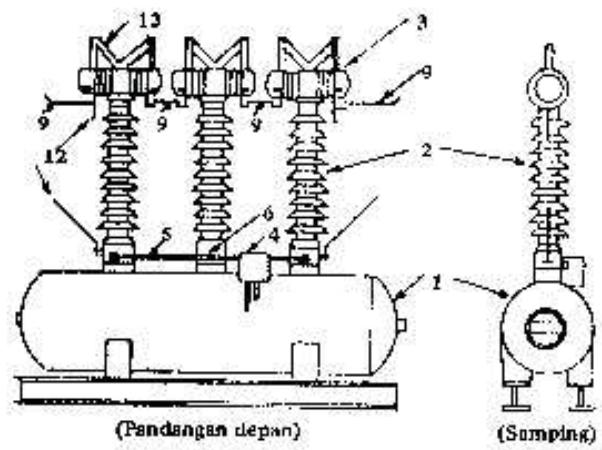
Keterangan :

1. Mekanisme penggerak ( operating mechanism ).
2. Pemutus ( Interupter )
3. Isolator penyangga dari porselen rongga (hollow support insulator porcelyn ).
4. Batang penggerak berisolasi glass Fibre (Fibre Glass Insulating Operating Rod ).
5. Penyambung diantara no. 4 dan no. 12 ( Linkages Between 4 and 12 ).
6. Terminal - terminal.
7. Saringan ( filters ).
8. Silinder bergerak ( movable cylinder ).
9. Torak tetap ( fixed piston ).
10. Kontak tetap ( Fixed contact ).

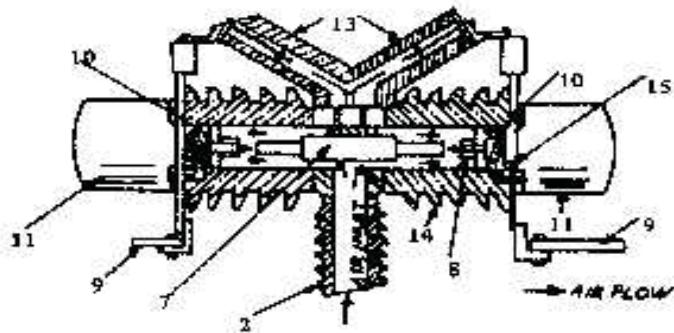
#### **5.5.2. PMT dengan Media pemutus menggunakan udara;**

PMT ini menggunakan udara sebagai pemutus busur api dengan menghembuskan udara ke ruang pemutus. PMT ini disebut PMT Udara Hembus ( Air Blast Circuit Breaker ) Pada PMT udara hembus ( juga disebut compressed air circuit breaker ), udara tekanan

tinggi dihembuskan ke busur api melalui nozzle pada kontak pemisah ionisasi media antara kontak dipadamkan oleh hembusan udara. Setelah pemadaman busur api dengan udara tekanan tinggi, udara ini juga berfungsi mencegah restriking voltage (tegangan pukul ). Kontak PMT ditempatkan didalam isolator, dan juga katup hembusan udara.



Gambar 5.17 : PMT Udara Hembus



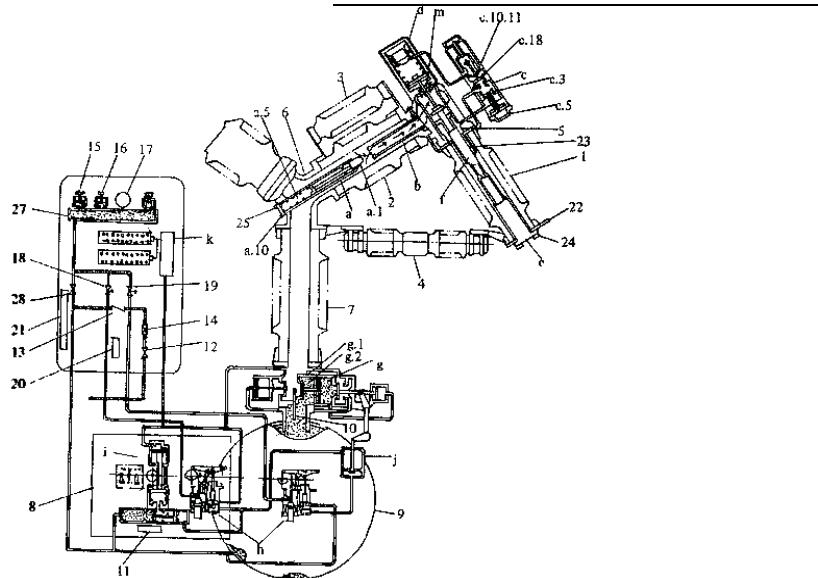
Gambar 5.18 : Ruangan Pemadam Busur Api Ganda Pada  
Pmt Udara Hembus

### Keterangan Gambar 5.17. dan 5.18

1. Tangki persediaan udara dari plat baja.
2. Isolator berongga dari steatite/porselin.
3. Ruangan pemadam busur api ganda
4. Mekanis penggerak pneumatik.
5. Batang penggerak dari baja.
6. Katup pneumatik
7. Kontak tetap dari tembaga
8. Kontakbergerak dari tembaga
9. Terminal dari tembaga atau perak
10. Pegas penekan dari campuran baja
11. Pelepas udara keluar adalah:
12. Tanduk busur api dari tembaga
13. Unit tahanan
14. Penutup dari porcelain
15. Saluran

Pada PMT kapasitas kecil isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMTnya tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.

Bagian – Bagian Utama dari PMT Udara Hembus ( Air Blast Circuit Breaker ) untuk kapasitas besar seperti gambar 5-19.



Gambar 5.19 : Ruangan Pemadam Busur Api Ganda Pada Pmt Udara Hembus Bagian – Bagian PMT Udara Hembus

Keterangan :

1. Ruangan pemutus tenaga (circuit breaker compartment).
2. Kontak – Kontak (contact).
3. Pengatur Busur Api (arc control device).
4. Bagian penyangga( supporting compartment).
5. Katub hembus dan katub pembuangan (blast valve and exhaust valve).
6. Tangki (tank).
7. Mekanisme penggerak (operating mechanism).
8. Sistem udara tekan (comppressed air system).

### 5.5.3. PMT dengan Hampa Udara (*Vacuum Circuit Breaker*)

Kontak-kontak pemutus dari PMT ini terdiri dari kontak tetap dan kontak bergerak yang ditempatkan dalam ruang hampa udara. Ruang hampa udara ini mempunyai kekuatan dielektrik (dielektrik strength) yang tinggi dan sebagai media pemadam busur api yang baik.

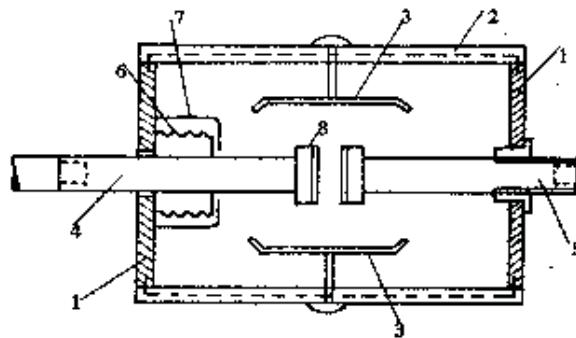
PMT jenis vacuum kebanyakan digunakan untuk tegangan menengah dan hingga saat ini masih dalam pengembangan sampai tegangan 36 kV.

Jarak (gap) antara kedua katoda adalah 1 cm untuk 15 kV dan bertambah 0,2 cm setiap kenaikan tegangan 3 kV. Untuk pemutus vacuum tegangan tinggi, digunakan PMT jenis ini dengan dihubungkan secara serie.

Ruang kontak utama (breaking chambers) dibuat dari bahan antara lain porcelain, kaca atau plat baja yang kedap udara. Ruang kontak utamanya tidak dapat dipelihara dan umur kontak utama sekitar 20 tahun. Karena kemampuan ketegangan dielektrikum yang tinggi maka bentuk fisik PMT jenis ini relatif kecil.



Gambar 5.20 PMT dengan Hampa Udara



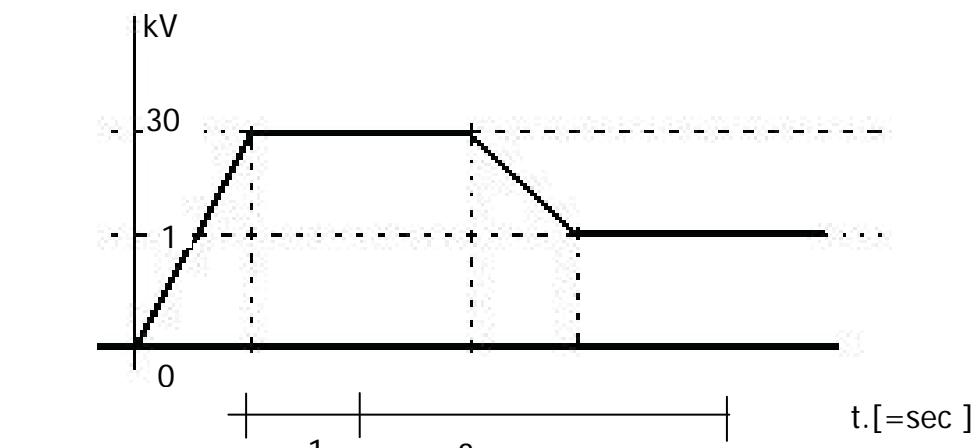
Gambar 5.21 Pemutus dan PMT hampa udara

#### Pemutus dan PMT hampa udara

Keterangan gambar 5.21 :

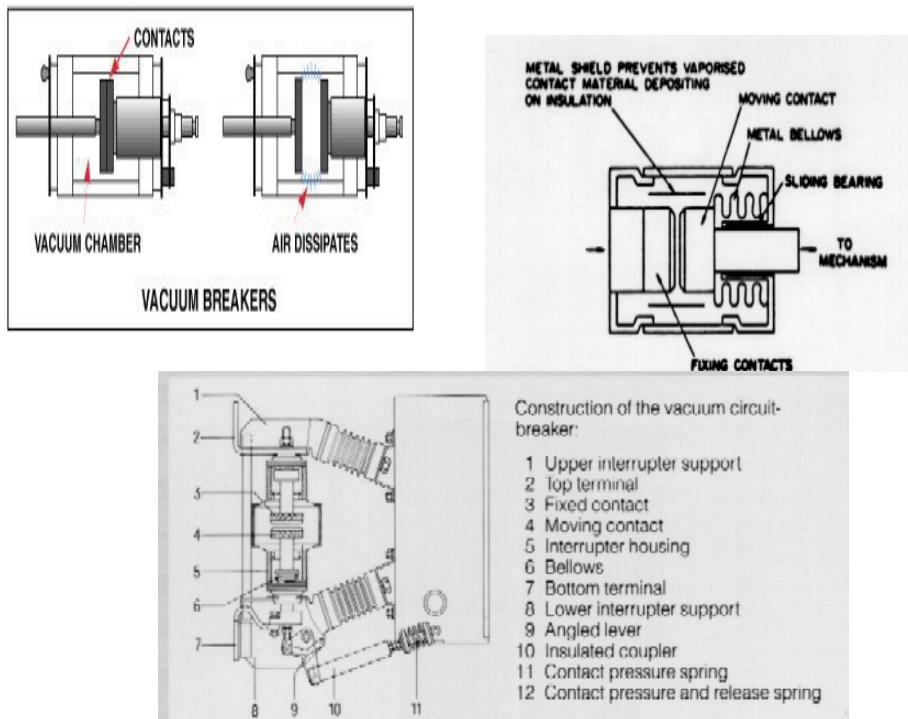
1. Plat-plat penahan – bukan bahan magnet
2. Rumah pemutus dari bahan berisolasi
3. Pelindung dari embun uap
4. Kontak bergerak
5. Kontak tetap
6. Penghembus dari bahan logam
7. Tutup alat penghembus
8. Ujung kontak

Kurva uji tegangan untuk mengetahui arus bocor pada breaking chamber PMT Vacum.



Arus bocor yang diijinkan ( HITACHI ) adalah =  $\leq$  1 mili Ampere.

Gambar 5.22 Kurva uji tegangan



Gambar 5.23. Sketsa ruang kontak utama (breaking chambers) PMT jenis vaccum.

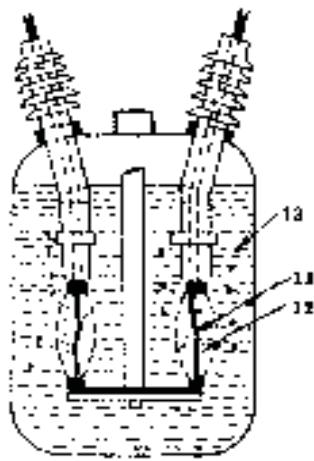
#### 5.5.4. PMT dengan Media pemutus menggunakan Minyak.

Pemutus tenaga (circuit breaker) jenis minyak adalah suatu pemutus tenaga atau pemutus arus menggunakan minyak sebagai pemadam busur api listrik yang timbul pada waktu memutus arus listrik. Jenis pemutus minyak dapat dibedakan menurut banyak dan sedikit minyak yang digunakan pada ruang pemutusan yaitu : pemutus menggunakan banyak minyak (*bulk oil*) dan menggunakan sedikit minyak (*small oil*). Pemutus minyak digunakan mulai dari tegangan menengah 20 kV sampai

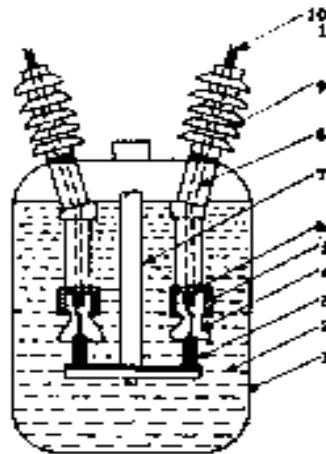
tegangan ekstra tinggi 425 kV dengan arus nominal 400 A sampai 1250 A dengan arus pemutusan simetris 12 kA sampai 50 kA.

Pada PMT ini minyak berfungsi sebagai perendam loncatan bunga api listrik selama pemutusan kontak-kontak dan bahan isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan.

PMT dengan media pemutus menggunakan banyak minyak (*bulk oil*). PMT tipe ini ada yang mempunyai alat pembatas busur api listrik dan ada pula yang tidak memakai seperti terlihat pada gambar 5.24 dan 5.25.



gambar 5.24  
PMT dengan Banyak Menggunakan Minyak (Plain Break Bulk Oil Circuit Breaker)



gambar 5.25  
PMT Banyak Menggunakan Minyak Dengan Pengatur Busur Api (Bulk Oil Circuit Breaker With Arc Control Device)

Keterangan gambar 5.24 dan 5.25 :

1. Tangki
2. Minyak dielektrik
3. Kontak yang bergerak
4. Gas yang terbentuk oleh dekomposisi minyak dielektrik ( hydrogen 70 % )
5. Alat pembatas busur api listrik
6. Kontak tetap
7. Batang penegang ( dari fiberglass )
8. Konduktor dari tembaga
9. Bushing terisi minyak atau tipe kapasitor
10. Konduktor ( tembaga berlapis perak )
11. Inti busur api listrik
12. Gas hasil ionisasi
13. Gelembung-gelembung gas

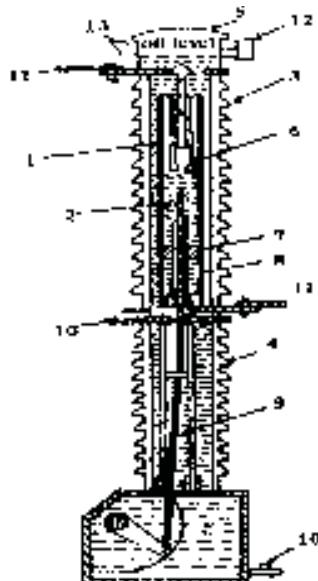
#### **5.5. 5. PMT dengan Sedikit Minyak (Low Oil Content Circuit Breaker)**

PMT dengan sedikit minyak ini, minyak hanya dipergunakan sebagai perendam loncatan bunga api, sedangkan sebagai bahan isolasi dari bagian-bagian yang

bertegangan digunakan porselin atau material isolasi dari jenis organik.

Pemutusan arus dilakukan dibagian dalam dari pemutus. Pemutus ini dimasukkan dalam tabung yang terbuat dari bahan isolasi. Diantara bagian pemutus

dan tabung diisi minyak yang berfungsi untuk memadamkan busur api waktu pemutusan.



Gambar 5.26 PMT Sedikit Menggunakan Minyak

Pada jaringan PLN (persero) P3B dijumpai beberapa merk dan tipe pemutus minyak yaitu: Alsthom, Asea, Magrini, Galileo, Merlin Gerin dan Westinghouse. Pada prinsipnya pemutus minyak tersebut sama namun pada bahasan ini dikemukakan pemutus minyak merk ASEA tipe HLR yang sekarang masih banyak dioperasikan diwilayah kerja PLN P3B.

### 1. Fungsi Minyak Isolasi

Ketika kontak yang menyalurkan arus terpisah didalam kompartemen yang berisi minyak, panas menyebabkan penguraian minyak. Gas-gas yang terbentuk karena penguraian (*decomposition*), menyebabkan tahanan bertambah. Tekanan yang

Gambar potongan PMT tipe ini dapat dilihat pada gambar 4.26 dibawah ini.

Keterangan :

1. Kontak tetap
2. Kontak bergerak
3. Ruangan pemutus aliran
4. Ruangan penyanga
5. Ruangan atas ( puncak )
6. Alat pemedam busur api
7. Kontak tetap
8. Penutup dari kertas bakelit
9. Batang penggerak
10. Katup pelalu
11. Terminal
12. Katup pembantu
13. Lobang gas

dibangkitkan oleh gas ,dipengaruhi oleh desain pengendali busur api (*Arc control device*), kecepatan kontak bergerak dan energi oleh busur api tersebut. Gas yang mengalir pada daerah kontak akan didinginkan dan dipecah. Kontak akan diisi minyak yang dingin pada waktu arus melalui titik nol.

Pengendali busur api didasarkan pada prinsip axial flow / cross flow. Axial flow untuk arus sampai 15 kA dan cross flow > 25 kA.

Panas dari busur api menyebabkan penguraian minyak dan hasil dari penguraian adalah gas hidrogen dan gas lain misalnya Acetylene. Gas yang dihasilkan didalam ruang control menaikan tahanan. Gas yang dihasilkan pada

ruang penahanan busur adalah fungsi dari panas busur api, waktu busur sebagai fungsi dari langkah kontak.

Pada waktu gelombang arus menuju nol, diameter busur api adalah kecil, dan gas yang mengalir akan dapat memadamkan busur, pemutusan busur api berhenti, membangkitkan gas dan aliran minyak.

## **5.6. Jenis Penggerak Pemutus Tenaga**

### **5.6.1. Mekanik Jenis Spering.**

Mekanis penggerak PMT dengan menggunakan pegas (spring) terdiri dari 2 macam :

Pegas pilin ( helical spring )  
Pegas gulung ( scroll spring )

Proses pengisian pegas (Spring charger )

Biasanya untuk penggerak pengisian pegas PMT dilengkapi motor penggerak (7) Motor akan menggerakkan roda pengisi (5) pada batang pegas melalui (13) roda perantara yang dihubungkan dengan dua buah rantai.

Berputarnya roda pengisi (5), mengakibatkan pegas penutup (3) menjadi terisi (meregang). Pada saat pegas penutup (3) terisi (meregang) pada batas maximumnya, maka motor (7) akan berhenti.

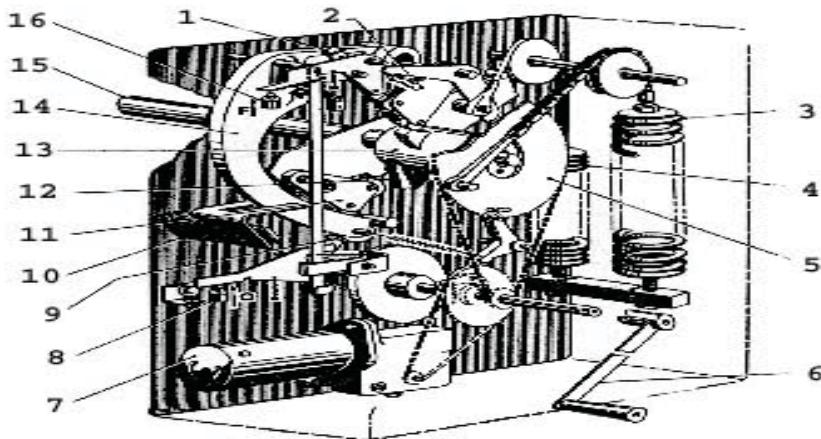
Untuk meregangkan pegas penutup ini juga dapat dilakukan

dengan cara manual dengan menggunakan engkol (6).

Proses penutupan PMT(Closing of Breaker). Dengan diberinya arus penguatan pada kumparan penutup (16) atau dengan menekan "push button", maka hubungan antara lengan interlock (1) dan pawl (2) akan terlepas, sehingga batang pegas (13) juga akan terlepas dan pegas penutup (3) menjadi mengendor.

Penghubung (12) pada batang pegas (13) menggerakkan pawl (11) sehingga berputar sepanjang sektor penunjang (14) dengan sudut  $120^\circ$  dan menutup PMT melalui batang pemutus tenaga (15). Dan bersamaan dengan itu pegas pen-trip (4) akan terisi, kemudian secara otomatis motor (7) akan menggerakkan roda pengisi (5) kembali untuk tenaga pemasukan selanjutnya.

Proses pembukaan PMT (Tripping of Breaker). Dengan diberinya arus penguatan pada kumparan tripping (8) atau dengan "push button" akan melepas hubungan antara tuas pengunci (9) dan sektor penunjang (14) dan akhirnya masuk ke dalam alur stop groove (10). Pawl (11) didorong oleh sektor penunjang (14) dan menyebabkan terlepasnya pegas pen-trip (4), menggerakkan batang PMT (15) sehingga PMT trip dan sektor penunjang (14) kembali pada posisi semula.



Gambar : 5.27 Mekanik PMT dengan sistem pegas pilin

Keterangan Gambar : 5.27

- |  |  |
|--|--|
| 1. Lengan interlock (interlocking arm) | 9. Lengan interlock Interlocking arm   |
| 2. Pawl                                | 10. Alur pemberhentian (Stop groove)   |
| 3. Pegas penutup (closing spring)      | 11. Pawl                               |
| 4. Pegas pembuka (tripping spring)     | 12. Penghubung (cam)                   |
| 5. Roda pengisi (charging whell)       | 13. Batang pegas (spring shaft)        |
| 6. Engkol (crank)                      | 14. Sektor penunjang (guiding sector)  |
| 7. Motor (electric motor)              | 15. Batang PMT (circuit breaker shaft) |
| 8. Kumparan pembuka (tripping coil)    | 16. Kumparan penutup (closing coil)    |

Jika rumah pegas penutup (2) berputar  $360^\circ$ , maka pegas penutup (1) akan terputar penuh, dan selanjutnya sakelar pembatas putaran motor (30) secara otomatis akan memutuskan aliran listrik ke motor. Sakelar pembatas putaran motor (30) ini dikerjakan oleh tuas pemindah (21) dan sistem gabungan dari bingkai penggulung pemindah (22) yang terpasang pada rumah pegas penutup (2).

Pegas penutup (1) dapat juga digerakkan secara manual dengan menggunakan engkol (25) searah jarum jam. Penghubung interlock (19) mencegah putaran lebih lanjut dari engkol (25) jika

pegas penutup (1) telah berputar penuh.

Penunjuk posisi pegas penutupan (27) akan memungkinkan kita untuk mengetahui apakah penutup (1) terputar atau tidak, dimana digerakkan oleh batang (20) yang dihubungkan ke tuas pemindah (21).

Proses penutupan PMT (Closing of Breaker). Bila kumparan penutup (16) mendapat impulse listrik, maka bagian penahan (4) akan terlepas atau dapat juga dilepaskan dengan menggunakan tuas pembuka penutupan (24).

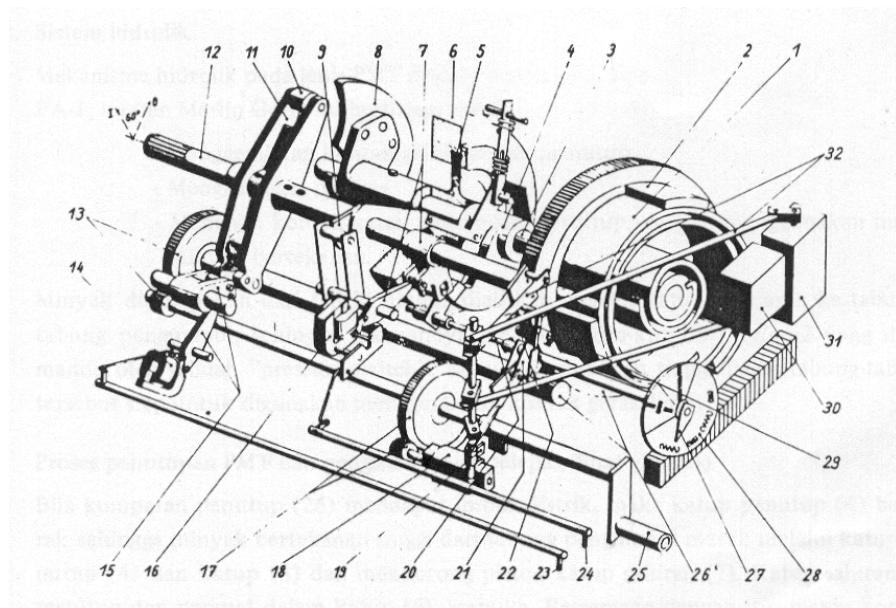
Batang pegas penutup (3) akan berputar searah jarum jam melalui sudut  $360^\circ$  karena gaya terlepasnya pegas penutupan (1) dan akan bertumpu lagi dengan gigi jentera penutup (7).

Penghubung (8) yang disambungkan ke bagian penahan (4) menumbuk bingkai penggulung (10) pada tuas bingkai penggulung (11) dan menyebabkan berputarnya batang penggerak (12) melalui sudut  $60^\circ$  ke posisi "ON" (I), artinya sampai tuas penggulung (11) berputar melalui gredel pen-trip (15) yang menjaga tuas bingkai penggulung (11) tersebut jangan sampai kembali lagi.

Roda berat (6) yang tersambung ke bagian penahan (4)

melalui kopling pergeseran (5) meredam torsi dan energi yang berlebihan. Sekarang penunjuk posisi PMT (28) menunjukkan "ON" (closed) dan pegas penutup tidak berputar.

Proses pembukaan PMT (Tripping of Breaker) Dengan diberikannya arus penguatan pada kumparan pen-trip (14) maka tuas bingkai penggulung (11) akan melepas atau digerakkan oleh tuas pembuka pen-trip (23) melalui gredel pen-trip (15), sehingga batang penggerak (12) akan berputar (karena gaya pegas pen-trip yang dipasang pada base) kira-kira  $60^\circ$  dan akan kembali ke posisi "OFF" (0)



Gambar: 5.28 Mekanik PMT dengan sistem pegas gulung

**Keterangan Gambar:**

1. Pegas penutup (closing coil)
2. Rumah pegas penutup (closing spring housing)
3. Batang pegas penutup (closing spring shaft)
4. Bagian penahan (drag-piece)
5. Kopling pergeseran (fraction clutch)
6. Roda berat (flywheel)
7. Gigi jentera penutup (closing sprocket)
8. Penghubung (cam)
9. Bagian interlock (interlocking segment)
10. Bingkai penggulung (roller)
11. Tuas bingkai penggulung (roller lever)
12. Batang penggerak (operating shaft)
13. Roda gigi reduksi (reduction gear)
14. Kumparan pen-trip (trip magnet/tripping coil)
15. Grandel pen-trip (trip latch)
16. Kumparan penutup (closing magnet/closing coil)
17. Roda gigi reduksi (reduction gear)
19. Motor penggulung pegas (spring winding motor)
21. Penghubung interlock (interlocking cam)
22. Batang (shaft)
23. Tuas pemindah (change-over lever)
24. Bingkai penggulung pemindah (change-over roller)
25. Tuas pembuka pen-trip (trip release lever)
26. Tuas pembuka penutup (closing release lever)
27. Engkol (crank)
28. Roda gigi reduksi (reduction gear)
29. Penunjuk posisi pegas penutup (closing spring position indicator dial)
30. Penunjuk posisi (breaker position indicator dial)
31. Penghubung (link)
32. Sakelar pembatas putaran (motor run limit switch)
33. Sakelar pembantu (auxiliary switch)
34. Penghubung ke sakelar pembantu (linkage for auxiliary switch)

**5.6.2. Mekanik Jenis Hidrolik**

Penggerak mekanik PMT hidrolik adalah rangkaian gabungan dari beberapa komponen mekanik, elektrik dan hidrolik oil yang dirangkai sedemikian rupa sehingga dapat berfungsi sebagai penggerak untuk membuka dan menutup PMT. Sebagai gambaran dasar dapat dilihat pada gambar A dan gambar B.

**1. Penggerak mekanik hydraulic**

Prinsip kerja penggerak mekanik hidrolik PMT FX 12 dan FX 22 buatan GEC ALSTHOM adalah sebagai berikut : Energi yang dihasilkan dengan bantuan media minyak hidrolik bertekanan dan berstabilitas tinggi.

Sebuah pompa akan memompa minyak hidrolik dan dimasukan

kedalam akumulator (1) , dimana di dalam tabung akumulator terdapat gas N<sub>2</sub> yang berfungsi sebagai stabilisasi. Pilot valve solenoid meneruskan minyak menuju valve utama dan dari sini akan menuju tabung actuator ( hydraulic RAM (3) ) dan mendorong piston (2) kearah atas , maka moving kontak (5) akan masuk.

Diagram fungsi hydraulic tipe FX 12 / FX 22. Peralatan seperti tersebut diatas dapat berfungsi baik, jika dilakukan pemeliharaan secara rutin sesuai prosedur yang telah ditentukan oleh pabrik pembuatnya.

Penyimpangan fungsi peralatan terhadap standard yang dikeluarkan pabrik pembuat PMT, dapat dimonitor dengan cara melakukan pengujian / pengukuran pada tiap fungsi dari peralatan system hydraulic.

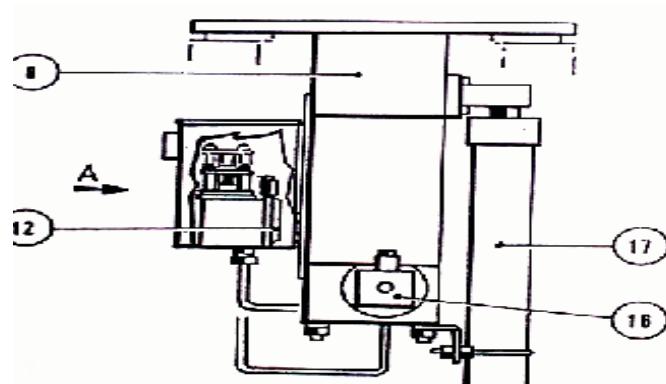
## 2. Penggerak Mekanik PMT Hidraulic

### a. Bagian utama ( power part )

Peralatan/komponen terpasang pada bagian ini adalah RAM, Akumulator, Valve utama dan lain – lain, yang terpasang dibagian bawah iterupting chamber pada masing – masing fasa, seperti gambar 5.29

### b. Bagian pemicu (pilot part )

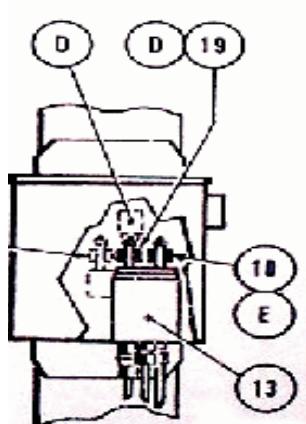
Peralatan / komponen terpasang pada bagian ini adalah closing elektrovalve , tripping elektrovalva , intermediate valve dan lain – lain , yang terpasang dibagian bawah iterupting chamber tiap fasa pada PMT single pole dan PMT Three pole terpasang pada fasa tengah ( S ). seperti gambar 5.30



Gambar 5.29 Bagian utama penggerak PMT

Keterangan :

- |                |                        |
|----------------|------------------------|
| 1. : RAM       | 12 Expansion Receiver  |
| 17: Main valve | 18 Storage accumulator |



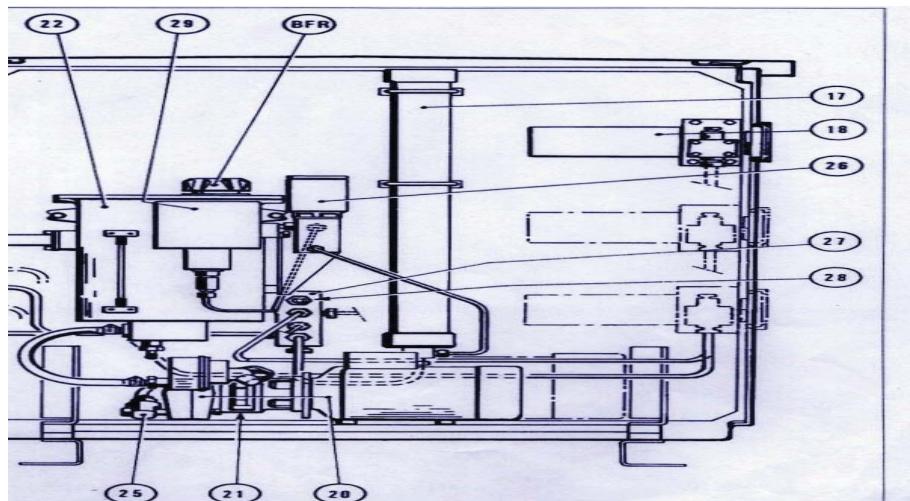
Keterangan :

- 10 : Closing eletrovalve
- 13 : Intermediate valve
- 19 : Triping electro valve
- E : Closing electro magnet
- D : Triping electromagnet

Gambar 4.30 Bagian pemicu ( pilot part )

### c. Bagian pendukung ( aux part )

Peralatan / komponen terpasang pada bagian ini adalah pompa , indicator RAM . pressure switch , main oil receive ( tangki utama ) dan lain –lain , yang terpasang pada box control tiap – tiap fasa untuk PMT single pole dan untuk Three pole terpasang pada fasa tengah ( S ).



