BUKU SEKOLAH ELEKTRONIK
bse

JILID 2

H. Supari Muslim

Teknik Pembangkit TENAGA LISTRIK

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan

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

TEKNIK PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK JILID 2 untuk SMK
H. Supari Muslim

Supari Muslim, dkk.

TEKNIK PEMBANGKIT 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 PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

JILID 2

Untuk SMK

Penulis : Supari Muslim
Joko
Puput Wanarti R

Perancang Kulit : TIM

Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

MUS t MUSLIM, Supari
Teknik Pembangkit Tenaga Listrik Jilid 1 untuk SMK /oleh Supari Muslim, Fahmi PoernJoko, Puput Wanarti R ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
vii, 450 hlm
Daftar Pustaka : Lampiran. A
Daftar Istilah : Lampiran. B dst
ISBN : 978-979-060-097-3
ISBN : 978-979-060-099-7

Diterbitkan oleh
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah
Departemen Pendidikan Nasional
Tahun 2008

KATA SAMBUTAN

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

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

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

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

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan ke Hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas rahmat dan hidayahnya sehingga penulisan buku dengan judul: Teknik Pembangkitan Tenaga Listrik ini dapat kami selesaikan sesuai dengan jadwal waktu yang diberikan.

Buku Teknik Pembangkitan Tenaga Listrik ini terdiri dari 13 Bab, yaitu:
Bab I : Pendahuluan, berisi tentang pembangkitan tenaga listrik, jenis-jenis pusat pembangkit listrik, instalasi pada pusat pembangkit listrik, masalah utama dalam pembangkitan tenaga listrik, sistem interkoneksi, proses penyaluran tenaga listrik, dan mutu tenaga listrik. dan diuraikan juga mengenai pemeliharaan, latihan dan tugas.
Bab II : Instalasi listrik pada pusat pembangkit listrik, berisi tentang instalasi pada pusat pembangkit listrik, jenis peralatan, prinsip kerja, pemeliharaan dan perbaikannya, termasuk di dalamnya berisi keselamatan kerja, latihan dan tugas.
Bab III : Masalah operasi pada pusat-pusat listrik, berisi tentang cara pengoperasian dan pemeliharaannya pada pusat-pusat listrik, dan keselamatan kerja.
Bab IV: Pembangkit dalam sistem interkoneksi, berisi tentang operasionalisasi dan pemeliharaan pada sistem interkoneksi, latihan dan tugas.
Bab V: Manajemen pembangkitan, berisi tentang: manajemen biaya operasi, manajemen pemeliharaan, suku cadang, laporan pemeliharaan, dan laporan kerusakan, latihan dan tugas.
Bab VI: Gangguan, pemeliharaan dan perbaikan mesin listrik, berisi tentang gangguan, pemeliharaan, dan perbaikan mesin listrik. Materi yang disajikan berbasis kondisi riil dilapangan dan didalamnya juga berisi format-format yang berlaku di perusahaan, latihan dan tugas.
BAB VII : Pemeliharaan sumber arus searah, berisi tentang: pemakaian baterai akumulator dalam pusat pembangkit listrik dan pemeliharaannya, gangguan-gangguan dan pemeliharaan mesin listrik generator arus searah, latihan dan tugas.
Bab VIII: Sistem pemeliharaan pada pembangkit listrik tenaga air, berisi tentang kegiatan pemeliharaan generator dan *governor*, pemeliharaan transformator, alat pengaman, pemeliharaan *accu*, keselamatan kerja, latihan dan tugas.
Bab IX: *Standart operational procedure (SOP)*, berisi tentang beberapa SOP pada PLTU, pengoperasian, pemeliharaan pusat pembangkit, SOP genset, pemeliharaan genset, latihan dan tugas.
Bab X: Transformator tenaga, *switchgear*, pengaman *relay* (proteksi), sistem *excitacy*, unit AVR, dan pemeliharaannya serta latihan dan tugas.

Bab XI: *Crane* dan *elevator/lift*, berisi tentang: tentang jenis motor yang digunakan, sistem pengereman, sistem kontrol, sistem instalasi dan rumus-rumus yang berkaitan dengan *crane* dan *lift*. Selain itu juga berisi tentang cara pemeliharaan, latihan dan tugas.
Bab XII: Telekomunikasi untuk industri tenaga listrik, berisi tentang klasifikasi telekomunikasi untuk industri tenaga listrik, komunikasi dengan kawat, komunikasi dengan pembawa saluran tenaga, rangkaian transmisi, komunikasi radio, komunikasi gelombang mikro, pemeliharaan, latihan dan tugas.
Bab XIII Alat-alat ukur, berisi tentang prinsip kerja, cara penggunaan dan pemakaian, cara pemeliharaan alat ukur pada sistem tenaga listrik serta latihan dan tugas.
Selain ke tiga belas bab di atas, pada lampiran juga dibahas tentang undang-undang keselamatan kerja dan penaggulangan kebakaran yang terkait dengan pembangkitan tenaga listrik.
Kesemua isi dalam ke tiga belas bab mencerminkan secara lebih lengkap untuk mencapai kompetensi program keahlian pembangkitan tenaga listrik, walaupun tidak setiap sub kompetensi diuraikan sendiri-sendiri tetapi juga saling berkaitan, tetapi isi buku materi telah membahas: Dasar Dasar Kelistrikan dan Elektronika, Memelihara Instalasi Listrik Unit, Memelihara Peralatan Elektronik, Memelihara DC Power, Memelihara Peralatan Komunikasi, Memelihara *Gen-set*, Memelihara *Crane*, Memelihara Generator, Memelihara Transformator, Memelihara Proteksi, Memelihara Kontrol Instrumen, dan Memelihara *Switchgear* dan implementasinya.
Susunan buku dari awal sampai akhir secara lengkap, seperti yang tercantum dalam daftar isi.
Susunan Bab tersebut di atas disusun berdasarkan Kurikulum 2004 beserta kompetensinya, sehingga dengan merujuk kepada referensi yang digunakan, serta Kurikulum Tingkat satuan Pendidikan (KTSP), buku Teknik Pembangkit Tenaga Listrik berujud seperti keadaannya sekarang.
Buku dapat disusun atas bantuan berbagai pihak. Untuk itu dalam kesempatan yang berharga ini kami sampaikan banyak terima kasih dan penghargaan, termasuk ucapan terimakasih disampaikan kepada saudara Indra Wiguna dan Gigih Adjie Biyantoro yang teah banyak membantu.
Disadari bahwa isi maupun susunan buku ini masih ada kekurangan. Bagi pihak-pihak yang ingin menyampaikan saran dan kritik akan kami terima dengan senang hati dan ucapan terima kasih.

Penulis

DAFTAR ISI

		Halaman
SAMBUTAN DIREKTORAT PSMK		Iii
KATA PENGANTAR		V
DAFTAR ISI		vii
BUKU JILID 1		
BAB I.	PENDAHULUAN	1
	A. Pembangkitan Tenaga Listrik	1
	B. Jenis-jenis Pusat Pembangkit Listrik	10
	C. Instalasi Listrik pada Pusat Pembangkitan Listrik	14
	D. Masalah Utama dalam Pembangkitan Tenaga Listrik	16
	E. Sistem Interkoneksi	20
	F. Proses Penyaluran Tenaga Listrik	21
	G. Mutu Tenaga Listrik	23
	H. Latihan	24
	I. Tugas	24
BAB II.	INSTALASI LISTRIK PADA PUSAT PEMBANGKIT LISTRIK	25
	A. Instalasi listrik Generator sinkron 3 phasa	25
	B. Rel *(Busbar)*	43
	C. Saluran Kabel antara Generator sinkon 3 phasa dan Rel	48
	D. Jenis-jenis Sakelar Tenaga	49
	E. Mekanisme Pemutus Tenaga (*Switchgear*)	72
	F. Instalasi Pemakaian Sendiri	75
	G. Baterai Aki	78
	H. Transformator	81
	I. Pembumian Bagian-Bagian Instalasi	104
	J. Sistem *Excitacy*	105
	K. Sistem Pengukuran	108
	L. Sistem Proteksi	109
	M. Perlindungan Terhadap Petir	113
	N. Proteksi Rel (*Busbar*)	116
	O. Instalasi Penerangan bagian vital	117
	P. Instalasi Telekomunikasi	118
	Q. Arus Hubung Singkat	122
	R. Pengawatan Bagian Sekunder	123
	S. Cara Pemeliharaan	126
	T. Perkembangan Isolasi Kabel	129
	U. Generator Asinkron	133
	V. Latihan	144
	W. Tugas	144
BAB III	MASALAH OPERASI PADA PUSAT-PUSAT LISTRIK	145

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

A. Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) 145
B. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) 160
C. Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) 180
D. Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) 184
E. Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) 189
F. Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD) 198
G. Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) 206
H. Unit Pembangkit Khusus 209
I. Pembangkit Listrik Non Konvensional 211
J. Bahan Bakar 213
K. Turbin *Cross Flow* 224
L. Perlindungan Katodik (*Cathodic Protection*) 225
M. Pemadam Kebakaran 228
N. Beberapa Spesifikasi Bahan Bakar 230
O. Latihan 234
P. Tugas 234

BUKU JILID 2
BAB IV PEMBANGKITAN DALAM SISTEM INTERKONEKSI 235
A. Sistem Interkoneksi dan Sistem yang Terisolir 235
B. Perkiraan Beban 236
C. Koordinasi Pemeliharaan 242
D. Faktor-faktor dalam Pembangkitan 244
E. Neraca Energi 246
F. Keandalan Pembangkit 248
G. Keselamatan Kerja dan Kesehatan Kerja 249
H. Prosedur Pembebasan Tegangan dan Pemindahan Beban 252
I. Konfigurasi Jaringan 259
J. Otomatisasi 261
K. Kendala-Kendala Operasi 262
L. Latihan 264
M Tugas 264

BAB V MANAJEMEN PEMBANGKITAN 265
A. Manajemen Operasi 265
B. Manajemen Pemeliharaan 267
C. Suku Cadang 271
D. Laporan Pemeliharaan 272
E. Laporan Kerusakan 273
F. Latihan 280
G. Tugas 280

BAB VI GANGGUAN, PEMELIHARAAN DAN PERBAIKAN MESIN-MESIN LISTRIK 281
A. Gangguan, Pemeliharaan dan Perbaikan Generator Sinkron 281
B. Gangguan, Pemeliharaan dan Perbaikan pada Motor Sinkron 284

C. Gangguan, Pemeliharaan, dan Perbaikan Motor Asinkron 287
D Pemeriksaan Motor Listrik 293
E. Gangguan, Pemeliharaan dan Perbaikan pada Motor Induksi 1 phasa 299
F. Membelit Kembali Motor Induksi 3 Phasa 307
G. Latihan 345
H. Tugas 345

BAB VII PEMELIHARAAN SUMBER ARUS SEARAH 347
A. Pemakaian Baterai Akumulator dalam Pusat Pembangkit Tenaga Listrik 347
B. Ganguan-gangguan dan pemeliharaan Mesin Listrik Generator Arus Searah 364
C. Latihan 390
D. Tugas 390

BAB VIIII SISTEM PEMELIHARAAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR (PLTA) 391
A. Kegiatan Pemeliharaan Generator dan Governor Unit I 393
B. Kegiatan Pemeliharaan Transformator I (6/70 kV) 395
C. Kegiatan Pemeliharaan Mingguan *ACCU* Battery 396
D. Keselamatan Kerja 398
E. Latihan 399
F. Tugas 399

BAB IX *STANDARD OPERATION PROCEDURE (SOP)* 401
A. Umum 401
B. Prosedur Operasi Start Dingin PLTU Perak Unit III/IV 412
C. *BFP* dan *CWP* C. *Unit Start Up After 10 Hours Shut Down* 415
D. *UNIT Start Up Very Hot Condition* 417
E. Prosedur Start Kembali Setelah Gangguan Padam Total 419
F. Normal *Stop Untuk Electrical Control Board* 421
G. *Shut Down Unit* (Operator BTB) 422
H. *Shut Down* 424
I. Pengoperasian PadaTurning Gear 425
J. *Shut Down Unit* (*Operator Boiler* Lokal) 426
K. Pemeliharaan dan SOP Pada Pusat Pembangkit 426
L. SOP Genset 437
M. Latihan 448
N. Tugas 448

BUKU JILID 3
BAB X TRANSFORMATOR DAYA, *SWITCHGEAR, RELAY PROTECTION, EXCITACY* DAN SYSTEM *CONTROL* 449
A. Tansformator Tenaga 449
B. *Switchgear* 466
C. *Relay* Proteksi 477

D. Sistem *Excitacy* 478
E. Unit AVR (*Automatic Voltage Regulator*) 482
F. Pemeliharaan Sistem Kontrol 488
G. Latihan 491
H. Tugas 491

BAB XI *CRANE* DAN *ELEVATOR* (*LIFT*) 493
A. *Crane* 493
B. Instalansi *Lift/Elevator* 513
C. Pemeliharaan *Crane* dan *Lift* 519
D. Latihan 522
E. Tugas 522

BAB XII TELEKOMUNIKASI UNTUK INDUSTRI TENAGA LISTRIK 523
A. Klasifikasi Telekomunikasi Untuk Industri Tenaga Listrik 523
B. Komunikasi dengan Kawat 524
C. Komunikasi dengan Pembawa Saluran Tenaga 525
D. Rangkaian Transmisi 530
E. Komunikasi Radio 533
F. Komunikasi Gelombang Mikro 537
G. Pemeliharaan Alat Komunikasi Pada Pusat Pembangkit Listrik 540
H. Latihan 541
I. Tugas 541

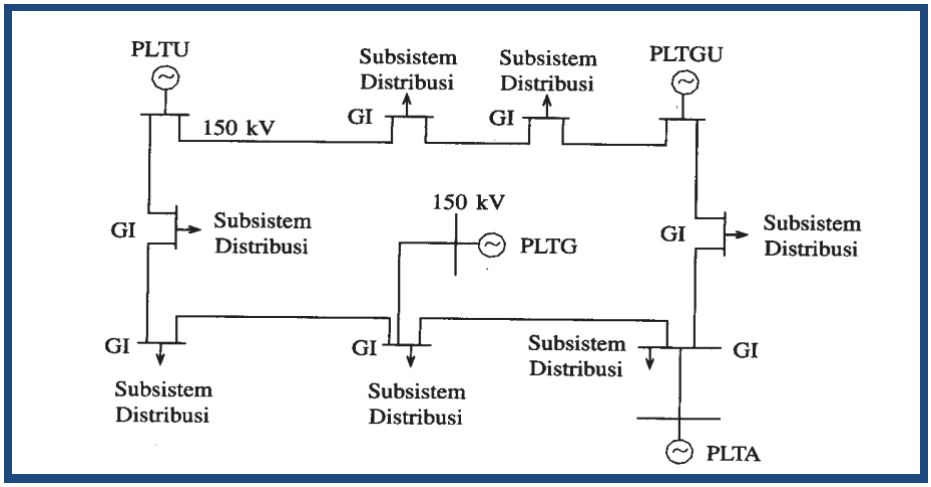
BAB XIII ALAT UKUR LISTRIK 543
A. Amperemeter 543
B. Pengukuran Tegangan Tinggi 547
C. Pengukuran Daya Listrik 550
D. Pengukuran Faktor Daya 553
E. Pengukuran Frekuensi 558
F. Alat Pengukur Energi Arus Bolak-Balik 562
G. Alat-Alat Ukur Digital 566
H. *Megger* 578
I. Avometer 579
J. Pemeliharaan Alat Ukur 579
K. Latihan 581
L. Tugas 581

LAMPIRAN A. DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN B. DAFTAR ISTILAH
LAMPIRAN C. DAFTAR TABEL
LAMPIRAN D. DAFTAR GAMBAR
LAMPIRAN E. DAFTAR RUMUS
LAMPIRAN F. SOAL-SOAL
LAMPIRAN 1. UU Keselamatan Kerja
LAMPIRAN 2. Penanggulangan Kebakaran

BAB IV
PEMBANGKITAN DALAM SISTEM INTERKONEKSI

A. Sistem Interkoneksi dan Sistem yang Terisolir

Sistem interkoneksi adalah sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik dan gardu induk (GI) yang diinterkoneksikan (dihubungkan satu sama lain) melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh Gardu Induk (GI).



Gambar IV.1
Sebuah Sistem Interkoneksi yang terdiri dari 4 buah Pusat Listrik dan 7 buah Gardu Induk (GI) dengan Tegangan Transmisi 150 kV

Gambar IV.1 menggambarkan sebuah sistem interkoneksi yang terdiri dari sebuah PLTA, sebuah PLTU, sebuah PLTG, dan sebuah PLTGU serta 7 buah GI yang satu sama lain dihubungkan oleh saluran transmisi. Di setiap GI terdapat beban berupa subsistem distribusi. Secara listrik, masing-masing subsistem distribusi tidak terhubung satu sama lain. Dalam sistem interkoneksi, semua pembangkit perlu dikoordinir agar dicapai biaya pembangkitan yang minimum, tentunya dengan tetap memperhatikan mutu serta keandalan. Mutu dan keandalan penyediaan tenaga listrik menyangkut frekuensi, tegangan, dan gangguan. Demikian pula masalah penyaluran daya yang juga perlu diamati dalam sistem

interkoneksi agar tidak ada peralatan penyaluran (transmisi) yang mengalami beban lebih.

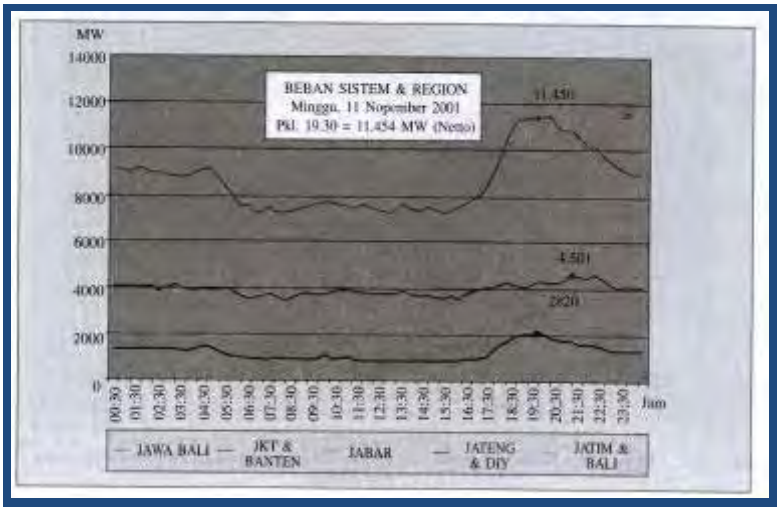
Sistem yang terisolir adalah sistem yang hanya mempunyai sebuah pusat listrik saja dan tidak ada interkoneksi antar pusat listrik serta tidak ada hubungan dengan jaringan umum (interkoneksi milik PLN). Sistem yang terisolir misalnya terdapat di industri pengolah kayu yang berada di tengah hutan atau pada pengeboran minyak lepas pantai yang berada di tengah laut. Pada sistem yang terisolir umumnya digunakan PLTD atau PLTG. Pada Sistem yang terisolir, pembagian beban hanya dilakukan di antara unit-unit pembangkit di dalam satu pusat listrik sehingga tidak ada masalah penyaluran daya antar pusat listrik seperti halnya pada sistem interkoneksi. PLN juga mempunyai banyak sistem yang terisolir berupa sebuah PLTD dengan jaringan distribusi yang terbatas pada satu desa, yaitu pada daerah yang baru mengalami elektrifikasi.

Operasi pembangkitan, baik dalam sistem interkoneksi maupun dalam sistem yang terisolir, memerlukan perencanaan pembangkitan terlebih dahulu yang di antaranya adalah:

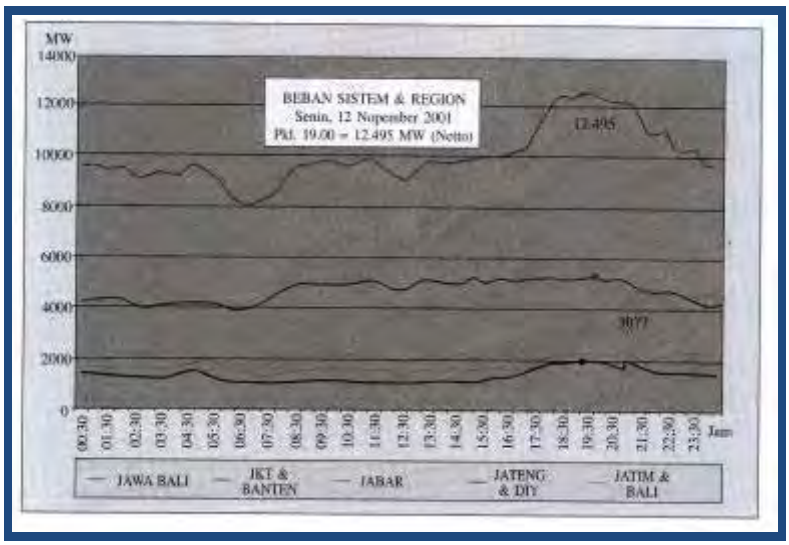
1. Perencanaan Operasi Unit-unit Pembangkit.
2. Penyediaan Bahan Bakar.
3. Koordinasi Pemeliharaan.
4. Penyediaan Suku Cadang.
5. Dan lain-lain.

B. Perkiraan Beban

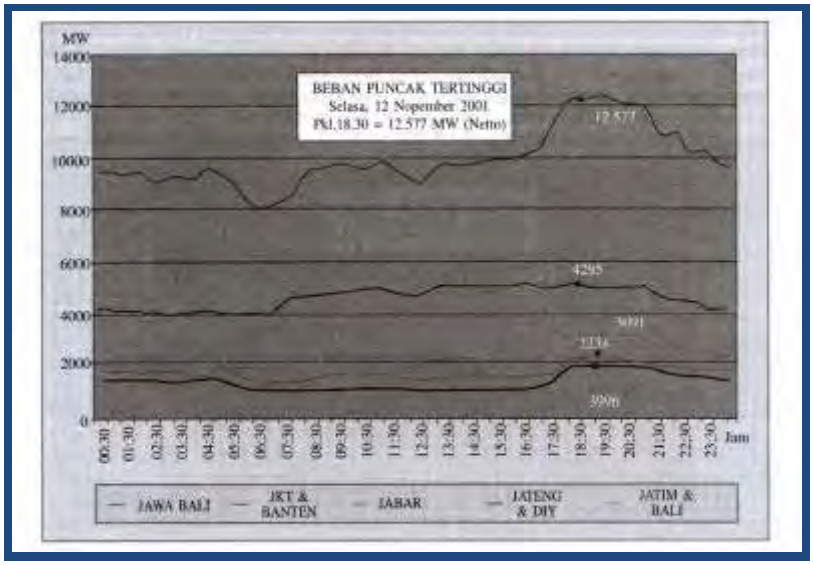
Energi listrik yang dibangkitkan (dihasilkan) tidak dapat disimpan, melainkan langsung habis digunakan oleh konsumen. Oleh karena itu, daya yang dibangkitkan harus selalu sama dengan daya yang digunakan oleh konsumen. Apabila pembangkitan daya tidak mencukupi kebutuhan konsumen, maka hal ini akan ditandai oleh turunnya frekuensi dalam sistem. Sebaliknya, apabila pembangkitan daya lebih besar daripada kebutuhan konsumen, maka frekuensi sistem akan naik. Penyedia tenaga listrik, misalnya PLN, harus menyediakan tenaga listrik dengan frekuensi yang konstan, yaitu: 50 Hertz atau 60 Hertz dalam batas, batas penyimpangan yang masih diizinkan.



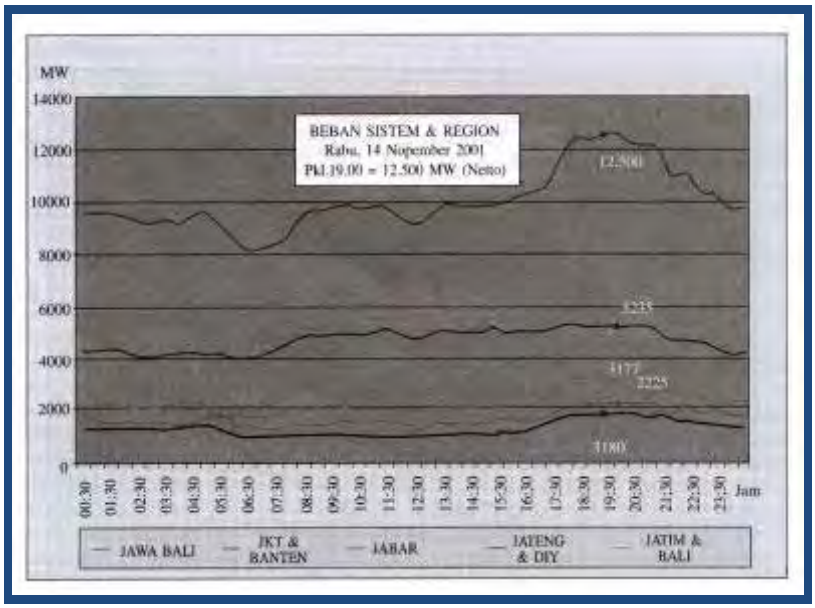
Gambar IV.2.A.
Kurva Beban Sistem dan Region
Minggu, 11 November 2001 pukul 19.30 = 11.454 MW (Netto)



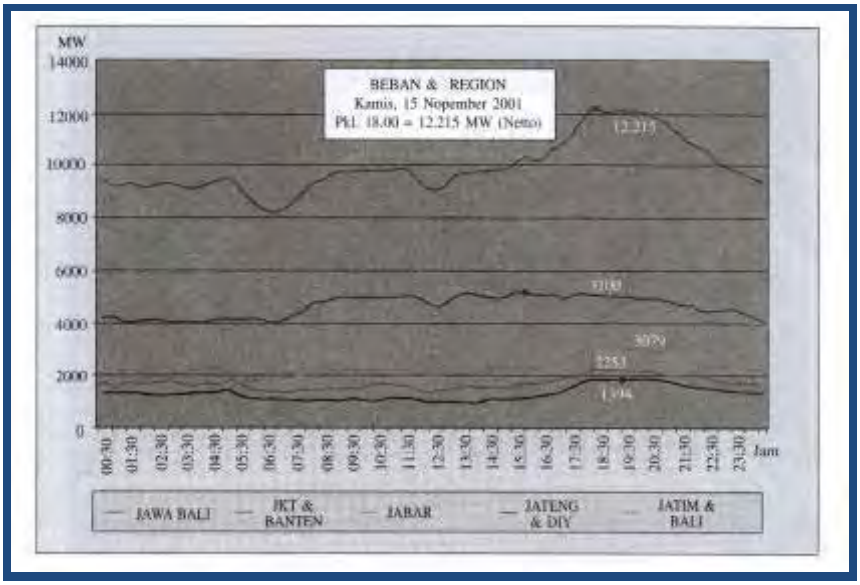
Gambar IV.2.B.
Kurva Beban Sistem dan Region
Senin, 12 November 2001 Pukul 19.00 = 12.495 MW (Netto)



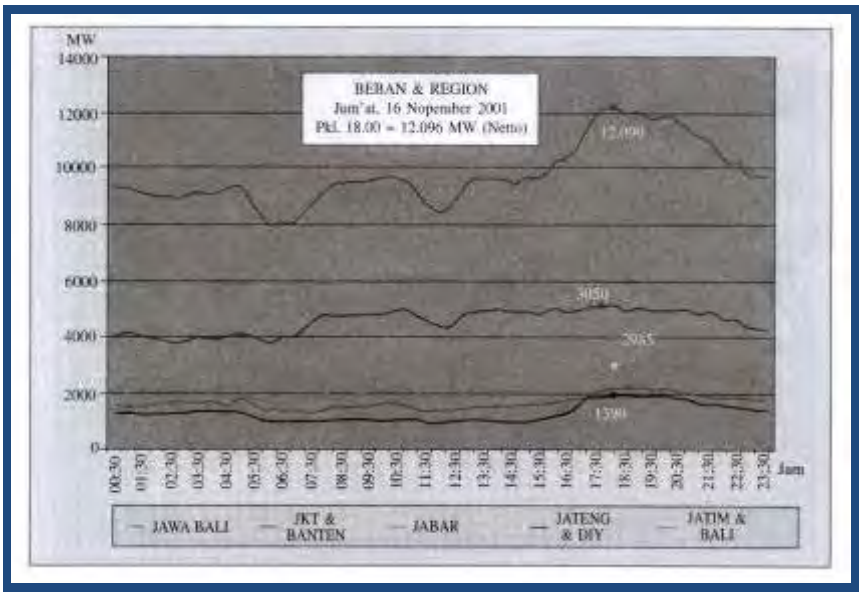
Gambar IV.2.C.
Kurva Beban Sistem dan Region
Selasa, 13 November 2001 Pukul 18.30 = 12.577 MW (Netto)



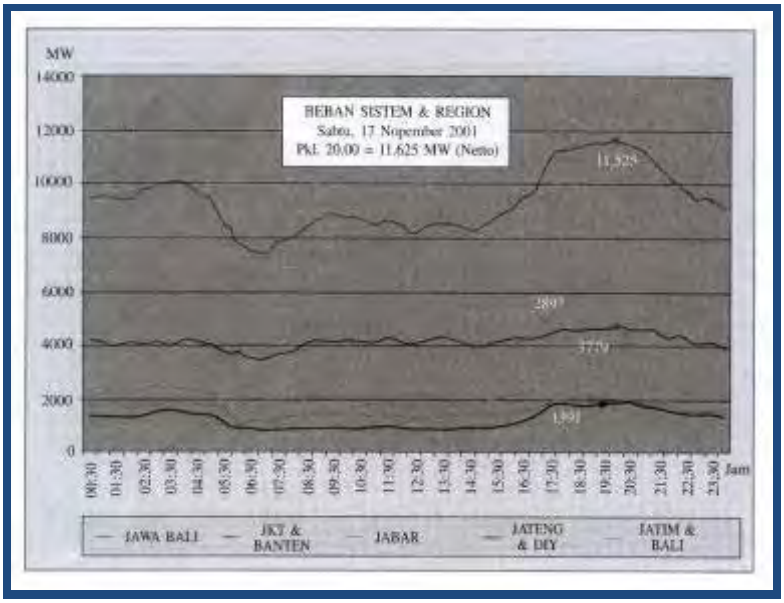
Gambar IV.2.D.
Kurva Beban Sistem dan Region
Rabu, 14 November 2001 pukul 19.00 = 12.500 MW (Netto)



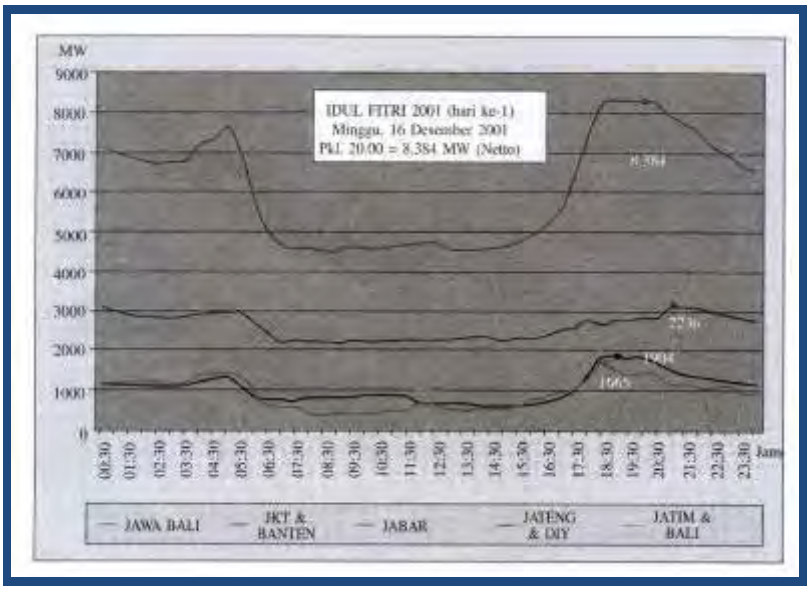
Gambar IV.2.E.
Kurva Beban Sistem dan Region
Kamis, 15 November 2001 Pukul 18.00 = 12.215 MW (Netto)



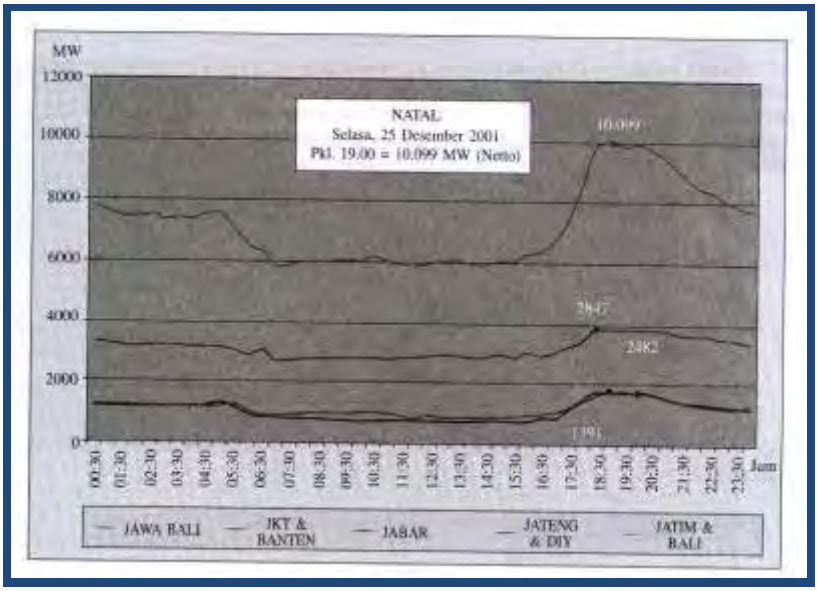
Gambar IV.2.F.
Kurva Beban Sistem dan Region
Jumat, 16 November 2001 Pukul 18.30 = 12.096 MW (Netto)



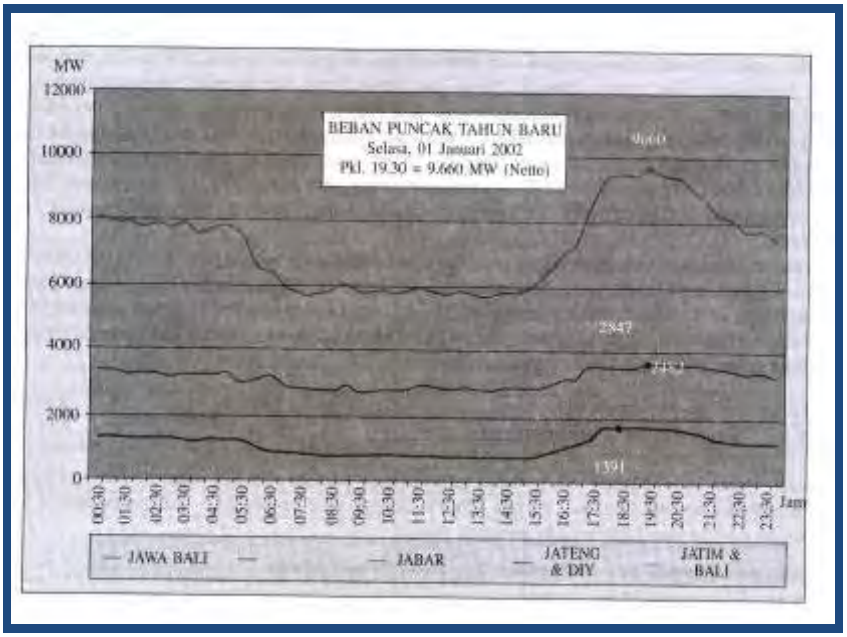
Gambar IV.2.G.
Kurva Beban Sistem dan Region
Sabtu, 17 November 2001 pukul 20.00 = 11.625 MW (Netto)



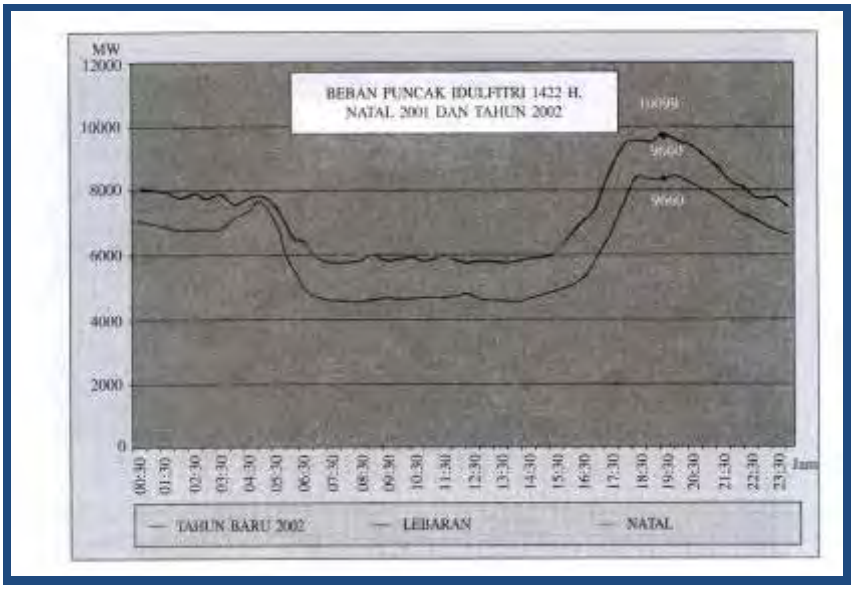
Gambar IV.2.H.
Kurva Beban Sistem dan Region Idul Fitri (hari ke 1)
Minggu, 16 Desember 2001 Pukul 20.00 = 8.384 MW (Netto)



Gambar IV.2.I.
Kurva Beban Sistem dan Region Natal
Selasa, 25 Desember 2001 Pukul 19.00 = 10.099 MW (Netto)



Gambar IV.2.J.
Kurva Beban Puncak Tahun Baru
Selasa, 1 Januari 2002 pukul 19.30 = 9.660 MW (Netto)



Gambar IV.2.K
Kurva Beban Puncak Idul Fitri 1422 H, Natal 2001
dan Tahun Baru 2002 (Netto)

Gambar IV.2 menggambarkan Kurva Beban Harian Sistem Jawa, Bali dalam satu minggu. Dari gambar ini terlihat bahwa hari-hari dalam satu minggu mempunyai karakteristik beban yang berbeda-beda, tetapi secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi hari Senin sampai dengan hari Kamis, hari Jum'at, hari Sabtu, dan hari Minggu. Untuk hari libur seperti Lebaran, Natal, dan Tahun Baru, karakteristik bebannya berbeda.

C. Koordinasi Pemeliharaan

Dalam sistem interkoneksi bisa terdapat puluhan unit pembangkit dan juga puluhan peralatan transmisi seperti transformator dan pemutus tenaga (PMT). Semua unit pembangkit dan peralatan ini

memerlukan pemeliharaan dengan mengacu kepada petunjuk pabrik.
Tujuan pemeliharaan Unit Pembangkit dan Transformator adalah:

- Mempertahankan efisiensi.
- Mempertahankan keandalan.
- Mempertahankan umur ekonomis.

Pemeliharaan unit-unit pembangkit perlu dikoordinasikan agar petunjuk pemeliharaan pabrik dipenuhi namun daya pembangkitan sistem yang tersedia masih cukup untuk melayani beban yang diperkirakan. Tabel

IV.1 menggambarkan contoh neraca daya dari sebuah sistem interkoneksi untuk bulan Januari sampai dengan Maret yang terdiri dari:

PLTA dengan 4 unit:
Unit 1 dan unit 2 sama, masing-masing 100 MW.
Unit 3 dan unit 4 sama, masing-masing 150 MW.

PLTU dengan 4 unit:
Unit 1 dan unit 2 sama, masing-masing 300 MW.
Unit 3 dan unit 4 sama, masing-masing 500 MW.

PLTG dengan 5 unit yang sama:
5 X 100 MW.

Unit PLTG yang ke-5 baru selesai terpasang dan beroperasi mulai bulan Maret. Daya terpasang tersebut pada Tabel IV.1 adalah daya sesuai kontrak sewaktu unit pembangkit bersangkutan dipasang. Daya tersedia adalah daya yang tersedia untuk pembangkitan dalam sistem yang besarnya sama dengan daya terpasang dikurangi dengan daya unit pembangkit yang menjalani pemeliharaan. Perkiraan beban dalam Tabel IV.1 adalah perkiraan beban puncak sistem. Cadangan daya adalah selisih antara daya tersedia dengan perkiraan beban puncak.

Dalam menyusun jadwal pemeliharaan unit pembangkit, selain memenuhi petunjuk pabrik, harus diusahakan juga agar nilai cadangan daya dalam Tabel IV.1 bernilai positif yang artinya tidak ada pemadaman karena kekurangan daya. Cadangan Daya ini sesungguhnya menggambarkan keandalan sistem.

Pada Tabel IV.1, terlihat bahwa daya terpasang pada bulan Maret bertambah 100 MW dibanding daya terpasang bulan Februari. Hal ini disebabkan oleh unit PLTG yang ke-5 baru selesai dipasang dan dioperasikan mulai bulan Maret. Dalam Tabel IV.1 digambarkan juga jadwal pemeliharaan unit Pembangkit. Di sini diambil asumsi bahwa pekerjaan pemeliharaan atau perbaikan unit pembangkit tersebut memakan waktu satu bulan.

Dalam membuat jadwal pemeliharaan unit pembangkit usahakanlah melakukan pemeliharaan unit PLTA pada musim kemarau. dan pemeliharaan unit pembangkit termal pada musim hujan. Hal ini perlu. dipertimbangkan agar jangan sampai ada air yang tidak "sempat" dimanfaatkan oleh unit PLTA (sekalipun air adalah gratis, tidak seperti halnya dengan bahan bakar). Beban puncak dalam Tabel IV.1 didapat dari perkiraan beban.

Tabel IV.1.
Neraca Daya Sistem

Unit Pembangkit	Jadwal Pemeliharaan			Macam Pekerjaan/ Keterangan
	Januarl	Februari	Maret	
PLTA				
Unit 1 : 100 MW				
Unit 2 : 100 MW				
Unit 3 : 150 MW				
Unit 4 : 150 MW			7, 1 1	*Overhaul* setelah operasi 40.000 jam
PLTU				
Unit 1 : 300 MW				
Unit 2 : 300 MW				
Unit 3 : 500 MW				
Unit 4 : 500 MW				*Overhaul* setelah operasi 10.000 jam
PLTG				
Unit 1 : 100 MW				Inspeksi setelah operasi 5.000 jam
Unit 2 : 100 MW				
Unit 3 : 100 MW				Perbaikan sudu jalan
Unit 4 : 100 MW				
Unit 5 : 100 MW				Mulai Operasi Maret
Daya Terpasang (MW)	2.500	2.500	2.600	
Daya Tersedia (MW)	2.000	2.300	2.450	
Beban Puncak (MW)	1.910	1.920	1.930	
Cadangan (MW)	90	380	520	

D. Faktor-faktor dalam Pembangkitan

1. Faktor Beban

Faktor beban adalah perbandingan antara besarnya beban rata-rata. untuk suatu selang waktu (misalnya satu hari atau satu bulan) terhadap beban puncak tertinggi dalam selang waktu yang sama. Sedangkan beban rata-rata untuk suatu selang waktu adalah jumlah produksi kWh dalam selang waktu tersebut dibagi dengan jumlah jam dari selang waktu tersebut.

Dari uraian di atas didapat:

$$\textbf{Faktor Beban} = \frac{\textbf{Beban rata-rata}}{\textbf{Beban Puncak}} \qquad (4.1)$$

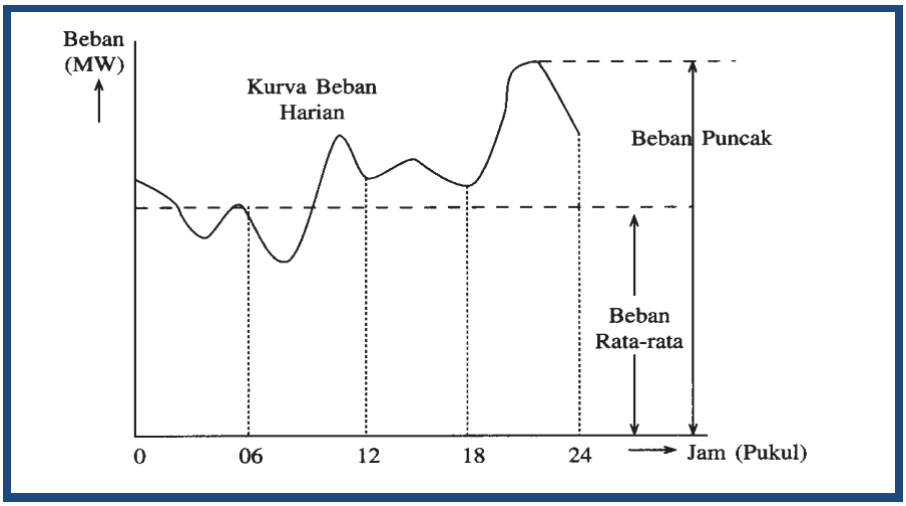
Bagi penyedia tenaga listrik, faktor beban sistem diinginkan setinggi mungkin, karena faktor beban yang makin tinggi berarti makin rata beban sistem sehingga tingkat pemanfaatan alat-alat yang ada dalam sistem dapat diusahakan setinggi mungkin. Dalam praktik, faktor beban tahunan sistem berkisar antara. 60-80%.

2. Faktor Kapasitas

Faktor kapasitas sebuah unit pembangkit atau pusat listrik menggambarkan seberapa besar sebuah unit pembangkit atau pusat listrik dimanfaatkan. Faktor kapasitas tahunan (8760 jam) didefinisikan sebagai:

$$\text{Faktor Kapasitas} \sim \frac{\text{Produksi Satu Tahun}}{\text{DayaTerpasang} \times 8{,}760} \qquad (4.2)$$

Dalam praktik, faktor kapasitas tahunan PLTU hanya dapat mencapai angka antara 60-80% karena adanya dioperasikan masa pemeliharaan dan adanya gangguan atau kerusakan yang dialami oleh PLTU tersebut. Untuk PLTA, faktor kapasitas tahunannya berkisar antara 30-50%. Ini berkaitan dengan ketersediaanya air.



Gambar IV.3.
Beban Puncak dan Beban Rata-Rata Sistem

3. Faktor Utilisasi (Penggunaan)

Faktor utilisasi sesungguhnya serupa dengan faktor kapasitas, tetapi di sini menyangkut daya. Faktor Utilisasi sebuah alat didefinisikan sebagai:

$$\text{Faktor Utilitas} = \frac{\text{Beban Alat Tertinggi}}{\text{Kemampuan Alat}} \qquad (4.3)$$

Beban dinyatakan dalam ampere atau Mega Watt (MW) tergantung alat yang diukur faktor utilisasinya. Untuk saluran, umumnya dinyatakan dalam ampere, tetapi untuk unit pembangkit dalam MW. Faktor utilisasi perlu diamati dari keperluan pemanfaatan alat dan juga untuk mencegah pembebanan-lebih suatu alat.

4. Forced Outage Rate

Forced outage rate adalah sebuah faktor yang menggambarkan sering tidaknya sebuah unit pembangkit mengalami gangguan. Gambar IV.4 menggambarkan hal-hal yang dialami oleh sebuah unit pembangkit dalam satu tahun (8.760 jam). *Forced Outage Rate* (FOR) didefinisikan sebagai:

$$\text{FOR} = \frac{\text{Jumlah Jam Gangguan Unit}}{\text{Jumlah Jam Operasi Unit + Jumlah Jam Gangguan Unit}} \qquad (4.4)$$

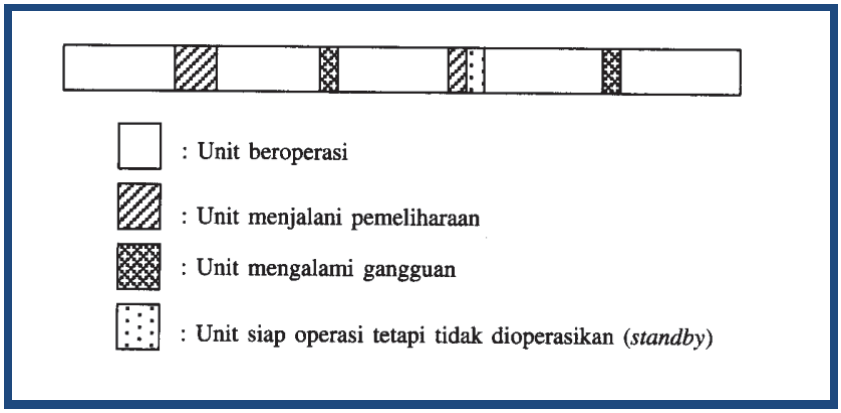
FOR tahunan unit PLTA sekitar 0,01. Sedangkan FOR tahunan untuk unit pembangkit termis sekitar 0,5 sampai 0,10. Makin andal sebuah unit pembangkit (jarang mengalami gangguan), makin kecil nilai FOR-nya. Makin tidak handal sebuah unit pembangkit (sering mengalami gangguan), makin besar nilai FOR-nya. Besarnya nilai FOR atau turunnya keandalan unit pembangkit umumnya disebabkan oleh kurang baiknya pemeliharaan.

E. Neraca Energi

Neraca energi seperti ditunjukkan oleh Tabel IV.2 perlu dibuat karena neraca energi ini merupakan dasar untuk menyusun anggaran biaya bahan bakar yang merupakan unsur biaya terbesar dari biaya operasi sistem tenaga listrik. Neraca energi umumnya disusun untuk periode 1 bulan; misalnya untuk bulan Maret diperlukan data dan informasi sebagai berikut:

1. Faktor Beban Bulan Maret

Faktor beban didapat berdasarkan statistik bulanan nilai faktor beban. Misalkan faktor beban bulan Maret satu tahun yang lalu = 0,74. Tetapi pengamatan statistik 12 bulan terakhir menunjukkan bahwa faktor beban sistem cenderung naik, maka diperkirakan faktor beban bulan Maret yang akan datang = 0,75 sehingga perkiraan produksi untuk bulan Maret adalah (lihat neraca daya/Tabel IV.1):
Beban Puncak x Faktor Beban x Jumlah Jam = 1.930 MW x 0,75 x 31 x 24 = 1.076.940 MWh



Gambar IV.4.
Hal-hal yang dialami unit pembangkit dalam satu tahun (8760 jam)

2. Perkiraan Produksi PLTA Bulan Maret

Perkiraan Produksi PLTA dibuat atas dasar perkiraan air yang tersedia untuk PLTA bersangkutan, statistik dan ramalan cuaca, perhitungan unit pembangkit PLTA yang siap beroperasi seperti terlihat pada Tabel IV.1 (Neraca Daya). Misalkan dari perkiraan air yang akan masuk ke PLTA dalam bulan Maret dapat diproduksi tenaga listrik sebanyak 180.000 MWh. Hal ini perlu dicek apakah unit pembangkit PLTA yang telah siap operasi dalam bulan Maret, (yaitu 350 MW menurut Tabel 4. 1) bisa membangkitkan 180.000 MWh. Pengecekan ini melalui perkiraan jam operasi yang juga sering disebut sebagai jam nyala unit, yaitu = Produksi: Daya Tersedia = 180.000 MWh : 350 MW = 514,28 jam. Karena dalam bulan Maret tersedia waktu sebanyak 31 x 24 = 744 jam, maka jam nyala unit selama 514,28 jam dapat dianggap sebagai bisa dilaksanakan, setelah mempertimbangkan kemungkinan terjadinya gangguan Keperluan
yang menyebabkan unit tersebut keluar dari operasi serta kemungkinan terpaksa mengurangi kapasitas unit (derating) karena adanya gangguan.

3. Biaya Bahan Bakar Unit Pembangkit Thermis.

Biaya bahan bakar unit-unit pembangkit termis perlu diketahui untuk membagi beban dimulai dari unit-unit Termis dengan urutan termurah lebih dahulu, kemudian diikuti dengan yang lebih mahal, yang dalam bahasa Inggris disebut Merit Loading. Berdasarkan pengamatan operasi, misalkan didapat Biaya Bahan Bakar per kWh untuk:
PLTU Batubara:
Rp 100,00 per kWh
PLTGU yang memakai Gas:

Rp 150,00 per kWh
PLTG yang memakai bahan bakar minyak:
Rp 600,00 per kWh

Berdasarkan angka-angka biaya bahan bakar pada butir c dan mengacu pada Tabel IV.1 di mana unit-unit termis pada contoh ini hanya PLTU dan PLTG saja, maka alokasi pembebanan unit termis setelah dikurangi Produksi PLTA terlebih dahulu, dimulai dengan alokasi produksi untuk PLTU, yaitu:

Produksi Total - Produksi PLTA = 1.076.940 MWh - 180.000 MWh = 896.940 MWh.

Dengan produksi 896.940 MWh, maka jam operasi (nyala) dalam bulat Maret akan mencapai = 896.940 MWh:
Daya tersedia oleh PLTU pada bulan Maret = 896.940 MWh : 1.600 MW = 560.59 jam.
Hal ini masih mungkin dicapai oleh PLTU tersebut dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya gangguan dan derating. Dengan demikian, neraca energi untuk bulan Maret adalah sebagai berikut

Tabel IV.2
Neraca Energi Sistem

Pusat Listrik	**Produksi**	**Jam Nyala**
PLTA	180.000 MWh	514,28 jam
PLTU	896.940 MWh	560,59 jam
PLTG	0	0
Sistem	1.076.940 MWh	

Biaya bahan bakar bulan Maret diperkirakan sebesar (bagi PLTU saja):
896.940 x 1.000 x Rp100,00 = Rp 89.694.000.000,00

F. Keandalan Pembangkit

Dalam Subbab 4, disebutkan bahwa *Forced Outage Rate* (FOR) adalah suatu faktor yang menggambarkan keandalan unit pembangkit. Dalam sistem interkoneksi yang terdiri dari banyak unit pembangkit, maka keandalan unit-unit pembangkit yang beroperasi dibandingkan dengan beban yang harus dilayani menggambarkan keandalan sistem tersebut.

Ada angka yang menggambarkan berapa besar probabilitas unit-unit pembangkit yang beroperasi tidak mampu melayani beban. Angka probabilitas ini dalam bahasa Inggris disebut *loss of load probability* atau biasa disingkat LOLP. Gambar IV.5 menggambarkan secara kualitatif besarnya LOLP untuk suatu sistem, yaitu:

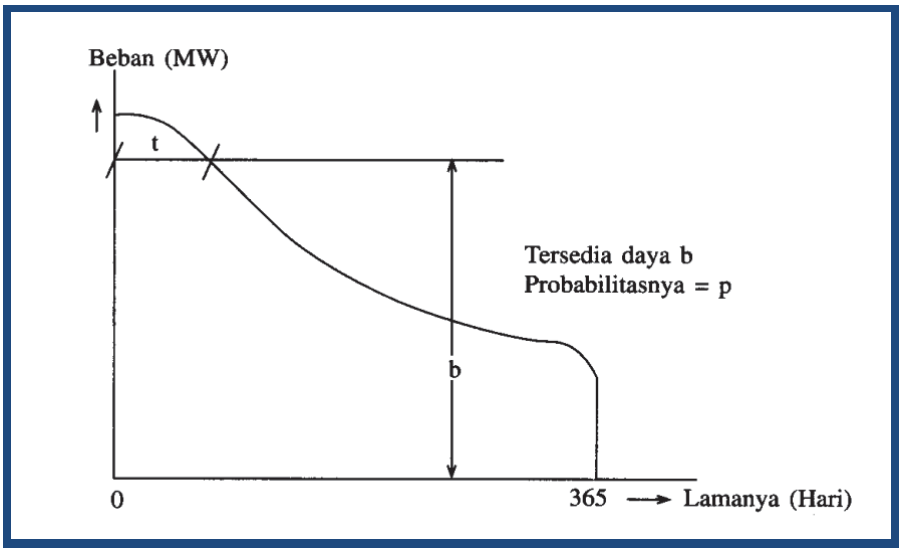
$$LOLP = p \times t \qquad (4\text{-}5)$$

keterangan

p : menggambarkan probabilitas sistem dapat menyediakan daya sebesar b.

t : menggambarkan lamanya garis tersedianya daya sebesar b memotong kurva lama beban dari sistem.

Nilai LOLP biasanya dinyatakan dalam hari per tahun. Makin kecil nilai LOLP, makin tinggi keandalan sistem. Sebaliknya, makin besar nilai LOLP, makin rendah keandalan sistem, karena hal ini berarti probabilitas sistem tidak dapat melayani beban yang makin besar.



Gambar IV.5.
Penggambaran LOLP = p x t dalam Hari per Tahun
pada Kurva Lama Beban

G. Keselamatan Kerja dan Kesehatan Kerja

1. Segi Mekanis

Dalam proses pembangkitan tenaga listrik, khususnya dalam pusat-pusat listrik, banyak hal yang dapat menimbulkan kecelakaan,

baik dari segi mekanis maupun dari segi listrik. Dari segi mekanis, yang dapat menimbulkan kecelakaan dan memerlukan langkah-langkah pencegahannya adalah:

a. Bagian-bagian yang berputar atau bergerak, seperti: roda gila (roda daya), roda penggerak, ban berjalan,dan rantai pemutar, harus secara mekanis diberi pagar sehingga tidak mudah disentuh orang serta diberi tanda peringatan.

b. Bejana-bejana berisi udara atau gas yang bertekanan yang dapat menimbulkan ledakan berbahaya, seperti: ketel uap dan botol angin, harus dilengkapi dengan katup pengamanan serta dilakukan pengujian periodik.

c. Tempat-tempat yang licin harus dihindarkan keberadaannya, seperti: lantai yang ada tumpahan minyak pelumas.

d. Personil yang bekerja harus menggunakan topi pelindung kepala untuk melindungi kepala terhadap benda-benda keras yang jatuh dari atas dengan mengingat bahwa lantai-lantai di pusat listrik banyak yang dibuat dari lantai besi yang berlubang.

e. Personil yang melakukan pekerjaan di ketinggian yang berbahaya harus menggunakan sabuk pengaman.

f. Tempat-tempat yang rawan terhadap kebakaran, seperti: instalasi bahan bakar, tangki minyak pelumas dan instalasi pendingin generator yang menggunakan gas hidrogen, harus dilengkapi dengan instalasi pemadam kebakaran. Selain itu, harus ada latihan rutin bagi personil untuk menghadapi kebakaran.

g. Kolam air dan saluran air yang dapat menenggelamkan orang harus dipagar atau dijadikan daerah terlarang bagi umum untuk menghindarkan kecelakaan berupa tenggelamnya orang atau binatang ternak.

h. Personil yang mengerjakan pekerjaan gerinda, bor, dan bubut harus dilengkapi dengan kacamata yang menjadi pelindung mata terhadap percikan logam atau bahan lainnya yang dikerjakan yang mungkin memercik ke dalam mata personil.

i. Mesin-mesin pengangkat termasuk lift, harus diperiksa secara periodik keamanannya, khususnya yang menyangkut sistem rem, sistem kabel baja, dan pintu darurat lift.

j. Personil yang mengerjakan pekerjaan las harus menggunakan tameng las untuk melindungi mata dan wajah agar matanya tidak rusak karena sinar las yang menyilaukan dan waiahnya tidak "terbakar" oleh sinar ultraviolet busur las.

2. Segi Listrik

Dari segi listrik, hal-hal yang memerlukan perhatian dari segi keselamatan kerja adalah:

a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (bukan instalasi listrik), harus dibumikan/ditanahkan dengan baik sehingga potensiaInya selalu sama dengan bumi dan tidak akan timbul tegangan sentuh yang membahayakan manusia. Bagian instalasi yang dimaksud dalam butir ini, misalnya: lemari panel dan pipa-pipa dari logam.

b. Titik-titik pentanahan/pembumian harus selalu dijaga agar tidak rusak sehingga pentanahan/pembumian yang tersebut dalam butir 1 di atas berlangsung dengan baik.

c. Pekedam las listrik yang dilakukan pada instalasi yang terbuat dari logam, misalnya: instalasi ketel uap PLTU, harus menggunakan tegangan yang cukup rendah sehingga tidak timbul tegangan sentuh yang membahayakan.

d. Bagian dari instalasi yang bertegangan, khususnya tegangan tinggi, harus dibuat sedemikian hingga tidak mudah disentuh orang.

e. Dalam melaksanakan pekerjaan di instalasi tegangan tinggi, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu:

1) Jangan sekali-kali membuka sakelar pemisah (PMS) yang masih dilalui arus, karena hal ini dapat menimbulkan ledakan yang berbahaya. Untuk mencegah terjadinya hal ini, terlebih dahulu pemutus tenaga (PMT) harus dibuka agar tidak ada lagi arus yang melalui PMS bersangkutan. Instalasi yang baru (mutakhir) menggunakan sistem *interlock* di mana artinya PMS tidak dapat dibuka atau ditutup sebelum PMT dibuka atau ditutup terlebih dahulu. Bila tidak ada sistem *interlock*, maka bekerja dalam instalasi seperti itu perlu ekstra hati-hati di mana harus ada dua orang yang bekerja; seorang yang melakukan pembukaan atau, pemasukan PMS dan PMT, seorang lagi yang mengamati bahwa pelaksanaan pekerjaan ini tidak keliru.

2) Bagian instalasi yang telah dibebaskan tegangannya dan akan disentuh, harus ditanahkan/dibumikan terlebih dahulu.

3) Jika pelaksanaan pekerjaan menyangkut beberapa orang, maka pembagian tanggung jawab harus jelas.

4) Harus ada tanda pemberitahuan yang jelas bahwa sedang ada pekerjaan pemeliharaan sehingga tidak ada orang yang memasukkan PMT.

f. Jika akan dilakukan pekerjaan di sisi sekunder transformator arus, misalnya untuk mengecek alat ukur atau mengecek relai, jangan lupa menghubung-singkatkan sisi sekunder transformator arus tersebut terlebih dahulu untuk mencegah timbulnya tegangan tinggi.

3. Kesehatan Kerja

Ruangan kerja yang mengandung gas beracun dapat membahayakan personil. Ruangan kerja yang mempunyai potensi sebagai ruangan yang mengandung gas beracun harus mempunyai ventilasi yang baik agar gas beracun tersebut hilang dari ruangan. Ruangan-ruangan yang demikian adalah:

a. Ruangan baterai aki yang mempunyai potensi mengandung uap asam sulfat H2S04 atau uap basa KOH.

b. Ruang kloronisasi untuk menyuntikkan gas klor ke dalam air pendingin PLTU. Ruangan ini mempunyai potensi mengandung gas klor.

c. Ruang-ruang kerja di lingkungan PUP mempunyai potensi mengandung banyak gas asam belerang H2S yang dibawa oleh uap PUP.

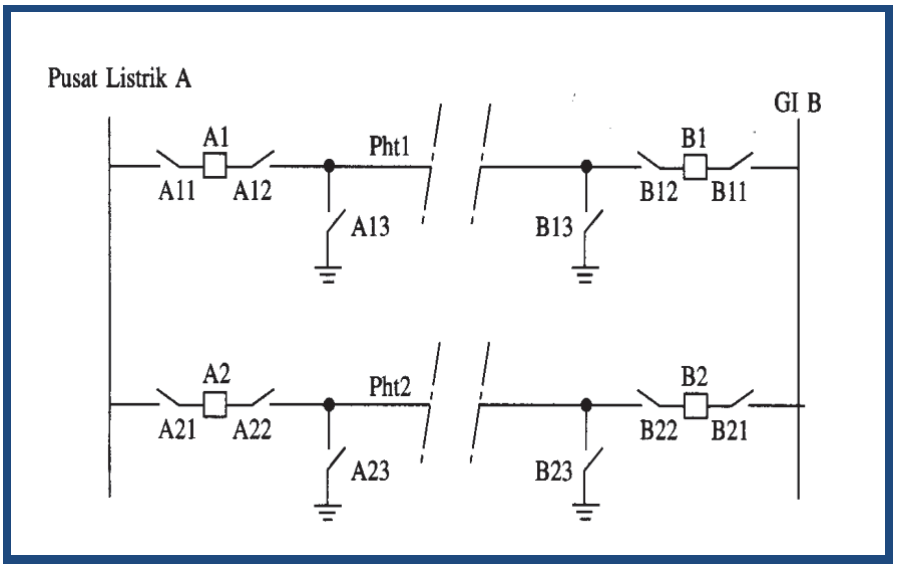
d. Saluran gas buang unit pembangkit thermis yang menuju cerobong harus dijaga agar tidak bocor.Karena apabila bocor, gas buang ini bisa memasuki ruangan kerja personil pusat listrik yang bersangkutan dan membahayakan kesehatannya karena mengandung berbagai gas seperti C02, S02, dan HNOx.

H. Prosedur Pembebasan Tegangan dan Pemindahan Beban

1. Prosedur Pembebasan Tegangan

Saluran keluar yang menyalurkan daya keluar dari sebuah pusat listrik umumnya dikelola oleh manajemen yang berbeda dengan manajemen

pusat listrik. Oleh karena itu, prosedur pembebasan tegangannya memerlukan koordinasi manajemen yang baik agar tidak timbul kecelakaan terutama dalam sistem interkoneksi. Gambar IV.6A menggambarkan saluran keluar dari sebuah pusat listrik berupa saluran ganda yang terletak pada satu tiang transmisi. Misalkan saluran yang akan dibebaskan tegangannya adalah saluran (penghantar) No.1 antara pusat listrik A dan GI B, seperti digambarkan oleh Gambar IV.6A, karena pekerjaan perbaikan yang akan dilaksanakan harus dilakukan tanpa tegangan.