Gambar 5.31 pendukung PMT

Keterangan :

- 17 : Storage accumulator
- 18 : Indicator RAM
- 20 : Motor pompa
- 21 : Emergency Hand lever
- 22 : Oil receiver
- 25 : Non return valve
- 26 : Safety valve

27 : Distribution Blok

28 : Plug

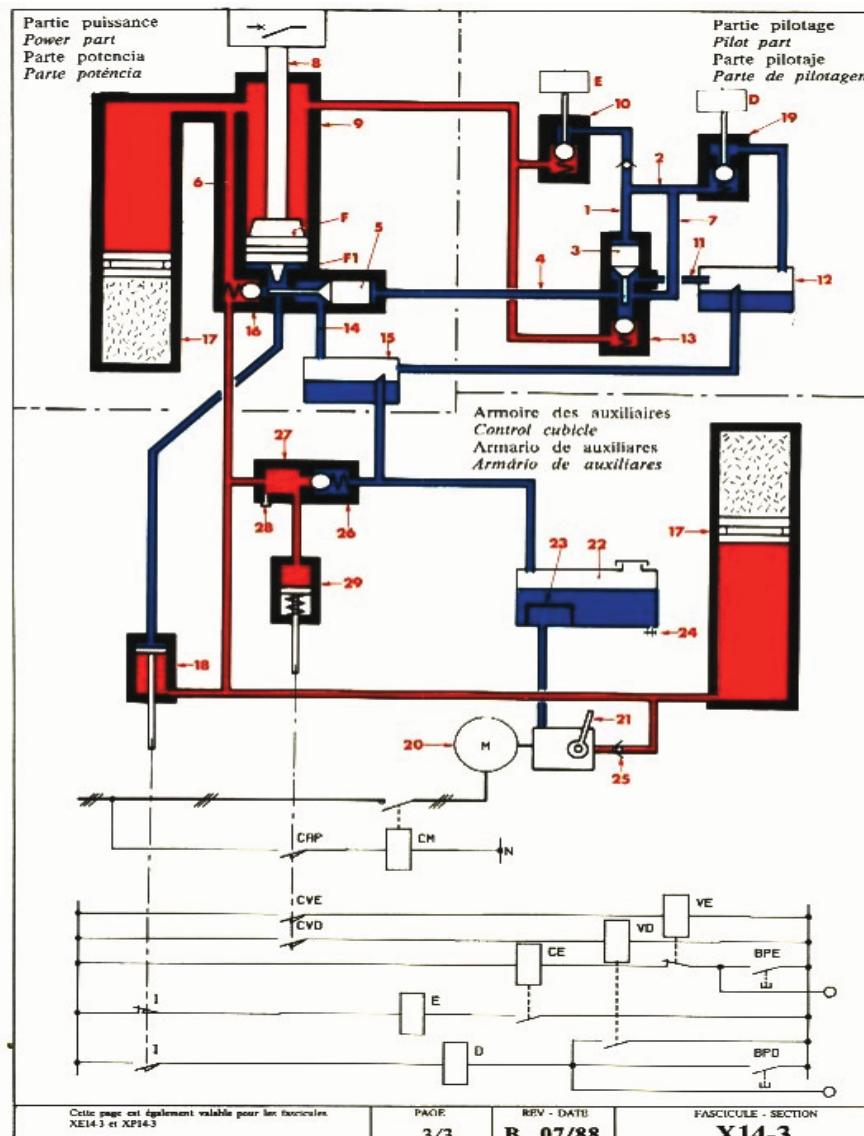
29 : Pressure Switch

Ketiga bagian seperti tersebut pada butir 1 s/d 3 diatas , saling berkaitan satu sama lainya dan saling mendukung. Jika salah satu

komponen/bagian tertentu mengalami kerusakan, maka sistem hydraulic secara keseluruhan tidak dapat berfungsi baik.

### 3. Skematik Diagram Hydraulic Dan Electrical

Skematik diagram sistem hydraulic dan elektrik berikut, merupakan schematic sederhana untuk memudahkan pemahaman cara kerja system hydraulic dan keterkaitannya dengan system elektrik.



Gambar .5. 32 Skematik diagram hydraulic

Cara Kerja :

Pada kondisi PMT membuka/keluar, sistem hidrolik tekanan tinggi tetap pada posisi seperti pada gambar piping diagram, dimana minyak hidrolik tekanan rendah (warna biru) bertekanan sama dengan tekanan Atmosfir dan (warna merah) bertekanan tinggi hingga 360 bar.

Berikut ini akan di jelaskan langkah – langkah kerja sistem hidrolik PMT di maksud.

#### 5.6.3. Penutupan PMT

Pada saat diberikan perintah close/penutupan, Elektromagnet (E) bekerja dan closing pilot valve (10) membuka. Hal tersebut mengakibatkan minyak hidrolik bertekanan tinggi masuk dan mengalir melalui pipa saluran (1),(2) dan (7)

Minyak hidrolik pada pipa saluran (1) mendorong piston (3) dan menutup saluran minyak pada pipa (11) menuju tangki (12). Disisi lain membuka valve (13). Kemudian minyak hidrolik tekanan tinggi masuk ke pipa saluran (4).

Minyak hidrolik pada pipa saluran (4) mendorong piston (5) dan menutup saluran minyak pada pipa (14) menuju tangki (15). Disisi lain , membuka valve (16) dan mengakibatkan minyak hidrolik tekanan tinggi mengalir dari tangki akumulator (17) melalui pipa (6) dan mendorong piston (8), akibatnya stang piston bergerak ke atas dan PMT masuk.

Setelah PMT masuk sempurna , closing valve (10) menutup. Valve (13) dan (16) tetap berada pada posisi membuka sehingga minyak

hidrolik tekanan tinggi pada pipa (1),(2) dan (7) mempertahankan posisi piston (3) dan piston (8).

Selama PMT dalam kondisi masuk , posisi auc kontak (I) , pada posisi sebaliknya , Sehingga closing Elektromagnet (E) tidak kerja dan sementara opening electromagnet (D) siap kerja.

#### 5.6.4. Pembukaan PMT

Pada saat diberikan perintah open (pembukaan) , Elektromagnet (D) kerja dan opening pilot valve (19) membuka, lalu minyak hidrolik yang berada pada pipa saluran (1) , (2) dan (7) mengalir menuju tangki (12) ,akibatnya piston (3) kembali pada posisi awal, sehingga minyak pada pipa saluran (4) mengalir minyak menuju tangki (12).

Valve (13) menutup dan piston (15) kembali pada posisi awal , mengakibatkan Valve utama (16) menutup dan minyak hidrolik tekanan tinggi mengalir menuju tangki (15) melalui pipa saluran (14).

Minyak hidrolik pada ruang ( $F_1$ ) berubah menjadi bertekanan rendah, piston (8) bergerak kebawah dan PMT membuka.

Setelah PMT membuka , Triping pilot valve (19) menutup .Valve (13) dan (16) tetap pada posisi menutup. Selama PMT dalam kondisi keluar , posisi aux kontak (I) berada pada posisi seperti pada gambar sehingga opening elektromagnet (D) tidak kerja dan sementara closing elektromagnet (E) siap kerja.

#### 1.Mekanik jenis pneumatik.

Pada umumnya tujuan pemeliharaan peralatan adalah

untuk mempertahankan kondisi optimal dari peralatan tersebut, sehingga pada gilirannya dapat mempertahankan keandalan dan nilai ekonomis dari peralatan tersebut.

Bila membicarakan system pneumatic pada PMT, maka harus juga dibahas mulai dari kompressor unitnya sampai kepada bagian yang menggerakkan rod untuk fixed dan moving contactnya.

Dalam pelaksanaan pengujian konsumsi udara pada PMT dengan media penggerak mekanis (*operating mechanism*) pneumatic

harus dilakukan percobaan Open-Close – Open (O-C-O) dengan energi yang tersimpan (storage energy) dalam sistem pneumatic PMT tersebut, sehingga PMT tersebut mampu melaksanakan fungsi auto reclose.

Bila melakukan pembukaan atau pengerasan posisi mur – baut agar memperhatikan tingkat kekerasan moment (lihat rekomendasi pabrikan) tidak disarankan menggunakan kunci yang tidak dilengkapi dengan pengukur moment.



Gambar 5.32 proses drainase air yang terkondensasi dari dalam tangki udara

## 2. Mekanik jenis air blast.

PMT dengan sistem udara hembus atau disebut juga dengan Air Blast Circuit Breaker, dalam operasinya PMT jenis ini memerlukan udara tekanan tinggi

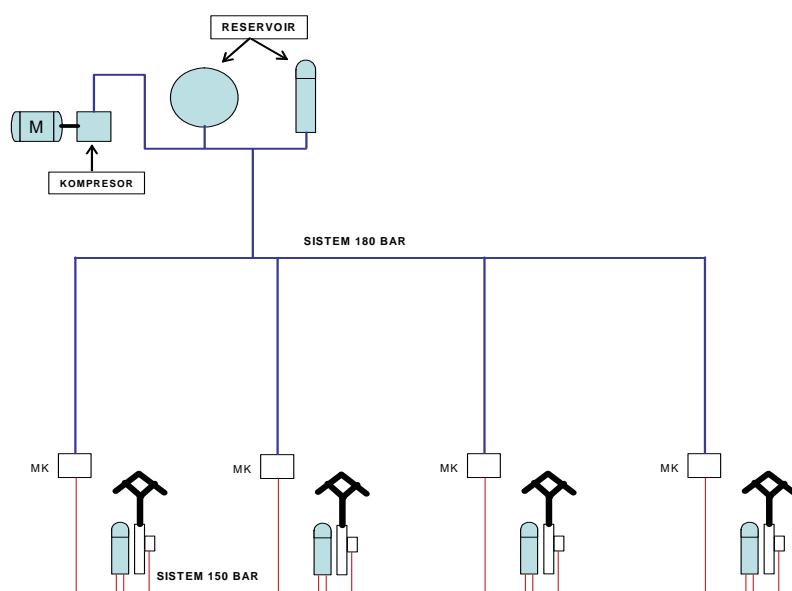
dengan sistem tekanan 180 bar, 150 bar dan 30 bar , fungsi dari udara tekan tersebut adalah sebagai media pemadam busur api pada saat pemutusan arus dan juga

sebagai penyedia energi untuk mekanik penggerak PMT.

### a. Sistem Udara Tekan

Udara tekan dihasilkan oleh sistem kompresor sentral tekanan tinggi dengan output tekanan 180 bar yang ditampung dengan reservoir berbentuk bola dan botol, jumlah kompresor dan reservoir adalah tergantung dari jumlah PMT yang dilayani, Udara tekan 180 bar dari reservoir didistribusikan ke semua Marshalink Kiosk di masing-

masing PMT, dan pada MK tersebut udara tekan 180 bar diturunkan menjadi 150 bar melalui reducing valve, PMT udara hembus bekerja dengan system tekanan 150 bar dan 30 bar, Untuk operasi PMT pada masing-masing pole PMT disediakan botol reservoir untuk tekanan 150 bar, udara tekanan 30 bar didapat dari reducing valve dari 150 bar menjadi 30 bar yang ditempatkan pada control block PMT yang ditempatkan pada pole tengah.



Gambar 5.33 Proses drainase air yang terkondensasi dari dalam tangki udara

Untuk mengetahui Indikasi gas SF<sub>6</sub> dapat dilihat pada tabel 5.2

Tabel 5.2 Indikasi gas SF<sub>6</sub>

Indikasi	keterangan
SF <sub>6</sub> low pressure alarm	Indikasi ini menunjukkan tekanan gas SF <sub>6</sub> pada PMT berkurang , sehingga kontak desity meter akan menutup dan mengirim sinyal ke panel kontrol SF <sub>6</sub> low pressure alarm dan bel berbunyi

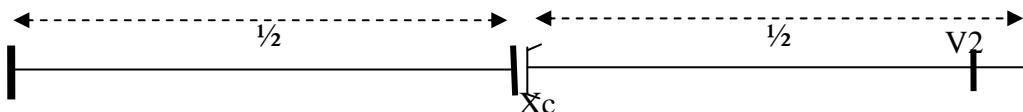
SF 6 low pressure tripping	Indikasi ini menunjukan tekanan gas SF6 pada PMT berkurang ,sehingga kontak density meter akan menutup dan mengirim sinyal trip PMT primer atau sekunder dan mengirim sinyal ke panel kontrol SF 6 low pressure tripping dan bel berbunyi .
Circuit breaker poles discrepancy	Indikasi menunjukan bahwa ada ketidakserempakan fasa –fasa menutup, sehingga rele discrepancy bekerja mengirim sinyal trip ke PMT dan mengirim sinyal ke panel kontrol . Circuit breaker poles discrepancy dan bel berbunyi.
Breaker failure operated	Indikasi menunjukan rele breaker failure bekerja,kontak rele breaker menutup memberi sinyal trip pada PMT dan PMT yang lain yang satu rel(bus) dan mengirim sinyal ke panel kontrol Breaker failure operated dan bel/ klakson berbunyi.
Healty trip 1-2 alarem	Indikasi menunjukan ada gangguan sistem pemantau rangkaian trip PMT melihat ada ketidaknormalan ( coil trip putus,) dan mengirim alarm ke panel kontrol Healty trip 1-2 alarem dan bel berbunyi
SF6 low pressure alarem	Indikasi ini menunjukan bahwa tekanan atau kerapatan gas didalam tabung PMT berkurang,karena bocor atau suhunya turun drastis ,maka kontak menometer atau density menutup dan mengirim sinyal ke panel kontrol SF6 low pressure alarm bel berbunyi
Auto reclose in progress	Indikasi menunjukan rele recloser bekerja ,kontak rele mengirim sinyal ke panel kontrol dengan indikasi Auto reclose in progress bel berbunyi
CB hydraulik pump failure	Indikasi menunjukan motor pompa hidraulik untuk pengisi tekanan hidraulik tidak bekerja, kontak rele /aux .rele mengirim sinyal ke panel kontrol mengiri CB hydraulik pump failure dan bel berbunyi.
CB pressure SF6 failure step 1	Indikasi ini menunjukan bahwa tekanan atau kerapatan gas didalam tabung PMT berkurang,karena bocor atau suhunya turun drastis ,maka kontak menometer atau density menutup dan mengirim sinyal ke panel kontrol CB pressure SF6 failure step 1 bel berbunyi
CB pressure SF6 failure step 2	Indikasi ini menunjukan bahwa tekanan atau kerapatan gas didalam tabung PMT

	berkurang,karena bocor atau suhunya turun drastis ,maka kontak menometer atau density menutup dan mengirim sinyal blok ke PMT dan mengirim sinyal ke panel kontrol CB pressure SF6 failure step 2 bel berbunyi.
CB trip	Indikasi menunjukan PMT trip ,dan kontak bantu PMT mengirim sinyal ke panel kontrol CB trip dan bel berbunyi

### 5.7. Kompensator

Kompensator didalam sistem Penyaluran tenaga Listrik disebut pula alat pengubah fasa yang dipakai untuk mengatur jatuh tegangan pada saluran transmisi atau transformator dengan mengatur daya reaktif atau dapat pula dipakai untuk menurunkan rugi daya dengan memperbaiki faktor daya, alat tersebut ada yang berputar dan ada yang stationer yang berputar adalah kondensator sinkron dan kondensator asinkron sedang yang stationer adalah kondensator statis dan reaktor

shunt, yang berputar baik yang dipakai fasa terdahulu ( Leading ) atau terbelakang ( lagging) dapat diatur secara kintinyu, tetapi alat ini sangat mahal dan pemeliharaannya rumit sedangkan di PLN belum terpasang sehingga dalam tulisan ini tidak dibahas lebih lanjut, alat yang stationer sekarang banyak dipakai , tegangannya mudah diatur dengan penyetelan daya reaktif secara bertingkat mengikuti perluasan sistem tenaga listrik. Alat yang stationer adalah kapasitor shunt dan reaktor shunt.



Gambar 5.34. Kompensator

Kapasitor Terdapat beberapa kompensator yang dihubungkan secara serie antara kapasitor dengan transmisi, hal ini bertujuan untuk melawan arah dari effek hubungan serie dari raktansi induktif dari pada transmisi

Peningkatan kualitas tegangan atau faktor daya disisi pemakai tenaga listrik dapat dilakukan baik dari sisi pembangkit dengan

pengaturan arus medan magnit maupun dari sisi pemakai yaitu dengan pengaturan daya reaktif. Pengaturan arus medan magnit sangat dibatasi oleh kapasitas nominal pembangkit itu sendiri , jika beban mempunyai komponen induktif yang relatif lebih besar dibandingkan dengan komponen kapasitif maka untuk memperbaiki faktor kerja dibutuhkan daya reaktif

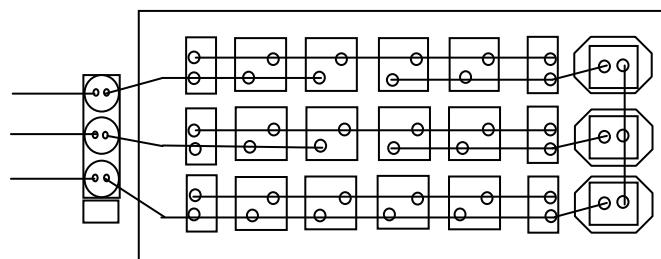
kapasitif , sedangkan untuk beban komponen kapasitif reaktif lebih

besar dibandingkan dengan komponen induktif maka untuk memperbaiki faktor kerja diperlukan daya reaktif induktif untuk menkompensir daya reaktif kapasitif.

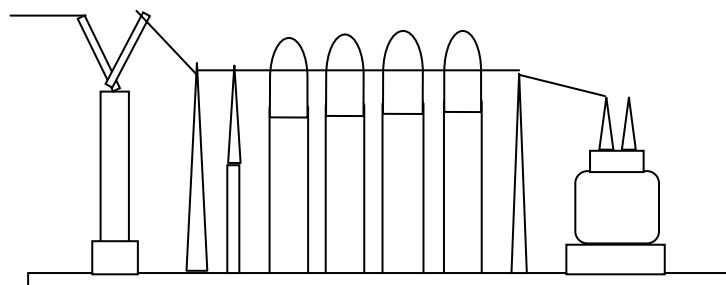
### 5.7.1. Kapasitor Shunt

Sebagai unit, ada kapasitor 1 phasa dan kapasitor 3 phasa. Pada saluran distribusi dipakai kapasitor

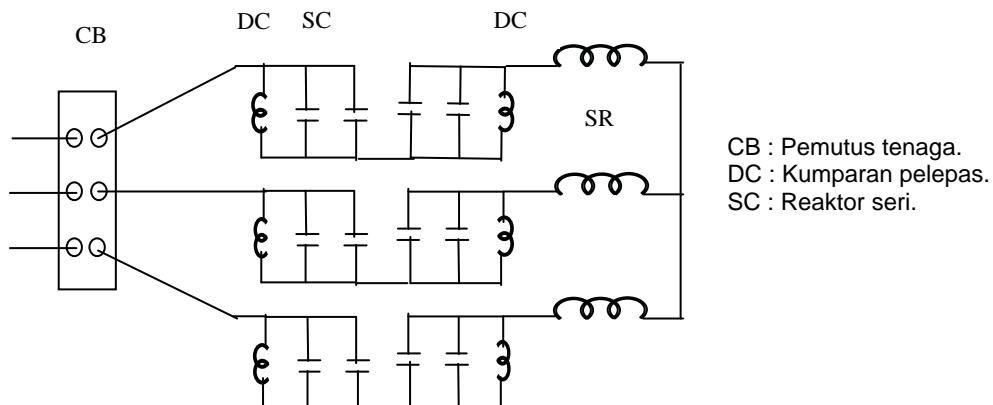
3 phasa, sedangkan pada sistem tegangan tinggi dan kapasitasnya besar dipakai kapasitor 1 phasa yang dihubungkan secara bintang. Gambar 5.35 menunjukkan suatu susunan kapasitor yang terdiri dari kapasitor itu sendiri , reaktor seri yang berfungsi untuk menjaga agar susunan kapasitor tetap induktif. Dan komponen pelepas yang berfungsi menghilangkan muatan listrik pada susunan kapasitor saat kapasitor dilepas untuk maksut pemeliharaan.



Gambar 5.35 Pemasangan Kapasitor Shunt



Gambar 5.36 : Kapasitor Shunt.



Gambar 5.37 Pemasangan Kapasitor pada sistem

### 1. Parameter unjuk kerja kapasitor.

Untuk mengetahui Parameter unjuk kerja kapasitor dapat dilihat pada tabel 5.3

Tabel 5.3 Parameter unjuk kerja kapasitor

MVAR Meter	berfungsi untuk mengukur daya reaktif.
KV Meter	berfungsi untuk mengukur tegangan kapasitor.
Ampere Meter	berfungsi untuk mengukur arus kapasitor
Indikator Unbalance rele	indikasi ini akan muncul apabila unbalance rele bekerja yang disebabkan terjadinya kerusakan salah satu unit kapasitor.

### 5.7.2. Reaktor

Ada dua macam reactor, Reaktor shunt dipasang untuk kompensator transmisi dan Reaktor netral untuk kompensator transformator, dibandingkan dengan transformator getaran dan suara dengungnya lebih besar oleh karena itu pada umumnya

kepadatan flux inti besinya dibuat rendah , dengan tidak mengabaikan segi ekonomisnya. Selain itu dipakai tangki tahan suara yang berdinding rangkap, Untuk pendinginan pada umumnya dipakai dengan minyak yang dipaksa dan udara yang ditiup.

Untuk mengetahui Indikasi relai dapat dilihat pada tabel 5.4

Tabel 5.4 Indikasi gas SF 6

MVAR Meter	berfungsi untuk mengukur daya reaktif.
Buchholz relai.	Berfungsi untuk mengamanan reactor timbulnya gas didalam minyak isolasi, sebagai pengaman reaktor relai ini dilengkapi dua tingkat monitor yaitu

	tingkat pertama warning dan tingkat kedua mentripkan PMT.
Magnetik Oil Level.	Berfungsi untuk memonitor ketinggian minyak, pada minimum atau maksimum oil level akan muncul tanda peringatan (warning ).
Presure Relief Device.	Berfungsi mengamankan tangki reactor apabila terjadi tekanan lebih didalam tangki, alat ini akan mentripkan pemutus tenaga pada tekanan 0.7 bar
Oil temperature indicator	untuk mengukur suhu minyak rector , pada suhu 95 °C warning dan pada suhu 130 °C mentripkan pemutus tenaga
Winding temperature indicator	untuk mengukur suhu lilitan , pada suhi 115 °C warning dan pada suhu 130 °C mentripkan pemutus tenaga
Gas collecting device	untuk mengetahui apabila terjadi produksi gas didalam minyak isolasi
Silicagel breather for conservator	apabila silicagel sudah berubah berwarna merah muda maka sudah berubah berwarna merah muda maka sudah tidak dapat lagi menyerap kelembaban dan silicagel harus diganti

## 5.8. Peralatan Scada dan Telekomunikasi.

Sejarah Sistem Power Line Carrier (PLC). Sistem Power Line Carrier (PLC) mulai ditetapkan di Amerika Serikat sejak tahun 1920-an dan pada tahun 1919 pertama kali didemonstrasikan penggunaannya oleh General Electric Co. Pertama kali PLC digunakan hanya untuk komunikasi suara saja dan baru pada tahun 1930 digunakan pula untuk mengatur relai-relai proteksi. Setelah empat puluh lima tahun masa pengoperasiannya, PLC dapat digunakan untuk penyediaan kanal-kanal transmisi data.

Di Indonesia sistem PLC mulai dioperasikan di Jawa Timur, selanjutnya di Jawa Barat, Jawa Tengah, Sumatera Barat dan Sumatera Utara. Sejak tahun 1975 sistem PLC di Indonesia mulai

dikembangkan penggunaannya untuk pengoperasian relai-relai proteksi dan tahun 1980-an mulai digunakan untuk transmisi data yang dihubungkan perangkat komputer.

### 5.8.1. Prinsip Dasar PLC

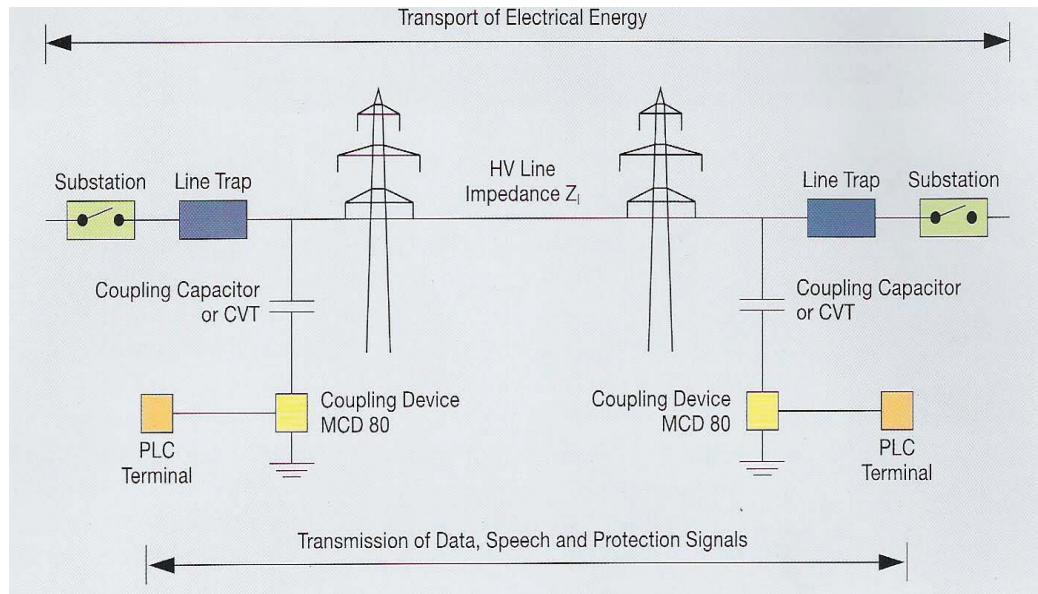
Sistem PLC yang digunakan oleh suatu perusahaan listrik menggunakan Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) dan Saluran Udara Ekstra Tinggi (SUTET) sebagai media transmisinya. Dalam PLC, sinyal yang dikirimkan atau disalurkan adalah komunikasi suara dan komunikasi data serta tele proteksi. Sistem PLC menggunakan frekuensi 50 KHz sampai dengan 500 KHz.

Pada dasarnya sistem PLC adalah jaringan radio yang

dihubungkan oleh jaringan listrik yang bertindak sebagai antenanya. Yang diperlukan dalam PLC adalah hantarannya dan bukan tegangan yang terdapat pada penghantar tersebut.

Oleh sebab itu bila penghantar tak bertegangan maka PLC akan tetap berfungsi asalkan penghantar

tersebut tidak terputus. Dengan demikian diperlukan peralatan yang berfungsi memasukkan dan mengeluarkan sinyal informasi dan energi listrik di ujung-ujung penghantar. Gambar blok diagram PLC seperti terlihat pada gambar 4.38.



Gambar 5.38. Blok Diagram PLC

### 5.8.2. Peralatan Kopling

Untuk memungkinkan konduktor saluran tegangan tinggi digunakan sebagai media perambatan sinyal informasi, maka dibutuhkan suatu peralatan kopling yang berfungsi: Melalukan suatu bidang frekuensi pembawa dari terminal PLC kesaluran tegangan tinggi dan sebaliknya, dengan

mengusahakan rugi-rugi redaman sinyal serendah mungkin.

Melindungi peralatan komunikasi dari tegangan yang berlebihan. Memberikan impedansi tinggi terhadap frekuensi pembawa yang berfrekuensi tinggi agar tidak dipengaruhi oleh peralatan yang terdapat pada gardu induk



Gambar 5.39. Coupling Device

### 5.8.3. Kapasitor Kopling

Kapasitor kopling tegangan tinggi adalah sebagai alat penghubung antara peralatan sinyal pembawa yang berfrekuensi tinggi dengan konduktor kawat fasa yang bertegangan tinggi, serta untuk keperluan pengukuran yang bertegangan rendah.

Secara fisik alat ini terdiri atas susunan beberapa elemen kapasitor mika/kertas yang dihubungkan secara seri serta dicelupkan/direndam kedalam minyak. Sebagai tempat kedudukan elemen dan minyak tadi, dibuat dari bahan dielektrik porcelin yang berbentuk silinder dan bagian porcelin tadi dibuat semacam sayap-sayap yang tersusun untuk mencegah mengalirnya secara langsung curah hujan dari sisi tegangan tinggi kesi si tegangan rendah atau ke tanah yang bias

mengakibatkan terjadinya hubungan singkat.

Penampang dari kapasitor kopling yang mendekati bentuk fisiknya dengan susunan kapasitor didalamnya dihubungkan dengan peralatan potensial transformer. Kapasitor jenis ini dikenal dengan sebutan Capacitor Voltage Transformer (CVT) yang digunakan untuk keperluan pengukuran tegangan yang dihubungkan dengan voltmeter di panel kontrol.

Besarnya tegangan output yang dihasilkan dari lilitan sekunder trafo adalah 220 V yang merupakan konversi dari besaran tegangan tingginya. Untuk keperluan PLC hanya kondensatornya saja yang diperlukan sedangkan peralatan potensial transformer untuk keperluan tenaga listrik.

Suatu kapasitor memiliki sifat berimpedansi rendah untuk

frekuensi tinggi dan berimpedansi tinggi untuk frekuensi rendah. Atas dasar itulah maka kapasitor kopling disini berfungsi meneruskan frekuensi tinggi yang dihasilkan dari terminal PLC dan bemblok frekuensi jala-jala 50 Hz yang membawa energi listrik. Jika masih ada frekuensi 50 Hz yang melalui kapasitor kopling akan dibuang ketanah melalui peralatan pengaman. Besar kapasitas dari kapasitor tersebut tergantung dari kelas tegangan saluran transmisi tenaga listrik yang digunakan.

#### 5.8.4. Wave Trap

Tugas utama dari alat ini adalah kebalikan dari kapasitor kopling yaitu untuk meredam sedemikian rupa sehingga frekuensi tinggi yang membawa informasi tidak disalurkan atau mengalir ke peralatan gardu induk.

Untuk dapat melaksanakan tugas tersebut maka impedansi

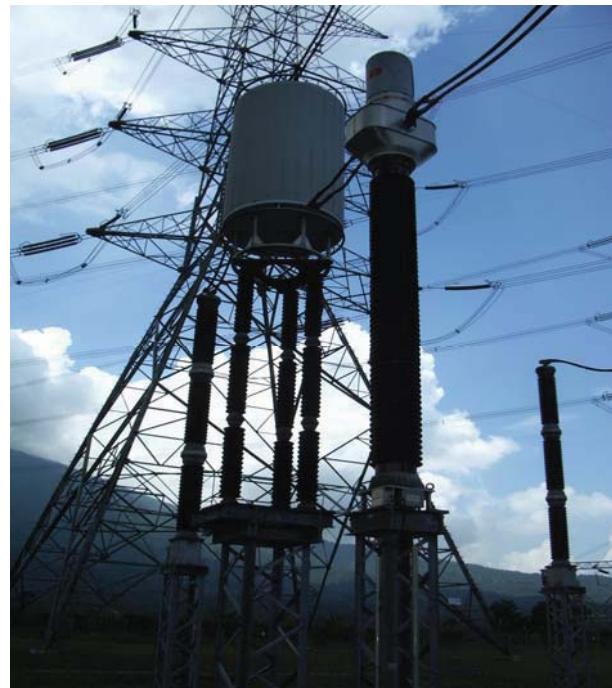
wave trap harus dapat melewatkannya frekuensi rendah 50-60 Hz yang membawa arus listrik dan harus mempunyai sifat berimpedansi tinggi terhadap frekuensi tinggi yang membawa sinyal informasi.

Karena wave trap dipasang seri dengan kawat saluran udara tegangan tinggi, maka harus mampu dialiri arus listrik yang sesuai dengan kemampuan arus dari kawat tersebut. Selain itu juga harus tahan terhadap tekanan-tekanan baik berupa panas maupun mekanis yang timbul karena mengalirnya arus kerja yang besar atau karena adanya arus hubung singkat yang mungkin terjadi.

Berdasarkan kelas arusnya wave trap ini mempunyai kapasitas arus yang bermacam-macam diantaranya : 200 A, 400 A, 600 A, 800 A, 1250 A, 2000 A, dan 3500 A.



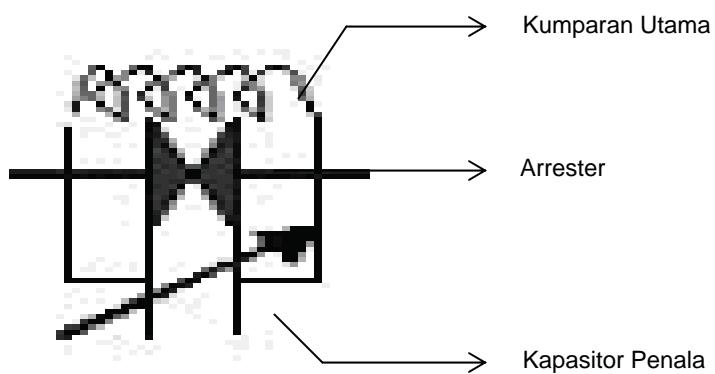
Gambar 5.40. Wave Trap 150 kV



Gambar 5.41. Wave Trap 500 kV

#### 5.8.5. Prinsip Kerja Dasar Wave Trap

Prinsip kerja dasar yang digunakan adalah suatu rangkaian L–C paralel, yang terdiri dari tiga macam komponen seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 4.42 Diagram Rangkaian Wave Trap

Dari rangkaian di atas akan dapat suatu bentuk kurva impedansi terhadap fungsi frekuensi. Untuk menentukan frekuensi resonansi agar dapat meredam frekuensi dari terminal PLC yang sudah tertentu, maka dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi LC}$$

dimana:  $F_0$  = Frekuensi kerja PLC

L = Induktansi (Henry)

C = kapasitansi (Farad)

Untuk membentuk frekuensi resonansi tersebut, maka suatu nilai dari kapasitor penala dapat diketahui berdasarkan rumus di atas. Jadi dalam hal ini yang dilakukan penyetelan hanya kapasitornya saja, sedangkan kumparannya mempunyai harga tetap.

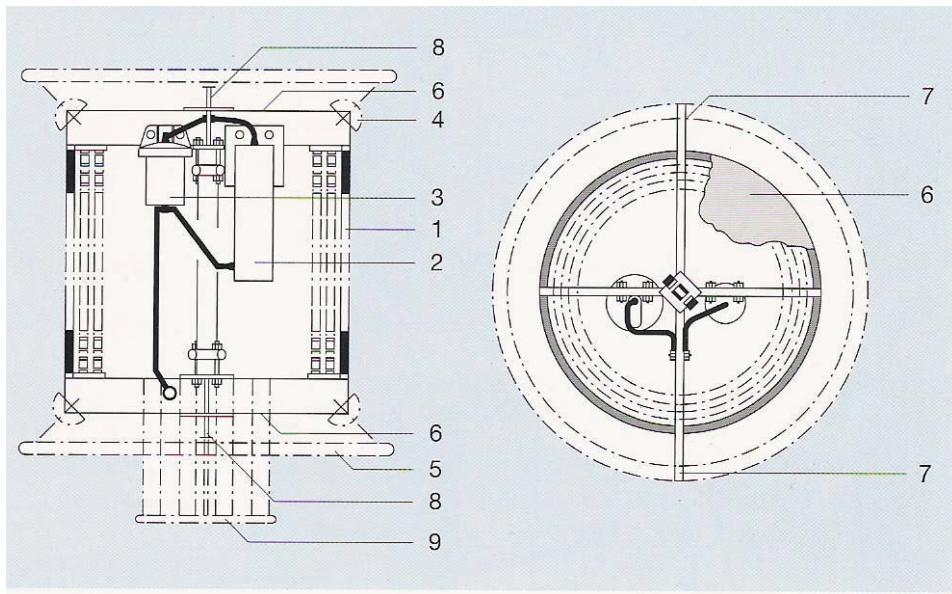
Nilai induktansi tergantung dari kebutuhan lebar bidang frekuensi

yang akan diredam. Nilai induktansi yang banyak dipakai adalah 0,2 mH, 0,3 mH, 0,4 mH, 0,5 mH, dan 1 mH. Tegangan tembus dari kapasitor penala biasanya cukup tinggi yaitu antara 7.000 V dan 20.000 V, sedangkan kapasitor penala terdiri dari elemen yang berbeda-beda nilainya : 1,2 nF, 3,5 nF, 7 nF, 10 nF, 16 nF dan 24 nF. Dari keenam nilai elemen ini dapat membuat bermacam-macam kapasitas sesuai yang dikehendaki dengan cara merangkainya secara seri atau paralel.

Sebagai pengaman kapasitor penala dan kumparan dari pengaruh adanya petir dan gangguan hubung singkat ke tanah pada saluran, maka dipasang arrester yang dihubungkan secara paralel. Faktor-faktor lain yang harus diperhitungkan adalah nilai impedansi dan resistansi wave trap harus lebih besar dari impedansi saluran yaitu antara 300 sampai dengan 600 ohm agar tidak terjadi rugi-rugi sinyal pada saluran



Gambar 5.43. Wave Trap



Gambar 5. 44. Wave trap

- |   |   |
|---|---|
| 1. Main coil<br>2. Tuning device<br>3. Protective device<br>4. Corona caps<br>5. Corona rings | 6. Bird barries<br>7. Terminal<br>8. Lifting eye<br>9. Pedestal |
|---|---|

#### 5.8.6. Line Matching Unit (LMU)

Pada dasarnya penggunaan line matching unit adalah untuk menghubungkan kapasitor kopling yang berimpedansi 300-600 Ohm dengan terminal PLC yang berimpedansi 75 Ohm.

Fungsi line matching unit yaitu:

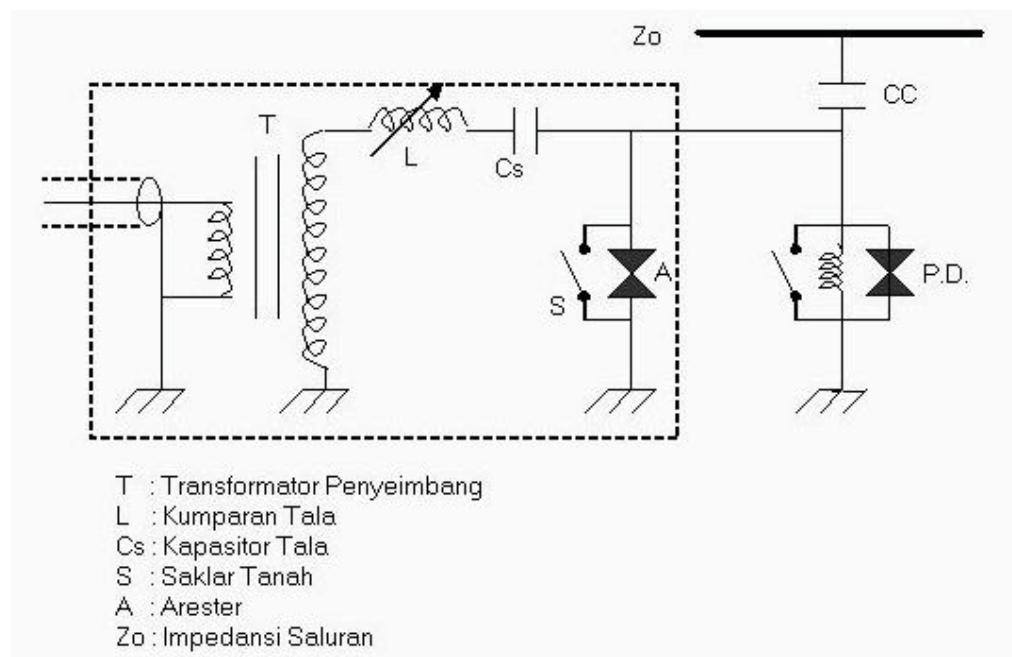
- Menyesuaikan karakteristik impedansi saluran dengan impedansi coaxial yang menuju terminal PLC.
- Mengatur agar reaktansi kapasitif dari kapasitor kopling memberikan beban resistif bagi

alat pemancar sinyal pembawa tersebut.

c Untuk dapat melaksanakan fungsi di atas, peralatan line matching unit dilengkapi dengan komponen sebagai berikut:

- Transformator penyeimbang.
- Kumparan.
- Peralatan pengaman.
- Kondensator.
- Hybrid.

Sebagai salah satu contoh, berikut ini gambar yang memperlihatkan type LMU



Gambar 5.45. LMU Untuk 1 Macam Frekuensi

Transformer T berfungsi sebagai transformator penyeimbang impedansi saluran tegangan tinggi ( $Z_0$ ) dan kabel coaxial. Kumparan induktansi L dan kapasitor frekuensi tinggi  $C_s$  adalah untuk memberikan beban resistif terhadap gelombang pembawa. Besarnya induktansi L dapat diatur sedemikian rupa

sehingga reaktansi induktif dari L ( $X_L$ ) akan saling meniadakan dengan reaktansi kapasitif yang diberikan oleh kapasitor kopling ( $X_C$ ). Kapasitor  $C_s$  berfungsi pula meredam frekuensi 50 Hz dari kopling agar tidak mengalir melalui kumparan L.



Gambar 5.46. Line Matching Unit

### 5.9 . Peralatan Pengaman (Protection Device)

Protection device terdiri dari komponen sebagai berikut:

- a. Drain Coil  
Berfungsi untuk menyalurkan ke tanah atau membuang ke tanah arus 50 Hz yang masih terdapat di bagian bawah atau tegangan rendah dari kapasitor
- b. Kopling.  
Karena Frekuensi tinggi dari terminal PLC tidak boleh

dibuang ke tanah oleh drain coil ini maka, alat ini harus mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Resistansi untuk arus DC harus lebih kecil dari  $6 \Omega$ .

Resistansi 50 Hz harus lebih kecil dari  $15 \Omega$ .

Resistansi pada frekuensi 40 s/d 500 kHz harus lebih besar dari  $5 \text{ k}\Omega$ .

Mampu dialiri arus permanen 1 A dan arus hubung singkat sebesar 50 A selama 0,2 detik.



Gambar 5.47 Kurva Impedansi Drain Coil

### 5.8.1. Lightning Arester

Untuk pengamanan terhadap gangguan petir, tegangan lebih yang tiba-tiba, maka dipasang arrester dengan batas kerja 350V.

#### a. Pemisah Tanah

Untuk pengaman bila petugas akan melakukan pemeliharaan.

#### b. Peralatan Power Line Carrier Indoor (Terminal PLC)

Disebut peralatan PLC indoor karena perangkat ini terpasang didalam ruangan khusus telekomunikasi pada gardu induk/pembangkit.

Pada prinsipnya terminal PLC merupakan perangkat radio yang terdiri dari rangkaian pemancar dan penerima serta rangkaian penguat. Sistem catu daya yang digunakan pada umumnya 48 VDC dengan kutub positif diketanahkan. Sesuai dengan kebutuhan komponen elektroniknya yang bertegangan kerja berbeda-beda, maka

diperlukan pengubah tegangan searah dari 48 V ke 24 V dan 12 V, sedangkan tegangan 48 V digunakan untuk rangkaian penguat.

Daya pancar PLC umumnya terdiri dari 10 W, 20 W, dan 40 W. Dalam hal khusus untuk saluran yang panjang sekali sehingga redaman cukup besar, maka dipasang terminal PLC dengan daya pancar 160 W.

Sistem modulasi yang digunakan adalah single side band dengan dua kali modulasi yaitu frekuensi perantara sebesar 16 kHz, 17 kHz, atau 20 kHz dan modulasi kedua yaitu frekuensi pembawanya sesuai dengan frekuensi kerja PLC antara 50-500 kHz.

Lebar bidang frekuensi yang diperlukan untuk satu kanal PLC adalah 8 kHz, dimana 4 kHz untuk pemancar dan sisanya untuk penerima. Bidang 4 kHz adalah bidang frekuensi standard untuk mengirimkan informasi suara manusia.

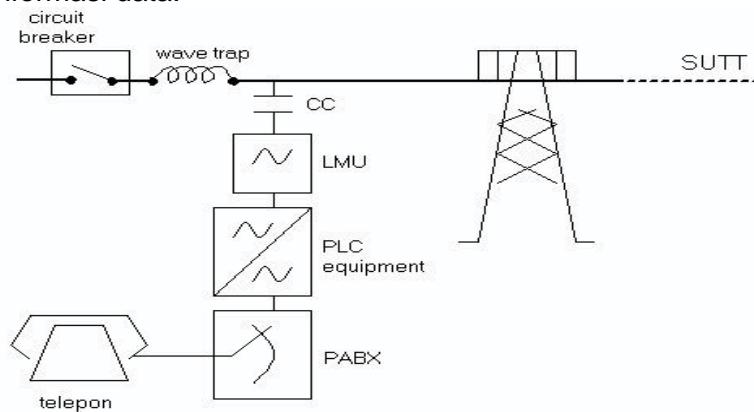
## 5.10. Aplikasi PLC

Penerapan sistem PLC digunakan sebagai media dari:

Komunikasi suara (telepon).

Teleproteksi.

Tele informasi data.



Gambar 5.48. Pengiriman Sinyal Suara

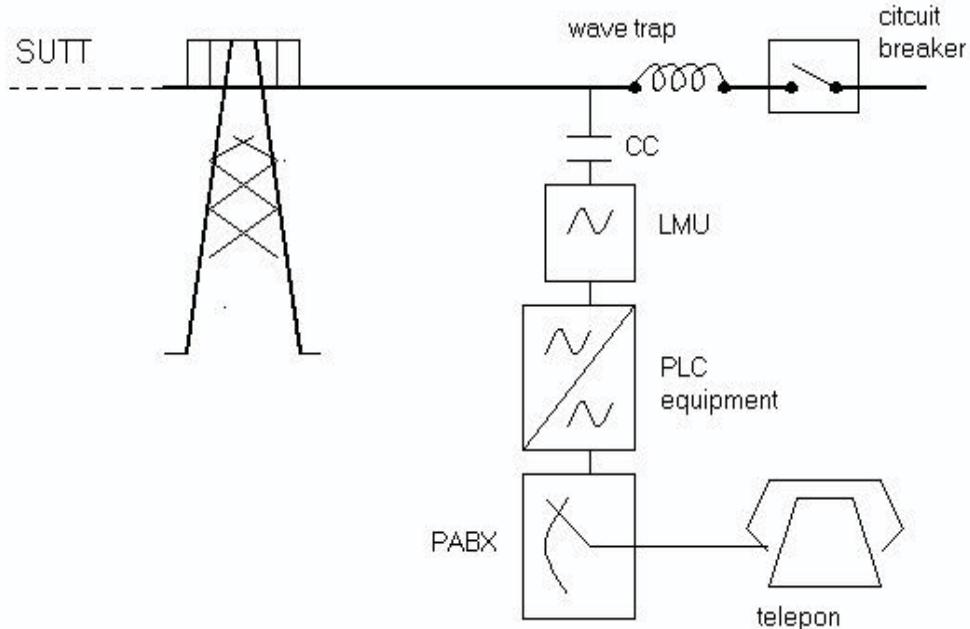
### 5.10.1. Komunikasi Suara

#### a. Sistem Pengiriman Sinyal

Apabila handset pesawat telepon diangkat, maka akan terdengar tone sebagai tanda bahwa pemakai telepon siapuntuk melaksanakan penekanan nomor ke gardu induk yang dituju, dimana

pengaturannya diatur oleh PABX (Private Automatic Branch Exchange). Keluar dari PABX diteruskan ke SSB PLC yang berfungsi sebagai medianya yang selanjutnya ke terminal lawan setelah melalui LMU dan SUTT .

## Sistem Penerimaan Sinyal



Gambar 4.49 Penarimaan Sinyal Suara

Sinyal akan diterima oleh SSB PLC yang sebelumnya melalui jaringan SUTT dan LMU. Oleh SSB PLC diteruskan ke PABX, yang berfungsi mengevaluasi ke pesawat telefon yang dituju dari gardu induk lawan.

### 5.10.2. Penggunaan Kanal Suara

Dengan lebar bidang pada kanal suara sebesar 1.700 Hz yaitu diantara 300 Hz sampai 1.200 Hz, masih cukup baik untuk menransmisikan informasi suara manusia sehingga tidak akan merubah nada si pembicara.

Karena suara manusia tidak tetap, maka sinyal amplitude akan berubah-ubah pula. Agar amplitude tidak tidak melewati batas pada bagian pemancarnya, maka pada kanal suara dilengkapi dengan

pembatas amplitudo yang biasa disebut limitter.

### 5.10.3. Teleproteksi Protection Signalling

Peralatan teleproteksi PLC adalah merupakan alat bantu untuk dapat memberikan percepatan (transfer time) secara selektif pada peralatan proteksi rele jarak. Pada dasarnya prinsip kerja teleproteksi PLC ini adalah memberikan kontak yang diterima dari rele jarak suatu gardu induk untuk diteruskan ke rele jarak gardu induk lawannya dengan melalui jaringan PLC.

Percepatan yang diperoleh pada perangkat ini adalah maximum 20 miliditik dengan pengertian bahwa diharapkan terjadi tripping di kedua lokasi secara bersamaan.

Kontak-kontak dari peralatan teleproteksi PLC ini dapat

digunakan tergantung pada kebutuhan sistem proteksi, apakah untuk sistem intertripping atau blocking scheme. Kontak-kontak tersebut dapat dibuat sebagai normaly open (kontak kerja), normaly closed (kontak lepas) atau change over (kontak tukar).

Media transmisi mengambil tempat didalam frekuensi telepon (suara). PLC adalah media transmisi spesifik yang cocok untuk tele proteksi, dimana: PLC menggunakan SUTT sebagai media transmisinya, pembagian menggunakan bandwidth 4 KHz nya digunakan untuk perangkat telepon dan sinyal. Suatu sinyal dengan daya cukup besar memungkinkan dapat dipancarkan PLC (SSB) selama instruksi berlangsung. Secara objektifitas, instruksi yang ditransmisikan dalam suatu alokasi band dengan tingkat keandalan dan keamanan yang tinggi, kriteria-kriterianya adalah sebagai berikut:

Bebas dari pengaruh instruksi palsu yang disebabkan noise level dan berubahnya tingkat atenuasi pada link, presentase yang rendah terhadap instruksi yang tidak sempurna pada saat noise link, kecepatan pendeksiyan penerima terhadap gangguan. Hal ini dimaksudkan agar tercapainya keadaan terbaik antara keperluan bandwidth dan transfer time disatu pihak, keamanan dan keandalan dilain pihak.

#### **5.10.4. Remute terminal unit (RTU) Tipe EPC 3200.**

Pada keadaan hidup / ON tipe RTU ini diindikasikan dengan bunyi suara berderak (seperti suara Jangkkrik). Pada keadaan berkomunikasi dengan Master Station di RCC / JCC (Regional Control Center / Java Control Center) pada Modem MD 50, LED Indikator TX dan RX menyala secara bergantian. Pada keadaan TIDAK berkomunikasi dengan Master Station di RCC / JCC (Regional Control Center / Java Control Center) Modem MD 50, LED Indikator TIDAK menyala secara bergantian. (biasanya hanya LED RX saja yang menyala).

Bila RTU tidak menerima sinyal RX dari media komunikasi (PLC / FO) maka pada modem MD 50, LED Indikator warna merah akan menyala. (LED warna kuning mengindikasikan bahwa MD 50 pada kondisi normal)

Bila pada RTU tidak ada satu indicator pun yang menyala, maka dapat dipastikan pasokan daya dari DCDB atau dari MCB pada kubikel RTU, jatuh / putus.

##### **a. Tipe S-900.**

Pada keadaan berkomunikasi dengan Master Station di RCC / JCC (Regional Control Center / Java Control Center) pada Modem MD 50, LED Indikator TX dan RX menyala secara bergantian. (Modem pada tipe S900 terletak pada bagian paling atas RTU).

Pada keadaan TIDAK berkomunikasi dengan Master Station di RCC / JCC (Regional

Control Center / Java Control Center ) pada Modem MD 50, LED Indikator TIDAK menyala secara bergantian. ( biasanya hanya LED RX saja yang menyala.

Bila RTU tidak menerima sinyal RX dari media komunikasi ( PLC / FO ) maka pada modem MD 50, LED Indikator warna merak akan menyala.

Langkah-langkah yang diperlukan sesuai perintah dan dapat dilakukan oleh operator GI /Gitet adalah :

- Check Power Supply 48 Vdc pada terminal DC.
- Check tahanan isolasi
- Reset RTU secara program dengan cara : Pada Card tipe MP 49 ( terletak pada paling kiri atas ), posisi micro switch berwarna BIRU dikeataskan dan dikebawahkan kembali.
- Check tegangan Output pada Card AI 01 dan Card AI 02 yang terletak pada sebelah kanan setiap rak RTU. Pada Card-card

ini masing-masing terdapat 2 (dua) LED indicator yang dalam keadaan normal keduanya akan menyala.

- Reset RTU secara manual dengan cara : melakukan switch off atau mematikan dan menghidupkan kembali melalui MCB yang terdapat di kubikel RTU atau pada MCB pada DCDB yang memasok RTU.

### **5.11. Simbul-simbul yang ada pada Gardu Induk.**

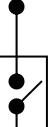
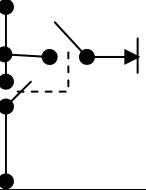
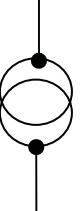
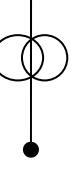
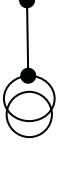
Bagan kutub tunggal di gambarkan dengan simbol-simbol yang mewakilkan bentuk dan fungsi setiap peralat yang tersedia seperti dijelaskan sbb:

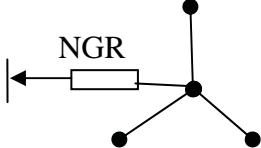
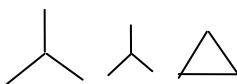
Single line diagram gardu induk adalah bagan kutub tunggal yang menjelaskan sistem kelistrikan pada gardu induk secara sederhana sehingga memudahkan mengetahui kondisi dan fungsi dari setiap bagian peralatan instalasi yang terpasang, untuk operasi maupun pemeliharaan

### **Simbul-simbul yang ada pada Gardu induk**

Untuk mengetahui Simbul-simbul yang ada pada Gardu induk dapat dilihat pada tabel 5.1

Tabel 5.1 Simbul-simbul yang ada pada Gardu induk

No	simbol	keterangan
1		Pemutus Tenaga (PMT) berfungsi sebagai alat untuk memutus dan menyambung arus beban baik pada kondisi normal maupun gangguan.
2		Pemisah (PMS) berfungsi sebagai alat untuk memisahkan peralatan dari tegangan. Terdiri dari pemisah tegangan (PMS REL & PMS Line) dan pemisah pentahanan.
3		Transformator Tenaga adalah Transformator yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya.
4		Transformator Arus (CT) adalah trafo instrument yang berfungsi untuk merubah arus besar menjadi arus kecil sehingga dapat diukur dengan Amper meter.
5		Transformator Tegangan/Potensial (PT) adalah trafo instrument yang berfungsi untuk merubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah sehingga dapat diukur dengan Volt meter.

6		Netral Grounding Resistor (NGR) adalah alat bantu untuk pengaman peralatan Trafo tenaga, bila terjadi hubung singkat pada sistem sekunder.
7		Vektor group adalah hubungan kumparan tiga fasa sisi primer, sekunder dan tertier yang dijelaskan dengan angka pada jam.

### 5.11. Rele Proteksi dan Annunsiator

Rele proteksi yaitu alat yang bekerja secara otomatis untuk mengamankan suatu peralatan listrik dari akibat gangguan, atau dengan kata lain yaitu untuk:

Menghindari atau mengurangi terjadinya kerusakan peralatan akibat gangguan.

Membatasi daerah yang terganggu sekecil mungkin.

Memberikan pelayanan penyaluran tenaga listrik dengan mutu dan keandalan yang tinggi.

#### Simbul dan kode rele Proteksi

Untuk mengetahui Simbul dan kode rele Proteksi dapat dilihat pada tabel 5.2

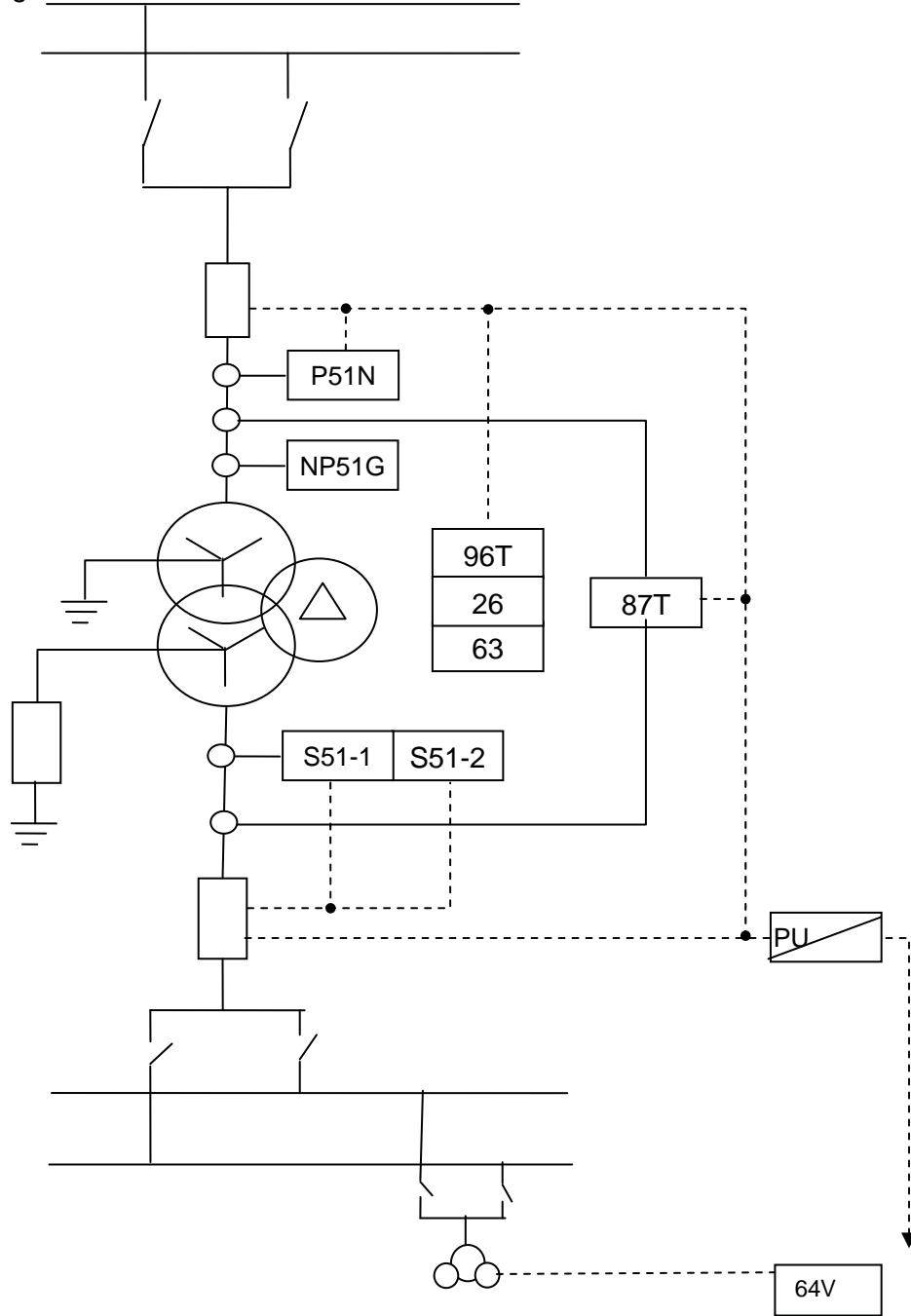
Tabel 5.2 Simbul dan kode rele Proteksi

NO	NAMA RELE	SIMBOL	K O D E
1.	RELE jarak ( Distance relai )	Z <	21
2.	RELE tegangan kurang ( Under voltage relai )	U <	27
3.	RELE suhu ( Thermis relai )	I 	49
4.	Over current RELE instantaneous	I >	50
5.	RELE arus lebih dengan waktu tunda ( Time over current relai )	I >	51
6.	RELE tegangan lebih ( Over voltage relai )	U >	59
7.	RELE waktu tunda ( Time auxillirary relai )		62
8.	RELE tekanan gas ( Gas pressure relai )	P	63
9.	RELE hubung tanah ( Ground fault relai )		64
10.	RELE arus lebih berarah ( Directional over current relai )	-	67

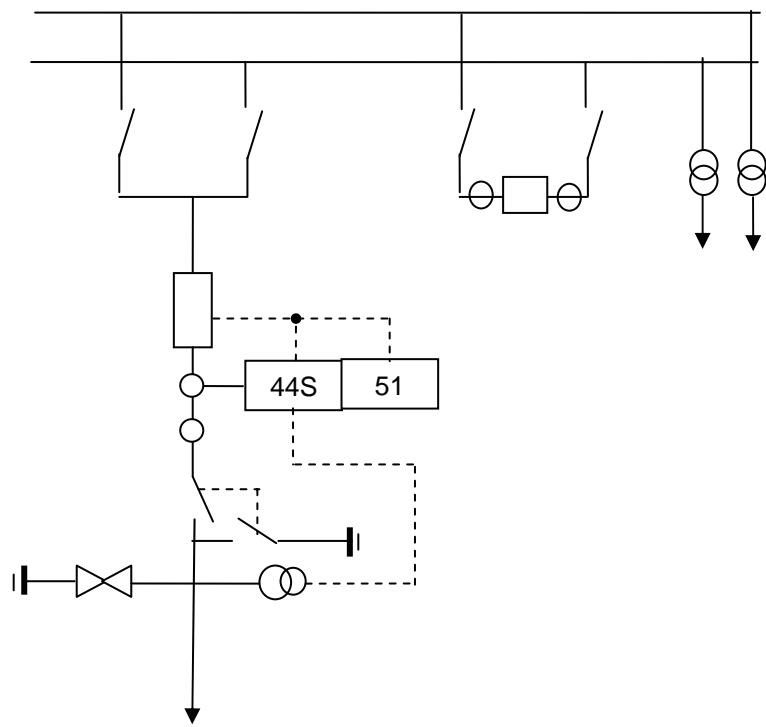
11.	RELE penutup balik ( Reclosing relai )		79
12.	RELE frekwensi ( freqwency relai )	f	81
13.	RELE differensial ( Differential relai )	$\Delta I$	87
14.	RELE bucholtz ( Bucholtz relai )		96

### Proteksi Penyaluran Tenaga Listrik

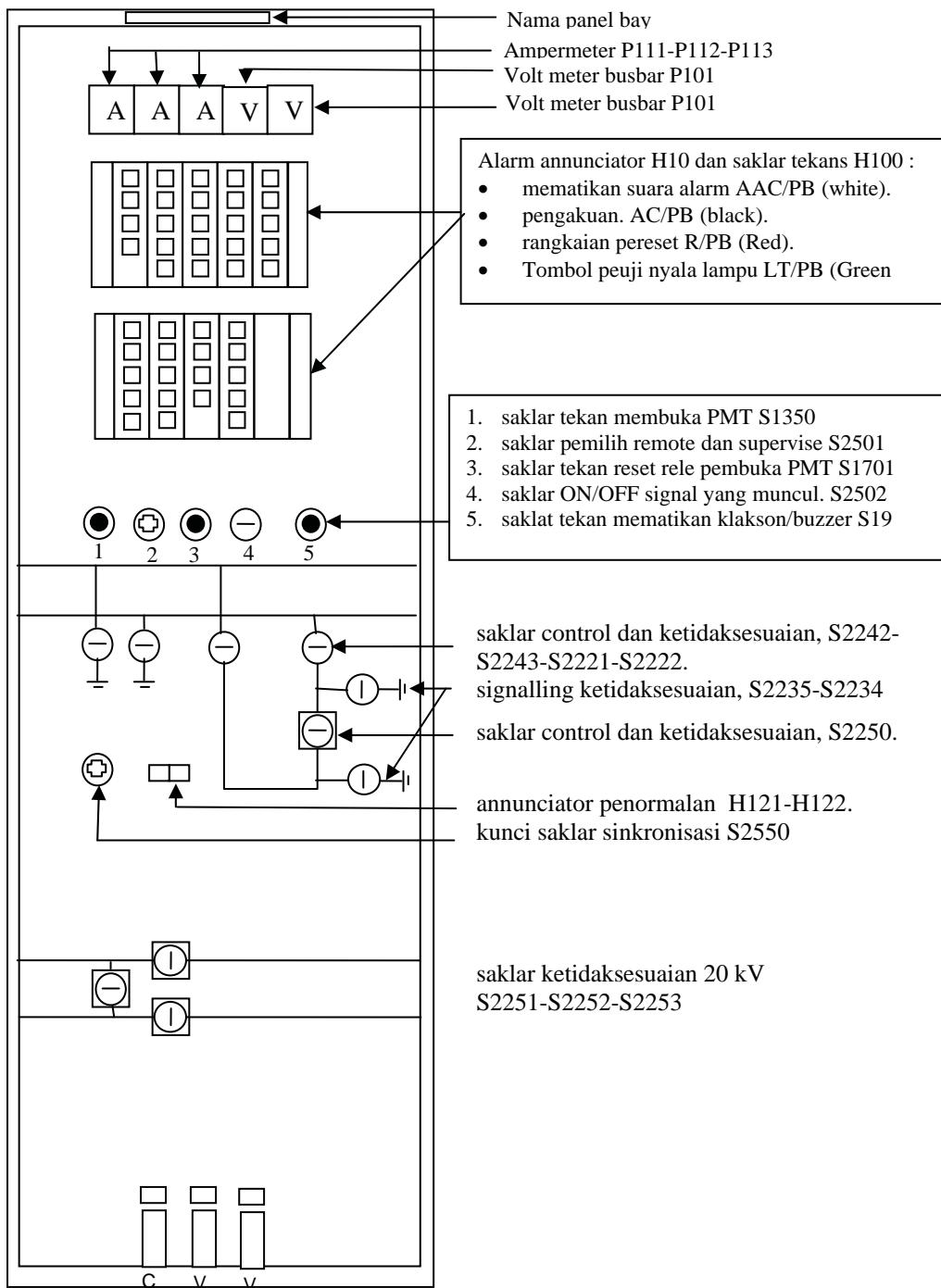
Peralatan listrik yang perlu diamanakan ( diproteksi ) antara lain sebagai berikut : Trafo tenaga.



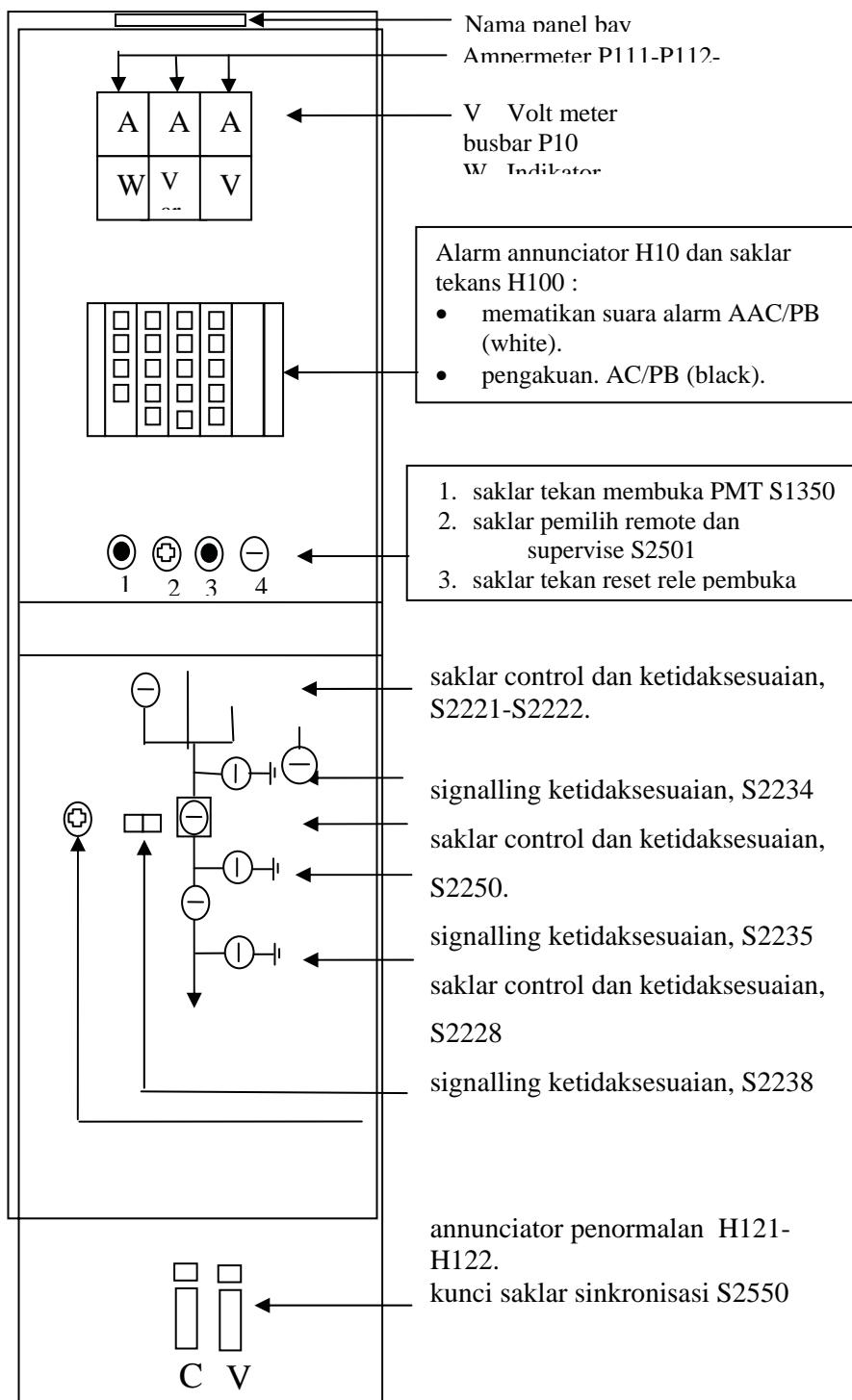
Gambar 5.50 : single line diagram trafo lengkap dengan system proteksi Bay Penghantar dan koppel.



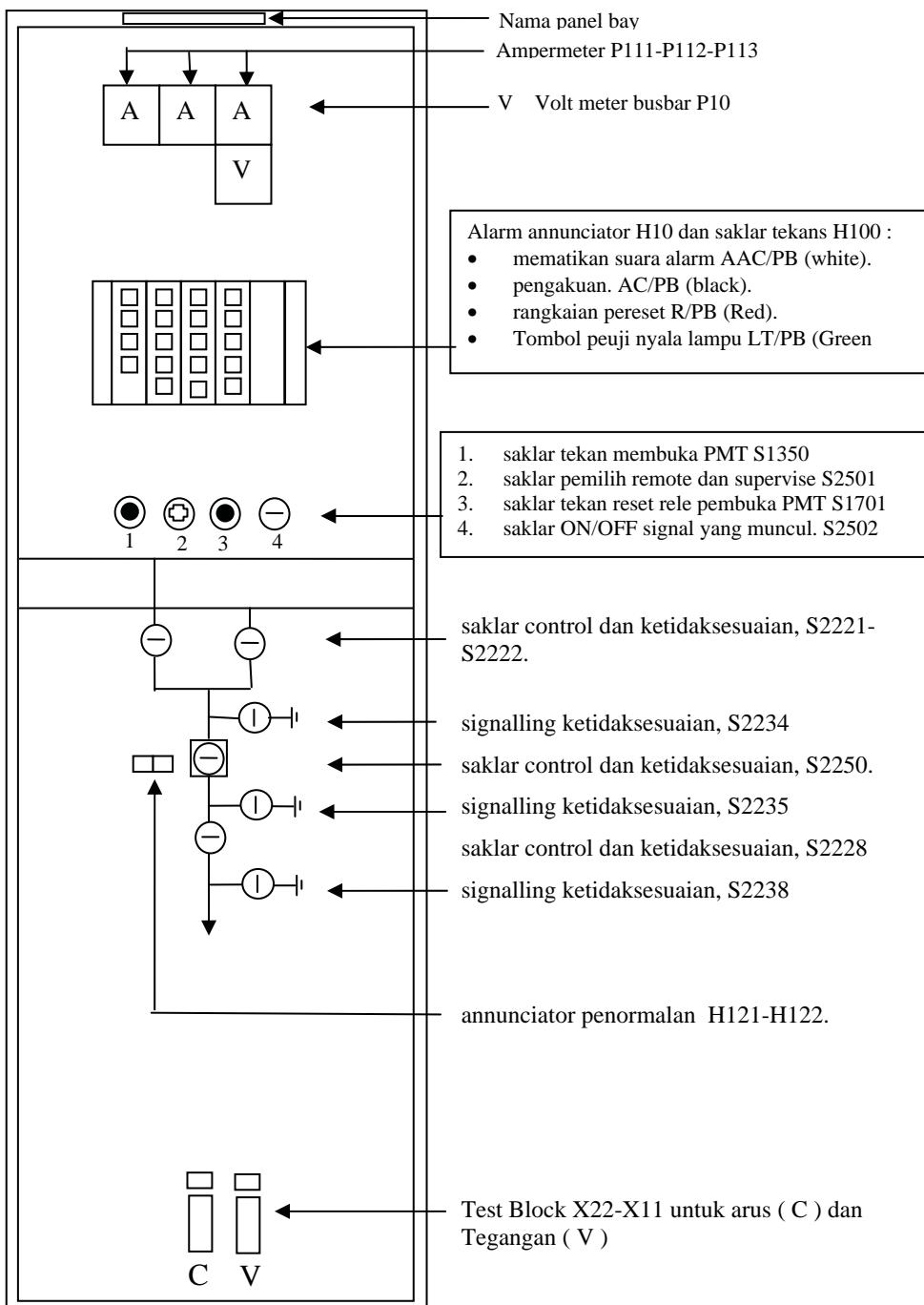
Gambar 5.51 : single line diagram bay pengahantar dan bay Koppel lengkap dengan system proteksi  
 Peralatan Kontrol dan Proteksi.  
 Panel Kontrol.  
 Bay Koppel dengan manual/synchrochek.