Gambar IV.6A.
Prosedur Pembebasan Tegangan pada Penghantar No. 1
antara Pusat Listrik A dan GI B

Prosedur untuk membebaskan tegangan ini adalah sebagai berikut:

a. Tanggal dan jam pelaksanaan pembebasan tegangan harus ditentukan dan disetujui oleh pusat pengatur beban sistem (lihat Subbab 4.1 alinea terakhir), karena hal ini mempengaruhi operasi sistem interkoneksi.

b. PMT A 1 dan PMT B 1 pada ujung-ujung penghantar No. 1 antara pusat listrik A dan GI B dibuka atas perintah pusat pengatur beban atau secara telekontrol oleh pusat pengatur beban.

c. Oleh penguasa pusat listrik A, PMS A 11 dan PMS A 12 dibuka, kemudian PMS A 13 (PMS tanah di GI A) dimasukkan.

d. Oleh penguasa GI B, PMS B 11 dan PMS B 12 dibuka, kemudian PMS B 13 (PMS tanah di GI B) dimasukkan.

e. Kepala regu kerja yang akan melaksanakan pekerjaan perbaikan pada penghantar No. 1 antara pusat listrik A dan GI B harus menyaksikan manuver tersebut dalam butir 3 dan butir 4 agar yakin bahwa penghantar No. 1 telah bebas tegangan dan telah ditanahkan. Apabila pusat listrik A dan GI B letaknya berjauhan, kepala regu kerja dapat mendelegasikan kesaksian ini kepada anak buahnya atau kepada penguasa pusat listrik A dan penguasa GI B.

f. Setelah yakin bahwa penghantar No. 1 antara pusat listrik A dan GI B telah bebas tegangan, kepala regu kerja penghantar bersama anak buahnya menuju ke bagian penghantar No. 1 yang akan diperbaiki. Tempat ini bisa jauh letaknya dari pusat listrik A maupun dari GI B. Di tempat ini, kepala regu kerja penghantar bersangkutan harus terlebih dahulu melempar rantai pentanahan ke penghantar No. 1 yang akan disentuh untuk membuang muatan kapasitif yang masih tersisa dalam penghantar tersebut. Selain itu, rantai pentanahan berfungsi menjaga agar potensial penghantar yang disentuh selalu sama dengan potensial bumi/tanah terutama karena ada induksi dari penghantar No. 2 yang tetap beroperasi. Sebelum melemparkan rantai pentanahan ke penghantar No. 1, Kepala regu kerja penghantar harus yakin dan bertanggung jawab bahwa yang dilempar rantai pentanahan adalah penghantar No. 1, bukan penghantar No. 2 yang sedang beroperasi. Kekeliruan semacam ini dapat terjadi mengingat bahwa Penghantar No. 1 dan penghantar No. 2 terpasang pada tiang yang sama. Apabila kekeliruan ini terjadi, maka akan timbul gangguan dalam sistem. Selama pekerjaan berlangsung, penguasa pusat listrik A dan penguasa GI B, bertanggung jawab bahwa PMT A dan PMT B beserta PMS-nya tidak akan dimasukkan, karena apabila hal ini terjadi, maka akan timbul kecelakaan pada regu kerja penghantar bersangkutan.

g. Setelah pekerjaan selesai dilaksanakan, kepala regu kerja penghantar beserta anak buahnya melepas rantai pentanahan dan meninggalkan tempat kerja dengan membawa semua peralatan kerjanya. Kemudian, kepala regu kerja penghantar ini memberitahu penguasa pusat listrik A dan penguasa GI B bahwa pekerjaannya telah selesai. Pemberitahuan ini mengandung tanggung jawab bahwa tidak ada anak buahnya yang masih menyentuh penghantar No. 1 dan rantai pentanahannya sudah dilepas serta tidak ada alat kerja yang tertinggal yang dapat menimbulkan gangguan.

h. Setelah menerima pemberitahuan ini, penguasa pusat listrik A memasukkan PMS A 11 dan PMS A 12 serta mengeluarkan PMS

tanah A 13. Sedangkan penguasa GI B memasukkan PMS B 11 dan PMS B 12 serta mengeluarkan PMS tanah B 13.

i. Setelah selesai melakukan manuver tersebut dalam butir 8, Penguasa pusat listrik A dan penguasa GI B masing-masing memberitahu pusat pengatur beban bahwa PMT A 1 di pusat listrik A dan PMT B 1 di GI B siap dimasukkan.

j. Setelah menerima pemberitahuan tersebut dalam butir 9, pusat pengatur beban memerintahkan ke pusat listrik A untuk memasukkan PMT A 1 dan ke GI B untuk memasukkan PMT B 1 atau memasukkannya secara telekontrol. Sebelum melakukan *manuver* tersebut dalam butir 8, penguasa pusat listrik A maupun penguasa GI B harus yakin terlebih dahulu bahwa tidak ada lagi regu kerja yang bekerja di penghantar No. 1. Sebab bisa terjadi ada dua regu kerja yang bekerja sendiri-sendiri pada penghantar No. 1 tersebut, misalnya regu kerja saluran udara tegangan tinggi (SUTT) dan regu kerja telekomunikasi. Untuk menghindari kekeliruan, maka handel PMS harus dilengkapi dengan dua kunci (gembok) yang masing-masing dibawa oleh kepala regu SUTT dan kepala regu telekomunikasi.

Dari uraian di atas, tampak bahwa dalam pelaksanaan pekerjaan ini, ada 4 pihak yang terlibat dan masing-masing mempunyai tanggung jawab sendiri, yaitu:

1) Pusat pengaturan beban bertanggung jawab bahwa jadwal pembebasan tegangan yang diberikan tidak menimbulkan masalah operasi dalam sistem interkoneksi, rnisalnya menimbulkan gangguan atau tegangan yang terlalu rendah.

2) Penguasa instalasi pusat listrik A bertanggung jawab bahwa dari sisi pusat listrik A tidak ada tegangan yang masuk ke penghantar yang sedang dikerjakan.

3) Penguasa instalasi GI B bertanggung jawab bahwa dari sisi GI B tidak ada tegangan yang masuk ke penghantar yang sedang dikerjakan.

4) Kepala regu kerja SUTT atau kepala regu kerja telekomunikasi bertanggung jawab atas keselamatan kerja anak buahnya dan bahwa pekerjaannya tidak akan menimbulkan gangguan dalam sistem.

Dari uraian di atas, tampak bahwa perlu ada identifikasi yang jelas mengenai peralatan yang berkaitan dengan manuver jaringan, misalnya nomor PMT, nomor PMS, dan lain-lainnya.
Begitu juga karena luasnya daerah operasi sistem interkoneksi, maka sarana telekomunikasi radio sangat diperlukan, karena tidak di semua

tempat yang berhubungan dengan pekerjaan ada sarana teleponnya, misainya di tempat penghantar dikerjakan.

2. Prosedur Pemindahan Beban

Sebagai contoh di sini diambil prosedur memindahkan transformator pemakaian sendiri dalam pusat listrik, sebagai digambarkan dalam Gambar 4.6 B. Transformator pemakaian sendiri semula ada Rel 1 akan dipindahkan ke Rel 2. Ada 2 macam keadaan, yaitu:

1. Tegangan Rel 1 dan Rel 2 mempunyai
- Tegangan sama besar
- Fasa sama
- Frekuensi sama

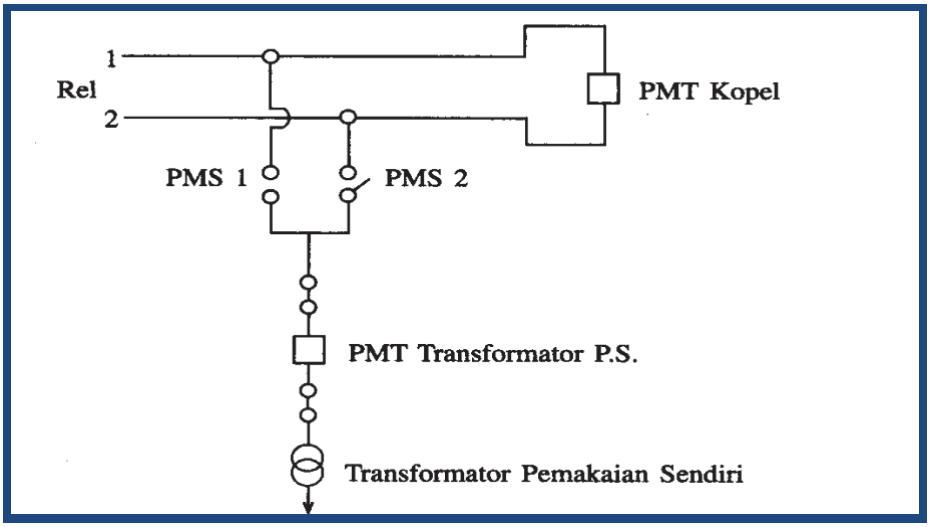
Dalam keadaan yang demikian maka prosedur pemindahan adalah sebagai berikut:

a. Masukkan PMT Kopel
b. Masukkan PMS 2
c. Buka PMS 1 (bisa dilakukan karena ujung-ujung kontak PMS tidak mempunyai beda tegangan)
d. Buka PMT Kopel

2. Tegangan Rel 1 dan Rel 2
- Nilainya sama
- Fasanya tidak sama (dari sumber yang berbeda)
- Frekuensinya sama

Dalam keadaan No. 2 PMT kopel tidak boleh dimasukkan, sehingga prosedur pemindahan adalah sebagai berikut:
a. Buka PMT transformator P.S.
b. Buka PMS 1
c. Masukkan PMS 2
d. Masukkan PMT transformator P.S.

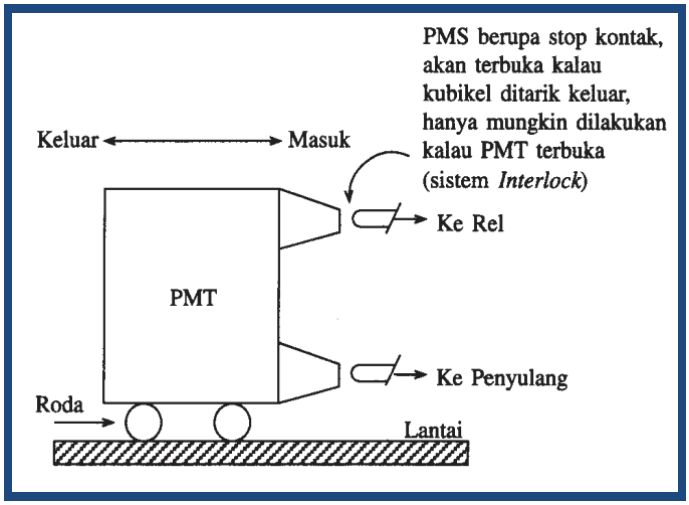
Pada keadaan No. 2. proses pemindahan transformator P.S. memerlukan pemadaman yang tidak bisa dihindarkan.



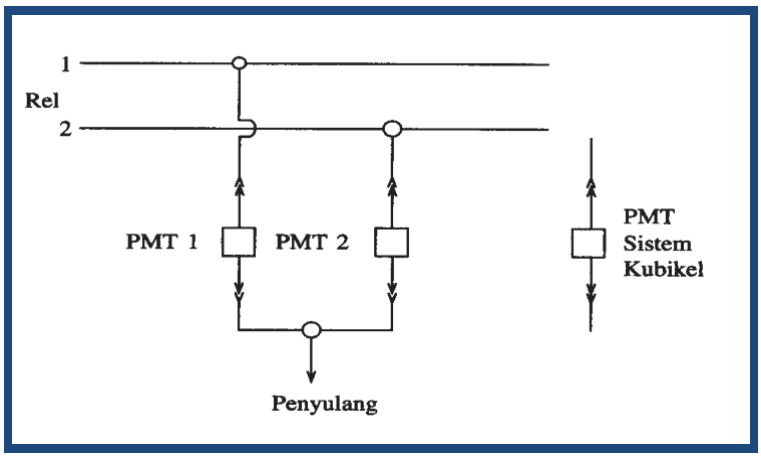
Gambar IV.6B.
Prosedur memindah Transformator PS dari Rel 1 ke Rel 2

Keadaan 2 tersebut diatas bisa terjadi misalnya rel 1 maupun rel 2 adalah rel 20 kV tetapi diisi oleh transformator 150 kV/20 kV yang berbeda kelompok vektornya.
Sekarang banyak dipakai PMT bersama PMS dalam bentuk kubikel. Sistem kubikel PMS sesungguhnya berupa stop kontak yang apabila PMT dalam keadaan terbuka kubikel PMT bisa ditarik keluar sehingga PMS yang berupa stop kontak ini dengan sendirinya terbuka.

Gambar IV.6C. menggambarkan prinsip konstruksi PMT sistem kubikel sedangkan Gambar 4.6D menggambarkan aplikasinya pada sistem rel ganda dengan PMT ganda.



Gambar IV.6C.
Gambar Prinsip dari PMT dalam Sistem Kubikel



Gambar IV.6D.
Sistem Rel Ganda dengan PMT Ganda Sistem Kubikel

Dalam praktik bisa PMT 2 dikeluarkan, hanya ada PMT tunggal. PMT 2 hanya ada satu buah saja untuk beberapa penyulang dan ditaruh di luar rel. PMT 2 baru dimasukkan apabila PMT 1 perlu dikeluarkan untuk pemeliharaan atau apabila penyulang (misalnya penyulang transformator PS) perlu dipindah dari rel 1 ke rel 2 tanpa pemadaman, dengan syarat tegangan rel 1 dan tegangan rel 2, sama besar, sama fasanya dan sama frekuensinya.

I. Konfigurasi jaringan

Dalam menyusun konfigurasi jaringan pusat listrik yang beroperasi dalam sistem interkoneksi, umumnya digunakan prinsip sebagai berikut (pada pusat listrik dengan rel ganda):

1. Generator dan transformator pemakaian sendiri dihubungkan paralel yang sama.
2. Saluran keluar atau penghantar yang keluar dari pusat listrik dibagi dalam 2 kelompok:

    a. Saluran untuk mengirim tegangan apabila terjadi gangguan dalam sistem. Saluran ini dihubungkan paralel yang sama dengan rel generator, misalnya rel 1 pada Gambar IV.9A.
    b. Saluran untuk menerima tegangan apabila terjadi gangguan dalam sistem. Saluran ini dihubungkan pada rel yang berbeda dari rel generator, misalnya rel 2 pada Gambar IV.7A.
3. Dalam keadaan operasi normal, rel 1 dan rel 2 dihubungkan melalui PMT Kopel.
4. Dalam keadaan gangguan, tegangan dari sistem hilang, PMT kopel dibuka, dan selanjutnya menunggu perintah manuver dari pusat pengatur beban:

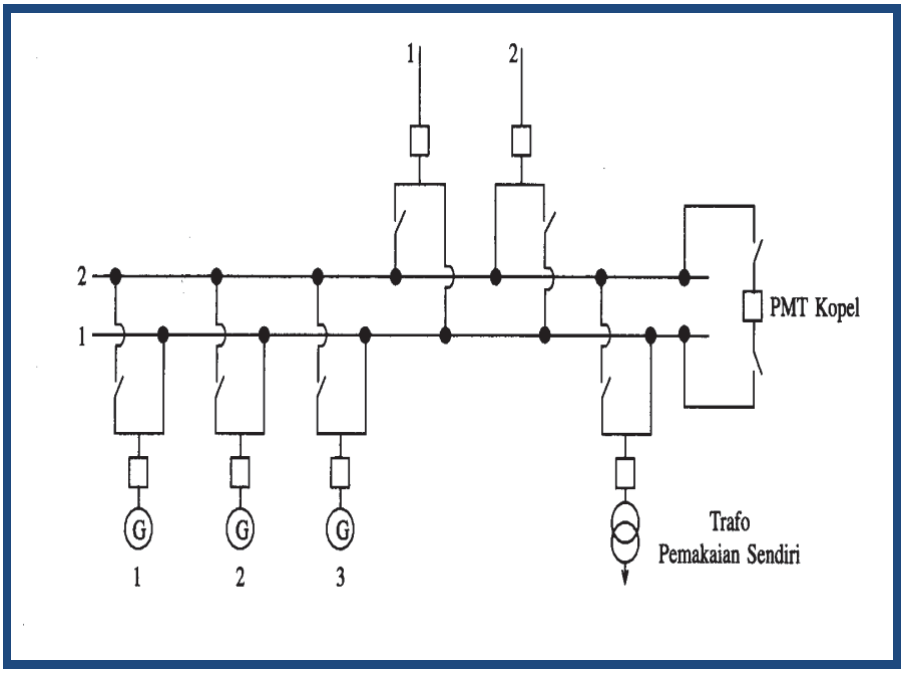
    a. Apabila pusat listrik diminta mengirim tegangan ke sistem, pengiriman tegangan ini dilakukan melalui saluran/penghantar yang dihubungkan pada rel generator.
    b. Apabila pusat listrik mengharapkan kiriman tegangan dari sistem, maka tegangan ini akan dikirim dari sistem melalui saluran/penghantar yang terhubung dengan rel 2.
    c. Sinkronisasi kembali sistem dilakukan melalui PMT kopel.

Semua langkah manuver tersebut dalam butir 4 harus atas perintah pusat pengatur beban. Hanya pembukaan PMT kopel sewaktu ada gangguan tegangan sistem hilang yang boleh dilakukan oleh pusat listrik. Itupun dengan catatan karena sudah merupakan prosedur operasi *(standing operation procedures)* dari pusat listrik yang harus diberitahukan kepada pusat pengatur beban.

Dalam konfigurasi jaringan seperti tersebut di atas, yang perlu diperhatikan adalah jangan sampai arus yang melalui PMT kopel melampaui batas kemampuannya.

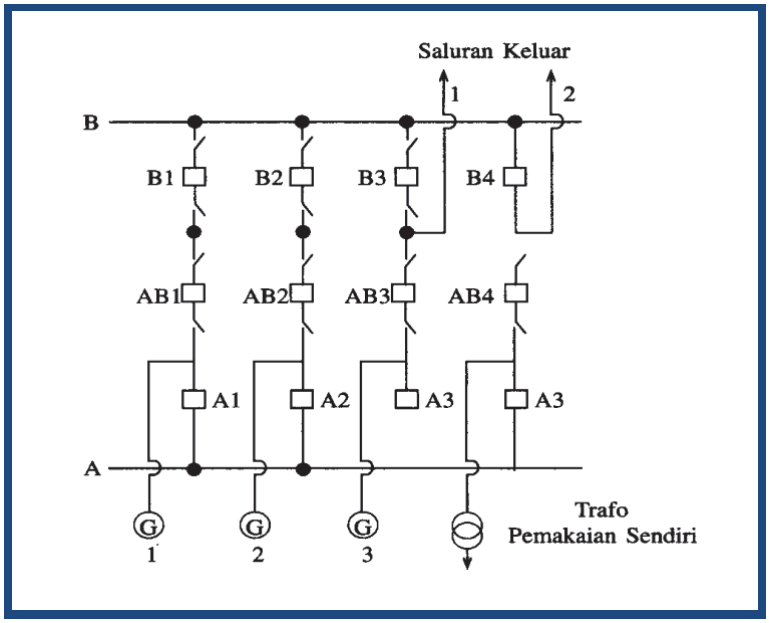
Apabila pusat listrik mempunyai rel dengan PMT 1 1/2, maka prinsip tersebut di atas tetap dapat digunakan hanya peran PMT kopel diganti oleh PMT Diameter nomor AB4 atau PMT B3 (lihat Gambar IV.9B).

Pada rel dengan PMT 1 1/2, fleksibilitas operasi menjadi lebih baik, karena ada beberapa PMT Diameter yang dapat dipilih menjadi PMT Kopel.



Gambar IV.7A.
Konfigurasi Rel Ganda pada Pusat Listrik dengan
kondisi PMT Kopel masih Terbuka

Keterangan:
Gambar di atas menunjukkan pusat listrik dengan rel ganda.
Semua generator, transformator pemakaian sendiri, dan saluran penghantar dihubungkan pada rel 1.
saluran No. 2 dihubungkan pada rel 2.



Gambar IV.7B.
Konfigurasi Rel PMT 1 1/2 pada Pusat Listrik
di mana PMT AB2 berfungsi sebagai PMT Kopel

Keterangan:
Gambar di atas menunjukkan pusat listrik dengan rel PMT 1,5.
Semua generator, transformator pemakaian sendiri,
dan saluran No.1 dihubungkan pada rel A. Saluran No. 2 dihubungkan pada rel B.
Sebagai PMT kopel dapat dipilih PMT AB4 atau B3.

J. Otomatisasi

Pusat listrik yang paling banyak mengalami otomatisasi adalah PLTA dan PLTG. Di negara maju, PLTA umumnya tidak dijaga atau ada juga beberapa PLTA yang dikendalikan dari sebuah PLTA di mana dijaga oleh seorang operator. PLTG yang bersifat unit darurat bahkan dioperasikan secara jarak jauh dari pusat pengatur beban.

Begitu pula halnya dengan gardu induk (GI). Di negara maju, GI urnumnya tidak dijaga atau bisa juga beberapa GI dikendalikan dari sebuah GI. Bahkan pada umumnya, semua pemutus tenaga (PMT) dapat dioperasikan dari jarak jauh (telekontrol) dari pusat pengatur beban atau dari pusat pengatur distribusi.

Untuk instalasi yang tidak dijaga operator seperti tersebut di atas, umumnya dipasang *recorder*, yaitu suatu alat pencatat kejadian dalam instalasi tersebut. Dalam perkembangannya, hasil pencatatan *recorder* ini

diproses dalam komputer yang dilengkapi dengan "*expert system*", yaitu *software* (perangkat lunak) yang mengolah data dari *recorder* untuk kemudian memberitahukan kepada pusat pengatur beban atau kepada pusat pengatur distribusi apabila diperlukan pemeriksaan, pemeliharaan, atau perbaikan suatu alat yang ada dalam instalasi. Misalnya ada pemutus tenaga (PMT) yang penutupan atau pembukaannya tidak berlangsung lancar, hal ini dapat dilihat oleh *expert system* yang kemudian memberitahukan kepada pusat pengatur beban untuk dilakukan pemeriksaan.

Begitu pula apabila terjadi gangguan dalam sistem, berdasarkan rekaman arus dan tegangan sebelum dan sesudah gangguan serta catatan dari relai yang bekerja serta *alarm* yang timbul, *expert system* dapat memperkirakan sebab dan letak gangguan yang terjadi. Selanjutnya, setelah diketahui letak dan sifat gangguan, misalnya diketahui bahwa gangguan bersifat temporer, maka *expert system* memerintahkan penutup balik (*recloser*) bekerja. Tetapi apabila gangguan menurut analisis *software expert system* tersebut bersifat permanen, maka penutup balik dicegah bekerja dan *software expert system* ini langsung memberitahu letak (jarak) gangguan pada saluran yang mengalami gangguan.

Otomatisasi di PLTU juga banyak dilakukan, tapi belum ada PLTU yang tidak dijaga. Hal ini disebabkan banyaknya hal yang harus diamati dan dikendalikan. Namun di PLTU sudah banyak digunakan komputer untuk *supervisory control and data acquisition* (SCADA) sehingga tugas operator dalam mengoperasikan PLTU sangat dibantu oleh komputer SCADA. Komputer SCADA merekam kejadian-kejadian penting untuk keperluan analisis operasi dan juga akan membunyikan alarm apabila terjadi hal-hal yang kritis.

Bagian-bagian yang sulit diamati secara manual, misalnya keadaan ruang bakar, diamati dengan kamera khusus untuk kemudian gambamya ditayangkan melalui layar televisi (monitor). Hal ini diperlukan untuk mengontrol efisiensi pembakaran melalui bentuk lidah api yang terjadi. Dari bentuk lidah api dapat diketahui apakah pembakaran yang terjadi terlalu banyak udara atau pengabutannya kurang baik, dan sebagainya. Pengamatan ini penting karena sebagian besar biaya pembangkitan adalah biaya bahan bakar yang menghasilkan lidah api ini.

K. Kendala-kendala Operasi

Dalam operasi sistem interkoneksi, masalah alokasi pembebanan unit-unit pembangkit merupakan masalah utama karena hal ini menyangkut biaya bahan bakar yang tidak kecil, bahkan dalam

perusahaan listrik umumnya biaya bahan bakar merupakan komponen biaya yang terbesar. Alokasi pembebanan unit pembangkit ini terutarna bertujuan untuk mencapai biaya bahan bakar minimum di mana dalam praktiknya harus pula memperhitungkan kendala-kendala operasi sehingga seringkali perlu dilakukan "kompromi" untuk mengatasi kendala operasi tersebut.
Kendala-kendala operasi ini terutama adalah:

1. Beban maksimum dan minimum unit pembangkit

Setiap unit pembangkit mempunyai kemampuan maksimum dalam membangkitkan tenaga listrik, baik karena desain maupun karena masalah pemeliharaan. Sedangkan beban minimum unit pembangkit lebih banyak ditentukan oleh desain.

Pada PLTA, beban yang terlalu rendah menimbulkan kavitasi yang berlebihan. Oleh karena itu, tidak dikehendaki pembebanan kurang dari 25%.

Pada PLTU, beban yang kurang dari 25% menimbulkan kesulitan pada alat-alat kontrol sehingga unit pembangkit PLTU harus dioperasikan secara manual pada beban kurang dari 25% dan hal ini tidak dikehendaki.

Pada PLTP, beban rendah menimbulkan kesulitan pada instalasi penyedia uap dari bumi, mungkin terpaksa ada uap yang harus dibuang ke udara di mana hal ini tidak dikehendaki.

Pada PLTD, beban yang kurang dari 25% akan menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna sehingga pengotoran ruang pembakaran (silinder) akan meningkat dan selang waktu pemeliharaannya harus dipercepat sehingga pembebanan kurang dari 25% tidak dikehendaki.

Pada PLTG, pembebanan kurang dari 25% seperti halnya pada PLTD juga menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna dan menyebabkan turunnya efisiensi. Mengingat unit pembangkit PLTG tergolong unit pembangkit yang mempunyai efisiensi rendah, maka pembebanan di bawah 25% yang menyebabkan penurunan efisiensi tidaklah dikehendaki.

2. Kecepatan perubahan beban unit pembangkit

Dalam melakukan perubahan beban unit pembangkit terutama dalam kaitannya dengan pengaturan frekuensi sistem, perlu diperhatikan kemampuan unit pembangkit untuk mengikuti perubahan beban, dalam bahasa Inggris disebut *ramping rate. Ramping rate* unit PLTA adalah

yang tertinggi, sedangkan unit PLTU adalah yang terendah, hal ini disebabkan adanya masalah pemuaian bagian bagian unit pembangkit dan juga berkaitan dengan panjangnya proses kontrol.

3. Aliran daya dan profil tegangan dalam sistem

Alokasi beban unit pembangkit yang optimum dengan tujuan mencapai biaya bahan bakar yang minimum dalam praktik perlu dikaji pelaksanaannya, apakah menimbulkan aliran daya yang melampaui batas kemampuan saluran transmisi atau batas kemampuan peralatan lainnya, seperti transformator daya atau transformator arus yang ada dalam sistem bersangkutan. Perlu juga diperhatikan profil tegangan yang terjadi dalam sistem, apakah masih dalam batas-batas yang diijinkan.

4. Jadwal *start-stop* Unit pembangkit

Jadwal operasi unit pembangkit dengan tujuan mencapai biaya bahan bakar yang minimum, yang dibuat atas dasar program *unit commitment,* memberikan jadwal *start-stop* unit pembangkit yang mungkin terlalu berdekatan. Hal ini perlu dikaji terlebih dahulu dengan kondisi pusat listrik yang bersangkutan apakah dapat dilaksanakan atau tidak.

5. Tingkat arus hubung singkat (*Fault Level*)

Masalah tingkat arus hubung singkat yang terlalu tinggi bagi peralatan yang ada dalam sistem bisa menjadi kendala bagi operasi sistem yang optimum, karena hal ini bisa merusak peralatan. Sebaliknya tingkat arus hubung singkat yang terlalu rendah memberi risiko tidak bekerjanya relai.

6. Batas stabilitas sistem

Batas stabilitas sistem, khususnya yang menyangkut penyaluran daya melalui saluran transmisi yang panjang, baik batas stabilitas statis, maupun batas stabilitas dinamis, bisa menjadi kendala operasi yang optimum. Kendala-kendala operasi, tersebut dalam butir b, d, dan *e,* dapat dihilangkan melalui pengembangan sistem atas dasar analisis dan perhitungan serta perencanaan yang baik.

L. Latihan

1. Apa yang anda ketahui tentang sistem interkoneksi? Jawaban disertai penjelasan dan gambar
2. Kenapa pada suatu saat tertentu PLN mengadakan pemadaman? Jawaban dengan disertai Gambar dan penjelasan
3. Benan puncak yang ditanggung PLN sebesar 1.000.000MW. Berapa besar faktor beban jika besar rata-rata 750.000MW

M. Tugas

1. Bagaimana cara pembebasan tegangan? Dan peralatan listrik dan elektronika apa saja untuk keperluan tersebut?
2. Apa saja faktor yang harus dipertimbangkan dalam menyelesaikan pekerjaan pada jaringan bertegangan?
3. Buat daftar peralatan dan bahan yang dimiliki laboratorium di sekolah anda
4. Buat jadwal pemeliharaan peralatan

BAB V
MANAJEMEN PEMBANGKITAN

Pembangkitan energi listrik merupakan kegiatan yang berlangsung 24 jam setiap hari dan tujuh hari dalam 1 (satu) minggu karena energi listrik harus tersedia setiap hari. Untuk dapat melaksanakan hal ini diperlukan manajemen pembangkitan yang baik. Secara garis besar manajemen pembangkitan yang diuraikan dalam Bab V, meliputi manajemen pemeliharaan yang terutama menyangkut pengadaan suku cadang dan pelaksanaan pemeliharaan. Sistem laporan juga harus menggambarkan masalah-masalah teknis yang rawan serta analisis ekonomi.

Karena biaya bahan bakar merupakan komponen terbesar dalam pembangkitan energi listrik maka manajemen bahan bakar perlu mendapat perhatian khusus. Riset dan pengembangan juga perlu diikuti untuk dapat mengaplikasikan peralatan dan metode kerja yang menghasilkan kinerja pembangkitan energi listrik yang lebih baik.

A. Manajemen Operasi

Penyediaan tenaga listrik harus kontinyu 24 jam sehari. Hal ini memerlukan manajemen operasi yang tertib, sekurang-kurangnya ada petugas-petugas operasi bekerja 24 jam sehari. Untuk itu, diadakan regu-regu kerja yang bekerja bergantian dalam *shift.* Umumnya ada lima *shift* sehingga dapat diberikan istirahat sekali dalam satu minggu untuk setiap *shift* selama 24 jam penuh.

Sebelum melakukan opersai perlumelaksanakan operasi, terlebih dahulu dibuat rencana operasi berdasarkan perkiraan beban yang akan dihadapi. Untuk pusat listrik yang beroperasi dalam sistem yang berdiri sendiri, misalnya sebuah PLTD yang memasok tenaga listrik ke sebuah pabrik, perkiraan beban dibuat atas dasar rencana operasi pabrik yang memerlukan pasokan tenaga listrik tersebut. Jika pusat listrik beroperasi dalam sistem interkoneksi dengan pusat-pusat listrik lain, perkiraan beban sistem interkoneksi harus dibuat oleh pusat pengatur beban sistem. Kemudian pusat pengatur beban membagikan jatah perkiraan beban ke setiap pusat listrik. Setiap pusat listrik kemudian merencanakan bagaimana unit-unit pembangkit yang ada dalam pusat listrik akan dioperasikan untuk melayani beban yang diperkirakan.

Rencana operasi unit-unit pembangkit harus mengacu pada biaya bahan bakar yang minimum dengan memperhatikan kendala-kendala yang harus dipenuhi, seperti beban minimum dan beban maksimum dari unit pembangkit. Juga harus ada cadangan berputar pada unit pembangkit untuk berpartisipasi dalam pengaturan frekuensi.

Salah satu masalah operasi adalah mengatasi gangguan. Gangguan tidak dikehendaki untuk terjadi tetapi tidak dapat dihindarkan sehingga perlu diantisipasi. Untuk mengatasi gangguan perlu disusun pedoman untuk mengatasi gangguan dan para petugas operasi perlu dididik dan dilatih untuk mengatasi gangguan tersebut.

Gangguan dapat disebabkan oleh hal-hal yang terjadi di luar pusat listrik maupun di dalam pusat listrik itu sendiri. Setiap gangguan harus dianalisis penyebabnya untuk digunakan sebagai dasar untuk melakukan perbaikan dengan harapan gangguan serupa tidak terulang kembali.

Dalam melaksanakan operasi, besaran-besaran yang perlu dicatat adalah:
1. Besaran-besaran yang berkaitan dengan keamanan peralatan, yaitu arus, tegangan, daya, suhu, tekanan, dan getaran.
2. Besaran-besaran yang berkaitan dengan kinerja peralatan, yaitu: energi (kWh) dan pemakaian bahan bakar atau air pada PLTA.

Pencatatan besaran-besaran tersebut di atas semula dilakukan secara manual. Namun sekarang banyak yang dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *recorder* dan komputer. Dalam pencatatan otomatis ini umumnya ada alat-alat yang membatasi nilai maksimum atau nilai minimum yang tidak boleh dilampaui. Apabila nilai maksimum atau minimum ini dilampaui, maka alat pencatat akan membunyikan alarm dan apabila keadaan ini bertangsung terus, akan diikuti dengan langkah men-trip unit pembangkit.

Catatan besaran-besaran tersebut di atas yang dilakukan secara otomatis dengan menggunakan *recorder* sangat membantu analisis penyebab gangguan. Hal ini disebabkan besaran-besaran sebelum, sesudah, dan pada saat gangguan berlangsung terekam dengan baik. Pencatatan besaran-besaran operasi selanjutnya digunakan untuk menganalisis kinerja peralatan, seperti efisiensi unit pembangkit dan rugi-rugi dalam jaringan, serta digunakan juga sebagai dasar transaksi jual beli energi atau sebagai bahan pengawasan pemakaian bahan bakar.

Statistik besaran-besaran operasi digunakan sebagai bahan analisis perkembangan sistem. Hasil analisis perkembangan sistem ini diperlukan untuk membuat rencana pengembangan sistem, disusul dengan langkah-langkah pembangunan dalam sistem agar jangan sampai terjadi kekurangan pasokan daya dalam sistem (pemadaman bergilir) atau bagian-bagian sistem yang mengalami beban lebih sehingga sering timbul gangguan atau diperlukannya pemadaman setempat.

B. Manajemen Pemeliharaan

Tujuan pemeliharaan suatu alat atau mesin adalah:

1. Mempertahankan efisiensi.

Sebagai contoh, mobil baru dapat mencapai 10 km dengan konsumsi bensin 1 liter. Setelah mencapai jarak tempuh 10.000 km tanpa pemeliharaan, maka dengan konsumsi bensin 1 liter jarak tempuhnya hanya dapat mencapai 9 km. Setelah dilakukan pemeliharaan, barulah dapat mencapai 10 km lagi.

2. Mempertahankan keandalan.

Sebagai contoh, mobil yang tidak pernah dipelihara akan sering mogok di jalan, mesinnya mendadak mati dan sukar dihidupkan. Hal ini dapat disebabkan karena businya kotor atau saluran bahan bakarnya tersumbat yang pada dasarnya disebabkan karena tidak dilakukannya pemeliharaan.

3. Mempertahankan umur Ekonomis

Contoh mobil seperti butir a dan b di atas, jika mobil diusahakan sebagai taksi, diperkirakan mempunyai umur ekonomis 5 tahun. Tetapi apabila pemeliharaannya tidak baik, maka sebelum mencapai umur 5 tahun, mobil dapat mengalami kerusakan parah, misalnya cincin penghisapnya bocor sehingga tidak ekonomis lagi untuk dioperasikan.

Tiga buah contoh sederhana di atas adalah untuk mobil, tetapi hal ini juga berlaku untuk unit pembangkit.

Dalam perkembangannya, pemeliharaan semula didasarkan pada periode waktu tertentu atau sebagai pemeliharaan periodik. Selanjutnya berkembang, sehingga tidak hanya pemeliharaan periodik saja tetapi juga ada pemeliharaan prediktif.

a. Pemeliharaan berkala (periodik)

Pemeliharaan periodik adalah pemeliharaan alat menurut periode

waktu tertentu berdasarkan buku petunjuk pabrik pembuat alat tersebut. Misalnya mesin diesel untuk pembangkit listrik, setiap 3.000 jam harus dilakukan pembersihan ruang silinder (*top overhoul).* Pemeliharaan periodik juga bersifat pemeliharaan preventif karena mencegah sebelum terjadi kerusakan.

b. Pemeliharaan prediktif

Metode pemeliharaan yang mutakhir adalah pemeliharaan prediktif. Pemeliharaan dilakukan didasarkan pada hasil pengamatan data dan informasi terkait alat yang akan dipelihara. Besaran-besaran yang perlu diamati untuk menentukan kapan suatu alat harus dipelihara tergantung kepada jenis alat. Secara umum, besaran-besaran yang perlu diamati antara lain adalah:

1) Tahanan isolasi

Misalnya, tahanan isolasi motor listrik, jika hasil pengukuran setiap bulannya menunjukkan kecenderungan menurun, maka dapat ditentukan kapan motor listrik tersebut harus menjalani pemeliharaan isolasi.

2) Arus beban motor

Arus beban motor yang naik terus karena beban bertambah berat, perlu diprediksi kapan motor listrik dilakukan pemeliharaan agar bebannya turun kembali. Penyebabnya adalah pada motor penggerak pompa air pendingin kondensor PLTU yang menggunakan air laut. Binatang laut yang melekat pada pipa air pendingin menyebabkan luas penampang pipa berkurang.

Berkurangnya luas penampang pipa menyebabkan terjadinya gesekan antara air yang mengalir dengan pipa, akibatnya arus beban motor penggerak pompa naik. Jika kondisi ini dibiarkan, proteksi motor listrik akan men-*trip* saklar motor penggerak pompa. Untuk menghindari hal tersebut, pipa air pendingin harus dibersihkan atau menjalani pemeriksaan dan pemeliharaan serta memerlukan penghentian operasi unit pembangkit.

3) Suhu air pendingin

Suhu air pendingin yang keluar dari alat penukar panas *(heat exchanger)* menurun, yang menandakan bahwa peristiwa pertukaran panas yang terjadi di dalam *heat exchanger* karena *heat exchanger-nya k*otor. *Z*at yang didinginkan, misalnya minyak pelumas hasilnya menjadi lebih panas dibandingkan suhu air pendingin karena kerja *heat exchanger efektivitasnya*

berkurang efektifitasnya. Penurunan suhu air pendingin yang keluar dan kenaikan suhu zat yang didinginkan (minyak pelumas) yang terjadi dapat digunakan untuk memprediksi kapan *heat exchanger* harus menjalani pemeliharaan.

4) Getaran dari poros yang berputar

Pengukuran getaran *(vibration)* dari poros yang berputar dapat menjadi dasar untuk memprediksi kapan bantalan dari poros harus diganti. Pengamatan getaran poros sebaiknya diimbangi dengan pengamatan terhadap tekanan dan suhu minyak pelumas bantalan. Jika tekanan minyak pelumas turun atau suhu minyak pelumas naik, maka data ini harus digunakan sebagai masukan untuk memprediksi kapan bantalan harus diperiksa.

5) Tekanan minyak pelumas

Tekanan minyak pelumas dari bantalan ataupun bagian-bagian lain yang bergeser, perlu diamati secara terus menerus. Tekanan minyak pelumas yang terlalu rendah dapat menimbulkan kerusakan pada bantalan ataupun bagian-bagian lain yang bergeser, seperti cincin torak atau pengisap *(piston ring)* pada mesin diesel. Tekanan minyak pelumas yang menurun menandakan adanya hal yang tidak normal dalam sistem pelumasan, belum tentu karena adanya bantalan yang rusak, dapat jadi hanya karena adanya elemen saringan *(filter)* yang terbuat dari kertas perlu diganti. Penggantian dilakukan secara prediktif dengan mengawasi tekanan minyak pelumas.

6) Kandungan air

Pengamatan kandungan air dilakukan pada minyak transformator bersamaan dengan Pengamatan tegangan tembusnya. Pada umurnya, tegangan tembus akan menurun apabila kandungan airnya naik. Dengan mengamati kedua hal ini, dapat diprediksi kapan minyak transformator perlu dibersihkan, yaitu dengan cara disaring untuk membuang kotoran dan dipanaskan untuk menghilangkan kandungan air.

7) Sinar inframerah

Sinar inframerah yang dipancarkan oleh suatu alat, sesungguhnya juga menggambarkan suhu dari (bagian-bagian) alat tersebut. Jika ada perbedaan suhu dari bagian-bagian sebuah alat, maka sinar inframerah yang dihasilkan oleh bagian-bagian alat ini intensitasnya juga

berbeda. Makin tinggi suhunya, makin tinggi intensitas sinar inframerah yang dipancarkan. Dengan menggunakan kamera sinar inframerah, maka foto sebuah alat yang memancarkan sinar inframerah dapat dianalisis, misalnya jika terdapat kontak yang kendor dari sebuah sambungan listrik, maka pada foto tersebut akan terlihat warna yang lebih terang di bagian kontak yang kendor ini, karena bagian kontak yang kendor ini suhunya lebih tinggi daripada bagian lainnya sehingga pancaran sinar inframerahnya juga lebih tinggi. Dengan melakukan analisis foto sinar inframerah, dapat dilakukan analisis kondisi berbagai alat listrik, seperti: penghantar, saklar-saklar tegangan tinggi maupun tegangan rendah, generator, transformator, isolator, dan bantalan.
Berdasarkan analisis foto sinar inframerah tersebut di atas, dapat diprediksi kapan alat listrik tersebut perlu dipelihara atau diganti. Analisis foto sinar inframerah juga dapat digunakan untuk menganalisis terjadinya kebocoran uap panas pada instalasi pipa uap. Hal yang serupa juga dapat digunakan pada proses produksi suatu zat yang mengharuskan terjadinya suhu yang rata. Apabila suhunya tidak rata, maka hal ini tampak pada foto sinar inframerahnya.

8) *Partial discharge*

Rusaknya suatu isolasi, misalnya isolasi kabel, umurnya dimulai dengan terjadinya *partial discharge* yang cenderung membesar. *Partial discharge* adalah fenomena pelepasan muatan dari bagian-bagian yang bertegangan melalui isolasi yang ada di sela-selanya. *Partial discharge* ini dapat dideteksi sedini mungkin dengan suatu alat yang termasuk penemuan mutakhir. Dengan mengamati *partial discharge* dari suatu isolasi, maka dapat diprediksikan kapan isolasi ini perlu diganti.

9) Rekaman Arus dan Tegangan *Switching*

Jika terjadi pembukaan atau penutupan *(switching)* PMT, baik dalam keadaan normal atau karena ada gangguan, rekaman arus dan tegangan merupakan masukan tentang kondisi PMT. Dari rekaman ini dapat dilihat ketiga kontak PMT membuka secara bersamaan atau tidak dan apakah ada kelainan pada kontak-kontak tersebut, baik mengenai bentuknya maupun mengenai mekanisme penggeraknya.

Analisis kondisi PMT berdasarkan analisis rekaman arus dan tegangan saat *switching* ini akan lebih tepat apabila juga disertai dengan analisis foto sinar inframerah. Berdasarkan

analisis-analisis tersebut, dapat diprediksi kapan PMT yang bersangkutan perlu diperiksa atau dipelihara.

10) Rekaman Frekuensi

Rekaman frekuensi diperlukan apabila terjadi gangguan besar dalam sistem sehingga timbul pemadaman sebagai akibat adanya unit pembangkit yang *trip.*

Gambar V.1
Disturbancelfault recorder tipe BEN 5000 buatan LEM (Belgia)

C. Suku Cadang

Dalam melaksanakan pekerjaan pemeliharaan unit pembangkit atau salah satu bagiannya, diperlukan penggantian bagian-bagian tertentu sehingga diperlukan suku cadang. Suku cadang dapat dibagi menjadi 2 (dua) kategori besar, yaitu:

1. Consumable parts

Consumable parts adalah suku cadang yang pasti digunakan atau dikonsumsikan setelah waktu tertentu. Contoh dari *consumable parts,* adalah busi mesin bensin mobil yang setelah jam pemakaian tertentu harus diganti, termasuk elemen saringan minyak pelumas *(fllter cartridge)* yang terbuat dari kertas dan setelah beberapa jam pemakaian tertentu harus diganti. Apabila tidak diganti, maka tekanan minyak pelumas akan turun dan membahayakan bantalan yang menerima minyak pelumas. Bantalan *(bearing)* juga merupakan *consumable parts,* karena setelah melampaui jam operasi tertentu menjadi aus *(worn)* dan harus diganti.

2. *Spare parts*

Spare parts adalah suku yang dicadangkan untuk mengganti suku yang mengalami kerusakan dan tidak dapat diperkirakan sebelumnya kapan akan terjadi. Jika pengoperasian unit pembangkit dan pemeliharaannya dilakukan secara benar, maka kerusakan unit pembangkit yang memerlukan *spare parts* tidak akan terjadi. Contoh *spare parts* adalah *cylinder head* mesin diesel, sudu-sudu turbin, dan kumparan stator generator.

D. Laporan Pemeliharaan

Laporan pemeliharaan, khususnya pemeliharaan besar *(overhoul),* haruslah memuat hal-hal sebagai berikut:

1. Tanggal pelaksanaan

Hal-hal yang dibutuhkan antara lain adalah:

- Membandingkan pelaksanaan pemeliharaan dengan rencananya
- Jika ada penyimpangan terhadap rencana, harus dijelaskan penyebabnya.

Membandingkan pelaksanaan pemeliharaan kali ini dengan pelaksanaan pemeliharaan sebelumnya. Perlu dicatat selang waktunya *(time between overhoul)* serta kecenderungan yang teramati, misalnya tampak poros peralatan memerlukan penggantian bantalan yang lebih tebal.

2. Pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan

Pekerjaan pemeliharaan secara umum adalah sebagai berikut:

a. Membongkar dan atau membuka bagian-bagian tertentu dari unit pembangkit, misalnya membuka tutup stator generator, tutup drum ketel PLTU atau membuka *cylinder head* mesin diesel.
b. Memeriksa secara visual atau menggunakan instrumen terhadap bagian-bagian yang telah dibuka, misalnya memeriksa keadaan kontak-kontak saklar dan mengukur tahanan kontaknya serta mengukur kecepatan mekanisme penggeraknya, termasuk relai pengamannya.
c. Melakukan pembersihan bagian-bagian alat atau instalasi, baik secara manual maupun menggunakan alat atau menggunakan bahan kimia, misalnya membersihkan kontak-kontak saklar dengan kertas gosok (amplas) dan bahan kimia serta membersihkan bagian-bagian pipa ketel uap yang tidak terjangkau oleh *soot blower* (peniup jelaga). Pembersihan saluran air pendingin beserta pipa-pipanya untuk PLTU yang menggunakan air laut sebagai air pendingin memerlukan alat-alat

mekanik dan bahan kimia.

d. Melakukan penggantian suku-suku *(parts)* tertentu dan melakukan perbaikan-perbaikan, misalnya penggantian perapat *(seal)* pada katup uap PLTU atau pada katup air PLTA dan melakukan pekerjaan las untuk memperbaiki ruang bakar *(combustion chamber)* PLTG yang retak. Pada mesin diesel, suku-suku *(parts)* yang perlu diganti umumnya adalah *piston ring (cincin pengisap), seals (perapat), injector* BBM, dan bantalan-bantalan.
e. Melakukan penyetelan dan peneraan alat-alat ukur, alat-alat kontrol, dan alat-alat proteksi.
f. Menutup kembali bagian-bagian yang dibuka.
g. Melakukan uji-coba dan membandingkan kinerja unit pembangkit sebelum dan sesudah menjalani pemeliharaan.
h. Penggunaan suku-suku *(parts)* serta. material dalam melaksanakan pekerjaan pemeliharaan, volume maupun harganya.

3. Penggunaan tenaga kerja yang melaksanakan pekerjaan pemeliharaan, baik hari, orangnya beserta klasifikasi dan biayanya.
4. Rekomendasi untuk operasi dan pemeliharaan yang akan datang.
5. Perhitungan biaya pemeliharaan dalam rupiah per kWh, yaitu jumlah biaya pemeliharaan kali ini dibagi dengan jumlah produksi kWh dalam selang waktu antara pemeliharaan sebelum ini dengan pemeliharaan ini.

Berdasarkan laporan pemeliharaan, maka pihak manajemen akan menentukan langkah-langkah selanjutnya, misalnya unit pembangkit yang bersangkutan masih tetap akan digunakan atau lebih baik dihapus. Pertimbangan ini juga mencakup perkembangan teknologi unit pembangkit yang lebih efisien dan ekonomis.

E. Laporan Kerusakan

Kerusakan adalah hal yang tidak dikehendaki untuk terjadi, tetapi kenyataannya dalam praktik, hal ini banyak terjadi. Oleh karena itu, setiap kerusakan perlu dianalisis penyebabnya dengan harapan agar tidak terulang kembali (dapat dihindari).

Untuk dapat menganalisis penyebab kerusakan, diperlukan laporan kerusakan yang memadai. Oleh karena itu, laporan kerusakan harus berisi hal-hal sebagai berikut:

1. Tanggal dan jam (pukul) terjadinya kerusakan.
2. Situasi sistem tenaga listrik sewaktu terjadi kerusakan tersebut. Hal ini

terutama diperlukan apabila yang mengalami kerusakan adalah suatu alat yang beroperasi dalam sistem interkoneksi, misalnya generator unit pembangkit. Ada kalanya gangguan dalam sistem menyebabkan rusaknya suatu alat, tetapi ada kalanya juga kerusakan suatu alat akan menimbulkan gangguan dalam sistem.

3. Data dan informasi mengenai kerusakan yang sudah pernah terjadi sebelumnya.
4. Parameter-parameter, seperti: arus, tegangan, daya, suhu, tekanan, dan lain-lain yang berkaitan dengan alat yang rusak, sebelum dan sesudah kerusakan terjadi.
5. Jika menyangkut kerusakan unit pembangkit, maka laporan *overhaul* (pemeliharaan besar) yang terakhir perlu dilampirkan.

Berdasarkan laporan kerusakan tersebut di atas, kemudian perlu dianalisis penyebab timbulnya kerusakan tersebut. Jika penyebab kerusakan sudah ditemukan, pihak manajemen harus melakukan langkah-langkah pencegahan terulangnya kerusakan serupa.

Beberapa kerusakan berat beserta penyebabnya berdasarkan hasil pengamatan adalah sebagai berikut:

1. Kerusakan sudu-sudu turbin PLTU

Penyebab kerusakan, sudu-sudu kebocoran kondensor yang menyebabkan air laut pendingin masuk ke dalam sirkuit uap sehingga garam laut (N_aC_l) ikut dalam uap dan menggigit sudu-sudu turbin uap sampai akhirnya rusak.

Langkah pencegahan antara lain adalah Unit PLTU harus segera dihentikan apabila ada tanda-tanda air laut masuk ke dalam sirkit uap. Air ketel harus dibersihkan dari kontaminasi N_aC_l dan kebocoran kondensor diperbaiki.

2. Poros engkol mesin diesel patah

Penyebab kerusakan, bantalan utama *(main bearing)* dari poros engkol aus dan tidak diganti dengan yang baru sehingga defleksi poros engkol menjadi besar. Ini mengakibatkan poros engkol mengalami getaran besar dan patah.

Langkah pencegahan defleksi poros engkol harus selalu dikontrol sebulan sekali sesuai lihat buku petunjuk dari pabrik dan defleksi ini harus diperbaiki dengan mengganti bantalan utama yang aus.

3. *Cylinder head* mesin diesel retak, penyebabnya adalah:

a. Pengabut BBM *(fuel injection)* fungsinya kurang baik sehingga pengabutan BBM dalam silinder tidak sempurna dan terjadi *hot spot* pada *cylinder head* yang menimbulkan keretakan. Tidak

sempurnanya kerja pengabutan ini terlihat dari tingginya suhu gas buang di mana dapat mencapai 500^0 C pada beban penuh (seharusnya hanya sekitar 450^0 C).
Langkah pencegahannya mengganti pengabut tersebut di atas dengan baik atau menyetelnya supaya fungsinya normal kembali.

b. Air pendingin *cylinder head* yang kurang bersih sehingga timbul kerak dalam lubang-lubang air pendingin *cylinder head* tersebut. Hal ini menyebabkan pendinginan *cylinder head* terganggu sehingga timbul *hot spot* yang selanjutnya menyebabkan keretakan, langkah pencegahanya adalah membersihkan air pendingin.

4. Sudu-sudu turbin gas rusak, penyebabnya adalah:

a. Kompresor kotor sehingga tekanan udara yang dihasilkannya kurang besar.
Akibatnya adalah tekanan udara pembakaran dalam ruang bakar yang berasal dari kompresor berkurang sehingga gas hasil pembakaran yang menuju turbin suhunya naik.

b. Tekanan udara pendingin sudu-sudu turbin yang berasal dari kompresor turun sehingga efektivitas pendinginannya turun.
Akibat dari butir I dan butir 2 di atas, sudu-sudu turbin gas mengalami pemanasan berlebihan *(overheating)* karena suhu gas hasil pernbakaran penggerak turbin sekitar 1.300^0C (sudah mendekati titik cair besi), maka *overheating* inilah yang merusak sudu-sudu turbin gas.
Langkah pencegahannya, kompresor dibersihkan dan saringan udaranya diganti. Kondisi tersebut di atas dapat dideteksi dari pengamatan suhu gas buang yang lebih tinggi dari suhu normal. Suhu normal adalah sekitar 400^0 C.

c. *Overheating* seperti tersebut di atas juga dapat terjadi karena pengabut (khususnya jika menggunakan BBM) tidak berfungsi dengan baik sehingga pengabutan BBM tidak berlangsung sempurna dalam ruang bakar dan ada butir-butir BBM (yang relatif besar) terbakar dalam ruang turbin. Inilah yang menyebabkan *overheating* pada sudu-sudu turbin. Kejadian ini terdeteksi dari naiknya suhu gas buang dan turunnya efisiensi unit. Langkah pencegahannya, memperbaiki atau mengganti pengabut.

5. Kerusakan saluran air di sisi hilir PLTA sehingga air masuk ke ruang turbin dan generator dan akhirnya menimbulkan kerusakan pada turbin dan generator

Penyebab kerusakan adalah tanah longsor di tepi saluran air sisi PLTA. Tanah longsor ini menimbun saluran air tersebut sehingga permukaan air saluran naik dan masuk ke ruang turbin serta generator.

*Langkah pencegahannya adalah dengan m*emasang talud yang cukup kuat dan menanam tanaman pencegah tanah mengalami longsor.

6. Lilitan stator generator terbakar

1) Jika kerusakan terjadi dalam alur (*slot*) stator, maka hal ini berupa jebolnya isolasi lilitan sehingga terjadi hubung singkat fasa dengan *body* stator atau hubung singkat antarfasa sehingga kumparan stator terbakar.

   *Penyebab kerusakan, g*angguan yang sering terjadi pada saluran keluar pusat listrik yang berdekatan dengan generator. Gangguan adalah peristiwa *trip*-nya PMT tidak atas kehendak operator. Gangguan pada saluran semacam ini seringkali disebabkan oleh layang-layang dan tanaman, yaitu apabila saluran ini merupakan bagian dari jaringan distribusi tegangan menengah. Kerusakan lilitan stator generator semacam ini sering dialami generator pusat listrik yang langsung melayani jaringan distribusi tegangan menengah (20 kV) atau langsung melayani jaringan distribusi tegangan rendah. Gangguan pada saluran distribusi ini langsung memberikan pukulan tegangan kepada isolasi generator. Pukulan-pukulan ini antara lain dirasakan oleh generator melalui trip-nya PMT generator yang menyebabkan kenaikan tegangan generator, apalagi bila pengatur tegangan otomatis dari generator lambat kerja. Untuk membantu kerja pengatur tegangan otomatis ini, relai tegangan lebih dapat dipasang yang akan memutus arus penguat generator untuk mencegah kenaikan tegangan generator selain men-trip PMT Generator.

   Langkah pencegahan adalah penyebab gangguan saluran keluar harus dihilangkan.

2) Jika kerusakan terjadi pada kepala kumparan yang ada di luar alur stator, *maka penyebab kerusakan* ada dua kemungkinan:
   a) Sambungan yang ada di kepala kumparan kurang baik, mungkin kendor karena getaran.
   b) Generator sering beroperasi dengan eksitasi (arus penguat) rendah sehingga terjadi pemanasan pada ujung kumparan.

Langkah pencegahan

1) Sambungan pada kepala kumparan harus dikontrol dan bila perlu diperbaiki.
2) Pembebanan generator dengan arus penguat yang rendah harus dihindari.

7. Transformator penaik tegangan rusak, penyebabnya adalah:

1) Jika yang mengalami kerusakan adalah lilitan kumparannya, maka penyebab kerusakannya kebanyakan adalah sama dengan penyebab kerusakan lilitan kumparan generator tersebut dalam butir f_l di atas.
2) Jika yang rusak adalah *bushing* transformator, maka penyebab kerusakan adalah kebocoran dari *bushing* sehingga terjadi hubung singkat antara konduktor fasa dalam *bushing* dengan *body* transformator. Kebocoran ini dimulai dari kebocoran isolasi berupa kondensator konsentris yang terbuat dari kertas isolasi dan dipasang antara konduktor dengan bagian dalam *bushing.*

   Langkah pencegahannya adalah kondensator konsentris dari kertas harus secara periodik diperiksa dan apabila ada gejala kebocoran harus segera diganti.

8. Lilitan stator motor listrik terbakar, penyebabnya adalah:

a) Beban lebih, jika relai pengaman memadai, menyebabkan lilitan stator menjadi berbeban lebih, asalkan relai arus lebih yang memberikan proteksi bekerja dengan baik. Langkah pencegahannya adalah relai proteksi arus lebih dari motor harus dicek dan distel secara periodik dan bila perlu diganti.

b) Isolasi bocor. Isolasi bocor dapat disebabkan oleh debu dan udara lembab yang mengumpul dalam lilitan kumparan stator dan menurunkan nilai tahanan isolasinya. Kerusakan semacam ini kemungkinan besar dapat terjadi pada motor listrik yang ditempatkan di daerah berdebu, lembab, dan sering berhenti sehingga suhu lilitan kumparan stator sering rendah sehingga menyebabkan uap air dari udara mengembun bersama debu dalam lilitan kumparan.

   Langkah pencegahannya adalah tahanan isolasi kumparan stator harus secara periodik diukur, terutama setelah motor lama berhenti. Bila perlu, isolasi dibersihkan dan dipanasi dengan lampu untuk menaikkan tahanan isolasi. Apabila nilai tahanan isolasi sudah cukup tinggi baru motor dioperasikan.

c) Sekring satu fasa putus. Hal ini menimbulkan kemiringan tegangan pasokan yang selanjutnya menimbulkan arus urutan negatif. Arus urutan negatif ini menimbulkan medan putar yang berputar berlawanan dengan putaran rotor motor sehingga timbul pemanasan berlebihan pada kumparan stator.

Langkah pencegahan, pasanglah relai arus urutan negatif untuk mengamankan motor listrik.

9. Pemutus tenaga meledak/rusak, penyebabnya adalah:

1) Arus hubung singkat melampaui kemampuan pemutus tenaga (PMT).
   Langkah pencegahannya adalah PMT diganti dengan yang mempunyai kemampuan memutus arus hubung singkat yang lebih besar yang sesuai dengan tingkat hubung singkat setempat.
2) Kegagalan sistem proteksi. kegagalan sistem proteksi dapat disebabkan oleh:
   - Relai tidak bekerja.
   - Baterai aki tegangannya lemah.
   - Pengawatan sekunder sirkuit proteksi mengalami hubung singkat.
   - Ada kerusakan pada kontakkontak PMT.
   - Mekanisme penggerak PMT macet.

   Langkah pencegahannya adalah sistem proteksi harus dicek secara keseluruhan dan secara periodik. Apabila ditemukan adanya kelainan, sistem proteksi ini harus segera diperbaiki.

10. Laporan dan Analisis Gangguan

Gangguan adalah kejadian yang menyebabkan PMT trip tidak atas kehendak (tindakan) operator. Laporan gangguan harus mencantumkan hal-hal sebagai berikut:

- Tanggal dan waktu terjadinya gangguan.
- Relai-relai yang bekerja.
- Proses mengatasi gangguan.
- Kerugian yang terjadi akibat gangguan.
- Penyebab gangguan.

Gangguan ada yang bersifat temporer dan ada yang bersifat permanen. Gangguan itu bersifat temporer apabila PMT *trip* dan jika dimasukkan lagi keadaannya normal kembali. Pada gangguan yang bersifat permanen apabila. PMT dimasukkan setelah *trip,* PMT ini akan trip kembali setelah dimasukkan. Hal ini terjadi karena adanya kerusakan dalam instalasi yang menimbulkan hubung singkat yang

perlu diperbaiki terlebih dahulu sebelum PMT dapat dimasukkan kembali secara normal.

Gangguan yang walaupun bersifat temporer tetapi jika menyangkut unit pembangkit yang besar dapat menimbulkan gangguan beruntun dan menimbulkan pemadaman yang luas dalam sistem. Oleh karena itu, penyebab gangguan perlu dicari untuk dapat menghindarkan terulangnya gangguan yang sama. Untuk menemukan penyebab gangguan diperlukan suatu analisis penyebab gangguan yang dibuat atas dasar catatan kerja relai dan rekaman arus dan tegangan saat gangguan terjadi.

Gangguan dalam pusat listrik relatif jarang terjadi jika dibandingkan dengan saluran transmisi atau saluran distribusi. Pada saluran transmisi, penyebab gangguan yang terbesar adalah petir. Hal ini disebabkan saluran transmisi banyak yang melalui daerah terbuka sehingga rawan sambaran petir. Pada saluran udara tegangan menengah (SUTM) distribusi, penyebab gangguan yang utama adalah tanaman (pohon). Hal ini disebabkan SUTM kebanyakan melalui daerah pemukiman yang banyak pohonnya.

Instalasi dalam pusat listrik umumnya tidak rawan sambaran petir atau sentuhan pohon seperti saluran transmisi dan SUTM. Gangguan dalam pusat listrik kebanyakan disebabkan karena mesin penggerak generator terganggu, misalnya karena tekanan minyak pelumasnya turun yang dapat menyebabkan unit pembangkit trip.

F. Latihan

1. llangkah-langkah apa saja yang harus dilakukan dalam melakukan pemeliharaan unit pembangkit
2. Lakukan pemeliharaan pada salah satu unit pembangkit yang ada di sekolah anda dengan bimbingan guru dan teknisi

G. Tugas

Buat laporan kegiatan persiapan dan pelaksanaan pemeliharaan unit pembangkit yang telah anda lakukan. Diskusikan bersama teman dengan bimbingan guru

BAB VI
GANGGUAN, PEMELIHARAAN DAN PERBAIKAN MESIN ARUS BOLAK BALIK

Pada bagian ini dibahas jenis dan gejala gangguan, pemeliharaan dan perbaikan mesin listrik yang meliputi Generator Sinkron, Motor Sinkron, Motor Asinkron 3 phasa dan 1 phasa, serta Mesin listrik arus searah.

A. Gangguan, Pemeliharaan dan Perbaikan Generator Sinkron

Jika pada generator sinkron ada gejala tidak keluar tegangan, maka untuk mengidentifikasi jenis gangguan yang mungkin terjadi dapat ditinjau dengan menggunakan rumus:

$$E = 2{,}22.\frac{z}{a}.f.k_d.k_p.\phi.\omega.10^{-8}\ Volt \qquad (6\text{-}1)$$

atau

$$E = 4{,}44.N.\ f.k_d.k_p.\phi.\omega.10^{-8}\ Volt \qquad (6\text{-}2)$$

Pada saat Generator diputar dengan kondisi putaran konstan, faktor-faktor yang merupakan konstanta adalah:

$$E = 2{,}22.\frac{z}{a}.f.kd.kp.\phi.\omega.10^{-8}\ Volt \qquad (6\text{-}3)$$

atau

$$E = 4{,}44.N.\ f.kd.kp.\phi.\omega.10^{-8}\ Volt\ . \qquad (6\text{-}4)$$

sehingga rumus di atas dapat ditulis menjadi

$$E = C.\ \phi\ .\ Volt \qquad (6\text{-}5)$$

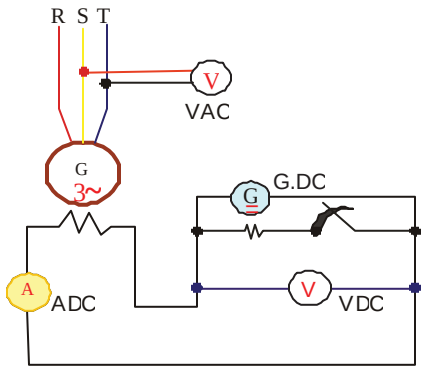
Keterangan:
E = tegangan listrik antara phasa dengan nol dalam volt
Z = jumlah batang konduktor
a = jumlah cabang belitan
f = frekuensi jala-jala dalam satuan Hz
k_d= faktor distribusi

k_p= faktor perpendekan
ϕ = besanya fluksi
ω =kecepatan putaran

Dari rumus di atas tampak bahwa pada saat ω=0, maka besarnya tegangan adalah nol dengan catatan tidak ada tegangan remanen akibat magnet sisa. Jika tidak keluarnya tegangan akibat tidak adanya ϕ (fluksi), maka langkah yang dapat ditempuh untuk meyakinkan adalah dengan memasang ampermeter arus searah (ADC) dan Voltmeter arus searah (VDC) pada penghantar yang tersambung belitan penguat kutub generator seperti ditunjukan pada Gambar VI.1.

Langkah selanjutnya adalah putar rotor generator dan atur arus penguatan sedemikian rupa sehingga seperti pada keadaan normal. Jika kondisi belitan kutub normal maka Ampermeter dan Voltmeter menunjukkan besar tegangan listrik sesuai dengan kebesaran yang tertera pada plat nama generator.

Gangguan pada bagian belitan kutub dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu kerusakan pada Generator arus searah (DC) sebagai penguat dan kerusakan pada belitan penguat kutup Generator Sinkron.



Gambar VI.1.
Cara mencari kerusakan rangkaian kutub

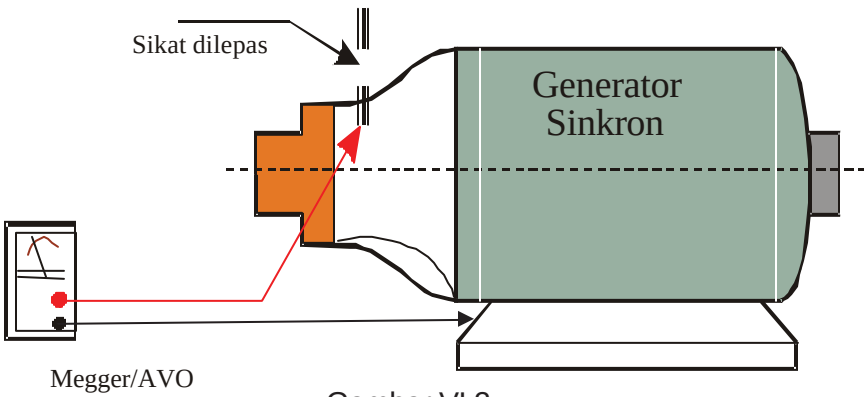
Jika Voltmeter arus searah (VDC) tidak menunjukan tegangan, dapat dipastikan kerusakan terjadi pada Generator Arus Searah sebagai penguatnya dan sebaliknya jika Voltmeter arus bolak balik (VAC) yang dipasang pada Generator Sinkron tidak menunjukan tegangan tetapi Voltmeter DC menunjukkan tegangan sesuai dengan tegangan nominal

Generator penguat DC (GDC) maka dapat dipastikan kerusakan terjadi pada generator sinkron.

Gangguan yang terjadi akibat kerusakan belitan kutub dapat terjadi pada bagian antara cincin geser dengan sikatnya atau pada belitan penguat Generator Sinkron. Gangguan antara cincin geser dengan sikat dapat diatasi dengan cara menggosok memakai kertas gosok agar permukaan cincin bersih, mengganti pegas sikat apabila lembek, mengatur permukaan sikat agar sesuai dengan bentuk cicin dan jika melakukan penggantian sikat maka bahan dan kekerasan sikat harus sama dengan aslinya.

Gangguan yang terjadi pada belitan kutub, antara lain disebabkan oleh : (1) hubung singkat antara belitan kutub dengan bodi, (2) hubung singkat antara kumparan magnet satu dengan kumparan magnet yang lain, (3) kumparan magnet putus, dan (4) rangkaian elektromagnetnya kurang baik. Gangguan tersebut disebabkan karena kurang baiknya dalam pemeliharaan, udara terlalu lembab dan kurang adanya pemanasan.

Untuk menguji hubung singkat pada belitan kutub dengan bodi generator dapat dilakukan dengan menggunakan alat Megger atau Avometer. Salah satu coloknya dihubungkan dengan cincin, colok satunya dihubungkan pada bodi generator dan posisi sikat harus terlepas seperti ditunjukkan pada Gambar VI.2.
Apabila kerusakan diakibatkan karena terjadi hubung singkat pada belitan kutubnya, maka harus dilakukan pengisolasian dan pengelakan kembali serta diganti apabila kerusakannya dalam kategori rusak berat atau terbakar.



Gambar VI.2.
Cara memeriksa kerusakan pada belitan kutub

Gangguan pada generator sinkron yang tidak keluar tegangan dapat juga disebabkan karena kerusakan pada bagian rangkaian elektromagnetik dan dapat di atasi dengan pengencangan inti kutub pada bagian roda kutub yang kendor, atau antara sepatu kutub dengan inti kutub dan atau mungkin roda kutubnya retak.

B. Gangguan, Pemeliharaan dan Perbaikan Motor Sinkron

Gangguan, pemeliharaan dan perbaikan motor sinkron secara prinsip sama dengan generator sinkron. Gejala dan gangguan yang mungkin terjadi adalah:

1. Kecepatan putaran awal rotor kurang tinggi
2. Beban mekanis terlalu berat
3. Gangguan pada rotor
4. Gangguan pada statornya

Cara untuk mengatasi gangguan yang mungkin terjadi pada motor sinkron dan gejala yang tampak adalah:

1. Kecepatan putaran awal kurang tinggi

Kecepatan putaran awal kurang tinggi diatasi dengan melakukan bantuan putaran awal pada poros motor sinkron berulang-ulang dengan kecepatan putaran yang sedikit lebih tinggi. Beban mekanis dilepas dahulu dan dicoba sekali lagi, dan jika keadaannya tetap maka terjadi kerusakan pada bagian yang lain.

2. Beban mekanis terlalu berat

Gejala yang timbul jika beban mekanis pada motor sinkron terlalu berat adalah mula-mula motor sinkron berputar tetapi setelah beberapa saat putaran turun dan sampai pada akhirnya putaran motor sinkron berhenti.

Satu-satunya cara untuk mengatasi adalah dengan mengurangi beban mekanis sampai sesuai dengan kemampuan motor sinkron, dan apabila sudah dilakukan pengurangan pada beban sampai sesuai kemampuannya, belum juga berhasil maka dicari penyebab gangguan yang lainnya.

3. Gangguan rotor motor sinkron

Gejala gangguan pada rotor motor sinkron adalah motor sinkron tidak berputar sama sekali dan atau berputar dengan beban mekanis g kecil.

Cara mengatasinya gangguan jenis ini adalah sama dengan cara mengatasi gangguan pada generator sinkron.

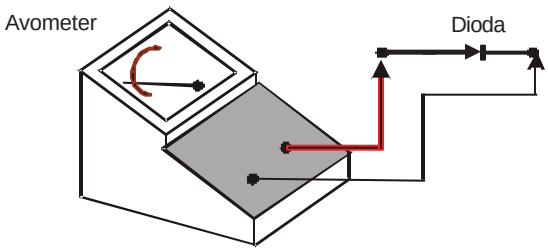
4. Gangguan pada stator motor induksi

Gejala yang muncul akibat gangguan pada bagian stator motor sinkron adalah motor sinkron kadang-kadang tidak berputar sama sekali.

Cara untuk mengatasi gangguan jenis ini adalah sama dengan cara seperti pada generator sinkron.

Mungkin disebabkan kerusakan pada bagian rangkaian penyearahnya dan juga dapat terjadi akibat tidak keluarnya tegangan pada rangkaian penyearah.

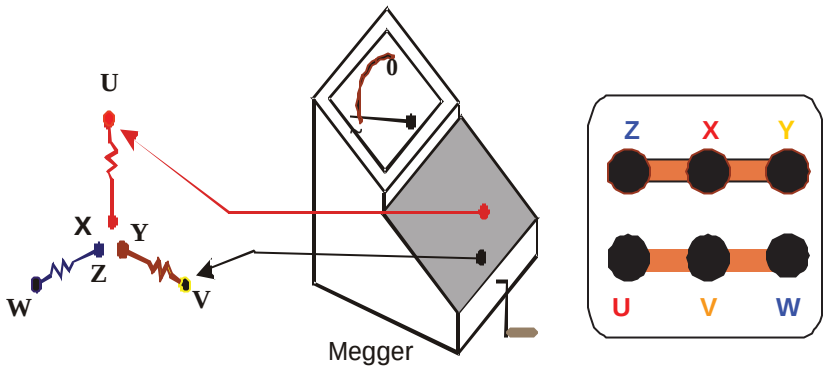
Cara melakukan pemeriksaan kerusakan pada rangkaian penyearah dapat dilakukan dengan menggunakan Avometer seperti ditunjukkan pada Gambar III.3, selain itu dapat juga terjadi kerusakan pada belitan phasanya.



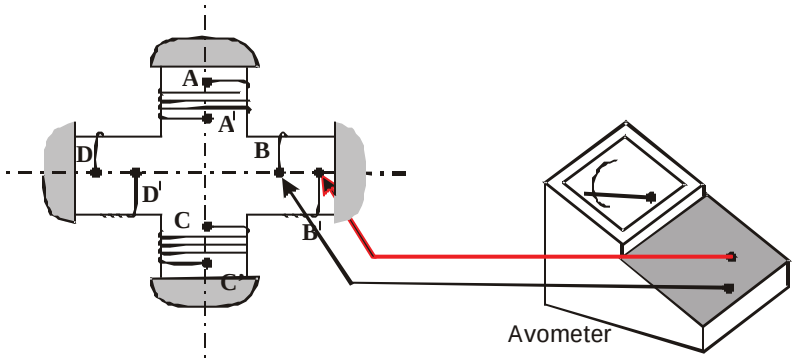
Gambar VI.3.
Cara memeriksa penyearah dari dioda dengan Avometer
Kemungkinan lainnya adalah terjadinya hubung singkat pada belitan antar phasa, antara belitan phasa dengan bodi dan hubung singkat atar belitan pada phasa yang sama.

Gambar VI.4 adalah menunjukkan pemeriksaan belitan 3 Phasa dengan menggunakan Megger.

Pada saat mengukur belitan, konektor untuk menghubungkan bintang atau segitiga pada terminal yang ada pada motor sinkron harus dilepas terlebih dahulu.



Gambar VI.4
Pemeriksaan Belitan Mesin Listrik 3 Phasa Menggunakan Megger



Gambar VI.5
Cara memeriksa belitan kutub menggunakan Avometer

Cara mengetahui adanya hubung singkat antara belitan kutub terhadap bodi, antara lain dapat dilakukan dengan pengukuran tahanan isolasi menggunakan Megger atau Avometer. Gambar VI.5 menunjukkan **c**ara untuk memeriksa kerusakan pada belitan kutub dengan Avometer.

Apabila pada colok Avometer atau Megger dihubungkan pada bodi dan colok lainnya dihubungkan pada belitan, kemudian megger diputar dan jarum menunjuk angka nol berarti terjadi hubung singkat antara belitan kutub dengan bodi.

Gangguan belitan kutup putus dan hubung singkat antar belitan dapat dicari dengan terlebih dahulu dengan memutus belitan antar phasa. Apabila belitan kutup putus, maka jarum pada Megger akan menunjuk angka tidak terhingga.

Jika belitan hanya putus maka langkah perbaikan adalah dengan menyambung (kalau putus pada bagian luar) dan harus membongkar jika putus pada bagian dalam serta diganti belitan baru apalagi kalau belitan terbakar.

Untuk memeriksa betul dan salahnya pada penyambungan belitan kutub atau belitan phasanya dapat juga dilakukan dengan tes kutub menggunakan kompas yang dilengkapi *batere* ditunjukkan pada Gambar VI-6.

Sebagai contoh, pada gambar ditunjukkan cara yang dilakukan untuk melakukan pemeriksaan sistem sambungan pada belitan phasa U-X.

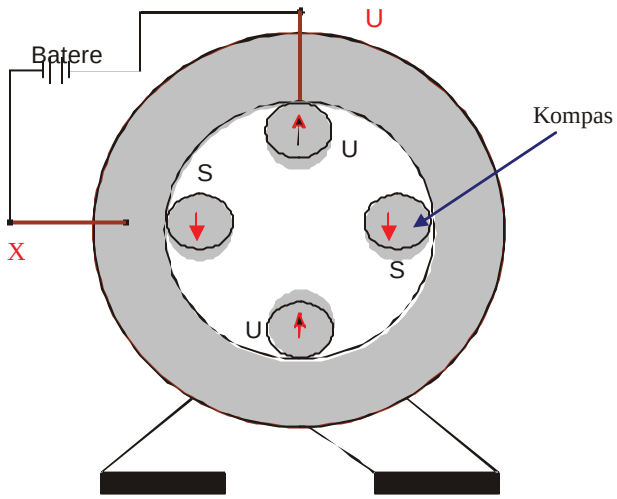
Apabila sambungan belitan phasanya benar dan jumlah kutub motor sinkron 4 buah, jika pada ke empat bagian simetris diletakkan kompas, maka pergerakan jarum pada kompas akan menunjuk U, S, U, S, dan jika sambungan belitan pada ke tiga phasa salah maka jarum kompas mungkin akan menunjuk S,U,S,U dan lainnya bergantung pada kesalahan sambungannya.

Untuk pengujian pada phasa yang lain dapat dilakukan dengan cara yang sama.

C. Gangguan, Pemeliharaan, dan Perbaikan Motor Asinkron

Motor induksi, baik motor induksi 1 phasa maupun 3 phasa banyak digunakan pada sistem pembangkitan tenaga listrik.

Peggunaan motor induksi tersebut diantaranya adalah untuk memompa sirkulasi minyak pendingin, memompa air, mengatur suhu ruangan (untuk *blower*), sebagai sistem pengaturan, maupun untuk menaikkan dan menurunkan beban mekanis serta keperluan yang lain.



Gambar VI.6.
Cara Memeriksa Kutup Motor Sinkron Menggunakan Kompas

Pada bagian ini diuraikan mengenai jenis gangguan, pemeliharaan dan perbaikan pada motor induksi, baik untuk motor induksi 1 phasa maupun 3 phase.

Istilah yang lebih populer untuk motor asinkron adalah motor induksi dan untuk uraian selanjutnya digunakan istilah motor induksi.

Secara umum motor induksi terdiri dari dua bagian, yaitu stator dan rotor. Stator motor induksi berupa belitan yang dihubungkan ke sumber tegangan listrik.

Berdasarkan konstruksi belitan stator, maka motor induksi dibagi dua, yaitu motor induksi 1 phasa dan motor induksi 3 phasa.
Gangguan pada motor induksi 3 phasa secara garis besar terdiri dari 4 bagian:

1. Motor induksi 3 phasa tidak dapat *distart*

Pada motor induksi 3 phasa tidak dapat *distart*, penyebabnya antara lain adalah:

a. Sekering putus

Gejala yang terjadi jika motor induksi pada bagian sekeringnya putus adalah motor induksi tidak berputar sama sekali (untuk motor induksi 1

phasa) dan putaran motor indusi 3 phasa tidak normal (jika sekring putus pada salah satu phasanya).

Cara untuk mengatasi adalah dengan melakukan pemeriksaan pada sekering menggunakan Avometer. Jika sekering masih baik, maka jika diukur dengan Avometer dengan posisi selektor pada Ohm, jarumnya akan menunjuk pada posisi nol dan sebaliknya jika sekering putus maka jarumnya menunjuk pada angka tidak terhingga.

Sekering putus harus diganti dengan sekering baru yang memiliki ukuran sesuai dengan kapasitas motor induksi, dalam hal ini besar ukuran sekering adalah 1,5 arus nominal motor induksi.

Apabila sekering yang digunakan adalah *Mini Circuit breaker* (*MCB*), maka perlu pemeriksaan sebelum dilakukan penggantian *MCB*, apakah hanya terjadi *trip* dan *MCB* rusak.

Jika *MCB* hanya *trip*, maka hanya tinggal menghidupkan kembali (atau menggrerakkan tuas pada *MCB*) pada posisi *ON*. Jika *MCB* sudah terbakar atau aus harus diganti dengan *MCB* baru.

Agar sekering tidak mudah putus harus dilakukan pemeliharaan dengan cara mengecek kerapatan kontak antara rumah sekring dengan tudung sekring.

Hal yang harus perlu diperhatikan jika motor induksinya adalah motor induksi 3 phasa, maka pemeriksaan sekering harus pada ketiga phasanya karena jika putus satu phasa maka motor listrik berputar tidak normal dan bisa terbakar belitannya.

b. Bantalan aus

Gejala yang muncul adalah putaran motor induksi tidak *smooth* dan terdengar bunyi yang keras (berisik).

Agar tidak mudah aus, maka pelumasan harus sering dilakukan dengan cara mengganti atau menambah pelumas.

Untuk memperbaiki bantalan yang aus dilakukan dengan cara melepas rotor dari bantalannya. Apabila bantalan terlalu aus, maka harus dilakukan pelapisan tetapi hasilnya kurang baik dan lebih baik dilakukan penggantian.

c. Beban lebih

Gejalanya antara lain adalah motor induksi tidak mau berputar normal.

Cara mengatasinya adalah dengan mengurangi beban sampai sesuai dengan kemampuan motor listrik atau sesuai daya nominalnya.

Agar motor induksi tidak cepat rusak akibat beban yang berlebihan, maka sebelum pembebanan harus dilakukan perhitungan agar besar beban sesuai yang diijinkan atau sesuai beban nominal motor induksi yang ada pada plat nama motor.

d. Phasa terbuka

Gejalanya, pada saat *start* motor induksi berputar sebentar dan tidak normal.

Cara mengatasinya adalah dengan melakukan pemeriksaan pada bagian sambungan belitan phasa dan sambungan antar belitan phasa pada saat motor listrik dihubungkan bintang atau segitiga.

Phasa terbuka juga dapat terjadi pada bagian sambungan di terminal motor induksi.

e. Kumparan antar belitan dalam phasa terhubung singkat

Cara mengatasinya adalah dengan melakukan pengukuran menggunakan Avometer atau Megger.

Cara melakukannya sama dengan pada pemeriksaan dan perbaikan Generator Sinkron.

Pencegahan pada kasus ini dapat dilakukan dendab cara melakukan pemeriksaan dan pengujian hubung singkat sebelum motor induksi dioperasikan.

f. Batang rotor terbuka atau lepas

Gejala yang muncul adalah motor induksi suaranya berisik atau bising, bunga api terlihat pada bagian batang rotor dan bagian ujung cincin rotor pada saat motor induksi berputar untuk beberapa lama.

Batang rotor dapat diperiksa menggunakan *glower* dan bagian yang memiliki getaran yang paling kuat menunjukkan adanya sambungan yang kurang baik atau putusnya rotor.

Mengatasinya adalah melakukan penyolderan atau pengelasan pada batang rotornya yang terbuka atau lepas.

g. Kesalahan sambungan dalam

Gejala yang muncul adalah motor induksi tidak berputar sama sekali atau berputar tidak normal.

Cara mengatasinya dengan melepas bagian rotor dulu. Pemeriksaan dilakukan dengan cara memasukkan gotri atau pelor kedalam stator motor induksi yang sudah dilepas rotornya.

Jika sudah benar sambungannya, maka pelor akan berputar sempurna. Cara lain juga dapat dilakukan dengan cara melakukan pemeriksaan menggunakan Avometer seperti pada pemeriksaan pada Generator Sinkron.

h. Bantalan pekat atau lengket

Gejalanya antara lain adalah putaran motor induksi sedikit berisik.

Cara mengatasinya adalah dengan melakukan pembersihan pada bantalan dan memberi pelumas (*fet*) baru yang spesifikasinya sesuai.

Agar tidak mudah terjadi kepekatan atau lengket pada bantalan, maka pemeliharaan harus dilakukan rutin dengan cara melepas rotor dari bantalan dan mengganti *fet* secara rutin (3 bulan sekali).

i. Sistem kontrol rusak

Gejala yang muncul adalah motor listrik tidak berputar sama sekali atau motor listrik berputar tidak sesuai dengan kinerja yang diinginkan (sesuai putaran yang tertera pada *name plate*).

Untuk meyakinkan bahwa bagian sistem kontrolnya rusak, dilakukan pemeriksaan dan atau pengukuran tegangan pada *output* atau keluaran sistem kontrolnya.

Apabila keluaran tegangan pada sistem kontrol tidak sesuai dengan *output* (keluaran) yang diinginkan, maka dapat disimpulkan bahwa sistem kontrolnya yang rusak dan dengan catatan tegangan *input* pada sistem kontrol normal.

Cara lain, dengan cara melepas motor induksi dari sistem kontrol. Motor induksi selanjutnya diberi tegangan *input* (masukan) langsung dari luar sesuai tegangan kerja motor induksi. Jika motor induksi bekerja normal dapat dipastikan bagian sistem kontrolnya yang rusak.

Karena sistem kontrol macamnya banyak, maka dalam memperbaiki sistem kontrol sangat diperlukan keterampilan khusus tentang sistem kontrol.

Jika sistem kontrolnya elektronik, kemungkinan terbesar kerusakan terjadi pada *thyristor* atau *diode power.* Jika sistem kontrol menggunakan rangkaian *magnetic contactor* atau kontaktor yang dilengkapi *timer* dan saklar *push-button,* kerusakan yang sering terjadi adalah pada bagian kontaktor (ausnya kontak-kontak, terbakarnya *coil*), pada *over load* sudah jenuh.
Kerusakan ringan yang sering terjadi adalah kerusakan pada saklar *push button.*

j. Belitan terhubung singkat dengan badan atau bodi motor induksi

Gejala yang muncul adalah adanya sengatan listrik pada bodi motor listrik jika sistem pentanahanya tidak baik atau kurang sempurna.

Cara mengatasinya adalah dengan melakukan pemeriksaan apakah terjadi hubung singkat antara belitan phasa terhadap bodi motor induksi dengan menggunakan alat Avometer atau Megger.

Apabila terjadi hubung singkat, harus segera dilakukan perbaikan dengan cara memberi isolasi pada bagian yang hubung singkat atau dengan memberi lapisan lak.

2. Motor Induksi putarannya tidak normal

Penyebab motor induksi putarannya tidak normal antara lain adalah:

a. Sekering putus,
b. Bantalan aus,
c. Kumparan terhubung singkat
d. Sambungan dalam phasa terbalik,
e. Hubungan paralel terbuka, gejalanya motor induksi mendengung pada saat dijalankan,
f. Hubungan paralel terbuka,
g. Belitan terhubung dengan badan motor induksi, dan
h. Batang rotor terbuka,

Cara untuk mengatasi, memelihara dan melakukan perbaikan sama dengan pada bagian **a** sampai dengan bagian **h** bagian 1.

i. Kesalahan tegangan dan frekuensi
Jika besar tegangan atau frekuensi kurang dari nominalnya maka motor induksi akan berputar kurang dari putaran nominalnya.

Cara untuk mengatasi adalah dengan mengatur besar tegangan dan frekuensi pada *input* motor induksi atau *output system* kontrolnya sampai sesuai dengan besar frekuensi dan tegangan yang ada pada plat nama motor induksi.

3. Motor induksi berputar pelan

Penyebab motor induksi berputar pelan antara lain adalah:

a. Kumparan atau *group* terhubung singkat,
b. Kumparan atau *group* terbalik,
c. Bantalan aus,
d. Beban lebih,
e. Salah sambungan atau hubungan phasa terbalik, dan batang rotor terbuka atau lepas.

4. Motor induksi terlalu panas

Penyebab motor induksi terlalu panas, antara lain adalah:

a. beban lebih.
b. Bantalan aus,
c. Motor induksi hanya berputar dengan tegangan satu atau dua phasa (untuk motor induksi 3 phasa).
d. Kumparan atau *group* terhubung singkat, dan
e. Batang rotor terbuka.

D. Pemeriksaan Motor Listrik

Pemeriksaan motor induksi dalam usaha untuk memelihara dan memperbaiki dengan tujuan agar umurnya motor listrik panjang adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan mingguan, meliputi:

a. Keadaan sekitar motor induksi

Apakah ada butiran air atau tidak, debu, dan kotoran lain serta kelembaban. Bila hal tersebut terjadi harus segera dibersihkan dan di atasi.

b. Keadaan minyak pelumas

Apakah volume minyak pelumas sudah susut atau belum, dan jika sudah banyak susut harus dilakukan penambahan atau penggantian dengan minyak baru.

c. Blok bantalan

Apakah terjadi getaran pada rumah blok bantalan yang berlebihan atau tidak. Jka terjadi. segera matikan motor induksi dan lakukan pengencangan.

d. Kondisi mekanik

Apakah ada suara yang tidak semestinya akibat dari kontak-kontak metal atau yang lain dan kalau terjadi segera lakukan tindakan.

e. Sikat dan cincin seret (untuk rotor belit)

Lihat bunga api dan lihat apakah sikat bekerja dengan baik, demikian pula cincin seret apakah geserannya terlalu keras atau tidak.
Apabila terjadi bunga api dan cincin seret kontaknya terlalu keras lakukan pembersihan dan atur posisi.

f. Celah antara rotor dan stator

Memeriksa apakah jaraknya antara rotor dan stator simetris, jika tidak simetris untuk kondisi darurat dapat dilakukan dengan mengatur kendor dan kerasnya tutup motor induksi pada waktu memasukkan kembali bagian rotor kedalam stator.

g. Belitan kotor

Bersihkan dengan penghisap debu atau *blower*. Bersihkan debu dengan kain halus dan kering, jika ada sistem pendinginannya periksa dan perbaiki agar bekerja dengan normal.

h. Pemeriksaan pada bagian mekanis

Periksa kekencangan sabuk atau *belt* dan roda-roda gigi, rumah stator dan sistem pelumasannya.

2. Pemeriksaan bulanan, meliputi:

a. Belitan

Periksa belitan stator dan belitan rotor. Pemeriksaan belitan stator dan belitan rotor meliputi kekencangan sambungan dan semua hubungan kabel.

b. Sikat-Sikat

Pemegangnya sikat, tekanan pegas, dan penggantian sikat jika habis.

c. Blok bantalan

Pembersihan pelumas yang keluar lewat lubangya dan menggantinya apabila terjadi kebocoran serta periksa apa penyebabnya dan membersihkan debu.

d. Roda-roda gigi yang tertutup

Membuka penyumbat minyak yang mengalir dan mengisinya jika habis.

e. Kopling dan penggerak lain

Apakah sabuk sudah cukup kencang dan tepat pada *pully* motor induksi. Bersihkan bagian dalam dari rumah dan periksa hubungan dari sistem pelumasnya.

f. Pemeriksaan pembebanan

Pemeriksaan beban pada motor induksi yang bebannya selalu berubah.

3. Jadwal musiman (lebih dari dua tahun), meliputi:

a. Pemeriksaan belitan

Memeriksa tahanan isolasi, dilakukan dengan cara memeriksa permukaan isolasi apakah sudah kering atau perlu pembungkusan lagi (pengelakan) dan melakukan pemeriksaan besarnya tahanan isolasi.

Besar tahanan isolasi yang baik atau memenuhi persyaratan (dalam ohm) minimal adalah 1000 kali tegangan kerja.

Bersihkan permukaan saluran ventilasi sampai kedalam dan titik-titik serta debu yang ada.

b. Celah udara dan blok bantalan

Masih sama rata atau tidak. Periksa blok bantalan, bola, *roll*, klaker atu *bearing* dan yang perlu diganti.

c. Rotor

Untuk motor induksi dengan rotor sangkar apakah ada yang putus atau lepas belitan rotornya. Bersihkan menggunakan kain halus. Cincin seret kasar dan bintik-bintik diperbaiki dan diganti.

d. Bagian mekanis

Periksa pada bagian sabuk penggerak, kopling dan bersihkan bagian luar dan dalam dari kerangka motor induksi.

e. Pembebanan

Periksa arus yang diperlukan motor induksi pada saat beban nol dan beban penuh serta hitung effisiensi pada setiap keadaan.

Pada saat melakukan pemeliharaan dan atau perbaikan motor induksi diperlukan pengetahuan dan pemahaman serta keterampilan memadai. Selain itu juga harus memiliki dan memahami kebesaran atau *standart* alat dan bahan yang ada dipasaran. Tabel VI.1 menunjukkan *standart* kebutuhan hantaran, pengaman lebur, diameter pipa untuk penyambungan motor induksi.

Sedangkan Tabel VI.2 menunjukkan *standart* kabel dengan isolasi karet dalam pipa sesuai standart *American Wire Gauge* (AWG), dan Tabel VI.3 menunjukkan pemakaian arus dan tegangan pada Motor Listrik DC dan Motor AC 3 phasa menurut AEG.

Tabel VI.1.
Standar Kebutuhan Hantaran, Pengaman Lebur, dan
Diameter Pipa untuk Penyambungan Motor Induksi

Daya		Tegangan Phasa							
		220V				380V			
		Aliran arus	eng. ebur	Penamp. Hantaran	Ø Pipa	Aliran arus	Peng. Lebur	Penamp. Hantaran	Ø Pipa
PK	HP	A	A	mm^2	Inchi	A	A	mm^2	Inchi
0,50	0,37	1,7	6	15	5/8	0,9	4	1,5	5/8
0,75	0,55	2,5	6	1,5	5/8	1,3	4	1,5	5/8
1,00	0,74	3,2	10	1,5	5/8	1,8	4	1,5	5/8
1,50	1,11	4,6	15	2,5	0,75	2,7	6	1,5	5/8
2,00	1,47	6,0	15	2,5	0,75	3,5	10	1,5	5/8
2,50	1,84	7,3	15	2,5	0,75	4,2	10	1,5	5/8
3,00	2,20	8,5	15	2,5	0,75	5,0	10	1,5	5/8
4,00	2,94	11,6	15	2,5	0,75	6,7	15	2,5	0,75
5,00	3,70	13,6	20	4,0	0,75	8,0	15	2,5	0,75
6,00	4,40	16,5	20	4,0	0,75	9,6	15	2,5	0,75
7,50	5,50	19,0	25	6,0	1,00	11,6	15	2,5	0,75
10,00	7,35	26,5	35	10,0	1,00	15,3	20	4,0	0,75
12,00	8,85	31,8	35	10,0	1,00	18,4	25	6,0	1,00
15,00	11,05	39,0	60	16,0	1,25	23,0	25	6,0	1,00
20,00	14,70	52,0	60	16,0	1,25	30,0	35	10,0	1,00
25,00	18,84	63,0	80	25,0	1,50	37,0	60	16,0	1,25
30,00	22,00	76,0	80	25,0	1,50	44,0	60	16,0	1,25
40,00	29,40	98,0	100	35,0	1,50	56,5	60	16,0	1,25
50,00	37,00	12,0	125	50,0	2,00	70,0	80	25,0	1,50
60,00	44,16	147,0	160	70,0	2,00	79,1	100	35,0	1,50
75,00	55,20	183,0	200	95,0	2,00	99,0	125	50,0	2,00
95,00	69,90	228,0	260	120,0	2,50	125,3	160	70,0	2,00
120,00	88,32	286,0	300	150,0	2,50	215,0	240	90,0	2,50

Tabel VI.2.
Standart kabel dengan isolasi karet dalam pipa sesuai
Standart *American Wire Gauge*

Ukuran AWG	Tebal Isolasi Karet	Diameter Luar	Jumlah Inti Dianyam	Penampang	Penampang PUIL	Tahanan/ 1000m pada 200° C	KHA 20° C
Code	mm	mm	Buah	mm^2	mm^2	Ohm	A
18	0,794	3,63	1	0,822	0,75	20,950	3
16	0,794	3,94	1	1,308	1,50	13,180	6
14	1,191	4,82	1	2,080	2,50	8,280	15
12	1,191	5,33	1	3,310	4,00	5,210	20
10	1,191	5,84	1	5,260	6,00	3,280	25
8	1,588	8,38	7	8,460	10,00	2,060	35
6	1,588	9,65	7	133,00	16,00	1,236	50
4	1,588	1,43	7	211,50	25,00	0,870	70
2	1,588	12,95	7	336,30	35,00	0,815	90
1	1,984	15,00	19	424,10	35,00	0,408	100
0	1,984	16,00	19	535,30	50,00	0,320	125
00	1,984	17,00	19	674,40	70,00	0,260	150
000	1,984	18,55	19	850,30	95,00	0,203	175
0000	1,984	19,60	19	107,21	95,00	0,161	225
	2,381	21,85	37	126,67	120,00	0,141	250
	2,381	23,40	37	152,01	150,00	0,118	300
	2,381	24,70	37	177,35	185,00	0,102	300
	2,381	25,90	37	202,68	185,00	0,099	325
	2,381	26,90	37	231,01	240,00	0,079	360
	2,381	28,00	37	253,05	240,00	0,069	400

Tabel VI.3
Pemakaian Arus danTegangan pada Motor DC
dan Motor AC 3 Phasa menurut AEG

Motor DC				**Motor AC 3 Phasa**					
				Rotor sangkar			**Rotor *Slipring***		
HP	PK	220V	240V	220V	380V	500V	220V	380V	500V
		Amper	Amper	Amper	Amper	Amper	Amper	Amper	Amper
1,0	1,4	6,4	3,2	5,2	3	2,4	5,5	3,5	2,6
1,5	2,0	9,5	4,8	7,5	4,3	3,3	8,5	5	3,7
2,0	2,7	13	6,5	9,2	5,4	4,1	11	6	4,6
3,0	4,0	18	9	14	7,9	6	15	8,2	6,2
4,0	5,5	24	12	18	10,5	7,6	19	11	8,3
5,0	7,0	29	14,5	21	12,5	9	22	13	10
6,0	8,0	34	17	26	14,2	11	26	15	11,5
7,0	9,5	40	20	29	16,5	12,5	29	17	13
8,0	11	45	22,5	32	19	14	32	19	14
9,0	12	50	25	36	21	16	36	21	16
10	13,5	56	28	40	23	17,5	40	23	18
12	16,5	66	33	46	27	21	47	27	21
15	20	85	425	56	33	26	56	33	26
20	27	110	55	75	43	33	73	43	33
30	40	160	80	110	64	48	110	66	47
40	55	210	110	145	84	64	140	83	62
50	68	260	130	180	107	79	172	100	76
60	82	300	150	210	125	95	200	120	90
70	95	360	180	250	145	110	230	140	105
80	110	400	200	280	160	120	280	155	120
90	125	450	225	305	180	140	305	175	140
100	136	500	250	345	200	150	330	195	145

E. Gangguan, Pemeliharaan dan Perbaikan pada Motor Induksi 1 phasa

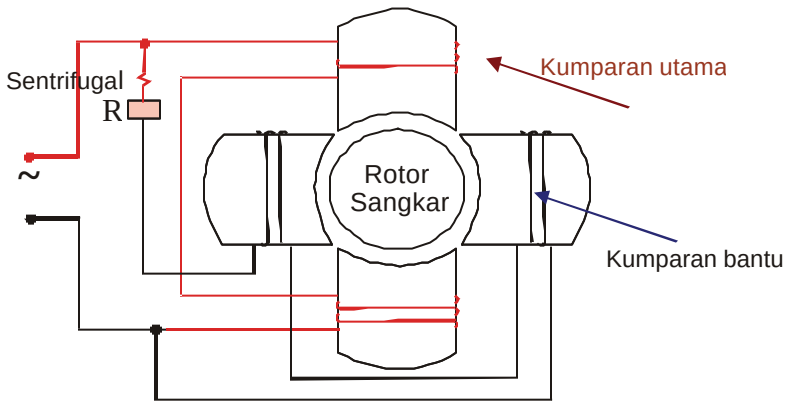
1. Motor Phasa Belah

Motor Induksi Phasa Belah memiliki 3 kumparan listrik, yaitu satu kumparan pada rotor dan dua kumparan pada stator sebagaimana ditunjukkan pada Gambar VI.7.

Kumparan stator terdiri dari kumparan utama dan kumparan bantu. Kumparan utama terletak pada dasar alur stator dan kumparan bantu terletak di atas kumparan utama yang bahannya sama yaitu dari kawat tembaga.

Antara kumparan utama dan kumparan bantu dihubungkan paralel dan apabila putaran sudah mencapai 75% dari putaran nominal, maka kumparan bantu akan terputus melalui kerja saklar sentrifugal (*centrifugal*) .

Sedangkan bagian kumparan rotor terdiri dari batang-batang rotor yang dimasukan pada alur rotor.



Gambar VI.7
Motor Induksi Phasa Belah

Gejala dan gangguan pada motor induksi phasa belah dan cara perbaikan sama dengan pada motor induksi 3 phasa.

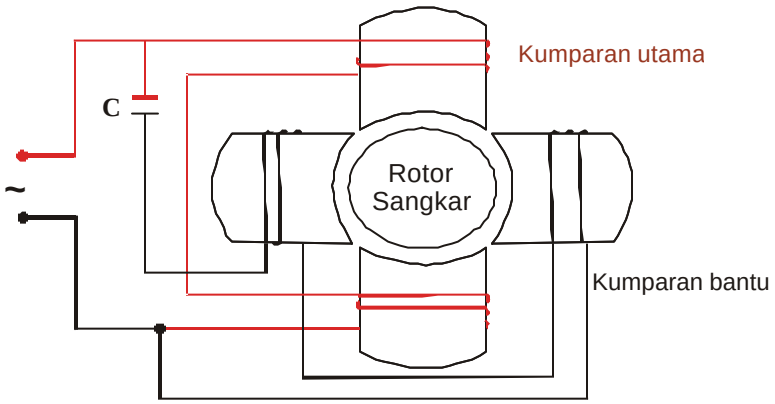
Saklar sentrifugal tidak terdapat pada motor induksi 3 phasa, sehingga jika motor listrik tidak mau berputar saklar sentrifugal perlu diperhatikan karena jika saklar sentrifugal rusak motor listrik tidak berputar.

Jika saklar tidak bekerja atau rusak harus diperbaiki atau diganti jika kerusakannya sudah pada kategori rusak berat.

Hal yang sering terjadi pada saklar sentrifugal adalah bagian kontaknya berkarat sehingga kontak listrik tidak sempurna dan perlu untuk dibersihkan dengan menggunakan kertas gosok.
Untuk menyakinkan bahwa kerusakan terjadi pada bagian saklar sentrifugal dapat dilakukan dengan cara melepas saklar sentrifugal.

Selanjutnya memberi tegangan listrik pada motor induksi. Poros motor kita bantu putaran *startnya* dengan tangan, jika motor induksi kondisinya baik akan berputar sesuai dengan arah bantuan putaran dan jika motor induksi rusak maka motor induksi tidak berputar.

Untuk meyakinkan kondisi saklar sentrifugal kondisinya rusak dilakukan pemeriksaan menggunakan Ohmmeter, apakah kontak-kontaknya masih baik atau perlu pembersihan dengan kertas gosok.



Gambar VI.8
Motor kapasitor

2. Motor Kapasitor

Gangguan pada motor kapasitor adalah rusak atau berkurangnya kemampuan kondensator sehingga tidak mampu untuk menimbulkan torsi *start*. Jika hal ini terjadi maka langkah-langkah yang harus ditempuh mengganti kondensator (C) baru yang memiliki spesifikasi sama dengan kondensator terpasang. Gambar VI.8 menunjukkan skema motor kapasitor.

Untuk meyakinkan bahwa pada kondensator mengalami gangguan atau rusak adalah dengan melakukan pengukuran menggunakan Avometer dengan posisi Ohm. Jika kondensator baik, maka jarum Avometer akan bergerak ke kiri dan kembali lagi ke kanan sampai menunjuk angka nol, dan sebaliknya jika kondensator rusak maka jarum bergerak tetapi tidak kembali.

Cara lain yang dapat dilakukan adalah melepas kondensator dan dilakukan pemeriksaan pada motor listrik dengan tanpa memasang kondensator.

Motor kapasitor diberi tegangan dengan, dibantu putaran tangan, maka jika motor kapasitor masih baik akan berputar mengikuti arah putaran bantuan dan sebaliknya jika motor listrik tidak berputar dapat dipastikan terjadi kerusakan pada motor listriknya.

Selain kerusakan pada bagian kodensator, kerusakan lain yang sering terjadi adalah kerusakan pada belitan bantu dan kemungkinan juga terjadi pada belitan utama.

Untuk pemeriksaan kondisi belitan motor kapasitor dapat dilakukan seperti pada pemeriksaan belitan pada motor induksi.

3. Motor Repulsi

Pada motor listrik jenis ini, arah putaran dapat diatur ke kanan dan ke kiri dengan saklar pembalik arah putaran serta dilengkapi dengan saklar sentrifugal.
Untuk melaksanakan pemeriksaan hubungan belitan terbuka pada bagian stator, caranya sama seperti pemeriksaan motor induksi yang lain. Untuk pemeriksaan pada bagian jangkarnya (rotor) sama dengan pengujian pada rotor motor DC.

Gangguan yang dapat terjadi pada Motor Repulsi dan cara mengatasinya

a. Motor listrik tidak mau *distrart* pada kondisi saklar posisi *ON*

Motor listrik tidak mau *distrart* pada saklar posisi *ON*, penyebabnya antara lain adalah:

1) Sekering putus

Untuk mengatasi dengan cara melakukan pemeriksaan sekering dengan menggunakan Avometer.

Apabila sekering masih baik, maka jika diukur menggunakan Avometer jarum pada Avometer menunjukkan angka mendekati harga nol.
Apabila ternyata sekering putus, maka harus diganti dan untuk mengganti ukurannya adalah 1,5 kali arus nominal motor listrik.

2) Bantalan aus

Gejalanya putaran motor listrik tidak *smooth* dan terdengar bunyi yang relatif keras (berisik).

Agar tidak mudah aus maka pelumasan harus sering dilakukan dengan cara mengganti dan atau menambah pelumas.
Cara memperbaiki bantalan motor listrik dapat dilakukan dengan terlebih dahulu melepas bantalan. Jika bantalan terlalu aus maka harus diganti atau dilakukan pelapisan. Kelemahan jika dlakukan pelapisan adalah hasilnya kurang maksimal.

3) Sikat melekat pada pemegang

Cara mengatasi adalah sikat dikeluarkan dari rumah sikat dan pemegang sikat diberi isolasi.

4) Sikat aus

Lihat bunga api dan lihat apakah sikat bekerja dengan baik, demikian juga pada cincin geser apakah geserannya terlalu keras atau tidak.

Jika terjadi atau ada penumpukan kotoran akibat geseran sikat, maka bersihkan dan atur posisi sikat melalui pegasnya serta atur posisi antara stator dan rotor sampai simetris.

5) Hubungan terbuka baik pada stator maupun rotor

Gejalanya, motor listrik tidak mau distart atau motor berputar sesaat.

Cara mengatasi dengan melakukan pemeriksaan pada sambungan, baik pada sambungan belitan amtar phasa maupun pada bagian kumparan stator dan kumparan rotornya.

6) Kedudukan sikat salah

Salah kedudukan sikat dapat di atasi dengan membetulkan posisi pemegang sikat dengan menggesernya atau menggantinya jika pemegang sikat terlalu lemah.

7) Kumparan terhubung singkat

Untuk mengatasi dapat dilakukan dengan cara melakukan pemeriksaan memakai Avometer dan atau menggunakan Megger.

Untuk melakukan pemeliharaan pada kasus ini dapat dilakukan dengan cara melakukan tes hubung singkat sebelum motor listrik dioperasikan.

8) Belitan motor listrik terlepas

Untuk mengatasi adalah dengan cara memeriksa sambungan belitan, baik pada stator maupun rotor dapat dilakukan memakai Avometer dan *Glower*.

9) Komutator kotor

Cara mengatasi adalah membersihkan memakai kain halus atau dihisap dengan memakai penghisap debu. Apabila terjadi kecacatan maka harus diratakan atau jika sudah parah dilakukan penggantian.

10) Sambungan timah atau solderan kurang baik

Cara mengatasi dengan menyolder ulang memakai timah yang berkualitas baik.

11) Hubungan singkat pada jangkar dan komutator

Cara mengatasi dengan memberi mika atau dengan melakukan pengelakan tambahan.

b. Motor listrik dapat distart tetapi tidak normal

Penyebab motor listrik dapat distart tetapi tidak normal antara lain adalah:

1) Bantalan aus

Cara mengatasi bantalan aus dapat dilakukan pelapisan dan atau mengganti dengan bantalan baru jika tingkat keausannya sudah berat.

2) Keliling komutator kotor

Harus dibersihkan dengan sikat halus atau dengan menggunakan penghisap debu.

3) Sikat terangkat

Cara mengatasi dengan mengembalikan sikat ke posisi awal sambil melihat kondisi pegasnya. Jika pegas terlalu lembek atau terlalu keras harus diganti.

4) Kerja saklar sentrifugal kurang sempurna

Harus dilakukan dengan memeriksa pada bagian pegas dan kontak-kontaknya.

Jika ada karat pada bagian kontak-kontaknya dilakukan pembersihan dengan menggunakan kertas gosok.

5) Pemegang sikat salah kedudukannya

Cara mengatasi dengan mengembalikan posisi pemegang sikat pada kedudukannya dan jika bentuknya kurang sempurna diperbaiki dan atau diganti.

6) Beban lebih

Cara mengatasi dengan mengurangi beban sampai pada beban nominal motor agar tidak mudah rusak.

Untuk mengurangi serta untuk menghindari gangguan beban lebih, sebelum pembebanan dilakukan harus ada proses perhitungan secara cermat dan teliti.

7) Stator hubung singkat

Sama dengan cara yang dilakukan pada motor atau generator sinkron

8) Rotor hubung singkat

Sama dengan cara yang dilakukan pada motor lain atau Motor Sinkron.

9) Pemegang sikat bagian pinggirnya aus

Cara mengatasi adalah harus dilakukan modifikasi atau diganti baru.

10) Jepitan sikat terlalu keras

Jepitan sikat harus dikendorkan dan jika tidak mampu harus diganti yang lebih sesuai.

11) Gaya pegang per tidak cocok

Gaya pegang per tidak cocok harus diganti baru yang lebih cocok.

c. Motor listrik panasnya melebihi ketentuan atau berlebihan

Penyebab motor listrik panasnya berlebihan antara lain adalah:

1) Salah tegangan dan besar frekuensi tidak sesuai,
2) Hubung singkat pada belitan stator atau hubung singkat pada belitan rotor,
3) Beban lebih,
4) Bantalan aus,
5) Komutator putus, dan
6) Pemegang sikat tidak pada posisinya.

d. Motor induksi berisik pada saat bekerja

Penyebab motor listrik berisik pada saat bekerja, antara lain adalah:

1) Bantaran atau porosnya aus,
2) Mekanisasi pada sentrifugal terlepas,
3) Kumparan stator hubung singkat, dan
4) Perisai pada saklar sentrifugal kendor.

e. Sekering putus

Penyebab sekering putus, antara lain adalah:

1) Belitan penguat hubung singkat,
2) Hubungan belitan ada yang terbalik,
3) Sikat dan komutatornya tidak sempurna,
4) Rotor hubung singkat,
5) Penempatan sikat salah, dan
6) Bantalan lengket.

f. Motor listrik mendengung

Penyebab motor listrik mendengung pada saat bekerja antara lain adalah:

1) Sambungan dan atau solderan kurang rapat atau tidak sempurna,
2) Bantalan aus,
3) Penempatan sikat salah,
4) Hubungan sikat pada rotor,
5) Hubungan singkat pada stator,
6) Hubungan singkat antar belitan stator dan bodi,
7) Sikat tersangkut dan atau melekat pada pemegang dan tidak kontak pada komutator, dan
8) Komutator kotor.

g. Putaran motor listrik tidak dapat bertambah

Penyebab putaran motor listrik tidak dapat bertambah antara lain adalah:

1) Gaya regang pegas pada sikat kurang,
2) Cincin kotor,
3) Komutator kotor,
4) Belitan rotor hubung singkat,
5) Belitan stator hubung singkat,
6) Bantalan aus, dan
7) Batang penekan terlalu panjang.

h. Motor listrik mengeluarkan bunga api

Penyebab motor listrik mengeluarkan bunga api antara lain adalah:

1) Kumparan rotor terbuka
2) Komutator kotor,
3) Mika terlalu keras,
4) Sikat sudah pendek atau terangkat.

4. Motor Universal

Motor universal adalah motor induksi dengan belitan seri atau motor induksi dengan belitan kompensator yang memiliki karakterisktik sama dengan motor seri. Motor jenis ini dapat dioperasikan menggunakan tegangan DC dan AC.

Untuk menguji kutub-kutubnya dapat dilakukan menggunakan kompas atau gotri atau pelor seperti yang dilakukan pada motor AC.

Kerusakan yang terjadi hampir mirip dengan motor repulsi, kecuali pada bagian rotornya. Kerusakan yang sering terjadi adalah bengkoknya poros motor dan ausnya bantalan.

Jika salah hubungan di dalam maka pengaman lebur dan putus, belitan panas, motor berputar pelan atau bahkan tidak berputar sama sekali.

F. MEMBELIT KEMBALI MOTOR INDUKSI 3 PHASA

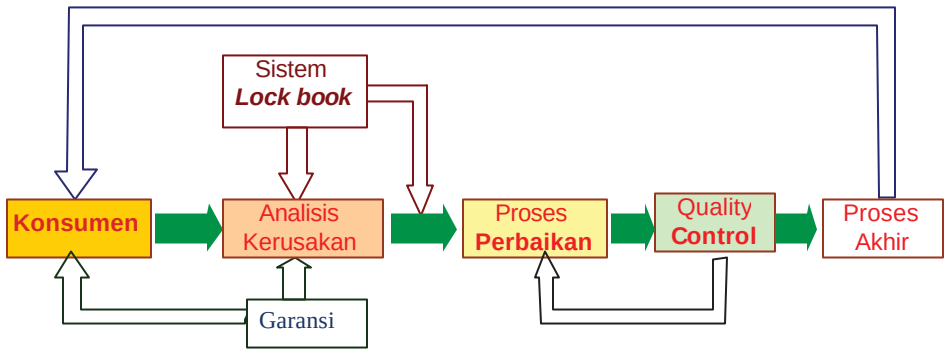
Membelit kembali motor induksi 3 phasa yang rusak dengan bekas belitan stator masih ada, merupakan pekerjaan yang lebih mudah dari pada jika tanpa ada bekas belitannya kecuali bagi mereka yang telah terbiasa menangani motor induksi tanpa ada bekas belitannya dan dapat membelitnya kembali sesuai dengan pengalaman yang dimiliki.

1. Proses dalam Membelit Kembali Motor Induksi 3 Phasa yang Masih ada Bekas Belitan

Pada setiap usaha jasa perbaikan dinamo memiliki langkah-langkah kerja yang bervariasi, tetapi secara prinsip adalah sama.

Bervariasinya langkah-langkah dalam perbaikan tersebut terkait dengan Sumber Daya Manusia (SDM) dan Sumber Daya Alat (SDA) yang dimiliki jasa perbaikan mesin-mesin listrik (yang meliputi generator sinkron 1 phasa dan generator sinkron 3 phasa, motor sinkron 1 phasa dan 3 phasa, motor induksi 1 phasa dan 3 phasa, motor dan generator DC serta macam-macam transformator) dan karakteristik konsumen.

Secara umum proses produksi usaha jasa perbaikan mesin-mesin listrik yang dalam pembahasan ini khusus untuk motor induksi) secara bagan ditunjukkan pada Gambar VI.9.



Gambar VI.9
Bagan Proses Produksi pada Usaha Jasa Perbaikan

Keterangan :
Sistem *Lock book*, dimaksudkan waktu perbaikan berkala dimana konsumen tidak harus datang membawa barang yang rusak (wacana ke depan).

Secara lengkap proses perbaikan motor induksi langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

a. Penerimaan (*receiving*)
b. Inspeksi pada kelistrikan (*electrical inspection*).
c. Pembongkaran bagian-bagian motor induksi (*dismantling*)
d. Pembongkaran belitan motor induksi (*striping*)
e. Pembersihan (*cleaning*)
f. Tes inti (*core tes*)
g. Pembongkaran total inti stator (*restacking*)
h. Pengovenan pertama (*first oven*)
i. Peredoksian (r*edoxite*)
j. Pembelitan (*winding*).
k. Pengujian (*test*) tahanan, tahanan isolasi, *surge* dan kutub belitan.
l. Pengovenan ke-2 (*second oven*).
m. Pelapisan (*varnis*) belitan.
n. Pengopenan ke-3 Pembersihan (*cleaning*) dari sisa varnis.
o. Pengujian (*tes* tahanan, tahanan isolasi, *surge*, dan *High Voltage* belitan).
p. Poses perakitan kembali (*assembling*).
q. Running tes.
r. Proses pengecatan kembali (*painting*).
s. *Finishing.*
t. Pengiriman/penyerahan ke konsumen (*delivering*).

Berikut ini akan dibahas pada masing-masing bagian dari ke 21 proses yang dilalui dalam perbaikan motor induksi 3 phasa, mulai dari proses penerimaan sampai proses pengiriman.

a. Penerimaan (*Receiving*)

Penerimaan adalah merupakan proses yang mengawali pada pekerjaan perbaikan mesin-mesin listrik. Pada pembahasan ini ditekankab pada motor induksi 3 phasa.

Pada waktu proses harus dilakukan pendataan fisik bagian motor induksi. Tujuan dari proses pendataan adalah agar dalam proses penyerahan kembali kepada konsumen kondisinya utuh kembali dan memberikan gambaran biaya kasar yang diperlukan untuk perbaikan.

Untuk usaha jasa perbaikan dalam skala besar, proses penentuan harga biaya produksi jasa dilakukan oleh salesmen.

Adapun format dan data fisik yang dicatat pada proses penerimaan ditunjukkan Tabel VI.4.

Tabel VI.4
Format dan Data fisik yang dicatat pada proses penerimaan

Data Fisik	Ada (+)	Data Fisik	Ada (+)
Rumah stator		Sikat karbon	
Rotor		Pegangan Sikat	
Tutup stator DE		Pegas Sikat	
Tutup stator NDE		Kotak terminal	
Slipring		Terminal utama	
Komutator		Tutup terminal	
Kipas Pendingin		Baut pengait	
Tutup pendingin			
Tanggal	Paraf Petugas	Tanggal	Paraf Konsumen

Sumber : ABB Sakti Industri (2005)

b. Inspeksi kelistrikan (*electrical inspection*)

Inspeksi kelistrikan adalah merupakan proses pendataan bagian-bagian kelistrikan, didalamnya ada identifikasi kerusakan pada bagian kelistrikkannya.

Tujuannya agar dapat membuat kesimpulan tentang jenis kerusakan yang terjadi. Untuk mempermudah proses ini perlu dibuat tabel hasil proses inspeksi kelistrikan seperti ditunjukan pada Tabel VI.5.

Tabel VI.5
Hasil inspeksi kelistrikan

Hasil pengukuran tahanan/resistansi belitan phasa (Ohm)					
U - X		U - Y		W - Z	
Hasil pengukuran tahanan isolasi (Mega Ohm)					
U - V	U - W	V - W	U - G	V - G	W - G
Komentar (kesimpulan awal) Kasil Pemeriksaan Kelistrikan					
Tanggal:		Petugas:		Paraf:	

Dalam proses ini juga ada pengukuran resistansi belitan pada phasa U-X, phasa V-Y dan W-Z dengan menggunakan Ohmmeter dan pengukuran tahanan isolasi antara phasa dengan phasa, antara phasa dengan bodi menggunakan Megger, serta kesimpulan awal mengenai kerusakan yang terjadi.

c. Pendataan dari hasil pembongkaran bagian motor listrik (*dismantling*)

Pada proses ini didata bagian-bagian dari motor induksi yang dibongkar, seperti ditunjukkan pada Tabel VI.6.

d. Pendataan belitan

Pada pendataan belitan, data yang perlu diperhatikan antara lain adalah:

1) Jumlah *group*

Jumlah *group* adalah belitan-belitan yang membentuk untaian kelompok dan membentuk kutub, dan setiap *group* memiliki peluang membentuk 2 kutub. Gambar VI.9 menunjukkan simbol *group* belitan dengan ujung *group* belitannya ada 2 buah, yaitu ujung atas *group* belitan A dan ujung bawah *group* belitan B.

Ujung *group* ini akan membentuk jumlah kutub sesuai cara penyambungan pada ujung *group* belitan selanjutnya akan berpengaruh terhadap jumlah putaran motor induksi.

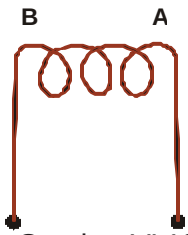
Tabel VI.6.

Dismantling data

Deskripsi Bagian	Ada (+)	Tidak Ada (+)	Baik (+)	Rusak (+)
▪ Rumah Stator				
▪ Rotor				
▪ Tutup Stator DE				
▪ Tutup Stator NDE				
▪ *Slipring*				
▪ Komutator				
▪ Kipas pendingin				
▪ Tutup Kipas pendingin				
▪ Rumah *bearing* DE				
▪ Rumah *bearing* NDE				
▪ Sikat karbon				
▪ Pegangan sikat				
▪ Pegas sikat				
▪ Kotak terminal				
▪ Terminal Utama				
▪ Tutup terminal				
▪ Baut pengait				
▪ Poros rotor DE				
▪ Poros rotor NDE				
▪ Pengunci *bearing* DE				
▪ Pengunci *bearing* NDE				
▪ Pegas bearing				
▪ *Pulley*				
▪ *Bearing* DE				
▪ *Bearing* NDE				
Tanggal :	**Paraf petugas:**			

2) Jumlah alur stator

Jumlah alur stator adalah banyak lubang tempat belitan motor listrik pada bagian stator.



Gambar VI.10
Simbol *group* belitan

Dari jumlah alur pada stator motor listrik secara keseluruhan dapat dicari jumlah alur tiap phasa.
Misalkan stator motor induksi 3 phasa jumlah alurnya (S) 36 dan putaran beban nol 1500 rpm.
Maka jumlah alur tiap phasa adalah:

$$\text{S/phasa} = \frac{S}{3} = 12 \text{ alur} \qquad (6\text{-}6)$$

Jika putaran motor induksi (n) 1470 rpm, maka jumlah pasang kutup dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$p = \frac{f.60}{n} \qquad (6\text{-}7)$$

Keterangan:
p = jumlah pasang kutub
f = frekuensi (Hz)
n =jumlah putaran (rpm)

Maka jumlah pasang kutupnya adalah:

$$p = \frac{50.60}{1470} = 2,\ldots \qquad (6\text{-}8)$$

= 2 pasang kutub

dan

Jumlah kutubnya 4

3) Jumlah alur tiap kutub tiap phasa

Jumlah alur tiap kutub tiap phasa adalah banyaknya alur dibagi jumlah phasa dan jumlah kutup.
Pada contoh, jumlah alur tiap kutup tiap phasa adalah: 36/4/3=3.
Jumlah alur tiap kutub tiap phasa adalah identik dengan jumlah kumparan tiap *group* dalam satu phasa.

4) Langkah belitan

Pada pelaksanaan pembongkaran, perlu dilakukan pendataan langkah belitan karena langkah belitan akan berpengaruh kepada putaran motor induksi dan salah dalam langkah belitan akan berakibat terjadinya *counter* antar belitan.

Selain dengan melakukan pendataan pada saat pelaksanaan pembongkaran, langkah belitan dapat dicari dengan cara dihitung.

Karena dalam contoh jumlah kutub sama dengan 4 dan jumlah derajad listrik satu kutub adalah 180 ^{o} listrik, maka jumlah derajad listrik adalah:

^{o} listrik = *p.*180^{o} *listrik*
= 4.180^{o} *listrik*
= 720^{o} *listrik*

Jarak alur satu dengan lain terdekat adalah sama dengan jumlah derajad listrik keseluruhan dibagi dengan jumlah alur

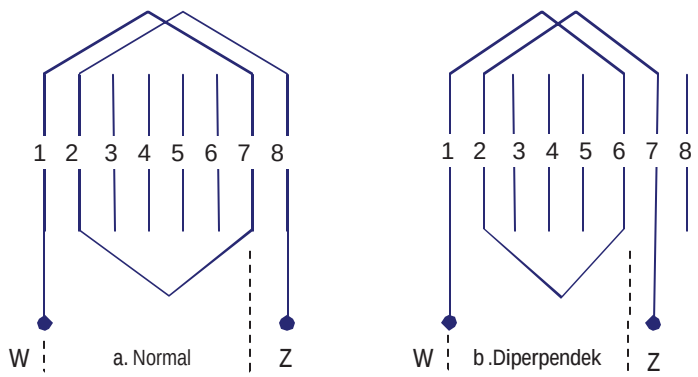
= 720^{o} listrik / 36
= 30^{o} listrik

Jadi jarak alur terdekat 30^{o} listrik

Langkah belitan yang normal dengan tidak menggunakan faktor perpendekan adalah 180^{o} listrik, maka langkah belitannya adalah:

= 180^{o} listrik:30^{o} listrik
= 6

Sehingga pada contoh langkah belitan adalah dari alur 1 menuju ke alur 7 seperti ditunjukkan pada Gambar VI.11.



Gambar VI.11
Langkah belitan nomal dan diperpendek

Jika memakai faktor perpendekan (f_p), maka langkahnya tidak lagi dari alur 1 ke alur 7, tetapi dari alur 1 ke alur 6 (Gambar VI. 12).
Faktor perpendekan (f_p) akan berpengaruh pada besaran yang lain karena terkait dengan rumus dasar dalam mencari jumlah belitan dan fluksi yang dihasilkan.
Jika W adalah langkah belitan dan T_p adalah jarak atau panjang kutub, maka besarnya f_p adalah:

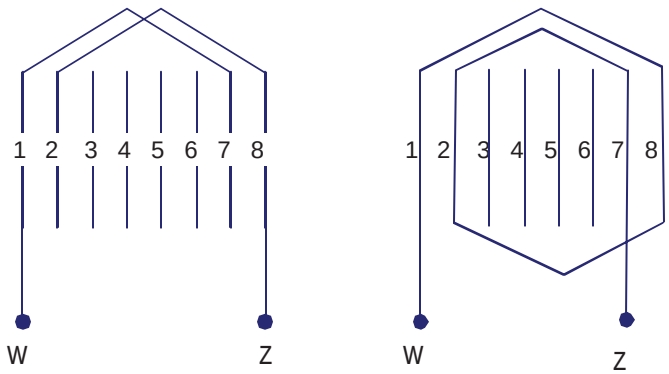
$$f_p = \sin W/Tp.\pi/2 \qquad (6\text{-}9)$$

Dalam Gambar VI.11 tidak menggunakan atau tidak ada faktor perpendekan, sehingga besarnya nilai $f_p = 1$

5) Jenis belitan

a) Jenis belitan sesuai bentuk kumparan

Jenis belitan sesuai bentuk kumparannya, dibedakan menjadi 2 macam, yaitu belitan gelung dan belitan rantai. Pada jenis belitan gelung, langkah belitannya sama dalam 1 kumparan (Gambar VI.12), sedangkan pada belitan rantai langkah belitan berbeda pada setiap kumparan (Gambar VI.13).



Gambar VI.12
Belitan Gelung dan Rantai

b) Jenis belitan motor induksi menurut jumlah lapisan

Jenis belitan motor induksi menurut jumlah lapisan dibedakan jadi 2 bagian, yaitu *single layer winding* dan *double layer winding.*

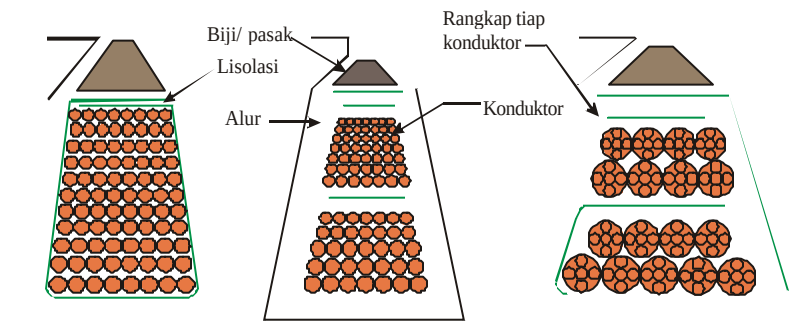
Pada belitan *single layer winding,* satu alur hanya terdiri dari 1 lapisan kumparan dan pada belitan *double layer winding* dalam satu alur terdapat 2 atau lebih lapisan kumparan.

6) Jumlah konduktor tiap alur

Jumlah konduktor tiap alur merupakan jumlah kawat konduktor dalam satu alur stator.

Jumlah konduktor antara lain tergantung pada jenis motor, bahan inti, dan daya motor induksi.

Bentuk-bentuk alur, jumlah sisi kumparan, dan rangkap tiap konduktor ditunjukkan pada Gambar VI.13.



(a) Alur dengan 1 sisi kumparan

(b) Alur dengan 2 sisi kumparan

(c) Alur dengan 2 sisi kumparan dan rangkap tiap konduktor

Gambar VI.13
Bentuk alur dan sisi kumparan

7) Jumlah rangkap tiap konduktor

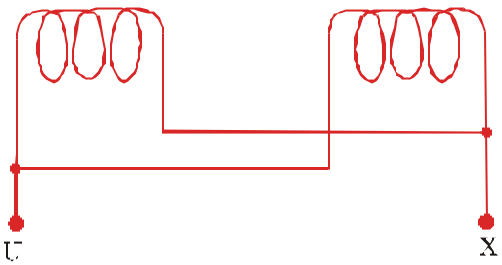
Jumlah rangkap tiap konduktor merupakan jumlah kawat konduktor yang dipararel dan menjadi sebuah kawat konduktor tiap alur (Gambar VI.13c).

Hal ini dilakukan untuk memperpadat konduktor yang masuk pada setiap alurnya, mempermudah dalam melakukan pekerjaan memasukkan konduktor kedalam alur, dan untuk mengatasi kebutuhan penampang yang besar karena persediaan konduktor denan penampang besar sesuai kebutuhan terbatas di pasaran.

Pada pelaksanaan, dapat dilakukan dengan memparalel beberapa konduktor atau dengan merangkap konduktor menjadi satu sesuai dengan penampang yang dibutuhkan.
Adakalanya dalam satu rangkap, ukuran penampang konduktor berbeda.

8) Jumlah rangkaian *group*

Jumlah rangkaian *group* adalah jumlah percabangan pada belitan tiap phasa.



Gambar VI.14
Jumlah Rangkaian *Group* pada Satu Phasa

Contoh rangkaian *group* dalam satu phasa ditunjukkan dalam Gambar VI.14.

Dalam satu phasa, jumlah rangkaian yang diparalel bervariasi, ada yang lebih dari dua kumparan, tergantung kebutuhan.

Pada motor induksi 3 phasa, karena jumlah rangkaian yang di paralel sama dan hanya sudut antar phasanya yang berjarak 120^{o} listrik. Bagi pemula tidak ada jeleknya didata pada semua phasanya.

9) Ukuran penampang konduktor

Ukuran penampang konduktor merupakan ukuran luas konduktor pada suatu belitan stator.

Ukuran penampang konduktor tergantung dari besar kapasitas dan besar arus listrik yang mengalir pada konduktor.
Semakin besar arus yang mengalir pada konduktor, semakin besar pula penampang konduktornya.

10) Panjang kabel terminal

Panjang kabel terminal adalah panjang kabel penghubung antara belitan stator dengan terminal motor listrik.

Untuk pekerjaan melakukan penyambungan dapat dilakukan penyolderan, dan untuk melindungi pada sambungan harus dilakukan pengisolasian dengan menggunakan selongsong asbes.

Perlu diperhatikan dalam penyambungan, solderan harus kuat dan rapat, termasuk dalam penyambungan pada terminal motor listrik.

11) Jumlah *thermofuse*

Untuk mengamankan belitan dari panas yang berlebihan sesuai batas kemampuan kawat tembaga (email), maka dipasang pengaman yang dapat putus secara otomatis.

Thermofuse, PTC, dan RTD dipasang pada belitan stator melalui kabel yang menuju terminal motor induksi.

Agar lebih aman, maka pada motor induksi 3 phasa dipasang pada setiap belitan phasanya dan pemasangannya bersamaan dengan proses *banding*.

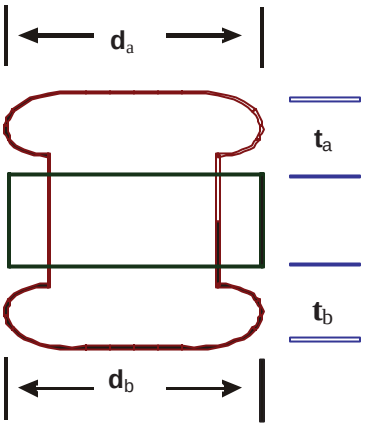
12) Ukuran fisik belitan (kumparan)

Dalam uraian ini, ukuran belitan terdiri dari tinggi dan diameter belitan. Tinggi belitan terdiri dari tinggi atas dan tinggi bawah belitan.

Tinggi atas (t_a) belitan adalah jarak antara inti stator dengan sisi terluar belitan stator bagian atas dan tinggi bawah belitan (t_b) adalah jarak antara inti stator dengan sisi terluar stator bagian bawah.