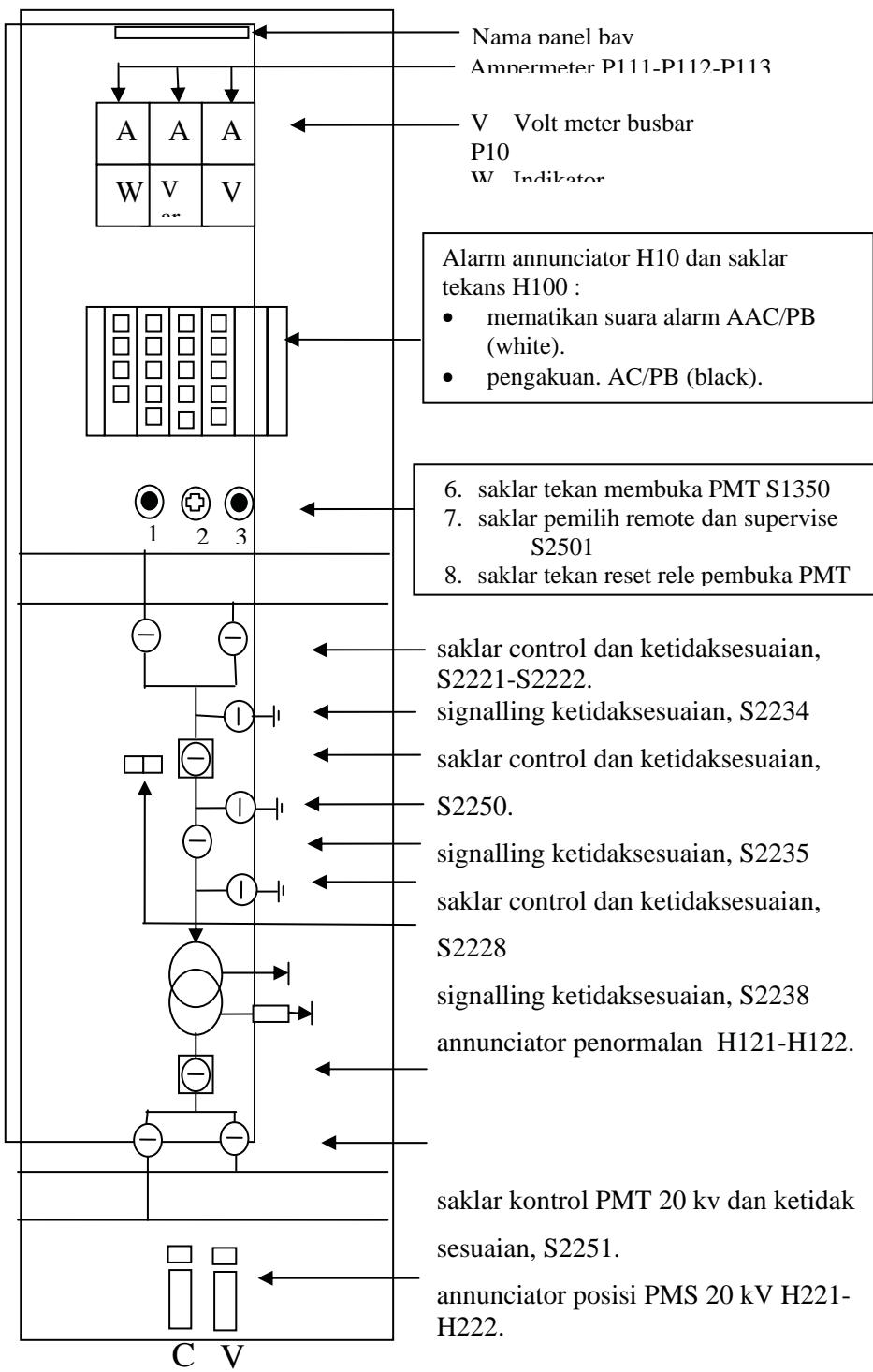
Gambar 5.52. Peralatan Kontrol dan Proteksi



Gambar 5.53. Peralatan Kontrol dan Proteksi



Gambar 5.54. Peralatan Kontrol dan Proteksi



Gambar 5.55. Peralatan Kontrol dan Proteksi

## BAB VI

### SISTIM PENTANAHAN TITIK NETRAL

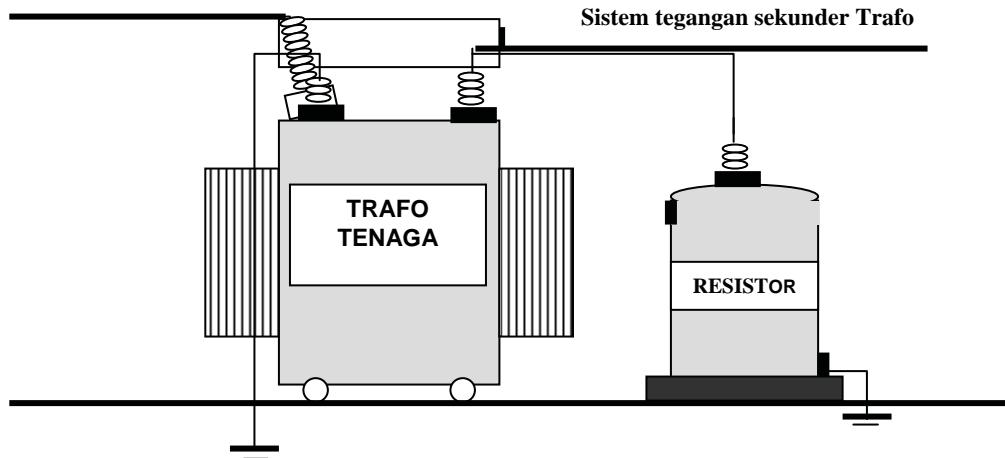
#### 6. 1. Sistem pentanahan titik netral

Pada saat sistem tenaga listrik masih dalam skala kecil, gangguan hubung singkat ke tanah pada instalasi tenaga listrik tidak merupakan suatu masalah yang besar. Hal ini dikarenakan bila terjadi gangguan hubung singkat fasa ke tanah arus gangguan masih relatif kecil (lebih kecil dari 5 Amper), sehingga busur listrik yang timbul pada kontak-kontak antara fasa yang terganggu dan tanah masih dapat padam sendiri. Tetapi dengan semakin berkembangnya sistem tenaga listrik baik dalam ukuran jarak (panjang) maupun tegangan, maka bila terjadi gangguan fasa ke tanah arus gangguan yang timbul akan besar dan busur listrik tidak dapat lagi padam dengan sendirinya.

Timbulnya gejala-gejala “busur listrik ke tanah (*arching ground*)” sangat berbahaya karena menimbulkan tegangan lebih transient yang dapat merusak peralatan.

Apabila hal diatas dibiarkan, maka kontinuitas penyaluran tenaga listrik akan terhenti, yang berarti dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar. Oleh karena itu sistem-sistem tenaga listrik tidak lagi dibuat terapung (*floating*) yang lajim disebut sistem delta, tetapi titik netralnya ditanahkan melalui tahanan, reaktor dan ditanahkan langsung (*solid grounding*). Pentanahan itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator daya ke tanah, seperti dicontohkan pada gambar 6.1. berikut.

Sistem tegangan primer Trafo



Gambar 6.1. Contoh Pentanahan Titik Netral Sistem.

## 6.2. Tujuan Pentanahan Titik Netral Sistem

Adapun tujuan pentanahan titik netral sistem adalah sebagai berikut :

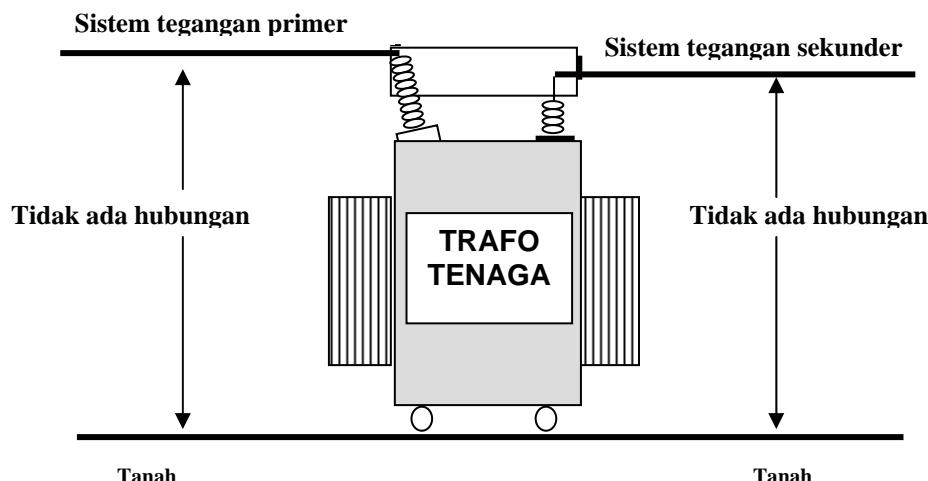
1. Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
2. Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
3. Meningkatkan keandalan (*reliability*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
4. Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang

disebabkan oleh penyalakan bunga api yang berulang-ulang (restrike ground fault).

5. Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.

### 6.2.1. Sistem Yang Tidak Ditanahkan (*Floating Grounding*)

Suatu sistem dikatakan tidak dikenakan tanah (*floating grounding*) atau sistem delta. Jika tidak ada hubungan galvanis antara sistem itu dengan tanah, untuk jelasnya dapat dilihat pada gambar 6. 2 berikut :



Gambar 6. 2 Contoh Sistem yang Tidak ditanahkan

## 6.2.2. Metoda Pentanahan Titik Netral

Metoda-metoda pentanahan titik netral sistem tenaga listrik adalah sebagai berikut

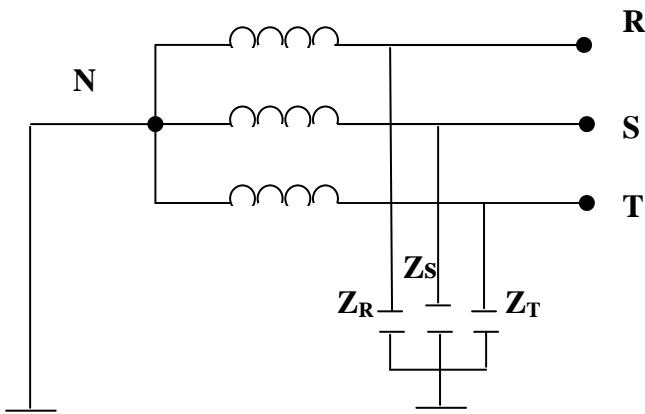
- ❑ Pentanahan melalui tahanan (*resistance grounding*)
- ❑ Pentanahan melalui reaktor (*reactor grounding*)

- ❑ Pentanahan langsung (*effective grounding*)
- ❑ Pentanahan melalui reaktor yang impedansinya dapat berubah-ubah (*resonant grounding*) atau pentanahan dengan kumparan Petersen (*Petersen Coil*).

### 6.3. Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi (Pentanahan Langsung/*Solid Grounding*)

Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netral sistem

dihubungkan langsung dengan tanah, tanpa memasukkan harga suatu impedansi (perhatikan gambar 6.3)



Gambar 6.3 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral Tanpa Impedansi (Pentanahan Langsung/*Solid Grounding*)

Pada sistem ini bila terjadi gangguan phasa ke tanah akan selalu mengakibatkan terganggunya saluran (line outage), yaitu gangguan harus di isolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuan pentanahan titik netral secara langsung adalah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan fasa ke tanah.

Keuntungan :

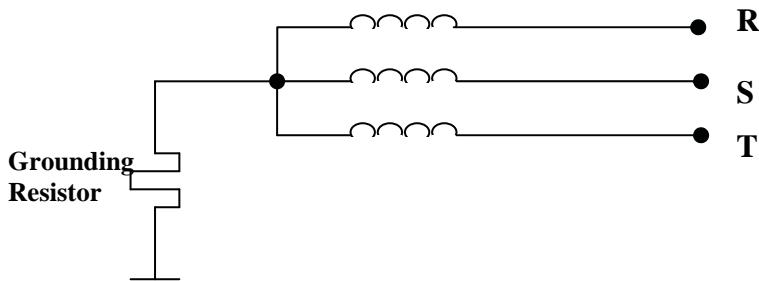
- Tegangan lebih pada phasa-phasa yang tidak terganggu relatif kecil
- Kerja pemutus daya untuk melokalisir lokasi gangguan dapat dipermudah, sehingga letak gangguan cepat diketahui
- Sederhana dan murah dari segi pemasangan

Kerugian :

- setiap gangguan phasa ke tanah selalu mengakibatkan terputusnya daya
- arus gangguan ke tanah besar, sehingga akan dapat membahayakan makhluk hidup didekatnya dan kerusakan peralatan listrik yang dilaluinya

### 6.4 Pentanahan Titik Netral Melalui Tahanan (*resistance grounding*)

Pentanahan titik netral melalui tahanan (*resistance grounding*) dimaksud adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan (*resistor*), sebagai contoh terlihat pada gambar 6.3 dan rangkaian pengganti ditunjukkan pada gambar 6.4



Gambar 6.4 Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral melalui Tahanan (Resistor)

Pada umumnya nilai tahanan pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi sistem pada tempat dimana tahanan itu dipasang. Sebagai akibatnya besar arus gangguan fasa ke tanah pertama-tama dibatasi oleh tahanan itu sendiri. Dengan demikian pada tahanan itu akan timbul rugi daya selama terjadi gangguan fasa ke tanah.

Secara umum harga tahanan yang ditetapkan pada hubung netral adalah :

$$R = \frac{V_f}{I} \text{ Ohm}$$

dimana :

$R$  = Tahanan ( Ohm )

$V_f$  = Tegangan fasa ke netral

$I$  = Arus beban penuh dalam Ampere dari transformator.

Dengan memilih harga tahanan yang tepat, arus gangguan ketanah dapat dibatasi sehingga harganya hampir sama bila gangguan terjadi disegala tempat didalam sistem bila tidak terdapat titik pentanahan lainnya. Dalam menentukan nilai tahanan pentanahan akan

menentukan besarnya arus gangguan tanah.

Besarnya tahanan pentanahan pada sistem tenaga listrik (contohnya di PLN P3B Jawa Bali Region Jabar), adalah sebagai berikut :

- Sistem 70 kV sebesar 62 Ohm
- Sistem 20 kV sebesar 12 Ohm atau 42 Ohm.

Jenis pentanahan (Resistor) yang dipakai adalah jenis logam (*metallic resistor*) atau jenis cairan (*liquid resistor*), perhatikan gambar 6. 5, 6.6, 6.7 dan 6. 8



Gambar 6.5. Pentanahan



Gambar 5.6 Resistor Jenis Logam  
(metallic resistor)



Gambar 5.7 Resistor Jenis



Gambar 5.8. Resistor Jenis Cairan  
(liquid resistor)

Pantanahan titik netral melalui tahanan (*resistance grounding*) mempunyai keuntungan dan kerugian yaitu :

- Keuntungan :

- ❑ Besar arus gangguan tanah dapat diperkecil
- ❑ Bahaya gradient voltage lebih kecil karena arus gangguan tanah kecil.
- ❑ Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

- Kerugian :

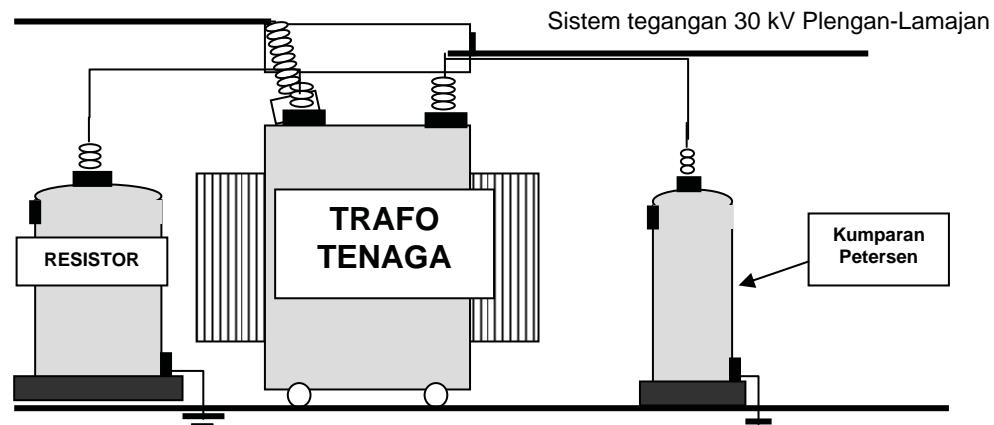
- ❑ Timbulnya rugi-rugi daya pada tahanan pantanahan selama terjadinya gangguan fasa ke tanah.
- ❑ Karena arus gangguan ke tanah relatif kecil, kepekaan rele pengaman menjadi berkurang dan lokasi gangguan tidak cepat diketahui.

## 6.5.Pentanahan Titik Netral Melalui Kumparan Petersen

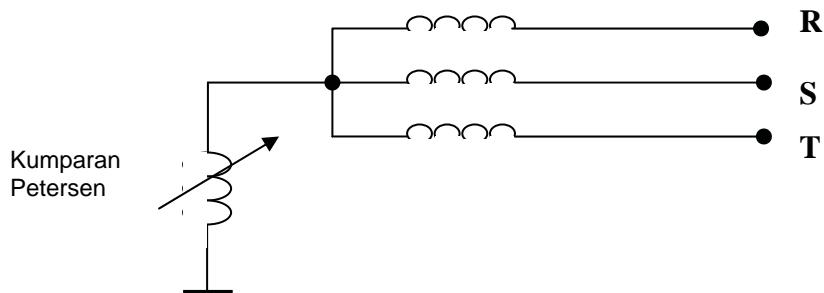
Sistem pentanahan dengan kumparan Petersen adalah dimana titik netral dihubungkan ke tanah melalui kumparan Petersen (*Petersen Coil*). Kumparan Petersen ini mempunyai harga reaktansi ( $X_L$ ) yang dapat diatur

dengan menggunakan tap gambar 6.9. memperlihatkan petersen coil yang terpasang di PT PLN (Persero) P3B Region Jawa Barat, yaitu pada sistem 30 kV Plengan-Lamajan. Rangkaian pengganti sistem pentanahan dengan kumparan Petersen ditunjukkan pada gambar 6.10.

Sistem tegangan 70 kV



Gambar 6. 9. Contoh Pemasangan Pentanahan Titik Netral dengan Kumparan Petersen.



Gambar 6 10 .Rangkaian Pengganti Pentanahan Titik Netral dengan Kumparan Petersen

Pada hakekatnya tujuan dari pentanahan dengan kumparan Petersen adalah untuk melindungi sistem dari gangguan hubung

singkat fasa ke tanah yang sementara sifatnya (*temporary fault*), yaitu dengan membuat arus gangguan yang sekecil-kecilnya

dan pemadaman busur api dapat terjadi dengan sendirinya. Kumparan Petersen berfungsi untuk memberi arus induksi ( $I_L$ ) yang mengkonpensir arus gangguan, sehingga arus gangguan itu kecil sekali dan tidak membahayakan peralatan listrik yang dilaluinya. Arus gangguan ke tanah yang mengalir pada sistem sedemikian kecilnya sehingga tidak langsung mengerjakan relai gangguan tanah untuk membuka pemutusnya (PMT) dari bagian yang terganggu. Dengan demikian kontinuitas penyaluran tenaga listrik tetap berlangsung untuk beberapa waktu lamanya walaupun sistem dalam keadaan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, yang berarti pula dapat memperpanjang umur dari pemutus tenaga (PMT).

Sebaliknya sistem pentanahan dengan kumparan Petersen ini mempunyai kelemahan, yaitu sulit melokalisir gangguan satu fasa ke tanah yang bersifat permanen dan biasanya memakan waktu yang lama. Gangguan hubung singkat yang permanen itu dapat mengganggu bagian sistem yang lainnya. Oleh karena itu hubung singkat tersebut tetap harus dilokalisir dengan menggunakan relai hubung singkat ke tanah (*Ground fault relay*).

Pentanahan titik netral melalui kumparan Petersen mempunyai keuntungan dan kerugian yaitu :

- Keuntungan :

- ❑ Arus gangguan dapat dibuat kecil sehingga tidak berbahaya bagi mahluk hidup.

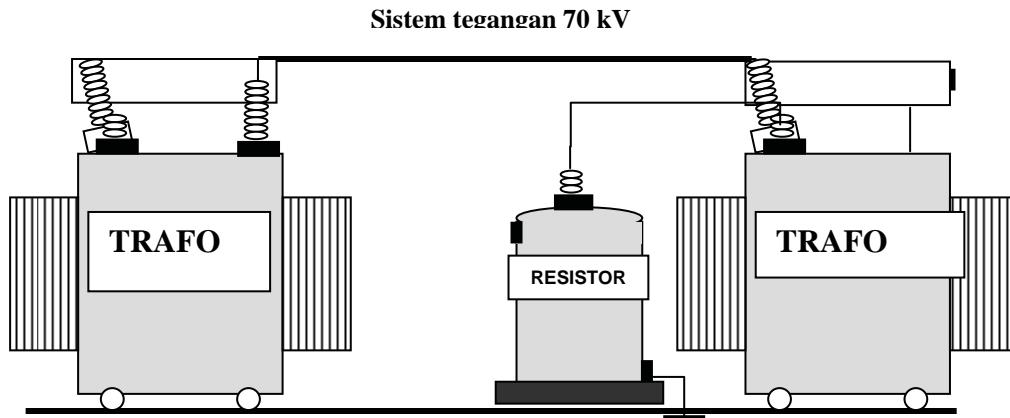
- ❑ Kerusakan peralatan sistem dimana arus gangguan mengalir dapat dihindari.
- ❑ Sistem dapat terus beroperasi meskipun terjadi gangguan fasa ke tanah.
- ❑ Gejala busur api dapat dihilangkan.

- Kerugian :

- ❑ Relai gangguan tanah (*ground fault relay*) sukar dilaksanakan karena arus gangguan tanah relatif kecil.
- ❑ Tidak dapat menghilangkan gangguan fasa ke tanah yang menetap (permanen) pada sistem.
- ❑ Operasi kumparan Petersen harus selalu diawasi karena bila ada perubahan pada sistem, kumparan Petersen harus disetel (*tuning*) kembali.

## 6.6. Transformator Pentanahan

Bila pada suatu sistem tenaga listrik tidak terdapat titik netral, sedangkan sistem itu harus diketanahkan, maka sistem itu dapat ditanahkan dengan menambahkan “Transformator Pentanahan” (*grounding transformer*), contoh gambar pemasangan Trafo Pentanahan seperti ditunjukkan pada gambar 6.11. berikut :



Gambar 6.11 Contoh Pemasangan Trafo Pentanahan

Transformer pentanahan itu dapat terdiri dari transformator Zig-zag atau transformator bintang-segitiga ( $Y-\Delta$ ). Trafo pentanahan yang paling umum digunakan adalah transformator zig-zag tanpa belitan sekunder.

#### **6.7. Penetapan Sistem Pantanahan di Indonesia Sistem 150 KV**

Pantanahan netral sistem 150 KV beserta pengamannya ditetapkan sebagai berikut:

1. Pantanahan netral untuk sistem ini adalah pantanahan efektif. Penambahan reaktansi pada netral sistem ini dimungkinkan selama persyaratan pantanahan efektif dipenuhi ( $X_0/X_1 \leq 3$ )
2. Pengaman sistem dilaksanakan dengan pemutus cepat dan penutup cepat

#### **Sistem 66 KV**

Pantanahan netral sistem ini beserta pengamannya ditetapkan sebagai berikut :

1. Pantanahan netral untuk sistem ini adalah pantanahan dengan tahanan Pengaman Sistem Dilaksanakan Sebagai Berikut :

- a. Bagi saluran udara maupun saluran dalam tanah dipakai pemutus dengan rele arus lebih untuk gangguan hubung singkat fasa ke fasa dan rele tanah untuk gangguan hubung singkat fasa ke tanah. Pada gardu distribusi dipasang penunjuk gangguan.
- b. Bagi saluran udara dipakai pula penutup cepat atau lambat, sedang bagi saluran

- dalam tanah tidak dipakai penutup kembali.
- c. Selanjutnya berdasarkan SPLN 26:1980 telah ditetapkan besar tahanan pentanahan sebagai berikut
- 1). Tahanan rendah 12 ohm dan arus gangguan tanah maksimum 1000 ampere dipakai pada jaringan kabel tanah.
  - 2). Tahanan rendah 40 ohm dan arus gangguan maksimum 300 ampere dipakai pada jaringan saluran udara dan campuran saluran udara dengan kabel tanah
  - 3). Tahanan tinggi 500 ohm dan arus gangguan maksimum 25 ampere dipakai pada saluran udara

Khusus untuk sistem fasa tiga, empat kawat, pengetanahan dilakukan tanpa impedansi dan banyak titik (*multiple grounding*).

Sistem 275 kV PT Inalum dan Sistem 500 kV

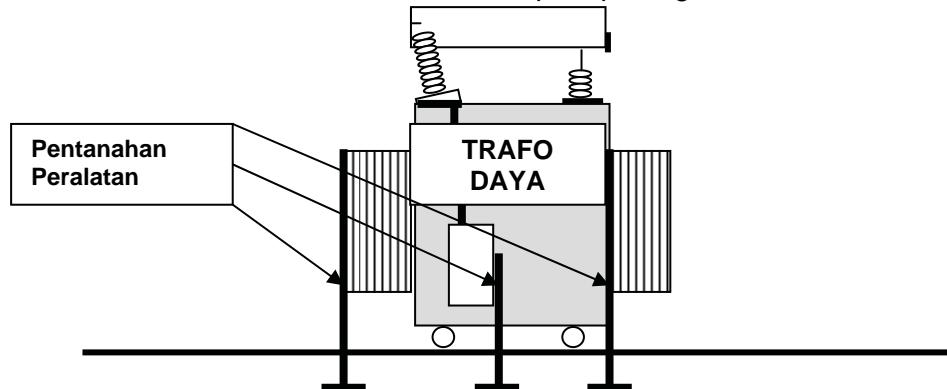
Walaupun belum diatur dalam SPLN, tetapi pentanahan Sistem 275 kV PT Inalum di Asahan dan Sistem 500 kV di Pulau Jawa sudah

dilakukan dengan sistem pentanahan Solid Grounding (tanpa impedansi).

## 6.8.PENTANAHAN/PEMBUMIAN PERALATAN

### 1. Pengertian Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dilalui arus. Bila terjadi hubung singkat suatu penghantar dengan suatu peralatan, maka akan terjadi beda potensial (tegangan), yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi trafo, bodi PMT, bodi PMS, bodi motor listrik, dudukan Baterai dan sebagainya. Bila seseorang berdiri ditanah dan memegang peralatan yang bertegangan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut yang dapat membahayakan. Untuk menghindari hal ini maka peralatan tersebut perlu ditanahkan. Pentanahan yang demikian disebut Pentanahan peralatan, sebagai contoh pemasangan ditunjukkan seperti pada gambar 6.12 berikut :



Gambar 6.12 Contoh Pemasangan Pentanahan Peralatan

Pentanahan peralatan merupakan hal yang sangat penting dan perlu diperhatikan, baik pada pembangunan Gardu Induk, Pusat-pusat listrik, Industri-industri bahkan rumah tinggal juga perlu dilengkapi dengan sistem pentanahan ini.

Tujuan pentanahan peralatan dapat dipermulasikan sebagai berikut :

- a. Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dalam daerah itu.
- b. Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bangunan atau isinya.
- c. Untuk memperbaiki penampilan (performance) dari sistem.

## 2. Tahanan Pentanahan

Adalah besarnya tahanan pada kontak/hubung antara masa (body) dengan tanah.

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya pentanahan :

- a. Tahanan jenis tanah
- b. Panjang jenis elektroda pentanahan
- c. Luas penampang elektroda pentanahan

Harga pentanahan makin kecil makin baik. Untuk perlindungan personil dan peralatan perlu diusahakan tahanan pentanahan lebih kecil dari 1 Ohm. Hal ini tidak praktis untuk dilaksanakan dalam suatu sistem distribusi, saluran transmisi, ataupun dalam substation

distribusi. Beberapa peralatan/standar yang telah disepakati adalah bahwa saluran transmisi, substation harus direncanakan sedemikian rupa, sehingga tahanan pentanahan tidak melebihi harga satu ohm, Dalam Gardu-gardu Induk distribusi, harga tahanan maksimum yang diperbolehkan adalah 5 ohm. Demikian juga halnya pada menara transmisi, untuk menghindarkan lompatan karena naiknya tegangan/potensial pada waktu terjadi sambaran petir maka tahanan kaki menara perlu dibuat sekecil mungkin (di Amerika kurang dari 10 Ohm). Untuk memahami mengapa tahanan pentanahan harus rendah, dapat digunakan hukum Ohm yaitu :

$$V = I \times R \text{ volt}$$

Dimana :

V = tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

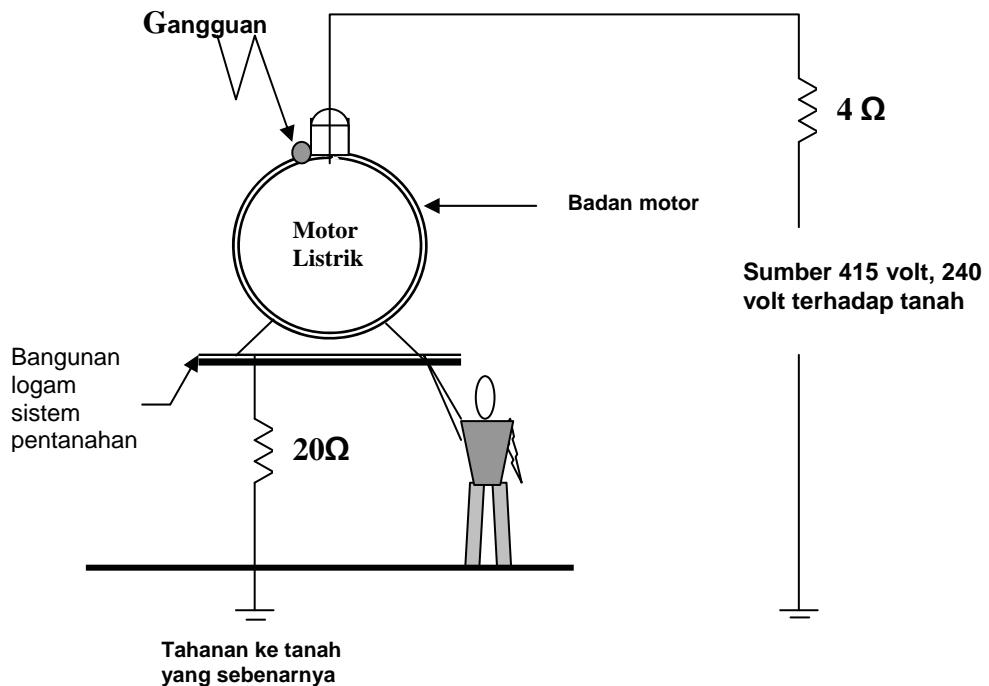
R = Tahanan (ohm)

Sebagai contoh terdapat tegangan sumber 415 volt (240volt terhadap tanah) dengan tahanan 4 ohm. Ada masalah/trouble atau gangguan, sehingga kabel dari sumber yang mencatuh motor listrik menyentuh badan motor. Hal ini berarti kabel tersebut menghubungkan ke sistem pentanahan yang mempunyai tahanan 20 ohm ke tanah (perhatikan gambar 6.13). Menurut hukum Ohm akan ada arus mengalir sebesar 10 amper melewati badan motor.

Apabila seseorang menyentuh badan motor, maka dia akan menerima tegangan sebesar 200 volt (20ohm x 10amper). Hal ini

dapat berakibat fatal, tergantung pada tahanan orang tersebut yang

bervariasi dengan tegangan yang disentuhnya.



Gambar 6.13. Ilustrasi Gangguan yang Tinggi pada Tahanan Tanah

### 6.9. Exposur Tegangan (Voltage Exposure)

Jika ada kontak yang tidak disengaja antara bagian-bagian yang dilalui arus dengan kerangka metal dari kerangka peralatan, kerangka metal itu menjadi bertegangan yang sama dengan tegangan peralatan. Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut yang berbahaya kerangka peralatan metal peralatan tersebut harus dihubungkan ke tanah melalui impedansi yang rendah. Impedansi pentanahan itu harus sedemikian kecilnya sehingga tegangan  $I_Z$  yang timbul pada kerangka peralatan harus cukup kecil dan tidak berbahaya.

*International Electrotechnical*

Commission (IEC) mengusulkan besar tegangan sentuh yang sebagai fungsi dari lama gangguan seperti pada tabel 6.1 dibawah ini. Tabel ini biasanya digunakan untuk sistem tegangan konsumen. Jadi misalnya untuk sistem pentanahan pengaman (PUIL Fasal 324). Jika terjadi kegagalan isolasi pada peralatan, maka besar arus gangguan  $I_f$  dari titik gangguan ke badan peralatan tersebut, dan dari badan peralatan ke tanah melalui tahanan pentanahan  $R_{E2}$ , maka timbulah tegangan sentuh pada badan peralatan sebesar :

$$V_S = I_f \cdot R_{E2}$$

Tabel 6.1 Besar dan lama tegangan sentuh maksimum.

Tegangan sentuh volt (rms)	Waktu pemutusan maksimum (detik)
< 50	
50	5,0
75	1,0
90	1,5
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

Agar persyaratan dalam tabel tersebut dapat dipenuhi. maka tahanan diberikan oleh:

$$R_{E2} < \frac{50}{k \cdot I_n} \text{ ohm}$$

dimana :

$R_{E2}$  = Tahanan pentanahan

$I_n$  = Arus nominal dari alat pengaman lebur atau alat pengaman arus lebih (amper)

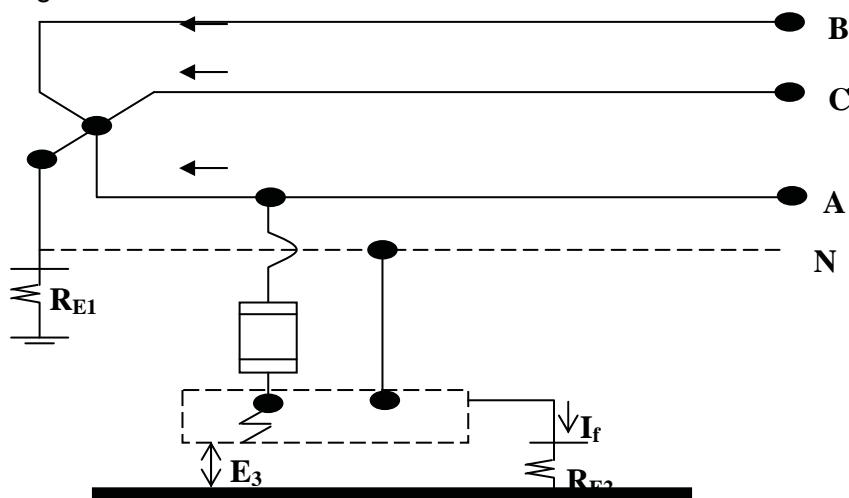
$k$  = Bilangan yang besarnya tergantung dari karakteristik alat pengaman

= 2,5 .... 5, Untuk pengaman lebur atau sikring

= 1,25 .... 3,5, Untuk pengaman lainnya.