Diameter belitan terdiri diameter atas belitan (d_a), yaitu jarak antara sisi kiri dan kanan belitan bagian atas. Diameter bawah belitan (d_b) adalah jarak antara sisi kiri dan kanan belitan stator bagian bawah.

Belitan stator yang terpasang pada inti stator ditunjukkan pada Gambar VI.15.



Gambar VI.15
Belitan Stator Terpasang pada Inti

Keterangan :
t_a = tinggi atas belitan
t_b = tinggi bawah belitan
d_a = diameter atas belitan
d_b = diameter bawah belitan

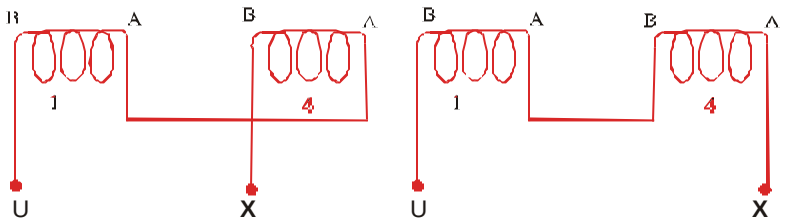
13) Jenis hubungan antara *group*

Agar lebih mudah dalam mencari jenis hubungan antar *goup,* maka cukup didata dari salah satu phasa saja, misalnya pada U-X sedangkan phasa selanjutnya mengikuti (120^o listrik).

Untuk menentukan jumlah derajad listrik antar alur terdekat dapat menggunakan rumus:

$$R = \frac{180.2p}{S} \qquad (6\text{-}10)$$

Keterangan :
R = jarak antar alur
2p = jumlah kutub
180 = ketetapan
S = jumlah alur

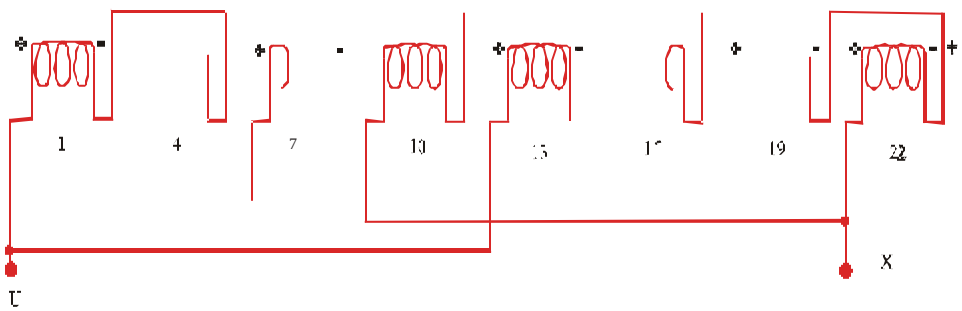


(a) Hubungan atas-atas (b) Hubungan atas-bawah

Gambar VI.16
Jenis Hubungan Atar *Group*

Keterangan :
A = ujung atas *group* belitan
B = ujung bawah *group* belitan
1 & 4 = urutan nomor urutan *group* belitan

Contoh cara mencari hubungan antar *group* belitan stator
Jumlah phasa = 3
Jumlah *group* = 24
Jumlah *group* tiap phasa = 24/3=8
Jumlah rangkaian = 2



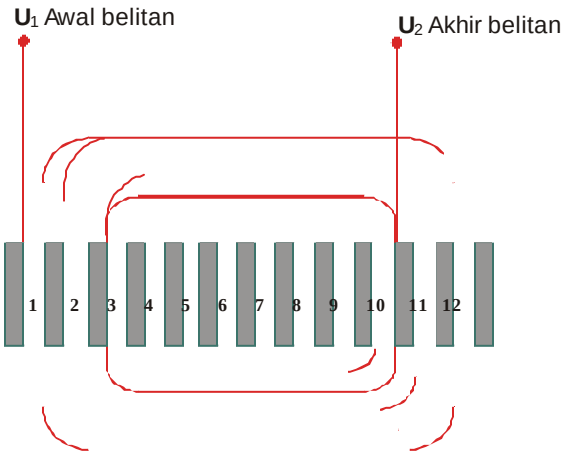
Gambar VI.17
Hubungan Antar *Group* 1 Phasa

Hubungan antar *group* ada 2 jenis, yaitu hubungan atas-atas dan hubungan atas-bawah, seperti ditunjukkan pada Gambar VI.16. Gambar VI.17 adalah hubungan antar *group* lengkap pada 1 phasa. Tabel VI.7 adalah contoh *Striping* data dari sebuah motor induksi 3 phasa rotor sangkar.

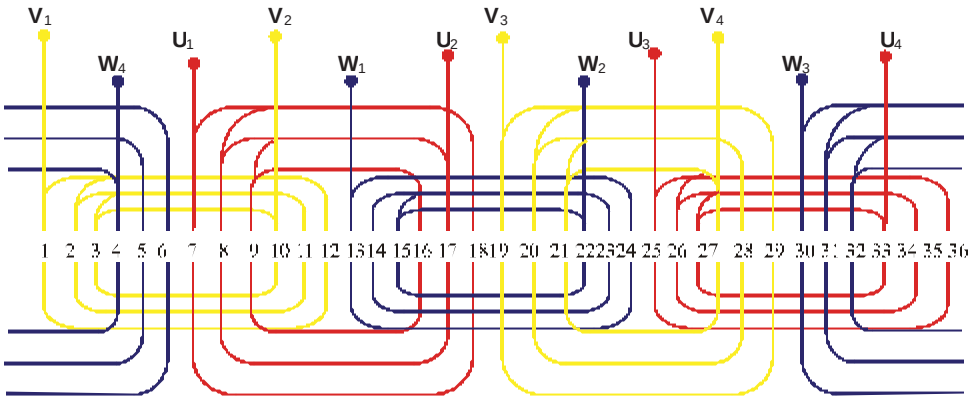
Tabel VI. 7
Striping Data

Machine data				
Costumer	***Output***	***Speed***	***Frekwensi***	***Pole Number***
PT. Duda Tbk	12 HP	710 Rpm	50 HZ	8
Jumlah Phasa	**Tegangan**	**Arus**	**Jenis Motor**	**Kelas Isolasi**
3	**380 V**	**28 A**	**Rotor sangkar**	**F**

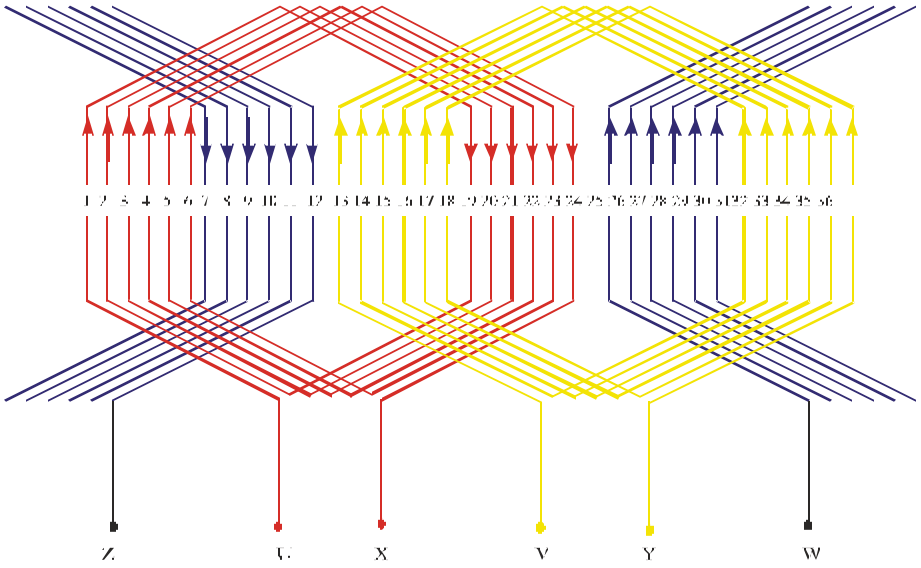
Winding data	
- Jumlah *group*	24
- Jumlah alur	48
- Jumlah alur tiap kutup,tiap phasa	2
- Langkah belitan	1-6
- Junis belitan	Gelung,*double layer*
- Jumlah konduktor tiap alur	23
- Jumlah rangkaian	2
- Jumlah rangkap tiap konduktor	2
- Ukuran penampang konduktor	1x0,90 mm dan 1x0,95 mm
- Panjang kabel terminal	107 mm
- Jumlah *thermofuse*	2
- Jenis hubungan antar *group*	Atas-atas
- ukuran belitan (t_a,t_b,d_a,dan d_b)	55,70,235,dan 230 mm



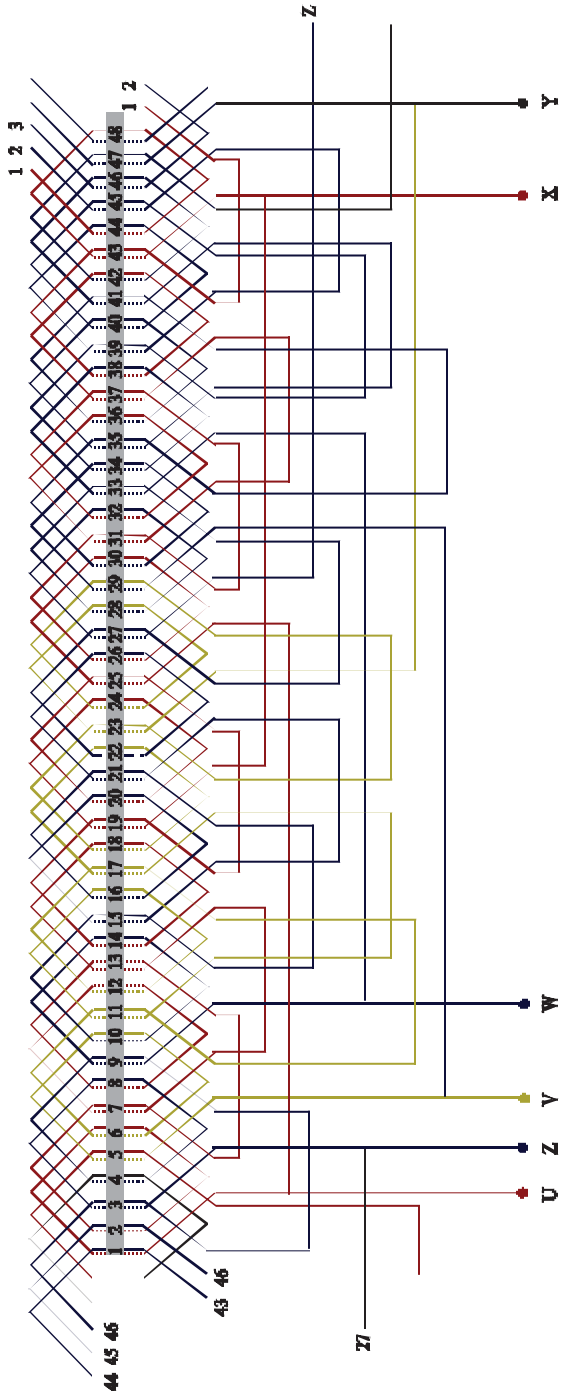
Gambar VI.18
Belitan Rantai *Single Layer*



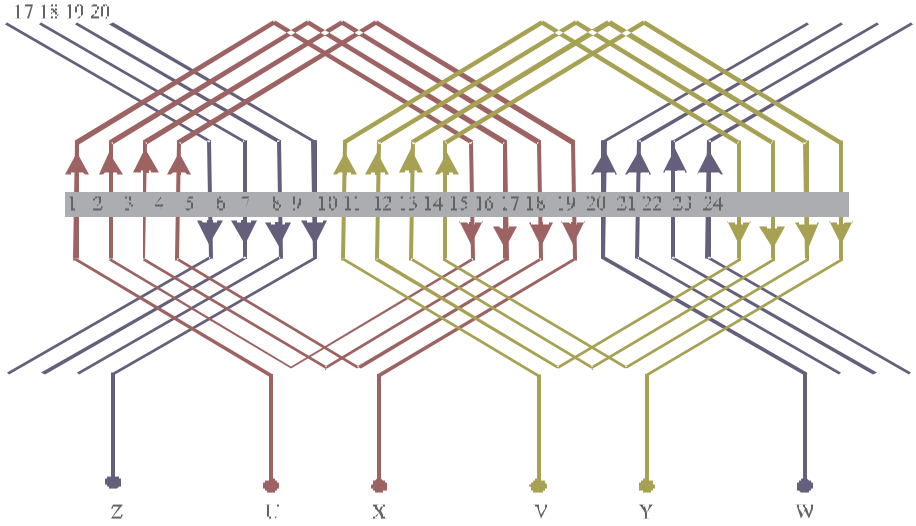
Gambar VI.19
Contoh Bentangan Belitan Rantai Lapis Tunggal



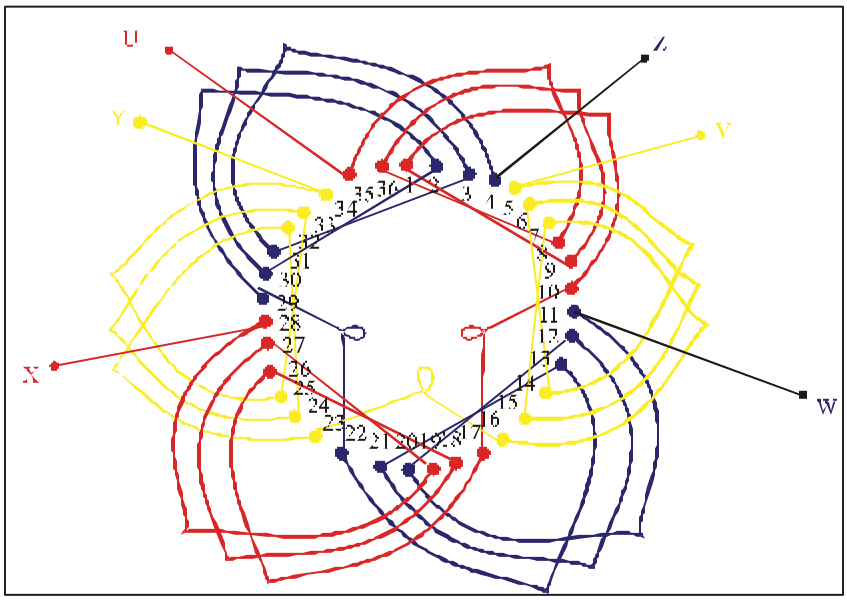
Gambar VI.20
Contoh Bentangan Belitan Motor Induksi 3 Phasa 36 Alur



Gambar VI.121
Contoh bentangan belitan motor induksi 3 phasa 48 alur



Gambar VI.22
Contoh bentangan belitan motor induksi 3 phasa 24 alur



Gambar VI.23
Gambar Skema Langkah Belitan pada Alur Motor Induksi 3 Phasa 36 Alur

e. Pembongkaran belitan dari inti stator

Pembongkaran pada belitan dari inti stator merupakan proses pelepasan belitan dari inti stator.

Pembongkaran pada belitan dari inti stator langkah-langkah adalah sebagai berikut:

1) Stator berada pada posisi vertikal sehingga salah satu sisi belitan di atas dan sisi lain berada di bawah.

2) Pemotongan salah satu ujung belitan dengan menggunakan alat betel sampai putus pada bagian kumparan yang keluar menonjol (kepala kumparan)

f. Pemasangan *core stator* pada rumah stator

Jika *core stator* dikeluarkan dari rumah stator, maka pada pemasangan kembali dilakukan menggunakan *Jack* dan bantuan *crane.*

Jack digunakan untuk menekan *core stator* ke dalam dalam posisi yang tepat pada rumah stator dan *crane* digunakan untuk menahan dan stator supaya tidak roboh.

Proses pemasangan *core stator* kebalikan dari langkah mengeluarkan *core stator* dari rumah stator.

g. Pengovenan ke 1 dan pemberian *Red Oxyde*

Setelah selesai memasang *core stator* kedalam rumah stator, proses selanjutnya adalah melakukan pengovenan *core stator* selama $\pm$ 1 jam dengan temperatur antara 70^{o} C sampai 80^{o} C.

Setelah proses pengovenan terselesaikan, dilakukan pelapisan dengan menyemprotkan cairan *Red Oxyde* dan dilakukan pengeringan dengan suhu ruang selama 60 sampai 90 menit.

Setelah proses pemberian pelapisan *Red Oxyde* selesai, maka dapat dikatakan bahwa semua proses *restacking* pada *core stator* tersebut selesai dan pada *core stator* siap dilakukan pembelitan ulang (*Rewinding*).

Proses pemberian *Red Oxyde* ditunjukkan pada Gambar VI.24

Fungsi *Red Oxyde* adalah :

- Melindungi stator dan inti stator dari sifat korosif.

- Melindungi belitan pada saat proses pemasukan belitan ke dalam alur stator.
- Memberi kenyamanan *Winder* saat bekerja.
- Memberi nilai tambah dari segi kebersihan.

Gambar VI.24
Proses Pemberian *Red Oxyde*

h. *Winding*

Winding merupakan proses inti dari pelaksanaan dari perbaikan dan dikerjakan oleh *winder*.

Dalam mengerjakan pembelitan, *winder* harus benar-benar mengerti dan memahami *striping* data.

Pekerjaan *winding* meliputi:

1) Pengemalan belitan (*cod manufacture*)

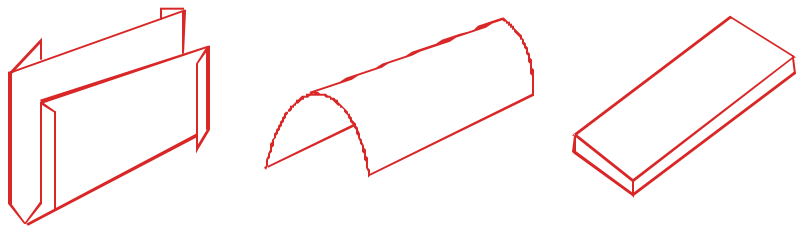
Proses pengemalan tiap belitan dilakukan dengan mesin otomatis yang dapat diset sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan atau secara *manual*.

Sebelum mulai dilakukan pengemalan, dapat dilakukan pengukuran belitan sesuai dengan langkah belitan yang sudah ditentukan.
Pengukuran mal menggunakan sebuah kawat konduktor yang dimasukkan pada alur. Perlu diperhatikan bahwa untukr mempermudah dalam proses pemasukan belitan ke dalam alur stator, pengemalan dilakukan untuk tiap *group* belitan.

2) Persiapan isolasi *(insulation preparation)*

a) Isolasi alur stator

Bahan isolasi alur stator ditunjukkan pada Gambar VI.25a. Bahan yang digunakan *Nomex* murni, atau campuran *Nomex* dan *Milar (NMN*), dan *Milar* murni dengan ketebalan sesuai kebutuhan.



Gambar VI.25
Isolasi Alur Stator

b) Penutup alur stator

- Penutup bagian dalam alur stator
  Sebagai bahan penutup bagian dalam alur stator dapat menggunakan *Nomex* murni, campuran *Nomex*, *Milar* (*NMN*), dan *Milar* murni. Ketebalan sesuai dengan kebutuhan (tegangan kerja pada motor induksi).

Penutup bagian dalam alur stator berbentuk persegi panjang melengkung dengan panjang sesuai dengan panjang inti stator.

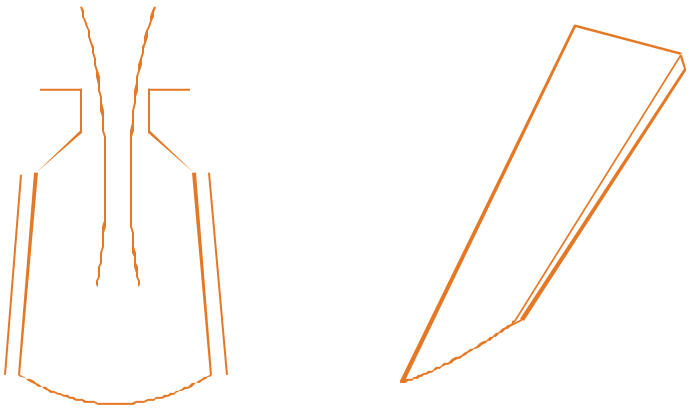
Gambar VI.25b menunjukkan contoh bentuk sebuah isolasi penutup bagian dalan alur stator.

- Penutup luar alur stator (*wedgest*)
  Contoh bentuk penutup bagian luar alur stator *(wedgest)* seperti ditunjukkan pada Gambar VI.25c.
  Dibuat dari bahan isoglas dengan jenis ketebalan sesuai dengan kebutuhan. Penutup bagian luar alur stator berbentuk persegi panjang dengan panjang sesuai dengan panjangnya penutup dalam alur stator.

3) Pemasukan (*Insertion*)
Pemasukan isolasi terdiri dari pemasukan isolasi alur stator, penutup alur stator dan pemasukan belitan kedalam alur stator.

a) Pemasukan isolasi alur stator
Salah satu cara untuk membantu proses masuknya belitan kedalam alur stator dan sekaligus melindungi belitan dari luka akibat goresan digunakan pelindung belitan berupa *Milar* seperti ditunjukkan pada Gambar VI.26a

Milar dilepas kembali setelah semua kawat/belitan masuk kedalam alur stator.



(a) Alur stator dengan milar pelindung

(b) Isoglas runcing untuk menekan belitan

Gambar VI.26
Alat Pelindung dan Alat Bantu Memasukkan Belitan pada Alur

b) Pemasukan belitan ke dalam alur stator

Untuk mempermudah masuknya belitan kedalam alur stator digunakan *isoglas* diruncingkan pada salah satu ujungnya. Gambar VI.26b menunjukkan contoh *isoglas* runcing yang berbentuk persegi panjang runcing pada salah satu ujungnya digunakan menekan belitan agar lebih mudah dan cepat masuk ke dalam alur stator.

Gambar VI.27 menunjukkan contoh karyawan sedang memasukkan isolasi pada alur stator.

Gambar VI.27
Pemasukan Belitan ke dalam Alur Stator

Setelah belitan benar-benar masuk ke dalam alur stator maka segera ditutup dengan penutup dalam alur stator (*Wedget*).

c) Penataan belitan

Perlu juga diketahui bahwa dalam rangka untuk memudahkan proses masuknya belitan lain, maka setiap belitan yang telah berhasil masuk ke dalam alur stator ditata/dirapikan terlebih dahulu.

Selain dipakai untuk memudahkan dalam masuknya belitan lain, penataan juga berfungsi untuk mempemudah pengaturan kepala belitan dan tidak mengganggu proses masuknya rotor ke dalam stator.

Gambar VI.28 menunjukkan bentuk belitan dalam stator dan proses pemvarnisan.

Gambar VI-28
Bentuk Belitan dalam Stator dan Proses Pemvarnisan

d) Pemisahan antar *group*

Untuk mencegah terjadinya hubung singkat antar phasa digunakan pemisah antar *group* dengan bahan separator yang memiliki ketebalan sesuai kebutuhan.

e) Penyambungan (*connection*)

Pekerjaan setelah pemisahan antar *group* adalah penyambungan yang berfungsi untuk menghubungkan antar *group* belitan sehingga menjadi satu hubungan secara lengkap dan sesuai dengan tujuan atau spesifikasi motor induksi.

Setelah pekerjaan penyambungan selesai, maka segera dilakukan (*tapping*), yaitu proses memberikan lapisan isolasi pada titik-titik sambungan.

- Pada penyambungan digunakan las *acitelin* menggunakan bahan tambahan *silver*.
- Kabel penghubung ke terminal digunakan kabel *Nivin*.
- Setelah pengelasan selesai, bagian yang dilas diberikan isolasi dengan bahan *yellow tape.*
- Proses akhir dari penyambungan pada sambungan belitan adalah memberi selongsong asbes pada bagian yang telah dilas.

f) Mengikat belitan (*banding*)

Tujuan pengikatan belitan adalah untuk mencegah pergerakan belitan. Bahan yang dipakai untuk mengikat belitan adalah *Nilon Rope.* Pengikatan dilakukan memutar pada sela-sela kumparan belitan seperti ditunjukkan pada Gambar VI.28.

i. *Tes*

1) Tes nilai resistansi belitan

Tujuan tes nilai resitansi belitan adalah untuk mengetahui nilai resitansi belitan pada setiap phasa, apakah nilainya seimbang dari ketiga phasa atau mendekati sama serta untuk apakah ada bagian yang terputus pada sambungan atau sambungan kurang sempurna.

Untuk memeriksa apakah ada sambungan terputus atau kurang sempurna dapat dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat Avometer dengan posisi selektor Ohmmeter.

Pengukuran besar nilai tahanan resistansi meliputi:

- Pengukuran resistansi belitan phasa U-X
- Pengukuran resistansi belitan phasa V-Y
- Pengukuran resistansi belitan phasa W-Z.

Hasil pengukuran tersebut dimasukkan pada Tabel VI.8 dan selanjutnya dilakukan evaluasi apakah nilai resitansi belitan pada setiap phasa sama nilainya atau mendekati sama.

Apabila nilai resitansi pada masing-masing phasa terjadi perbedaan yang tinggi, maka perlu dilakukan pengecekan apakah jumlah belitan pada tiap phasa berbeda banyak atau terjadi hubung singkat antar belitan dalam phasa yang sama.

Jika ada belitan dalam phasa yang sama putus, maka nilai resitansinya adalah tidak terhingga.

2) Tes nilai Tahanan Isolasi Belitan

Tes nilai tahanan isolasi belitan bertujuan untuk mengetahui nilai tahanan isolasi belitan.

Selain itu juga untuk memeriksa apakah terjadi hubung singkat antara phasa dengan *grounding* atau (pentanahan), hubung singkat antar phasa dengan phasa yang lain,

Untuk memudahkan melakukan evaluasi, hasil dari pengukuran nilai tahanan isolasi dimasukkan pada Tabel VI.8.

Semakin tinggi nilai tahanan isolasi, maka semakin baik kualitas belitan ditinjau dari nilai tahanan isolasi dan jika tahanan isolasi terlalu kecil maka perlu dilakukan pengecekan ulang atau diperbaiki. Demikian pula jika terjadi hubung singkat baik antar phasa maupun antara phasa dengan bodi.

Tes tahanan isolasi belitan meliputi:

- Pengukuran tahanan isolasi belitan antara phasa (U-V,V-W, dan W-U).
- Pengukuran tahanan isolasi belitan antara phasa dengan *ground* (U-G,V-G,dan W-G).

3) Tes *Surge*

Tes Surge adalah tes perbandingan antar phasa belitan motor. Perbandingan tersebut berupa gelombang *sinusoida* antara 2 phasa yang berlainan.

Tes *Surge* hasilnya baik jika 2 gelombang *sinusoida* antara 2 phasa saling berhimpit dan sebaliknya tes *surge* dinyatakan jelek jika 2 gelombang *sinusoida* antara 2 phasa tidak saling berhimpitan.

Langkah-langkah dalam melakukan tes *surge* adalah:

- Sambungan terminal motor dihubung bintang (Z,X dan Y dihungkan).
- Terminal motor (U,V, dan W) di hubungkan pada 3 buah kabel keluar dari osiloskop (merah) dan kabel hitam dari osiloskop (hitam) dihubungkan dengan *body stator*.

4) *Tes* kutub.

Tujuan *tes* kutub adalah mengetahui betul tidaknya sambungan belitan, sehingga jumlah kutub yang timbul sesuai dengan yang diinginkan atau tidak saling mengkonter. Tes kutup dapat dilakukan dengan menggunakan kompas.

Hasil tes kutub dikatakan baik, jika jarum pada kompas menunjuk arah kutub utara dan selatan secara bergantian sesuai dengan jumlah kutub belitan motor yang telah ditentukan.

Cara pemeriksaan kutup adalah sebagai berikut:

- Terminal pada motor induksi dihubung bintang (Z,X, dan Y dihubungkan).
- Terminal motor (U,V, dan W) diambil 2 phasa diantara 3 phasa dan diinjeksi tegangan DC.
- Kompas digerakkan searah jarum jam didekat di atas kepala kumparan, maka kompas bergerak sesuai dengan kutup yang timbul pada belitan stator.

j. Pengovenan ke-2

Pengovenan ke 2 (dua) merupakan proses untuk pemanasan stator motor listrik dengan tujuan supaya *varnis* yang digunakan mudah meresap ke dalam sela-sela belitan stator.

Pengovenan ke 2 dilakukan selama $\pm$30 menit dengan suhu antara $\pm 150^{o} - 180^{o}$C.

k. Pemvarnisan

Pemvarnisan merupakan proses pelapisan belitan dengan cairan lekat yang bertujuan menambah nilai tahanan isolasi belitan dan penahan pergerakan belitan.

Cara yang digunakan dalam pemvanisan adalah: d*ipping impregnation*, yaitu dilakukan pencelupan untuk motor induksi kecil dan penyiraman untuk motor induksi besar yang dilakukan minimal 2 kali.

l. Pengovenan ke-3

Pengovenan ke 3 (tiga) dilakukan dengan tujuan mengeraskan belitan stator setelah divarnis dan berlangsung selama $\pm$ 4-6 jam dengan suhu antara $\pm 105^{o}$C – 180^{o} C.

m. *Cleaning*

Proses *cleaning* adalah merupakan proses untuk pembersihan stator dari sisa-sisa *varnis* setelah melalui pengovenan ke- 3.

n. Tes resistansi, tahanan isolasi, *surge*, dan *high-voltage* belitan

Tes resistansi, tahanan isolasi dan *surge* pada tahap ini merupakan pengecekan ulang setelah melalui proses pengovenan dan *cleaning*.

Tujuan tes *high-voltage* adalah untuk mengetahui kekuatan isolasi belitan dengan injeksi tegangan tinggi. Metode pelasanaan *high-voltage* sama dengan *metode tes surge* belitan.

o. *Assembling*

Assembing merupakan proses pemasangan kembali bagian-bagian motor listrik dengan tujuan agar motor induksi yang telah diperbaiki dalam keadaan utuh (bagian-bagian motor) pada saat penyerahan kepada pelanggan (*customer*).

Dalam pelaksanaan *assembling* diharuskan memperhatikan *dismantling* data karena pada dasarnya *assembling* merupakan kebalikan *dismantling* data.

p. *Tes running*

Tes *running* bertujuan untuk pemeriksaan ulang, karena telah dilakukan pada tahap sebelumnya.

Tes *running* terdiri dari:

- Pengukuran resistansi.
- Pengukuran tahanan isolasi.
- Pengetesan *surge*.
- Pengetesan *High-voltage* belitan.

Tes *running* bertujuan untuk pemeriksaan. Tes *running* merupakan pengukuran tegangan dan arus beban nol.

Pengukuran tegangan dan arus beban nol pada saat *tes running* terdiri dari: pengukuran tegangan *line* antar phasa (R-S, S-T dan T–R).
Untuk memudahkan dalam mengevaluasi, maka data hasil pengukuran dimasukkan pada Tabel VI.8.

Hasil tes tegangan dan arus dikatakan baik jika hasil pengukuran tegangan dan arus nilainya sama atau mendekati sama pada setiap belitan atau phasanya.

q. *Painting*

Painting adalah suatu proses pengecatan kembali motor induksi setelah diperbaiki sesuai dengan warna aslinya dengan tujuan agar tampak bersih, rapi dan serasi dengan lingkungan serta untuk memperjelas *name plat* sehingga pengguna lebih mudah membaca.

Setelah pengecatan selesai dan kering, motor induksi dibungkus plastik untuk ukuran kecil dan untuk motor induksi besar dimasukkan kedalam peti agar tidak lecet pada saat memindahkan atau dikirim.

r. *Delivering*

Delivering merupakan proses dalam persiapan untuk pengiriman atau penyerahan motor kepada konsumen. Didalamnya juga terdapat proses pengepakan dilengkapi data pendukungnya.

Tabel VI.8
Format Data Hasil Pengukuran dan *Tes Running*

Pengukuran resistansi belitan (Ohm/mili Ohm)					
U - X		**V - Y**		**W - Z**	
1,3 Ohm		1,3 Ohm		1,3 Ohm	
Pengukuran tahanan isolasi belitan (Mega Ohm)					
U - V	**V - W**	**W – U**	**U – G**	**V – G**	**W - G**
400	400	400	400	400	400
Tes *Surge*					
Baik			**Buruk**		
High VoltageTes					
Tegangan (KV)			**Arus (μ A)**		
1,76			1,0		
***Running* beban nol**					
R - S	**S - T**	**T - R**	**R**	**S**	**T**
380	380	380	14,9	14,9	14,9

Keterangan:
Kolom berwarna berarti tidak diisi dan merupakan isian yang sudah ditetapkan
Kolom tidak berwarna berarti harus diisi berdasarkan hasil pengukuran atau hasil tes

Tabel VI.9.
Format Proses Pencatatan Tes Kelistrikan

Data Belitan Mesin				
No. Proyek:	Konsumen	Pengambil Data:	Pembelit:	Tanggal:
		Checked By :		Tanggal:
Data Mesin				
Pabrik	*Output* (Kw/Hp)	Putaran(rpm)	Phasa	Frekuensi
Tegangan (Volt)	Arus (A)	Tegangan Sekunder (V)	Arus Sekunder (A)	Isolasi

Tipe Mesin AC	
❑ Mesin induksi/Rotor sangkar	❑ Motor AC 1 phasa
❑ Rotor Slipring/Rotor belit	❑ Generator Sinkron/motor
❑ Variabel kecepatan motor AC	❑ Lainnya ……..

Data Belitan			
Belitan Asli		Belitan baru	
Jumlah Grup		Jumlah Grup	
Jumlah alur		Jumlah alur	
Jumlah kumparan tiap grup		Jumlah kumparan tiap grup	
Langkah kumparan		Langkah kumparan	
Jumlah lekukan (belokan) tiap kumparan		Jumlah lekukan (belokan) tiap kumparan	
Jumlah konduktor		Jumlah konduktor	
Jumlah ikatan tiap konduktor		Jumlah ikatan tiap konduktor	
Ukuran kawat (mm)		Ukuran kawat (mm)	
Ukuran kawat (mm)		Ukuran kawat (mm)	
Panjang kabel sampai ke terminal		Panjang kabel sampai ke terminal	

Bentuk belitan dan diagram sambungan

Bentuk belitan

Bentuk alur dan stator

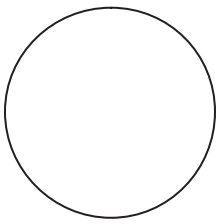
Asesoris Belitan
PTC : ……
Thermal OL : ……
RTD : ……

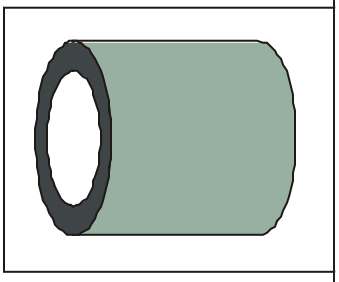
Gambar sambungan

Tabel VI.10
Laporan Tes Kelistrikan Inti Stator

Laporan Tes Laminasi Inti				
No. Proyek.	Konsumen			
Mesin				
Pabrik	Kw/Hp	Rpm	Tegangan Primer	Arus Primer
Nomer Seri	Type/ Model	Hz	Tegangan Skunder	Arus Skekunder
Laporan Tes				
Data Tes				
Tegangan Tes				
Arus Tes				
Jumlah Lekukan Kabel				
Diameter Kabel Tes				
Lama Waktu Tes				
Suhu Rata-Rata Inti				
Verifikasi pengecekan				
Tanggal Tes				
Tes dilakukan oleh				
Disetujui Oleh:				
Bentuk Inti				

ATAS





Bawah

Note : Pendapat mengenai temperatur ruangan
dan temperatur hasil pengukuran

.

Table VI.11
Laporan Waktu & Kinerja Karyawan

Nama :	**NK** :
Posisi :	**Tanggal:**

Tanggal	Nomer Pekerjaan	Waktu		Jam Normal	Kelebihan Waktu	Kinerja Karyawan
		Dari	Sampai			
				Total		

Uraian: .....

.....

Menyetujui, Pengawas, Pembuat Laporan,

(.....) (.....) (.....)

Tabel VI. 12
Laporan Inspeksi

Laporan Penerimaan dan Inspeksi Kelistrikan ***AC Induction Motor***							
Nomer Proyek Sales:	**Nomer Sales:**	**Konsumen:**				**Tanggal Penerimaan:**	
Petugas Verifikasi							
OC Electrical		**Workshop Supervisor**					
Tanggal Inspeksi	Nama/Tanda Tangan	Tanggal Disetujui				Nama/Tanda Tangan	
AC Induction Motor Data							
Produksi/ Perusahaan	KW/HP	Pri. Voltage	Pri. Ampere	Tegangan Sekunder	Arus Sekunder	Rpm	HZ
Nomer Seri	Tipe Mesin (Silahkan silang) Sinkron/Rotor Sangkar/Slipring (Rotor Belit)						
Catatan Pengukuran Kelistrikan							
Tahanan Belitan Ohm-Mili Ohm							
Tes Bagian	**U - X**	**V – Y**	**W - Z**	**Hubungan**	**Suhu Ruangan**	**Kelembaban**	
Stator							
Rotor							

Tahanan Isolasi (Mega Ohm)							
Tes Bagian	U-*Ground*	V-*Ground*	U-V	V - W	W - U	UVW-*Groud*	Tes Tegangan
Stator							
Rotor							

Tes Perbandingan *Surge*			
	Hasi Tes	Puncak (V)	Lingkari (silang) Detail Belitan
Stator	Baik/Belitan Menyatu	V	Hubung Singkat dengan Tanah/Hubung Singkat antar Belitan/Rangkaian Terbuka
Rotor	Baik/Belitan Menyatu	V	Hubung Singkat dengan Tanah/Hubung Singkat antar Belitan/Rangkaian Terbuka

Protection Device & Accecories								
Windings PT 100/Thermistor						*Bearing PT 100*		Panas
Phasa U1	Phasa V1	Phasa W1	Phasa U1	Phasa V2	Phasa W2	NCE	NDE	

Hasil Tes dan Pemeriksaan Fisik Bagian-Bagian Kelistrikan (Sialahkan silang)

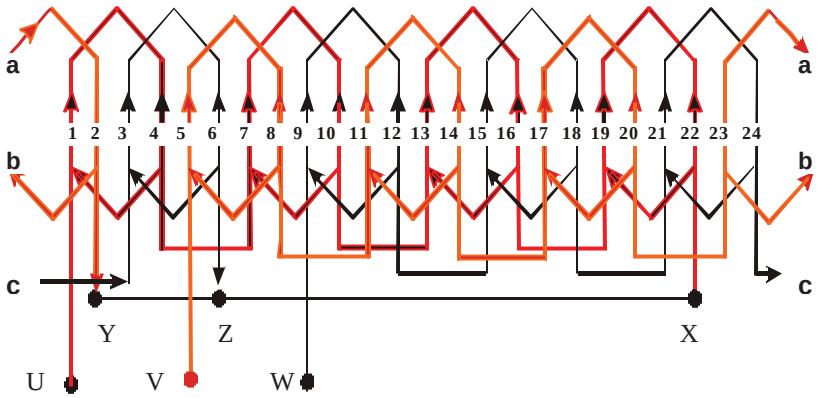
- ❑ Hubung singkat belitan-belitan stator/Rotor
- ❑ Hubung singkat rangkaian phase dengan phase atau belitan-belitan stator/rotor
- ❑ Hubung singkat kumparan stator/belitan
- ❑ Rangkaian terbuka pada belitan stator/rotor
- ❑ Hubung singakt ground dengan *rotor slipring*
- ❑ Hubung singkat rangkaian phase dengan phase *rotor slipring*
- ❑ Penggantianj *stator /rotor windings*
- ❑ Penggantian rotor *slipring/brush holder/carbon brushes*
- ❑ Hubung singkat inti/laminasi inti
- ❑ Terbakar–kumparan luar/beban lebih
- ❑ Terbakar–kumparan luar/panas berlebihan
- ❑ Terbakar – terminal-terminal luar
- ❑ Terbakar – kabel beban luar
- ❑ Terputus/bakeln beban lepas
- ❑ PTC/thermistor terputus
- ❑ pengamanpemanas rusak
- ❑ Kerusakan komponen kelistrikan
- ❑ Lainnya …….

Komentar pemeriksa bagian kelistrikan pada pekerjaan /Pengulangan

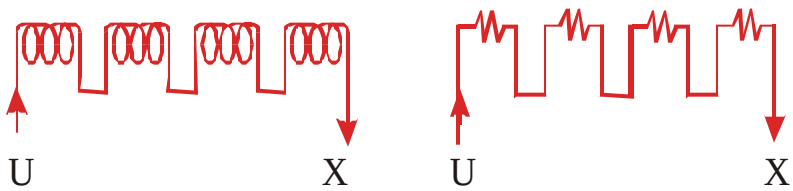
Tabel VI.13
Daftar diameter, penampang, berat dalam kg/km, dan besarnya nilai tahanan pada suhu 15^{o}C Ohm/km

Diameter (mm)	Penampang (mm^2)	Berat Bersih (kg/km)	Berat Dengan Isolasi (kg/km)	Tahanan pada 15^{o}C(Ohm)
0,10	0,0078	0,070	0,11	2230,00
0,15	0,0176	0,157	0,21	990,00
0,20	0,0314	0,280	0,35	557,00
0,25	0,0490	0,437	0,54	556,00
0,30	0,0706	0,629	0,73	247,00
0,35	0,0962	0,856	1,02	182,00
0,40	0,1257	1,12	1,30	140,00
0,45	0,1590	1,42	1,60	110,00
0,50	0,1964	1,75	1,90	90,00
0,55	0,2376	2,12	2,30	73,00
0,60	0,2827	2,52	2,70	62,00
0,65	0,3318	2,95	3,30	55,00
0,70	0,3848	3,43	3,80	46,00
0,75	0,4418	3,93	4,30	40,00
0,80	0,5027	4,47	4,80	54,80
0,85	0,5675	5,05	5,45	30,80
0,90	0,6362	5,66	6,10	27,50
0,95	0,7088	6,31	6,70	24,70
1,00	0,8692	7,00	7,40	22,20
1,05	0,8692	7,71	8,20	20,20
1,10	0,9503	8,46	9,00	18,40
1,15	1,387	9,24	9,70	16,90
1,20	1,131	10,07	10,50	15,40
1,25	1,227	10,92	11,50	14,30
1,30	1,327	11,81	12,60	13,20
1,35	1,431	12,74	13,50	12,20
1,40	1,539	13,70	14,60	11,30
1,45	1,651	14,70	15,60	10,50
1,50	1,767	15,73	16,70	9,90
1,55	1,887	16,79	17,70	9,30
1,60	2,011	17,90	18,80	8,70
1,65	2,138	19,03	19,80	8,14
1,70	2,270	20,20	20,90	7,71
1,75	2,409	21,40	22,30	7,28
1,80	21,40	22,60	23,60	6,87
1,85	2,688	23,80	24,80	6,51
1,90	2,835	25,20	26,20	6,17
1,95	2,982	26,80	27,70	5,79
2,00	3,142	28,00	28,90	5,56
2,10	3,464	30,80	32,10	5,05
2,20	3,801	33,80	35,30	4,60
2,30	4,155	37,00	38,40	4,21
2,40	4,524	40,30	41,60	3,87
2,50	4,909	43,70	44,80	3,56
2,60	5,309	47,30	48,70	`3,29
2,70	5,726	51,00	52,60	3,05
2,80	6,158	54,80	56,50	2,84
2,90	6,605	59,80	60,30	2,65
3,00	7,069	62,90	64,20	2,47

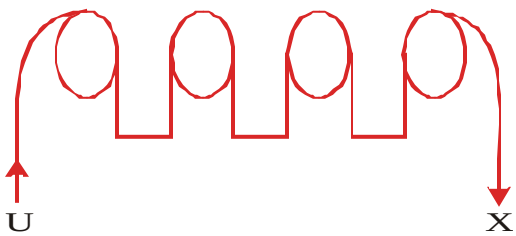
2. Contoh Belitan Motor Listrik 3 Phasa *double Speed*



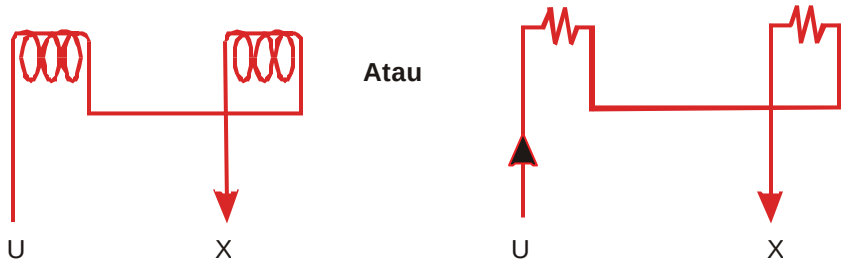
Gambar VI.29
Langkah belitan motor induksi 3 phasa untuk *crane double speed* 720 rpm dan 3320 rpm star dalam



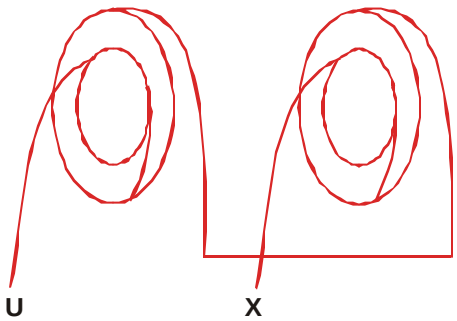
a. Skema belitan untuk putaran 720 rpm dari Gambar VI.29



b. Rangkaian seri atas-bawah belitan 720 rpm dari Gambar VI.29

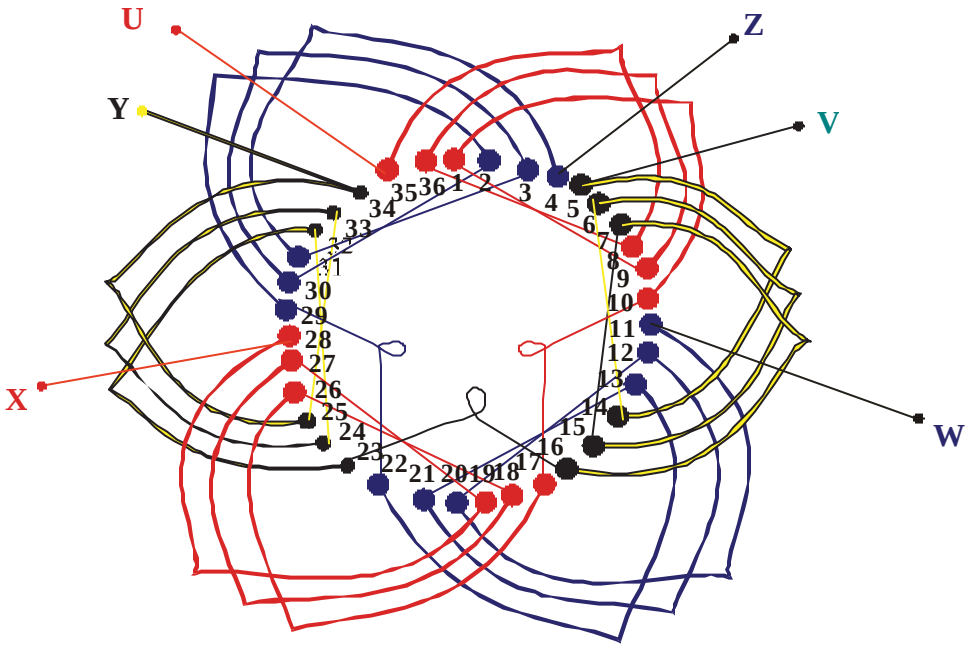


b. Skema belitan untuk putaran 3320 rpm dari Gambar VI.29

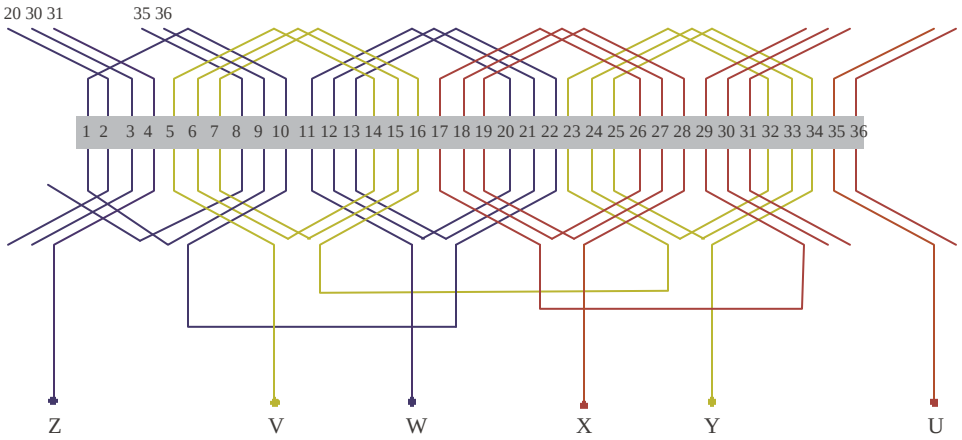


c. Rangkaian belitan atas-atas putaran 3320 rpm dari Gambar VI.29

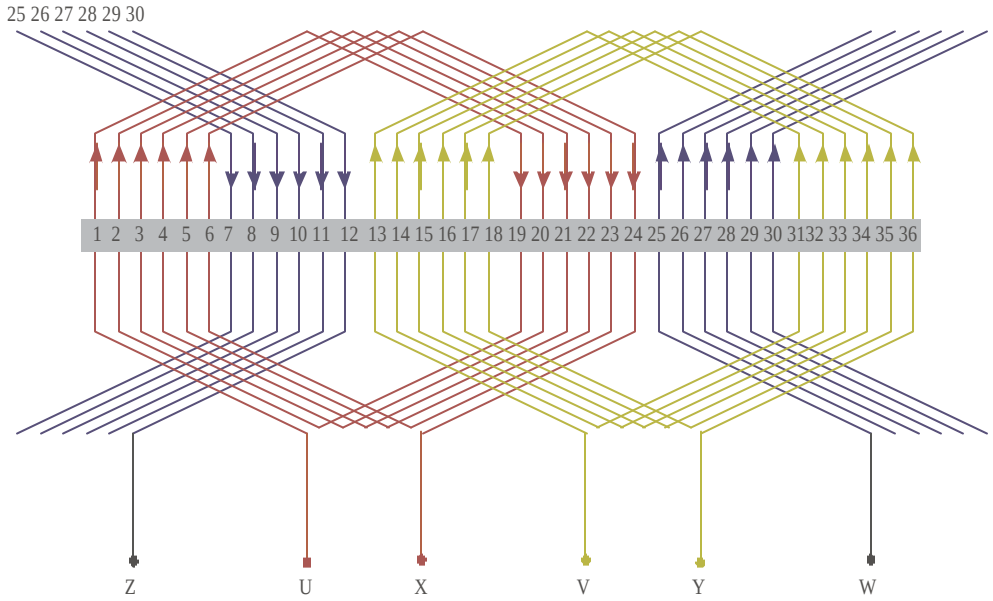
Gambar VI.30
Skema dan rangkaian seri atas-bawah, atas-atas motor induksi 3 phasa *crane double speed* 720 dan 3320 rpm



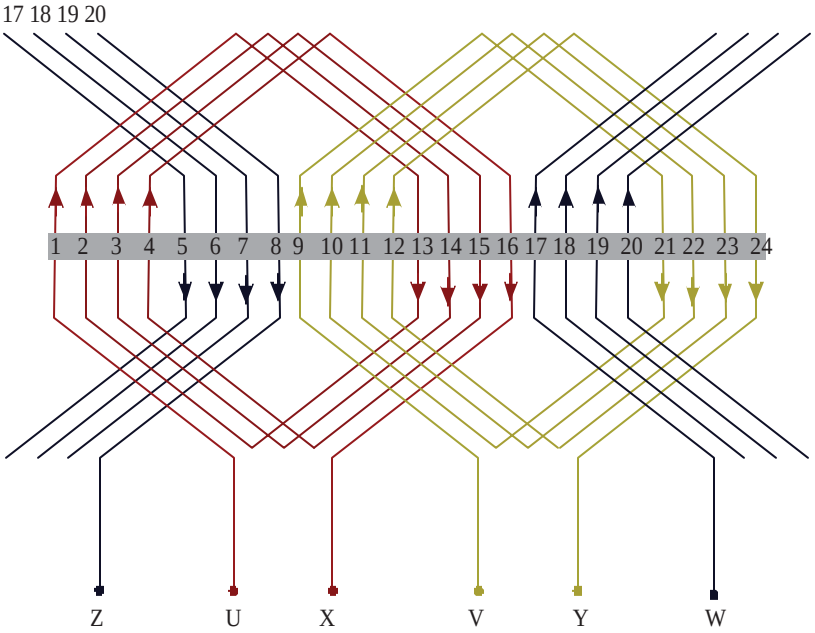
Gambar VI.31
Skema Langkah Belitan Motor Listrik 3 Phasa 36 Alur 1500 RPM



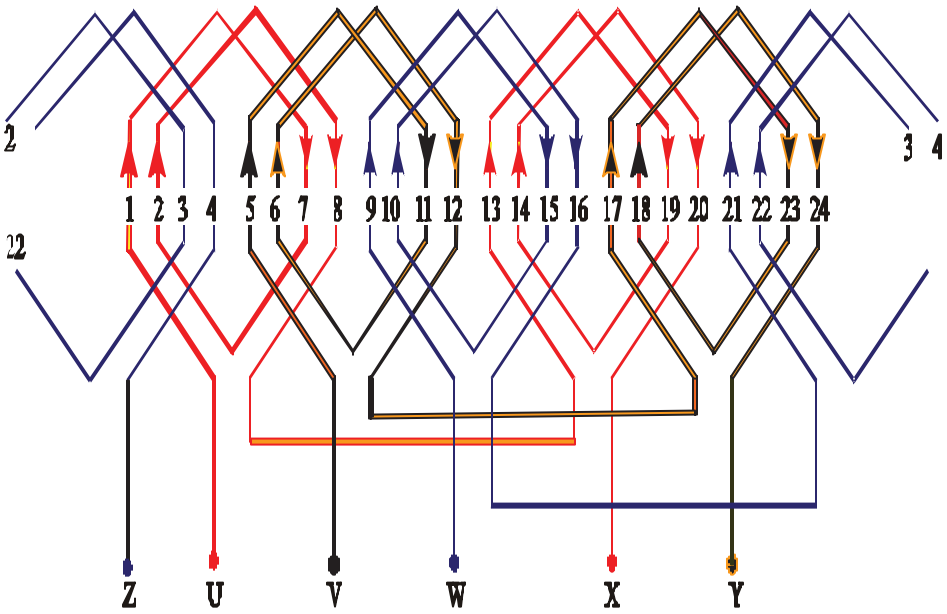
Gambar VI.32
Belitan Motor AC 3 Phasa 36 Alur 1500 RPM



Gambar VI.33
Belitan Motor Induksi Phasa 36 Alur 3000 RPM



Gambar VI.34
Belitan Motor Induksi 3 Phasa 24 Alur 3000 RPM



Gambar VI.35
Langkah Belitan Motor Induksi 3 Phasa 24 Alur 1500 RPM

G. Latihan

1. Lakukan pemeliharaan dan perbaikan generator AC tiga phasa secara berkelompok. (waktu 8 x 50 menit)
2. Lakukan pemeliharaan dan perbaikan motor listrik arus bolak-balik secara berkelompok (waktu 8 x 50 menit)

H. Tugas

Buat laporan dari hasi latihan anda di sekolah dan diskusikan bersama-sama teman-teman dengan bimbingan guru

BAB VII
PEMELIHARAAN SUMBER ARUS SEARAH

A. Pemakaian Baterai Akumulator dalam Pusat Pembangkit Tenaga Listrik.

Di dalam pusat tenaga listrik perlu pemasangan baterai akumulator. Baterai akumulator dapat dijumpai dalam berbagai macam bentuk keperluan antara lain:

1. Pada pusat pembangkit tenaga listrik arus searah, untuk bekerja bersama-sama dengan generator memberikan arus pada jaringan (*line*), jika pemakaian arus sangat kecil, maka baterai akumulator dapat diisi oleh generator DC, jika pemakaian arus pada jaringan (*line*) sedang mencapai maksimum, maka baterai akumulator dapat turut serta memberikan arus kepada jaringan.

   Untuk jaringan yang tidak besar penggunaannya, maka dapat pula diatur sedemikian rupa sehingga pada waktu tengah malam, generator dapat diberhenti-kan dan selanjutnya pemberian arus kepada jaringan (*line*) dilakukan baterai akumulator. Baterai akumulator harus memiliki kemampuan atau kapasitas yang besar sekali guna memberikan arus kepada jaringan yang berjam–jam lamanya. Oleh karena itu pada baterai akumulator dinamakan kapasitas baterai akumulator.

2. Di dalam pusat pembangkit tenaga listrik arus putar, baterai digunakan untuk penerangan darurat atau juga digunakan untuk mengatur buka dan menutup relai, dan untuk pemberian arus lampu sinyal. Kadang-kadang baterai akumulator juga digunakan untuk cadangan penguatan dari generator.

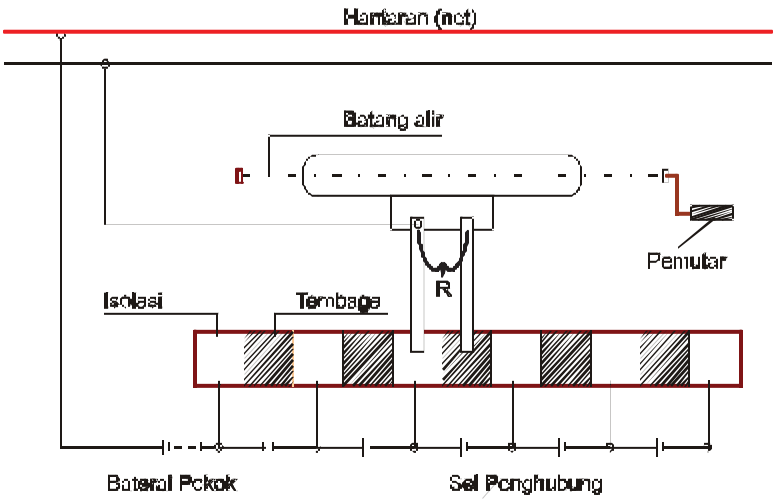
3. Di dalam sentral telepon, baterai akumulator sangat di perlukan.

4. Di dalam pusat-pusat yang membangkitkan tenaga listrik untuk keperluan traksi. Pada tempat–tempat yang pemakaian arusnya tidak konstan naik turunnya, pemakaian arus sangat besar sekali seperti di pelabuhan–pelabuhan dan di pabrik-pabrik besar.

Baterai akumulator untuk keperluan terakhir dinamakan *Buffer Batterey*. Dalam suatu pusat pembangkit tenaga listrik, pada saat pemutaran saklar sel-sel selalu diusahakan tidak terjadi apa-apa. Tentu saja harus dijaga jangan sampai memutar saklar sel dan berhenti dalam keadaan suatu sel diapit oleh kontak-kontak a dan b dan diusahakan agar kontak b jatuh pada lapisan isolasi. Dari uraian di atas, jelas bahwa dengan dipasangnya saklar sel, maka baterai akumulator utama atau pokok dapat ditambah lagi beberapa sel sesuai dengan yang di kehendaki.

Gambar VII.1 menunjukkan kontruksi sebuah saklar sel yang berbentuk lurus. Kontak gesernya dengan bagian–bagian a dan b dapat bergerak berdasarkan batang yang berulir. Batang berulir dapat diputar pada ujungnya dengan tenaga tangan atau secara mekanik oleh sebuah motor listrik. Dengan dipakainya motor listrik untuk memutar batang ulir, maka mengaturnya tegangan baterai akumulator adalah dengan menambah beberapa sel yang diperlukan, dapat dilakukan secara otomatis dengan bantuan suatu relai.

Saklar sel yang digunakan adalah saklar sel tunggal. Keadaan yang paling sederhana adalah adanya hubungan jajar dari baterai akumulator dengan sebuah generator *shunt*, seperti ditunjukkan pada Gambar II.2. Setiap sel memiliki tegangan antara 1,83 Volt dan 2,75 Volt yaitu 1,83 Volt, jika dalam kondisi mengeluarkan arus listrik dan 2,75 Volt jika dalam keadaan terisi penuh.



Gambar VII.1
Konstruksi dari Sebuah Saklar Sel Berbentuk Lurus

Tegangan maksimum sebesar 2,75 Volt segera turun sampai 2,05 Volt jika sel dipakai. Berhubungan dengan hal tersebut itu, maka angka-angka tersebut di atas akan dipakai untuk dasar perhitungan dalam menentukan banyaknya sel–sel yang diperlukan untuk di pasang pada pusat pembangkit tenaga listrik.

Sebagai contoh, harus adanya tegangan yang konstan 220 Volt. Jika sel–sel itu semuanya dalam keadaan telah mengeluarkan muatan atau arus listrik, maka paling sedikit jumlah sel yang harus ada adalah:

$$\text{Jumlah sel} = \frac{V_{konstan}}{V_{keluar\,arus}} \qquad (7\text{-}1)$$

$$\frac{220}{1{,}83} = 120\,\text{sel}$$

Jika keadaan beban pada jaringan sedang mencapai maksimum, maka tegangan yang 220 Volt tersebut di atas biasanya perlu dinaikkan dengan 5% menjadi 230 Volt. Penambahan 5% dimaksudkan untuk mengimbangi kerugian pada jaringan.

Dengan demikian maka banyaknya sel-sel yang diperlukan selama beban mencapai maksimum adalah:

$$\frac{230}{1{,}83} = 126\,\text{sel}$$

Angka 126 sel adalah jumlah sel dari sebuah hubungan baterai akumulator. Jumlah sel-sel sebanyak 120 buah adalah pada beban dalam keadaan normal atau jumlah sel sebanyak 126 buah. Dalam keadaan beban mencapai maksimum, maka jika sel-sel telah terisi penuh tegangan yang dibangkitkan adalah sebesar: 120 x 2,75 volt = 330 Volt atau 126 x 2,75 Volt = 346,5 Volt.

Generator yang bekerja jajar atau pararel dengan baterai akumulator dan mempunyai tugas mengisi baterai akumulator harus dapat memberi tegangan tersebut. Untuk menghitung jumlah sel-sel dari baterai akumulator utama atau pokok digunakan dasar perhitungan, yakni tegangan sebesar 220 serta tegangan 2.05 Volt. Jadi banyaknya sel-sel dari baterai akumulator pokok adalah:

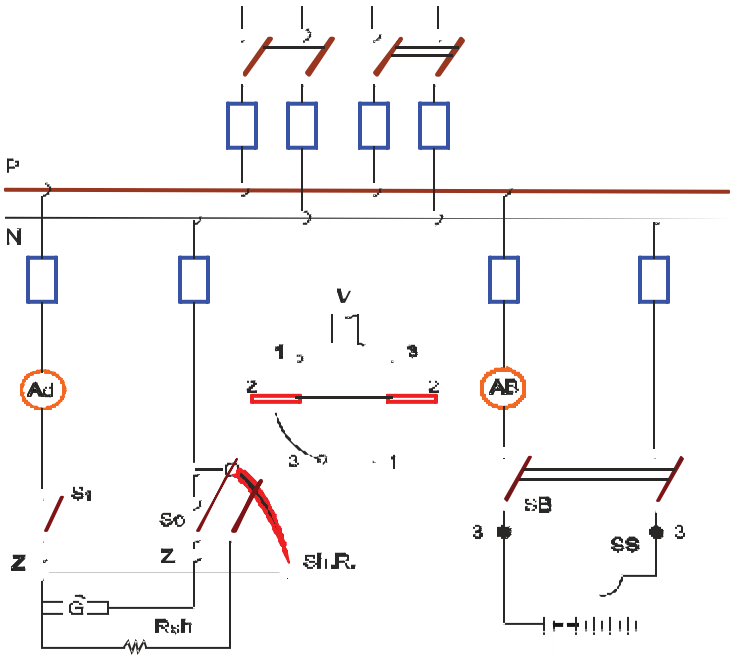
$$\frac{220}{2.05} = 107\ sel$$

Telah dijelaskan bahwa banyaknya sel-sel dari seluruh baterai akumulator adalah 126 sel, sehingga banyak sel hubungan menjadi 126-107=19 buah. Jika akan mengisi baterai akumulator, maka baterai

akumulator dan generator harus dihubungkan jajar terlebih dahulu, sehingga baterai akumulator tidak mengeluarkan kuat arus. Kemudian saklar SN yang dihubungkan langsung dengan jaringan harus diputus, sampai tidak ada sama sekali tidak ada arus yang mengalir ke jaringan dan kondisi ini menganggu adanya pemakaian arus pada jaringan, dan memang ini merupakan ciri dari suatu pusat pembangkitan arus searah bekerja dengan baterai akumulator bersama-sama dengan sebuah generator.

Selanjutnya tegangan dari generator mulai dinaikan dengan mengatur tahanan shunt dan bersamaan secara berturut-turut sel-sel dihubungkan sehingga akhirnya saklar SS berada di sebelah kanan penuh.Tegangan dari generator harus diatur sedemikian rupa sehingga baterai akumulator menerima arus pengisisan sesuai dengan ketentuan untuk sel. Pada waktu digunakan, baterai mengeluarkan arus pada jaringan, sehingga sesuai dari skema bahwa sel yang paling akhir kanan adalah sel yang paling akhir dipakai.

Dengan sendirinya waktu baterai akumulator diisi lagi, maka sel-sel tersebut akan segera terisi lebih dahulu dari pada sel-sel yang berada di sebelah kirinya dan dengan terisinya lebih dahulu sel yang paling kanan, maka saklar sel SS berangsur-angsur digeser ke kiri seperti ditunjukkan pada Gambar VII.2.



Gambar VII.2
Hubungan Jajar dari Baterai Akumulator dan Sebuah Generator Shunt

Jika tegangan pada generator diturunkan dulu, dengan mengatur pengaturan *shunt* atau *shunt* regulator, secara pelan–pelan sehingga pengisian arus sampai nol, dan dapat dilihat pada amper-meter yang ada pada baterai akumulator dan setelah penuh saklar baterai akumulator dilepas.

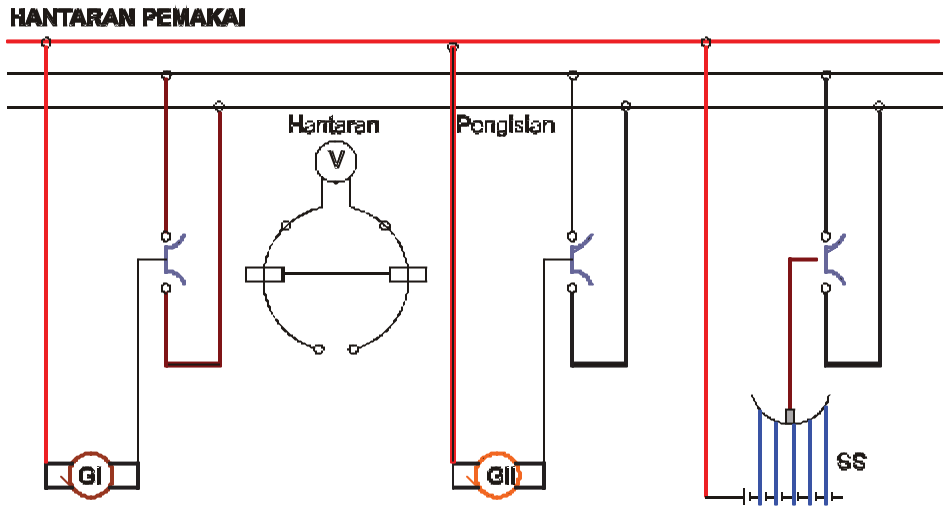
Jika cara menurunkan tegangan generator terlalu cepat, maka ada kemungkinan baterai akumulator mengeluar-kan arus ke generator, sehingga otomat pembalik arus S_o segera jatuh. Jika selain baterai akumulator tidak hanya terdapat satu generator saja tetapi dua atau lebih, maka tidak akan terjadi gangguan pemakaian arus kepada jaringan saat pengisian baterai akumulator sedang bekerja.

Dalam keadaan demikian salah satu dari generator memberi arus kepada jaringan dan lainnya untuk pengisian baterai akumulator.

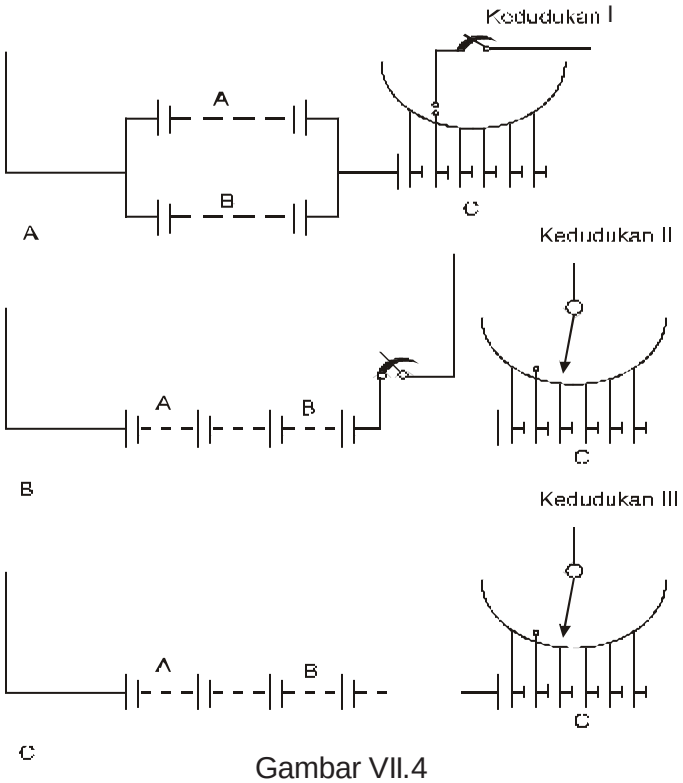
Untuk melakukan hal tersebut, diperlukan adanya hantaran (*rail*) pengisian tersendiri seperti ditunjukkan pada Gambar VII.3. Dengan menggunakan Ohmsaklar, maka tiap generator dihubungkan dengan hantaran pengisian atau hantaran pemakaian.
Selama baterai akumulator itu diisi terbagi dalam beberapa bagian seperti ditunjukkan pada Gambar VII.4 a, b dan c. Pada permulaan pengisian bagian a dan b saling dihubungkan jajar dan seri dengan bagian c.

Bagian c menerima arus pengisian penuh, sedang bagian a dan b masing-masing menerima setengahnya. Pada bagian c itu saklar sel di pasang, oleh karena itu bagian c akan terisi terlebih dahulu. Setelah terisi maka diputuskan dari hubungannya dengan seluruh baterai akumulator. Kemudian bagian c diputus, maka bagian a dan b yang sebelumnya saling berhubungan jajar, selanjutnya tersambung seri untuk menerima arus pengisian sampai penuh. Besar kecilnya arus pengisian dapat diatur dengan tahanan muka.

Setelah proses pengisian seluruhnya selesai, baterai akumulator dipakai mengisi arus ke jaringan, maka tahanan muka tidak digunakan. Cara melakukan hubungan antara a, b, dan c seperti pada Gambar VII.4 a, b dan c dilakukan dengan saklar mika saklar.



Gambar VII.3
Hubungan Jajar Baterai Akumulator dengan Dua Buah Generator Shunt dan Memakai Tiga Hantaran



Gambar VII.4
Pengisisan Baterai Akumulator Terbagi dalam Beberapa Bagian

Gambar VII.5 menunjukkan skema pemasangan mika saklar yang memiliki tiga kedudukan, yaitu kedudukan satu, dua dan tiga sesuai dengan apa yang telah ditunjukkan pada skema Gambar VII.4 a,b, dan c.

Pada Gambar VII.5 tampak bahwa pada waktu mika saklar tersebut dalam kedudukan dua, yaitu kedudukan sedang pengisian. Karena baterai akumulator selama diisi tidak dapat memberikan arus pada jaringan, maka digunakan saklar sel tunggal.

Pemberian arus pada jaringan selama pengisian berjalan dapat dilakukan, yaitu dengan mempergunakan saklar sel berganda. Gambar VII.6 menunjukkan skema dari pusat pembangkitan tenaga listrik arus searah yang memakai saklar sel berganda.

Dengan saklar berganda memberikan gambaran bahwa susunan saklar terdiri dari dua buah saklar, yaitu saklar bagian atas (SSB atas) dan saklar sel bagian bawah (SSB bawah).

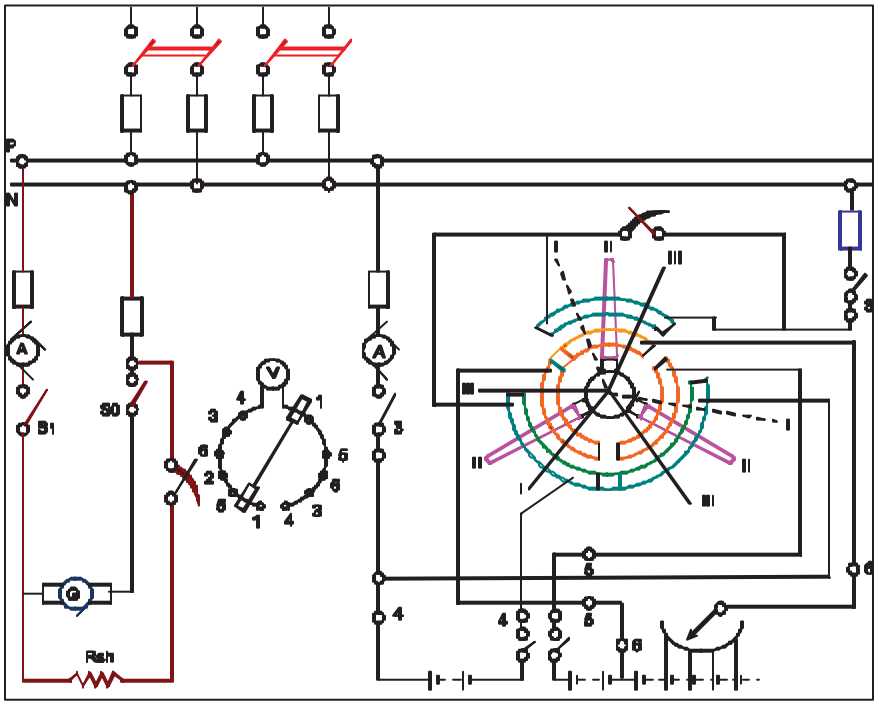
1. Jika hendak melakukan pengisisan digunakan SSB sebelah bawah dan untuk pengosongan digunakan SSB sebelah atas.
2. Kontak–kontak dari SBB bawah berada pada kontak yang sama dengan kontak dari SSB atas.
3. Tegangan–tegangan dari generator adalah sama dengan tegangan dari baterai akumulator, yang dapat dilihat pada Voltmeter (V) yang dilengkapi dengan Ohmsaklar.

Pada Gambar VII.6 terdapat saklar S_o. Saklar ini merupakan suatu Omsaklar yang tidak mempunyai kontak pemutusan dan dapat dihubungkan pada hantaran jaringan positip dengan saklar sel berganda melakukan pemutusan kontak-kontak bagian bawah, dengan tidak adanya saklar S_2 itu maka tegangan dari generator G yang ada pada jaringan (line) atau hantaran bagian positip dapat dipindahkan dari hantaran positip ke baterai akumulator dengan SSB bagian bawah.

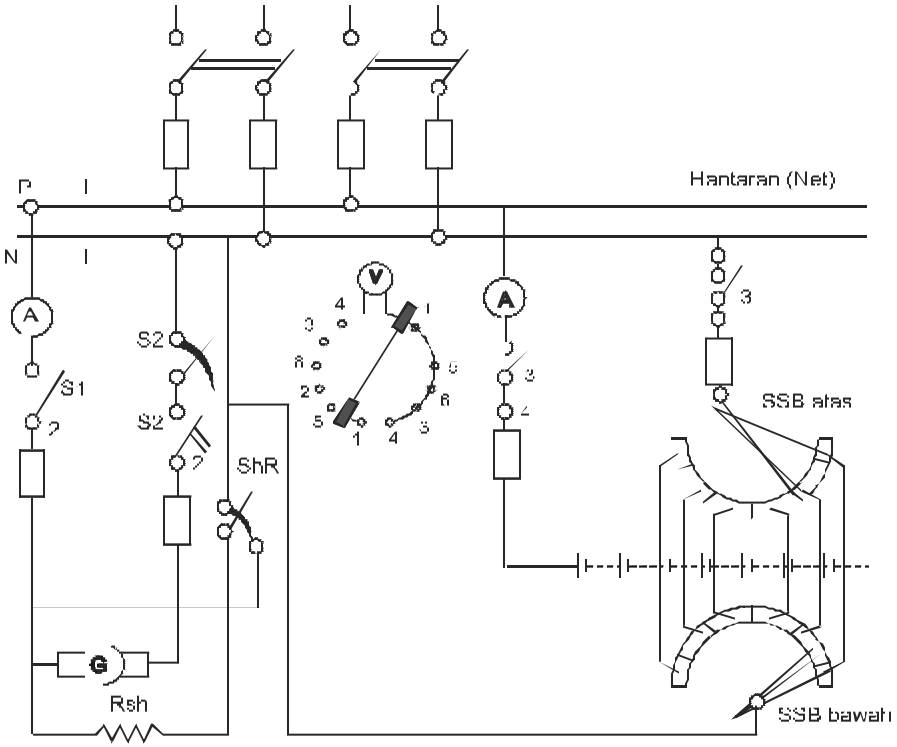
Tetapi sebelum hal ini dikerjakan, lebih dahulu saklar SSB bagian atas dan SSB bawah harus berada pada kontak yang sama, tegangan pada jepitan positip dari sel yang pertama. Jika langkah ini dilupakan, maka sebuah sel atau beberapa sel yang kebetulan diatur oleh kontak–kontaknya tiap SSB akan mendapat hubungan singkat, dan tegangan dari generator harus diatur supaya sama dengan tegangan dari baterai akumulator.

Saklar So diputar dengan maksud klem SSB bagian bawah tersambung dengan hantaran positip atau jepitan positip dari generator. Dalam keadaan di atas, generator dan baterai akumulator bekerja jajar bersama-

sama pada jaringan. Generator mengeluarkan arus ke line dan baterai akumulator. Dengan mengatur shunt regulator (S_hR), berarti akan timbul penurunan tegangan dari generator G. Pengeluaran arus dari generator ke jaringan diperbesar juga, mengakibatkan pengosongan arus dari baterai akumulator ke jaringan dapat diperkecil.



Gambar VII.5
Skema Pemasangan Mika Saklar



Gambar VII.6
Pusat Tenaga Listrik Arus Searah yang Memakai Saklar Sel Berganda

Dengan mengatur tahanan S_hR pada hakekatnya adalah memindahkan beban yang sebelumnya dipikul oleh baterai akumulator, tetapi sekarang dipikul generator. Pada saat melakukan pengaturan tahanan pengatur shunt (S_hR), baterai akumulator diharuskan tidak lagi mengeluarkan arus ke jaringan. Hal ini dapat dilihat pada amper–meter (A), jika amperemeter ini menunjukkan angka nol berarti seluruh beban jaringan yang ada pada baterai akumulator telah dipindahkan semua pada generator seperti ditunjukkan pada Gambar VII.6.

Jika sekarang tegangan dari generator dari generator dinaikkan lagi, maka akan ada arus yang mengalir dari jepitan (klem) positip pada generator melalui saklar S_0 dan SSB yang bawah (jepitan positip dari baterai akumulator). Arus ini akan mengisi baterai akumulator dan keluar dari jepitan negatif baterai akumulator untuk kembali ke generator melalui jaringan (line) atau hantaran negatif dari SSB yang bawah dapat diputarkan ke kanan menurut pada keadaan skema, dengan demikian maka sel-sel yang ada pada sebelah kanan juga ikut terisi.

Sel–sel yang terletak diantara SSB atas dan SSB bawah akan dialiri oleh seluruh arus dari generator ke jaringan, sedangkan yang terletak di luarnya kontak-kontak akan diisi oleh sebagian dari arus tersebut. Pada kontak SSB atas, arus tersebut bercabang dalam dua bagian, yaitu sebagian mengisi sel–sel dari baterai akumulator dan sebagian lagi mengalir ke jaringan.

Keuntungan penggunaan saklar sel berganda adalah pemberian arus ke jaringan (line) dapat terus berlangsung selama pengisian baterai akumulator. Pada saat pengisian baterai akumulator sedang berlangsung membawa konsekuensi keharusan bahwa tegangan generator mengalir ke jaringan, maka dipergunakan SSB atas.

Dengan dilepaskannya beberapa sel hubungan dari SSB atas, maka tegangan pada jaringan selama pengisian dapat diatur konstan, walaupun tegangan pada generator makin dinaikkan.

Dengan menggunakan saklar sel berganda tidak akan ada gangguan pada jaringan, yaitu berupa pemutusan aliran arus dan naiknya tegangan.

Pada pemakaian saklar sel berganda diperlukan lebih banyak sel–sel hubungan dari pada yang diperlukan pada pemakaian saklar sel tunggal. Telah dijelaskan bahwa tegangan generator selama pengisian harus dinaikkan. Contoh dengan suatu jaringan (line) yang bertegangan 220 Volt.

Dengan menggunakan dasar perhitungan bahwa tiap sel kosong mempunyai GGL 1,83 Volt dan setelah diisi mempunyai GGL sebesar 2, 75 Volt, maka dapat dihitung jumlahnya sel paling banyak adalah:

$$\frac{220}{1{,}83}\ \text{Volt} = 122\ \text{buah}$$

dan paling sedikit adalah:

$$\frac{220}{2{,}75}\ \text{Volt} = 80\ \text{buah}$$

Jadi diperlukan sel hubungan sebanyak:

122 – 80 = 42 buah

Untuk dapat mengisi semua sel-sel dari baterai akumulator maka generator itu harus dapat dinaikkan tegangannya dari 220 Volt sampai sebesar 122 x 2,75 = 335,5 Volt (berdasarkan hasil perhitungan teoritis).

Tetapi kenyataannya adalah tegangan maksimum sebesar 335,5 Volt tidak akan diperlukan karena pada waktunya mendekati akhir pengisian dan sebagian besar dari sel–sel hubungan sudah terisi penuh.

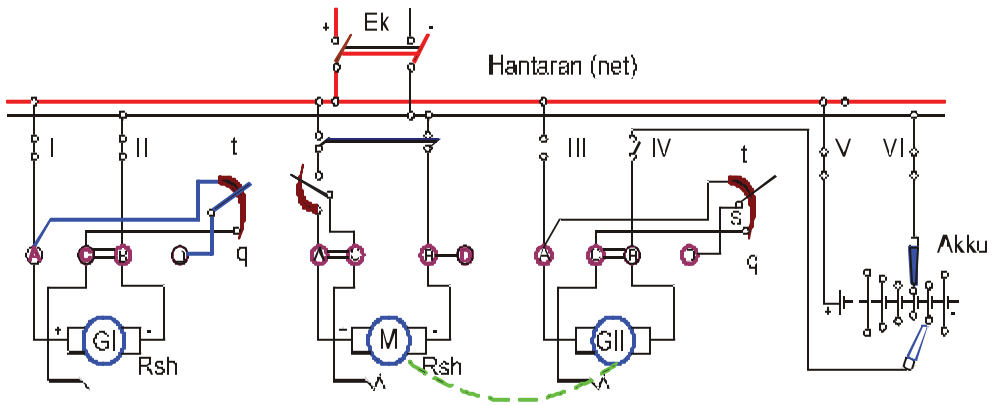
Dalam keadaan demikian itu praktis dapat dianggap setengah banyaknya sel–sel hubungan sudah terisi penuh. Jadi tegangan perlu dinaikkan sampai :

(80+½ x 42) = 277,5 Volt

dibulatkan menjadi 280 Volt.

Jika diperhitungkan juga kerugian–keruginan tegangan dalam sel–sel. Dinaikkannya tegangan dari generator sebesar 220 Volt hingga 280 Volt berakibat rendemen generator akan rendah.

Keadaan tersebut untuk suatu instalasi kecil tidak begitu penting, untuk instalasi besar harus pula dicarikan jalan agar tegangan dari generator tidak perlu dinaikkan tetapi tetap konstan.



Gambar VII.7
Opjager

Pada Gambar VII.7 ditunjukkan suatu pusat tenaga listrik arus searah yang terdiri dari sebuah generator G dan sebuah motor yang dijalankan oleh suatu generator yang dikenal dengan nama "*Opjager*". *Opjager* terdiri dari sebuah generator serta baterai akumulator (B) dan generator G_1 adalah sebagai mesin pokok yang membangkitkan tenaga listrik guna keperluan jaringan.

Skema tersebut banyak digunakan pada instalasi–instalasi yang besar. Tenaga pokok dari generator G_1 dan besar tegangan yang konstan. Untuk menaikkan tegangan yang konstan dari generator G_1, maka selama pengisian diperlukan tegangan dari *Opjager* G_2. *Opjager* G_2 selama pelaksanaan pengisian akan tersambung seri dengan generator pokok. Dengan mengatur pada shunt regulator dari Opjager, maka didapatkan naiknya tegangan yang di perlukan guna pengisian sehingga keadaan tegangan dari generator pokok dapat konstan dan tidak perlu dinaikkan. Pada jenis ini juga menggunakan saklar sel ganda (SSB).

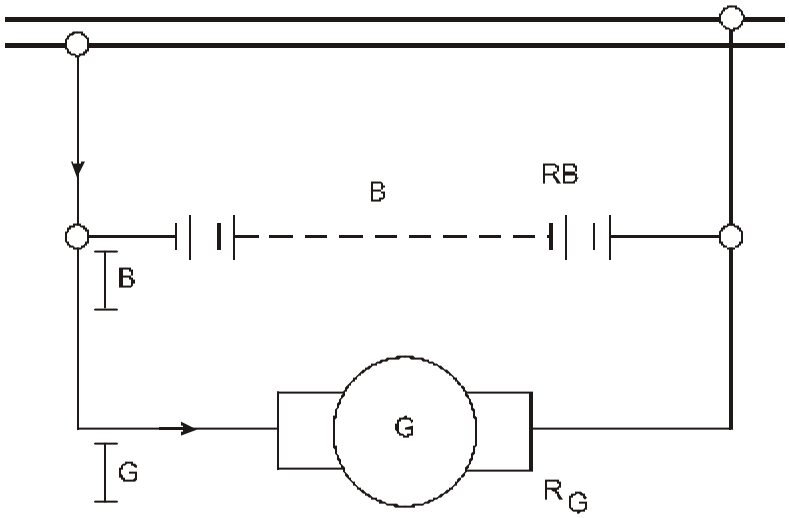
Selanjutnya dijelaskan pemakaian baterai akumulaor sebagai baterai buffer. Apakah perbedaaanya antara tugas kapasitas baterai dengan *buffer* baterai. Seperti telah diketahui bahwa kapasitasnya harus mempunyai kapasitas yang besar untuk dapat memberikan arus kepada jaringan selama berjam–jam. Fungsi buffer baterai adalah pada waktu tertentu buffer baterai harus dapat memberikan arus besar sekali dalam waktu yang singkat. Sehingga buffer baterai dipakai pada jaringan yang jenis bebannya berupa motor listrik untuk keperluan traksi atau keperluan alat pengangkat, seperti takel listrik, kren listrik dan sebagainya.

Beban-beban tersebut sifatnya terputus-putus dan mendadak akibat bertambah atau turunnya beban. Supaya generator yang sedang bekerja memberikan arus kepada jaringan dengan teratur, maka dipasanglah baterai akumulator yang dapat pula mengatasi pertambahan beban yang datangnya mendadak dari jaringan (line). Pada saat beban berkurang dari pada beban normal, baterai akumulator diisi.
Skema sederhana dari sebuah generator dengan baterai buffer ditunjukkan pada Gambar VII.8. Dari gambar tersebut, dapat dipelajari jalannya arus beban berasal dari generator dan dari baterai akumulator. Pada generator dan baterai akumulator bekerja jajar pada jaringan, besarnya arus jaringan dinyatakan dengan I (Amper). Sedangkan besarnya arus yang berasal dari baterai akumulator dinyatakan I_b dalam satuan Ampere dan arus yang berasal dari generator I_G dalam satuan Amper, maka dapat dituliskan:

$$I = I_G + I_B \qquad (7\text{-}2)$$

Keadaan demikian terjadi jika generator dan baterai akumulator secara bersama-sama memberikan arus kepada seluruh jaringan. Misalkan besaran pada generator dan baterai (SSB). Tegangan dari generator E_G, tahanan dalam generator R_G dan tegangan pada baterai dari kabel E_B, dan tahanan dari baterai R_B

Keadaan tegangan pada jaringan sebesar E_N Volt berlaku untuk generator dan baterainya. Jadi dalam keadaan ini $I_B = 0$ dan $E_K = E_B$. Berarti bahwa pemakaian arus pada jaringan dipikul oleh generator itu sendiri. Apakah yang terjadi bila beban pada jaringan itu mendadak bertambah.



Gambar VII.8
Skema Sebuah Generator dengan Baterai Buffer

Kalau beban bertambah, berarti tahanan luarnya menjadi berkurang dan karena tahanan dalam dari rangkaian generator dan jaringan menjadi berkurang, maka seketika itu juga besarnya arus akan bertambah pula.

Misalkan keadaan GGL dari generator konstan, yaitu sebesar E_G, maka berdasarkan $E_G = E_K + I_G \cdot R_G$ akan turun karena adanya kerugian tegangan sebesar $I_G \cdot R_G$ bertambah besar.

Turunnya tegangan jepit (klem) generator berarti juga turunnya tegangan jaringan, dengan demikian maka baterai akumulator turut serta memberikan arus kepada jaringan. Berapa bagian dari arus jaringan yang diberikan oleh generator dan berapa bagian arus untuk jaringan yang diberikan baterai akumulator. Misalkan tegangan jaringan sebesar E_N atau E_K turun dengan suatu harga dE_K, maka tegangan tersebut akan menjadi $E_K – dE_K$. Besarnya arus generator yang terjadi sebesar I_G, maka:

$$G = \frac{E_G - E_K}{R_G} \qquad (7\text{-}3)$$

harga ini akan menjadi

$$I_G + dI_G = \frac{EG - (E_K - dE_K)}{R_G} \qquad (7\text{-}4)$$

dI_G arus yang berasal dari generator.

Adapun besarnya arus tambahan adalah:

$$(I_G + dI_G) - I_G \qquad (7\text{-}5)$$

$$= \frac{E_G - (E_K - dE_K)}{R_G} - \frac{E_G - E_K}{R_G}$$

$$dI_G = \frac{E_G - E_K + dE_K - E_G + E_K}{R_G}$$

$$dI_G = \frac{dE_K}{R_G}$$

Jadi besarnya arus yang berasal dari baterai akumulator adalah:

$$dI_B = \frac{E_B - E_K + dE_K}{R_B} \qquad (7\text{-}6)$$

karena $E_B = E_K$

$$dI_B = \frac{dE_K}{R_B} \qquad (7\text{-}7)$$

Perbandingan besar arus tambahan pada generator dan arus tambahan pada baterai akumulator adalah:

$$dI_G : dI_B = \frac{dE_K}{R_G} : \frac{dE_K}{R_B} \qquad (7\text{-}8$$

$$dI_G : dI_B = \frac{1}{R_G} : \frac{1}{R_B} \qquad (7\text{-}9)$$

Jelas bahwa besarnya arus tambahan yang berasal dari generator berbanding dengan besarnya arus yang berasal dari baterai akumulator sebagai kebalikan dari tahanan dalamnya.

Jika $R_G < R_B$ maka $dI_G > dI_B$
dan jika $R_G > R_B$ maka $dI_G < dI_B$

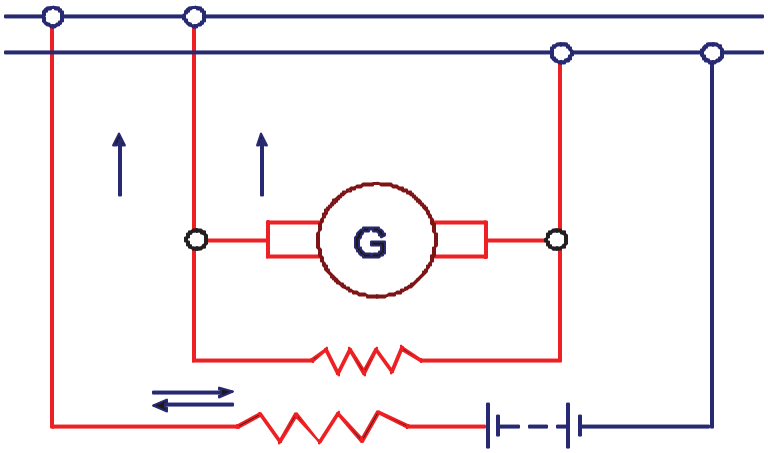
Apakah tujuan terakhir penggunaan baterai buffer itu? adapun tujuannya adalah supaya generatornya menerima tambahan beban yang sekecil mungkin. Jelasnya lagi jika pada jaringan terjadi penambahan arus yang tidak sedikit maka generator hendaknya tetap mengeluarkan juga arus yang teratur dan tidak terpengaruh oleh adanya tambahan arus jaringan.

Walaupun mengeluarkan tambahan arus, maka tambahan arus harus sekecil-kecilnya dan untuk dapat mencapai keadaan tersebut haruslah $I_G < I_B$, berarti bahwa R_B harus lebih kecil dari pada R_G. Jika keadaan tahanan dalam dari generator dan baterai telah sama maka sulit mencapai pemindahan yang sempurna. Dalam menghadapi kejadian tersebut diusahakan perbaikan,yaitu dengan cara:

1. Membuat sifat karakteristik luarnya lebih menonjol, yaitu dengan memberi belitan magnet lagi seperti prinsip yang digambarkan pada Gambar VII.9. Belitan magnet menerima arus penguatan dari baterai dan akan menentang belitan magnet shunt yang sebenarnya, jika beban pada jaringan (*line*).
2. Memasang suatu generator lagi, yang dikenal dengan nama buffer atau nama asing *"Sulvolteur-Devolteur".* Generator *Buffer* dipasang dalam rangkaian dengan baterai akumulator dan diperlukan adanya suatu motor listrik dengan putaran yang konstan seperti ditunjukkan pada Gambar VII.10.

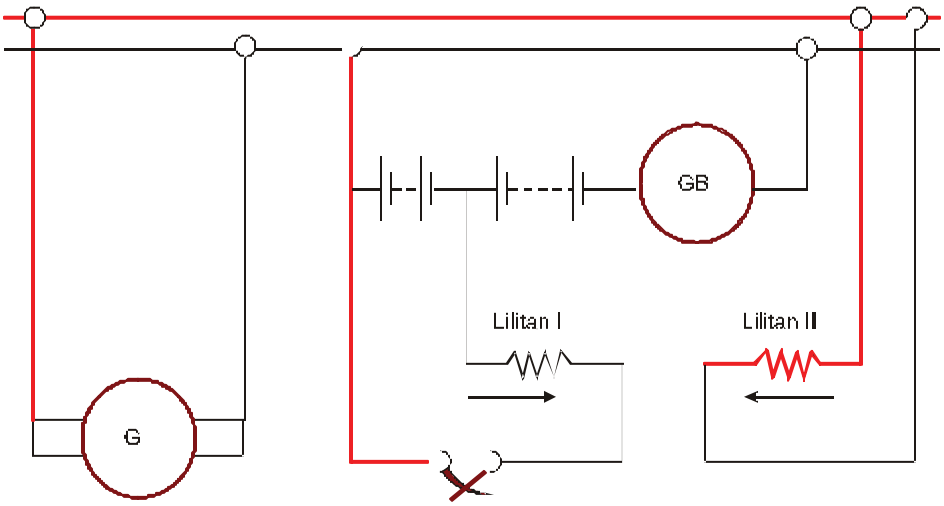
Pada generator buffer CB di atas memiliki dua macam belitan magnet yang satu sama lain saling bekerja berlawanan. Belitan magnet yang pertama menerima arus penguat dari sebagian baterai akumulator, maka medan magnet pada belitan adalah konstan, karena ditentukan oleh tegangan yang konstan, sebaliknya belitan magnet yang kedua menerima arus penguat dari jaringan (*line*), yang besar kecilnya ditentukan oleh besar kecilnya beban pada jaringan (*line*). Medan magnet belitan kedua adalah tidak konstan dan tergantung pada arus beban.

Dalam keadaan normal medan magnet yang diberikan oleh belitan yang pertama dapat diatur sedemikian rupa sehingga maden magnet dari belitan kedua dapat ditentang sehingga hasilnya seluruh medan magnet dari generator buffer adalah nol. Dengan demikian generator buffer itu tidak membangkitkan GGL. GGL yang dibangkitkan oleh generator buffer itu dapat menambah GGL yang berasal dari baterai.



Gambar VII.9
Penambahan Belitan Magnet

Tambahan GGL pada baterai akumulator menyebab-kan turut sertanya baterai akumulator mengeluarkan arus ke jaringan. Sebaliknya, jika keadaan beban pada jaringan (*line*) itu berkurang, maka medan magnet dari belitan yang pertama akan menentukan adanya GGL dari generator buffer akan menentang GGL baterai akumulator, sehingga baterai akumulator akan terisi.

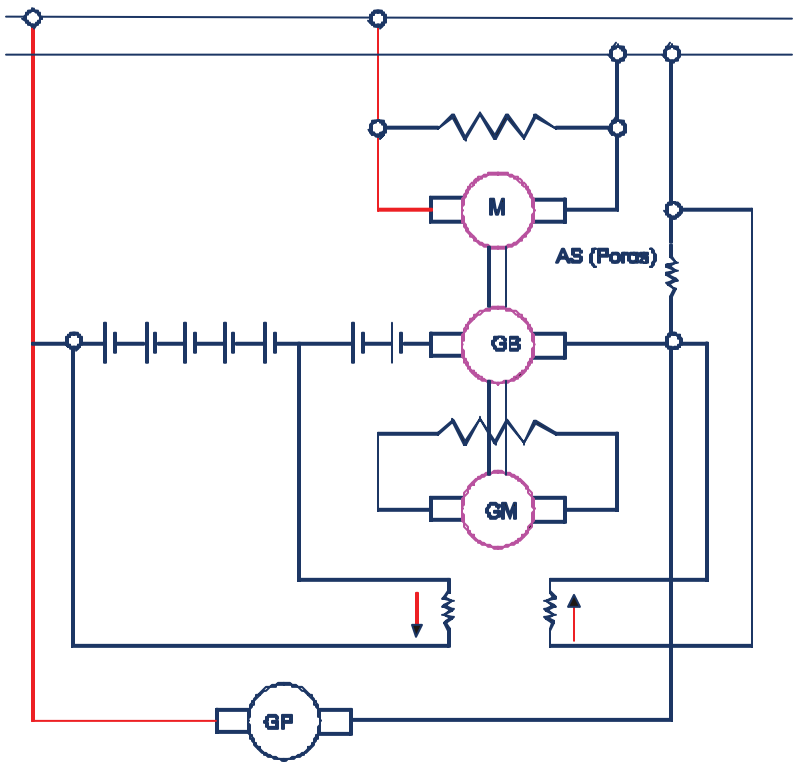


Gambar VII.10
Medan Differensial

Dua medan magnet dari generator buffer pada Gambar VII.10 dinamakan medan differensial.

Untuk setiap instalasi yang besar, bahwa hubungan pirani disempurnakan lagi dengan diberi medan differensial tidak lagi generator buffernya tetapi generator yang lain, yaitu satu generator yang semata-mata memberikan medan magnet kepada generator buffernya. Generator tersebut dinamakan generator medan magnet yang memiliki medan magnet differensial. Pasangan mesin yang terdiri atas generator pokok (GP) dengan baterai buffer (BB), serta generator medan (GM) yang dinamakan *Agregat Pirani* ditunjukkan pada Gambar VII.11.

Belitan magnet dari generator medan tidak dialiri oleh seluruh arus jaringan, tetapi hanya sebagian dari arus jaringan. Dengan agregat pirani tersebut dapat dicapai tegangan yang jauh lebih konstan dan banyak dijumpai pada jaringan atau hantaran yang digunakan untuk menjalankan trem-trem listrik, diperusahaan-perusahaan pertambangan dan lain sebagainnya.



Gambar VII.11
Skema Agregat dari Pirani

B. Gangguan-gangguan dan Pemeliharaan Mesin Listrik Generator Arus Searah

Suatu pemeliharaan yang baik terhadap mesin-mesin listrik akan mengurangi ganguan pada waktu mesin listrik sedang bekerja.

Membicarakan tentang gangguan mesin-mesin listrik juga tidak terlepas dari pengertian pemeliharaan mesin-mesin listrik itu sendiri, sehingga dapat mengetahui bagaimana memperlakukan mesin-mesin listrik dan mengetahui bagian mesin-mesin listrik yang lemah.

Dalam bab ini dirinci gangguan dan pemeliharaan mesin-mesin listrik, yang meliputi gangguan mekanis dan gangguan elektris. Gangguan mekanis sering mengakibatkan gangguan elektris.

1. Tidak Keluar Tegangan

Generator arus searah tidak mengeluarkan tegangan pada waktu bekerja, dapat ditinjau dari beberapa hal.

a. Gangguan mekanis

1) Arah putaran jangkar salah

Generator yang baru dipasang atau generator baru yang akan digunakan sering tidak dapat diketahui arah putarannya, maka sebaiknya tidak diberi beban lebih dahulu.

Cara untuk mengetahui gangguan yang disebabkan salah putaran dalam hal ini tidak keluar tegangan, maka caranya adalah membalik arah putarannya dan ukur pada klem generator tersebut dengan Voltmeter DC dan generator tidak boleh dibebani.

Untuk generator shunt dan kompon shunt panjang maupun pendek, tahanan asut pengatur digeser pada harga tahanan yang minimum atau nol. Kalau ternyata gangguan mekanis yang dikarenakan salah arah putarannya maka setelah dibalik putarannya akan segera keluar tegangan.

2) Sikat tidak menggeser kolektor atau kolektor kotor

Cara mengatasi dapat dilakukan dengan:

a) Jika permukaan sikat bawah tidak baik duduknya terhadap kolektor

Diperbaiki dengan cara meletakkan selembar kertas gosok antara kolektor dengan permukaan sikat sebelah bawah dan kertas gosok bagian yang tajam bersinggungan dengan permukaan sikat sebelah

bawah. Tariklah kertas gosok tersebut ke kanan dan ke kiri searah dengan keliling lingkaran kolektor. Dengan demikian kertas gosok akan memakan sikat pada permukaan bawah karena sikat ditekan pegas ke arah kolektor.

b) Permukaan kolektor kotor

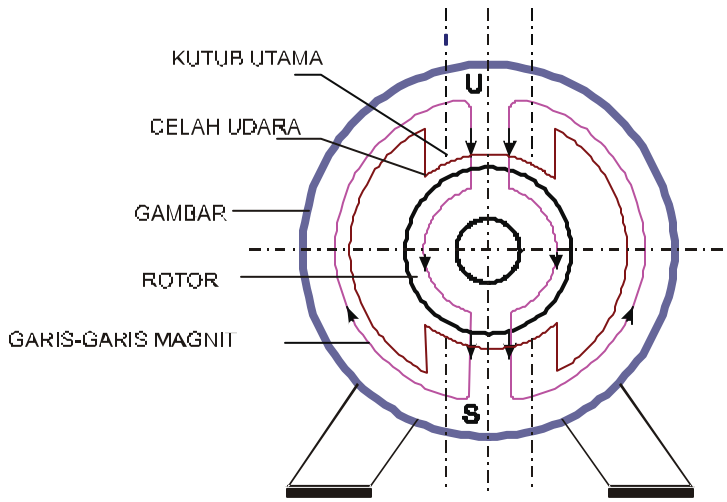
Dapat diperbaiki atau dibersihkan dengan kertas gosok seperti di atas, hanya permukaan kertas gosok yang tajam bersinggungan dengan kolektor atau kertas gosok ditekan dan jangkar sambil diputar dengan tangan.

c) Pegas kurang kuat menekan sikat ke bawah, sehingga sikat tidak menggeser kolektor

Pegas kurang kuat menekan sikat ke bawah, sehingga sikat tidak menggeser kolektor dapat disebabkan karena pengaturan tekanan pegas berubah pada waktu mesin bekerja dan dapat dikembalikan seperti semula. Atau semua bagian sisi samping sikat tidak longgar terhadap tempat sikat dapat diperbaiki dengan sikat dikeluarkan di luar selanjutnya, dibersihkan dengan kertas gosok dan kemudian dikembalikan pada tempat seperti kedudukan semula.

d) Mika antara lapis-lapis kolektor keluar sedikit

Cara memperbaiki adalah dengan cara memotong mika dengan gergaji sebanyak 0,5-1mm dan mikanya saja yang terpotong. Lapis-lapis kolektor yang terkena gergaji dapat dibesihkan dan dilicinkan dengan kertas gosok atau dengan mesin bubut.



Gambar VII.12
Rangkaian Magnet dari Mesin Arus Searah pada Umumnya

3) Rangkaian magnet terputus

Dalam hal ini bagaimana hubungannya rangkaian m,aknit dengan tegangan generator yang dapat dibangkitkan,dapat diterangkan sebagai berikut :

Garis–garis magnet (ϕ) seperti pada Gambar 5-170 melalui kutub-kutub utama, celah udara, jangkar, kutub utama, gandar, terus kembali ke kutub semula.

Garis-garis gaya magnet (ϕ) melalui jalan tertentu dan jangan sampai ada rintangan, dalam hal ini diturunkan dari rumus:

$$E = \frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . \phi . 10^{-8} \text{ Volt} \qquad (7\text{-}10)$$

Keterangan rumus

E = Tegangan yang dapat diinduksikan
P = Jumlah pasangan kutub
A = Jumlah pasang cabang jangkar
N = Jumlah putaran jangkar tiap menit
Z = Jumlah kawat jangkar
ϕ = Besarnya garis – garis gaya magnet
10^{-8} dan 60 konstanta

Pada generator yang sudah siap bekerja, kebesarannya adalah

$$\frac{p}{a} . z . \frac{10^{-8}}{60}$$

Tidak berubah dan pada umumnya bila generator itu bekerja, besarnya n (putaran tiap menit) juga dibuat tetap.
Maka:

$$\frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . 10^{-8} = \text{C (konstanta)} \qquad (7\text{-}11)$$

Jadi persaman

$$E = \frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . \phi . 10^{-8} \text{ Volt}$$

menjadi

$$E = C . \phi \text{ . Volt} \qquad (7\text{-}12)$$

Persaman terakhir berarti tegangan yang dapat dibangitkan oleh generator besar kecilnya tergantung pada ϕ (fluksi). Sedangkan ϕ besar kecilnya tergantung pada baik jeleknya jalan yang dilalui (ditunjukkan pada Gambar VII.12). Dan dapat dijabarkan dari teori listrik dalam hal elektro magnet, tentang belitan solenoida sebagai berikut:

$$H = \frac{0{,}4\,\pi\ N\ .\ \mathrm{Im}}{\iota} \text{ Oersted} \qquad (7\text{-}13)$$

Kuat medan pada inti besi:

$$B = \frac{0{,}4\,\pi\ N\ .\ \mathrm{Im}}{\iota}\ \mu \text{ Gauss} \qquad (7\text{-}14)$$

$$\phi = B.q \qquad (7\text{-}15)$$

$$\phi = \frac{0{,}4\,\pi\ N\ .\ \mathrm{Im}}{\iota}\ \mu \text{ .q garis-garis} \qquad (7\text{-}16)$$

Keterangan

ϕ = garis – garis gaya yang dapat dibangkitkan olek kutub – kutub utama generator arus searah
N = Jumlah belitan kutub – kutub utama generator arus searah
q = penampang – penampang pada bagian – bagian rangkaian magnet
? = panjang bagian – bagian darirangkaian magnet
μ = permeabilitet dari berbagai – bagai bahan dari rangkain magnet
Im = arus penguat kutub yang mengalir pada belitan kutub

Demikian jika (garis–garis magnet) diuraikan lagi:

$$\phi = \frac{N\ .\ I_m}{\dfrac{1}{0{,}4\ .\ \pi\ .\ q\ .\ \mu}} \text{ garis garis}$$

Pada lazimnya ditulis;

$$\phi = \frac{B\ .\ A}{R_m} \text{ garis – garis} \qquad (7\text{-}17)$$

B. A adalah Amper kali jumlah belitan kutub–kutub utama generator arus searah dan R_m adalah tahanan rangkaian meknitis dari bagian–bagian yang dilalui garis–garis gaya magnet.

Pada generator yang baik, esarnya ϕ mempunyai kebesaran tertentu untuk dapat membangkitkan tegangan nominal. Juga belitan amper (BA) kutub-kutub utama generator telah tertentu pula, maka untuk garis-garis gaya magnet (ϕ) tertentu dari persamaan :

$\phi = \frac{B \,.\, A}{R_m}$ garis–garis,

Menjadi

$$\phi = \frac{C1}{R_m} \text{ garis – garis} \qquad (7\text{-}18)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa besarnya garis–garis gaya magnet (ϕ) besar dan kecilnya tergantung dari besar kecilnya tahanan rangkaian magnet (R_m) untuk arus penguat kutub yang tetap dari persamaan = ϕ . c. Volt

Menjadi:

$$E = C \frac{C_1}{R_m} \text{ Volt} \qquad (7\text{-}19)$$

atau

$$E = \frac{C \,.\, C_1}{R_m} \text{ Volt} \qquad (7\text{-}20)$$

Jadi jelas dari persamaan terakhir, tegangan generator yang dibangkitkan tergantung dari besar kecilnya tahanan rangkaian magnet.

Membahas mengenai gangguan mesin- mesin listrik tidak keluar tegangan, akan ditinjau besarnya tahananan rangkaian magnet (R_m). Tahananan rangkaian magnet akan menjadi besar jika garis–garis gaya magnet itu melalui celah–celah udara.

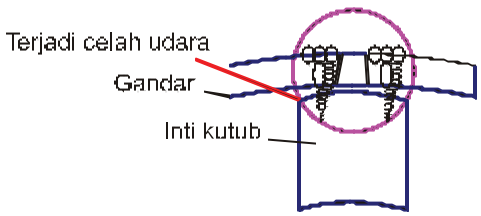
Khusus untuk gangguan mekanis yang mengakibatkan gangguan elekris dapat ditinjau sebagai berikut:

a. Gandar retak

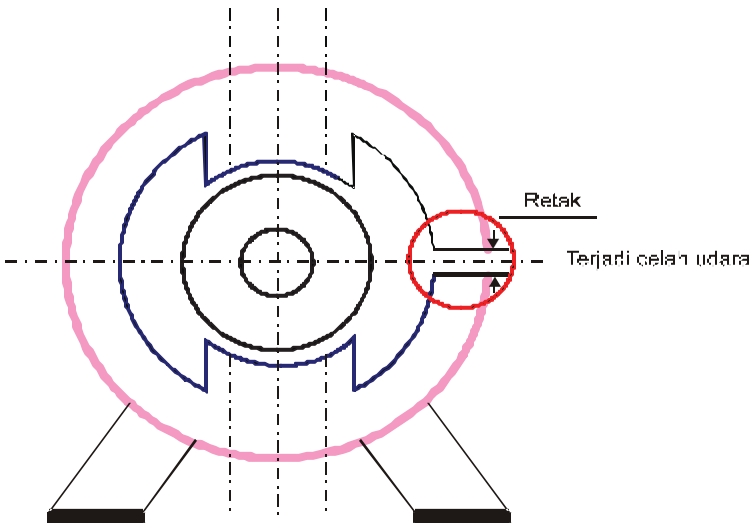
Kalau gandar retak maka terjadi celah udara, sehingga garis-garis gaya magnet terputus pada bagian yang retak tersebut, tidak ada aliran garis-garis gaya magnet atau garis-garis gaya magnet menjadi lebih kecil. Ini disebabkan R_m menjadi besar karena terjadi celah udara.

Perlu diperhatikan pada waktu memperlakukan gandar generator arus searah hendaknya jangan memberikan pukulan langsung dengan batang yang keras, atau gandar terjatuh pada waktu diperbaiki sampai terkena barang yang keras. Sebab gandar generator arus searah dibuat dari baja atau besi dinamo cor yang dapat retak.

b. Pengikatan inti kutub terhadap gandar kurang keras
Akibat pengikat baut kurang keras maka terjadi celah udara yang mengakibatkan R_m bertambah besar nilainya.



Gambar V.13
Pengikat Inti Kutub terhadap Rangka Mesin Listrik Arus Searah pada Umumnya



Gambar VII.14
Rangka Mesin Listrik Arus Searah yang Retak Rangkanya

b. Gangguan Elektris

Gangguan elektris dapat dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu bagian penguat rangkaian magnet dan bagian jangkar tempat.

Kemudian pada rumus:

$$E = \frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . \phi . 10^{-8} \text{ Volt}$$

Seperti yang sudah dapat diuraikan,

$$E = C . \phi . \text{ Volt.} \qquad (7\text{-}21)$$

Tegangan menjadi nol (tidak keluar tegangan) jika salah satu faktor sebelah kanan menjadi nol. Dalam hal ini adalah garis gaya magnet (q) yang dapat diperiksa pada rangkaian listriknya karena

$$\phi = \frac{\frac{N\ I_M}{I}}{0{,}4 . q . \pi . \mu} \text{ garis-garis}$$

Untuk nilai-nilai

$$\frac{\frac{N\ I_M}{I}}{0{,}4 . q . \pi . \mu} = C,$$

tidak dapat diubah-ubah,
maka:

$$\phi = C_I . f(I_m) \text{ garis-garis} \qquad (7\text{-}22)$$

Arus penguat (I_m) tidak akan mengalir (menjadi nol) jika:

1) Di dalam tahanan pengatur ada hubungan kawat yang terputus
Cara mengatasi adalah tahanan dihubungkan singkat dengan sepotong kawat tembaga sambil dijaga supaya tegangan jangan terlalu tinggi. Kalau ternyata tegangan dapat keluar, maka gangguan itu pada tahanan pengasut.

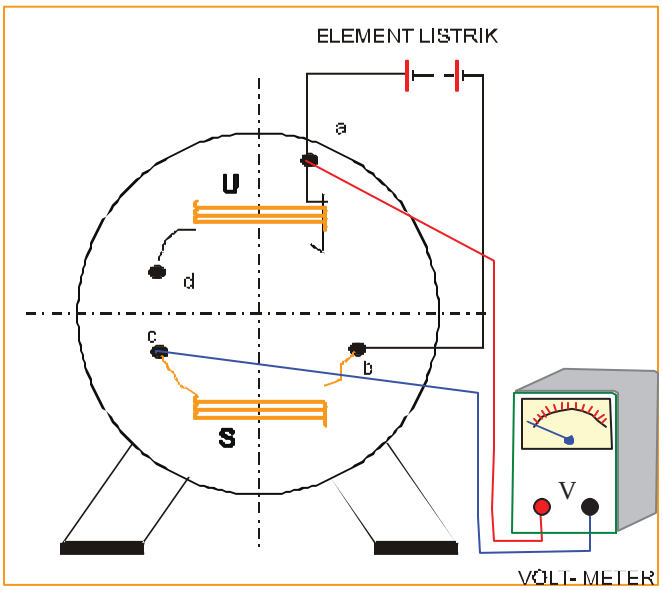
2) Arus penguat I_m dari rumus
$\phi = C_1 . I_m$

Kemungkinan kerusakan disebabkan oleh adanya kumparan magnet yang putus. Periksa hubungan-hubungan rangkaian magnet dengan benar. Pelaksanaan dapat dilakukan sebagai berikut:
Melepas hubungan antar penghantar yang menghubung-kan kutub selatan dan utara.
Pada tiap kutup akan keluar dua ujung kawat penghantar seperti ditunjukkan pada Gambar VII.15.

Pada kutub utara terdapat ujung–ujung a–d dan pada kutub selatan terdapat ujung-ujung b-c. Ujung-ujung a dan b beri tegangan dari elemen listrik dari luar untuk mengetahui apakah kutub selatan belitan kutubnya baik atau putus, hubungkan Voltmeter pada ujung a dan c.

Bila Voltmeter yang dipakai mengukur tegangan menunjukkan suatu nilai, maka belitan itu baik dan jika tidak menunjukkan sesuatu harga, maka belitan kutub itu putus.
Demikian pula untuk mengetahui baik dan putusnya belitan kutub utara, maka Voltmeter dihubungkan pada ujung-ujung a–d.

Selain cara tersebut dapat pula dilakukan menggunakan Ohmmeter. Pada tiap-tiap ujung kutub utara a dan d, kutub selatan b dan c dihubungkan dengan ujung–ujung Ohmmeter dan jika Ohmmeter menunjukkan suatu harga tertentu maka belitan–belitan tidak putus.



Gambar VII.15
Cara Mencari Belitan Kutub yang Putus

c. Gangguan belitan kutub

Gangguan belitan kutub mungkin tidak saja putus belitannya, tetapi juga sering terjadi kawat belitan hubung singkat terhadap badan (inti kutub). Pemeriksaan dapat dilakukan dengan menggunakan megger, yaitu kutub utara ujung a atau d dihubungkan dengan salah satu ujung megger dan ujung megger satunya dengan dihubungkan badan atau inti kutub. Putarlah megger, jika megger menunjukkan angka nol, ini berarti belitan kutub hubung singkat dengan badan. Demikian pada kutub selatan dilakukan sama dengan kutub utara.

1) Ada kumparan kutub salah menghubungkannya
Kesalahan seperti ini hanya terdapat pada generator atau motor yang baru saja diperbaiki. Hidupkanlah segala kutub magnet, sesudah itu periksalah kutub-kutub iu satu persatu dengan sebuah jarum magnet dengan urut-urutan mulai kutub utara dan kemudian kutub selatan dan seterusnya. Ini dapat mudah dilihat dari jarum magnet yang menunjukkan berlainan arah 180^{o}. kalau ternyata polaritas kutub itu sudah dibetulkan dengan merubah hubungan rangkaian kutubnya, maka rangkaian kutub-kutub tersebut diberi tolong dengan aliran listrik arus searah dari luar.

2) Kuat magnet sisa pada kutub-kutub sudah lemah atau habis
Untuk mengatasi kuat magnet sisa pada kutub-kutub sudah lemah atau habis dapat ditambah putaran jangkarnya dan tidak terlalu cepat, lalu semua sikat-sikat ditekan dengan kuat kearah jangkar. Kalau masih belum keluar teganganya, lebih baik kutub-kutub dihidupkan kembali dengan arus listrik searah dari luar.

3) Gangguan pada jangkar
Generator tidak dapat mengeluarkan tegangan atau motor tidak berputar, dapat disebabkan karena gangguan jangkarnya.

Gangguan–gangguan pada jangkar, diantaranya adalah:

a) Belitan jangkar ada hubungan singkat sesama belitan
Kalau di bengkel menerima sebuah generator (motor yang rusak dan akan diperbaiki), maka dengan mudah dicari kerusakannya, terutama jika kerusakan pada jangkarnya. Cara mengatasinya dengan generator dipakai sebagai motor. Jika generator rusak, maka belitan yang hubung singkat menjadi panas dan motor banyak memakai arus.

Kalau jangkar tidak berputar, sementara dapat diatasi dengan diputar tangan. Dengan demikian dapat menentukan bahwa mesin itu rusak

jangkarnya dan bagian belitan jangkar yang rusak dapat diketahui dengan bagian alur jangkar yang paling panas.

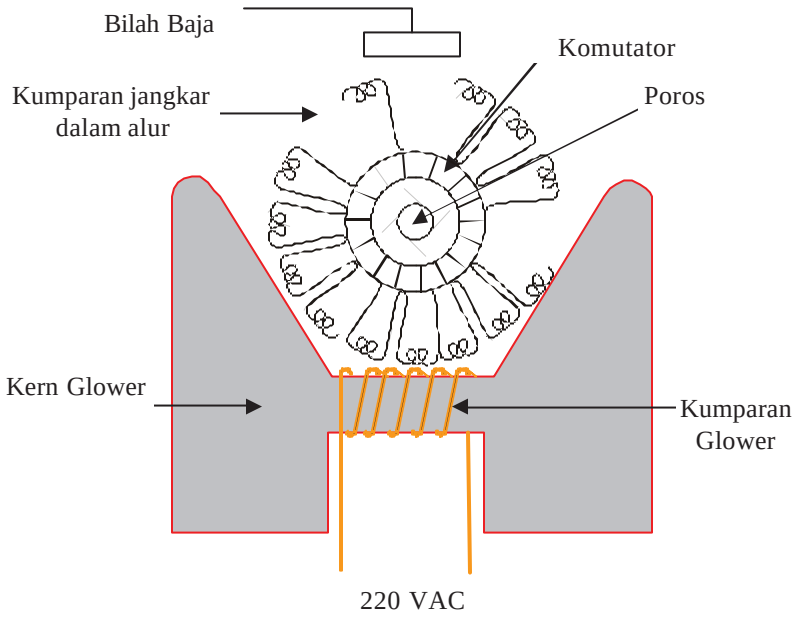
Selain cara di atas, dapat pula dikerjakan dengan pertolongan Growler seperti ditunjukkan pada Gambar 5 – 174. Jika belitan jangkar ada yang hubung singkat, maka baja glower bergetar dan jika belitan jangkar tidak ada hubung singkat maka baja glower tidak bergetar. Growler bekerja seperti transformator, belitan jangkar sebagai belitan sekunder.

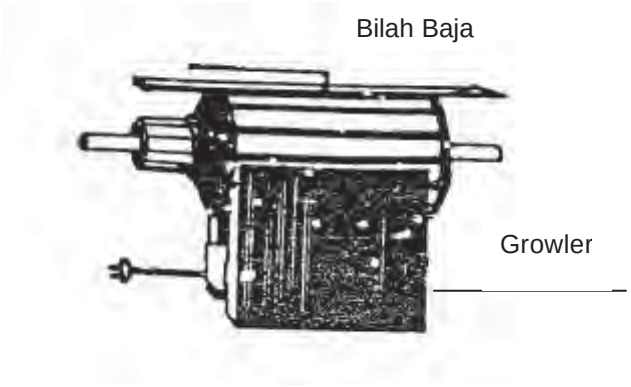
b) Gangguan jangkar poros

Cara untuk mengetahui gangguan dapat dicari dengan cara-cara sebagai berikut:

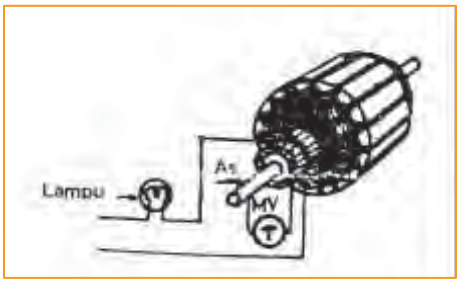
Jangkar diberi sumber listrik dari luar melalui kolektor sedemikian rupa sehingga kedudukan kontak pada kolektor seperti pada kedudukan sikat-sikat yang sebenarnya. Agar aliran yang mengalir dalam kawat belitan tidak terlalu besar, maka sumber listrik dari luar dihubungkan deret dengan lampu pijar.

Kemudian dengan Voltmeter atau miliVolt-meter pada tiap lamel diteliti dengan poros atau badan jangkar, pada bagian mana ada hubung singkat dengan badan maka Voltmeter itu akan menunjuk. Untuk memperjelas bagaimana mendapatkan belitan yang hubung singkat dengan badan diperlihatkan pada gambar-gambar di bawah ini untuk memperjelas dari gambar yang lalu.

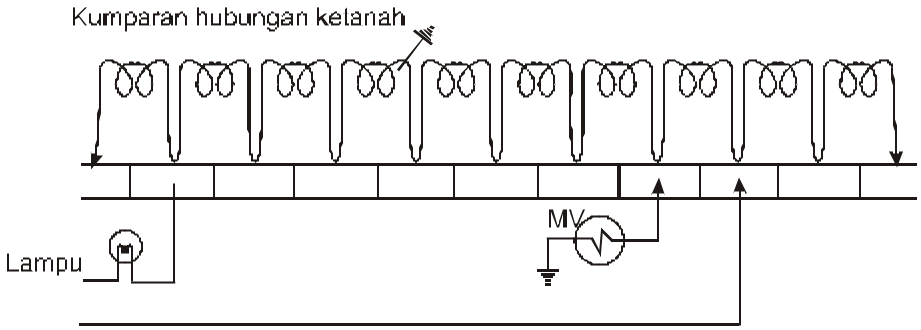




Gambar VII.16
Mencari Hubung Singkat Belitan Jangkar dengan Growler

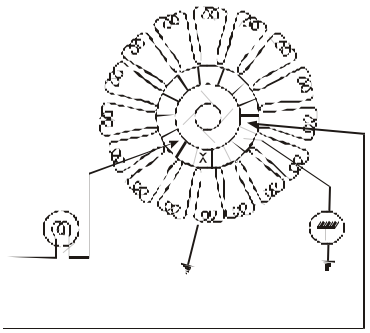


Gambar VII.17
Mencari Hubung Singkat Belitan terhadap Badan



Gambar VII.18
Gambar Mencari Belitan Jangkar yang Hubung Singkat dengan Badan

Seperti telah dijelaskan bagaimana cara mencari belitan yang hubung badan dengan tepat, maka berturut-turut dari lamel sebelah kanan, kontak Voltmeter atau mili Voltmeter (mV) digeser ke kiri, meter akan menunjuk harga yang semakin lebih besar. Meter menunjukkan harga yang terbesar, belitan itulah yang hubung singkat dengan badan.
Untuk memperjelas bagaimana mencari belitan jangkar yang hubung singkat terhadap badan ditunjukkan pada Gambar VII.19.

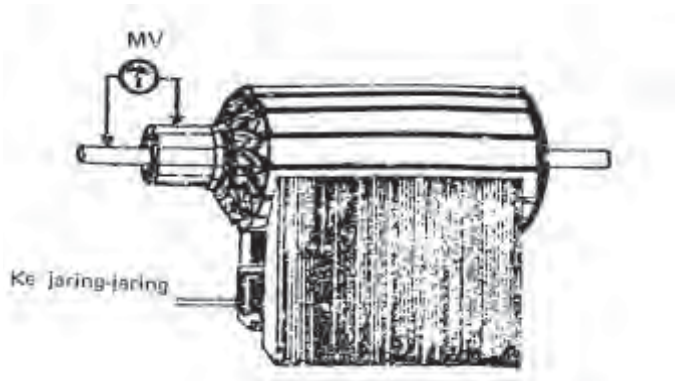


Gambar VII.19
Mencari Hubungan Singkat dengan Badan

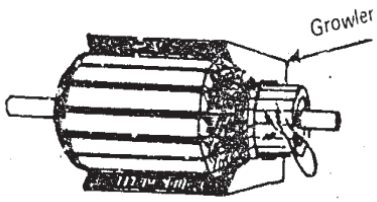
Pelaksanaan untuk mencari hubung singkat terhadap badan secara lengkap sama seperti yang sudah, hanya digambarkan lebih lengkap. Pada hubung singkat dengan badan yang kecil, maka dapat dilakukan seperti pada Gambar 5 – 177, jangkar diletakkan pada *Growler*, maka Voltmeter pada tiap lamel diteliti satu persatu penunjukkan mili Volt meter yang terbesar menunjukkan belitan tersebut hubung singkat.

c) Gangguan pada jangkar dapat juga terjadi bila belitan jangkar ada yang putus.

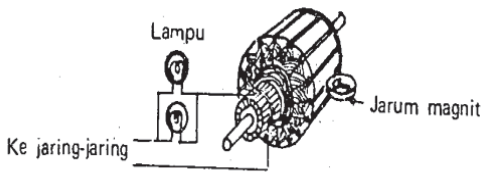
Gambar di bawah ini berturut-turut menunjukkan cara-cara mencari belitan jangkar yang putus. Mencari belitan jangkar yang putus dengan mengukur pada kolektor diberi arus listrik dari luar. Untuk memperkecil arus yang masuk pada belitan menggunakan mili voltmeter.



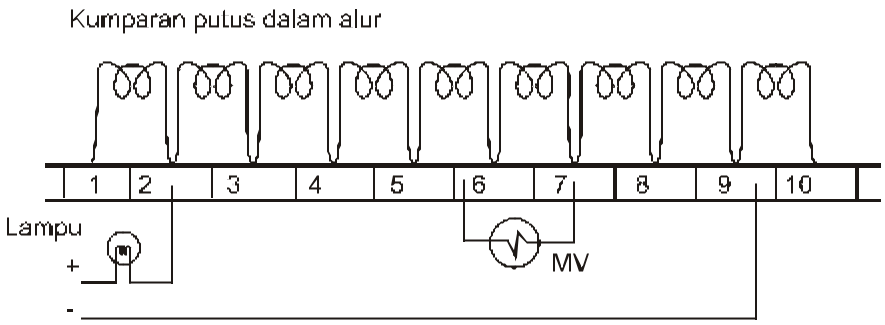
Gambar VII.20
Mencari Hubung Singkat terhadap Badan dengan Growler dan Mili Voltmeter



Gambar VII.21
Mencari Putusnya Belitan dengan Growler dan Cetusan Bunga Api



Gambar VII.22
Mencari Putusnya Belitan dengan Jarum Magnet



Gambar VII.23
Mencari Putusnya Belitan dengan Menggunakan Mili Volt-Meter

Jangkar perlu dihubungkan deret lampu pijar. Maka pemeriksaan bagian belitan jangkar yang putus dengan mengukur tegangan-tegangan pada dua lamel yang berdekatan. Pada belitan yang putus dua ujung belitan iu dihubungkan pada lamel maka milivoltmeter tidak akan menunjuk.
Untuk mencari belitan jangkar yang putus dengan menggunakan growler, jangkar dipasang sedemikian rupa pada *growler* dan dua lamel yang berdekatan dihubungkan singkat dengan seutas kawat. Waktu menghubungkan singkat dua lamel yang berdekatan timbul loncatan bunga api, ini menandakan belitan jangkar yang bersangkutan tidak putus, dan jika tidak timbul loncatan bunga api maka belitan yang bersangkutan putus.

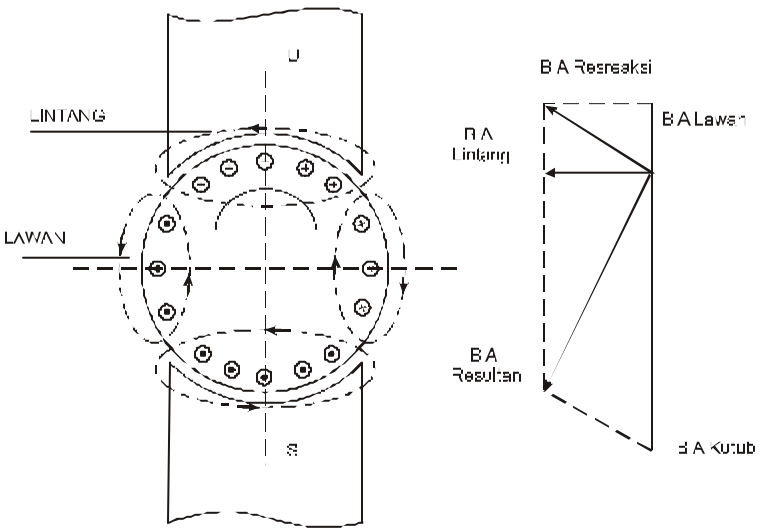
Mencari belitan jangkar yang putus dengan menggunakan jarum magnet, caranya adalah pada lamel diberikan arus listrik arus searah yang dapat diatur besar kecilnya dengan menghubungkan pararel lampu-lampu pijar dan agar tekanan pada jangkar cukup kecil maka lampu-lampu tersebut dihubungkan deret dengan jangkar. Menurut teori listrik suatu penghantar yang dilalui arus listrik akan menghasilkan medan magnet di sekelilingnya. Maka pada belitan jangkar yang tidak putus bila jarum didekatkan akan menunjuk suatu arah. Sedang pada belitan jangkar yang putus jarum magnet walaupun didekatkan pada belitan yang bersangkutan tidak akan menunjuk.

d. Sikat Keluar Bunga Api

Pada generator atau motor listrik arus searah yang sedang bekerja pada sikat sering keluar bunga api. Hal inidisebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut;
1) Kedudukan sikat salah.
Sikat pada mesin listrik arus searah selalu diletakkan pada garis jaringan. Tempat garis jaringan (line)ral pada generator atau motor listrik

searah yang memakai kutub bantu atau belitan kompensasi adalah tetap (tidak berubah), tidak akan berubah-ubah walaupun beban generator atau motor listrik arus searah berubah-rubah. Lain halnya bila kumparan-kumparan kutub bantu salah sambung, maka sikat-sikat tersebut tetap akan keluar bunga api bila generator atau motor listrik arus searah berubah-rubah besar bebannya. Tempat garis jaringan pada generator atau motor lisrik arus searah yang tidak menggunakan kutub bantu atau belitan kompensasi akan selalu berpindah-pindah bila beban generatoratau motor listrik arus searah itu berubah-rubah.