Biasanya Impedansi Trafo kecil terhadap  $R_{E1}$  atau  $R_{E2}$ , maka arus hubung tanah

$$I_r = \frac{V_{ph}}{R_{E1} + R_{E2} + \frac{R_{saluran}}{3}}$$



Gambar 5.12. Hubung tanah pada peralatan dalam suatu sistem yang netralnya diketanahkan.

Contoh :

Suatu peralatan listrik diperoteksi/diamankan dengan sikering 6A.

$$R_{E2} < \frac{50}{3 \times 6} \text{ ohm} = 2,78 \text{ ohm}$$

(k diambil = 3)

Misalnya diambil :

$$R_{E2} = 2,5 \text{ ohm}$$

$$R_{E1} = 2,0 \text{ ohm}$$

$R_{sal}$  = kecil dan diabaikan.

$$V_{ph} = 220 \text{ Volt}$$

Maka,

$$I_r = \frac{220}{2,5 + 2,0} = 48,9 \text{ Amper}$$

Tegangan sentuh :

$$V_s = 48,9 \times 2,5 = 122,25 \text{ Volt.}$$

Jadi tegangan sentuh yang timbul 122,25 volt (lebih tinggi dari 50 volt). Tetapi jika sekring yang dipakai memenuhi persyaratan standar, maka dengan arus 48,9 amper (8 xln) sikering tersebut akan putus dalam waktu 0,1 detik, jadi memenuhi persyaratan dalam tabel 6.2 Sebagai aturan umum disebutkan bahwa seseorang tidak boleh menyentuh walau sekejap pun peralatan dengan tegangan diatas 100 Volt.

## 6.10. Pengaruh Besar Tahanan Terhadap Sistem Tenaga Listrik

- a. Makin besar tahanan tanah, tegangan sentuh makin besar
- b. Makin besar tahanan tanah pada tiang transmisi, makin besar tegangan puncak tiang
- c. Makin besar tahanan tanah pada tiang transmisi, makin banyak jumlah Isolator yang

harus dipasang (jumlah isolator makin panjang)

- d. Tahanan tanah mempengaruhi penampilan saluran (line Performance).

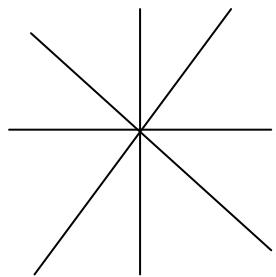
### 6.10.1. Pengaruh Tahanan Pentanahan Yang Kecil Pada Sistem

1. Mengurangi tegangan pada puncak tiang
2. Mengurangi tegangan pada kawat penghantar
3. Mengurangi tegangan pada isolator
4. Mengurangi gangguan sampai beberapa gawang
5. Mengurangi waktu berlangsungnya tegangan merusak (Break Down voltage).

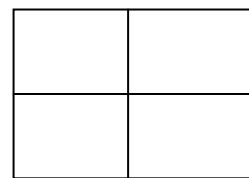
### 6.10.2. Macam-Macam Elektroda Pentanahan

Pada dasarnya terdapat tiga macam elektroda pentanahan yaitu :

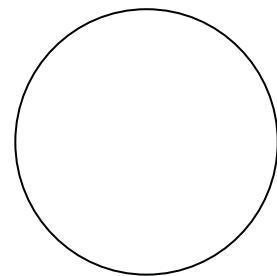
1. Elektroda Pita, berupa pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam di dalam tanah umumnya penanamannya tidak terlalu dalam. (0,5 - 1 meter) dan caranya ada bermacam-macam, perhatikan gambar 6.13



Bentuk Radial



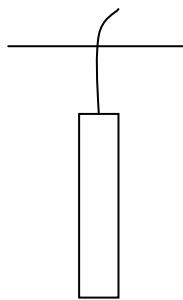
Bentuk Grid



Bentuk Lingkaran

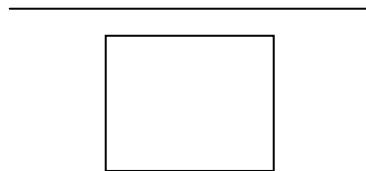
Gambar. 6.13. Macam-macam cara penanaman elektroda pita

2. Elektroda Batang, berupa batang yang ditanam tegak lurus dalam tanah, lihat gambar 6.14



Gambar 6.14 Cara penanaman Elektroda batang. Untuk membuat agar tahanan pentanahan cukup kecil elektroda batang tersebut ditanam lebih dalam atau menggunakan beberapa batang elektroda.

3. Elektroda pelat, berupa pelat yang ditanam tegak lurus dalam tanah seperti pada gambar 6.15

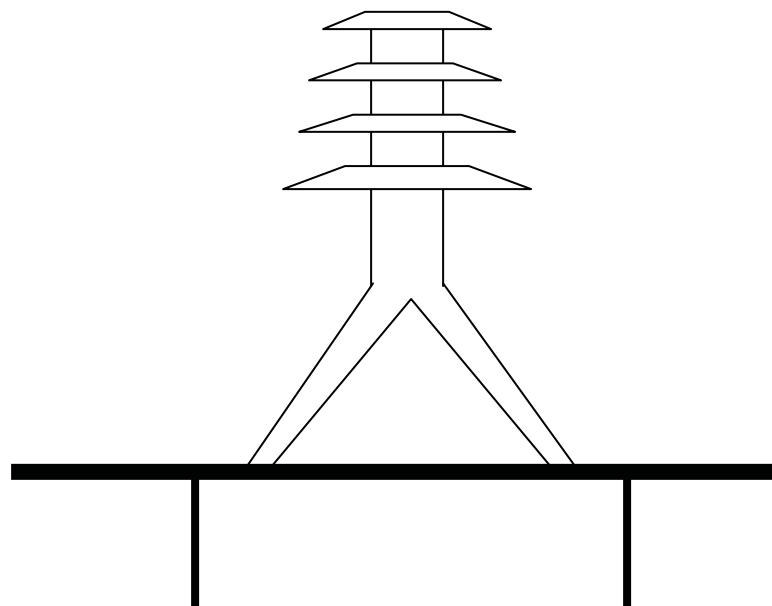


Gambar 6.15. Cara Penanaman elektroda pelat

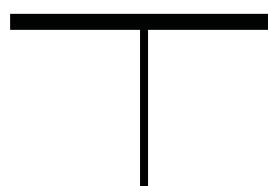
## **6.11. Metode/Cara Pentanahan**

### **6.11.1. Pentanahan dengan Driven Ground.**

Adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menancapkan batang elektroda ke tanah. Perhatikan gambar 6.16. dan 6.17.

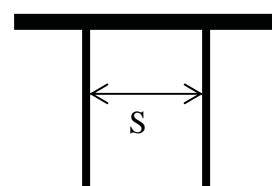


Gambar 6.16. Pentanahan dengan Driven Ground



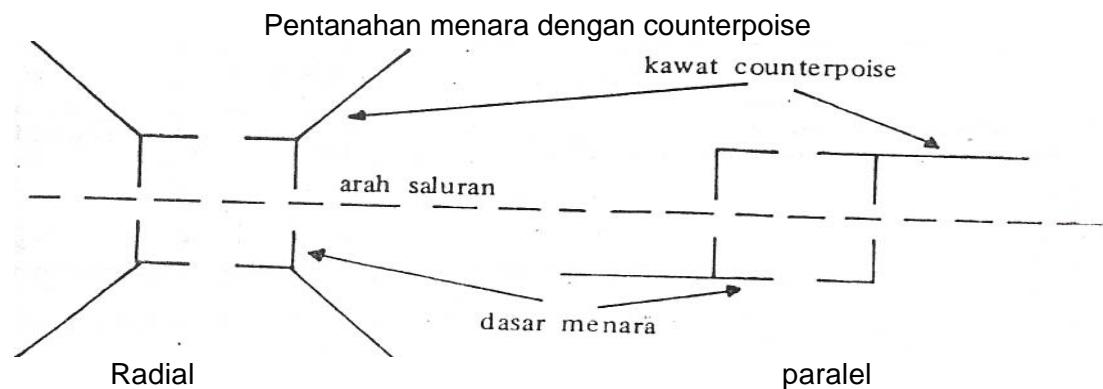
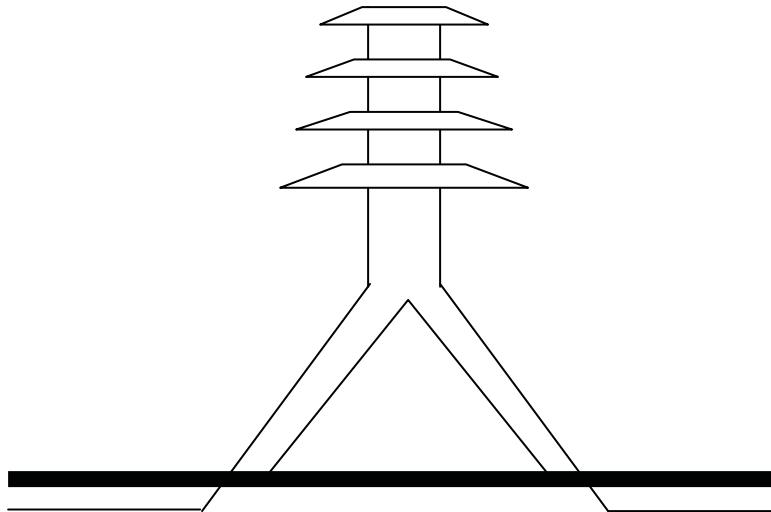
Satu Batang Elektroda

Gambar 6.17 Pentanahan Dengan Counter Poise



Dua Batang Elektroda

Adalah pentanahan yang dilakukan dengan cara menanam kawat elektroda sejajar atau radial, beberapa cm di bawah tanah (30 cm - 90 cm). Perhatikan Gambar 6.18



Gambar 6.18. Pentanahan menara dengan counterpoise

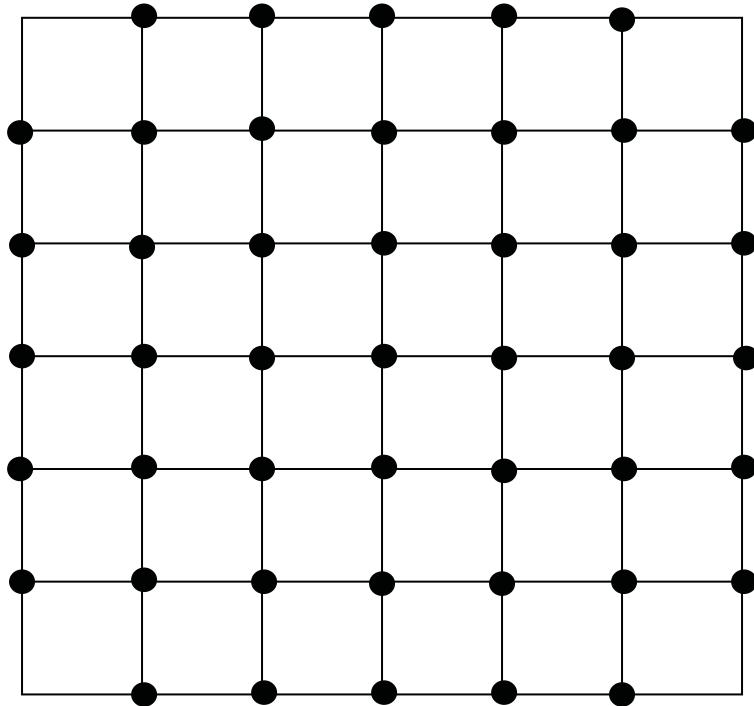
Pentanahan dengan counterpoise biasanya digunakan apabila tahanan tanah terlalu tinggi dan tidak dapat dikurangi dengan cara pentanahan driven ground, biasanya karena tahanan jenis tanah terlalu tinggi.

#### 6.11.2. Pentanahan Dengan Mesh atau Jala

Adalah cara pentanahan dengan jalan memasang kawat

elektroda membujur dan melintang di bawah tanah, yang satu sama lain dihubungkan di setiap tempat sehingga membentuk jala (Mesh). Perhatikan gambar 6.19

Sistem pentanahan Mesh biasanya dipasang di gardu induk dengan tujuan untuk mendapatkan harga tahanan tanah yang sangat kecil (kurang dari 1 ohm).



Gambar 6.19 Pentanahan dengan Mesh (jala)

### 6.12. Tahanan Jenis Tanah

Harga tahanan jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tergantung dari beberapa faktor, yaitu :

Jenis tanah = tanah liat, berpasir, berbatu, dll

- Lapisan tanah = berlapis-lapis dengan tahanan jenis berlainan atau uniform.

- Kelembaban tanah
- Temperatur.

Harga tahanan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin lembab tanah itu makin rendah tahanan jenisnya. Secara umum harga-harga tahanan jenis ini diperlihatkan pada tabel berikut ini :

**Tabel 6.3. Tahanan Jenis Tanah**

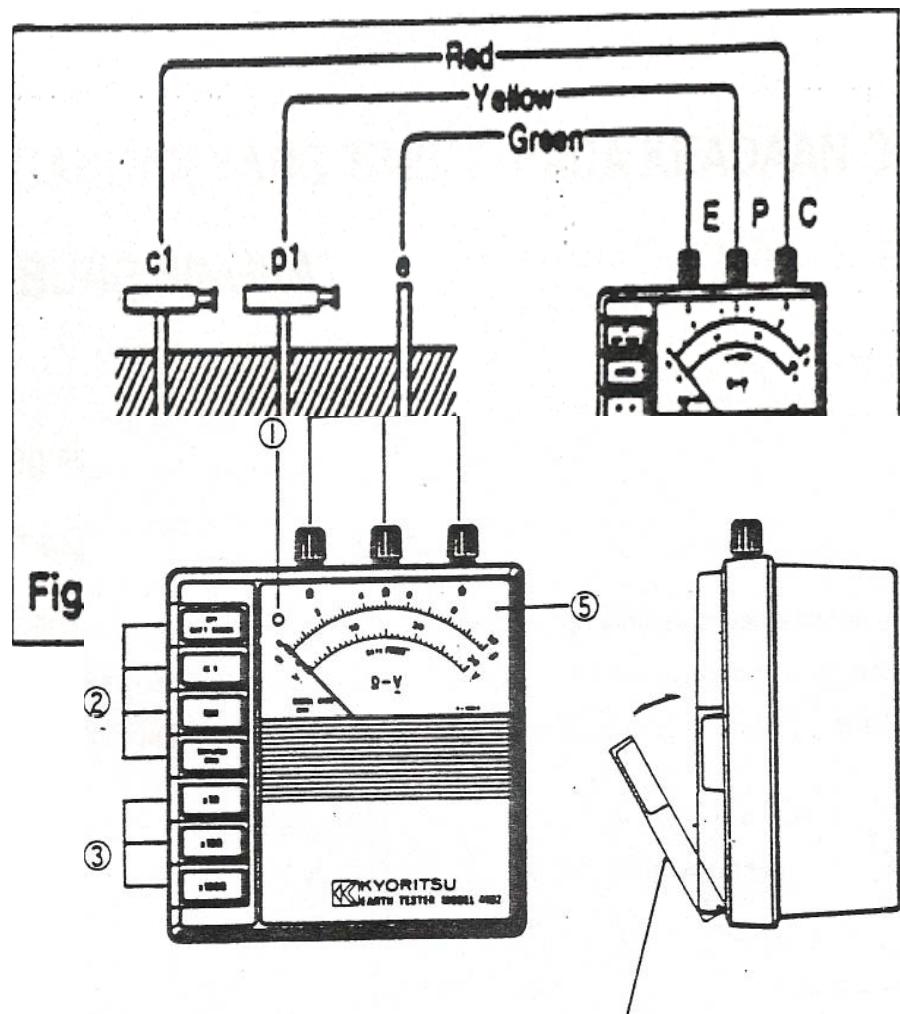
Jenis tanah	Tahanan jenis tanah (ohm m)
Tanah Rawa	30
Tanah Liat Dan Tanah Ladang	100
Pasir Basah	200
Kerikil Basah	500
Pasir Dan Kerikil Kering	1,000
Tanah Berbatu	3,000

Sering dicoba untuk merubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pentanahan dengan maksud untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang rendah. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara priodik, sedikitnya enam bulan sekali. Dengan memberi air atau membasahi tanah juga dapat mengubah tahanan jenis tanah.

### **6.13. Pengukuran Tahanan Pentanahan**

Pengukuran tahanan pentanahan bertujuan untuk menetukan

tahanan antara besi atau plat tembaga yang ditanam dalam tanah yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap gangguan petir dan hubung singkat. Dengan demikian pelat tersebut harus ditanam hingga mendapatkan tahanan terhadap tanah sekitar yang sekecil-kecilnya. Untuk mengukur tahanan pentanahan digunakan alat ukur tahanan pentanahan (*Earth Resistance Tester*), seperti diperlihatkan pada gambar 6.20. Cara penggunaan "Earth Resistance Tester" akan dijelaskan lebih lanjut pada materi yang lain.



1. OK Lamp
2. Function Switch Buttons
3. Ohm Range Switch Buttons
4. Terminals
5. Scale Plate
6. Panel

Gambar 6.20 Alat ukur tahanan pentahanan .

## BAB VII

### KONSTRUKSI KABEL TENAGA

Dalam penyaluran tenaga listrik dari pusat-pusat pembangkit ke konsumen biasanya dilakukan melalui Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT), seiring dengan perkembangan daerah, maka di daerah perkotaan SUTT sulit dipergunakan karena kesulitan lahan untuk tower maka digunakan Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT). Selain itu kabel juga digunakan untuk penyaluran tenaga listrik antar pulau dengan menggunakan Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi. (SKLT).

Kabel yang digunakan untuk SKTT maupun SKLT biasanya kabel berisolasi kertas yang diberi minyak dan disebut kabel minyak atau kabel yang berisolasi Cross-linked polyethylene (XLPE) yang disebut kabel XLPE.

#### 7.1. Kabel Minyak

Kabel ini menggunakan isolasi yang terbuat dari jenis isolasi padat terdiri dari kertas yang diresapi dengan Viskos Compon dan dilakukan treatment dengan minyak untuk membuang kelembaban serta udara, karena itu dinamakan kabel minyak..

##### 7.1.1. Bagian-bagian kabel minyak

Bagian-bagian dari kabel minyak ini terdiri dari:

- Konduktor.
- Kanal minyak
- Insulation
- Minyak impregnasi

- Electrostatic Screen
- Penguat dan Selubung logam
- Pengaman karat.

#### 7.1.2. Konduktor

Konduktor yang digunakan yaitu tembaga atau aluminium, logam tersebut dipilih dengan pertimbangan beberapa hal yaitu arus beban dan keekonomisan.

Konduktor *Hollow* dibuat dengan segmental Strip yaitu untuk kekuatan atau kekuatan yang lebih tinggi dan telah digunakan sampai dengan penampang 2000 mm<sup>2</sup>. Untuk mentransfer beban listrik yang besar (*very Heavy load*) biasanya digunakan konduktor "Milliken". Konduktor tersebut umumnya dibuat "Six Stranded Segmen" dan terisolasi antara segmen satu dengan yang lain, tersusun disekeliling kanal yang berisi spiral penyanga dan diikat bersama dengan pita Bronze. Masing – masing segmen dibentuk oleh sejumlah konduktor bulat dan terpasang kompak pada bentuk segmen yang dibutuhkan. Konstruksi harus dibuat equal, untuk mengurangi rugi-rugi akibat efek kulit, Skin efek juga dipengaruhi oleh ukuran kanal (Duct), misalnya untuk konduktor 1600 mm<sup>2</sup>, jenis 'Conci' pada 50 Hz dan suhu 85°C akan mempunyai Skin efek 24,5% jika kanal 12 mm dan 60% jika 40 m.

Dengan konduktor "Milliken", karena masing-masing sektor secara automatik ditransposed, maka pembesaran diameter kanal

mengurangi pengaruh skin efek cukup banyak. Nilai rugi-rugi akibat Skin efek untuk konduktor cooper "Milliken" cukup rendah yaitu untuk diameter 2500 mm<sup>2</sup> pada 85° C dan 25 mm kanal adalah 14%. Nilai rugi-rugi akibat Skin efek yang rendah yaitu 2 s.d 4% dapat dicapai dengan konduktor yang disusun elemen terisolasi satu dengan yang lainnya menggunakan enamel.

### 7.1.3.Kanal Minyak

Pada kabel inti tunggal, konduktor dilengkapi dengan kanal minyak yang terbuat dari Steel Strip Spiral bulat terbuka yang menggunakan kawat konduktor stranded. Untuk jenis Segmental Self Supporting Conductor tidak perlu menggunakan Steel Spiral.

Diameter kanal minyak disesuaikan dengan persyaratan sistem hidrolik, dan umumnya dengan batas 12 s.d 25 mm.

Pada sistem instalasi kabel, dilengkapi dengan tangki-tangki ekspansi baik ujung yang satu maupun ujung yang lainnya, bergantung pada sirkitnya, atau juga dapat dipasang tangki ditengah-tengah instalasi kabel.

Instalasi kabel dirancang dengan prinsip bahwa pada kondisi pelayanan yang tidak normal, tekanan minyak kabel akan lebih tinggi dari tekanan atmosfer sepanjang kabel dari sistem instalasi tersebut.

## 1.Insulation

Isolasi kabel ini terbuat dari jenis isolasi padat terdiri dari kertas yang dilapiskan pada konduktor yang diresapi dengan Viskos Compon

dan dilakukan *treatment* untuk membuang kelembaban serta udara.

Isolasi kabel terdiri dari "Cellulose Paper" yang dilapiskan pada konduktor yang membentuk suatu dinding isolasi yang uniform dan kompak dan tidak mengkerut atau terjadi kerusakan selama proses pembuatan atau ketika penanganan kabel dilapangan saat penggelaran. seperti pembengkokan serta perlu diawasi baik terhadap tarikan maupun kelembabannya.

Ketebalan kertas bervariasi, kertas yang tipis yang mempunyai dielektrik strenght tinggi tetapi kekuatan mekaniknya rendah dan digunakan pada tempat yang paling dekat dengan konduktor.

Kertas yang digunakan mempunyai kemurnian dan keseragaman tinggi, dicuci menggunakan Deionize water selama pembuatannya.

Sifat kerapatan dari kertas dipilih secara hati-hati untuk mendapatkan dielektrik strenght yang paling tinggi dan juga kompatibel dengan metode impregnasi yang lain. Isolasi tersebut mempunyai ketebalan bervariasi dari 3 mm untuk 30 kV dan 35 mm yang digabung dengan minyak bertekanan tinggi khususnya untuk tegangan 750 s.d 1000 kV.

Untuk kabel-kabel yang besar dan apabila kabel menggunakan selubung aluminium, isolasi diamankan dari kerusakan mekanik menggunakan lapisan pita "Glass Fibre Coopen Threaded Woven"

## **2. Minyak peresap ( impregnasi)**

Pada kabel yang menggunakan selubung logam dari timah atau aluminium untuk mengamankan konduktor yang terisolasi terutama untuk tegangan >50 kV, karena formasi pada saat pelayanan yang disebabkan oleh Void akibat Heat Cycling dan pada waktu ada tekanan tegangan yang lebih besar.

Void-void ini membentuk ionisasi yang terus bertambah yang akhirnya dapat menyebabkan kerusakan. Untuk membuang atau menyingkirkan Void-void ini, kabel diberi minyak, dengan impregnasi penuh memakai bahan yang viskositasnya rendah, dimana pada waktu ada pemanasan kabel minyak akan mengalir keluar menuju reservoir dan akan kembali lagi pada waktu kabel bertemperatur rendah. Kabel yang berdiri sendiri (*Self-Contained Oil Filled*) umumnya digunakan dengan jenis tekanan rendah, yaitu dirancang untuk untuk tekanan minimum namun masih diatas tekanan udara luar. Nilai aktual tekanan itu dapat lebih tinggi pada suatu lokasi dan akan bervariasi sepanjang panjangnya instalasi bergantung pada profil instalasinya. Nilai tekanan yang lebih tinggi lagi, umumnya > 10 atm digunakan untuk instalasi kabel dengan tegangan tinggi supaya menaikkan Dielektrik Strenght Isolasi.

Informasi tentang minyak yang rendah viskositasnya dari minyak kabel T-3570. Minyak T-3570 murni 100 % jenis hidrokarbon. Tidak memungkinkan untuk memberikan informasi secara lengkap dari

struktur minyak mineral tersebut. Analisa molekul adalah cukup banyak dipengaruhi oleh teknik pengukuran. Analisa yang dilakukan oleh NDM, adalah salah satu yang tekniknya sudah dikenal dan memberikan indikasi dari distribusi aromatik naphtenic dan paraffinic. Menggunakan teknik ini, minyak T-3570 berisi kira-kira 10 % molekul aromatic yang (utama) predominantly single dan struktur dua ring. The balance of the oil comprises a mixture of naphtenic and paraffinic grouping predominant. Tidak ada tambahan bahan kimia berkaitan pada T-3570. karakteristik yang lain yang dapat membantu bahwa minyak &-3570 merupakan viscositas sangat rendah menjamin bahwa dalam hal ada kebocoran kabel, minyak akan segera muncul pada permukaan air dalam bentuk film yang sangat tipis. Tambahan lagi, penguapan yang tinggi dari minyak ini, akan memberi vasilitas mengurangi rugi akibat penguapan.

### **7.1.4. Data kimia**

Acid value (inorganic) : nil

Acid value (organic) : 0,01mg KOH/g max

Sulphur content : non corrosive

Physical data :

Coefisien of expansion: 0,00089/°C Viscosity

Viscosity at 60°C : 2 cSt

Viscosity 20°C : 5 cst

Viscosity pada 0°C : 10 cst

Flash point (open) : 115 °C min

Pour point : -27 °C

Cloud point : -25 °C

General information

Extra low viscosity

## **7.2. Karakteristik Minyak**

Minyak kabel merupakan komponen instalasi kabel yang sangat penting, dan hanya minyak bagian dari sistem isolasi kabel yang dapat diperiksa setelah kabel dipasang, yang harus diperhatikan pada karakteristik minyak yaitu:

- Viskositas
- Koefisien muai termal
- Tegangan tembus
- Tangen delta
- Penyerapan terhadap gas

### **1. Viskositas**

Dapat dilihat pada perhitungan sistem hidrolik, viskositas minyak adalah sangat penting. Minyak harus dipertimbangkan dengan desain dari kanal minyak kabel panjang seksi pemasok minyak dan jenis tangki ekspansion. Viskositas diukur dalam senti stokes atau centipoise (centipoise adalah centistoke dikalikan dengan spesifik gradien minyak).

Viskositas harus serendah mungkin kompatibel dengan titik nyala dan titik mengembun. Viskositas yang rendah mengijinkan operasi dengan suhu yang sangat rendah dan membantu desain sistem yang ekonomis dengan mengurangi banyaknya titik pasokan minyak.

Minyak mineral Viskositas rendah yang digunakan mempunyai viskositas pada 20° C kurang lebih 12 cst dan titik tuang 45°C atau kurang.

Salah satu minyak yaitu Dodecyl Benzene (DDB) yang dikenalkan pada tahun 60 an, mempunyai viskositas pada 20° C

sama dengan minyak mineral diatas dan bahkan lebih rendah titik tuangnya. Selanjutnya, mempunyai titik nyala yang tinggi dan kemampuan menyerap gas pada waktu terjadi tekanan listrik. Bahkan lebih rendah Viskositas Dodecyl Benzene (DDB). yang pada penggunaan normal cocok untuk pemasok tekanan kabel laut yang sangat panjang.

Contoh penggunaan minyak ini yaitu untuk instalasi Angke-Ketapang dan petukangan dan petukangan kearah Senayan yang mempunyai viscositas 5cSt pada 20°C.

### **2. Koefisien Ekspansi Panas**

Koefisien ekspansi panas adalah sangat penting .hal ini memberikan ukuran dari aliran minyak,dan juga menentukan ukuran ruangan untuk ekspansi. Koefisien panas ini juga akan mempengaruhi pada tekanan dinamik,dan dengan demikian juga diameter kanal minyak (oil duct), panjang seksi pemasok minyak dan jenis vesel pemuai yang dipilih. Dua jenis karakteristik ini merupakan parameter hidrolik yang sangat penting.Tetapi agar cairan isolasi mempunyai isolasi yang terbaik, minyak juga harus mempunyai karakteristik listrik yang baik.

### **3. Tegangan tembus**

Pertama minyak kabel harus mempunyai tegangan tembus yang tinggi. Tegangan tembus ini dapat diukur dengan tes cell spesial. Pengujian dengan alat uji tersebut memberikan indikasi kondisi minyak isolasi kabel. Air dan kotoran-

kotoran akan merendahkan kuat dielektrik.

#### 4. Tangen Delta

Mengukur tan delta minyak adalah pengukuran yang terbaik yang dilakukan untuk memeriksa kemurnian minyak kabel. Cairan isolasi listrik yang baik diperlukan harga tan delta yang rendah. Kotoran yang terdapat pada minyak seperti: air, ageing product, rest of lubricant, debu, udara dan benda lain. Kontaminasi yang berbahaya adalah kontaminasi yang memberikan kenaikan tan delta.

#### 5. Penyerapan Gas

Karakteristik lain dari minyak isolasi kabel adalah kemampuan menyerap gas pada kondisi ada tekanan listrik (electrical stress). Untuk beberapa alasan, itu dapat terjadi bahwa kita dapat mendapatkan gas entah dimana. Apabila susunan gas itu tidak dapat diserap, maka akan terjadi gelembung-gelembung. Tegangan tembus dari gelembung gas adalah lebih kecil dari pada minyak dan kertas. hal ini kemudian akan membentuk ionisasi dan akhirnya gagal isolasi. Oleh karena itu bahwa minyak harus mempunyai kemungkinan untuk menyerap gas apabila tegangan diberikan pada kabel.

Hal yang penting adalah :

1. Minyak harus menyerap gas pada terjadi gangguan
2. Pembuatan, splicing (sambungan) dan terminating pada kabel harus dikerjakan dengan cara

yang baik, sehingga penimbulan gas tidak terjadi.

#### 6. Pelepasan Gas (degassifying)

Jika minyak menjadi cairan isolasi yang baik, maka perlu mempunyai minyak yang tanpa gas atau jenis kontaminasi yang lain. Gas dan air akan dilepas dari minyak pada mesin pelepas gas. Mesin pelepasan gas bekerja sebagai berikut: minyak yang akan diolah dihamparkan (spread) didalam ruangan vacuum, dimana minyak akan mempunyai permukaan yang luas dibanding volume gas atau air akan mengurai didalam ruang vacuum dan minyak yang bebas gas ada dibawah dipompa kedalam tangki yang rapat. Jika minyak mempunyai kontaminan yang tinggi pada proses ini dapat diulang-ulang sampai minyak menjadi kering dan bebas gas.

Penyerapan kotoran minyak yang lain dari air dan gas tidak dapat dilepas selama proses pelepasan gas (degassifying).

Hasil penyerapan ini harus dilepas dengan menyaring minyak menggunakan fuller, s earth. Fuller,s earth akan menyerap semua partikel-partikel dimana partikel tersebut akan menaikkan tan delta. Penyaringan melalui fuller,s earth adalah dengan cara memompa minyak melalui suatu penyaring dengan desain khusus. Hal ini dapat dilakukan terpisah, tetapi sangat sering dilakukan secara seri dengan degassifying.

**Tabel 7. 1.**  
**Karakteristik Minyak( Dobane J.N (Decylbenzene)**

Penunjukan	Harga
Density pada 15°C	0,865
Viscocity pada 20°C 50°C 80°C	6,46 Cst 2,94 Cst 1,39 Cst
Dielectric losses pada 80°C after ageing	<0,002
Spesific heat 10°C 37°C	0,442 Kcal/kg/°C 0,465 Kcal/kg/°C
Expansion coefficient between 20 dan 80 °C	8,2 10-4 °C

**Tabel 7. 2.**  
**Karakteristik Minyak**

Suhu	Cinematic Viscocity(Cst)	Dynamic viscosity (cpoise)
0	20	17,5
10	11,4	9,9
20	7,5	6,46
30	5,8	4,96
40	4,5	3,82
50	3,5	2,94
60	2,85	2,38
70	2,3	1,9
80	2	1,64
85	1,83	1,39

### 7.3. Macam-macam minyak kabel

Sekarang kita telah melihat syarat dasar isolasi kabel minyak. Minyak yang digunakan untuk Angke – Ketapang dan Petukangan – Senayan adalah jenis minyak mineral. Minyak kabel yang digunakan oleh pembuat kabel De Lyon dan Pirelli adalah dari jenis sintetic. Jika karena beberapa alasan, perlu mengisi kabel STK dengan minyak dari pemasok lain, minyak dari de Lyon dan Pirelli

dapat digunakan. Secara teknik ketiga jenis minyak kabel ini, dan hidrolik sistem dirancang sedemikian sehingga dapat memelihara perbedaan viskositas dan koefisien pemuaian panas.

#### 1. Electrostatic Screen

Pita pada kertas karbon semi konduktif dipasang melapisi konduktor dan isolasi, screen ini mempunyai sifat meningkatkan tegangan breakdown pada

frekuensi power dan memperbaiki umur dari isolasi.

## 2. Penguat dan selubung logam.

Suatu selubung logam dari timah atau aluminium digunakan sesudah pemasangan isolasi, sebelum dan setelah peresapan menurut teknologi yang dipakai. Jika digunakan timah ini dilengkapi dengan suatu penguat untuk menahan ekspansi radial. Material ini umumnya suatu tembaga tipis atau pita alloy yang sangat ketat dilapiskan pada selubung guna membentuk suatu penutup.

Dalam hal kabel tekanan tinggi yang dipasang secara vertikal atau sloop yang terjal atau curam, ketentuannya dibuat juga untuk memperkuat gaya longitudinal. Selubung aluminium, umumnya untuk menaikkan fleksibility. Ketebalan selubung aluminium umumnya bergantung pada diameter dan operasi tekanan yang bermacam-macam yaitu dengan range 1,5 mm sampai 5,5 mm.

## 3. Pengaman terhadap Karat (Anti Corrosion Protection)

Pengaman terhadap karat atau Anti Corrosion Protection menggunakan "Adhering Layer Covered" atau PVC bergantung pada jenis kabel. Bagian ini untuk mengamankan Pita penguat selubung timah atau aluminium terhadap korosi.

## 4. Assesories Kabel minyak

Assesories pada instalasi kabel minyak terdiri dari: Stop Joint, pemasok minyak dan Sealing End atau terminasi untuk penggunaan pada ujung kabel.

Stop Joint untuk membagi minyak pada sirkuit kedalam seksi minyak yang terpisah. Straight Joint untuk menyambung kabel, *Trifurcating Joint* untuk menyambung Three Core ke *Single Core* kabel. Assesories Kabel minyak lainnya adalah pembatas tegangan untuk sistem Crossbonding pada seksi berikutnya

## 5. Terminasi (*Sealing End*)

Sealing End dilengkapi dengan seal yang tertutup rapat, dan pemisahan secara fisik antara ujung konduktor dan selubung logam (*sheath*) dimana tekanan dielektrik berkurang dari beberapa ribu volt/milimeter pada pertemuan secara radial, pada kabel menjadi beberapa ratus volt/milimeter. Isolasi bagian luar umumnya terbuat dari porselin yang tahan cuaca umumnya jenis antifog. Sealing end dibuat untuk tahan terhadap uji sama dengan kabel, tetapi harus mempunyai tegangan impulse yang tinggi. Untuk terminasi kabel inti tiga spliter bok digunakan untuk memisahkan inti kabel yang masing-masing dipasang pada sealing end. Sealing end yang direndam dalam minyak didesain guna beroperasi pada tekanan minyak yang tinggi. Terminasi untuk kabel yang masuk ke saluran GIS umumnya mempunyai sebuah insulator voltalit

yang terdiri dari porselin juga, dengan demikian mempunyai kemampuan mekanik yang lebih besar. Sealing end jenis ini dipasang pada boks yang dirangkai dengan trafo dan disambung dengan trafo menggunakan bushing. Susunan seperti ini guna memudahkan dapat melepas trafo tanpa harus melepas kabel dan mudah memeriksa minyak pada boks kabel.