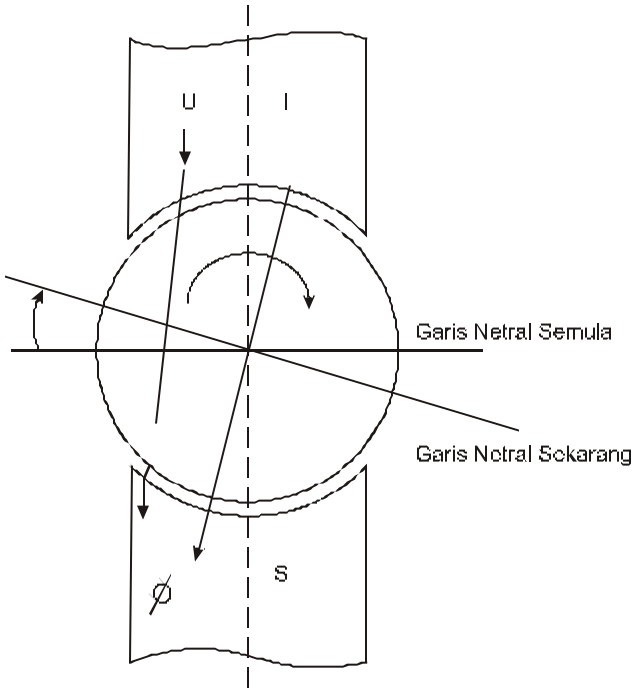
Cara untuk menggeser kedudukan sikat pada tempat garis jaringan dapat dilakukan dengan melepas atau mengendorkan baut pengikat jembatan sikatnya. Kemudian sikat tersebut digeser kearah putaran jangkar untuk generator arus searah. Sedang untuk motor digeser kearah berlawanan dengan arah putaran jangkar sampai bunga api hilang. Bagaimana menggeser sikat agar tidak timbul bunga api, dapat dilihat seperti pada Gambar VII.25.



Gambar VII.24
Reaksi Jangkar yang Menyebabkan Munculnya Bunga Api

Untuk dapat menggeser kedudukan sikat pada tempat garis jaringan dapat dilakukan dengan cara melepas atau mengendorkan baut pengikat jembatan sikatnya. Kemudian sikat tersebut digeser kearah putaran jangkar untuk generator arus searah. Sedang untuk motor listrik digeser kearah berlawanan dengan arah putaran jangkar sampai bunga api

hilang. Bagaimana menggeser sikat agar tidak timbul bunga api, dapat dilihat seperti pada Gambar VII.25.



Gambar VII.25
Arah Menggeser Sikat Setelah Timbul Reaksi Jangkar

2) Kedudukan maupun tempat sikat kurang tepat
Cara perbaikannya dapat dilakukan seperti cara-cara terdahulu.

3) Kawat yang putus atau hubungan yang tidak baik terhadap lamel.
Bunga api akan timbul antara sikat dan kolektor bilamana kawat jangkar itu rusak, ini dapat dilihat bekas bunga api pada kolektor dan dicari urut–urutan kawat jangkar yang dihubungkan dengan kolektor waktu masih berhenti.

4) Alur-alur kolektor atau lapis kolektor satu dengan lapis kolektor yang terdekat mikanya menonjol, sehingga sikat dan kolektor akan bersinggungan tidak menentu, akibatnya timbul bunga api (seperti telah dibicarakan pada bagian sebelumnya).

5) Kolektor kurang bulat betul (opal).
Ini dapat diselasaikan dengan mesin bubut untuk dibulatkan kembali yang baik. Kemudian alur-alur kolektor dibetulkan.

6) Putaran generator atau motor listrik
Putaran generator atau motor listrik arus searah terlalu tinggi hingga antara kolektor dan sikat sangat bergetar dan akan keluar bunga api.

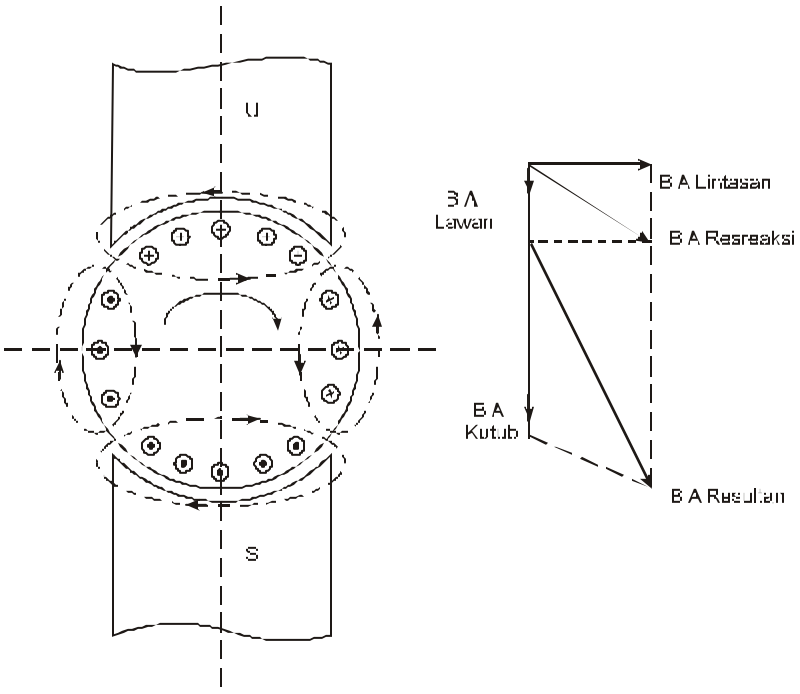
7) Sikat terlalu tebal dan dapat mencakup lapis kolektor terlalu banyak sehingga kerja komutasi kacau .

8) Celah udara antara sepatu–sepatu kutub dengan jangkar satu dengan yang lain tidak sama.

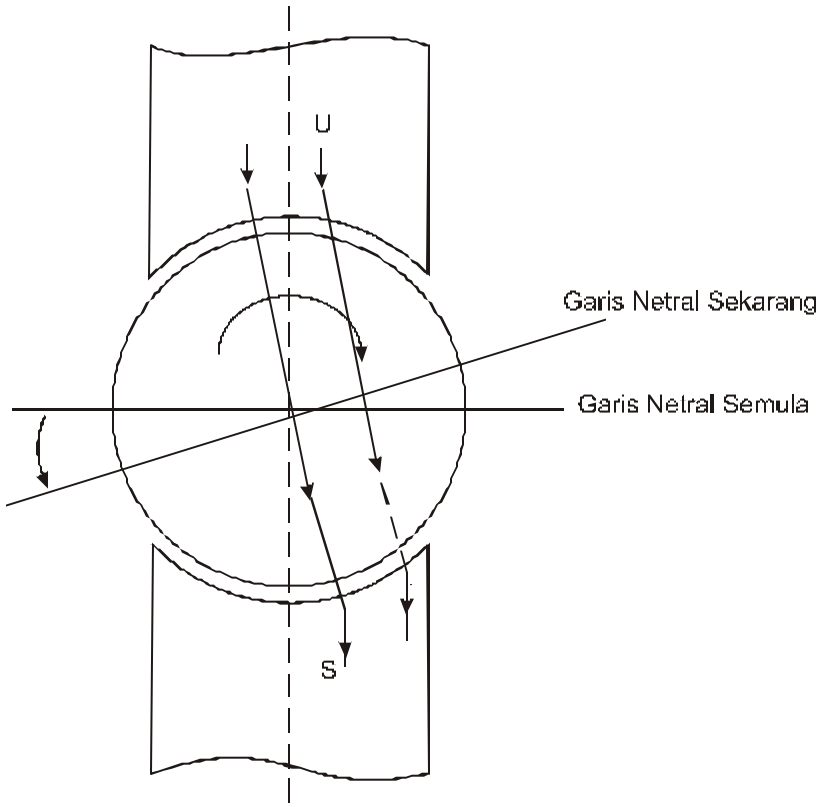
Sehingga tegangan induksi pada bagian–bagian satu dengan yang lain tidak seimbang dan komutasi akan jelek. Tetapi pada mesin listrik arus searah yang keluar dari bengkel, atau mesin yang baru, dalam keadaan kerja hanya timbul bunga api, bila pembebanan yang berubah-rubah

Maka garis jaringan akan berubah kedudukannya , apabila garis jaringan pada mesin listrik arus searah itu selalu tegak lurus terhadap garis gaya magnet efektif.

Untuk motor listrik arus searah berlaku kebalikannya dari pada generator arus searah.



Gambar VII.26
Keadaan Teoritis Reaksi Jangkar pada Motor Listrik Arus Searah



Gambar VII.27
Menggeser Sikat pada Motor Listrik Setelah Timbul Bunga Api

Selain gangguan-gangguan tersebut di atas dapat mengurangi besarnya tegangan yang dapat di bangkitkan, hal-hal seperti di bawah ini mungkin terjadi,di tinjau dari segi rumus:

$$E = \frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . \phi . 10^{-8} \text{ Volt} \qquad (7\text{-}23)$$

Salah satu dari ruas kanan berubah atau mengecil, maka dalam persamaan di atas ruas kiri pun berubah pula.

Dalam hal ini misalnya:
1. Putaran (n) turun pada waktu generator itu dibebani, E akan turun juga.
2. Jumlah kawat (z) berkurang.

Dapat terjadi pada generator arus searah yang baru saja diperbaiki. Oleh karena generator arus searah sering pula dihubungkan paralel dengan akkumulator, maka mungkin akan ada gangguan yang terjadi bahwa arah Amper belitan (BA) kutub atau polaritet kutub akan terbalik arahnya pada waktu generator arus searah dipergunakan untuk mengisi aki dan pada waktu tertentu generator berhenti (tidak berputar), sedang saklar untuk pengisian akku belum dilepas, atau belum di perlengkapi dengan automat pelepas. Dalam hal ini kalau belitan jangkarnya tidak terbakar, akan terjadi aliran listrik dari aki terbalik,dan kutub utara yang tertinggal dapat menjadi kutub selatan. Kutub selatan yang tertinggal dapat menjadi kutub utara . Bila telah terjadi proses seperti diatas dan generator tidak rusak, maka bila generator itu diputar dan dipergunakan lagi apitan plus menjadi minus dan apitan minus menjadi plus.

2. Motor Tidak Mau Berputar

Gangguan pada motor listrik arus searah lebih mudah diatasi atau diketahui penyebabnya dari pada gangguan pada generator arus searah.

Gangguan pada motor listrik arus searah misalnya pada waktu saklar dimasukkan, motor tidak berputar ini dapat disebabkan karena:

a. Tidak ada tegangan
   Ini dapat dicari dengan menggunakan lampu pijar dengan tegangan listrik yang sesuai antara kawat plus dan kawat negatip. Maka lakukan:

1) Periksa tegangan listrik sebelum masuk pengaman lebur atau MCB
2) Periksa tegangan sesudah masuk pengaman lebur
   Kalau sesudah melalui pengaman lebur tidak ada tegangan, maka pada saluran itu tentu ada pengaman lebur dipapan pembagi yang putus (dalam hal ini lampu pijar tidak menyala).

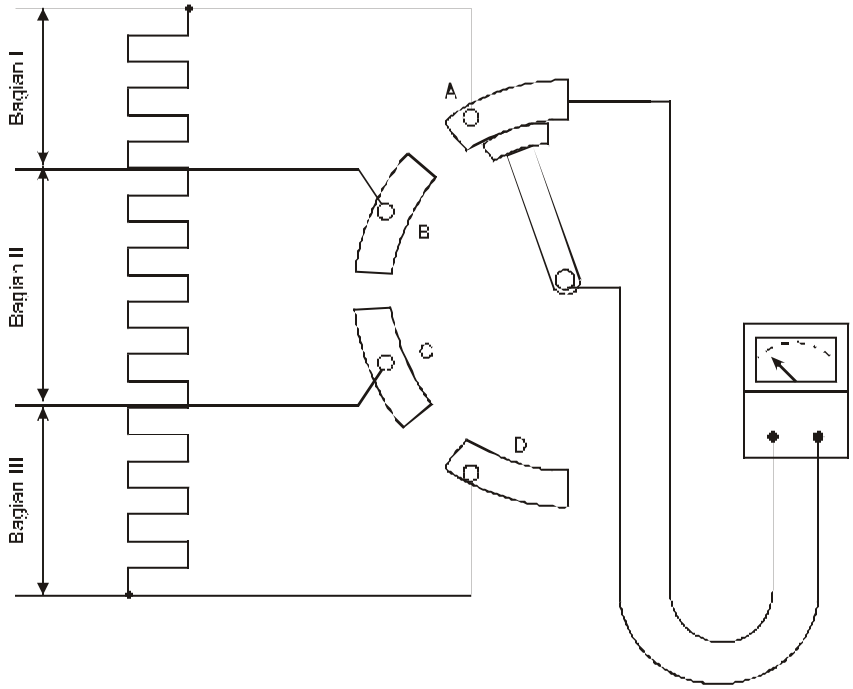
b. Bila motor tersebut dilengkapi dengan tahanan mula gerak, maka kemungkinan dapat terjadi:

1) Tahanan mula gerak ada yang putus, maka arus berhenti dimana tahananan itu putus, maka jangkar tidak dilalui arus.
2) Kontak geser pada tahanan mula gerak kotor atau aus, sehingga tahanan peralihan antara kontak satu dengan lainnya besar sekali.
   Kalau jelas kerusakannya pada tahanan mula gerak, maka belum tentu semua tahanan mula gerak itu jelek. Tahanan mula gerak dibuat dari bagian- bagian atau trap –trap. Untuk mencari bagian mana

yang rusak gunakanlah AVO meter pada skala Ohm seperti pada Gambar 5.186 di bawah ini dengan berturut- turut:

a) AVO meter dihubungkan pada kontak 1 dan a (lempeng penghubung dari Cu) ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah antara kontak geser dengan lempeng penghubung tersambung baik.

b) Pindahkan penghantar lempeng penghubung (a) kepada lempeng penghubung (b) ini di maksudkan untuk mengetahui apakah bagian 1 dari tahanan mula gerak baik. Demikian lah seterusnya berturut-turut untuk mengetahui bagian- bagian lainnya.



Gambar VII.28
Untuk Mencari Bagian Mana yang Rusak Gunakanlah AVO Meter

c. Timbulnya Bunga Api antara Sikat dan Lamel

Cara untuk mengatasi timbulnya bunga api antara sikat denlamel dapat diselesaikan seperti pada generator arus searah.

Kalau perlu menggeser sikat pada motor listrik arus searah, jembatan sikat diputar atau digeser kearah berlawanan dengan putaran rotornya

diterangkan di sini bagi motor yang tidak dilengkapi kutub bantu, tiap perubahan beban akan berubah pula kedudukan sikatnya.

d. Putaran Motor Terlalu Cepat

Untuk membicarakan gangguan ini perlu dimulai dari jabaran rumus sebagai berikut:

$$E = \frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . \phi . 10^{-8} \text{ Volt} \qquad (7\text{-}24)$$

Ini untuk motor adalah tegangan yang dapat dibangkitkan oleh motor waktu bekerja (tegangan induksi lawan).untuk sementara E tegangan klem (EK).

Dalam prakteknya tegangan jaring bagi motor adalah tetap sedang kanan dengan faktor – faktor:

$\frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z \, \phi \, 10^{-8}$ = C adalah tetap,

maka dapat dibagi persamaan:

$$n = \frac{E_k \; a . 60 . 60 . 10^{-8}}{p . z . \phi .}$$

$$n = \frac{E_k . C}{\phi} \qquad (7\text{-}25)$$

Seperti telah disebut di atas tegangan klem bagi motor adalah tetap, tetapi jelas pada persamaan terkhir putaran akan berubah dari variabel, E_K dan ϕ. Untuk E_K yang tetap besarnya putaran fungsi garis-garis gaya, seperti pada persamaan terkhir. Garis- garis gaya magnet besar putaran kecil, demikian pula garis-garis gaya berkurang atau kecil putaran akan bertambah besar.

Kembali pada persoalan di atas putaran motor terlalu cepat atau besar, ini berarti pada rangkaian magnet atau kutub ada kesalahan atau gangguan.

Ini dapat dibahas dari ketentuan:

$$\phi = \frac{N \,.\, I_M}{\dfrac{I}{0{,}4 \,.\, \pi \,.\, \mu \,.\, q \,.}}$$

$\dfrac{N}{\dfrac{I}{0{,}4\pi.\mu.q}}$ C_I dan $\phi = C_I.I_M$ maka:

ϕ akan menjadi kecil bila1m kecil.sedang tahanan rangkaian magnetnya tetap karena E_K tetap, maka tahanan rangkaian magnetnya mempunyai tahanan yang besar.

Tahanan rangkaian magnet menjadi besar disebabkan beberapa hal sebagai berikut:

1) Rangkaian kutubnya sendiri yang putus.
   a) Kawat belitan kutub putus
   b) Kawat penghubung pada klem kurang kontak
2) Rangkaian tahanannya yang putus
3) Kawat tahanannya yang putus
4) Kawat penghubung pada klem kurang kontak.

Untuk menentukan gangguan seperti ini dapat dilakukan dengan membuka sikat sekaligus, atau meletakkan isolasi, dibawah sikat terhadap kolektor, sesudah itu periksalah dengan AVO meter atau Ohm meter dimana ada rangkaian kemagnetan yang putus.

e. Putaran Motor Terbalik

Persoalan ini dapat dibahas berdasarkan kaidah “tangan kiri”. Berdasarkan ini maka penyambungan pada rotor atau kutub terbalik. Untuk mengatasi ini baliklah salah satu dari dua kemungkinan itu. Hanya biasanya pada rangkaian motornya dibalik polaritetnya.

f. Pengaman (Lebur dan MCB) Sering Putus Waktu *Start*

Gangguan atau gejala ini dapat diuraikan dari pengertian:

W = E .I
W = daya yang dipakai oleh motor listrik dalam Watt.
E = Tegangan kerja motor
I = Arus yang dipergunakan oleh motor listrik

Dalam kenyataannya E adalah tetap,maka W adalah yang besar akan mengakibatkan I (arus) yang besar. Sebab yang dapat memutuskan kawat lebur adalah arus listrik.Seperti pada teori motor listrik, daya listrik yang di pergunakan oleh motor listrik sebanding dari beban mekanis dari motor listrik tersebut.

Untuk persoalan di atas bahwa W akan bertambah besar bila beban mekanis bertambah besar pula.

Menentukan dimana letak kesalahan ini dapat dilakukan pemeriksaan beturut-turut sebagai berikut:

a. Lepaskan dulu semua beban mekanis motor tersebut, kemudian jalankan motor listrik itu dan dilihat berapa arus yang dipergunakan. Kalau arus yang dipergunakan motor tersebut normal, ini berarti beban mekanis motor terlalu besar dan harus dikurangi.

b. Bantalan motor listrik sudah aus, sehingga motor dibebani mekanis celah udara antara rotor tersebut terhadap suatu kutup besinggungan yang dapat menyebabkan beban mekanis menjadi besar. Pemeliharaan mesin-mesin listrik perlu pula memeriksa besarnya celah udara dengan bilah pengukur rongga pada waktu-waktu tertentu atau berkala.

c. Bila motor menggunakan tahanan asut sebagai tahanan mula gerak mungkin terjadi hubung singkat pada tahanan asut, yang mana tahanan asut nilainya menjadi kecil dan arus mula jadi besar.

d. Periksa lagi pengaman lebur atau MCB yang digunakan apakah tidak sesuai (lebih kecil dari semestinya). Kalau demikian gantilah pengaman lebur yang normal.

Kesimpulan gangguan-gangguan dan pemeliharaan mesin-mesin listrik arus searah dengan tujuan agar waktu mesin-mesin bekerja tidak mengalami gangguan tidak akan terlepas dari pemeliharaan sehari-hari dan memperlakukan mesin itu dengan batas-batas ketentuan yang sudah ada, maka tidak ada jeleknya di sini diutarakan bagian-bagian pokok dari mesin-mesin listrik arus searah agar mendapatkan gambaran tentang bagaimana memelihara dan menjaganya agar tidak mengalami gangguan.

Bagian-bagian pokok mesin listrik arus searah ialah:

1) Jangkar.
   Yang terdiri dari bagian-bagian penting:

a) Belitan Jangkar
b) Kolektor dan lamel
c) Poros mesin listrik arus searah

a) Belitan jangkar

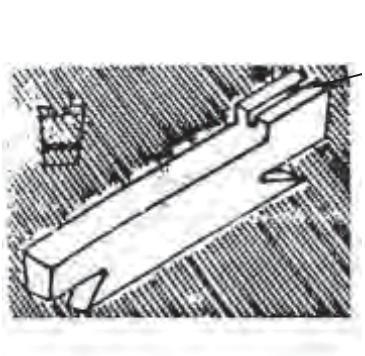
Belitan jangkar yang terbuat dari kawat tembaga (C_u) dengan isolasi email atau katun, dimasukkan dalam alur jangkar yang disekat dengan

isolasi kertas. Kelemahan belitan jangakar mesin listrik arus searah ini bila jangkar dalam keadaan lembab atau basah sehingga menyebabkan oksid pada kawat, dan terjadi jamur-jamur merusak isolasi yang akibatnya bisa hubung singkat sesama belitan jangkar atau hubung singkat dengan badan mesin listrik. Maka untuk menjaga jagalah mesin listrik itu selalu dipanasi dengan pemansan dari luar atau pemanasan sendiri dengan arus listrik pada waktu-waktu tertentu walaupun mesin itu tidak digunakan pada waktu semestinya.

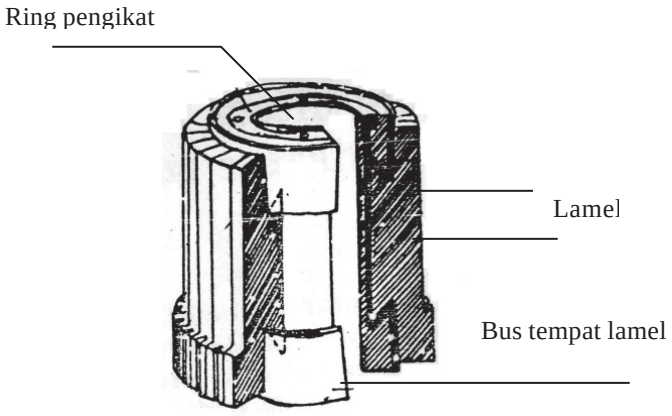
b) Kolektor dan lamel

Kolektor terdiri dari lame-lamel yang dibuat dari tembaga (C_u) dibentuk sedemikian rupa, lempeng lamel satu dengan lempeng lamel yang lain diisolasi dengan kertas mika, dan lamel-lamel tadi diisolasi terhadap bumbung logam atau badan.

Untuk jelasnya dapat ditunjukkan beberapa gambar di bawah ini:



Gambar VII.29
Bentuk Lempeng Lemel



Gambar VII.30
Potongan Kolektor

Pemeliharaan kolektor hampir sama dengan pemeliharaan belitan jangkar, kelemahan karena lembab dan basah. Disamping kelemahan ini supaya pengaturan letak sikat arang mesin listrik ini sedemikian rupa hingga ausnya kolektor dapat merata sepanjang kolektor.

Untuk menjaga agar kolektor tidak berlubang-lubang pada satu tempat, periksalah waktu mesin itu bekerja apakah antara kolektor dan sikat keluar bunga api. Kalau demikian segera saja gejala ini diperbaiki.

c) Poros mesin listrik arus searah

Poros mesin listrik arus searah ini sudah dibuat sedemikian rupa dalam perencanaannya hingga pada penggunaan yang normal tidak banyak gangguan.

Hanya perlu diingat bahwa mesin poros mesin ini duduk pada bantalan selubung (bus). Ini perlu diketahui agar dapat menafsirkan berapa toleransi kelonggaran yang terjadi pada waktu mesin listrik bekerja. Kalau kelonggaran yang terjadi pada mesin listrik sudah terlalu besar pada macam bantalan yang bersangkutan, dianjurkan dilakukan segera perbaikkan seperlunya. Sebab yang penting memelihara poros mesin listrik ialah menjaga agar poros tidak bengkok waktu perbaikan maupun waktu bekerja.

2) Badan mesin listrik.

Ini terdiri dari bagian-bagian penting:

a) Gandar mesin listrik arus searah.
b) Tutup mesin listrik kanan dan kiri.

Badan mesin listrik mempunyai dua fungsi, yaitu sebagai badan mesin listrik sendiri dan sebagai jalan penyalur garis-garis gaya magnet. Bahan untuk gandar dipilih sedemikian rupa agar mempunyai kokoh mekanis dan penyalur garis gaya magnet yang baik, yang dicor dan kemudian dikerjakan dengan mesin mekanis untuk dihaluskan. Gandar seperti ini seperti yang telah diterangkan di muka jagalah agar tidak retak atau pecah. Hindarkan jangan sampai terkena pukulan atau jatuh tersentuh barang yang keras.

Konstruksi lain dari mesin listrik arus searah, gandar dibuat dari laminasi plat trafo berfungsi sebagai penyalur garis gaya magnet. Sedangkan badan mesin listrik itu dari besi cor atau plat yang hanya berfungsi sebagai kokoh mekanis saja.

3) Tutup mesin listrik kanan dan kiri

Tutup mesin listrik kanan dan kiri berfungsi sebagai penyangga jangkar yang berputar. Maka pada tutup ini diperlengkapi dengan bantalan-bantalan peluru atau bantalan bumbung (bus).

Yang perlu diperhatikan dalam pemeliharaan dalam kutub ini ialah jagalah baik-baik dan perhatikan agar minyak pelicin jangan sampai habis. Gunakan minyak pelicin yang tepat agar keausan dan kelicinan terjamin.
Perlu diingatkan akibat kurangnya pemeliharaan tentang pelumas ini, dapat mengakibatkan bantalan dan poros berputar pada lubang tutup, sehingga beban mekanis akan bertambah besar dan panas, mungkin dapat menyebabkan bengkoknya poros dan pecahnya tutup mesin listrik kanan dan kiri.

4) Kutub dan belitan kutub

Kutub dan belitan kutub mesin listrik arus searah yang terpenting adalah inti dan belitan kutub. Pemeliharaan belitan kutub sama dengan belitan jangkar, dijaga agar tidak beroksida karena lembab dan basah, supaya tidak terjadi jamur-jamur perusak isolasi. Perlu pemanasan dari luar atau dipanasi sendiri dari aliran yang ada pada waktu mesin itu bekerja dalam rangka penghangatan.

Besi inti sering-sering kendor pengikatannya terhadap badan atau gandar, ini perlu diperiksa .di samping itu celah udara antara sepatu kutub dan jangkar mempunyai ukuran tertentu pada mana generator itu bekerja baik. Maka jagalah celah udara ini sedemikian rupa agar tetap tidak berubah walaupun mesin itu di perbaiki.

C. Latihan

1. Jelaskan syarat-syarat yang harus dipenuhi pada hubungan jajar generator arus searah dengan baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah
2. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan dalam memelihara generator arus searah pada pusat pembangkit listrik arus searah?
3. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan dalam memelihara baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah?

D. Tugas

1. Lakukan praktik kerja jajar generator arus searah dengan baterai akumulator di bengkel anda.
2. Lakukan kegiatan memelihara generator arus searah pada pusat pembangkit listrik arus searah di sekolah anda dengan bimbingan guru dan Teknisi
3. Lakukan kegiatan memelihara baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah di sekolah anda dengan bimbingan guru dan Teknisi
4. Buat laporan hasil pemeliharaan yang telah anda lakukan dan diskusikan hasilnya bersama teman-teman anda dengan didampingi guru

BAB VIII
Sistem Pemeliharaan Pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Pengertian pemeliharaan

Pemeliharaan atau sering disebut *maintenance* adalah suatu tindakan teknis, adminstrasi dan finansial yang ditujukan untuk mempertahankan dan atau mengembalikan agar sesuatu (misal generator pembangkit) kembali pada unjuk kerja seperti pada saat *performance test*.

Prinsip dasar pemeliharaan didasarkan pada:

a. *Time based maintenance* (pemeliharaan berdasarkan waktu)
b. *Condition base maintenance* (pemeliharaan berdasarkan kondisi atau keadaan)

Pada pelaksanaannya, kedua prinsip tersebut kebanyakan digabungkan dan selalu dikaitkan dengan efisiensi dan efektivitas, terutama jika menyangkut masalah biaya.

Yang menjadi pertimbangan lain pada pemeliharaan adalah masalah prediksi *maintenance* dan pemeliharaan ke tiga.

Pemeliharaan yang didasarkan waktu (*time base maintenance*) dibagi menjadi 2 (dua) kegiatan, yaitu:

1. Pemeliharaan rutin

Pemeliharaan rutin adalah pemeliharaan yang dilakukan pada waktu atau frekuensi kurang dari 1 (satu) tahun.

Sesuai rentang waktu dan lingkup pekerjaannya, pada pemeliharaan rutin dapat dikelompokkan menjadi 4 macam, yaitu:

a) Pemeliharaan Harian
Pemeliharaan harian, antara lain meliputi: memantau parameter dan kondisi selama operasi, pembersihan, melakukan tindakan

ringan setelah memeriksa kondisi operasi, dan lain-lain yang dilakukan setiap hari.

b) Pemeliharaan Mingguan
Pada pemeliharaan mingguan, kegiatan yang dilakukan antara lain mengulang pemeliharaan harian, dilanjutkan pada pemeriksaan *Grease Lubrucation*, pembersihan *filter-filter*, dan *cooler* sesuai kebutuhan.

c) Pemeliharaan Bulanan
Pada pemeliharaan bulanan merupakan kegiatan yang mengulang pekerjaan pemeliharaan harian, mingguan dan melakukan perbaikan yang diperlukan.

d) Pemeliharaan Triwulan
Pada pemeliharaan Triwulan merupakan kegiatan yang mengulang pekerjaan pemeliharaan bulanan yang harus dilakukan sesuai dengan instruksi pada *manual* dan *maintenance book*.

2. Pemeliharaan Perodik

Pemeliharaan periodik atau berkala yang dilakukan berdasarkan jumlah jam operasi mesin. Pemeliharaan periodik dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

a) Anual Inspection (AI)
Pemeliharaan yang dilakukan sekali dalam setahun, pada umumnya mesin jumlah jam operasinya mencapai 6.000 jam sampai dengan 8.000 jam (dihitung sejak mesin atau alat beroperasi baru atau sejak *overhoal*).

b) General Inspection (GI)
Pemeliharaan dilakukan jika jumlah jam operasi telah mencapai 20.000 (dua puluh ribu) jam terhitung sejak mesin beroperasi baru atau sejak *overhoal*.

c) Mayor Overhoal (MO)
Pemeliharaan dilakukan jika jumlah jam operasi telah mencapai 40.000 (empat puluh ribu) jam, terhitung sejak mesin beroperasi baru atau sejak mesin *overhoal*.

Pada bagian berikut, diuraikan contoh pemeliharaan di PLTA.

A. Kegiatan Pemeliharaan Generator dan Governor Unit I

Tanggal 4 Juli 2005

1. Pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *Pilot Exciter* Unit I.

Pemeriksaan pada besarnya tahanan isolasi dilakukan antara rotor-arde, stator dengan arde dan antara stator dengan rotor pada *Pilot Exciter Unit I*. Contoh hasil pengukuran dan atau pemeriksaan besar nilai tahanan isolasi pada *Pilot Exciter* Unit I ditunjukkan pada VIII. 1.

Tabel VIII.1
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi
pada *Pilot Exciter Unit I*

Pengukuran tahanan isolasi	Besar nilai tahanan isolasi (M?)
Rotor - Arde	1,5
Stator - Arde	0,9
Rotor - Stator	0,9

2. Pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *Main Exciter Unit I*

Pengukuran dan pemeriksaan besar nilai tahanan isolasi dilakukan antara rotor dengan arde, stator dengan arde dan antara stator dengan rotor.

Contoh hasil pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *Main Exciter Unit I* ditunjukkan pada Tabel VIII.2.

Tabel VIII.2
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi
pada *Main Exciter Unit I*

Pengukuran tahanan isolasi	Besar nilai tahanan isolasi (M?)
Rotor - Arde	70,00
Stator - Arde	0,85
Rotor - Stator	0,90

3. Pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *Main Generator Unit I*

Pengukuran dan pemeriksaan besar nilai tahanan isolasi dilakukan antara rotor dengan arde, antara stator dengan arde dan antara stator dengan rotor.

Contoh hasil pengukuran atau pemeriksaan besar nilai tahanan isolasi pada *Main Generator Unit I* ditunjukkan pada Tabel VIII.3.

Tabel VIII.3
Contoh hasil pengukuran besar nilai tahanan isolasi
pada *Main Generator Unit*

Pengukuran tahanan isolasi	Besar nilai tahanan isolasi (M?)
Rotor - Arde	160
Stator - Arde	160
Rotor - Stator	0,9

4. Pengukuran besar nilai tahanan isolasi Motor Listrik Bantu Unit I

Pengukuran dan pemeriksaan berasnya tahanan isolasi pada Motor Listrik Bantu. Contoh asi pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada Motor Listrik Bantu pada Unit I ditunjukkan pada Tabel VIII.4.

Tabel VIII.4
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi
Pada Motor Listrik Bantu Unit I

Kode Motor Listrik Bantu	Besar nilai tahanan isolasi (G?)
M 1000	12
M 1160	6
M 1200	15

Pengukuran dan atau pemeriksaan kondisi besar nilai tahanan isolasi tersebut pada kondisi suhu ruangan (berdasarkan pengukuran suhu ruangan 25°C dan temperatur Generator 43°C.

5. Pengukuran besar tahanan islasi pada *Over Circuit Breaker (OCB)* Generator 6 kV Unit I.

Pengukuran dan pemeriksaan besar nilai tahanan isolasi pada *OCB* 6 kV.

Tabel VIII.5
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi
pada *OCB* Generator 6 kV Unit I

Phasa	Atas-Arde (M?)	Atas-Bawah (M?)	Bawah-Arde (M?)
R	52	180	160
S	50	150	160
T	60	130	160

OCB Geneator 6 kV:
R, S, T - Arde = 16 (M?)
Keterangan: .....
……..
(... *diisi apabila ditemukan data khusus atau penting)*

Tabel VIII.5 menunjukkan contoh hasil pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *OCB* Unit I

B. Kegiatan Pemeliharaan Transformator I (6/70 kV)

Tanggal 12 Juli 2005

1. Pengukuran besar nilai tahanan isolasi Transformator I (6/70 kV)

Pengukuran dan pemeriksaan besarnya tahanan isolasi dilakukan antara belitan Primer dengan arde, belitan Skunder dengan arde dan belitan Primer dengan Skunder. Contoh hasil pengukuran dan nilai tahanan isolasi pada Transformator I (6/70kV) ditunjukkan pada Tabel VIII. 6. Temperatur transformator 26°C, dan Temperatur ruangan 27°C

Tabel VIII.6
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan
Isolasi Transformator I (6/70 kV)

Pengukuran tahanan isolasi	Besar nilai tahanan isolasi (M?)
Primer - Arde	28
Skunder- Arde	70
Primer - Skunder	200

2. Pengukuran tahanan isolasi *OCB* Transformator 70 kV

Contoh hasil pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *OC*B Transformator 70 kV ditunjukkan pada Tabel VIII.7.

Tabel VIII.7
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi
pada *OCB* Transformator 70 kV

Phasa	Atas-Arde (G?)	Atas-Bawah (G?)	Bawah-Arde (M?)
R	14	30	70
S	6	10	70
T	11	5	70
R, S, T – Arde= 95 (M?)			

3. Pengukuran tahanan isolasi *Over (OCB)* Generator 6 kV

Contoh hasil pengukuran besar nilai tahanan isolasi pada *OCB* Generator 6 kV pada Tabel VIII.8

Tabel VIII.8
Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan
Isolasi Pada *OCB* Generator 6 kV

Phasa	Atas-Arde (M?)	Atas-Bawah (M?)	Bawah-Arde (M?)
R	35	90	55
S	35	85	60
T	42	120	75
	R-Arde	S-Arde	T-Arde
	20	35	25

Keterangan: -

C. Kegiatan Pemeliharaan Mingguan *ACCU* Battery

Tanggal: 20 Juli 2005

Jika *accu* tidak dapat lagi memberi aliran listrik pada *voltage* tertentu, maka *accu* tersebut dalam keadaan lemah arus (soak).

Pada proses pengisian muatan listrik, kembali terjadi proses reaksi kimia yang berlawanan dengan reaksi kimia pada saat pelepasan muatan. Timbal peroksida terbentuk pada plat positif dan timbal berpori terbentuk pada plat negatif, sedangkan berat jenis elektrolit akan naik, karena air digunakan untuk membentuk asam sulfat. Accu kembali dalam kondisi bermuatan penuh.

Berat jenis *accu zuur* akan turun sebanding dengan derajat pelepasan muatan, jadi jumlah energi listrik yang ada dapat ditentukan dengan mengukur berat jenis accu zuurnya, misalnya accu mempunyai berat

jenis accu zuur 1.260 pada 20°C, bermuatan listrik penuh, setelah melepaskan muatan listrik berat jenisnya 1.200 pada 20°C, maka Accu masih mempunyai energi listrik sebesar 70%.

Berat jenis accu zuur berubah tergantung dari temperaturnya, jadi pembacaan berat jenis pada skala hidrometer kurang tepat sebelum dilakukan koreksi suhu. Volume accu zuur bertambah jika dipanaskan dan turun jika dingin, sedang beratnya tetap.

Jika Volume bertambah sedang beratnya tetap maka berat jenis akan turun. Berat jenis turun sebesar 0.0007 untuk kenaikan tiap derajat celcius dalam suhu batas normal Accu. Standar berat jenis menurut perjanjian adalah untuk suhu 20°C.

Perubahan Temperatur

$$S_{20} = S_t + 0.0007(t - 20) \quad (8\text{-}1)$$

Berat Jenis pada temp. 20°C.

Keterangan
S_t = Berat jenis terukur
t = Temperatur Accu *Zuur.*

Contoh

Misalnya memiliki accu zuur dengan kondisi sebagai berikut:

Berat jenis (terukur) 1.250 kg/m^3, temperat 33°C

Maka berat jenis pada 20°C adalah:

S_{20} =1.250 + 0.0007 (33 - 20)
=1.250 +0.0091
= 1.2591

Contoh hasil pemeliharaan *accu battery* ditunjukkan pada Tabel VIII.9.

Tabel VIII.9
Contoh Hasil Pemeliharaan *Accu*

No Sel	Berat Jenis (Kg/m^3)	Tegangan (Volt)
1	1,119	1,33
2	1,119	1,32
3	1,200	1,33
4	1,200	1,33
5	1,175	1,33
6	1,180	1,33
7	1,175	1,33
…	…	…
84	1,200	1,33

Keterangan: tambah accu zuur
- Tegangan nominal=1,41 Volt
- Berat jenis= 1,18 kg/m^3(1,15-1,2)
- Suhu ruangan = 28^oC

D. Keselamatan Kerja

Pada pekerjaan pemeliharaan, faktor keselamatan kerja merupakan faktor yang sangat penting agar kita terhindar dari tersengat listrik, terbakar, terpeleset ataupun terkena benda kerja.

Agar terhindar dari resiko di atas, untuk pengendalian resiko dapat dicapai dengan beberapa cara, diantaranya adalah:

1. Pakailah alat keselamatan kerja, seperti: sepatu, helm, sarung tangan, dan lain-lain,
2. Bekerja dengan hat-hati.
3. Ciptakan suasana lingkungan kerja yang aman dan bersih
4. Gunakan peralatan kerja yang sesuai

E. Latihan

1. Jelaskan syarat-syarat yang harus dipenuhi pada hubungan jajar generator arus searah dengan baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah
2. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan dalam memelihara generator arus searah pada pusat pembangkit listrik arus searah?
3. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan dalam memelihara baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah?

F. Tugas

1. Lakukan praktik kerja jajar generator arus searah dengan baterai akumulator di bengkel anda.
2. Lakukan kegiatan memelihara generator arus searah pada pusat pembangkit listrik arus searah di sekolah anda dengan bimbingan guru dan Teknisi
3. Lakukan kegiatan memelihara baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah di sekolah anda dengan bimbingan guru dan Teknisi
4. Buat laporan hasil pemeliharaan yang telah anda lakukan dan diskusikan hasilnya bersama teman-teman anda dengan didampingi guru

BAB IX
STANDARD OPERATION PROCEDURE (SOP)

START - UNIT III & IV
UNIT PEMBANGKITAN PERAK

A. Umum

1. Maksud dan Tujuan

a. SOP ini dimaksudkan sebagai pedoman untuk pengoperasian peralatan unit pembangkit PLTU Perak khususnya dan PLTU lainnya pada umumnya.

b. Tujuan SOP ini agar setiap petugas operator dapat melakukan pengoperasian peralatan Unit pemnbangkit dengan prosedur yang benar, sehingga tidak terjadi kesalahan kegagalan operasi.

2. Ruang lingkup

a. Ruang lingkup materi
Materi SOP ini mencakup prosedur *cold start*, *hol start* dan *very hot start normal stop*.

b. Ruang lingkup pemberlakuan
SOP ini diberlakukan di unit UPPG PLTU) Perak pada khususnya

3. Referensi

Instruction Book/Operation Manual Book.

4. Definisi

a. PLTU adalah pembangkit listrik yang mulai pengoperasiannya memakan waktu cukup lama kurang lebih 8 jam

b. Istilah
Istilah-istilah yang ada pada SOP PLTU Perak ditunjukkan pada Tabel IX.1

Tabel IX.1
Istilah-Istilah yang Ada pada SOP PLTU Perak

ST	*Steam Turbin*	*BFP*	*Boiler Feet Pump*
ABC	*Automatic Boiler Control*	*CWP*	*Circulating Water PUMP*
MFT	*Auxiliary Transformer*	*MSV*	*Main Stop Valve*
PMT	*Pemutus Tenaga*		
CV	*Pemutus Tenaga*		
SOV	*Shunt Off Valve*		

5. Dokumen

a. Tingkat *(level) d*okumen
   Tingkat 2
b. Sifat Dokumen
   Dokumen terbatas

c. Status Dokumen
   Dokumen Terkendali

6. Format dokumen

a. Sampul Depan

PT PLN PJB I. Unit Pernbangkitan Perak dan Grati. Judul Dokumen Mutu: SOP (Start - Stop UNIT III & IV Nomer Dokumen: Logo Perusahaan: PLN. PJB1, tingkat dokumen, tingkat 2 dan sifat dokumen terbatas.

b. Isi dokumen:
   1) Judul SOP (Start - Stop UNIT III & IV)
   2) Maksud dan tujuan (lihat point 1)
   3) Ruang lingkup (lihat point 2)
   4) Referensl (lihat point 3)
   5) Difinisi lihat (point 4)

Infomasi:
Ketentuan umum, penulisan SOP (*Start - Stop* UNIT III & IV) ini disusun berdasarkan salah satu tugas dari organisasi UPPG.

a. Urutan kerja dan tanggung jawab, diagram alir terlampir.
b. Pengecualian: tidak ada
c. Lampiran: tidak ada

7. Urutan kerja dan tanggung jawab

a. Penyusunan dokumen
Kode Ruang Lingkup 08.
Kode Pendistribusian 10.

Daftar penerimaan dokumen ditunjukkan pada IX.4 pada butir 10

Tingkat dokumen prosedur staf masuk pada kategori dokumen Terbatas.

b. Pemasyarakatan Konsepsi
Mengadakan koreksi dengan bidang terkait/pelatihan-pelatihan

c. Pengesahan Dokumen
Format pengesahan dokumen ditunjukkan pada Tabel IX.2 di bawah ini.

Tabel IX.2
Format Pengesahan Dokumen

Ruang Lingkup	Pengesahan Oleh
Unit Pembangkitan Perak dan Grati	Manajer Unit:

Daftar dokumen terkait ditunjukkan pada Tabel IX.3.

d. Administrasi Dokumen
Administrasi dokumen mutu merupakan tanggung jawab dari penanggung jawab langsung fungsi Sekretariat di unit penerbit dokumen.

Administrasi dokumen mutu antara lain meliputi: penomeran, pencacatan, penggadaan, pendistribusian, penyimpanan, penarikan, dan pemusnahan.

d.1. Penomeran dokumen
Penomeran dokumen mutu dilaksanakan oleh penanggung jawab langsung fungsi Sekretariat. Penomeran dokumen disertai dengan pencantuman tanggal terbit, Penomeran dokumen mutu di perusahaan dilakukan secara *digital record* dengan keterangan sebagai berikut:
- Menyatakan kode ruang lingkup lokasi berlakunya dokumen
- Menyatakan kode elemen ISO 9002 yang bersangkutan

- Menyatakan nomor urut dokumen yang bersangkutan
- Menyatakan nomor urut dari anak dokumen, misalnya untuk Instruksi Kerja.

d.2. Pencatatan dokumen

Pencatatan dokumen dilaksanakan oleh penanggung jawab fungsi Tata Laksana Arsip. Dokumentasi di unit penerbit dokumen. Pencatatan dilakukan pada buku Daftar Induk Dokumen Mutu, yang mencatat nomer urut pencatatan, nomer dokumen, judul dokumen, dan tanggal penerbitannya. Contoh Daftar Induk Dokumen Mutu dapat dilihat pada Tabel IX.6.

d.3. Pendistribusian dokumen

Pendistribusian dokumen, termasuk juga penggandaan, dikoordinasikan penanggung jawab langsung fungsi Sekretaiat di unit penerbit dokumen. Penggandaan dilakukan seperlunya, sedang penjilitan harus diatur untuk memudahkan penggantian halaman-halaman tertentu pada saat terjadi revisi. Pendistribusian dokumen dilaksanakan dengan mengikuti ketentuan - ketentuan sebagai berikut:

d.3.1.Salinan dokumen mutu didistribusikan kepada penerima awal, setelah terlebih dahulu distempel DOKUMEN TERKENDALI dengan warna merah.

d.3.2.Penerima awal akan selalu mendapat salinan setiap terjadi pembaharuan dokumen.

Daftar penerimaan awal dokumen terkendali ditunjukkan pada Tabel IX.4. Sedangkan daftar perubahan dokumen ditunjukkan pada Tabel IX.5

d.3.3.Kepada pihak-pihak yang perlu mendapat informasi tentang prosedur tersebut, tetapi tetapi tidak harus mendapat pembaharuannya dan tidak dipertanggung jawabkan keabsahannya, dapat diberikan salinan (dokumen setelah terlebih dahulu distempel DOKUMEN TIDAK TERKENDALI dengan warna merah.

d.3.4.Dokumen asli distempel MASTER dengan warna merah.

d.3.5.Penerima awal dicatat pada lembar tanda terima, dan penerima wajib memberikan tanda tangannya pada lembar termaksud. Lembar tanda terima dilampirkan pada dokumen asli.

Daftar lembar tanda terima dokumen ditunjukkan pada Tabel IX.7.

d.3.6.Pada setiap halaman salinan distempel dengan warna merah. Angka X sesuai dengan nomor urut penerima awal.

d. 3.7. Apabila penerima awal akan membuat copy untuk orang lain, maka yang bersangkutan wajib membuat administrasi tersendiri untuk mengendalikan dokumen terkait, sehingga dapat dihindari beredarnya dokumen yang sudah kadaluarsa, disamping penelusuran sumber dokumen dapat dilaksanakan dengan jelas. Penomeran dokumen copy ini mengikuti aturan dari nomer penerima awal, seperti contoh berikut:
Dokumen yang distempel dengan **COPY NO. X** dengan warna merah dan **COPY No.51** diparaf yang menunjukkan bahwa dokumen yang bersangkutan adalah turunan ke-1 dari penerima no.5.

d.4. Penyimpangan dokumen

- Dokumen *Master level I* dan *level* 3 disimpan diruang perpustakaan oleh Pelaksana Arsip Perpustakaan dan Dokumentasi.
- Dokumen *level* 4 disimpan oleh masing-masing pejabat yang bertanggung jawab secara langsung atas pengendalian prosedur yang bersangkutan.
- Copy dokumen terkendali disimpan oleh masing - masing penerima copy dokumen sedemikian rupa sehingga mudah dicari dan digunakan untuk pelaksanaan prosedur, analisis, tindak korektif dan sebagainya.
- Dokumen harus disimpan pada tempat yang aman dan terlindung dari kerusakan.

d.5. Penarikan Dokumen

- Setiap dokumen atau lembar dokumen yang selesai direvisi, selanjutnya diperbanyak dan didistribusikan kepada yang berhak menerima.
- Pengiriman dokumen atau lembar dokumen yang diubah harus dicatat pada lembar tanda terima. Pengiriman termaksud disertai dengan penarikan dokumen yang sudah tidak berlaku lagi, untuk segera dimusnahkan.
- Master dokumen yang tidak berlaku lagi distempel dengan KADALUARSA warna merah dan disimpan ditempat dokumen kadaluarsa selama 5 tahun.

e. Peninjauan mutu dokumen

e. 1.Peninjauan ulang mutu tiap-tiap dokumen di perusahaan merupakan tanggung jawab dari semua pihak yang berkaitan dengan dokumen mutu yang bersangkutan.

Sebagai pembina atas peninjauan ulang mutu dokumen termaksud adalah :

- Manajer Divisi Organisasi dan SDM untuk Lingkup Perusahaan dan Kantor Induk, dan
- Manajer Bidang Administrasi untuk lingkup Unit Pembangkitan dan Unit Bisnis. Masing-masing pembina tersebut di atas dapat dibantu oleh satu atau beberapa asisten.

e.2. Untuk menjaga validitas setiap dokumen mutu di perusahaan, maka sesuai ruang lingkup pembinanya, masing-masing pembina mutu dokumen seperti tersebut di atas, secara tahunan meminta konfirmasi atas **"ke-layak-terap-an"** sesuatu dokumen mutu dari setiap pihak yang lerkait, terkecuali terdapat indikasi yang menuntut untuk segera dilakukannya peninjauan ulang.

e.2. Pemutakhiran dokumen dilakukan pada kesempatan pertama, dengan mengikuti ketentuan - ketentuan tersebut terdahulu.

f. Bagan Alir Pengendalian Dokumen

Bagan alir pada pengendalian dokumen mutu ditunjukkan pada Tabel IX.8.

8. Pengecualian

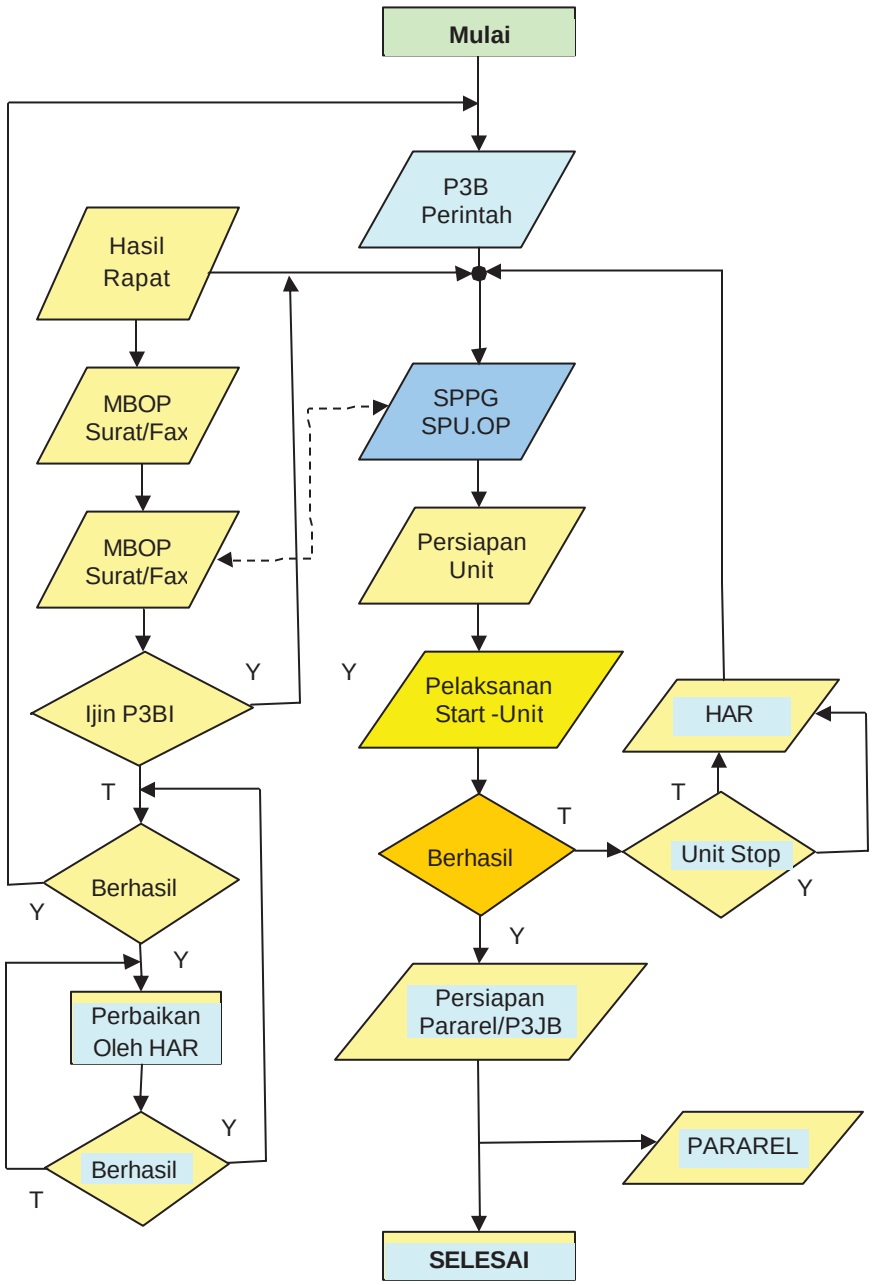
Untuk dokumen tingkat-4 formatnya diselesaikan dengan cara kepedulian, tidak perlu mengikuti ketentuan seperti tersebut pada butir 6.

Tabel IX.3
Daftar Dokumen Terkait

No	Nama Dokumen	Nomor Dokumen
1.	SOP, *Prosedure Operasi Turbin Gas* MW-701	08.10.1
2.	*Start-stop* Unit III & IV	08.10.3
3.	Petunjuk mengatasi gangguan operasi PLTU Perak Unit III & IV	08.30.4

Tabel IX.4
Daftar Penerimaan Awal Dokumen Terkendali

No	Nama Dokumen	Nomor Dokumen
1.	Manajer Unit	UPPG
2.	Manajer Bidang Operasi	
3.	Manajer Bidang Pemeliharaan	
4.	Manajer Bidang Adninistrasi	
5.	Enjinir Bin – Ing	
6.	Enjinir K - 3	



Gambar VIII.1
Bagan Alir *Start-Stop* PLTU PERAK III & IV

Tabel IX.5

Dafar Perubahan Dokumen

No	Tanggal	Yang Diubah		Perubahan		Disahkan
		Hlm	Uraian	Hlm	Uraian	Oleh

Tabel IX.6

Daftar Induk Perubahan Dokumen

NO	JUDUL DOKUMEN	NOMOR DOKUMEN	TANGGAL PENERBITAN	KETERANGAN
1.	Prosedur operasi turbin Gas MW-701 (Start-Up Unit)	08.10.1	Okt.98	
2.	Start-Stop Unit III & IV	08.10.2	11 Des.98	
3.	*Check -List* PLTGU Grati	08.10.3	Des. ‘98	
4.	Petunjuk Mengatasi Gangguan Operasi PLTU Perak Unit III dan IV	08.10.4	11 Okt. ‘98	
5.	Penanggulangan Kebakaran	08.10.5	Nop.’98	
6.	Pengamanan Areal Pembangkit	08.10	Nop.’98	
7.	Penerimaan Solar/HSD Dari Kapal Tanker	08.10.7	Nop.’98	
8.	Daftar Harga Material Pemeliharaan dan Operasi	08.10.8	10 Des.’98	
9.	*Predictive Maintenance*	08.10.12	15 Des.’98	

Tabel IX.7

Lembar Tanda Terima Dokumen

Nomor Dokumen : ....
Judul :..
Revisi : ....
Tanggal Revisi : ....

NO	NAMA PENERIMA	JABATAN PENERIMA	TANGGAL TERIMA	TANDA TANGAN

Tabel IX.8
Bagan Alir Dokumen Mutu

Kegiatan	Penyusunan	Pengesahan	Sekretariat	Penerima	Pembina
1. Penyusunan Dokumen	1				
2. Pemasyarakatan Konsepsi	2				
3. Pengesahan		3			
4. Penomeran			4		
5. Pencatatan			5		
6. Penggandaan			6		
7. Penandaan			7		
8. Pendistribusian/ Penarikan dan Penyimpanan			8	8	8
9. Penggunaan				9	9
10.Peninjauan Ulang				10	10
11. Pemusnahan Dokumen			11		

No	BAB	Keterangan	Halaman
1	I	Prosedur Operasi Start Dingin PLTU Perak Unit III dan IV	1 Sampai 5
2	II	*Unit Start Up After 10 Hours Shut Down*	6 Sampai 9
3	III	*Unit Start Up Very Hot Condition*	10 Sampai 13
4	IV	Prosedur *Start* Kembali Setelah Gangguan Padam Total	14 Sampai 16
5	V	Normal Stop untuk *Electrical Control Board*	17 Sampai 18
6	VI	*Shunt Down Unit (Operator BTB)*	19 Sampai 21
7	VII	*Shut Down Unit (Operator Turbin)*	22 Sampai 24
8	IX	*Shut Down Unit (Operator Boiler Lokal)*	25 Sampai 26

B. Prosedur Operasi Start Dingin PLTU Perak Unit III/IV

1. Persiapan sebelum pemanasan *Boiler*.
   a. Persiapkan seluruh perlatan bantu dan kedudukan air untuk sistem
   b. Persiapkan peralatan kontrol *Instrument* dan sistem udara *Instrument*
   c. Operasikan *Demineralizer Plant*
   d. Operasikan sistem Injeksi Kimia
   e. Jalankan pompa *CWP* dan operasikan sistem pendingin *Condensor*
   f. Jalankan *Boster Pump* dan Operasikan sistem pendingin minyak *bearing*
   g. Jalankan *Turning Gear Oil Pump* selanjutnya *Turning Gear* motor untuk memutar Turbin
   h. Buka semua Katub pembuang (*drain*) *Turbin*
   i. Isilah Boiler dengan menjalankan pompa *make-up*
   j. Buka Katub pengisian *Boiler*
   k. Jalankan sistem *Injeksi Kimia*
   l. Tutup Katub pengisian *Boiler* setelah tinggi permukaan air mencukupi (*Normal Water Level*)

2. Operasilkan HP dan LP *water system* catat untuk HP melalui *bypass*, selanjutnya jalankan pompa *condensate*, pompa pengisi *Boiler (BFP)*

3. Persiapan pemanasan *Boiler*
   a. Jalankan peralatan pemanas udara (AH)
   b. Jalankan *FDF* dan aliran udara diatur: 30 %
   c. *Periksa Pilot Torch Fan* jalan secara *automatic*
   d. Jalankan pompa HSD

4. Lakukan pembilasan ruang pembakaran (*Furnace Purge*), selanjutnya MFT direset

5. Tutup Katub pembuangan *Boiler* antara lain:
   a. *Primary Super Heater* sisi masuk dan sisi keluar
   b. *De Super Heater*
   c. *Secondary Super Heater* sisi masuk

6. Pelaksanaan pemanasan *Boiler*
a. Penyalaan pembakaran (*Boiler Ignition*)
b. Nyalakan *Burner Solar*.

7. Saat tekanan drum mencapai 1,8 Kg/Cm^2 G (±2 jam setelah *firing*), lakukan hal - hal sebagai berikut:
   a. Tutup Katub *Udara Vent drum*

b. Tutup Katub Udara *Vent Super Heater* sisi keluar

8. Saat tekanan uap mencapai 25 Kg/Cm^2 G lakukan hal- hal sebagai berikut:

   a. Operasikan *Aux Steam*
   b. Operasikan *Steam Air Heater* (pembuangannya ke PIT)
   c. Operasikan sistem pemanas pada *Deaerato*r dengan menggunakan uap dari *Aux Steam*.

9. Operasikan bagian katub pembuangan *Super Heater* sisi *Outlet* untuk mengatur suhu uap yang keluar dari *Super Heater* sampai Unit di parallel, jalankan pompa residu

10. Gantilah *Tunning Gear Oil Pump Aux Oil Pump*

11. Proses *Vacuum Up Condensor* (tekanan uap mencapai 50 Kg/Cm^2 G)
    a. Peralatan *Vacuum Trip Spray*
    b. Operasikan *Gland Steam regulator* dan uap perapat ke turbin *Gland*
    c. Buka Katub *Exhaust Starting Ejector*
    d. Tutup *Vacuum Breaker*

12. Operasikan *Ejector* utama secara parallel dengan *Starting Ejector* saat *Vacuum Cendensor* 500mm Hg

13. Matikan *Starting Ejector* bila *Vacuum Condensor* mencapai 690 mm Hg

14. Pemeriksaan sebelum mengoperasikan Turbin
    a. Penunjuk *Shaft Eccentricity di Recorder* < 0,025 mm
    b. Kondisi tekanan uap 50Kg/Cm^2 G dengan temperatur 350 ^{o}C
    c. *Vacuum Condensor* 680 mm^2 Hg
    d. Turbin direset
    e. Naikkan *Load Limiter*
    f. Pastikan kedudukan *Governor Speed Changer* pada posisi *Speed*

15. Mengoperasikan Turbin
    a. Operasikan Turbin dengan memutar *Hand Wheel MSV* sampai putaran 500 RPM dan sesaat MSV ditutup kembali untuk pemeriksaan. Kemudian MSV dibuka pelan-pelan sampai putaran *Turbin* 500 RPM ditahan selama 40 menit
    b. Matikan *Turning Gear* Motor dan *Turn Up* Katub *Spray* minyak pelumas untuk *Turning Gear*

16. Lakukan pemeriksaan mungkin ada suara yang mencurigakan (*Rub. Check*)

17. Pemeriksaan sebelum menaikkan putaran Turbin dari (500-2000) RPM
    a. *Vacum Condensor* > 680 mm Hg
    b. *Eccentricity* 0,025 mm
    c. Naikkan putaran Turbin dengan membuka MSV pelan–pelan dengan kecepatan putaran; 150 RPM/Menit dan untuk putaran (1.600 - 1.900) RPM kecepatannya 250 RPM/ Menit (putaran kritis 1.740 RPM)
    d. Saat putaran mencapai: 1.000 RPM pindahkan *Control Valve* untuk *Oil Cooler* ke posisi *Auto*

18. Pemeriksaan sebelum menaikkan putaran turbin dari (2.000-3.000) RPM
    a. Penunjukkan *Diff. Expansion* < 4,5 mm
    b. Naikkan putaran Tubin dari (2.000 - 3.000)RPM dengan membuka MSV pelan-pelan untuk proses kenaikan dari (2.100-2.400) RPM, kecepatan dibuat 250 RPM/menit (… > putaran kritis 2.260 RPM).

Setelah putaran mendekati 3.000 RPM pengaturan putaran diatur oleh *Governoor Control*.

19. Setelah putaran mencapai 3.000 RPM
    a. MSV dibuka sampai penuh
    b. Matikan AOP
    c. Matikan Pompa *Make-Up*
    d. Nyalakan *Burner Residu*

20. Persiapan parallel Unit
    a. Masukkan *Breaker Eksitasi* Generator 41 F
    b. Posisikan *switch* 43-90R dan 7-70E pada posisi *Auto*
    c. Lakukan parallel Generator dengan memasukkan CB III dan IV M/H
    d. Beban Generator dibuat 3 MW dan ditahan selama 40 menit

Setelah Unit Parallel
    a. Tutup Katub pembuang *Super Heater* sisi keluaran
    b. Tutup Katub pembuang saluran uap utama (*MSP*)
    c. Tutup Katub *Exhaust Spray* dan atur pada posisi *Auto*
    d. Operasikan *Line Spray Super Heater*

21. Pada saat beban 12,5 MW , lakukan hal - hal sebagai berikut:
    a. Tutup Katub pembuang Turbin (TV - 2 , I , 14)

b. Pindahkan pembuangan air *SAH* dari PIT ke *heater* No.l dan jalankan pompa *SAH Drain*
c. Lakukan transfer daya untuk pemakaian sendiri dari *Starting Transfer ke Aux. Transformer*
d. Tetapkan pengaturan beban dengan *Load Limitter*
e. Alirkan *Feed Water* melalui *HP Heater* bila konsentrasi D02 pada air yang keluar dari *Deaerator* < 0,10 PPM
f. Alirkan uap *Extrasi* ke *Heater*

22. Beban Generator 12,5 MW
a. Posisikan *Combuster Control system* pada posisi *Auto*
b. Posisikan *Feed Water Control* pada posisi *Auto*

23. Pada saat beban 15 MW
Posisikan *Spray Water Control* pada posisi *Auto*

24. Pada beban 25 MW
Jalankan satu lagi pompa

C. *BFP* dan *CWP* C. *Unit Start Up After 10 Hours Shut Down*

1. Kondisi Awal
a) Unit dalam keadaan nominal operasi
b) Terjadi gangguan peralatan sehingga unit memerlukan *Shut Down*
c) Gangguan peralatan dapat diperbaiki dalam waktu 10 jam sehingga unit siap dioperasikan lagi

2. Persiapan *Start Up*
a) Jalankan *Condensate Pump*
b) Jalankan *Boiler Feed Pump*
c) Air *Pre Heater* masih dalam keadaan jalan
d) Jalankan *Forced Draft Fan* dan *Air Flow* diatur kurang lebih 30%
e) Auto Start Pilot Torch Fan
f) Furnace Purge
g) MFT Reset
h) Jalankan *Fuel Light Oil Pump*

3. Persiapan *Firing Boiler*
a) Sebelum *Firing Steam Press*: 40 Kg/Cm2 dan temperatur 260 ^{o}C
b) *Light off Burner FLO* A2-A1-A3. Kenaikan temperatur rata-rata 70 ^{o}C/Jam dengan mengatur *Drain Valve Main Steam Pipe* (*MSP*) (V_1-t_2). Sedangkan untuk mengatur kenaikan tekanan uap agar

sebanding dengan kenaikan temperatur dengan mengatur *Drain Valve Secondary Super Heater Outlet*

c) Jalankan *Main Fuel Oil Pump (MFO)*. Buka *Aux Steam* ke *Deaerator*, *Heater set MFO* dan jalankan *Steam Air Heater* (*Drain to PIT*)
d) *Aux. Oil Pump* jalan dan *Turning Gear Oil Pump* mati
e) *Vacuum Up* pada tekanan uap 43kg/Cm^2 dan temperatur 280^oC *Lock Vacuum Trip Dvice*
   - Operasikan *Gland Leakage Condensor Steam*
   - Operasikan *Gland Steam Regulator (GSR) dan Exhaust Fan*
   - Buka *Turbine Exhaust Spary Valve*
   - Operasikan *Starting Ejector*
   - Tutup *Vacuum Breaker Valve*
   - *Pada Vacuum di atas 500 mmHg Main Ejector (MAE)* dioperasikan parallel dengan *Starting Ejector. Pada Vacuum 680 mmHg Starting Ejector* dimatikan
   - Periksa *Eccentricity Turbine Direcorded BTB* sebelum *Rooling* lebih kurang 0,025mm
   - *Reset Turbine*

4. *Rolling Turbine*
   a) Tekanan uap *51Kg/Cm^2. temperatur 315 ^oC Vacuum 700 mmHg.*
   b) Posisi *Governor Control pada Lower dan Load Limit* pada membuka penuh
   c) Buka *Main Stop Valve (MSV)* sesuaikan dengan putaran Turbine yang dikehedaki.
   d) Pada saat putaran Turbine 500 RPM *MSV* diblok sesaat untuk pemeriksaan *Vibrasi Turbine* dan *Generator* dengan alat *Stage*. Bila hasil pemeriksaan tersebut baik, *MSV* bisa dibuka kembali dan putaran 500 RP ditahan selama 20 menit.
   e) Setelah menaikkan putaran dari 500 RPM ke 2.000 RPM periksa *Eccentricity* dipanel *BTB* dengan ketentuan nilainya lebih kurang 0.025 mm dan kenaikan putaran rata-rata 250 RPM/Menit pada saat putaran 2.000 RPM tahan selama 5 menit.