## 6. Sambungan Lurus (Straight Joint)

Sambungan Lurus menunjukkan keistimewaan dari joint three core kabel, pada joint seperti ini, konduktor aluminium disambung dengan mengelas/mengecor dan pada saat menyambung tekanan minyak dijaga pada tekanan yang rendah pada sisi ujung kabel. Masing-masing ujung kabel mempunyai boks tekanan minyak yang mempunyai katup-katup untuk mengatur sehingga minyak dapat terus-menerus meresapi pekerjaan sambungan .Sebuah steel spiral dipasang pada kanal pusat konduktor dengan tujuan untuk support dan konduktor dan menjamin aliran minyak. Joint tersebut sesuai untuk penggunaan instalasi kabel tanah yang menggunakan sistem crossbonding.

## 7. Sambungan Henti (Stop joint)

Stop joint digunakan untuk membagi sirkit kedalam seksi-seksi tekanan minyak yang terpisah masing-masing dan dilengkapi dengan peralatan untuk ekspansi minyak. Seksionalisasi dimaksud-

kan untuk membatasi tekanan minyak tidak melebihi keamanan harga desain dan membagi beberapa bagian panjang kabel menjadi beberapa seksi tekanan minyak untuk memudahkan pemeliharaan.

## 7.4. Tangki minyak. (Pengumpul minyak)

Karena tahanan listrik pada konduktor dan selubung logam, maka arus beban kabel akan membangkitkan rugi listrik yang akan dirubah menjadi panas pada kabel itu sendiri. Karena pemuaian panas minyak isolasi lebih tinggi dibandingkan dengan pemuaian volume dari kabel, tidak akan cukup tempat didalam selubung logam untuk mengakomodasi jumlah minyak yang panas. Perbedaan volume antara minyak dingin dan minyak panas harus diserap oleh pengumpul (tangki) minyak bertekanan yang ditempatkan pada salah satu ujung atau kedua ujung dari panjang kabel. Penurunan dari arus beban kabel akan mengurangi produksi panas dan minyak akan menjadi dingin dan menyusut. Minyak dari tangki minyak akan mengalir ke kabel untuk menjaga isolasi kertas penuh dengan minyak dan bebas dari void. sehingga fungsi utama dari tangki minyak (reservoir) adalah untuk mengakomodasi kelebihan minyak sesaat kapan saja. Maksud lain yang sangat penting adalah bahwa tangki minyak untuk mengumpulkan cadangan minyak yang dapat dipasok kedalam kabel apabila ada kebocoran pada kabel.

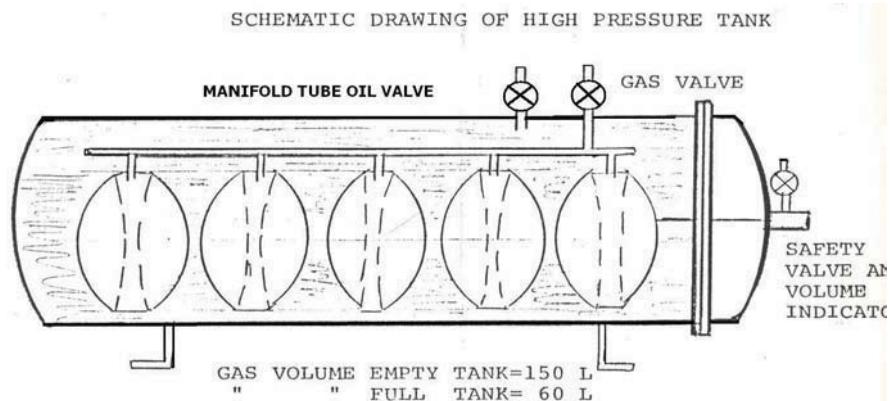
### 1. Jenis Tangki Minyak

Dua jenis tangki dirancang untuk mengakomodasi perubahan isi minyak akibat perubahan temperatur. Tangki tersebut adalah tangki bertekanan tetap dan tekanan berubah. Tangki tekanan tetap terdiri dari sejumlah piringan berbentuk selfleksibel walled yang diisi minyak kabel. Susunan sel tersebut dipasang pada wadah silinder rapat (sealed) dan diisi minyak untuk melindungi karat. Jenis tangki ini dipasang pada ketinggian tertentu guna menjamin secara kontinyu

tekanan minyak selalu positif. Tekanan minyak juga bergantung pada tekanan hidrostatik akibat transien karena perubahan temperatur yang tiba-tiba. Pada umumnya untuk daerah pemukiman yang padat digunakan variable pressure tank .

### 2. Tangki tekanan rendah dan menengah

Gambar 7.1 berikut memperlihatkan sebuah tangki minyak untuk memperlihatkan sel-sel didalam tangki besi.



Gambar 7.1 Tangki tekanan rendah dan menengah

Tangki tekanan rendah B-120 yang berisi 40 sel yang masing-masing berisi 3 lt. Jumlah tipe mengindikasikan volume gas ketika tangki minyak kosong dari isi minyak. Ketika minyak dipompa diantara sel-sel baja dan sell-sell kemudian sel tersebut akan menekan dan mendesak (exert) gaya dari minyak. Gambar 7.2 memperlihatkan tipikal karakteristik sebuah tangki tekanan rendah . Tipe B-80 dan B-120 dan B-240

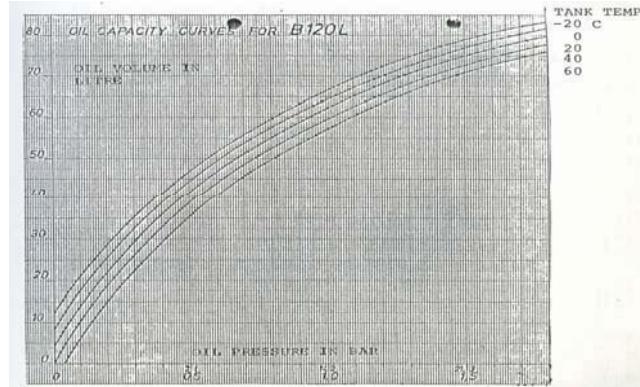
adalah tangki tekanan rendah dengan berbeda ukuran dengan operating tekanan 0,2 – 1,7 bar. Dengan memberikan tekanan pada sel-sel tekanan dapat dinaikkan sampai 0,3 – 3 bar seperti tangki A-130. Tangki tipe A dan B disebut tangki tekanan medium dan tekanan rendah.

### 3. Tangki tekanan tinggi.

Tangki tekanan tinggi dirancang dengan berbeda cara dibandingkan

dengan tekanan rendah dan tekanan sedang dimana sel yang

berisi gas terpisah pada shell steel.



Gambar.7.2 Curva Kapasitas minyak Tangki.

Pada tangki takanan tinggi sel-sel gas terhubung melalui sebuah pipa manifol yang dapat diperluas ke katup pada sisi luar dari tangki baja. Hal ini membuat kemungkinan untuk menaikkan tekanan minyak antara sel-sel dan tank simply dengan manakan tekanan gas. Pada awalnya untuk mengatur tekanan minyak sampai harga 0,2 sampai 12 bar pada **tangki H-100 dan H-150**.

Karena tekanan dapat diset untuk harga awal antara 0,2 sampai 12 bar maka kurva tekanan tidak single volume dan tidak bisa dievaluasi volume dengan membaca tekanan dari manometer sebagai mana pada tangki tekanan rendah. Untuk mengkompensasi tangki tekanan tinggi (H-tank), tangki ini mempunyai indikator volume minyak yang ditempatkan pada flange tangki. Indikator volume adalah sebuah batang tetap keluar dari sel. Karena sel akan tertekan apabila minyak mengalir ke tangki, dan akan mengembang apabila minyak keluar dari tangki

maka batang tersebut akan bergerak kedepan dan kebelakang dengan melewati suatu skala yang terbagai-bagi dalam liter. Gerakan batang ini mempunyai fungsi yang lain yaitu bekerja sebagai katup pengaman. Pada batang ada piston yang akan menutup minyak masuk ke tangki jika sel-sel tersebut tertekan dan akan menutup minyak keluar apabila sel-sel mempunyai tekanan maksimum yang diijinkan sehingga menghindari kerusakan bagian sel.

#### 4. Ukuran tangki minyak (reservoir)

Agar ukuran volume tangki (pengumpul) minyak diketahui, kita harus mengetahui beberapa data spesifik instalasi kabel seperti:

- $v$  = volume minyak per meter kabel
- $I$  = panjang kabel yang diakomodasi oleh pengumpul (reservoir) minyak

- $\theta$  = perbedaan suhu rata-rata antara minyak panas dan dingin
- $\beta$  = Koefisien volum minyak kabel.

Volume minimum dihitung dengan rumus :

$$V_0 = v \cdot L \cdot s \cdot o$$

Sebagai contoh :

Kabel minyak OKEP 170 kV , 1 x 240 mm<sup>2</sup>

$$v = 0,832 \text{ l / m}$$

$\beta = 8,9 \times 10^{-4}$  untuk kabel minyak T 3570 = 60 °C suhu konduktor bermacam-macam yaitu 18 s.d 85°C maka kenaikan suhu rata-rata adalah: 0,9 (85 - 18) = 60

L = 2000 m panjang rute satu kabel.  
Maka:

$$v = 0,832 \cdot 2000 \cdot 0,00089 \cdot 60 = 89 \text{ liter}$$

Jika kita memerlukan spare minyak setiap kabel masing - masing jumlah untuk mengatasi kebocoran sebesar 2 liter/jam maka untuk 24 jam harus ditambah 48 liter maka kapasitas tangki yang dibutuhkan adalah = 89 + 48 = 137 liter.

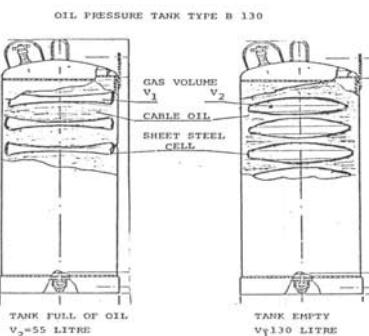
## 5. Tekanan minyak dinamik

Ketika minyak mengalir masuk dan keluar kabel karena perubahan suhu dari kabel akan menyebabkan perubahan tekanan tertentu sepanjang kabel.

Karena ada gesekan antara minyak dan kanal konduktor maka tekanan tangki pengumpul (reservoir) harus mempunyai tekanan minyak yang tetap, agar tekanan minyak ke dalam kabel seperti kondisi dingin. Selama terjadi pemanasan pada kabel akan

timbul tekanan minyak didalam kabel yang akan mendorong minyak keluar kedalam tangki-tangki yang bertekanan.

Bagian penting dari rancangan kabel minyak adalah menghitung tekanan minyak dinamik dan volume minyak yang sesuai. Perhitungan tekanan minyak dinamik lebih komplek dan dilakukan dengan bantuan program komputer dimana semua parameter seperti: viskositas, suhu, diameter kanal, kondisi permukaan dihitung bersama dengan arus beban dan rugi konduktor.



Gambar 7.3. Tangki minyak tipe B130

## 6. Operasi tangki bertekanan

Pada tangki tekanan statik misalnya tangki A, B dan H tekanan minyak disebabkan oleh gas yang bertekanan. Hubungan antara volume dan tekanan minyak selanjutnya diatur oleh hukum, gas yang menyatakan bahwa hubungan antara tekanan ,volume dan temperatur adalah konstan untuk jumlah gas yang tetap. Hal ini dapat dijelaskan dengan rumus berikut:

$$\frac{vxP}{T} = K$$

K = konstanta

v = Volume gas dalam liter

P = absolut pressure in bar

P = ( p + 1) atau pembacaan tekanan pada manometer dalam bar diatas tekanan atmosfir

T = temperatur absolut dalam Kelvin (kelvin = ° Celcius + 273 )

Pada tekanan tangki  $V_1$  adalah volume gas ketika kosong, dan  $V_2$  adalah volume gas ketika isi penuh.

$$v_1 - v_2 = \delta v \text{ dimana}$$

$$\delta v = \text{Volume minyak aktif tangki} \\ = K T_1/P_1 - K T_2/P_2 \\ = K( T_1/P_1 - T_2/P_2)$$

karena sel-sel gas dibuat pada temperatur 20 °C maka konstanta K untuk:

Tangki B- 80 adalah

$$K_{80} = 80/293 = 0,273$$

Tangki B-120 adalah

$$K_{120} = 120/293 = 0,410$$

Tangki B-240 adalah

$$K_{240} = 240/293 = 0,891$$

Contoh 1:

$$\text{Tangki A-130 adalah } K_{130} = \\ 130/293 = 0,443$$

Jika temperatur dipertahankan konstan, misalnya 10°C, kemudian tekanan minyak dari tangki A-130 terbaca 2 dan 1 bar pada  $P_1$  dan  $P_2$  maka pertambahan volume dapat dihitung sebagai berikut :

$$P_2 = P_1 + 1 \text{ bar} + 3 \text{ bar}$$

$$P_1 = P_1 + 1 = 2 \text{ bar}$$

$$T_1 = T_2 = 273 + 10 = 283 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\delta v = K( T_1/P_1 - T_2/P_2) = 0,444(283/2 \\ - 283/3) = 47 \text{ liter.}$$

Contoh 2.

Pada contoh 1 didapat kabel panjang 2000 m jenis OKEP 170 kV, 1 x 240 mm<sup>2</sup> akan ber expansi 89 liter antara tanpa beban dan

beban penuh. Jika kita memerlukan tekanan minyak minimum tidak lebih rendah dari 0,5 bar, berapa jumlah tangki A-130 yang diperlukan dan berapa tekanan maksimum ?

misalnya suhu bervariasi antara 20 – 40 °C

Penyelesaian:

Kita mempunyai jawab  $\delta v = 89$  liter

$$T_1 = 273 + 20 = 293$$

$$T_2 = 273 + 40 = 313,$$

$$P_1 = 1 + 0,5 = 1,5,$$

$P_2 = 1 + 3 = 4,0$  (maksimum tekanan untuk A-130 adalah 3 bar).

Banyaknya tangki yang diperlukan adalah  $= 89/\delta v$

$$\delta v = 0,444(293/1,5 - 313/4)$$

$$= 0,444(195,3 - 78,25) = 52$$

sehingga banyaknya tangki adalah  $= 89/52 = 1,7$  dibulatkan menjadi = 2 buah .

Dengan dua tangki maka berapa tekanan aktual maksimum yang terjadi ?

$$\delta v = 89/2 = 44,5 \text{ liter}$$

$$\delta v = 0,444(293/1,5 - 313/P_2) = 44,5$$

liter.  $86,73 - 44,5 = 138,97/P_2$

maka  $P_2 = 3,29$  dan  $P_2 = 2,29$ , sehingga tekanan maksimum minyak akan menjadi 2,29 bar.

Untuk tangki tekanan tinggi H-100 atau H-150 tidak ada nilai umum untuk konstanta K . Volume minyak yang keluar dari tangki tekanan tinggi sepanjang waktu dapat dihitung dari ekspresi sebagai berikut:

$$\delta v = v_1 - v_2$$

$$v_1 P_1 / T_1 = v_2 P_2 / T_2,$$

$$\text{karena } v_2 = v_1 (P_1 T_2 / T_1 P_2)$$

maka :

$$\delta v = v_1 - v_2 = v_1 (1 - P_1 T_2 / T_1 P_2).$$

Untuk tangki bertekanan tipe H-150,

$v_1 = 150 - \delta v$ ,  
di mana  $v$  volume minyak yang terbaca pada indikator volume pada tekanan  $P_1$ .

Dari contoh perhitungan diatas terlihat bahwa suatu instalasi kabel minyak memerlukan suatu tangki pengumpul minyak (reservoir) untuk menjaga tekanan minyak. Tangki-tangki tekanan statik dimana minyak didalam tangki besi dan diberi tekanan dengan menggunakan gas nitrogen bertekanan. Minyak isolasi kabel harus bebas dari lembab dan udara agar sifat isolasinya tetap. Oleh karena itu gas tidak boleh kontak langsung dengan minyak, tetapi berada dalam fleksibel corrugated sel-sel baja.

Sel-sel dibuat dengan tekanan dari dua flanes yang berbeda dari tined steel ,disolder bersama pada ring support (33% tin dan 67 % lead solder). Bentuk kedua flanes saling melengkapi, yang dikatakan lower-face dari sel. Penggembungan sel-sel adalah dijamin dari deformasi dari kedua flanes oleh penggunaan vaccum. Kekencangan sel-sel diuji dengan menggunakan vaccum pada 0,1 mm Hg selama 20 jam,akhirnya sel dibersihkan dan dikali brasi. Ada beberapa contoh tangki pengumpul yang digunakan seperti:

### **7. Tangki minyak tekanan rata-rata tipe MP-120**

Tangki tekanan minyak secara absolut diperlukan untuk menjaga

variasi keseimbangan dari volume minyak kabel oleh perubahan suhu pada waktu perubahan musim dan fluktuasi beban. Untuk menjaga sifat dielektrik dari kabel diperlukan tekanan minyak minimum 0,3 bar, pada titik tertinggi dari instalasi. Tangki minyak harus dipasang dekat dengan titik tertinggi dari saluran kabel (instalasi) termasuk sealing end.

Memperhatikan pre-inflation tekanan rata-rata dari sel-sel pada kira-kira 0,6 bar suhu 20°C, tekanan kerja minimum bergantung pada suhu. Misalnya tekanan 0,45 bar pada suhu 0°C dan kira-kira pada suhu 50°C. Dibawah suatu suhu, slope diagram tekanan/aliran akan berubah dengan cepat. Variasi volume minyak adalah rendah untuk variasi tekanan yang besar. Tekanan maksimum adalah 2,5 bar yang dijamin kerja elastik dari dinding sel. Standar tangki minyak tipe MP-120 terdiri dari 38 sel-sel udara yang menggembung. Masing-masing sel terdiri dari 5 liter udara. Ruang antara body tangki dengan sel terisi dengan minyak diolah yang sesuai.

Batas tekanan tangki MP-120 adalah : 0,6 sampai 2,5 bar dan batas suhu -20 °C dan 35 °C. Tangki dapat bekerja antara tekanan 0 sampai 60°C dan dapat dipasang pada berbagai posisi pasangan dalam atau luar tanpa perhatian yang khusus. Walaupun demikian disarankan tangki-tangki dipasang pada tempat yang terlindungi dari matahari untuk daerah tropis.

## **8. Tangki minyak tekanan tinggi tipe-HP 80(CDL)**

Desain dari tipe HP secara lengkap berbeda dengan tipe MP. Tipe MP dibuat dari material galvanize steel, sementara tipe HP menggunakan stainless steel (standart internasional : 316 Liter). Tipe MP terdiri sejumlah sel-sel yang identik sedangkan tipe HP terdiri dari satu pipa corugated stainles steel

Tipe HP dilengkapi dengan : dua buah handel, plat khusus untuk pentahanan dan plat nama. Keuntungan yang utama tangki tipe HP adalah dapat diatur tekanan udaranya, kemudian tekanan kerja, sebagaimana yang diperlukan pada instalasi. Tipe HP dapat digunakan pada tekanan antara 0,6 bar sampai 10 bar maksimum, tetapi hanya dengan daerah terbatas pada 2 bar, misalnya pada tekanan 8 sampai 10 bar atau 4 sampai 6 bar, tekanan udaranya harus diatur lagi sebelum selesai dan tidak akan dirubah sesudahnya.

## **9. Perlakuan terhadap tangki**

- Memvacum sampai 0,1 mmhg selama 10 menit untuk mengeluarkan lembab
- Cuci dengan minyak panas yang difilter dan sirkulasi selama satu jam
- Tuang sampai bersih
- Vacum 0,1 mmhg selama 10 menit

Isi dengan minyak yang difilter sampai 2,5 bar

Isi minyak sampai 1,5 bar pada suhu ambient 20°C

## **7.5. Perhitungan Sistem Hidrolik.**

Dalam menghitung jumlah kebutuhan tangki dan tekan yang akan terjadi pada masing-masing tangki akan dibahas dalam perhitungan sisyem hidrolik ini.

Karaktaristik Umum :

### **1. Volume minyak pada setiap bagian (Kabel dan asoseris)**

Kabel	:	1,16 lt/m
Straight joint	:	18 lt
Stop joint bagian utama	:	150 lt
bagian lain	:	35 lt
Sealing end out door	:	30 lt
SF6 Sealing end	:	10 lt
Tangki utama (maksimum)	:	100 lt.

### **2. Perubahan temperature**

Temperatur minyak maksimum pada saluran kabel = 85°C.

Rata-rata temperature minyak pada kabel = 80°C.

Temperature minimum tanah = 25°C

Temperature minimum ambient = 25°C.

Temperature maximum pada matahari penuh (siang hari) = 55°C. Maka perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) pada masing-masing peralatan adalah:

Kabel 80°C - 25°C = 55°C

Straight joint 80°C - 25°C = 55°C

Stop joint 80°C - 25°C = 55°C

Sealing end 55°C - 25°C = 30°C

SF 6 S.E. 65°C - 25°C = 40°C

Tangki 55°C - 25°C = 30°C

### **3 Coeff muai minyak adalah : $8,4 \cdot 10^{-4} /^\circ C$**

Volume pemuaian minyak pada masing-masing peralatan adalah

Kabel 1.161x 8,4. 10-4 x 55<sup>o</sup> C = 0,0536 lt/m.  
 Straight joint 18 x 8,4. 10-4 x 55<sup>o</sup> C = 0,83 lt  
 Stop joint (utama) 150 x 8,4. 10-4 x 55<sup>o</sup> C = 6,93 lt  
 (Bantu) 36 x 8,4. 10-4 x 55<sup>o</sup> C = 1,62 lt  
 Sealing end 30 x 8,4. 10-4 x 30<sup>o</sup> C = 0,75 lt  
 SF 6 S.E.10 x 8,4. 10-4 x 40<sup>o</sup> C = 0,34 lt  
 Tangki 100 x 8,4. 10-4 x 30<sup>o</sup> C = 2,52 lt.

#### a. Seksi 1 (GI - J6).

Total Volume pemuaian minyak Kabel  
 0,0536 lt. x 2820 m = 151,15 ltr.  
 Straight joint  
 0,83 lt x 5 unit = 4,15 ltr  
 Stop Joint (Bantu)  
 1,62 lt x 1 unit = 1,62 ltr  
 Sealing end (Sf6)  
 0,34 lt x 1 unit = 0,34 ltr  
 Total volume pemuaian = 157,17 ltr

#### b. Tekanan Statik

Perhitungan tekanan static minyak kabel yang tertinggi, terendah dan menengah, menggunakan formula sbb :

$$Fs(x) = P \pm 0,0853 \times Hx \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana : 0,0853 adalah density minyak pada temp 25<sup>o</sup> C  
 $0,0853 \times Hx \times 0,981$  (dlm Bar) adalah nilai yang akan ditambahkan atau dikurangkan sesuai pertimbangkan titik "x" berada diatas atau dibawah titik referensi. Data level peralatan antara GI – J6 dari permukaan laut :

Tinggi permukaan tanah di GI = 27m

Tinggi pemukaan tanah stop joint = 24,75 m

Tinggi tiang struktur penyangga = 2,50 m.

Tinggi insulator = 1,90 m.

Titik tertinggi 1st manometer adalah = 31,4m.

Tinggi pondasi = 0,10 m

Tinggi peralatan di GI (terminal SE) = 31,50 m.

Tinggi manometer = 1,40 m

Tinggi manometer diatas permukaan laut = 27 + 1,4 = 28,40 m.

Tinggi/level kabel dapat dilihat pada tabel 7.2

Tabel 7.2 Tinggi/level kabel

Point.	Level.(H)	Jarak.
1	25.80	300
2	25.25	465
3	28.90	902
4	26.40	940
5	18.20	1400
6	20.55	1450
7	18.10	1500
8	27.30	1980
9	25.40	2350
10	23.80	2730
11	24.75	2820

## 7.6. Keselamatan kerja dan peralatan.

Tekanan keselamatan (safety) minimum adalah 0,3 bar pada manometer yang terletak diatas. Tekanan minimum pada tangki utama adalah 0,6 bar. Maka tekanan minimum pada manometer adalah sbb :

$0.6 - (31,5 - 28,40) \times 0.0853 \times 0.981 = 0.34 \text{ bar}$   
dengan demikian titik referensinya adalah dibagian atas tangki utama yang ada di Gardu Induk yaitu :  $27,0 + 1,4 = 28,40 \text{ m}$   
ket : tinggi manometer dari tanah = 1,4 meter.  
Hasil perhitungan tekanan pada setiap point (titik)

Tabel 7.3.Tekanan pada kabel minyak

Point.	Formula.	Tekanan. (bar)
1	$0.6 + (28,40 - 25.80) \times 0.0853 \times 0.981$	0.82
2	$0.6 + (28,40 - 25.25) \times 0.0853 \times 0.981$	0.86
3	$0.6 - (28.90 - 28,40) \times 0.0853 \times 0.981$	0.604
4	$0.6 + (28,40 - 26.40) \times 0.0853 \times 0.981$	0.77
5	$0.6 + (28,40 - 18.20) \times 0.0853 \times 0.981$	1.45
6	$0.6 + (28,40 - 20.55) \times 0.0853 \times 0.981$	1.26
7	$0.6 + (28,40 - 18.10) \times 0.0853 \times 0.981$	1.46
8	$0.6 + (28,40 - 27.30) \times 0.0853 \times 0.981$	0.68
9	$0.6 + (28,40 - 25.40) \times 0.0853 \times 0.981$	0.85
10	$0.6 + (28,40 - 23.80) \times 0.0853 \times 0.981$	0.98
11	$0.6 + (28,40 - 24.75) \times 0.0853 \times 0.981$	0.91
Tekanan minimum pada tangki bagian atas di J6		
	$0.6 + (28,40 - 26.15) \times 0.0853 \times 0.981$	0.79

Tekanan Transient

$$\Delta P_{\text{max dingin}} = -1.98 (2lx - x^2) 10^{-7} \times 0.981$$

$$\Delta P_{\text{max panas}} = +13 (2lx - x^2) 10^{-7} \times 0.981$$

Keterangan :

$$l = L/2 = \frac{2820}{2} = 1410 \text{ meter}$$

Hasil perhitungan tekanan minyak berdasarkan level kabel dapat dilihat pada tabel 7.3.

Table 7.3. Hasil perhitungan tekanan minyak berdasarkan level kabel.

Jarak	Point	Tinggi minyak (m)		Static pressure $\Delta P$	$\Delta P_{max}$ dingin	$\Delta P_{max}$ panas	Mini static pressure	Mini press with cooling	Maxi static pressure
		level	selisih						
0	GI SE	31.5	- 3.10	- 0.26	0	0	0.44	0.44	2.05
0	Tangki	28.4	0	0	0	0	0.70	0.70	2.31
300	1	25.8	2.60	0.22	- 0.15	0.98	0.92	0.77	2.53
465	2	25.2 5	3.15	0.26	- 0.21	1.38	0.96	0.75	2.57
902	3	28.9 0	- 0.50	- 0.04	- 0.34	2.23	0.66	0.32	2.27
940	4	26.4 0	2.00	0.17	- 0.34	2.23	0.87	0.53	2.48
1400	5	18.2 0	10.20	0.85	- 0.39	2.56	1.55	1.16	3.16
1410	5'	18.2 0	10.20	0.85	- 0.39	2.56	1.55	1.16	3.16
1370	6	20.5 5	7.85	0.66	- 0.385	2.53	1.36	0.975	2.97
1320	7	18.1 0	10.30	0.86	- 0.38	2.49	1.56	1.18	3.17
840	8	27.3 0	1.10	0.09	- 0.32	2.10	0.79	0.47	2.40
470	9	25.4 0	3.00	0.25	- 0.21	1.38	0.95	0.74	2.56
9	10	23.8 0	4.60	0.38	- 0.05	0.33	1.08	1.03	2.69
0	SJ6	24.7 5	3.65	0.31	0	0	1.01	1.01	2.62
0	tangki	26.1 5	2.25	0.19	0	0	0.89	0.89	2.5
L=1410		Tekanan minyak minimum pada tangki di GI=0,7 bar							

Dari rumus dibawah ini diperoleh kelebihan volume minyak pada tangki tekanan :

$$\Delta V_{pt} = K \left[ N_1 \left( \frac{T_{min}}{P_{opt\_1}} - \frac{T_{max}}{P_{opt\_2}} \right) + N_2 \left( \frac{T_{min}}{P_{opt\_2}} - \frac{T_{max}}{P_{opt\_1}} \right) \right]$$

keterangan :

- $T_{min} = 273^\circ + 25^\circ = 298^\circ$  Kelvin  
 $T_{max} = 273^\circ + 45^\circ = 318^\circ$  Kelvin (45° real ambient temperature)  
 $P_{opt_1}$  = tekanan kerja minimum tangki di GI = 1,713 bar absolute  
 $P_{opt_2}$  = tekanan kerja minimum tangki di J6 = 1,903 bar absolute  
 $P_{2pt_1}$  = tekanan kerja maksimum tangki di GI = 3.323 bar absolute  
 $P_{2pt_2}$  = tekanan kerja maksimum tangki di J6 = 3.513 bar absolute  
 $N_1$  = Jumlah tangki di GI.  
 $N_2$  = Jumlah tangki di J6.  
 $K$  = 0,6 untuk tangki tekanan utama (type MP120).

$$\Delta V_{pt} = 0.6 \left[ N_1 \left( \frac{298}{1.713} - \frac{318}{3.323} \right) + N_2 \left( \frac{298}{1.903} - \frac{318}{3.513} \right) \right]$$

$$- \Delta V_{pt} = 47 N_1 + 66,1 N_2$$

$$\Delta V \text{ total} = \Delta V \text{ expansion} + \Delta V \text{ tank}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\Delta V \text{ exp} &= 157,17 \text{ ltr} \\ \Delta V \text{ tank} &= 2.52 (N_1 + N_2). \\ (2.52 &= \text{koefisien tangki})\end{aligned}$$

$$\Delta V \text{ total} = 157,17 + 2.52 (N_1 + N_2).$$

Maka didapat :

$$\begin{aligned}157,17 + 2.52 (N_1 + N_2). &= 47 N_1 + \\ 66,1 N_2 & \\ 157,17 &= 44,5 N_1 + 63,6 N_2\end{aligned}$$

$$\text{Jika : } N_1 = N_2$$

$$= \frac{157,17}{44,5 + 63,6} = 1,5 \Rightarrow 2$$

Karena  $N_1 = N_2 = 2$  maka kemampuan tanki menampung kelebihan minyak hanya 200 ltr Pada hal volume minyak akan berlebih sebesar :

$$\Delta V \text{ total} = 44,5 \cdot 3 + 63,6 \cdot 3 = 157,17$$

Total kelebihan minyak = 434,13 – 157,17 = 276,96 ltr. sehingga didapat jumlah tank di stop joint 6 dan 12 adalah :  $N_1 = N_2 = 3$  buah untuk kapasitas tanki 100 ltr.

### 1. Setting tekanan alarm

Berdasarkan batasan keselamatan yang mengizinkan bahwa volume minyak adalah 20 liter yang dibutuhkan sebelum alarm yaitu :

$$167,13 + 2.52 \times 6 + 20 = 202,25 \text{ ltr.}$$

Jika  $P_o$  = absolute tekanan alarm di tangki minyak di GI (bag atas).

$$20225 = 0,6 \left[ 3 \left( \frac{298}{P_o} - \frac{318}{3.323} \right) + 3 \left( \frac{298}{P_o + 0,19} - \frac{318}{3.513} \right) \right]$$

$$20225 = \frac{5364}{P_o} - 1723 + \frac{5364}{P_o + 0,19} - 1629$$

$$5375 = \frac{5364}{P_o} + \frac{5364}{P_o + 0,19}$$

$$P_o = 1,905 \text{ bar (abs)}.$$

$P_o = 0,89$  bar (manometer atau 89 kPa).

$Po$  = alarm pada manometer di GI. = 87 kPa.

$Pso = 70$  kPa (manometer).

Tekanan  $Pso$  pada manometer adalah = 68 kPa.

Kelebihan minyak pada saat  $P$  alarm dan  $Pso$ .

## 2. Setting tekanan off / Trip.

Penunjukan tekanan pada manometer diatas tangki di GI = 0,7 bar.

$$\Delta V_{so} = 0,6 \left[ 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{Pso} - \frac{1}{Po} \right) + 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{Pso + 0,19} - \frac{1}{Po + 0,19} \right) \right]$$

dimana :

$$T_{\min} = 273^\circ + 25^\circ = 298^\circ \text{ Kelvin}$$

$$Pso = 0,70 + 1,013 = 1,713 \text{ bar abs.}$$

$$Po = 1,905 \text{ bar abs.}$$

$$\Delta V_{so} = 0,6 \left[ 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{Pso} - \frac{1}{Po} \right) + 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{Pso + 0,19} - \frac{1}{Po + 0,19} \right) \right]$$

$$\Delta V_{so} = 1,8 \times 298 \left[ \left( \frac{1}{1.73} - \frac{1}{1.905} \right) + \left( \frac{1}{1.92} - \frac{1}{2.095} \right) \right]$$

$$\Delta V_{so} = 51,8 \text{ ltr}$$

## 3. Setting tekanan pada kondisi temperature ambient.

Diketahui jika :

$Ta$  = temperature setempat dimana akan men setting tekanan.

$T_{\min}$  = temperature minimum setempat.

$\Delta va$  = volumetric expansion minyak pada  $Ta$  dan  $T_{\min}$ , dirumuskan sbb:

$$\Delta va = 8,4 \times 10^{-4} (Ta - T_{\min})(volume minyak)$$

$$Ta = 30^\circ + 273^\circ = 303^\circ \text{ K.}$$

$$T_{\min} = 25^\circ + 273^\circ = 298^\circ \text{ K}$$

$$\Delta va = 8,4 \times 10^{-4} ( Ta - T_{\min} )(volume minyak)$$

$$= 8,4 \times 10^{-4} ( 5 )(4154)$$

$$= 17,4 \text{ ltr.}$$

Adanya marjin sebesar 15 liter maka :

$$\Delta va = 17,4 + 15 = 32,4 \text{ liter.}$$

Variasi volume minyak pada tangki pada temperature antara  $298^\circ \text{ K}$  dan  $303^\circ \text{ K}$  pemuaiannya/expansinya akan stabil, dengan perhitungan rumus sbb :

$$\Delta v_a = N_1 K_1 \left( \frac{T_{\min}}{Pal_1} - \frac{T_a}{Ps_1} \right) + N_2 K_2 \left( \frac{T_{\min}}{Pal_2} - \frac{T_a}{Ps_2} \right)$$

dimana :

$P_{al\_1}$  = tekanan alarm minimum pada saat  $T_{min}$  pada tangki minyak dilokasi tertinggi

$P_{al\_2}$  = tekanan alarm minimum pada saat  $T_{min}$  pada tangki minyak dilokasi terendah.

$P_{s1}$  = Setting tekanan pada saat  $T_a$  pada tangki minyak dilokasi tertinggi

$P_{s2}$  = Setting tekanan pada saat  $T_a$  pada tangki minyak dilokasi terrendah.

$$32 \cdot 4 = 0.6 \times 3 \left[ \left( \frac{298}{1.905} - \frac{303}{P_{set}} \right) + \left( \frac{298}{2.095} - \frac{303}{P_{set} + 0.19} \right) \right]$$

$$32 \cdot 4 = 281 \cdot 57 - \frac{545 \cdot 4}{P_{set}} + 256 \cdot 03 - \frac{545 \cdot 4}{P_{set} + 0.19}$$

$$\frac{505 \cdot 2}{545 \cdot 4} = \frac{1}{P} + \frac{1}{P + 0.19}$$

$$0.926 = \frac{P + 0.19 + P}{P(P + 0.19)} = \frac{2P + 0.19}{P^2 + 0.19P}$$

$$0.926 P^2 + 0.176 P - 2P - 0.19 = 0$$

$$0.926 P^2 - 1.83 P - 0.19 = 0$$

diperoleh :

$$P = 2,07 \text{ bar (absolute)}$$

$$P = 106 \text{ kPa (relative)}$$

Penujukan pada manometer 104 kPa.

Tabel 7.4 Setting tekanan pada kondisi temperature ambient

	Gardu Induk.	Joint 6.
Jumlah tangki minyak	3	3
Tekanan Alarm	87 kPa	106 kPa
Tekanan Trip	68 kPa	87 kPa
Tekanan setting pada $30^\circ C$	104 kPa	123 kPa

### SEKSI J6 – J12

Total Volume pemuaian minyak.

Kabel  $0.0536 \text{ lt.} \times 2990 \text{ m} = 160.30 \text{ ltr.}$

Straight joint  $0.83 \text{ lt} \times 5 \text{ unit} = 4.15 \text{ ltr}$

Stop Joint (Utama)  $6.93 \text{ lt} \times 1 \text{ unit} = 6.93 \text{ ltr}$

(Bantu)  $1.62 \text{ lt} \times 1 \text{ unit} = 0.34 \text{ ltr}$

Tekanan pada tangki  $173.00 \text{ ltr}$

## Tekanan StatiK

$$Ps(x) = P \pm 0,0853 \times Hx \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$$= P \pm 0,0853 \times Hx \times 0,981 \text{ (dlm Bar)}$$

Hx adalah nilai perbedaan level anatra stop joint = 24,75 m dan level tangki bagian atas = 26,15 m pada lokasi stop joint J6

Dimana : 0,0853 adalah density minyak pada temp 25° C  
Tinggi/level kabel pada tabel 7.4.

Point.	Level.(H)	Jarak
1	19.30	340
2	20.20	960
3	21.60	1460
3'	21.25	1495
4	15.50	1830
5	23.15	2430
6	26.45	2910
7	23.10	2990
Tinggi tangki minyak di J12		
	24.50	2990

dengan demikian titik referensinya adalah dibagian atas tangki utama yang ada di Gardu Induk yaitu :

$$24.50 + 1,65 = 26,15 \text{ m.}$$

ket : tinggi manometer dari tanah = 1,65 meter.

Hasil perhitungan tekanan pada setiap point (titik)

Tabel 7.5.Tekanan minyak

Point.	Formula.	Tekanan. (bar)
1	$0.6 + (26,15 - 19.30) \times 0.0853 \times 0.981$	1.173
2	$0.6 + (26,15 - 20.20) \times 0.0853 \times 0.981$	1.10
3	$0.6 + (26,15 - 21.60) \times 0.0853 \times 0.981$	0.98
3'	$0.6 + (26,15 - 21.25) \times 0.0853 \times 0.981$	1.01
4	$0.6 + (26,15 - 15.50) \times 0.0853 \times 0.981$	1.49
5	$0.6 + (26,15 - 23.15) \times 0.0853 \times 0.981$	0.85
6	$0.6 - (26,45 - 26,15) \times 0.0853 \times 0.981$	0.575
7	$0.6 + (26,15 - 23.10) \times 0.0853 \times 0.981$	0.86
Tekanan minimum pada tangki bagian atas di J12		
	$0.6 + (26,15 - 24.50) \times 0.0853 \times 0.981$	0.74

Tekanan Transient

$$\Delta P_{\text{max dingin}} = -1.98 (2lx - x^2) 10^{-7} \times 0.981$$

$$\Delta P_{\text{max panas}} = +13 (2lx - x^2) 10^{-7} \times 0.981$$

Keterangan :  $l = L/2 = \frac{2990}{2} = 1445$  meter

Table 7.6. hasil perhitungan tekanan minyak berdasarkan level kabel.

Jarak .	Point.	Tinggi minyak (m)		Stati c pres sure $\Delta P$	$\Delta P_{\text{max dingin}}$	$\Delta P_{\text{max panas}}$	Ministati c pres sure	Minipress with coolin g	Maxistati c pres - sure	Maxipres s with heating
		level	selisih							
0	Tan k J6	26.15	0	0	0	0	0.6	0.6	2.36	2.36
0	SJ 6	24.75	-1.4	+0.12	0	0	0.72	0.72	2.48	2.48
340	1	19.30	6.85	0.573	-0.18	1.18	1.17	0.99	2.93	4.11
960	2	20.20	5.95	0.50	-0.38	2.50	1.10	0.72	2.86	5.36
1460	3	21.60	4.55	0.38	-0.43	2.82	0.98	0.55	2.74	5.36
95/14 96	3'	21.25	4.90	0.41	-0.434	2.85	1.01	0.58	2.77	5.62
160/1 830	4	15.50	10.65	0.89	-0.41	2.69	1.49	1.08	3.25	5.94
560/2 430	5	23.15	3	0.25	-0.26	1.71	0.85	0.59	2.61	4.32
30/29 10	6	26.45	-0.30	-0.025	-0.04	0.26	0.575	0.54	2.34	2.60
0/299 0	7(J 12)	23.10	3.05	0.25	0	0	0.86	0.86	2.62	2.62
0/299 0	Tan gk top	24.50	1.65	0.14	0	0	0.74	0.74	2.5	2.50

Didapatkan kelebihan volume minyak.

Dari rumus dibawah ini diperoleh kelebihan volume minyak pada tangki tekanan :

$$\Delta V_{pt} = K \left[ N_1 \left( \frac{T_{min}}{P_{opt\_1}} - \frac{T_{max}}{P_{2pt\_1}} \right) + N_2 \left( \frac{T_{min}}{P_{opt\_2}} - \frac{T_{max}}{P_{2pt\_2}} \right) \right]$$

keterangan :

$$T_{min} = 273^\circ + 25^\circ = 298^\circ \text{ Kelvin}$$

$$T_{max} = 273^\circ + 45^\circ = 318^\circ \text{ Kelvin } (45^\circ \text{ real ambient temperature})$$

$$P_{opt\_1} = \text{tekanan kerja minimum tangki di J6} = 1,613 \text{ bar absolute}$$

$$P_{opt\_2} = \text{tekanan kerja minimum tangki di J12} = 1,753 \text{ bar absolute}$$

$$P_{2pt\_1} = \text{tekanan kerja maksimum tangki di GI} = 3.373 \text{ bar absolute}$$

$$P_{2pt\_2} = \text{tekanan kerja maksimum tangki di J6} = 3.513 \text{ bar absolute}$$

$$N_1 = \text{Jumlah tangki di GI.}$$

$$N_2 = \text{Jumlah tangki di J6.}$$

$$K = 0,6 \text{ untuk tangki tekanan utama (type MP120).}$$

$$\Delta V_{pt} = 0.6 \left[ N_1 \left( \frac{298}{1.713} - \frac{318}{3.323} \right) + N_2 \left( \frac{298}{1.903} - \frac{318}{3.513} \right) \right]$$

$$- \Delta V_{pt} = 54 \cdot 3 N_1 + 47 \cdot 71 N_2$$

$$\Delta V \text{ total} = \Delta V \text{ expansion} + \Delta V \text{ tank}$$

Dimana :

$$\Delta V \text{ exp} = 173 \text{ ltr}$$

$$\Delta V \text{ tank} = 2.52 (N_1 + N_2). \quad \Delta (2.52 = \text{koefisien tangki})$$

$$\Delta V \text{ total} = 173 + 2.52 (N_1 + N_2).$$

Maka didapat :

$$\Delta V \text{ total} = 173 + 2.52 (N_1 + N_2). = 54.3 N_1 + 47.7 N_2$$

$$\Delta V \text{ total} = 173 = 51.8 N_1 + 45.2 N_2$$

Jika :

$$N_1 = N_2 =$$

$$\frac{173}{51.8 + 45.2} = 1,78 \Rightarrow 2$$

Karena  $N_1 = N_2 = 2$  maka kemampuan tanki menampung kelebihan minyak hanya 200 ltr

Pada hal volume minyak akan berlebih sebesar :

$$\Delta V \text{ total} = 173 = 51.8 \cdot 3 + 45.2 \cdot 3$$

$$\text{Total kelebihan minyak} = 291 - 173 = 118 \text{ ltr.}$$

sehingga didapat jumlah tank di stop joint 6 dan 12 adalah :  $N_1 = N_2 = 3$  buah untuk kapasitas tanki 100 ltr.

### **Setting tekanan alarm**

Berdasarkan batasan keselamatan yang mengizinkan bahwa volume minyak adalah 20 liter yang dibutuhkan sebelum alarm yaitu :

$$173 + 2.52 \times 6 + 20 = 208,12 \text{ ltr.}$$

Jika  $P_o$  = absolute tekanan alarm di tangki minyak J6 (bag atas).

$$\begin{aligned}\Delta V &= 0,6 \left[ N_1 \left( \frac{T_{\min}}{P_o} - \frac{T_{\max}}{P_{\max}} \right) + N_2 \left( \frac{T_{\min}}{P_o + 0,14} - \frac{T_{\max}}{P_{\max} + 0,14} \right) \right] \\ 208 \cdot 12 &= 0,6 \left[ 3 \left( \frac{298}{P_o} - \frac{318}{3,323} \right) + 3 \left( \frac{298}{P_o + 0,14} - \frac{318}{3,513} \right) \right] \\ 540 \cdot 74 &= \frac{536 \cdot 4}{P_o} - 172 \cdot 3 + \frac{536 \cdot 4}{P_o + 0,19} - 162 \cdot 9 \\ 1 \cdot 01 &= \frac{1}{P_o} + \frac{1}{P_o + 0,14}\end{aligned}$$

$$P_o = 1,905 \text{ bar (abs)}.$$

$$P_o = 0,90 \text{ bar (manometer atau } 90 \text{ kPa}).$$

$$P_o = \text{alarm pada manometer di GI.} = 88 \text{ kPa.}$$

### **Setting tekanan off / Trip.**

Penunjukan tekanan pada manometer diatas tangki di GI = 0,6 bar.

$P_{so} = 60 \text{ kPa}$  (manometer).

Tekanan  $P_{so}$  pada manometer adalah = 58 kPa.

Kelebihan minyak pada saat P alarm dan  $P_{so}$ .

$$\Delta V_{so} = 0,6 \left[ 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{P_{so}} - \frac{1}{P_o} \right) + 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{P_{so} + 0,19} - \frac{1}{P_o + 0,19} \right) \right]$$

dimana :

$$T_{\min} = 273^\circ + 25^\circ = 298^\circ \text{ Kelvin}$$

$$P_{so} = 0,60 + 1,013 = 1,613 \text{ bar abs.}$$

$$P_o = 1,932 \text{ bar abs.}$$

$$\Delta V_{so} = 0.6 \left[ 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{P_{so}} - \frac{1}{P_o} \right) + 3 \times T_{\min} \left( \frac{1}{P_{so} + 0,19} - \frac{1}{P_o + 0,19} \right) \right]$$

$$\Delta V_{so} = 1,8 \times 298 \left[ \left( \frac{1}{1.613} - \frac{1}{1.932} \right) + \left( \frac{1}{1.753} - \frac{1}{2.072} \right) \right]$$

$$\Delta V_{so} = 102 \text{ ltr}$$

### **Setting tekanan pada kondisi temperature ambient.**

Diketahui jika :

$T_a$  = temperature setempat dimana akan men setting tekanan.

$T_{\min}$  = temperature minimum setempat.

$\Delta va$  = volumetric expansion minyak pada  $T_a$  dan  $T_{\min}$ , dirumuskan sbb:

$\Delta va = 8,4 \times 10^{-4} (T_a - T_{\min})(\text{volume minyak})$

$$T_a = 30^\circ + 273^\circ = 303^\circ \text{ K.}$$

$$T_{\min} = 25^\circ + 273^\circ = 298^\circ \text{ K}$$

$$\Delta va = 8,4 \times 10^{-4} (T_a - T_{\min})(\text{volume minyak})$$

$$= 8,4 \times 10^{-4} (5)(4346)$$

$$= 18,25 \text{ ltr.}$$

Adanya marjin sebesar 15 liter maka :

$$\Delta va = 18,25 + 15 = 33,25 \text{ liter.}$$

Variasi volume minyak pada tangki pada temperature antara  $298^\circ \text{ K}$  dan  $303^\circ \text{ K}$  pemuaiannya/expansinya akan stabil, dengan perhitungan rumus sbb :

$$\Delta V_a = N_1 K_1 \left( \frac{T_{\min}}{P_{al\_1}} - \frac{T_a}{P_{s\_1}} \right) + N_2 K_2 \left( \frac{T_{\min}}{P_{al\_2}} - \frac{T_a}{P_{s\_2}} \right)$$

dimana :

$P_{al\_1}$  = tekanan alarm minimum pada saat  $T_{\min}$  pada tangki minyak dilokasi tertinggi

$P_{al\_2}$  = tekanan alarm minimum pada saat  $T_{\min}$  pada tangki minyak dilokasi terendah.

$P_{s\_1}$  = Setting tekanan pada saat  $T_a$  pada tangki minyak dilokasi tertinggi

$P_{s\_2}$  = Setting tekanan pada saat  $T_a$  pada tangki minyak dilokasi terrendah.

$$33.25 = 0.6 \times 3 \left[ \left( \frac{298}{1.932} - \frac{303}{P_{set}} \right) + \left( \frac{298}{2.072} - \frac{303}{P_{set} + 0.14} \right) \right]$$

$$33.25 = 281.57 - \frac{545.4}{P_{set}} + 256.03 - \frac{545.4}{P_{set} + 0.14}$$

$$\frac{503.3}{545.4} = \frac{1}{P} + \frac{1}{P + 0.14}$$

$$0.922 = \frac{P + 0.14 + P}{P(P + 0.14)} = \frac{2P + 0.14}{P^2 + 0.14P}$$

$$0.922P^2 + 0.176P - 2P - 0.19 = 0$$

$$0.922P^2 - 1.83P - 0.19 = 0$$

diperoleh :

$$P = 2,099 \text{ bar (absolute)}$$

$$P = 109 \text{ kPa (relative)}$$

Penujukan pada manometer 107 kPa.

Setting tekanan pada kondisi temperature ambient. Seperti tabel 7.7

Tabel 7.7 Setting tekanan pada kondisi temperature ambient.

	Gardu Induk.	Joint 6.
Jumlah tangki minyak	3	3
Tekanan Alarm	90 kPa	104 kPa
Tekanan Trip	58 kPa	72 kPa
Tekanan setting pada 30° C	107 kPa	121 kPa

## 7.7. Crossbonding dan Pentanahan

### 1 Tegangan Induksi

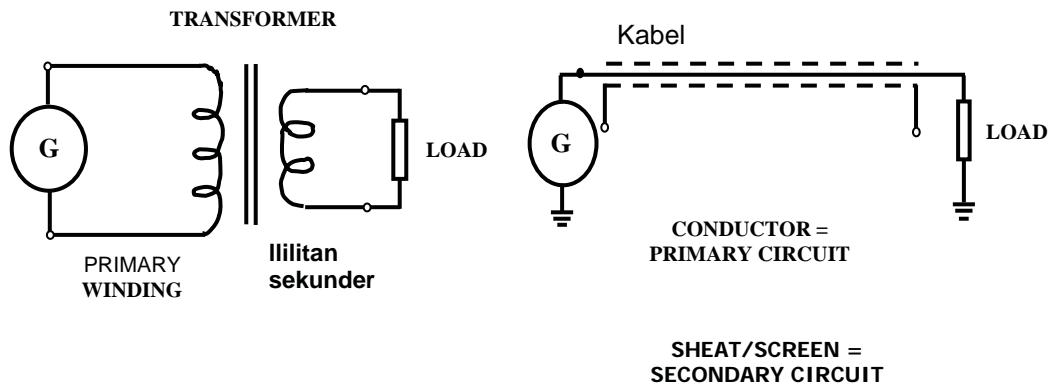
Kabel power inti tunggal dengan selubung logam akan bersifat seperti transformator, konduktor sebagai kumparan primer dan selubung logam merupakan kumparan sekunder. Arus pada kumparan primer atau arus konduktor akan menginduksikan tegangan pada kumparan sekunder

yaitu selubung logam. Tegangan pada selubung logam atau screen akan tergantung pada arus konduktor dan panjang kabel.

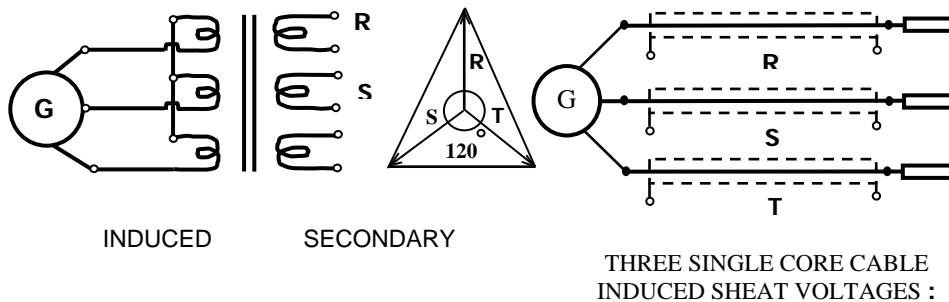
Hal ini dapat menimbulkan bahaya tegangan dan sepanjang saluran dan dapat merusak kabel. Kerugian lain mempercepat terjadinya korosi, sebagai akibat senyawa asam dengan garam tanah yang terkandung didalam cairan tanah. Tegangan maksimum yang diijinkan tanpa menimbulkan korosi yang berlebihan adalah

cukup rendah (12 volt), sehingga dijadikan patokan untuk menentukan batas tegangan selubung logam. Pada sistem tiga fasa yang terdiri dari tiga kabel berinti tunggal akan menginduksikan tegangan pada masing-masing selubung logam dan tegangan induksi yang timbul

akan bergeser  $120^{\circ}\text{C}$ . Apabila sistem tiga fasa tersebut seimbang maka jumlah tegangan ketiga konduktor tersebut akan sama dengan nol. Kenyataan ini bila sistem kabel tanah tersebut menggunakan sistem crosbonding



Gambar 7.4. Tegangan Induksi Pada kabel

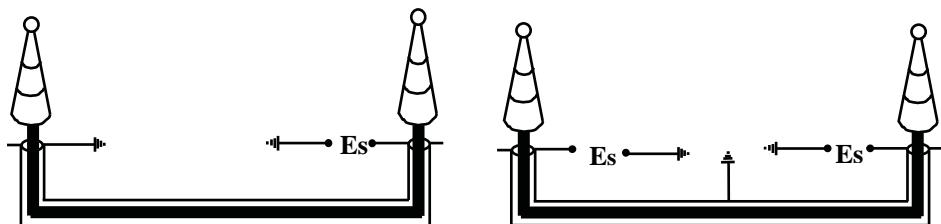


Gambar 7.5. Representasi kabel sistem 3 fasa

## 2. Ikatan (bonding) pada satu titik

Karena tegangan induksi pada selubung logam proporsional dengan panjang kabel ,maka untuk kabel yang pendek dapat

ditanahkan pada satu titik ujungnya tanpa resiko tegangan induksi selubung logam pada ujung yang lain.Kabel yang ditanahkan pada titik tengah ,dapat mempunyai tegangan dua kali kabel yang ditanahkan pada satu titik.

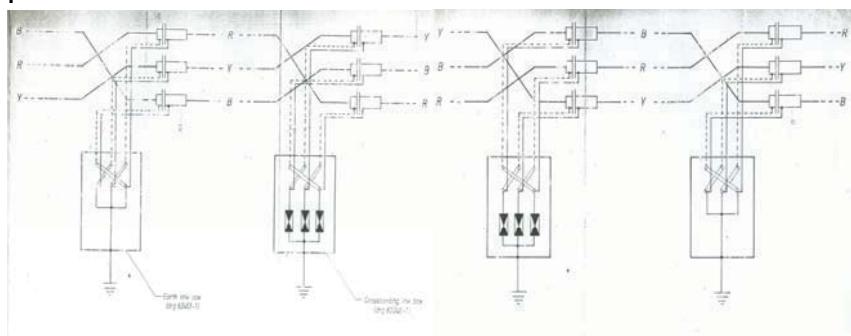


**Gambar 7.6 Kabel ditanahkan satu dan dua**

### **3. Penggabungan selubung logam pada kedua ujung.**

Untuk mencegah tegangan induksi selubung logam yang tinggi dan berbahaya maka selubung logam harus digabung dan ditanahkan pada kedua ujungnya. Kabel inti tunggal dimana selubung logam diikat (bonding) pada kedua ujungnya akan bekerja seperti Transformator yang kumparan sekundernya dihubung

singkat dan melalukan arus hubung singkat. Arus selubung logam akan menimbulkan rugi selubung logam dan menimbulkan panas yang harus dikompensasi dengan mengurangi arus beban pada konduktor. Hal ini berarti bahwa penggabungan selubung logam pada kedua ujungnya akan berkurang kuat hantar arusnya dibandingkan sistem yang diikat (bonding) satu ujung.

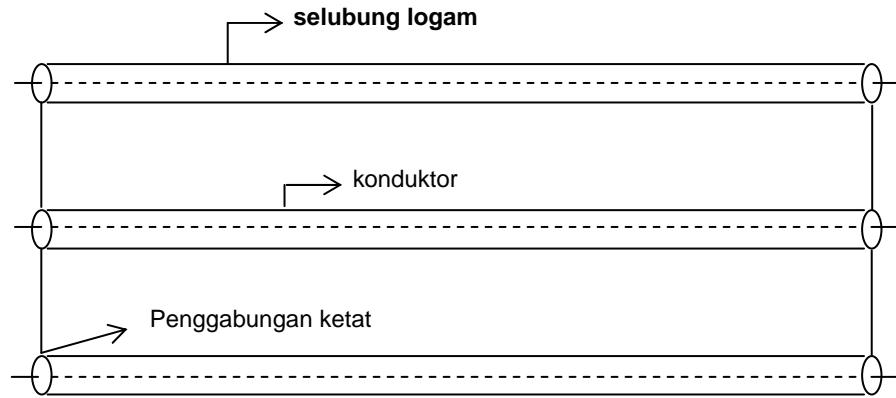


**Gambar 7.7 Sistem crossbonding**

### **7.8. Cara konstruksi solid bonding**

Pada pemasangan cara ini diadakan penggabungan ketat selubung logam kabel fasa pada beberapa tempat sepanjang

bentangan kabel, terutama pada kedua ujungnya. Penganahan selubung logam hanya dilakukan pada satu titik untuk tiap fasanya yaitu pada ujung atau ditengah.

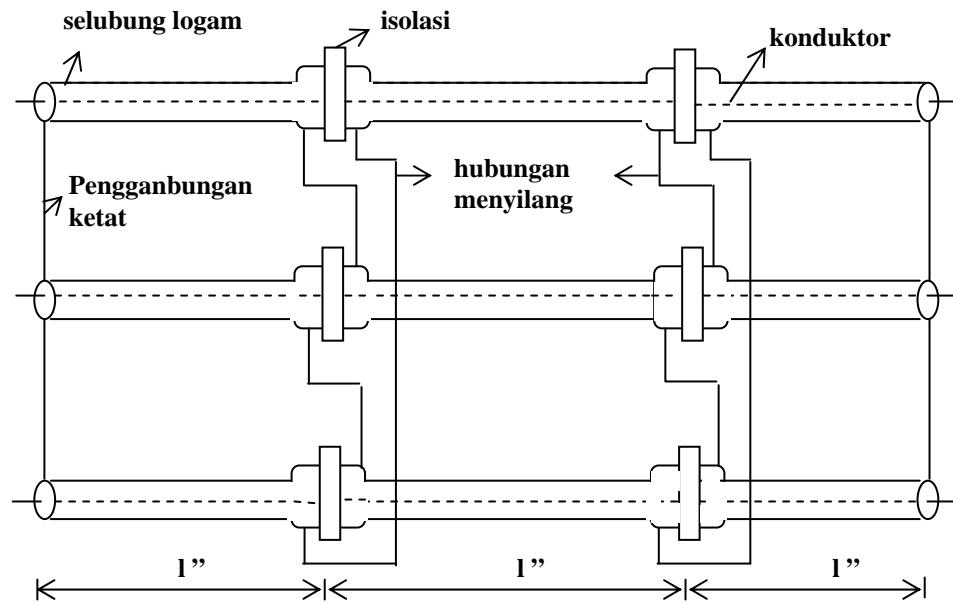


Gambar 7.7. Cara pemasangan kabel berinti tunggal dengan konstruksi solid - bonding

### 1. Cara Konstruksi Sheath – Cross – Bonding

Cara pemasangan dengan konstruksi sheath – cross bonding (penggabungan menyilang lapisan

selubung logam) untuk saluran bawah tanah yang memakai kabel berinti tunggal berlapisan selubung logam (sheath) dapat ditunjukkan pada gambar 7.8.

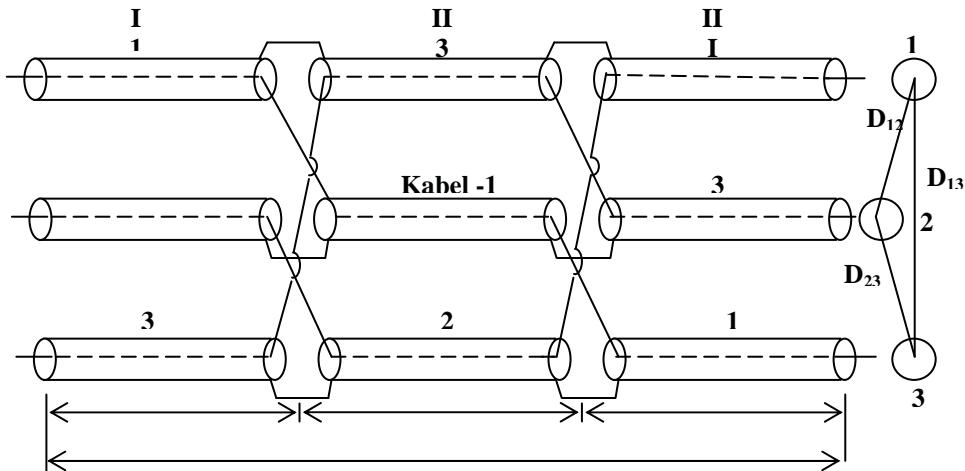


Gambar 7.8. Cara pemasangan kabel berinti tunggal dengan konstruksi sheath – cross - bonding

Pada konstruksi ini digunakan peralatan sambungan khusus, untuk membentuk sambungan silang selubung logam yaitu pada sepertiga atau duapertiga panjang salurannya.

### 3. Konstruksi transposisi crossbonding.

Pemasangan dengan konstruksi crossbonding untuk kabel bawah tanah yang menggunakan kabel inti tunggal seperti gambar 7.9.



Gambar 7.9. Pemasangan kabel inti satu dengan konstruksi transposisi crossbonding

Kabel kabel fasa ditransposisi antara bentangan salurannya, sehingga bentangan kabel terbagi menjadi tiga bagian sama panjang. Pada sepertiga dan duapertiga panjang bentangan dilakukan penggabungan antara selubung logam kabel fasa.

## 7.9. Transposisi dan sambung silang

### 1. Sambung Silang Selubung Logam

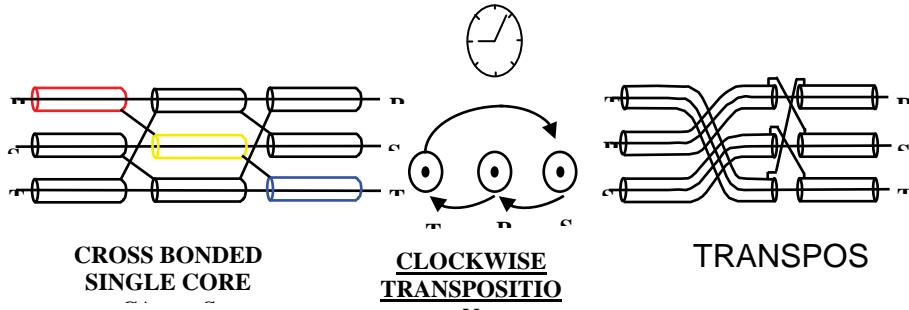
Kabel distribusi umumnya dipasang dengan selubung digabungkan dan ditanahkan. Guna membatasi arus sirkulasi kabel inti satu yang disebabkan oleh fluksi magnetik antara

konduktor dan selubung maka pemasangan kabel harus dekat dan selubung menempel dengan posisi "trefoil". Namun posisi seperti ini tidak baik untuk disipasi panas.

Jika kabel sistem tiga fasa inti satu ini dibagi menjadi tiga bagian yang sama dan selubung itu dapat diinterkoneksi, maka tegangan induksi ini akan saling menghilangkan. Apabila kabel-kabel inti satu ini digelar dengan posisi mendatar (flat) maka tegangan induksi pada kabel yang ditengah tidak sama dengan dua kabel yang berada diluarinya dan jumlah tegangan induksi tidak sama dengan nol.

Untuk itu setiap akan memasuki sambungan (joint) kabel tenaga dilakukan penukaran fasa (transposisi) dan hubung silang selubung logam dibuat dengan perputaran fasa berlawanan dengan transposisi, sehingga

secara efektif selubung logam tersambung lurus. Apabila instalasi kabel tegangan tinggi dibuat transposisi dan sambung silang, maka rugi-rugi menjadi sama dengan nol.

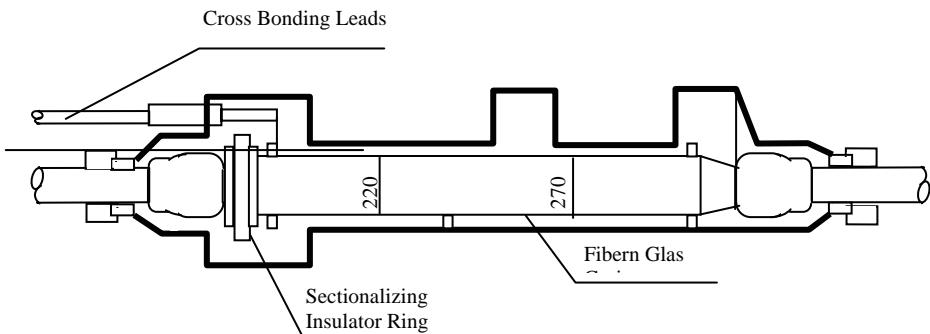


**Gambar 7.10 Sambungan silang selubung logam**

## 2. Peralatan Sambungan Silang.

Sambungan Bersekat Pada kabel yang menggunakan sambungan silang, digunakan sambungan (joint) yang bersekat. Pada tabung sambungan (joint)

secara listrik membagi dua tegangan selubung. Sambungan ini diisolasi terhadap tanah dan dipasang dengan menempatkan sambungan itu didalam fiberglass yang diisi kompon.

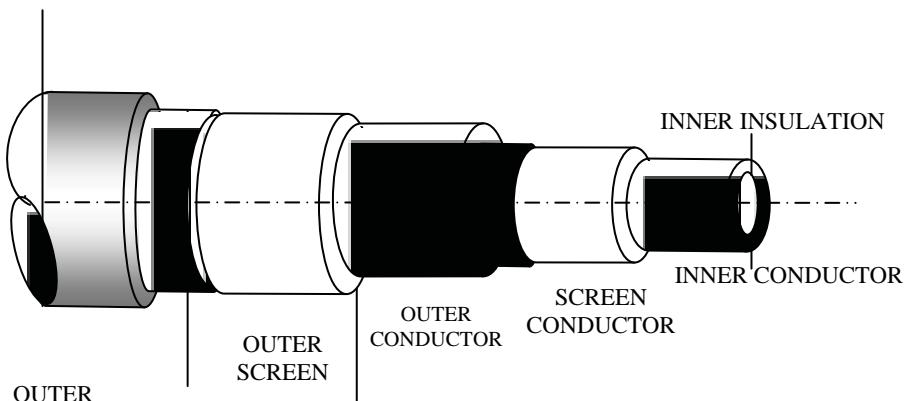


**Gambar 7.11 Sambungan bersekat**

### 3. Kabel Penghubung crossbonding

Agar minor section terangkai menjadi major section, diperlukan kabel penghubung yang didesain khusus. Kabel penghubung ini harus mempunyai impedansi serendah mungkin. Pada kondisi normal kabel penghubung tidak

dialiri arus, tetapi pada waktu terjadi gangguan akan mengalir arus selubung logam sehingga kabel penghubung tersebut harus mempunyai penampang paling tidak sama dengan kemampuan selubung logam yaitu dengan penampang  $240 \text{ mm}^2$  atau  $300 \text{ mm}^2$

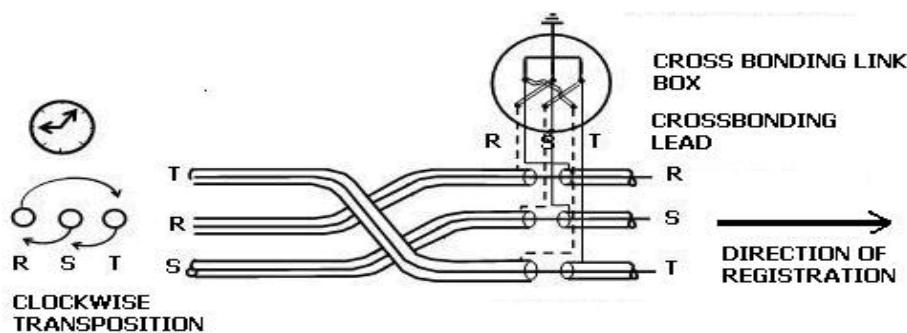


Gambar 7.12 Kabel penghubung crosbonding

### 4. Kotak Hubung (link box)

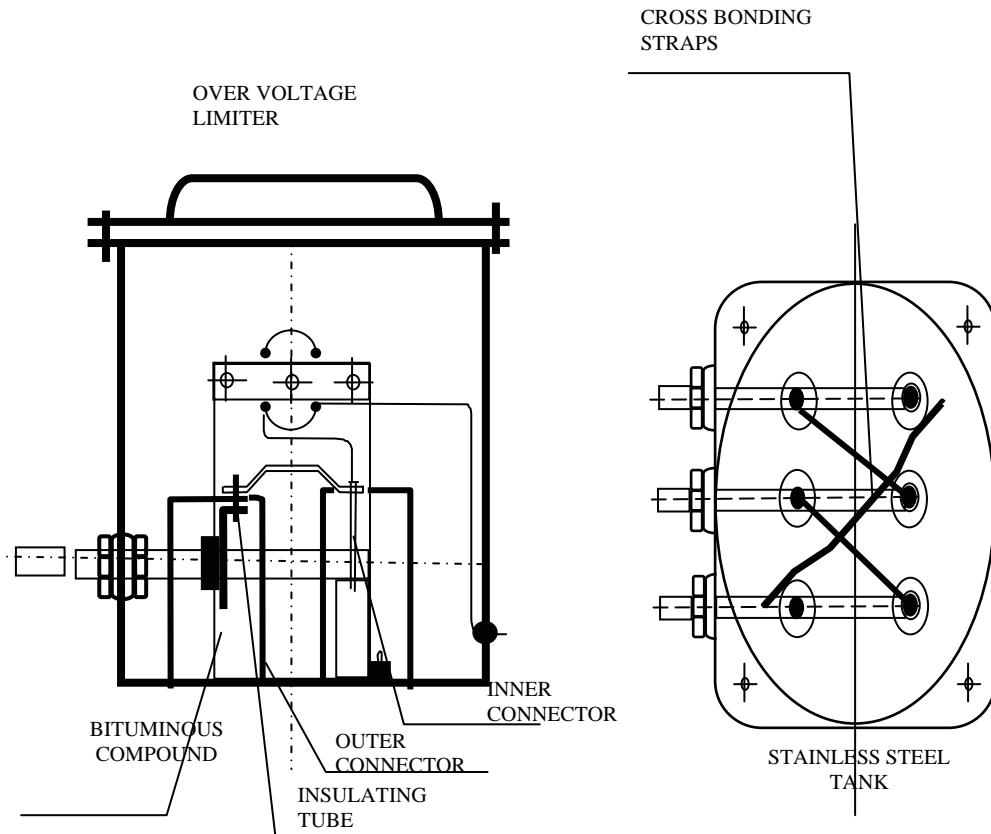
Pada sambungan (joint) yang bersekat selubung logam di-ikat (bond dan langsung ditanahkan, namun pemasangan seperti ini instalasi tidak dapat dilakukan

pengujian. Dengan alasan ini maka pada tiap sambungan, kabel penghubung crossbonding ditarik kedalam boks khusus atau disebut box crossbonding.