   Keterangan:
   Pada saat putaran 1.000 RPM *Turbine Oil Cooller Control* di *Auto* dan *Diff. Expantion* kurang dari 4,5 mm.
   Naikkan putaran 1.000 RPM MSV dibuka penuh untuk mencapai putaran 3.000 RPM diatur dengan *Governor Control* dari panel *ECB*.

5. Parallel Generator
   a) Tekanan Uap 64 kg/Cm^2 dan temperature 350^oC
   b) Matikan *Auxiliary Oil Pump* (*AOP*) dan juga *Make Up* Pump

c) *Light off MFO Bunner* B2
d) Generator *exitasi*: masukkan *Breaker* 41 E dan AVR atur manual 7-70E dan juga 43-90 R kemudian *Auto AVR* kemudian *Lock* 7-70E.
e) Parallel Generator, masukkan CS 43-25 untuk *Syncrone* selanjutnya masukkan *Breaker* III, IV MH dengan beban max. 5 MW ditahan selama 20 menit. Setelah Generator parallel CS 43-25 dilepas.
f) *Super Heater Outlet Drain Valve* dan *Main Steam Pipe Drain Valve* ditutup. *Turbine Exhaust Spray Valve* ditutup dari *Sett* pada posisi *Auto* kemudian *Heater Spray Water Line* dioperasikan.
g) Naikkan beban dari 5 MW menjadi 12.5 MW dengan kenaikan 1 MW/menit.
h) Tutup *Turbine Drain Valve* (TV 2:4:14)
   - Buka Katub *Steam Air Heater Drain* ke LPH 1 dan jalankan pompanya
   - Lakukan *Transfer Auxiliary* dari *Starting Transformer* ke *Auxiliary Transformer*
   - Sett posisi *Governor System* ke *Load Limitter*

i) Operasikan LPH 1,2. *Deaerator* dan HPH 3,4, *Combustion Control* dan *Feed Water Control System* pada posisi *Auto*
j) Naikkan beban 12,5 MW sampai maximum (sesuai permintaan UPB) dengan waktu 1 MW/menit
k) Pada beban 15 MW *Super Heater Temperature Control* pada posisi *Auto*.
l) Pada beban di atas 25 MW *Boiler Feed Pump dan Circulating Water Pump* jalan masing-masing 2 unit.

D. *UNIT Start Up Very Hot Condition*

1. Kondisi awal:
   a) Unit dalam keadaan normal operasi
   b) Terjadi gangguan jaringan transmisi atau unit pembangkit sehingga unit mengakibatkan *Black Out*

2. Tindakan pengamanan unit
   a) *Emergency Diesel* Generator *Auto Start*
   b) *Boiler Banking*
   c) *Condenser Vacuum Break*
   d) *Stop Auxiliary Steam*
   e) Unit langsung bisa dioperasikan

3. Persiapan *Start Up*
   a) Power Receiving

b) Start Circulating Water Pump
c) Start Sea Water Booster Pump
d) Start Bearing Cooling Water Pump
e) Start Instrument Air Compressor
f) Start House Service Air Compressor
g) Furnance Purge
h) Reset Main Light Oil Pump

4. Persiapan *Firing Boiler*
   a) Sebelum *Firing Steam Press* 70Kg/Cm^2 dan *Temperature* 400^{o}Celcius
   b) *Light off Burner* FLO A2-At-A3. Kenaikan temperature rata-rata 90 ^{o}Celcius/jam (lihat kurva *unit start up very hot condition*) dengan mengatur *Drain Valve* (V4-12) *Main Steam Pie (MSP).* Sedangkan untuk mengatur kenaikan tekanan uap agar sebanding dengan kenaikan temperatur dengan mengatur *Drain Valwe Secondary Super Heater Outlet*.
   c) Jalankan *Main Fuel Oil Pump (MFO)*. Buka *Aux. Steam* ke *Deaerator*, *Heater set MFO* dan jalankan *Steam Air Heater* (*Drain to PIT*)
   d) *Aux Oil Pump* jalan dan *Turning Gear OIL Pump* mati
   e) *Vacuum up* pada tekanan uap 70 Kg/Cm^2 dan temperatur 400 ^{o}Celcius (lihat kurva unit *start up at very hot condition*) *temperature*)
   f) *Lock vacuum trip device*
   - Operasikan *Gland Leakage*
   - *Operasikan Gland* Steam Regulator (GSR)
   - Buka *Turbine Exhaust Spray Valve*
   - Operasikan *Starting Ejector*
   - Tutup *Vacuum Breaker Valve*
   - Pada Vacuum di atas 500 mmHg *Main Air Ejector (MAE)* dioperasikan dengan *Starting Ejector*.
   - Pada *Vacuum* 680 mmHg *Starting Ejector* dimatikan
   - Periksa sebelum *Rooling Eccentricity Turbine* di BTB lebih kurang 0,025 mm
   - Reset Turbine.

5. Rolling Turbine
   a) Tekanan uap 75 Kg/Cm2. Temperature 420 ^{o}Celcius *Vacuum* 700 mmHg
   b) Posisi *Governor Control* pada *Lower* dan *Load Limit Valve* membuka penuh
   c) Buka *Main Stop Valve (MSV)*, sesuaikan dengan putaran Turbine yang dikehendaki, sampai 500 RPM ditahan selama 5 menit

d) Sebelum menaikkan putaran dari 500 rpm ke 2.000 RPM, periksa *Eccentricity* dipanel BTB dengan ketentuan nilainya lebih kurang 0,025 mm dan kenaikan putaran rata-rata 250 RPM pada saat putaran 2.000 RPM tahan selama 5 menit

Keterangan: saat putaran 1.000 RPM *Turbine Oil Coller* di Auto dan *Diff Expantion* kurang dari 4,5 mm

e) Naikkan putaran 2.000 RPM ke 3.000 RPM dengan kecepatan 250 RPM/menit

f) Pada putaran 2.850 RPM *MSV* dibuka penuh untuk mencapai putaran 3.000 RPM diatur dengan *Governor Control* dari Panel *ECB*

6. Pararel Generator

a) Tekanan uap 80 Kg/Cm2 dan temperature 420^{o}Celcius *Vacuum* 700 mmHg.

b) Matikan *Auxiliary Oil Pump (AOP)* dan juga *Make Up Pump*

c) Light off MFO Burner B2

d) *Generator Excitasi*, masukkan breaker 41 E dan atur manual 7-70E dan juga 43-90 R kemudian *Auto AVR* kemudian *Lock* 7-70E

e) Parallel Generator, masukkan CS 43-25 untuk *Syncron*e selanjutnya masukkan *Breaker* 3 (4) MH dengan beban max. 8 MW ditahan selama 5 menit, setelah generator pararel CS 43-25 dilepas

f) *Super Heater Outleat Drain Valve* dan *Main Steam Pipe Drain Valve* ditutup. *Turbine Exhaust Spray Valve* ditutup dan set pada posisi *Auto*. Kemudian *Heater Spray Water Line* dioperasikan

g) Naikkan beban dari 8 MW menjadi 12,5 MW dengan kenaikan (1,5 sampai 2 MW/menit)

h) Tutup *Turbine Drain Valve* (TV2:4:14)

- Buka Katub Steam Air Heater Drain ke *LPH* I dan jalankan pompanya
- Lakukan *Transfer Auxiliary Starting Transformer* ke *Auxiliary Transformer*
- Set posisi *Governor System* ke *Load Limiter*

i) Operasikan LPH I, II. *Deaerator* dan HPH IV, V. *Combustion Control dan Feed Water Control System* pada posisi *Auto*

j) Naikkan beban 12,5 MW sampai maksimum (sesuai permintaan UPB) dengan kecepatan kenaikan (1,5 sampai 2) MW/menit

k) Pada beban 15 MW *Super Heater Temperature Control* pada posisi Auto

l) Pada beban di atas 25 MW, *Boiller Feet Pump* dan *Circulating Water Pump* jalan masing-masing 2 unit

E. Prosedur Start Kembali Setelah Gangguan Padam Total

Yang harus dikerjakan oleh operator pada saat terjadi gangguan pada total adalah:

1. Meyakinkan *Diesel Generator Emergency* Jalan *Auto*

Pada bagian ini pekerjaan yang dilakukan operator adalah:

a) Pertahankan tekanan *Boiler* dengan *Boiler Banking*
b) Tutup Katub saluran uap bantu (*Aux. Steam*)
c) Amati penurunan *vacuum condesor* serta putaran poros turbin
d) Yakinkan *emergency oil pump* jalan *auto*

2. Persiapan start kembali

a) Pengisian kembali tegangan listrik
b) Mintalah pengisian tegangan pada piket melalui melalui line terdekat (misal untuk PLTU perak melalui line Tandes I dan II)
c) Menjalankan peralatan bantu
   - Jalankan *AOP* dan *EOP*
   - Jalankan CWP, normalkan *System Condenser*
   - Jalankan *BCWP* dan normalkan *Cooling Water System* (*Bearing Cooling Water Pump*)
   - Jalankan *Instrument Air Condenser*
   - Jalankan *House Service Compressor*
   - Jalankan *Vapour Extractor* dan *Purifier Oil Pump*
   - Jalankan *Turning Gear Motor*

3. Persiapan Penyalaan Burner

a) Lakukan proses pembilasan dapur *Boiler* hingga MFT Reset
b) Lakukan pembilasan *Gun Burner* (*Burner Gun Purge*)

4. Penyalaan Burner

a) Buka secukupnya MSV *Drain Valve dan Outlet Heater super Heater Drain Valve*
b) Nyalakan segera *Burner* pada lantai bawah dengan bahan bakar solar
c) Operasikan segera sistim uap Bantu

5. Menarik Vacuum Condenser

a) Jalankan/operasikan System perapat Turbin
b) Operasikan *Starting Air Ejector*, setelah *Vacuum* mencapai 500mmHg
c) Jalankan salah satu *Ejector* utama (MAE)
d) Matikan starting air *Ejector* bila *Vacuum* mencapai 680mmHg

6. Menjalankan Turbine

a) Perhatikan tekanan uap = 50 Kg/Cm^2 dan temperature ± 400^{o}C

b) Yakinkan Turbin pada posisi reset dan atur *Load Limit* pada posisi atas, Generator pada posisi bawah

c) Putar Turbin dengan tingkatan kecepatan sebagai berikut:
   - 500 RPM ditahan selama 5 sampai dengan 10 menit
   - 2.000 RPM ditahan selama 15 menit dan selanjutnya dinaikkan hingga 3.000 RPM

7. Persiapan parallel

a) Operasikan *System* penguat Generator dan posisi AVR pada posisi *Auto*

b) Parallelkan generator dan segera dibebani 8 MW

c) Setelah ± 15 menit, naikkan beban hingga 12,5 MW atau sesuai permintaan piket

d) Pada saat beban mencapai ± 12,5 MW lakukan *Transfer Auxiliary* dari SST ke *Aux. Transf*.

F. Normal *Stop Untuk Electrical Control Board*

1. *Stop*

a) Beritahu pusat pengatur beban tentang jadwal waktu dan alasan untuk melepas unit dari jaring-jaring (parallel Off)

b) Hubungi operator ECB, turunkan beban unit dari 50 MW ke 12,5 MW

c) Pindahkan daya pemakaian sendiri (pada beban 12,5 MW)
   - Putar saklar *Syncron Cope* 43-25/3(4) pada posisi On dari pemutus tenaga 3 (4) AT
   - Yakinkan kembali tegangan dan perbedaan phase dan kemudian saklar Control 3(4) AT dapat diputar pada posisi ON
   - Putar saklar *Control* 3 (4) AL pada posisi *Off*

d) Hubungi operator BTB, turunkan daya Generator sampai ± 3 MW dan factor daya 100%, kemudian buka/lepas 3(4) MH (15-130) (5-140) parallel *Off.*

e) Buka pemutus tenaga untuk penguatan medan (putar 3-41E pada posisi *Off*)

f) Matikan AVR (ubah saklar pemindah 43-90 pada posisi manual)

g) Hilangkan *System* medan penguat, dengan cara menarik saklar *Control* 7-70E pada posisi manual dan tempatkan 70E pada batas terendah (lampu hijau) juga (7-90R jaga kondisi seperti ini)

h) Yakinkan bahwa saklar pemindah untuk pemanas ruangan dari Generator dan *Exiter* pada posisi *Auto*

i) Buka PMS 15-131 (15-141) dan putar 3-52/15-131 (15-141) pada posisi *Off*.

j) Operasikan *Governor* motor listrik pada batas paling rendah (lampu hijau menyala) dan load limit motor listrik pada posisi paling atas/lampu hijau menyala
k) Matikan sumber tegangan DC untuk *Control* 3(4) MH 15-131 (15-141) 41E.
l) Hentikan aliran air untuk alat pendingin Generator
m) Beritahu pusat pengatur beban bahwa unit sudah lepas jarring-jaring daN sebagainya
n) Matikan *Contro*l catu daya dari 3 (4) AL dan letakkan pemutus tenaga pada posisi *draw out*
o) Matikan *system* pendingin transformator utama (putar 43P, 43F pada posisi *Off*).

G. *Shut Down Unit* (Operator BTB)

1. Normal *Shut Down*

a) Persiapan
Jalankan *Blower* pembersih jelaga (*Soot Blower* ± 71 menit)

b) Pengurangan beban
- Hubungi unit pengatur beban
- Kecepatan pengurangan beban kira-kira 1 MW/menit
- Mulailah pengurangan pembebanan *Boiler* secara perlahan-lahan denga *Autmatic Control* (kurangi kecepatan pemanasan dan kurangi aliran uap)

c) Mematikan Burner
- Mulailah mematikan *Burner* satu persatu dari bagian yang paling atas, Burner B1-B3
- Beban Beban Generator mencapai 25 MW, matikan 1-CWP dan 1 BFP
- Matikan *Burner* A2
- Beban Generator mencapai 12,5 MW, ubah ABC dari posisi *Automatic* ke posisi manual, (*Combustion Control, Feed Water Control, Steam Temperature Control*)
- Operasikan Katub pembuangan dari Steam Air Heater (SAH) dan tutup yang menuju LPH 1
- Matikan A1 dan A3 pada beban Generator mencapai 3 MW, *Burner* B2 dimatikan
- Membuka *Valve Exhaust Spray*

d) Generator lepas dari jarring-jaring 3 (4) M/H dibuka
- Jalankan *Auxiiary Oil Pump* secara manual
- Jalankan *Make Up Pump*

- Memindah Oil Cooler Control Valve dari Auto ke posisi manual ± 35%
- Membuka *Vacuum Breaker* apabila putaran Turbine mencapai 500 RPM
- Apabila *Eccentricity* dalam kondisi normal, matikan "AOP" dan ubahlah *Switch* pada posisi Auto
- Setelah *Burner* mati semua, maka poma minyak bahan baker tetap jalan selama 15 menit untuk pendinginan *Line* (Temeratur minyak 50^{o}C

e) Pembilasan dapur *Boiler*
Jalankan PDF selama 5 menit setelah *Unit Shut Down*

f) Boiler dalam kondisi *Botle Up*
- Alat pemanas udara (AH) tetap berputar/jalan
- Matikan FDF
- Matikan BFP (Pompa Air Pengisi) setelah pengisian *Steam Drum* mencapai tinggi permukaan *maximum* (pengisian dilakukan melalui CV -10).

2. Boiler Cooling Shut Down

a) Generator dilepas dari jaring-jaring (*parallel Off*)
- Padamkan semua Burner
- Jaga *FDF* dan *Air Heater* (pemanas udara) tetap berputar
- Buka Katub pembuangan pada *Heater* Pemanas Lanjut kedua

b) Forced Cooling of Boiler

Catatan:
Pertahankan/jaga kecepatan pengurangan/penurunan temperature pada ±55^{o}C/jam

- Atur kecepatan udara dan Katub pembuangan untuk mempertahankan kecepatan pendinginan pada ± 55^{o}C
- Isi air kedalam *Boiler* dengan menggunakan Katub CV-10 pertahankan tinggi air permukaan *maximum* pada alat pengukur
- Bila tekanan uap didalam Steam Drum Turbine 1,8 Kg/Cm2 G buka Katub pembuangan/vent pada *Drum* dan Katub pembuangan uap utama
- *Temperature Air Boiler* dapat diturunkan sampai mencapai ± 65^{o}C atau kurang dari ± 93^{o}C sebelum dapat dilakukan pembuangan *Air Boiler*

Catatan:
Temperatur air Boiler ± 65°C ⟶
Normal Draining
Temperatur air Boiler ± 93°C ⟶
Boiler Repair Draing
Matikan FDF dan alat pemanas udara

H. Shut Down

1. *Normal Shut Down* (*Operator Turbine*)

a) Pengurangan beban
- Pengurangan beban dilakukan dengan batasan 1 MW/menit sambil mempertahankan tekanan uap utama selama masih memungkinkan
- Selama pengurangan beban, perhatikan peralatan pengaman turbine

1) Batas pengoperasian untuk tingkat perubahan *temperatur Turbine*
- Penurunan temperature uap masuk *Turbine* sampai 220°C/jam
- Penurunan temperature pada *First Stage Inner Wall Casing Metal* sampai 83°C/jam

2) Temperature uap
3) Perbedaan permuaian (*Diff. Expansion*)
4) Getaran
5) Temperture minyak pelumas bantalan
6) Buka semua katub *Drain Turbine*

b) Generator lepas dari jaring-jaring
1) Generator lepas dari jarring-jaring
2) *Hand Trip Turbine* dan *Tutup Handle MSV* pada posisi tertutup penuh
3) Matikan *ejector* udara
   - Tutup katub udara
   - Tutup katub uap
   - Tutup katub *drain*
4) Matikan alat pemanas air pengisi *Boiler* dengan menutup katub uap ekstrasi yang masuk ke pemanas No.5, No.4, No.3, No.2, dan No.1
5) Buka Vacuum Break Valve (TV-50)
   - Pada saat *turbine* 500 RPM
   - Yakinkan *Eccentricity* stabil
6) Setelah *Vacuum Condensor* mencapai 50mmHg, matikan *Gland Steam Regulator* dan tutup katub masuk uap ke GSR (TV-7)
7) Matikan Gland Steam Condensor Exhaust Fan
8) Setelah putaran Turbine mencapai 0 (nol), segera hubungkan *Turning Gear* dengan poros Turbine secara manual

- Jalankan *Motor Turning Gear*
- Periksa untuk kelainan pada *Turbine* dan *Eccentricity*
- Jalankan *Turning Gear Oil Pump* dan matikan *Aux. Oil Pump*, atur *Control Switch* pada posisi *Auto*
- Matikan pompa *Condensate*

9) Deaerator
- Aliran uap perapat (*Sealing Steam*)
- Tutup Katup pemasukan uap pemanas (VC-7)
- Tutup semua katup pembuangan udara

I. Pengoperasian Pada Turning Gear

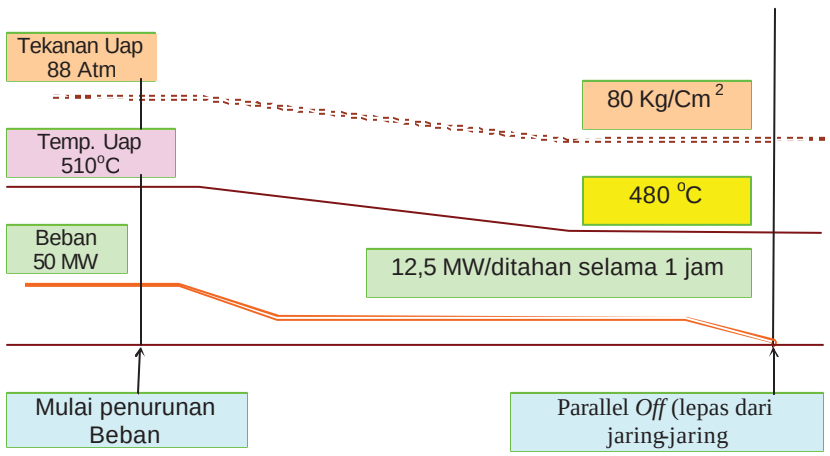
1. Normal Shut Down

Pengopeasian *turning gear* dapat dijalankan terus menerus hingga temperatur metal tingkat pertama *turbine* turun kira-kira 150^{o}C.

2. Shut down untuk pemeriksaan atau perbaikan yang lebih luas (lebih dari 24 jam)

Pengoperasian *turning gear* dapat dijalankan terus menerus untuk selama 3 sampai 5 jam. Untuk mencegah kenaikan temperature pada bearing (bantalan) setelah *turning gear* dimatikan, lumasi terus menerus untuk beberapa jam, pertahankan temperature minyak pelumas kira-kira 30 ^{o}C. Selama periode ini, setiap 15 sampai 30 menit, *rotor turbine* harus diputar 180^{o}C untuk menghindari *defleksi* rotor.

3. *Cooling shut down* (pendinginan waktu *shut down*)



Gambar IX.2
Grafik Pengoperasian pada Turning Gear

J. *Shut Down Unit (Operator Boiler Local)*

1. Dalam pelaksanaan untuk penurunan beban dari 50 MW - 35 MW perlu pengawasan *pressure MFO Bunner* dan *Auxiliary Steam* tidak boleh lebih dari 12 Kg/Cm^2
2. Matikan *Bunner MFO* B1 dan B3 secara bergantian serta tunggu sampai *purging Bunner* tersebut di atas selesai sesuai prosedur
3. Pada beban mendekati 25 MW, perlu pengawasan *pressure auxiliary steam* karena pada saat itu terjadi pemindahan *heating steam* yang disuply dari *extraction* No.3 akan diambil alih secara *automatic* dan disuply dari *Aux. Steam Boiler* melalui CV-31 dan reset pada *pressure* 1,4 Kg/Cm^2
4. Pada beban unit mencapai 12,5 MW
   Matikan *Burner MFO A2* dan tunggu *Purging Burner* sampai selesai sesuai prosedur
5. Beban unit mendekati 3 MW
   Matikan Burner MFO A1 dan A2 dan tunggu *Purging Burner* sampai selesai sesuai prosedur
   Buka katup sirkulasi MFO secukupnya dan pertahankan *pressure Burner* antara 7-10 Kg/Cm^2
6. Generator unit lepas jaring-jaring
   Matikan *Burner MFO* B2 dan tunggu *Purging Burner* sampai selesai sesuai *prosedure*
   - Tutup *valve supply auxiliary steam* yang menuju ke *automizing burner* dan *heating steam* (*deaerator, heater set* dan *steam* air *heater*)
   - Tutup *valve supply steam* ke *ejector flash evaporator*
   - Tutup *valve supply steam* ke *heater* tangki MFO
   - Tutup *vave drain* yang menuju *sumpling rack*
   - Tutup *valve supply steam line blow soot*
   - Tutup *valve* yang menuju ke *blow down*
   - Tutup valve (MFO burner, *automizing burner*, dan *FLO burner*)
7. Pressure *boiler drum* mencapai 1,8 Kg/Cm^2
   - Buka *valve vent* untuk *steam drum* (*Boiler* digembosi).
   - Buka air *vent valve outlet* super *heater* dari BTB.

K. Pemeliharaan Dan Sop Pada Pusat Pembangkit

1. Sistem Kelistrikan

a. Kehandalan unit.

Diperlukan peralatan untuk menjaga keandalan unit pembangkit, sehingga apabila terjadi trip unit, maka masih ada peralatan yang dapat

bekerja tanpa terpengaruh keadaan unit, Peralatan tersebut antara lain adalah:

a. Untuk suplay 3,3 kV, meliputi Motor BFP #3C dan #4C

b. Untuk suplay 380 V meliputi :
- *To CW intake plant* C/C
- *To Water treatment*
- *Power house Air Conditioner*
- *Spare*

c. Suplay dari output generator
Output generator 13,8 kV selain dinaikan tegangannya dengan trafo step-up menjadi 150 kV untuk mensuplay jaringan, di satu sisi juga tegangannya diturunkan dengan trafo *step-down* menjadi 3,3 kV untuk menyuplai peralatan bantu.

2. System Logic and Wiring Diagram

a. Sistem logic

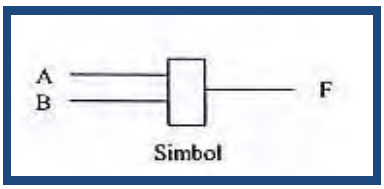
Sistem *logic* merupakan suatu system yang menggambarkan tentang persayaratan – persyaratan yang harus di penuhi agar suatu peralatan dapat di operasikan. Dalam *sistem logic* terdiri dari beberapa gerbang (*gate*) yaitu :

1) Gerbang *AND*

Gerbang *logic "AND"* akan menghasilkan *output*: "1" jika semua sinyal masukannya bernilai "1". Dan outputnya akan bernilai "0" jika salah satu inputnya bernilai "0"

Tabel IX. 9
Kebenaran "AND"

Input		Ouput
A	B	F
0	0	0
0	1	0
1	0	0



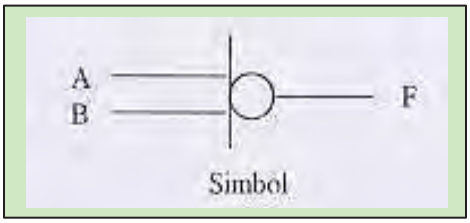
Gambar IX.3
Simbol Gerbang AND

2) Gerbang OR

Gerbang logic ”OR” akan menghasilkan output ”1” apabila salah satu sinyal masukkannya bernilai ”1”. Dan outputnya akan bernilai ”0” apabila semua inputnya bernilai ”0”.

Tabel IX.10
Kebenaran ”OR”

Input		Output
A	B	F
0	0	0
0	1	1
1	0	1



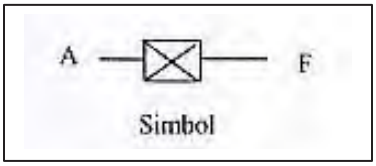
Gambar IX.4
Simbol Gerbang OR

3) Gerbang NOT

Output gerbang ”NOT” adalah kebalikan dari inputnya, jadi jika inputnya bernilai ”0” maka outputnya akan bernilai ”1”. Demikian sebaliknya.

Tabel IX.11
Kebenaran ”NOT”

Input (A)	Output (F)
0	1
1	0

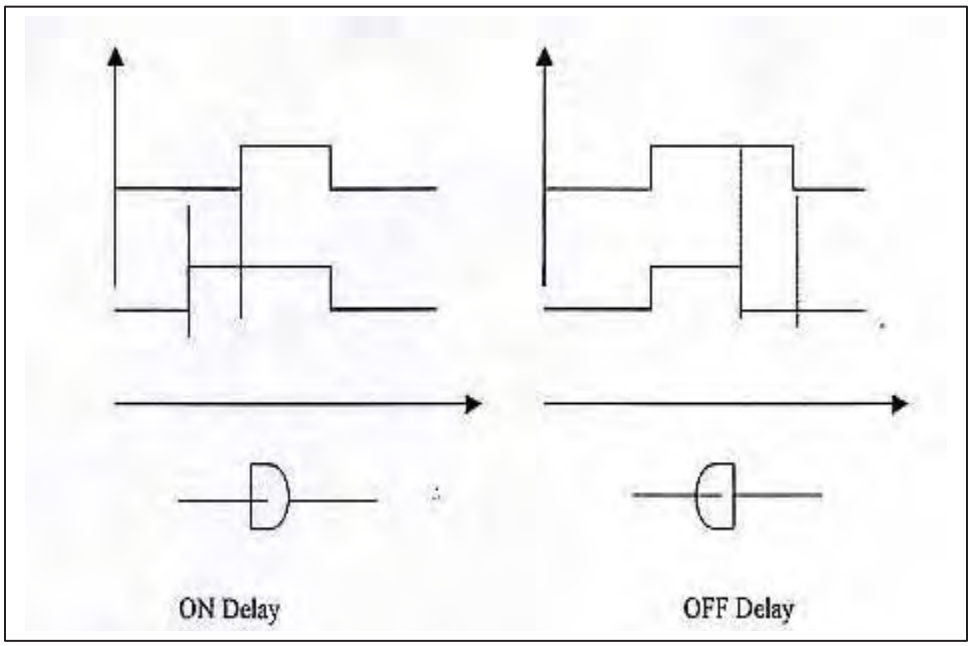


Gambar IX.5
Simbol Gerbang NOT

a. Timer

Timer merupakan suatu piranti yang memberikan hitungan waktu terhadap kerja suatu rangkaian. Sehingga dengan adanya timer ini, suatu alat dapat bekerja ”ON” atau kapan dia akan berhenti bekerja ”OFF” sesuai dengan set yang dikehendaki

Contoh :
Sistem Logic SWBP
Sistem logic SWBP ini merupakan salah satu gambaran bahwa untuk dapat menjalankan SWBP, maka harus dipenuhi persyaratan-persyaratannya yaitu :
Salah satu CWP harus sudah jalan selama 30 detik, tidak ada sinyal ”OFF” terhadap alat, Power supply tidak terganggu, terdapat sinyal ”ON” atau salah satu SWBP mengalami ”trip”. Jika persyaratan tersebut dipenuhi otomatis SWBP dapat dijalankan.



Gambar IX.6
On Delay dan Off Delay pada Timer

a. Wiring diagram

Pada dasarnya *wiring diagram* merupakan pelaksanaan secara elektrik dari persyaratan logic secara detail. Wiring diagram terdiri dari dua rangkaian, yaitu :

a. Rangkaian pengendali, merupakan rangkaian yang dibuat untuk Menjalankan maupun mengontrol suatu peralatan sesuai dengan prinsip kerjanya.
b. Rangkaian tenaga, Merupakan rangkaian yang dibuat untuk memberikan suplay tenaga listrik utama untuk menjalankan suatu peralatan.

Kedua rangkaian tersebut dilengkapi dengan magnetic contactor, relai, terkadang terdapat timer untuk memberikan hitungan waktu terhadap kerja suatu peralatan.

Contoh :
Wiring diagram dari SWBP.
Ketika selektor switch diputar pada posisi ”ON” kontaktor akan bekerja, sehingga kontak *NO* yang diparalel akan mengunci. Kemudian SWBP akan bekerja, relai yang mengerjakan lampu indikatorpun akan bekerja sehingga lampu indikator merah yang diseri dengan ”*NO*” relai akan menyala. Apabila saklar ”*OFF*” yang diseri dengan kontaktor ditekan, otomotis arus yang mengalir kekontaktor akan terputus dan kontaktor berhenti bekerja, dan motor SWBP berhenti operasi, sehingga lampu indikator merah mati dan lampu indikator hijau menyala.

Pada kondisi SWBP trip, maka ”*NO*” relai yang dihubung pararel dengan mekanik spring dari saklar ”*ON*” akan menutup, sehingga relai akan bekerja. Karena salah satu kontak ”*NO*” relai tersebut dihubungkan dengan satu ”NO” kontaktor, maka kontaktor SWBP yang *stanby* akan bekerja, dengan demikian SWBP yang stanby akan beroperasi.

3. Prinsip kerja peralatan dan spesifikasinya

a. Generator

Tipe : Tipe silinder, generator sinkron
Keluaran : 62.500 KVA
Tegangan : 13.800 Volt
Phasa : 3
Faktor daya : 0,8 (*lagging*)
Putaran : 3000 putaran

Frekuensi : 50 Hz
Kutub : 2
"*Short Circuit Ratio*" : 0,5
Arus : 2.615
Sistim pendinginan : *"fresh water cooled"*, pendinginan udara

b. Motor listrik

Berfungsi untuk mengubah energi mekanik putar menjadi energi listrik yang berlangsung melalui medium medan magnet.

Prinsip kerja

Prinsip kerja generator berpegang pada hukum *faraday* yang menyatakan bahwa bila suatu medan magnet berputar secara kontinyu diantara kumparan konduktor atau sebaliknya, maka akan timbul perpotongan fluks secara terus menerus yang mengakibatkan timbulnya GGL induksi pada ujung-ujung kumparan tersebut. Besarnya GGL yang dibangkitkan adalah :

$$e(t) = - N (d\Ø/dt) \qquad (9\text{-}1)$$

N = Banyaknya belitan kumparan
Ø = Banyaknya garis gaya magnet (fluks)
T = Perubahan kecepatan perpotongan fluks dalam detik

Terhubungnya suatu generator dengan generator lainnya dalam suatu jaringan interkoneksi yang disebut kerja pararel harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Tegangan kedua generator sama besar
- Frekuensi generator harus sama
- Urutan fasa kedua generator harus sama

Besarnya frekuensi generator diatur oleh penggerak mula, sedang besar tegangannya diatur oleh penguat medan. Berapa hal yang perlu diingat yaitu :

- Penguatan medan hanya mengubah faktor kerja (cos Ø).
- Jika daya yang masuk ke mesin penggerak (turbin) dijaga konstan tetapi penguatan diubah maka komponen kVA yang keluar dari mesin generator berbah sedangkan komponen kW nya tetap.

c. Transformator

Macam trafo yang digunakan dalam sistem kelistrikan adalah :

- Step-Up 13,8 KV/150 kV
- Step-Down 13.8 KV/3,3 kV
- Step-Down 3,3 KV/380 kV
- Step-Down 70 KV/3,3 kV

Fungsi transformator adalah untuk menstransformasikan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik kerangkaian listrik yang lain melalui proses gandengan magnet.

Prinsip kerja:
Trafo bekerja berdasarkan prinsip kerja induksi elektro magnet. Jika pada sisi primer trafo dihubungkan dengan sumber tegangan (Vp) yang sinus maka mengalir arus primer (I_P) yang juga sinus. Sehingga timbul fluks sinusoidal yang mengakibatkan timbulnya tegangan induksi pada kumparan skunder. Besarnya tegangan sekunder tergantung pada jumlah perbandingan belitan, yaitu:

$$Vp/Vs = Np / Ns \quad (9\text{-}2)$$

Kerja pararel transformator
Pertambahan beban menghendaki adanya kerja pararel trafo, dengan tujuan beban yang dipikul menjadi sebanding dengan kemampuan kVA masing-masing trafo sehingga tidak terjadi pembebanan dan pemanasan lebih pada trafo. Syarat untuk mempararelkan transformator adalah:
- Tegangan sama
- Polaritas transformator sama
- Frekuensi sama
- Jam transformator sama

d. Penghubung
Pada sistem jaringan yang besar terdapat dua jenis peralatan hubung, yaitu :

1) Pemutus Tenaga (PMT)/*Circuit Breaker* (CB)

Fungsinya adalah untuk memutuskan rangkaian listrik dengan rangkaian listrik lain baik dalam keadaan berbeban maupun gangguan.

Karena PMT bekerja dalam keadaan berbeban, maka dilengkapi dengan peredam busur api listrik. Sehingga macam PMT diklasifikasikan berdasarkan pemakaian media peredam busur apinya yaitu :

- PMT minyak (OCB)
- PMT udara (ABB)
- PMT gas SF6
- PMT vacum (VCB)

Prinsip kerja
Pada keadaan normal, kerja PMT adalah interlock dengan PMS, yaitu PMT bisa masuk (operasi) setelah PMS masuk (operasi). Pada Keadaan abnormal, ketika arus yang melewati PMT melebihi arus kerja dan mencapai setting arus pemutusan, maka secara otomotis PMT dengan cepat membuka pada saat membukanya PMT akan timbul busur api pada ruang kontak PMT.
Busur api ini kemudian dipadamkan oleh media pemadam yang digunakan oleh PMT tersebut. Yang menyebabkan PMT dapat membuka dengan cepat adalah adanya pegas spiral yang diputar oleh motor, *pneumatik*, atau *hydrolik* sehingga PMT siap operasi.

2) Pemisah (PMS)/ *Disconecting Switch (DS)*

Fungsinya adalah untuk memutuskan atau menghubungkan rangkaian listrik dengan rangkaian listrik lain pada kondisi tidak berbeban.

Tipe-tipe dan konstruksi PMS diklasifikasikan menurut proses geraknya. Proses gerak penutupan dan pembukaan PMS dapat dilihat oleh mata, sehingga dengan jelas dapat dinyatakan masuk dan tidaknya PMS tersebut secara langsung di lokal. Macam PMS tersebut adalah :

- PMS engsel
- PMS gerak siku
- PMS gerak putar
- PMS gerak gunting

Prinsip kerja
Prinsip kerja dari PMS juga *interlock* dengan PMT, yaitu PMS baru bisa keluar apabila PMT telah keluar. Dan PMS harus dimasukan lebih dahulu baru kemudian PMT dapat dimasukan. Sedang dengan PMS tanah, PMT baru bisa dimasukan jika PMS tanah telah membuka. Karena PMS didesain dengan jarak pembukaan kontak yang cukup lebar, maka PMS sangat baik digunakan untuk mengisolasi rangkaian yang toidak bertegangan dari rangkaian yang bertegangan pada saat adanya pekerjaan pemiliharaan pada bagian yang tidak bertegangan tersebut.

e. Motor listrik

Fungsinya adalah untuk menggerakan peralatan-peralatan bantu (*auxciliary equiment*) yang ada di unit pembangkit seperti pompa-pompa, fan, katup-katup, PMT, PMS, dan sebagainya.
Prinsip kerja
Prinsip kerja motor listrik berpegang pada gaya lorentz yakni, gaya yang ditimbulkan dalam suatu penghantar berarus listrik pada medan magnet.

Pada motor tiga fasa, ketiga kumparan stator diberi tegangan timbul medan putar dengan kecepatan N_s =120.f/P. Sehingga batang konduktor pada rotor akan memotong medan putar sehingga pada rotor timbul tegangan induksi:

$$V = 4{,}44 \cdot f \cdot N \qquad (9\text{-}3)$$

Karena kumparan rotor merupakan rangkaian yang tertutup maka GGL akan menghasilkan arus yang menyebabkan timbulnya gaya yang melawan arah gaya yang dibangkitkan pada stator, sehingga rotor akan berputar. Besarnya gaya yang di bangkitkan adalah :

$$F = B \cdot L \cdot V \qquad (9\text{-}4)$$

Keterangan:
F = Gaya yang dibangkitkan
B = Medan magnet
L = Panjang penghantar
V = Tegangan

4. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian

a. Generator
   1) Pastikan tahanan isolasi dari generator dan *exciter* sesuai yang ditentukan.
   2) Pastikan bahwa satu daya untuk arus searah dan bolak-balik untuk kontrol sudah ada dan sesuai nilainya.
   3) Aliran air pendingin dalam alat pendingin udara generator :
      - Buka semua katup pemasukan dan pengeluaran dari tiap-tiap alat pendingin.
      - Buka katup venting dari tiap-tiap alat pendingin.
      - Operasikan alat-alat pencatat suhu dari generator.
      - Pastikan bahwa relai-relai pengaman dalam kondisi operasi, dan tiap-tiap lock-out relai sudah di reset.

b. Transformator

Pada saat persiapan:

1) Yakinkan tahanan isolasi trafo utama dan trafo untuk alat bantu dalam keadaan baik (ukur tahanan isolasi dengan megger) pada saat waktu *shutdown* telah lebih dari satu minggu.
2) Yakinkan bahwa relai-relai pengaman trafo sip bekerja.
3) Yakinkan tidak ada kebocoran di radiator maupun ditempat lainnya dan pastikan level minyak trafo normal.

Pada saat pengoperasian:

1) PMT sisi tegangan tinggi lebih dahulu dimasukan (interlock PMT)
2) Selama operasi normal, periksa temperatur (kenaikan kuang dari 55^{o}C) dan *level* minyak pada *conservator*).

c. Penghubung

1) Apabila akan menghubungkan rel (busbar) ke jaringan, maka PMS di operasikan dahulu baru kemudian PMT dioperasikan
2) Bila akan keluar dari jaringan, maka PMT dahulu dioperasikan (buka) baru kemudian PMS (buka).

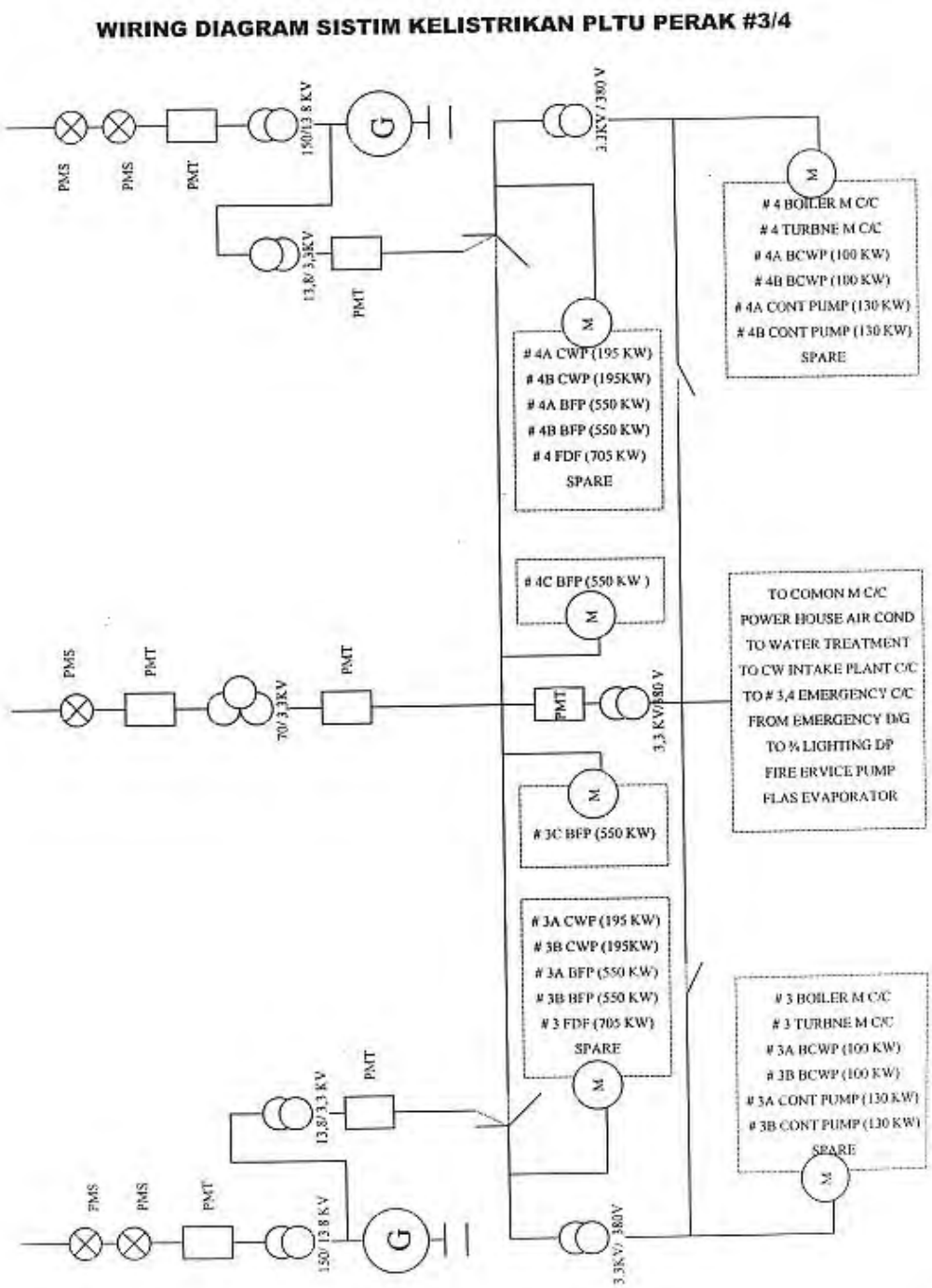
d. Motor Listrik

Pada waktu persiapan:

1) Periksa dan pastikan ada sumber tegangan.
2) Periksa over current relai bekerja atau tidak.
3) Grounding body motor listrik.
4) Periksa minyak pelumas bearing motor.

5. Peralatan Kerja

a) Wearpack
b) Saety Shoes
c) Helm pengaman
d) Ear plug



Gambar IX.7
Contoh Wiring Diagram Sistem Kelistrikan PLTU Perak

L. SOP GENSET

1. Langkah-langkah Operasi dan produksi

Mesin diesel berfungsi sebagai penggerak generator, pengecekan terhadap mesin dilakukan setiap hari. Perawatan meliputi komponen mesin diesel, pelumas, pendingin dan bahan bakar. Khusus terhadap komponen-komponen mesin telah disediakan suku cadang untuk mengganti komponen yang rusak atau aus.

Minyak pelumas dan filter minyak pelumas setiap 1000 jam operasi mesin harus diganti, untuk itu disediakan sebuah reservoir berupa tangki bawah tanah, dimana berfungsi sebagai penampung minyak pelumas, baik yang masih baru maupun yang pernah dipergunakan.

Mesin diesel sering digunakan sebagai penggerak utama (*prime mover*) pada generator, dengan kata lain mesin diesel menghasilkan energi mekanik yang akan digunakan generator untuk menghasilkan energi listrik, sedangkan mesin diesel sendiri dalam beroperasi menggunakan bahan bakar minyak solar dalam beroperasi.

Minyak solar yang baik, memiliki harga kalori sebesar 10000 Kcal/liter, sedangkan 1 kWH (satu kilo watt) yang dihasilkan setara dengan 860 Kcal. Untuk mendapatkan kontinuitas yang baik, maka suplai minyak solar harus diatur dengan baik pada suatu sistem pembangkit tenaga listrik. Penyuplaian/penyaluran minyak solar membutuhkan beberapa komponen, yaitu:

a. Tangki penyimpanan (*Storage Tank*)
   Tangki ini digunakan untuk menampung minyak solar, dimana minyak solar itu didapat dari suplai mobil/truk tangki minyak, daya tampung tangki ini relatif besar karena tangki itu digunakan untuk menampung solar untuk kebutuhan selama beberapa hari (misalnya:untuk kebutuhan 1 minggu).

b. Tangki harian (*Daily Service Tank*)
   Tangki ini digunakan untuk menampung minyak solar untuk penyaluran harian, sehingga kapasitas tangki relatif lebih kecil dibanding tangki penyimpanan (*storage tank*), biasanya tangki ini diletakkan lebih tinggi dari mesin diesel, yaitu kurang lebih 1.5 meter.

c. Beberapa jenis pompa, yaitu digunakan untuk mendorong minyak dalam penyaluran, meliputi:

   1) Booster pump

Digunakan untuk memompa minyak solar menuju mesin diesel dengan tekanan tertentu sesuai dengan spesifikasi mesin tersebut.

2) *Hand pump*
Digunakan untuk memompa minyak secara manual (dengan tenaga manusia), biasanya digunakan untuk memompa minyak dalam kapasitas kecil.

3) Fuel transfer pump
Digunakan untuk menyalurkan atau memindahkan minyak solar dari suatu tangki ke tangki yang lainnya, truk tangki minyak solar menuju ke penyimpanan (*Storage Tank*).

4) *Duplex filter*
Digunakan untuk menyaring minyak solar dari kotoran-kotoran yang terkandung dalam minyak solar.

Bahan bakar di distribusikan secara sistematis. Sistemnya merupakan alur dari aliran bahan bakar dari tangki penyimpanan sampai ke mesin diesel. Sistem dimulai dari tangki penyimpanan bahan bakar, terdapat empat buah tangki masing-masing berkapasitas kurang lebih 13.145 liter. Bahan bakar solar yang terdapat pada tangki penyimpanan disedot oleh dua buah *fuel transfer pump* dan dialirkan menuju *daily service tank* masing-masing genset yang memiliki kapasitas kurang lebih 500 liter. Solar dari *daily service tank* dialirkan menuju mesin diesel (tiap mesin diesel memiliki 9 silinder) oleh *boster pump* dengan kecepatan konstan. Sebelum masuk ke mesin, bahan bakar dilewatkan pada duplex filter. Bahan bakar yang tidak terbakar dan dimasukan ke *daily service tank*, apabila pada *daily service tank* terdapat kelebihan bahan bakar, maka bahan bakar tersebut dimasukan kembali ke tanki penyimpanan.

Genset memerlukan bahan bakar solar bergantung kapasitasnya, misal kebutuhan solar pada Genset 115 liter/jam/unit dan pengoperasian genset mulai pukul 06.00 hingga pukul 22.00 (16 jam operasi), maka diperlukan solar maksimum 16 x 115 x 4 = 7360 liter/hari/4 unit.

Selain perawatan, observasi pendistribusian tegangan, energi listrik dapat disuplai dari genset-genset yang berada di Power House I & II atau dapat pula disuplai dari PLN. Bila disuplai dari PH-I, energi listrik dialirkan ke sub distribusi *panel substation* dengan tegangan 20 KV.

Pendistribuisian tenaga listrik dilakukan dengan sistem ring, setiap substation dapat disuplai tenaga listrik dari semua tempat. Jika *shop house substation* mati maka dapat mensuplai tegangan dari *shoping centre subtation*. Untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan generator dari 6 kV menjadi 20 kV menggunakan transformator daya.

Sebagai contoh, transformator daya yang digunakan di plaza Surabaya ada sebanyak empat unit, masing-masing terhubung dengan *outgoing genset*. Klasifikasi data trasformator adalah sebagai berikut:

Tabel IX.12
Data Transformator

Merk	ASEA LEPPER
Made in	West Germany
Type	DOHK
Rate power	2000
Rate voltage (volt)	6000
Rate current (ampere)	192.5/57.7
Impedance volt (%)	5.7
Type of cooling	ONAN
Ambient Temp Max	40 ^{0}C
Year of manufacture	1986
Phase	3
Frequency (Hz)	50
Vector Group	Dyn 7
Temp rise of winding	60 / 65
HV Insulation Leve (kV)	50 / 125
LV Insulation Level (kV)	20 / 60
Oil Weght (ton)	1.14
Total (ton)	5.07

Tabel IX.13
Pengaturan Tab Changer Trafo Daya

HV			LV	
VOLT	POS	TAP CHAGER CONNECTS	CONNECTION TO	
21 kV	1	5 – 6	1U	2U
20.5 kV	2	6 – 4		
20 kV	3	4 – 7	1V	2V
19.5 kV	4	7 – 3		
19 kV	5	3 - 8	1W	2W

Trafo daya berfungsi untuk mengubah/menaikan tegangan dari tegangan 6 kV menjadi 20 kV. Hal ini bertujuan untuk memperkecil rugi-rugi daya (I^2 . R), selain untuk menyamakan besarnya tegangan dengan besarnya tegangan PLN. Setelah tegangan dinaikan maka akan disalurkan kepanel distribusi II pada panel inilah tegangan akan dibagi pada setiap substantion melewati busbar.

Sebagai contoh, pada sistem distribusi di PT. Bayu Beringin Lestari (Tunjungan Plaza) terdapat lima buah *substation*, yaitu :

a. *Substation* listrik PLN
b. Sub distribution panel substation
c. Radisson hotel Substation
d. Shoping centre substation site Development
e. Shop House Substation

Distribusi energi listrik dari PH-I ke SDP substation dilakukan dengan dua jalur, hal ini akan menambah kehandalan sistem distribusi listrik di Plaza Surabaya, sehingga apabila terjadi gangguan pada salah satu jalur, maka jalur yang kedua masih mampu untuk bekerja.

Pada PH-II energi listrik dari genset dimanfaatkan untuk mensuplai kebutuhan listrik di hotel Radisson. Energi listrik dengan daya 4375 KVA seluruhnya didistribusikan ke hotel radisson dengan satu jalur. Pada hotel radisson, selain suplai dari genset-genset yang ada di PH –II, juga di suplai olleh PH-I melalui *Shop House Substation*, sehingga PH-1 dapat menyuplai energi listrik apabila PH-II mati atau mengalami gangguan.

Adapun pembagian suplai energi listrik sebagai berikut :

a. Panell IMSB-2LP, terukur yang mengalir 1200 ampere panel ini digunakan untuk mendistribusikan energi listrik untuk tempat parkir, pompa air, dan coridor.
b. Panel IMSB-JAC, terukur arus yang mengalir 1800 ampere panel ini digunakan untuk mendistribusikan energi listrik untuk menjalankan 4 buah Chiller yang terdapat pada power housel.
c. Panel IMSB-3UM, terukur arus yang mengalir 1200 ampere
   Panel ini digunakan untuk mendistribusikan energi listrik untuk beberapa stand pertokoan, contohnya: *Kentucky Friend chickhen (KFC) Hero Swalayan*, pertokoan lantai 1,2,3,4 Gunung Agung, MC Donalds, dan lain sebagainya.

Total beban yang terukur pada masing-masing panel 3333,36 kW bila menggunakan sumber dari genset pada PH-I dimana terdapat 4 unit dengan kapasitas daya pembangkitan masing-masing genset adalah 1750 kVA (menurut spesifikasi generator) : daya ini mampu memikul beban sebesar 1487,5 kW (asumsi cosØ = 0,85), maka bila menggunakan genset harus 3 buah genset dijalankan.

Selain pemakaian genset, sumber listrik bisa juga diambil dari sumber PLN, adapun data-data yang didapatkan dari substation listrik PLN sebagai berikut :

Daya : 4.330 kVA
Tarif : U3
Faktor Meter : x 6000
CT : 150 / 5 Ampere
Tegangan : 20 kV

Pendistribusian listrik dari PLN sama dengan didistribusi listrik bila sumber listrik disuplai dari power house I, hanya berbeda sumber listrik yang mensuplai saja. Setelah tegangan dialirkan melalui busbar dan dibagi menjadi 5 substation maka akan disalurkan ke pemakai/beban tetapi tegangan akan diturunkan lagi melalui transformator distribusi.

Didalam sistem didistribusi tegangan transformator merupakan alat yang berperan penting dalam pendistribusian tegangan, dalam kerja praktik telah diberi kesempatan melihat dan mempelajari transformator yang dipakai di plaza Surabaya. Transformator adalah suatu alat yang statis (*stationary*) yang dapat mengubah tegangan listrik dan memindahkan daya listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian yang lain dalam frekuensi yang sama. Tegangan yang diterima dapat dinaikkan maupun ditutunkan sesuai dengan besar kecilnya arus dalam rangkaian. Transformator merupakan suatu komponen yang sangat diperlukan dalam banyak sistem konversi energi. Pada dasarnya transformator terdiri dari dua atau lebih kumparan yang dihubungkan oleh medan magnetik.

a. Macam–macam transformator

Dalam sistem tenaga listrik, pemakaian transformator dapat dikelompokkan menjadi:

- Transformator Daya; transformator ini berfungsi menurunkan/menaikkan tegangan untuk keperluan distribusi listrik.

- Transformator pengukuran, transformator ini berfungsi menurunkan tegangan untuk suplai power alat-alat ukur, sehingga cara membaca alat ukur tersebut digunakan sistem perbandingan/rasio, terdiri dari transformator arus (Current Transformator/CT) dan transformator tegangan (Potential Transforator/PT)

Selain itu CT dan PT juga digunakan untuk suplai tegangan relai-relai pengaman (misalnya: relai sekunder), karena relai-relai pengaman membutuhkan suplai tegangan dan arus yang kecil, bila tanpa menggunakan CT maka relai-relai itu akan rusak.

b. Pengaman transformator

Trafo merupakan unsur terpenting dalam sistem tenaga listrik sehinggan perlu diamankan, bila trafo rusak maka kontinuitas pelayanan daya akan terhenti. Pengaman yang ada pada trafo adalah :

1) Relai differensial
   Berfungsi untuk mengamankan gangguan antar fasa dan satu fasa ke tanah.
2) Relai Tangki
   Berfungsi untuk mengamankan gangguan satu fasa kebumi dalam hal ini, badan trafo ditanahkan dan diisolasi melalui relai arus lebih.
3) Relai Bucholz
   Relai ini digunakan untuk mengamankan trafo dari temperatur oil yang tinggi.
4) Relai arus Lebih
   Digunakan untuk pengaman cadangan relai differensial atau sebagai cadangan apabila pengaman di jaringan distribusi tidak bekerja. Relai ini terletak di kedua sisi dan titik netral pentanahan di salah satu sisi trafo dan titik netralnya.

c. Sistem Pendinginan Transformator

Sistem pendingin pada trafo meliputi :

1) Oil Natural Air Natural (ONAN)
2) Oil Natural Air Forced (ONAF)
3) Oil Forced Air Forced (OFAF)

Minyak trafo berfungsi untuk mendinginkan trafo disamping berfungsi untuk menguatkan bahan-bahan isolasi pada trafo. Minyak trafo harus bersifat encer, agar minyak trafo dapat

bersirkulasi dengan baik sehingga fungsi pendinginannya dapat berjalan secara efektif. Pada beberapa jenis trafo juga dilengkapi dengan *radiator*, yaitu pendinginan dengan menggunakan sirkulasi air.

Selain minyak trafo, pendinginan paling sederhana yaitu dengan menjaga temperatur udara sekitar/ruang trafo pada tingkat tertentu dimana pada tingkat itu trafo dalam kondisi comfortable, hal ini dapat dicapai dengan menambahkan kipas (fan) atau sistem pendinginan lainnya.

d. Grounding netral transformator

Pentanahan tanah ada dua cara, yaitu dengan pentanahan sistem dan pentanahan bodi trafo. Pentanahan sistem dilakukan untuk melindungi sistem dari adanya tegangan lebih akibat adanya gangguan fasa ke tanah. Pentanahan bodi dilakukan untuk melindungi operator dari bahaya listrik yang mungkin terjadi bila terdapat kontak antara operator dan bodi trafo.

Pentanahan sistem dilakukan dengan metode tanpa impedansi dengan menggunakan kabel jenis BC 120 mm dan pentanahannya maksimum 2 ohm. Pentanahan bodi trafo menggunakan kabel dengan jenis dan ukuran yang sama dengan pentanahan sistem.

Sistem pembangkitan listrik menggunakan kabel penghantar untuk mendistribusikan daya listrik yang dihasilkan oleh generator/PLN. Sebagian besar kabel penghantar yang digunakan pada level tegangan tinggi (6 kV / 20 kV) adalah kabel tanah berinti tiga berpenghantar tembaga berisolasi XLPE, berpelindung beban tembaga pada tiap inti, serta berselubung PVC (N2XSEY).

2. Perbaikan dan Perawatan

Perawatan komponen-komponen dari pembangkitan dan penyaluran daya listrik perlu dilakukan secara berkala sehingga tidak menggangu kontinuitas pelayanan daya. Karyawan merupakan suatu bagian yang mempunyai peranan penting untuk tercapainya pelayanan yang baik, oleh karena itu perlu diperhatikan keselamatan dan kesejahteraan dari karyawan.

Perawatan terhadap sistem pembangkitan dan distribusi listrik dilakukan untuk meminimkan gangguan yang mungkin terjadi saat operasional. Perawatan ini dilakukan secara berkala, perawatan ini meliputi :

a. Perawatan mesin diesel.
   Pengecekan terhadap mesin dilakukan setiap hari. Perawatan ini meliputi komponen mesin diesel, pelumas, pendingin dan bahan bakar. Khusus terhadap komponen-komponen mesin telah disediakan cadangan untuk mengganti komponen yang rusak atau aus. Minyak pelumas dan filter minyak pelumas setiap 1000 jam operasi mesin harus diganti, untuk itu disediakan sebuah reservoir berupa tangki bawah tanah, dimana berfungsi sebagai penampung minyak pelumas, baik yang masih baru maupun yang pernah dipergunakan.

b. Perawatan generator.
   Perawatan generator dilakukan setiap hari, khususnya untuk bagian eksitasi, pengaman, kumparan stator, kumparan rotor, dan bagian pertanahan. Pada saat pemeriksaan juga dilakukan pembersihan debu atau kotoran-kotoran yang menempel pada bagian-bagian generator dengan menggunakan cairan khusus.

c. Perawatan kabel
   Perawatan kabel dilakukan dengan memeriksa isolasi kabel-kabel yang terletak dalam panel-panel distribusi dalam waktu satu jam sekali. Pemeriksa ini bersamaan dengan pencatatan kWhmeter, Voltmeter, dan lain-lain.

3. Keselamatan Kerja

Keselamatan kerja perlu diperhatikan agar tidak terjadi kecelakaan kerja. Karyawan akan merasa nyaman jika keselamatannya diperhatikan oleh perusahaan, ini akan berdampak pada kinerja mereka. Bila mereka merasa aman, mereka akan mudah berkonsentrasi pada pekerjaannya sehingga pekerjaannya dapat berhasil dengan baik. Peralatan keselamatan kerja yang telah disediakan oleh disediakan meliputi :

a. Sepatu kerja
b. Kaos tangan karet

4. Cara mengganti minyak pelumas

a. Buka tutup pengisi tangki minyak pelumas.
b. Buka baut penutup pipa pembuang, dan alirkan minyak pelumasnya sampai habis.
c. Membuka untuk membuang minyak dan salurkan minyak.
d. Tutup dan kencangkan kembali bautnya dan isi minyak pelumas melalui tepi pipa pengisian.

e. Ketatkan plag membuang minyak dan isikan minyak ke pinggir pengisi minyak.
f. Periksa isi minyak pelumas, apabila kurang.
g. Periksa paras minyak. Kalau paras minyak itu rendah.
h. Isilah minyak pelumas sampai batas yang paling atas.
i. Isikan minyak ke paras tertinggi.

5. Pemeriksaan sebelum mesin dihidupkan

a. Batas minyak pelumas
b. Perhatian jagalah agar minyak pelumas berada pada batas permukaan yang ditentukan.
c. Perhatian tentukan injin diberhentikan dan periksaan injin di buat atas permukaan rata.

Tabel IX.14 Instruksi Kerja Pemeliharaan Genset

PT PLN (Persero)	**Instruksi Kerja** **Pemeliharaan**	**Kode Unit : Har** **No. Dok : 02 – INS – 2008** **Revisi :** **Tgl :** **Halaman :**

PEMELIHARAAN GENSET (DEUTZ)

1. TUJUAN
   Prosedur ini dipergunakan sebagai pedoman untuk melaksanakan pemeliharaan Mesin Deuts FGL 912

2. PERALATAN KERJA
   1. Filter / saringan Oil : 1 Set
   2. Filter / saringan minyak : 1 Set
   3. Filter / saringan udara : 1 Set
   4. Kunci Filter : 1 Set
   5. Obeng + & - : 1 Set
   6. Kunci-kunci /Tool kid : 1 Set
   7. Kunci L : 1 Set
   8. Avometer : 1 Buah
   9. Feeler gauge : 1 Set
   10. Kompressor : 1 Buah

3. PERLENGKAPAN K3
   1. Sepatu Kerja
   2. Topi Pengaman
   3. Pakaian Kerja
   4. Kunci Kontak
   5. Sapu Untuk Bersih-bersih

4. MATERIAL
   1. Lap Kain/Majun
   2. Alkohol
   3. Lap kain
   4. Oli mesin
   5. Minyak Solar
   6. Accu 12 Volt 120 A h
   7. Sabun 1 plastik (1/4 kg)

5. REFERENSI
   Standart Operation Prosedure Pemeliharaan Mesin Deutz FGL 912 Surat Perintah Kerja

6. Langkah Kerja
   Koordinasi dengan dispacher dan Kal

   I. Membersihkan saringan udara
      1. Menyiapkan kunci peralatan & material
      2. Membuka baut saringan udara
      3. Membersihkan saringan udara dengan compressor
      4. Jika kelihatan sudah rusak ganti dengan saringan udara yang baru
      5. Pasang kembali saringan udara beserta dudukannya
   II. Membersihkan saringan Oli:
      1. Menyiapkan kunci peralatan dan material
      2. Membuka baut saringan oli
      3. Membuka saringan oli dengan kunci Filter
      4. Mengganti saringan oli dengan yang baru
      5. Memasang kembali saringan oli dan mengencangkan bautnya
      6. Pemeriksaan fisik terhadap kebocoran oli
   III. Membersihkan saringan Minyak Solar :
      1. Menyiapkan kunci peralatan dan material
      2. embuka baut saringan minyak solar
      3. Membuka saringan minyak solar dengan kunci filter

PT PLN (Persero)	**Instruksi Kerja** **Pemeliharaan**	**Kode Unit : Har** **No. Dok : 02 – INS – 2008** **Revisi :** **Tgl :** **Halaman :**

PEMELIHARAAN GENSET (DEUTZ)

4. Mmbuka baut saringan minyak solar
5. Membuka saringan minyak solar dengan kunci filter
6. Mengganti saringan minyak solar dengan yang baru
7. Memasang kembali saringan minyak solar dan mengencangkan bautnya
8. Pemeriksaan fisik terhadap kebocoran minyak
9. Mengeluarkan angin / bleding pada saluran bahan baker
10. Mengendorkan baut kecil pada saringan bahan baker dan memompa pompa tekan pembuangan angin sehingga keluar gelembung udara sampai habis
11. Mengencangkan kembali baut-baut saringan udara

IV. Pemeriksaan V belt :
1. Menyiapkan kunci peralatan dan material
2. Melepaskan baut baut pengikat V belt
3. Mengeluarkan dan mengganti V belt dengan yang baru
4. Menyetel pengencangan V belt sesuai dengan ajuran pada Catalog Book kurang lebih 0,8 cm
5. Mengencangkan kembali baut baut yang mengikat V belt

V. Penyetelan Klep :
1. Menyiapkan kunci peralatan dan material
2. Memutar poros engkol pada top 1
3. Membuka tutup cup cylinder head
4. Menyetel klep ex dan in pada cylinder 1
5. Penyetelan klep dengan feeler gauge ukuran sesuai dengan yang tertulis pada Catalog Book
6. Kencangkan kembali baut pada pada penyetelan klep rockerarm
7. Putar poros engkol pada top 3
8. Lakukan penyetelan klep seperti tersebut diatas, sampai semua klep pada masing masing Cylider telah disetel dengan baik
9. Tutup kembali tutup cup cylinder head
10. Kencangkan kembali baut bautnya

VI. Pembersihan dan pengamatan tangki harian :
1. Menyiapkan kunci peralatan dan material
2. Memeriksa fisik tangki harian terhadap terjadinya keboncoran pada pemopaan ataupun masuk dan keluar
3. Perhatikan posisi minyak dalam tangki harian dengan melihat pada selang penduga, jangan sampai posisi minyak sampai habis
4. Jika minyak kurang, cepat cepat hidupkan motor pompa minyak sehingga tangki harian terisi kembali

VII. Pembersihan Generator :
1. Bersihkan fisik generator dari kotoran dan debu debu
2. Buka baut penutup generator
3. Pemeliharaan dan pembersihan rotor
4. Pemeliharaan dan pembersihan stator
5. Pemeliharaan dan pembersihan exitacy
6. Pemeliharaan dan pemeriksaan AVR
7. Memasang kembali baut penutup generator

VIII. Pengecekan Accu :
1. Menyiapkan kunci peralatan dan material
2. Memeriksa air accu, kalau kurang segera ditambah dengan air accu
3. Memeriksa BJ air Accu dengan BJ Tester
4. Memeriksa kapasitas tegangan Accu dengan AVO meter
5. Membersihkan Fisik Accu dari kotoran dan debu-debu yang menempel

	PT. PLN (PERSERO)	**Instruksi Kerja**	**Kode Unit :** **No. Dok : 2 - INS - 2008** **Revisi :** **TGL :** **Halaman :**
		Pemeliharaan	
PEMELIHARAAN GENSET (DEUTZ)			
IX. Koordinasi dengan dispatcher : X. Selesai :			
Dibuat Oleh : **SUPERVISOR HAR, GI** **DJARWOKO**	**Diperiksa Oleh :** **ASMAN OPERASI & PEMELIHARAAN** **IGM. ANOM SUTA**	**Disetujui Oleh:** **MAPD** **E. HARYADI**	

M. Latihan

1. Operasikan genset yang ada di bengkel atau laboratorium yang ada di sekolah anda dengan bimbingan guru dan teknisi. Amati perubahan tegangan jika putaran pada genset dinaikkan pada genset tidak dibebani, dibebani setengah dan beban penuh. Amati apa yang terjadi pada putaran genset.
2. Lepas *excitasi* pada generator, kemudian jalankan genset, lakukan pengukuran dan amati besar tegangan yang dibangkitkan Genset.
3. Bagaimana kondisi Genset di sekolah anda, apakah terawatt dengan baik? Jika perawatannya kurang baik lakukan perawatan dengan didampingi guru dan teknisi.