Gambar 7.13 Transposisi dan sambung silang

Kotak hubung umumnya dipasang pada permukaan tanah dan didesain untuk tahan terhadap air. Guna mencegah masuknya air kedalam boks crossbonding maka diberi tekanan dengan mengisi nitrogen tekanan rendah 0,2 bar.



**Gambar 7.14. Kotak hubung crosbonding**

##### **5. Tingkat isolasi Peralatan Crossbonding**

Pada kondisi operasi normal, tegangan induksi kabel tanah tegangan tinggi akan kecil, berkisar antara 1 sampai 2 Volt. Namun demikian isolasi selubung logam kabel power dan tingkat isolasi crossbonding harus didesain untuk tahan tegangan lebih yang disebabkan oleh petir maupun

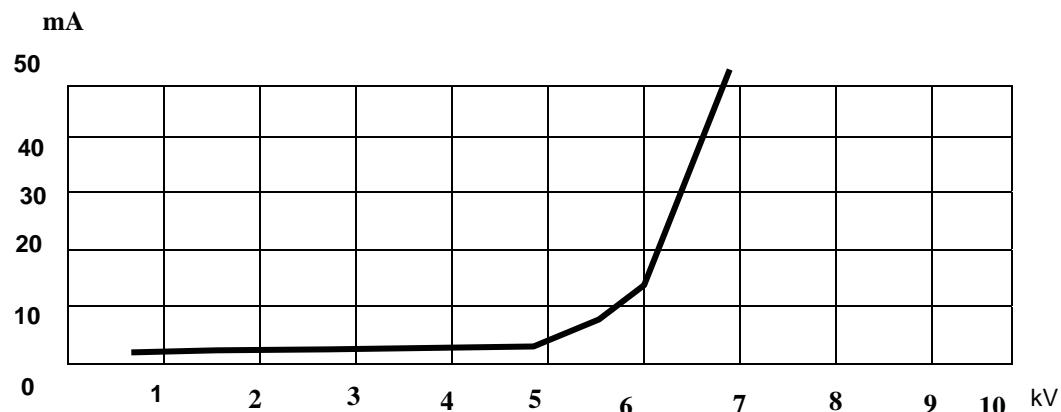
gangguan lain pada sistem jaringan. Menurut IEC 70 isolasi selubung sektoralisasi akan tahan terhadap tegangan impulse 95 kV antara selubung dan 47,5 kV antara selubung dengan tanah. Isolasi kotak hubung tahan untuk tegangan 40 kV antara selubung dan 20 kV antara selubung dengan tanah.

## 6. Pembatas tegangan selubung Logam (SVL).

Tingkat isolasi selubung logam dibuat tahan terhadap tegangan surja yang disebakan oleh adanya gangguan . Hal ini agar dapat dibatasi harga maksimum tegangan impulse yang masuk ke kabel sehingga isolasi selubung logam akan aman. Peralatan ini mempunyai tahanan tak linier atau sela percik. Kotak hubung digunakan tahanan tak linier yang mempunyai tahanan dalam tinggi pada kondisi normal dan mengalirkan arus yang kecil.

Tahanan akan menurun secara cepat pada waktu tegangan naik

dan melakukan arus yang besar pada waktu terjadi pukulan impulse serta mencegah tegangan surja diatas tingkat isolasi selubung logam. Jika tahanan tak linier ini terkena tekanan tegangan impulse atau tegangan surja maka akan mengalir arus yang besar sehingga dapat merusak tahanan tak linier. Untuk itu setelah terjadi gangguan yang besar maka tahanan tak linier atau **SVL** ini perlu dilakukan pemeriksaan dan pengukuran disamping pemeliharaan secara regular.



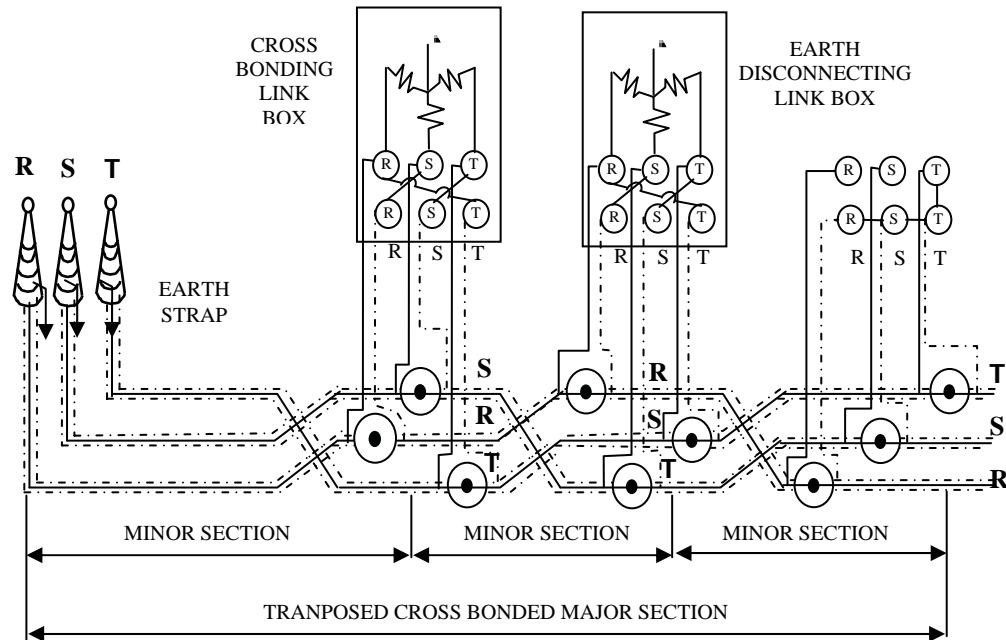
Gambar 7.15. Karakteristik tegangan dan arus SVL

## 7. Sambungan Pada link box

Pada sistem kabel tanah yang menggunakan crossbonding, perlu diperhatikan apabila selubung logam disambung satu dengan yang lain. Untuk sistem crossbonding,konduktor penghubung (lead) ,inner dan outer

konduktor fasa R,S dan T selalu ditarik keluar dan diklem didalam Boks. Gambar 7.16 menunjukan suatu uniform layout dengan titik bintang ditanahkan ,sistem pemisah seksi pada sambungan dibypass menggunakan dua buah resistor seri masing-masing selubung

logam ditanahkan pada kedua ujungnya melalui suatu resistor.



**Gambar. 7 16. Sistem sambungan crosbonding**

### 7.10. Alat Pengukur Tekanan ( Mano Meter )

#### 1. Satuan.

Satuan dibuat oleh para Ilmuwan untuk mengidentifikasi (memberi ciri) pada besaran yang ditulis di depannya. Sampai dengan saat ini, kita mengenal ada 2 (dua) macam satuan yaitu:

#### 2 Satuan Dasar

satuan dasar ini adalah satuan yang masih asli.

Yang termasuk Satuan Dasar (beserta simbol / notasinya) antara lain:

- |                            |            |                      |
|----------------------------|------------|----------------------|
| - satuan panjang           | [m]        | meter.               |
| - satuan waktu             | [det/sec]  | detik/second.        |
| - satuan massa             | [g/kg/lb]  | gram/kilogram/pound. |
| - satuan temperatur        | [°C/°F/°R] | derajat.             |
| - satuan jumlah molekul    | [mol]      | molekul.             |
| - satuan intensitas cahaya | [Cd]       | candella.            |

### 3. Satuan Turunan

Satuan yang merupakan kombinasi dari 1 atau lebih dari satuan dasar atau konversinya. Yang termasuk Satuan Turunan (beserta simbol / notasinya) antara lain:

- satuan luas	[m <sup>2</sup> ]	meter persegi.
- satuan volume	[m <sup>3</sup> ]	meter kubik.
- satuan gaya	[N, kgf]	Newton, kg-force.
- satuan percepatan / gravitasi bumi	[m/det <sup>2</sup> ]	meter per detik kuadrat
- satuan kecepatan	[m/det]	meter per detik.
- satuan energie	[cal/kcal]	calorie/kilo calorie.
- satuan daya	[KW, TK]	Kilowatt, Tenaga Kuda.
- potensial listrik	[V]	Volt.
- satuan arus listrik	[A]	Ampere.

### 4 Sistem Satuan.

Sistem satuan yang kita anut sampai dengan saat ini juga ada 2 (dua) Sistem Satuan yaitu: Sistem Internasional (SI) dan Sistem Satuan British. Sistem Satuan British banyak digunakan pada peralatan-peralatan (termasuk peralatan penyaluran tenaga listrik) buatan Eropa atau Amerika,

sedangkan SI digunakan pada peralatan-peralatan buatan selain Eropa atau Amerika. Diantara kedua sistem satuan tersebut sebenarnya tetap ada korelasi (hubungannya). Beberapa contoh perbedaan antara SI dan British beserta korelasinya terlihat seperti tabel 7.8 berikut:

Tabel 7.8 Sistim Satuan

Aplikasi Satuan:	Sistem Internasional:	British:	Korelasi:
Satuan Panjang.	- Cm - M	- inch - feet	1 inch = 2,54 cm 1 m = 3,3 feet, 1 feet = 12 inch
Satuan Massa.	- kg	- lb (pound)	1 kg = 2,2 lbs
Satuan waktu.	- second	- second	Sama
Satuan volume.	- m <sup>3</sup>	- cu-ft	1 m <sup>3</sup> = 35,32 cu-ft (cubic-feet)

### 7.11.Tekanan Pada Kabel Minyak

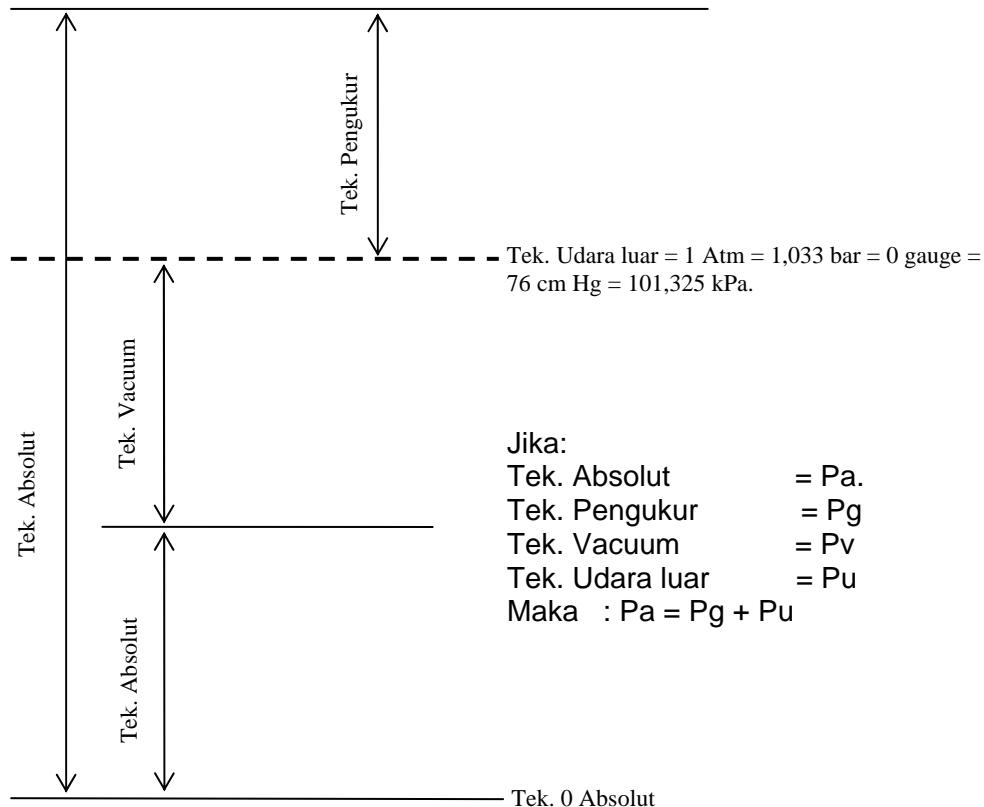
Tekanan didefinisikan sebagai besarnya gaya (force) total yang hanya dihitung pada 1 satuan luas saja, dengan demikian satuan tekanan dalam Sistem Internasional

akan kita jumpai kgf/m<sup>2</sup> atau kgf/cm<sup>2</sup> sedangkan dalam Sistem British lb/ft<sup>2</sup> (baca: pound per square feet = psf) atau lb/inch<sup>2</sup> (baca: pound per square inch = psi).

Tekanan dalam bidang teknik dibedakan menjadi:

- Tekanan Absolut / mutlak.
- Tekanan Pengukur / gauge.

- Tekanan udara luar ( dalam bidang teknik ditentukan = 1 bar atau 1 Atm atau 76 cm Hg )  
Hubungan dari masing-masing tekanan seperti terlihat pada skema di bawah ini:



Gambar 7.17.Tekanan

Besaran-besaran dan konversi yang sering kita jumpai adalah:  
1 Atmosphere (tekanan udara di sekeliling kita) = 76 cm Hg = 1,01325 bar = 1,033 kg/cm<sup>2</sup> = 760 torr = 101,325 kPa (kilo Pascal) = 14,7 psi = 2116,22 psf.

### 1. Alat Ukur Tekanan.

Alat pengukur tekanan mempunyai sebutan / istilah yang berbeda-beda menurut daerah ukurnya, misalnya:

- Barometer: alat ukur tekanan udara luar (yang = 1 Atmosphere).

### 2. Vacuummeter(vacuumgauge).

Alat ukur tekanan udara luar.

- Manometer (pressure gauge) : alat ukur tekanan di atas tekanan udara luar.
- Campuran (compound gauge) : alat ukur tekanan di atas dan di bawah tekanan udara luar, sering pula disebut mano-vacuum meter

Pada instalasi SKTT 150 kV yang tergolong Oil Filled Cable (terutama perlengkapan sealing-end maupun stop-joint) seperti: STK, Pirelli atau De-Lyon manometer banyak kita temukan berfungsi sebagai pengukur tekanan minyak isolasi; ia berfungsi selain sebagai alat ukur/monitor tekanan media isolasi juga sebagai back-up proteksi mekanik di luar

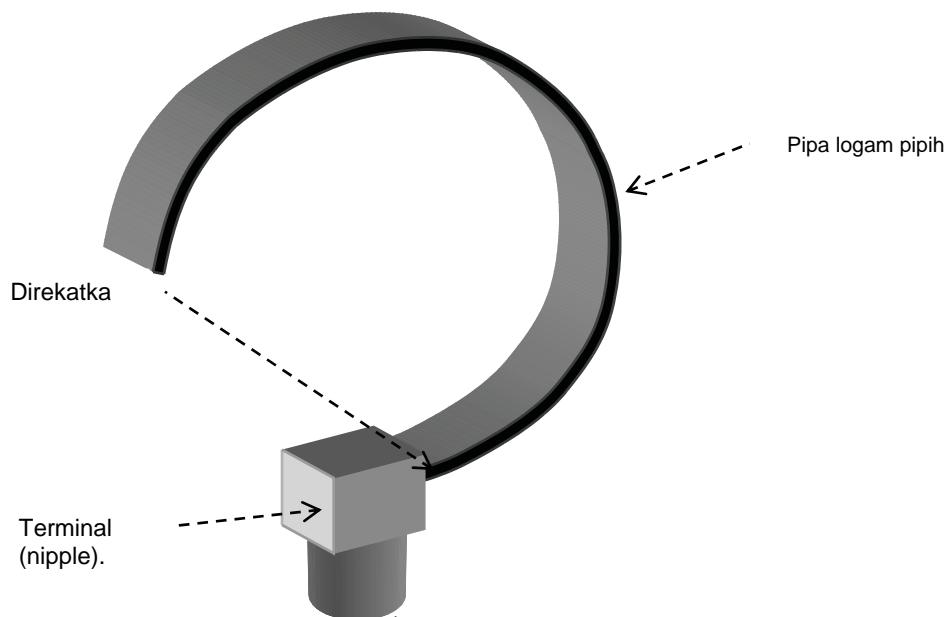
proteksi-proteksi secara elektris yang telah ada.

### **3. Desain dan cara kerja Manometer.**

Manometer yang terpasang pada instalasi SKTT kebanyakan dari jenis pipa bourdon ( Bourdon Pipe type ).

### **4. Desain Manometer.**

Pipa Bourdon terbuat dari bahan kuningan yang dipipihkan kemudian dibuat melengkung sesuai bentuk sebuah segmen lingkaran. Di salah satu ujung pipa ditutup mati dan di ujung lainnya tetap berlubang, kemudian pada ujung ini dipasangkan pada sebuah terminal yang lazim disebut nippel.



Gambar 7.18 : Pipa Bourdon

Pada ujung pipa yang tertutup dihubungkan dengan link-link/lengan penggerak yang pada akhirnya link ini dapat menggerakkan/memutar jarum penunjuk (pointer) manometer melalui susunan roda gigi; sedangkan pada ujung pipa yang lain diikatkan kuat bersama nippelnya kepada casing dari manometer.

Ketebalan pipa bourdon ini dibuat oleh pabriknya dengan ukuran yang berbeda-beda disesuaikan dengan besar kecilnya tekanan yang akan dihadapi; semakin besar tekanan yang akan diukur, semakin tebal bahan yang harus dibuat dan sebaliknya.

Untuk membaca penunjukan manometer dibuatlah sebuah piringan yang diberi angka-angka (dibuat berdasarkan hasil kalibrasi) yang disebut dial.

### 5. Cara kerja Manometer.

Apabila di dalam pipa bourdon kita masukkan fluida (bisa gas, bisa zat cair) yang mempunyai tekanan, maka pipa yang semula berbentuk lengkung itu akan berusaha menjadi lurus; namun tidak akan pernah berhasil lurus karena gaya tekan dari fluida tersebut dibuat tidak akan mampu melewati elastisitas dari bahan dan ukuran pipa bourdon; sebaliknya apabila tekanan di dalam pipa ditiadakan, maka pipa akan kembali pada bentuk semula.

Selanjutnya oleh link-link dan susunan roda gigi gerakan mekanik tersebut akan diteruskan ke jarum penunjuk (pointer).

Setelah dikalibrasi, angka-angka sekala pada dial dapat ditentukan / dibuat; dan inilah yang kemudian dapat kita baca sebagai besaran tekanan pada peralatan dimana manometer tersebut dipasangkan.

### 7.12. Kabel tenaga jenis XLPE

Pada tahun belakangan ini kabel tenaga jenis isolasi plastik digunakan untuk mempercepat dan meningkatkan pengembangan kota karena kabel isolasi plastik ini mempunyai kinerja dielective yang paling baik dan mudah pekerjaan penyambungan pada instalasi- nya, pemeriksaan dan pemeliharaannya.

Khususnya kabel yang menggunakan cross-linking polyethylene yaitu pengembangan teknik pembuataan- nya sehingga memungkinkan untuk penggunaan tegangan yang lebih tinggi. Kecenderungan baru ini pengembangan secara cepat kabel dengan dielektrik padat menyatakan secara tidak langsung bahwa kabel minyak sampai tegangan 275 kV segera diganti dengan kabel dengan isolasi cross-linked polyethylene Kabel XLPE baru-baru ini mempunyai berat yang sangat ringan,syarat termal yang lebih baik dan biaya instalasi yang sangat murah.

Perbaikan kabel yang rusak hanya memerlukan bagian kecil waktu dari pada kabel dengan isolasi minyak dan biaya material yang rendah.Dari aspek lingkungan kabel XLPE mempunyai keuntungan yang lebih besar ,karena resiko minyak tidak ada.

Material XLPE

Material dasar untuk semua jenis kabel XLPE adalah polyethylene dengan density yang rendah. Isolasi polyethylene (PE) sudah lama digunakan sebagai isolasi kabel dan material selubung yang mempunyai sifat listrik dan mekanik yang baik, ringan, fleksibilitas suhu yang rendah yang baik tahan kelembaban yang baik, kimia dan ozone yang mempunyai harga rendah. LD polyethylene mempunyai sifat yang masih terbatas penggunaanya sebagai bahan isolasi kabel. Sebagai bahan termoplastik mempunyai kekurangan, suhunya 105 -115 °C. Kerugian yang lain adalah tendensi stress-cracking apabila bersinggungan dengan permukaan bahan aktif. Dengan menggunakan proses reminiscent dari vulkanisasi karet molekul PE dapat diproses cross-link sehingga memperbaiki sifat termal dan mekanik secara baik dan sifat listriknya berubah secara baik juga.

### 1. Sifat termal

Oleh karena (*owing to*) menggunakan cross-linking, kabel XLPE adalah material yang tahan panas. XLPE tidak dapat meleleh seperti polyethylene tetapi terurai, dan membentuk karbon jika terbuka pada waktu yang lama diatas suhu 300 °C. Suhu konduktor yang diijinkan pada waktu terjadi hubung singkat selama 1 detik adalah 250 °C pada beban kontinyu dan konduktor dengan isolasi XLPE suhunya 90 °C.

### 2. Sifat listrik

Sifat listrik yang baik dari PE tidak berubah selama proses cross-linking, oleh karena itu XLPE seperti PE mempunyai sangat kecil dan hanya ketergantungan suhu loss faktor ( $\tan \delta$ ) dan konstanta dielektrik ( $\epsilon$ ). Oleh karena itu hasil dari rugi dielektrik dari kabel XLPE adalah kecil dibandingkan dengan PVC dan kabel isi minyak. Kabel XLPE khususnya sesuai untuk rute kabel yang panjang dengan tegangan tinggi yang dalam hal rugi-rugi adalah sangat penting.

### 3. Sifat mekanik

Polyethylene mempunyai sifat mekanik yang baik. Hal ini menarik karena pada suhu normal PE dapat menahan lokal stress lebih baik dari PVC. Dalam hal ini XLPE mempunyai keuntungan yang sama seperti PE dan tingkat tertentu seperti isolasi yang diisi XLPE, juga tahan terhadap abrasi yang lebih baik dari pada polyethylene. Oleh akrena itu sifat mekaniknya yang baik dari kabel XLPE diwaktu yang akan datang mempunyai jumlah penggunaan yang lebih besar dari kabel konvensional.

### 4. Sifat kimia

Oleh karena cross-linking dari molekul XLPE tahanannya lebih baik dari pada PE  
Polusi sekitar dan kabel  
Dari aspek lingkungan baik PVC maupun kabel minyak mempunyai kerugian yang jelas, kabel PVC adalah jika kebakaran memberikan gas-gas yang korosi dan kabel minyak jika bocor akan merusak

suplai air. Tak dapat disangkal (admittedly) kebakaran, hasil pembakaran adalah karbon dioksid ( $\text{CO}_2$ ) dan air tidak menyebabkan kerusakan. Penggunaan XLPE pada kabel tegangan rendah dapat dibuat tahan terhadap rambatan api. Kompon tidak menghasilkan halogen.

## 5. Keuntungan dan kerugian

### a. Keuntungan

Keuntungan kabel ini adalah ringan, dan mudah pemasangannya. Radius lingkaran yang kecil dan konsekuensi khusus untuk instalasi yang terbatas misalnya switch gear instalasi dalam.

Pengenal hubung singkat yang tinggi khususnya sesuai untuk penampang kabel yang dipilih dengan dasar arus hubung singkat. Tidak ada tekanan terhadap peralatan untuk stabilisasi dielektrik ,dengan simplifikasi dari pemasangan dan peralatan bantu, sehingga mengurangi biaya pemasangan dan pemeliharaan. Isolasi yang padat,konssekuensinya sesuai untuk slope yang besar dan perbedaan ketinggian dari rute kabel.

Tangen delta yang rendah sehingga mengurangi biaya operasi akibat rugi dielektrik yang rendah.

### b. Kerugian

Pengaman mekanik yang rendah,dibanding dengan kabel didalam pipa besi. Pengaruh screen yang rendah dari kabel dengan selubung logam atau kabel dalam pipa.

### c. Standar yang digunakan

- IEC 228 : Isolasi dan konduktor kabel
- IEC 229 : Pengujian kabel oversheath yang mempunyai fungsi pengaman khusus dan menggunakan extrusion
- IEC 287 : Perhitungan pengenal arus kontinyu kabel (100 % faktor beban)
- IEC 840 : Pengujian kabel tenaga yang menggunakan isolasi extruded untuk tegangan diatas 30 kV (Um 36 kV sampai 150 kV)
- IEC 949 : Perhitungan arus hubung singkat termal yang diijinkan
- Publikasi IEC yang lain yang berkaitan

### 7.12.1. Konstruksi kabel XLPE

Konstruksi kabel XLPE dapat dilihat pada gambar 7.19. dibawah ini

#### 1. Konduktor

Konduktor terdiri dari kawat tembaga stranded annealed konduktiviti tinggi yang sesuai dengan IEC publikasi 228 . Konduktor mempunyai bentuk 4 segmen jenis Milikan dengan penampang  $1000 \text{ mm}^2$

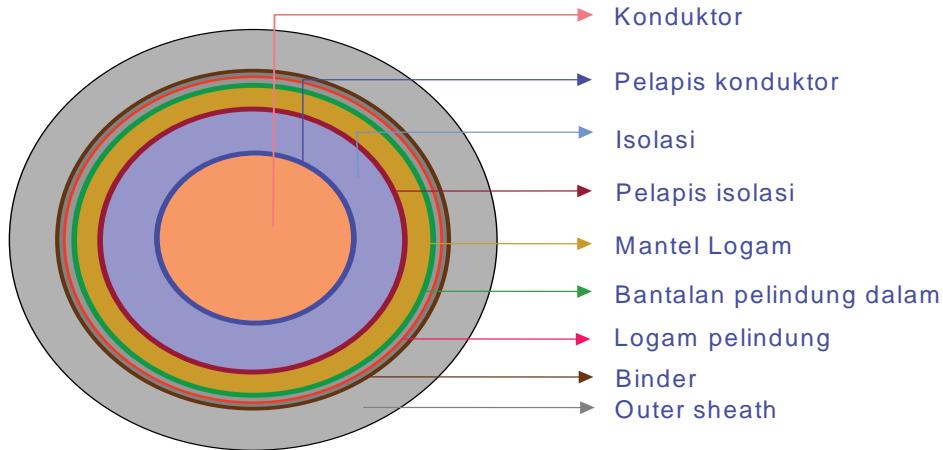
#### 2. Kabel screen

Screen konduktor non metalik ini terdiri dari lapisan extruded semi konduktif termo settinf kompon. Screen tersebut halus dan kontinyu.Antar konduktor dengan dan lapisan ektruded semi konduktif ,pita semi konduktif harus dipasang.

### 3. Isolasi

Isolasi dibuat dari dry cure XLPE extruded secara serempak dengan semi konduktif dan insulation screen (triple head extrusion). Isolasi dirancang untuk tegangan impulse 750 kV puncak pada suhu konduktor tidak kurang

dari 5°C dan tidak lebih besar dari 10°C diatas suhu pengenal maksimum dari operasi normal isolasi. Ketebalan rata-rata isolasi tidak kurang dari harga nominal pada lampiran Technical particular and garantie.



Gambar 7.19. Konstruksi kabel XLPE

### 4. Screen Isolasi

Screen isolasi terdiri dari lapisan extrude semi konduktif termo setting compound. Screen ini smoot dan kontinyu. Pada screen ini pita semi konduktif harus dipasang.

### 5 Pelindung Metalik (metallic shield).

Pelindung metalik dari kabel terdiri dari kawat tembaga konduktifitas tinggi. Penampang pelindung metalik ini harus mampu melalukan arus gangguan seperti pada technical; particular and garantie.

### 6. Penutup bagian dalam (inner covering)

Penutup pengaman anti corrosion dan sebagai lapisan bedding untuk lapisan anti termite pita kuningan extruded black polyethylene compound digunakan dengan tebal mominal 2 ,0 mm .

### 7. Pita pengaman anti termite

Sebagai pengaman anti termite ,dua lapisan pita tin-bronze harus dipasang diatas inner covering.

### 8. Penutup Luar

Penutup kabel bagian luar adalah dari extruded black PVC dan tambahan bahan kimia lead naphtenate seperti pada anti

termite, nominal ketebalannya 3,0 mm.

### 9. Penandaan

Tanda berikut agar dipasang pada penutup luar PVC :  
Sebagai contoh untuk : Kabel XLPE 150 kV 1000mm<sup>2</sup> LG kabel 1997'

Artinya:

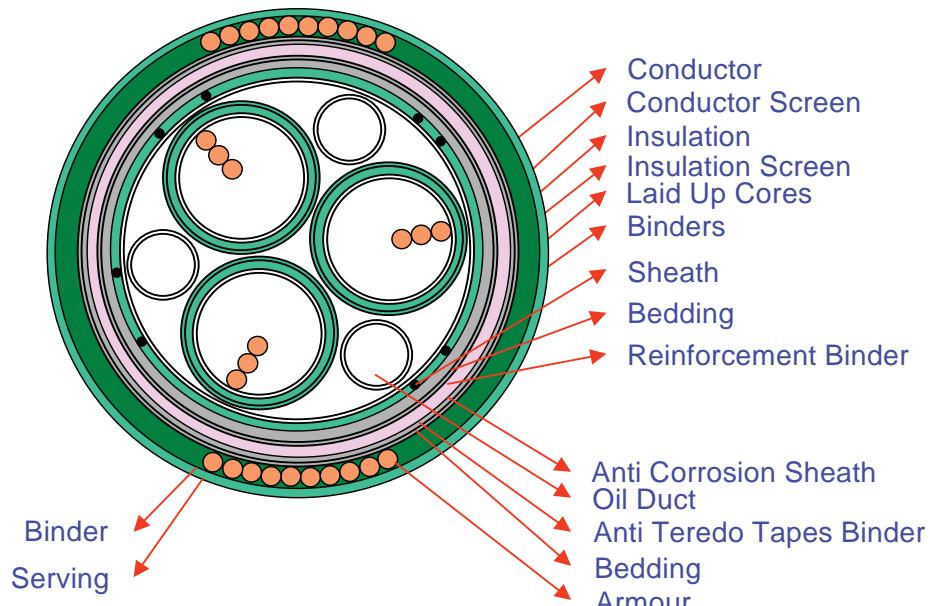
- Tegangan nominal : 150 kV
- Jenis kabel : XLPE
- Penampang konduktor: 1000 mm<sup>2</sup>
- Pabrik Pembuat : LG Kabel
- Tahun pembuatan : 1997

### 7.13. Kabel laut.

Kabel Laut Tegangan Tinggi yang terpasang saat ini di PLN P3B menggunakan jenis Kabel minyak (Oil Filled Cable), seperti yang terpasang di PLN P3B RJTB sbb , yang kontruksinya dapat dilihat pada gambar 6.20.

kabel laut Jawa – Madura merk BICC dari Inggris.

kabel laut Jawa – Bali merk PIRELLI dari Itali.



Gambar 7.20. Kabel laut merk BICC

Pada umumnya untuk SKLT ini hampir sama dengan SKTT. Perbedaannya terletak pada lapisan

pelindungan lebih banyak yang spesifik (lihat tabel berikut).

Tabel :7.9. Spesifikasi Kabel Laut

Tabel :7.9. Spesifikasi Kabel Laut Jenis Merk Jenis BICC

No	B A G I A N	B A H A N	SATUAN	UKURAN
1	Konduktor	Tembaga	Penampang	300 mm <sup>2</sup>
			Diameter	22,5 mm
2	Konduktor Screen	Kertas Karbon	Diameter	23 mm
3	Isolasi	Kertas	Diameter	48,1 mm
4	Isolasi Screen	Kertas Karbon & Non Ferrous metal Tape/kertas	Diameter	48,9 mm
5	Binder	CWF Tape	Diameter	106,2 mm
6	Sheath	Lead	Diameter	114,2 mm
7	Bedding	B.P Katun Tape	Diameter	114,8 mm
8	Reinforcement Binder	Non Ferrous metal & Tapes	Diameter	115,6 mm
9	Anti Corrosion Sheath	Extruded Polymeric Sheath	Diameter	124,1 mm
10	Oil Duct	Aluminium	Diameter I.D	18 mm
			O.D	20 mm
11	Anti Teredo Tapes Binder	Brass	Diameter	124,5 mm
12	Bedding	Hessian Tapes	Diameter	127,6 mm
13	Armour	Galv. Steel Wire ( 60 bh )	Diameter	139,6 mm
14	Binder	Fabric Tape	Diameter	140,1 mm
15	Serving	Jute	Diameter	149,3 mm

Tabel :7.10. Spesifikasi Kabel Laut Jenis Merk PIRELLI.

No	B A G I A N	B A H A N	SATUAN	UKURAN
1	Oil Duct		Diameter	12 mm
2	Konduktor	Tembaga	Penampang	300 mm <sup>2</sup>
			Diameter	23,2 mm
3	Konduktor Screen	Kertas Karbon hitam & Kertas Duplex Tape	-	-
4	Isolasi	Kertas	Ketebalan	10 mm
			Max. electric stress at 87 kV	12 kV/mm
5	Core Screen	Duplex tape & copper woven rayon tape	-	-

6	Lead Sheath	Extruded half C Lead alloy	Diameter	51,9 mm
			Ketebalan	26 mm
7	Reinforcement	Tapes stainless steel	Ketebalan	0,3 mm
8	Anti Corrosion Jacket	Extruded Polyethylene Sheath	Diameter Luar	60 mm
			Ketebalan	3 mm
9	Core Cabling	-	Diameter	130 mm
10	Anti Teredo Protection	Copper Tape	Ketebalan	0,1 mm
11	Bedding	Polypropylene yarn	Ketebalan	2 mm
12	Armour Kesatu	Galvanized Steel Wire	Diameter	7 mm/wire
13	Binding	Polypropylene yarn	Ketebalan	2 mm
14	Armour Kedua	Galvanized Steel Wire	Diameter	7 mm/wire
15	Serving	Polypropylene yarn	Ketebalan	3,5 mm
			Diameter Luar	173 mm
16	Fiber Optic Core	12 SMR Optical Fibers Cable with Power Cores	-	-

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Bernad Grad ( 2002) Basic *Electronic* Mc Graw Hill Colage New- York
- David E Johnson (2006) *Basic Electric Circuit Analisis* John Wiley & Sons.Inc  
New- York
- Diklat PLN Padang . (2007) *Transmisi Tenaga Listrik* Padang
- Diklat PLN Pusat . (2005) *Transmisi Tenaga Listrik* Jakarta
- Fabio Saccomanno (2003) *Electric Power System and Control* John Wiley &  
Sons.Inc New- York
- John D. McDonald (2003) *Electric Power Substation Enggineering* CRC Press  
London
- Jemes A.Momoh (2003) *Electric Power System* CRC Press London
- Luces. M . (1996) *Electric Power Distribution and Transmision* Prantice Hall  
New- York
- Oswald (2000) Electric Cables for Pewer *Transmision* John Wiley & Sons.Inc  
New- York
- Paul M Anderson (2000) *Analisis of Faulted Power System* John Wiley &  
Sons.Inc New- York
- Panagin.R.P ( 2002) Basic *Electronic* Mc Graw Hill Colage New- York
- Stan Stawart (2004) Distributet Swichgear John Wiley & Sons.Inc New- York
- Stepen L. Herman (2005) *Electrical Transformer* John Wiley & Sons.Inc  
New- York
- Hutauruk (2000)*Tranmisi Daya listrik* Erlangga Jakarta.

ISBN 978-979-060-159-8  
ISBN 978-979-060-161-1

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 48 Tahun 2007 tanggal 5 Desember 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 22.946,00