4. Langkah-langkah yang dilakukan dalam menghubungkan jajar genset dengan jala-jala PLN. Penjelasan disertai dengan gambar.

N. Tugas

Buat laporan hasil latihan anda di laboratorium dan diskusikan dengan teman anda dengan didampingi oleh guru.

DAFTAR PUSTAKA

Abdul Kadir, 1998. Transmisi Tenaga Listrik. Universitas Indonesia, Jakarta

Andriyanto, 2003. Pengoperasian Generator STF 100 kVA Sebagai Pembangkit Tenaga Listrik. Laporan PI. Teknik Elektro FT Unesa, Surabaya

Davit Setyabudi, 2006. Transformator Tenaga. Laporan PI. Teknik Elektro FT Unesa, Surabaya

Djiteng Marsudi, 2005. Pembangkitan Energi Listrik. Erlangga, Surabaya

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Pengenalan Pemeliharaan Mesin Pembangkit. PT PLN Persero Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Penanganan Bahan Bakar. PT PLN Persero Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Alat Bantu Mesin Pembangkit PT. PLN Persero. Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Pemeliharaan Mesin Pembangkit. Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Keselamatan Kerja dan Penanggulangan Kebakaran. Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Kerja Mesin Pembangkit PLTU. Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Diklat Pembidangan Teknik SLTA. Kerja Mesin Pembangkit PLTA. Unit Pendidikan dan Pelatihan, Suralaya. 2003

Ermanto, Petunjuk Operasi PLTU Sektor Perak Unit III & IV Bidang Turbin. Tim Alih Bahasa. Perusahaan Umum Listrik Negara Pembangkitan dan Penyaluran Jawa Bagian Timur Sektor Perak.

GBC Measurement, Protective Relay Aplication Guide, the General Electric Company. Stafford England, 1987

Hedore Wildi, 2002. Electrical Machines & Power System. Prentice Hall, New Jersly

http://faizal.web.id/sky/tutorial/energi-alternatif-dari-gunung-halimun/

http://www.blogberita.com

http://www.ekaristi.org

http://www.firstelectricmotor.com

http://www.harianbatampos.com

http://www.indonesiapower.co.id/Profil/UnitBisnis/tabid/66/Default.aspx

http://www.motor-rundirect.com

http://www.sitohangdaribintan.blogspot.com

http://members.bumn-ri.com/jasa_tirta1/graphics.html

http://www.gtkabel.com/

Jan Machrowski, et.al. 1996. *Power System Dynamic and Stab*ility. *New York, Singapore Toronto*

Joel Weisman, et.al. 1985. *Modern Power and Planning System*. Printed in the United Soth of America, America.

Joko, 2004. Pemeliharaan dan Perbaikan Mesin-Mesin Listrik (Paket Belajar Bernuansa Kewirausahaan. Teknik Elektro FT Unesa Surabaya, Surabaya

IEC 156/1963, *Method for the Determination of Electric Strength of Insulating oils*. 1963

IEC 76/1976. *Power Transformer*. 1976

Indrati Agustinah, Joko, 2000. Pemeliharaan dan Perbaikan Transformator (Paket Belajar Bernuansa Kewirausahaan). Teknik Elektro FT Unesa Surabaya, Surabaya

Kurikulum SMK Tahun 2004. Direktorat Pendidikan Menegah Kejuruan, Jakarta. 2004

Kursus Pengoperasian Sistem Penunjang (*Demin Plant*) (L.KUG/M.OUI.803 (1) A). PT. PLN (Persero) Unit Pendidikan dan Pelatihan Surabaya. 2004

Laporan *On Site Training* Prajabatan SLTA & D3 PLTU III/IV Perak Surabaya. Sistem Kelistrikan (L.KKG/M.OUI.201 (1) A). PT. Indonesia Power Unit Bisnis Pembangkitan Priok Jakarta, 2005

M. Azwar Charis, 2006. Membelit Ulang motor Kompresor Tiga Phasa Putaran 1500 RPM. Laporan PI. Teknik Elektro, FT Unesa, Surabaya

MS. Nurdin. V. Kamuraju, 2004. *High Voltage Enginering*. Printed in Singapore

P.T. Bambang Djaya. Methode Pengujian Transformator Distribusi. P.T. Bambang Djaya, Surabaya 1995.

P.T. PLN. Petunjuk Operasi dan Pemeliharaan untuk Transformator Tenaga. Perusahaan Umum Listrik Negara, Jakarta 1981

Rachma Dewi O. 2006. Observasi Pembuatan *Engine Panel Trapesium Selenoid Off* Untuk *Generating Set* F 3L 912-STF 25 kVA (20 kW) di PT. Conductorjasa Suryapersada. Laporan PI. Teknik Elektro FT Unesa, Surabaya

Rahmat R. Hakim, 2006. Prosedur Umum Perbaikan Motor 3 Phasa di PT ABB Sakti Industri Surabaya. Laporan PI. Teknik Elektro, FT Unesa, Surabaya

SPLN 17: 1979. Pedoman Pembebanan Transformator Terendam Minyak. Jakarta, 1979.

SPLN 50 – 1982. Pengujian Transformator. Jakarta, 1982.

Standart Operational Procedure (SOP) Start-Stop Unit III & IV Unit Pembangkitan Perak. PT. PJB I Unit Pembangkitan Perak dan Grati, Surabaya. 1998

Standar Kompetensi Nasional. Bidang Inspeksi Pembangkitan Tenaga Listrik. Depdiknas RI, Direktorat Jendral Pendidikan Dasar dan Menengah Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan, Jakarta. 2003

Turan, G. 1987. *Modern Power System Analysis*. John Wiley & Sons

Yudi Widya N, 2006. Sistem Pembangkit Tenaga Air (PLTA) Mendalan di PT. PJB Pembangkitan Brantas Distrik D PLTA Mendalan. Laporan PI. Teknik Elektro FT Unesa, Surabaya

Yugo F. 2006. Sistem Pengoperasian Genset di PT. Bayu Bangun Lestari Plasa Surabaya. Laporan PI. Teknik Elektro FT Unesa, Surabaya

Copyright 2003. *Japan AE Power Systems Corporation*. All Rights Reserved.

DAFTAR ISTILAH

absorben, 95
accu battery, 396
accu zuur, 81
aero derivative, 183
agregat dan piranti, 363
air gap, 115
alarm, 123
alat ukur digital, 564
ambient temperature, 143
amperemeter, 541, 547
amplifier mekanis,, 143
AMSSB, 119
angka oktan, 223
antene, 540
arus hubung singkat, 122
arus *line*, 544
arus keluar ke *line*, 353
arus pengisian , 351
asam sulfat (H_2SO_4), 79
assembling, 312
automatic follower, , 486
auxiliary transformer, 180, 401
avometer,*576*
AVR, 37,482
baterai aki, 76, 338
baterai akumulator, 349
baterai *buffer*, 359
beban harian, 5
beban puncak, 5
beban rata-rata, 2
beban tahunan, 5
belitan, 518
belitan primer,546
belitan skunder, 546
biaya poduksi, 5
black start, 157
bleaching earth, 96
blow down (air ketel), 17, 147
boiler, 412
breakdown voltage ,99
buffer baterey, 348
bushing, 84, 85,528
busur listrik, 64
cable duct, 27
carrier current, 501
cathodic protection, 226
cd (cadmium), 78,79
cellars, 193
centrifuge reclaiming, 94
chosphimeter, 555
circuit breaker, 52
circulating water pump, 401
compression joint, 129
condition based maintenance, 391
consumable parts, 272
control room, 144
cos φ, 552
coupling capacitor, 529
coupling system, 524
crane, 5, 492
ct/ppt avr, 37
current compensator. 481
data acquisition, 142
daya, 2
daya aktif, 109
daya reaktif, 110
dB, 530
deaerator, 175
debit air, 13
deenergized, 96
dekarbonator, 179
delta-delta, 85
delta-bintang, 88
delta-wye, 88
diagram *AVR*, 488
diagram beban,2
diagram *excitacy*, 487
dinamo exciler, 39
disconnecting switch, 27
distribution planning, 7
dokumen *sop*, 402
dual slope, 567

duga muka air (DMA), 159
economizer, 174, 163
elektroda, 87
elevator, 512
energi listrik, 5
energi mekanik, 4
energi primer, 5, 16
exitacy, 94, 458
feeder (saluran), 15
faktor beban, 2, 244
faktor daya, *551*
faktor disipasi, 97
faktor kapasitas*, 245*
faktor *utilisasi*, 246
field circuit breaker, 480
fire, 93,233
filtering, 95
flashover, 115
frekuensi, 24, 110
frekuensi getar,557
frekuensi lidah bergetar, 556
frekuensi meter, 556
flused stem system, 197
forced outage rate (*for*), 246
fuel cell, 213
gangguan belitan kutub, 371
gangguan dan kerusakan, 19
gangguan elektrik generator, 370
gangguan mekanis generator, 364
gangguan, pemeliharaan dan perbaikan generator sinkron, 285
gangguan, pemeliharaan dan perbaikan motor asinkron, 288
gangguan pada mesin *dc*, 364
gelombang mikro, 553
generation planning, 5
generator, 350
generator asinkron,133
generator arus searah shunt, 37
generator *buffer*, 360
generator *dc*, 29
generator *dc* dengan 2 kutub, 40
generator *dc* shunt 4 kutup, 40
generator *dc* tidak keluar tegangan, 364
generator listrik,1
generator *main excitacy,* 38
generator penguat pilot, 29
generator penguat utama, 29
generator sinkron, 3, 28, 133, 282,
generator sinkron 3 phasa, 27, 28,
generator terbakar, 277
gerbang *AND,428*
gerbang *NOT*, 429
gerbang *OR*, 428,
geothermal, 189
glowler, 373
grindability test, 234
ground, 546
grounding mesh, 137
grounding plate, 137
hand wheel (*shunt regullar*), 37
harmonisa, 24
hazard triangle, 229
heat exchanger, 18
heat recovery steam generator, 184
heat shrink, 184
hubungan jajar baterai akumulator dan generator sunt, 350
hygroscopicity, 95
instalasi arus searah, 5
instalasi bahan bakar, 5
instalasi baterai aki, 5
instalasi *lift/elevator*, 512
instalasi pemakain sendiri, 75
instalasi pendingin, 5
instalasi penerangan, 5
instalasi tegangan tinggi, 5
instalasi tegangan rendah, 5
instalasi telekomunikasi, 119
instalasi sumber energi, 5
interferensi, 523
interkoneksi, 6
insulating switch, 50
i*nvestasi*, 5
jenis saklar tenaga, 49
juster werstand, 37
jointing sleeve, 128
kapasitor penguat, 529
kendalan pembangkit, 248
kebenaran *AND*, 427
kebenaran *OR*, 428
kedip tegangan, 24
kegiatan pemeliharaan, 396
kemiringan tegangan, 24
klasifikasi transformator tenaga, 450
kendala operasi, 227
kerja pararel transformator. 432

keselatanan kerja, 398, 444, 465
kilo Watt jam, 513
koh (potas kostik), 79
komunikasi gelombang mikro, 536
komunikasi dengan kawat, 523
komunikasi dengan pembawa saluran tenaga, 524
komunikasi untuk administratif, 523
komunikasi untuk pembagian beban, 522
komunikasi untuk pemeliharaan,522
komunikasi radio, 531
komunikasi gelombang mikro, 532
konsumen, 1
konstruksi jaringan distribusi, 7
konversi energi primer, 4
koordinasi pemeliharaan, 242, 236
kualitas tenaga listrik, 1
kumparan silang, 554
KWH meter, 23
K3, 249
lama pemakaian, 2
laporan kerusakan, 274
laporan pemeliharaan, 272
laporan dan analisis gangguan, 279
lebar pulsa, 567
lighting arrester, 116
line, 88
line trap, 511
lift, 512
limited circuit, 484
line matching unit, 119
load forecast, 5
loss of load probability (*LOLP*), 249
magnetic circuit breaker (*MCB),* 63
main generator, 394
main exciter, 37, 393
maintenance, 391
manajemen operasi, 266
manajemen pemeliharaan, 268
medan magnet, 63
megger, 575
mekanisme pemutus tenaga, 72
membelit motor listrik, 306
mencari kerusakan generator sinkron, 283
menentukan letak kerusakan motor *dc*, 386
mesin *diesel*, 193
metode integrasi, 565
metode perbandingan, 565
mika saklar, 354
minyak transformator, 464
modulasi lebar pulsa, 549
motor *area*, 508
motor *dahlander*, 492
motor listrik, 433
motor listrik bantu, 394
motor listrik terbakar, 278
motor tidak mau berputar, 382
motor terlalu cepar putarannya, 384
*multiple grounding rod,*137
mutu tenaga listrik, 21
NiOH (nikel oksihidrat), 79
ohmsaklar, 351
off delay, 429
on delay, 429
operator system, 105
operation planning, 7
operasi, 17
operasi unit pembangkit, 236
opjager, 357
oscilloscope, ,571
otomatisasi, 261
output pilot exciter, 36
output, 36
over circuit breaker, 394
over heating, 276
partial discharge, 271
pemadam kebakaran, 229
pembangkitan tenaga listrik, 1
pembebasan tegangan, 252
pembumian, 105
pemeliharaan alat ukur, 576
pemeliharaan *crane dan lift*, 518
pemeliharaan dan sop, 427
pemeliharaan bulanan, 391
pemeliharaan alat komunikasi pada pusat pembangkit, 539

pemeliharaan generator dan *governor*, 393
pemeliharaan harian, 391
pemeliharaan instalasi pada pusat pembangkit listrik, 126
pemeliharaan mingguan, 391,
pemeliharaan periodik, 268, 392
pemeliharaan pada plta, 393
pemeliharaan pmt, 474
pemeliharaan PLTU, 170
pemeliharaan rutin, 391
pemeliharaan sistem kontrol, 488
pemeliharaan sumber dc, 347
pemeliharaan transformator,395, 459
pemeliharaan triwulan, 392
pemeriksaan transformator, 101
pemetan (*plotting*), 569
pemindahan beban, 256
pemutus beban (PMB), 50
pemutus tenaga (PMT), 47, 474
pemutus tenaga meledak, 279
pemutus tenaga, 432
pencatat langsung, 570
pengatur phasa, 562
pengereman dinamik, 504
pengereman mekanik, 507
pengereman motor, 507
pengereman *plug*, 503
pengereman *regeneratif,* 506
penggerak mula, 1
penghubung, 432
pengujian transformator, 459
pengukuran, 546
pengukur energi, 560
pengukuran daya listrik, 548
pengukuran faktor daya, 551
pengukuran frekuensi, 557
pengukuran tegangan tinggi, 545
penulisan pena, 568
penunjuk (*register*), 564
penyaluran tenaga listrik, 21
penyaring pengait, 529
penyediaan tenaga listrik, 1
peramalan beban, 9
perbaikan dan perawatan genset, 443
perbaikan generator sinkron, 282
peredam reaktansi, 575
perencanaan distribusi, 7
perencanaan subtransmisi, 7
performance test, 391
perkiraan beban, 5, 236
perubahan temperatur, 398
pilot exciter, 37, 393
piston ring, 18
plate tectonic, 190
PLTA, 1, 11, 78, 145
PLTD, 11, 78, 198
PLTG, 11, 180
PLTGU, 184
PLTN, 1, 14, 208
PLTP, 1,11, 189
PLTU, 3, 160
PMT gas SF_6, 63
PMT medan magnit, 63
PMT *vacum*, 57
PMS (Saklar pemisah), 50
penyimpanan alat ukur, 578
potensiometer, 106, 567
power generator, 4
power line carrier (*PLC*),119,522
power plant, 8
power network analyzer, 23, 24
predictive maintenance, 180
primer proteksi, 341
primover, 1, 4
prinsip kerja alat ukur, 560
program automatic control, 142
pusat listrik tenaga *thermo*, 3, 11
pusat listrik tenaga *hydro,*3, 12
putaran motor terbalik, 385
radiator, 17
rangkaian transmisi suara,529
recorder*, 568*
region, 238
rel (*busbar*), 15, 43
rel ganda, 44
rel tunggal, 43
relai hubung tanah, 113
relai diferensial, 112
relai proteksi, 110, 477
r*epetitive*, 572
rotating rectifier, 480
rotor turbogenerator, 30
run off river, 147
sutm, 259
saklar, 49

saklar pemisah (PMS),49
saluran jebakan, 529
saluran kabel, 48
scada, 119
sentral telepon, 347
sensing circuit, 482
sel berbentuk lurus, 348
selenoid, 508
shut down unit, 422
sistem distribusi, 10
signal generator, 574
sincronizing circuit, 484
simbol gerbang AND, 429
simbol gerbang OR, 429
single grounding rod, 137
sistem *excitacy*, 106, 478
sistem *excitacy* dengan sikat , 478
sistem *excitacy* tanpa sikat, 479
sistem interkoneksi, 20, 235
sistem pengukuran, 109
sistem proteksi, 110
sistem yang terisolir, 235
sop blower, 273
sop operator boiler lokal, 426
sop sistem kelistrikan, 428
stator pilot exciter, 37
start nor mal stop, 400
storage,573
suku cadang, 272
super heater, 150
switchgear, 72, 466
switching, 102, 256
system grid operation, 8
system logic, 427
system logic and wiring diagram, 427
system planning, 5
tabel kebenaran, 427
tahanan geser, 36
tahanan isolasi, 393, 395
tegangan line, 545
perkembangan teknologi pembangkitan, 20
telekomunikasi, 552
telekomunikasi melalui kawat, 523
thermal siphon filter, 96
threshold values, 142
thyristor circuit, 485
time based maintenance, 391
timer, 429
top overhaul, 269
transformator, 81
transformator arus, 541
transformator rusak, 278,
transformator tegangan, 546
transformator tenaga, 450
transformator toroida, 545
transformator 3 phasa, 27
transmisi, 6, 545
transmission planning, 6
trichloroethylene, 100
turbin *pelton,* 154
turbin *crossflow,* 225
turbin air, 4,5
trip coil, 74
turbin *francis*, 151
turbin gas 4,5
turning gear, 412,, 425
turbin *kaplan*, 152
turbin uap, 4, 5
turbocharger, 203
turning type, 524
ultra-high frequency (UHF), 493
unit avr, 482
unit tyristor, 485
urutan kerja dan tanggungjawab, 403
type brushlees exiter system, 35
type rasio, 558
vacuum interrupter (VI), 446
viskositas, 93
voltage adjuster, 481
voltmeter digital, 565
VVA, 37
waduk, 159
wattmeter, 503
wattmeter 1 phasa, 548, 549
wattmeter 1 phasa dan 3 phasa,548
wattmeter 3 phasa, 550
wiring diagram, 429

DAFTAR TABEL

		Hal
II.1	Komponen dan Cara Pemeriksaan Transformator Tenaga	101
II.2	Tahanan Jenis Berbagai Macam Tanah Serta Tahanan Pentanahan	139
III.1	Klasifikasi Serta Data Batu	216
III.2	Data Teknis Bahan Bakar Minyak	217
III.3	Struktur Molekul *Hydrocarbon Aliphatic*	222
III.4	Komposisi BBM Diesel Produk Soviet	222
III.5	Hubungan Tekanan Uap dengan Suhu	224
III.6	Komposisi Gas Alam dari Berbagai Tempat	225
IV.1	Neraca Daya Sistem	244
IV.2	Neraca Energi Sistem	248
VI.1	Standar Kebutuhan Hantaran, Pengaman Lebur, dan Diameter Pipa untuk Penyambungan Motor Induksi	298
VI.2	Standart Kabel dengan Isolasi Karet dalam Pipa sesuai *Standart American Wire Gauge*	299
VI.3	Pemakaian Arus dan Tegangan pada Motor DC dan Motor AC 3 Phasa menurut AEG	300
VI.4	Format dan Data Fisik yang Dicatat Pada Proses Penerimaan	310
VI.5	Hasil Inspeksi Kelistrikan	311
VI.6	*Dismanting* Data	312
VI.7	*Striping* Data	321
VI.8	Format Data Hasil Pengukuran dan Tes Running	336
VI.9	Format Proses Pencatatan Tes Kelistrikan	337
VI.10	Laporan Tes Kelistrikan Inti Stator	338
VI.11	Laporan Waktu & Kinerja Karyawan	339
VI.12	Laporan Inspeksi	340
VI.13	Daftar Diameter, Penampang, Berat dalam kg/km, dan Besarnya Nilai Tahanan pada Suhu 15^0C Ohm/km	341
VIII.1	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi pada *Pilot Exciter* Unit I	393
VIII.2	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi pada *Main Exciter* Unit I	393
VIII.3	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi pada *Main Generator Unit* I	394
VIII.4	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi Pada Motor Listrik Bantu Unit I	394
VIII.5	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi Pada OCB Generator 6 kV Unit I	395

VIII.6	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi Transformator I (6/70 kV)	395
VIII.7	Contoh Hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi pada OCB Transformator 70 kV	396
VIII.8	Contoh hasil Pengukuran Besar Nilai Tahanan Isolasi Pada OCB Generator 6 kV	396
VIII.9	Contoh Hasil Pemeliharaan Accu	398
IX.1	Istilah-Istilah yang ada Pada SOP PLTU Perak	401
IX.2	Format Pengesahan Dokumen	402
IX.3	Daftar Dokumen Terkait	405
IX.4	Daftar Penerimaan Awal Dokumen Terkendali	406
IX.5	Daftar Perubahan Dokumen	408
IX.6	Daftar Induk Perubahan Dokumen	409
IX.7	Lembar Tanda Terima Dokumen	410
IX.8	Bagan Alir Dokumen Mutu	411
IX.9	Kebenaran *"AND"*	427
IX.10	Kebenaran *"OR"*	428
IX.11	Kebenaran *"NOT"*	428
IX.12	Data Transformator	439
IX.13	Pengaturan *Tap Changer* Trafo Daya	439
IX.14	Instruksi Kerja Pemeliharaan Genset	446
X.1	Tabel Spesifikasi Minyak Transformator Baru	453
X.2	Tabel Spesifikasi Minyak Transformator Bekas	454
XI.1	Momen Inersi Gerak dan Putaran	502
XII.1	Karakteritik dan Struktural Kabel Telekomunikasi	526
XII.2	Komunikasi dengan Pembawa Saluran Tenaga	527
XII.3	Struktur Kabel Koaksial Frekuensi Tinggi untuk Pembawa (PLC)	527
XII.4	Contoh Spesifikasi Peralatan Pembawa Saluran Tenaga (PLC)	531
XII.5	Contoh Spesifikasi Peralatan Komunikasi Radio	533

LAMPIRAN C2

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
I.1	Diagram Proses Pembangkitan Tenaga Listrik	2
I.2	Contoh Diagram Beban Listrik Harian	3
I.3	Contoh *Power Generator Comersial* di India	4
I.4	Pengangkatan Transformator Menggunakan *Crane* Untuk Pengembangan Pusat Pembangkit Listrik	6
I.5	Contoh Konstruksi Transmisi	7
I.6	Contoh Konstruksi Jaringan Distribusi	7
I.7	Sistem *Grid Operation* pada *Power Plant*	8
I.8	Pembangunan PLTD yang Memperhatikan Lingkungan	9
I.9	Aktivitas yang Harus Dilakukan Pada Perencanaan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	9
I.10	Blok Diagram Proses Merencanakan Bentuk Sistem Distribusi	10
I.11	PLTA Mini *Hydro* Memanfaatkan Debit Air	12
I.12	Proses Penyaluran Air PLTA Mendalan Memanfaatkan Tinggi Jatuh Air	13
I.13	Diagram Satu Garis Instalasi Tenaga Lstrik pada Pusat Pembangkit Listrik Sederhana	15
I.14	Sebagian dari Sistem Interkoneksi (Sebuah Pusat Pembangkit Listrik Dua Buah GI dan *Sub System* Distribusi)	21
I.15	Propses Penyediaan Tenaga Listrik (Pembangkitan dan Penyaluran)	22
I.16	Proses Penyediaan Tenaga Listrik Bagi Konsumen	23
I.17	*Power Nertweork Analiser Type Topas* 1000 Buatan LEM Belgia	24
II.1	Generator Sinkron 3 Phasa Pasa	25
II.2	Rangkaian Listrik Generator Sinkron 3 Phasa Hubungan Y	26
II.3	Kumparan Stator generator Sinkron ke Phasa Hubvungan Y	26
II.4	Hubungan Klem Generator Sinkron 3 Phasa Hubungan Y	27
II.5	Diagram Hubungan Generator dan Transformator 3 Phasa	28
II.6	Prinsip Penguatan Pada Generator Sinkron 3 Phasa	28
II.7	Generator Sebuah PLTU Buatan Siemen dengan 2 Kutub	29
II.8	Rotor Turbo Generator Berkutub Dua	30
II.9	Rotor Generator PLTA Kota Panjang (Riau) Berkutub Banyak 57 MW	31
II.10	Stator dari Generator Sinkron	31
II.11	Diagram Generator Sinkron 500 MW Dengan Penguat Generator DC 2400 kW	32
II.12	Stator Generator Sinkron 3 Phasa 500 MVA, 15 kV, 200 RPM, 378 Slots	32
II.13	Stator Steam Turbin Generator Sinkron 722 MVA 3600 RPM 19kV	33
II.14	Rotor Generator 36 Kutub, Pengutan 2400 ADC Hasil Penyearahan Listrik 330 Volt AC	33

II.15	Belitan Rotor *Salient Pool* (Kutub Menonjol) Generator Sinkron 250 MVA	34
II.16	Generator Sinkron Rotor Sangkar Kutub Menonjol 12 Slot	34
II.17	Rotor 3 Phasa *Steam Turbine* Generator 1530 MVA, 1500 rpm, 27 kV, 50 Hz	35
II.18	Rotor Belit 4 Kutup, Penguatan 11,2 kA 600V DC Brushlees	35
II.19	*Type Brushlees Excitacy System*	36
II.20	Penguatan Generator Unit I PLTA Mendalan	37
II.21	Gambar pengawatan system penguatan generator unit I PLTA di Daerah Mendalan Sumber (PLTA Mendalan)	38
II.22	Prinsip Kerja AVR *Brown & Cie*	39
II.23	Bagian–Bagian Generator DC dengan 2 Kutup	40
II.24	Generator DC Shunt 4 Kutup	40
II.25	Bagian–Bagian Generator DC 100 kW, 250V, 4 Kutup, 1275 rpm (*Courtesy of Generator Electric Company USA*)	41
II.26	Generator DC 2 Kutup dengan Penguatan Tersendiri	41
II.27	a. Generator Shunt dengan Penguatan Sendiri b. Diagram Skema Generator Shunt	42
II.28	a. Generator Kompon Panjang Berbeban b. Skema Diagram Generator Kompon	42
II.29	a. Generator Abad 20 Awal b. Generator Portable (Pandangan Samping) c. Generator Portable (Pandangan Sudut)	43
II.30	Pusat Pembangkit Listrik dengan Rel Tunggal Menggunakan PMS Seksi	44
II.31	Pusat Pembangkit Listrik dengan Rel Ganda Menggunakan PMT Tunggal	45
II.32	Pusat Pembangkit Listrik dengan Rel Ganda Menggunakan Dua PMT (PMT Ganda)	46
II.33	Pusat Pembangkit Listrik dengan Rel Ganda Menggunakan PMT 1½	47
II.34	Saluran antara Generator dan Rel	48
II.35	Satu PMT dan Tiga PMS	51
II.36	Konstruksi Alat Pentahanan	51
II.37	Pemutus Tenaga dari Udara	52
II 38	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT Minyak Banyak Sederhana	52
II.39	Konstruksi Kontak-Kontak PMT Minyak Banyak Sederhana	53
II.40	PMT 150 kV Minyak Banyak di CB Sunyaragi	53
II.41	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT minyak Banyak	54
II.42	PMT Minyak Sedikit 70 kV	55
II.43	Konstruksi Ruang Pemadaman Pada PMT Minyak Sedikit Secara Umum	56
II.44	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT Minyak Sedikit Secara Sederhana	56
II.45	PMT SF_6 500 kV Buatan BBC di PLN SeKtor TET 500 kV Gandul	58
II.46	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT/S	58

II.47	Potongan PMT untuk Rel Berisolasi Gas SF_6 72,5 –245 kV	59
II.48	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT SF_6 Secara Sederhana	59
II.49	PMT Vakum Buatan ABB Tipe VD4	60
II.50	Konstruksi dan Mekanisme PMT Vakum Buatan ABB Tipe VD4	60
II.51	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT Vakum Secara Umum	61
II.52	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT Vakum	61
II.53	Kontak PMT Vakum dengan Medan Magnit Radial	62
II.54	Kontak PMT Vakum dengan Medan Magnit Aksial	63
II.55	PMT Medan Magnit	63
II.56	PMT 500 kV Buatan BBC yang Dilengkapi Resistor	65
II.57	PMT 500 kV Buatan BBC Tanpa Dilengkapi Resistor	65
II.58	Konstruksi Ruang Pemadaman PMT Vakum Buatan Siemens	66
II.59	PMT Udara Hembus dengan Ruang Pemadaman Gas secara Keseluruhan	66
II.60	Hubungan Resistor dan Kapasitor dengan Kontak-Kontak Utama PMT Udara Tekan 500 kV Buatan BBC	67
II.61	Kondisi Kontak dari Sebuah Saklar Dalam Keadaan Tertutup (a), Mulai Membuka (b) dan (c) Sudah Terbuka Lebar	68
II.62	Penampung Udara, Ruang Pemutus, dan Katup Penghembus dari *Air Blast Circuit Breaker*	68
II.63	Contoh *Circuit Breaker* Tiga Phase 1200A 115 kV, Bill 550 kV (*Courtesy of General Electric*)	69
II.64	*Circuit Breaker Oil minimum* untuk intalasi 420 kV, 50 Hz (*Courtesy of ABB*)	69
II.65	*Air Blast Circuit Breaker* 2.000 A 362 kV (*Courtesy of General Electric*)	70
II.66	*Switchgear High Density* MV	70
II.67	*Circuit Breaker Enclosed 15 Group Enclosed* SF_6	71
II.68	Vacum Circuit Beaker memiliki Rating 1200 A pada 25,8 kV Dapat Memotong Arus 25 kA Dalam 3 Siklus untuk Sistem 60 Hz (*Courtesy of General Electric*)	71
II.69	*Hom-gap Disconnecting Switch* 1 kutup 3 phase 725 kV 60 Hz, kiri posisi terbuka dan kanan tertutup 10 siklus 1200 kA Bill 2200 kV (*Courtesy of Kearney*)	72
II.70	Mekanisme Penggerak PMT Menggunakan Pegas dalam Keadaan Tertutup Dilihat dari Sisi Depan	73
II.71	Mekanisme Penggerak PMT yang Menggunakan Pegas Keadaan Terbuka Dilihat Dari Sisi Depan	73
II.72	Mekanisme Penggerak PMT Menggunakan Pegas Dilihat Dari Samping	75
II.73	a. Instalasi Pemakaian Sendiri Pusat Pembangkit Listrik Kapasitas di Bawah 5 MW	76
II.73	b. Instalasi Pusat Listrik Kapasitas 5 MW Sampai 15 MW	76
II.73	c. Instalasi Sendiri Pada Pusat Listrik dengan Kapasitas di Atas 15 MW	77
II.74	Instalasi Baterai dan Pengisiannya	78

II.75	Perubahan Kimia Selama Pengisian dan Pemakaian Aki	79
II.76	Grafik Kapasitas Aki	80
II.77	Macam - Macam Transformator Pada Unit Pembangkit Listrik	82
II.78	Transformator 2 Phase *Type* OA	82
II.79	Transformator 3 Phase *Type* 1000 MVA	83
II.80	Transformator 3 Phasa Transformator 4500 MVA yang Digunakan untuk Station Pembangkit Nuklir	83
II.81	Transformator Special pada Pembangkit Tenaga Panas Produksi ABB	84
II.82	Transformator 3 Phasa dengan Daya 36 MVA 13,38 kV	84
II.83	Transformator 3 Phasa Hubungan *Delta-Delta* yang Disusun dari 3 Buah Transformator Satu Phasa A,B, dan C Dihubungkan Pada Pembangkit Listrik	86
II.84	Diagram Hubungkan *Delta-Delta* Transformator 3 Phasa Dihubungkan Pembangkit Listrik dan Beban (*Load*)	87
II.85	Transformator 3 Phase Hubungan Delta – Bintang yang Disusun dari 3 Buah Transformator Satu Phasa	89
II.86	Skema Diagram Hubungan Delta-Bintang dan Diagram Phasor	89
II.87	Diagram Gambar Contoh Soal	90
II.88	Transformator 3 Phase Hubungan Bintang-Bintang	91
II.89	Transformator Hubungan Bintang-Bintang dengan Tersier	91
II.90	*Open Delta Conection*	92
II.91	Transformator Hubungan *Open Delta*	92
II.92	Susunan Elektroda Untuk Tegangan Searah	97
II.93	Jembatan *Schering* Untuk Mengukur Kapasitansi dan *Factor Disipasi*	98
II.94	Jembatan *Schering*	98
II.95	Pentahanan pada Transformator 3 Phasa	105
II.96	Petanahan pada Transformator 3 phasa	106
II.97	Pengaturan Tegangan Generator Utama dengan Potensiometer	106
II.98	Sistem E*xcitacy* Tanpa Sikat	107
II.99	PMT Medan Penguat dengan Tahanan R	108
II.100	Pengukuran Daya Aktif Pada Rangkaian Tegangan Tinggi	110
II.101	Diagram Pengukuran pada Generator dan Saluran Keluar	111
II.102	Bagan Rangkaian Llistrik untuk Sistem Proteksi	112
II.103	Kontruksi sebuah lightning arrester buatan Westinghouse yang menggunakan celah udara (air gap) di bagian atas	116
II.104	Lighting Arrester Tegangan Rendah Untuk Dipasang di Luar Gedung	116
II.105	*Lighting Arrester* Tegangan Rendah Untuk Dipasang di Dalam Gedung	117
II.106	Skematik Prinsip Kerja PLC	120
II.107	Diagram *Blok Remote Terminal Unit* (RTU)	121

II.108	Contoh dari Sebuah PLTU Berdiri Sendiri dengan 3 Unit	121
II.109	Pengawatan Skunder dari Suatu Penyulang (Saluran Keluar) yang Diproteksi oleh Relai Arus Lebih dan Relai Gangguan Hubung Tanah	123
II.110	Prinsip Kerja Kontak Reset	125
II.111	Berbagai Macam Kabel, Baik Untuk Penyalur Daya Maupun Untuk Pengawatan Skunder dan Kontrol	132
II.112	Diagram Satu Garis dari PLTGU, Turbin Gas Distart Oleh Generatornya yang Dijadikan Motor Start	134
II.113	Foto Dari Sebuah Alat Perekam Kerja (Untuk Pengujian) PMT Buatan *Euro SMC*	135
II.114	Data Hasil Pengujian Pemutusan Tenaga	135
II.115	Empat Alat Pentanahan	138
II.116	Batang Pentanahan Beserta Aksesorinya	138
II.117	Batang Petanahan dan Lingkaran Pengaruhnya	139
II.118	Cara Mengukur Tahanan Pentanahan	140
II.119	Penggunaan Transformator Arus Klem	140
II.120	Bagan Intalasi Pneumatik (Udara Tekan) Sebuah PLTD	141
II.121	*Amplifier Hidrolik*	142
II.122	Reservoir Minyak Bertekanan Untuk SIstem kontrol	143
II.123	Komponen Peralatan Untuk Pengaturan Hidrolik	144
III.1	Proses Konversi Energi Dalam Pusat Listrik Tenaga Air	145
III.2	Instalasi Tenaga Air PLTA Bila Dilihat Dari Atas	146
III.3	Prinsip Kerja PLTA *Run Off River*	148
III.4	Potongan Memanjang Pipa Pesat PLTA Sutami (PLTA dengan Kolam Tando Reservoir)	148
III.5	Bendungan II ETA Mrica di Jawa Tengah dengan kapasitas 3 x 60,3 MW, Bendungan Beserta Pelimpasannya (Sisi Kiri) dan Gedung PLTA Beserta Air Keluarnya (Sisi Kanan).	149
III.6	Bendungan Waduk PLTA Saguling 4x175 MW dan tampak Rock Fill Dam (sisi kiri) dan Pelimpasan (bagian tengah) serta Pintu Air untuk keamanan	149
III.7	Intake PLTA di Jawa Barat dengan Kapasitas 4x175 MW	150
III.8	Pipa Pesat dan Gedung PLTA di Jawa Barat	150
III.9	Pipa Pesat PLTA Lamojan	151
III.10	Ruang Turbin PLTA Cirata di Jawa Barat 6x151 MW	152
III.11	Turbin Kaplan	152
III.12	Turbin Francis Buatan Toshiba	153
III.13	Turbin Francis dan Generator 3600 M	153
III.14	Turbin Francis dan Generator 4190 M	154
III.15	Turbin Peiton Buatan Toshiba	155
III.16	Hutan Beserta Lapisan Humus & DAS	157
III.17	Pembebanan PLTA, Beban Diusahakan Maksimal tetapi Disesuaikan dengan Tersedianya Air	158
III.18	Duga Muka Air Kolam	159
III.19	Siklus Uap dan Air yang Berlangsung dalam PLTU, yang Dayanya Relatif Besar, di Atas 200 MW	161
III.20	*Coal Yard* PLTU Surabaya	165

III.21 PLTU Paiton Milik PLN 165
III.22 Ruang Turbin PLTU Surabaya 166
III.23 Unit 400 MW PLTU Paiton Milik PLN Jawa Timur 166
III.24 Unit 400 MW PLTU Paiton Milik PLN 36 Sudu Jalur Jawa Timur 167
III.25 Generator dan Turbin 400 MW di Jawa Timur 167
III.26 Turbin Uap dan Kondensor 168
III 27 Boiler PLTU Perak 169
III.28 Rangkaian Proses Demineralisasi 177
III.29 Rangkaian Air Ketel Uap 178
III.30 Rangkaian Air Ketel Uap 178
III.31 Prinsip Kerja Unit Pembangkit Turbin Gas 181
III.32 Produk-Produk Turbin Gas Buatan Aistom dan Siemens 183
III.33 Konstruksi Ruang Bakar Turbin Gas Buatan Aistom, Kompresor Disebelah Kanan dan Turbin di Sebelah Kiri 184
III.34 Skema Sebuah Blok PLTGU yang Terdiri dari 3 Unit PLTG dan Sebuah UniT PLTU 185
III.35 Diagram Aliran Uap Pada Sebuah PLTGU yang Menggunakan 3 Macam Tekanan Uap; HP (*High Pressure*), IP (*Intermediate Pressure*), dan LP (*Low Pressure*) buatan Siemens 187
III.36 *Heat-Recovery Steam* Generator PLTGU Tambak Lorok Semarang dari Unit PLTG 115 MW 187
III.37 PLTGU Grati di Jawa Timur (Pasuruan) Terdiri Dari: Turbin Gas : 112,450 MW x 3; Turbin Gas : 112,450 MW x 3; Turbin Uap; 189,500 MW; Keluran Blok: 526,850 MW 188
III.38 Bagian dari HRSG yang BerseNtuhan dengan Gas Buang 188
III.39 Blok PLTGU Buatan Siemens yang Terdiri dari Dua Buah PLTG dan Sebuah PLTU 188
III.40 Skematik Diagram PLTP *Flused Stem Sistem* 197
III.41 PLTP Siklus *Binary* 198
III.42 Prinsip kerja Mesin Diesel 4 Langkah 200
III.43 Prinsip kerja Mesin Diesel 2 Langkah 200
III.44 PLTD Sungai Raya Pontianak (Kalimantan Barat 4 x 8 MW, Pondasi Mesin Berada di atas Permukaan Tanah dan Jumlah Silinder 16 dalam Susunan V 203
III.45 Kurva Efisiensi Unit Pembangkit Diesel 204
III 46 Pompa Pengatur Injeksi BBM 204
a. Posisi 1
b. Posisi 2
c. Posisi 3
III.47 *Turbochanger* Bersama I*ntercooler* 205
III.48 Gambar potongan dan Rotor *Turbochanger* Buatan MAN (a) Kompresor (b) Turbin gas 206
III.49 Mesin Diesel Buatan MAN dan B & W 207
a. Dengan Susunan Silinder V,
b. Dengan Susunan Silinder Baris

III.50 Skema Prinsip Kerja PLTN 209
III.51 Proses *Emulsion* Pada *Reactor* Nuklir 209
III.52 Reaktor dengan Air Bertekanan dan Mendidih 210
III.53 Sirkuit Dasar *Uninterrupted Power Supply* 211
III.54 Skema dan Prinsip Kerja *Short Break* Diesel Generating Set 212
III.55 Skema dan Prinsip Kerja *Short Break Switch* 212
III.56 Skema Unit Pembangkit Tenaga Angin 213
III.57 Prinsip Kerja *Fuel Cell* 214
III.58 a. Struktur Molekul *Cyclopentane* C_5H_{1O} 219
b. Struktur Molekul Cyclopentene C_5H_8 219
c. Struktur Molekul *Benzene* C_6H_6 219
III.59 *Isooctane* C_8H_{18} dengan Cabang Methyl CH_{3+} 220
III.60 Struktur Molekul *Toluene*, Salah Satu Atom H Giganti dengan Rantai *Methyl* CH_{3+} 221
III.61 a. Kantong Gas Berisi Gas Saja 224
b. Kantong Gas Berada di atas Kantong Minyak (*Petroleum Gas*) 224
III.62 Turbin *Cross Flow* Buatan Toshiba 227
III.63 Aliran Air Pendingin dan Uap dalam Kondensor PLTU 227
III.64 Pelindung Katodik pada Instalasi Air Pendingin 228
III.65 Transformator yang Sedang Mengalami Kebakaran dan Sedang Diusahakan Untuk Dipadamkan dengan Menggunakan Air 231
IV.1 Sebuah Sistem Interkoneksi yang Terdiri dari 4 Buah Pusat Listrik dan 7 Buah Gardu Induk (GI) dengan Tegangan Transmisi 150 kV 235
IV.1 Gambar Sebuah Sistem Interkoneksi yang terdiri dari 4 buah Pusat Listrik dan 7 buah Gardu Induk (GI) dengan Tegangan Transmisi 150 kV 235
IV.2 a. Kurva Beban Sistem dan *Region* Minggu, 11 November 2001 pukul 19.30 = 11.454 MW (*Netto*) 237
b. Kurva Beban Sistem dan *Region* Senin, 12 November 2001 Pukul 19.00 = 12.495 MW (*Netto*) 237
c. Kurva Beban Sistem dan *Region* Selasa, 13 November 2001 Pukul 18.30 = 12.577 MW (*Netto*) 238
d. Kurva Beban Sistem dan Region Rabu, 14 November 2001 pukul 19.00 = 12.500 MW (Netto) 238
e. Kurva Beban Sistem dan Region Kamis, 15 November 2001 Pukul 18.00 = 12.215 MW (Netto) 239
f. Kurva Beban Sistem dan *Region* Jumat, 16 November 2001 Pukul 18.30 = 12.096 MW (*Netto*) 239
g. Kurva Beban Sistem dan *Region* Sabtu, 17 November 2001 pukul 20.000 = 11.625 MW (*Netto*) 240
h. Kurva Beban Sistem dan *Region* (Idul Fitri Hari Ke 1) minggu, 16 Des.2001 Pukul 20.00 = 8.384 MW (*Netto*) 240
i. Kurva Beban Sistem dan Region Natal Selasa, 25 Desenber 2001 Pukul 19.00 = 10.099 MW (*Netto*) 241

	j. Kurva Beban Puncak Tahun Baru Selasa, 1 Januari 2002 pukul 19.30 = 9.660 MW (*Netto*)	241
	k. Kurva Beban Puncak Idul Fitri 1422 H, Natal 2001 Dan Tahun Baru 2002	242
IV.3	Beban Puncak dan Beban Rata-rata Sistem	245
IV.4	Hal-hal yang dialami unit pembangkit dalam satu tahun (8760 jam)	247
IV.5	Penggambaran LOLP = p x t dalam Hari per Tahun pada Kurva Lama Beban	249
IV.6	a. Prosedur Pembebasan Tegangan Pada Penghantar No. 1 Antara Pusat Listrik A dan GI B	253
	b. Prosedur memindah Transformator PS dari Rel 1 ke Rel 2	257
	c. Gambar Prinsip dari PMT dalam Sistem Kubikel	258
	d. Sistem Rel Ganda dengan PMT Ganda Sistem Kubikal	258
IV.7	a. Konfigurasi Rel Ganda pada Pusat Listrik dengan Kondisi PMT Kopel masih Terbuka	260
	b. Konfigurasi Rel PMT 1½ pada Pusat Listrik,PMT AB_2 berfungsi sebagai PMT Kopel	261
V.1	*Disturbance Fault Recorder* Tipe BEN 5000 buatan LEM (Belgia)	272
VI.1	Cara Mencari Kerusakan Rangkaian Kutub	283
VI.2	Cara Memeriksa Kerusakan pada Belitan Kutub	284
VI.3	Avometer	286
VI.4	Pemeriksaan Belitan Mesin Listrik 3 Phasa Menggunakan Megger	287
VI.5	Cara Memeriksa Belitan Kutub Menggunakan Avometer	287
VI.6	Cara Memeriksa Kutup Motor Sinkron Menggunakan Kompas	289
VI.7	Motor Induksi Phasa Belah	301
VI.8	Motor Kapasitor	302
VI.9	Bagan Proses Produksi Pada Usaha Jasa Perbaikan	309
VI.10	Simbol *Group* Belitan	312
VI.11	Langkah Belitan Nomal dan Diperpendek	314
VI.12	Belitan Gelung dan Rantai	315
VI.13	Bentuk Alur dan Sisi Kumparan	316
VI.14	Jumlah Rangkaian Group pada Satu Phasa	317
VI.15	Belitan Stator Terpasang pada Inti	319
VI.16	Jenis Hubungan Antar *Group*	320
VI.17	Hubungan antar *Group* 1 Phasa	320
VI.18	Belitan Rantai *Single Layer*	321
VI.19	Contoh Bentangan Belitan Rantai Lapis Tunggal	322
VI.20	Contoh Betangan Belitan Notor Induksi 3 Phasa 36 Alur	322
VI.21	Contoh Bentangan Belitan Motor Induksi 3 Phase 48 Alur	323
VI.22	Contoh Bentangan Belitan Motor Induksi 3 phasa 24 alur	324
VI.23	Gambar Skema Langkah Belitan pada Alur Motor Induksi 3 phasa 36 Alur	324
VI.24	Proses Pemberian *Red Oxyde*	326
VI.25	Isolasi Alur Stator	327
VI.26	Alat Pelindung dan Alat Bantu Memasukkan Belitan pada	328

Alur
VI.27 Pemasukan Belitan Kedalam Alur Stator 329
VI.28 Bentuk Belitan dalam Stator dan Proses Pemvarnisan 330
VI.29 Langkah Belitan Motor Induksi 3 Phasa untuk *Crane Double Speed* 720 rpm dan 3320 rpm *Star* Dalam 342
VI.30 Skema dan Rangkaian Seri Atas-Bawah, Atas-Atas Motor Induksi 3 Phasa *Crane Double Speed* 720 dan 3320 rpm 343
VI.31 Skema Langkah Belitan Motor 3 Phasa 36 Alur 1500 rpm 344
VI.32 Belitan Motor AC 3 Phasa 36 Alur 1500 rpm 344
VI.33 Belitan Motor Induksi Phasa 36 Alur 3000 rpm 345
VI.34 Belitan Motor induksi 3 Phasa 24 Alur 3000 rpm 345
VI.35 Langkah Belitan Motor Induksi 3 Phasa 24 Alur 1500 Rpm 346
VII.1 Kontruksi dari Sebuah Saklar Sel Berbentuk Lurus 348
VII.2 Hubungan Jajar dari Baterai Akumulator dan Generator 350
VII.3 Hubungan Jajar Baterai Akumulator dengan Dua buah Generator Shunt dan Memakai Tiga Hantaran 352
VII.4 Pengisian Baterai aAkumulator Terbagi Beberapa Bagian 352
VII.5 Skema Pemasangan Mika Saklar 354
VII.6 Pusat Tenaga Listrik dc Memakai Saklar Sel Berganda 355
VII.7 *Opjager* 357
VII.8 Skema Sebuah Generator dengan Baterai Buffer 359
VII.9 Penambahan Belitan Magnet 362
VII.10 Medan Differensial 362
VII.11 Skema Agregat dari Piranti 363
VII.12 Rangkaian Magnet dari Mesin Arus Searah pada Umumnya 365
VII.13 Pengikat Inti Kutub Terhadap Rangka Mesin Listrik Arus Searah pada Umumnya 369
VII.14 Rangka Mesin Listrik Arus Searah yang Retak Rangkanya 369
VII.15 Cara Mencari Belitan Kutub yang Putus 371
VII.16 Mencari Hubung Singkat Belitan Jangkar dengan *Growler* 374
VII.17 Mencari Hubung Singkat Belitan Terhadap Badan 374
VII.18 Gambar Mencari Belitan Jangkar yang Hubung Singkat dengan Badan 375
VII.19 Mencari Hubungan Singkat dengan Badan 375
VII.20 Mencari Hubung Singkat terhadap Badan dengan *Growler* dan Milivoltmeter 376
VII.21 Mencari Putusnya Belitan dengan *Growler* dan Cetusan Bunga Api 376
VII.22 Mencari Putusnya Belitan dengan Jarum Magnet 376
VII.23 Mencari Putusnya Belitan dengan Mili-Voltmeter 377
VII.24 Reaksi Jangkar yang Menyebabkan Muculnya Bunga Api 378
VII.25 Arah Menggeser Sikat Setelah Timbul Reaksi Jangkar 379
VII.26 Keadaan Teoritis Reaksi Jangkar pada Motor Arus Searah 380
VII.27 Menggeser Sikat pada Motor Listrik Setelah Timbul Bunga Api 381
VII.28 Untuk Mencari Bagian Mana yang Rusak Gunakanlah Avometer 383

VII.29	Bentuk Lempeng lemel	387
VII.30	Potongan Kolektor	387
VIII.1	Bagian Alir *Start-Stop* PLTU PERAK III & IV	407
IX.2	Grafik Pengoperasian pada Turning Gear	425
IX.3	Simbol Gerbang *AND*	427
IX.4	Simbol Gerbang *OR*	428
IX.5	Simbol Gerbang *NOT*	428
IX.6	*On Delay* dan *Off Delay* pada *Timer*	429
IX.7	Contoh *Wiring Diagram* Sistem Kelistrikan PLTU Perak	436
X.1	Contoh Transformator 3 phasa dengan tegangan kerja di atas 1100 kV dan Daya di atas 1000 MVA	451
X.2	Contoh *Vacuum Interrupter*	466
X.3	*Gas Insulated Switchgear (GIS)*	467
X.4	a. *Gas Switchgear Combined (GSC) 550 kV*	467
	b. *Gas Switchgear Combined (GSC) 300 kV*	468
	c. *Gas Switchgear Combined (GSC) 245 kV*	468
	d. *Gas Switchgear Combined (GSC) 72,5 kV*	468
X.5	Gas *Combined Swithgear (GCS) 550 kV, 4000A*	469
X.6	Menunjukkan C-GIS (*Cubicle Type Gas Insulated Switchgear*)	469
X.6	*a. C-GIS (Cubicle type Gas Insulated Switchgear) 72.5 kV*	469
	b. C-GIS (Cubicle type Gas Insulated Switchgear) 24 kV	470
	c. C-GIS (Cubicle type Insulated Switchgear) 12 kV	470
X.7	*Dry Air Insulated Switchgear 72.5*	470
X.8	*VCB (Vacuum Circuit Breaker) Out Door 145 kV*	471
X.9	*Reduced Gas Dead Tank Type VCB* 72.5 kV	471
X.10	*Dry Air Insulated Dead Tank Type VCB* 72.5 kV	472
X.11	*VCS (Vacuum Combined Switchgear)*	472
X.12	*VCB (Vacuum Circuit Breaker) In Door Unit*	473
X.13	*VCB (Vacuum Circuit Breaker) Indoor Unit*	473
X.14	*Oil-Immersed distribution transformers*	474
X.15	*SF6 Gas – Insulated Transformer*	474
X.16	*Cast Resin Transformer*	475
X.17	*Sheet – Winding (standart: Aluminum Optional Copper)*	445
X.18	Gambar gambar *Short Circuit Breaking Tests*	476
X.19	*Short – Time Witstand Current Test*	476
X.20	*Alternating Current With Stand Voltage Test*	477
X.21	*Internal Arc Test of Cubicle*	477
X.22	*Slide Shows*	478
X.23	Grafik Hubungan Sensing Tegangan Terhadap *Output of* Generator	483
X.24	Rangkaian Amplifier	484
X.25	*Diagram Minimum Excitay Limiter*	485
X.26	*Blok Diagram Automatic Follower*	486
X.27	*Diagram Excitacy*	487
X.28	*Diagram AVR*	488
XI.2	*Single Lin*e diagram Pengatur Kecepatan Motor *Dahlander* pada *Crane*	494
XI.1	*Power Diagram Line* Pengatur Kecepatan Motor *Dahlander*	493

	Pada *Crane*	
XI.3	Contoh Gambar Menentukan Torsi Mekanik	495
XI.4	Contoh Gambar Menentukan Tenaga Mekanik	496
XI.5	Contoh Gambar Menentukan Daya Mekanik	496
XI.6	Contoh Gambar Menetukan Daya Motor Listrik	497
XI.7	Contoh Menentukan Energi Kinetik pada Putaran dan Momen Enersi	500
XI.8	Contoh Gambar Menentukan Energi Kinetik pada Putaran dan Momen Enersi pada Roda 2 *Pully*	500
XI.9	Rangkaian *Control Plug*	503
XI.10	Rangkaian Daya Plugging	504
XI.11	Contoh Rangkaian Daya Pengereman Dinamik	505
XI.12	Single Diagram Rangkaian Daya Pengereman Dinamik	506
XI.13	Pengereman Regeneratif	506
XI.14	Pengereman Dinamik	507
XI.15	Sambungan *Solenoid* Rem untuk Pengasutan DOL	508
XI.16	Konstruksi dan Pengereman pada Motor Area	509
XI.17	Motor *Area* pada *Crane* Jembatan 10 Ton	510
XI.18	Motor *Area* pada *Crane* Jembatan 10 Ton	511
XI.19	Motor *Area* pada *Crane* Gantung 10 Ton untuk Mengangkat Kapal	511
XI.20	Konstruksi *Lift*	515
XI.21	Contoh Pengawatan *Lift*	517
XII.1	Bagan Jenis-Jenis Fasilitas Telekomunikasi pada Industri Tenaga Listrik	525
XII.2	Peralatan Pengait untuk Komunikasi Pembawa (PLC)	528
XII.3	Sistem Rangkaian Transmisi dengan Pembawa (PLC)	530
XII.4	Contoh Konstanta Attenuasi Saluran Transmisi	531
XII.5	Contoh Peralatan Radio	534
XII.6	Contoh Pemancar	535
XII.7	Contoh Komunikasi Radio untuk Pemeliharaan	536
XII.8	Lintasan Gelombang Mikro Dipantulkan oleh Reflektor Pasif	538
XII.9	Bagian-bagian Pemancaran (A) Antena Reflektor pasif Parabola (B) Gelombang Mikro	539
XIII.1	Contoh Pengukuran Arus Dilengkapi Transformator Arus	542
XIII.2	*Desain* Transformator Arus 500 VA, 100A/5 A untuk *Line* 230 kV	542
XIII.3	Transformator Arus 50 VA, 400 A/5 A, 60 Hz dengan Isolasi untuk Tegangan 36 kV	543
XIII.4	Transformator Toroida 1.000 A/4A untuk Mengukur Arus Line	544
XIII.5	Transformator Toroida Tersambung dengan Bushing	545
XIII.6	Transformator Tegangan pada Line 69 kV	546
XIII.7	Contoh Aplikasi Transformator Tegangan pada Pengukuran Tegangan Tinggi	547
XIII.8	Contoh Bentuk Amperemeter dan Voltmeter	547
XIII.9	Kontruksi dasar Watt Meter	548

XIII.10	Pengukuran daya (Watt-Meter 1 phasa)	548
XIII.11	Pengukuran Daya (Watt-Meter 1 Phasa / 3 Phasa)	549
XIII.12	Skema Bagan Watt-Meter 1 Phasa	549
XIII.13	Skema Bagan Watt-Meter 1 Phasa dan 3 Phasa	549
XIII.14	Cara penyambungan Wattmeter 1 phasa	550
XIII.15	Cara Pengukuran Daya 3 Phasa dengan 3 Wattmeter	550
XIII.16	Rangkaian Pengukuran Daya 3 Phasa 4 Kawat	550
XIII.17	Rangkaian Pengukuran Daya Tinggi	551
XIII.18	Alat Pengukuran *Cos Φ*	552
XIII.19	Kopel yang Ditimbulkan	522
XIII.20	Pengukuran Cos Φ dengan Kumparan yang Tetap dan Inti Besi	533
XIII.21	*Diagram Vektor* Ambar XIII.20	554
XIII.22	Prinsip *Cosphimeter* Elektro Dinamis	554
XIII.23	*Cosphimeter* dengan Azaz Kumparan Siang	554
XIII.24	Vektor Diagram Arus dan Tegangan pada *Cosphimeter*	555
XIII.25	Skala *Cosphimeter* 3 phasa	555
XIII.26	Kontruksi *Cosphimeter* dengan Garis-garis	555
XIII.27	Sambungan *Cosphimeter* 1 phasa	555
XIII.28	Sambungan Secara tidak Langsung *Cosphimeter* 1 Phasa	555
XIII.29	Pemasangan *Cosphimete*r 3 phasa	556
XIII.30	Pemasangan Secara Tidak Langsung *Cosphimeter* 3 Phasa	556
XIII.31	Kerja Suatu Frekuensimeter Jenis Batang Bergetar	557
XIII.32	Prinsip Kerja Frekuensimeter Jenis Batang Bergetar	557
XIII.33	Prinsip Kerja Frekuensimeter Tipe Elektro Dinamis	558
XIII.34	Prinsip Suatu Frekuensi Meter Jenis Pengisian-Pengosongan kapasitor	559
XIII.35	Kontruksi Frekuensi Lidah	559
XIII.36	Skala Frekuensimeter Lidah	560
XIII.37	Prinsip Kerja Meter Penunjuk Energi Listrik Arus Bolak-Balik (Jenis Induksi)	561
XIII.38	Arus *Eddy* pada Suatu Piringan	561
XIII.39	Prinsip Pengatur Phasa	562
XIII.40	Prinsip Suatu Beban Berat	563
XIII.41	Prinsip Suatu Beban Ringan	563
XIII.42	Bentuk Bentuk Penunjuk (*Register*)	564
XIII.43	Prinsip Voltmeter Digital dengan Metode Perbandingan	565
XIII.44	Beda Antara Metode Perbandingan dan MetodeIntegrasi	565
XIII.45	Prinsip Sistem Penghitungan dengan Cara Modulasi Lebar Pulsanya	568
XIII.46	Alat Pencatat Penulis Pena	569
XIII.47	Contoh Cara Kerja Garis Lurus Alat Pencatat Penulis Langsung	569
XIII.48	Alat Pencatat Penulis Langsung	570
XIII.49	Cara Kerja alat Pencatat Penulis Langsung (jenis pemetaan)	570
XIII.50	Blok Diagram Suatu Alat Pencatat X-Y	571
XIII.51	Penyimpanan Suatu Sinar Elektron dalam Suatu CRT	572

XIII.52	"*Blok Diagram" Suatu Osciloscope (System "Repetitive Sweep")*	572
XIII.53	Hubungan Antara Bentuk Gelombang yang terlibat dan bentuk Gelombang "*Saw-Tooth"* dalam Sistem "*Triggered Sweep"*	573
XIII.54	Prinsip penyimpanan *"Storage CRT"*	573
XIII.55	Contoh dari Samping *Osciloskop*	574
XIII.56	Bentuk Suatu 1800-4500 MHz *Band Signal Generator*	574
XIII.57	*"Blok Diagram"* Untuk Rangkaian Gambar XIII. 106	574
XIII.58	Peredam Reaktansi	575
XIII.59	Pengujian Belitan Mesin Listrik 3 Phasa dengan Menggunakan *Megger*	576
XIII.60	Cara Mengukur Belitan Kutub dengan Menggunakan Avometer	576

DAFTAR RUMUS

N0.	Rumus	No. Persamaan	Halaman
1	$S_1 = q_1 \cdot n_1 v_1$	2-1	96
2	$S_1 = q_1 \cdot n_1 . E$	2-2	96
3	$K = (LS)/UA$	2-3	97
4	$P_{diel} = U^{2w} C \tan d$	2-4	97
5	$P = k.\eta.H.qkW$	3-1	146
6	$G = \frac{11.400.\ p^{0,96}}{h^{1.102}}$	3-2	195
7	$P_m = S.A.I.BMEP \text{ x } \frac{n}{2 \text{ atau } 1} \text{ x } k$	3-3	201
8	$\frac{p_m - p_n.520.V_m}{30t_m + 460}$	3-4	223
9	$\text{Faktor beban} = \frac{\text{Beban rata - rata}}{\text{Beban Puncak}}$	4-1	244
10	$\text{Faktor kapasitas} = \frac{\text{Produksi 1 tahun}}{\text{Daya terpasang x 8.760}}$	4-2	245
11	$\text{Faktor utilitas} = \frac{\text{Beban alat tertinggi}}{\text{Kemampuan alat}}$	4-3	245
12	$\text{FOR} = \frac{\text{Jmlh jam gangguan}}{\text{Jmlh jam operasi} + \text{Jmlh jam gangguan}}$	4-4	246
13	$\text{LOLP} = p \text{ x } t$	4-5	249
14	$E=2,22.\frac{z}{a}.f.k_d.k_p.\phi.\omega.10^{-8}\ .\ Volt$	6-1	282
15	$E = 4,44.N.\ f.k_d.k_p.\phi.\omega.10^{-8}$ Volt	6-2	282
16	$E=2,22.\frac{z}{a}.f.kd.kp.\phi.\omega.10^{-8}.Volt$	6-3	282
17	$E = 4,44.N.\ f.kd.kp.\phi.\omega.10^{-8}$ Volt	6-4	282
18	$E = C.\ \phi$. Volt	6-5	282

N0.	Rumus	No. Persamaan	Halaman
19	$\text{S/phasa} = \frac{\text{S}}{3} = 12 \text{ alur}$	6-6	313
20	$p = \frac{f.60}{n}$	6-7	313
21	$p = \frac{50.60}{1470} = 2,\ldots$	6-8	313
22	$f_p = \sin \omega/T_p.\pi/2$	6-9	315
23	$R = \frac{180.2p}{S}$	6-10	319
24	$\text{Jumlah sel} = \frac{\text{V konstan}}{\text{V keluar arus}}$	7-1	349
25	$I = I_G + I_B$	7-2	358
26	$E_G = \frac{E_G - E_K}{R_G}$	7-3	359
27	$I_G + dI_G = \frac{E_G - (E_K - dE_K)}{R_G}$	7-4	360
28	$(I_G + dI_G) - I_G$	7-5	360
29	$dI_B = \frac{E_B - E_K + dE_K}{R_B}$	7-6	360
30	$dI_B = \frac{dE_K}{R_B}$	7-7	360
31	$dI_G : dI_B = \frac{dE_K}{R_G} : \frac{dE_K}{R_B}$	7-8	360
32	$dI_G : dI_B = \frac{1}{R_G} : \frac{1}{R_B}$	7-9	360
33	$E = \frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . \phi . 10^{-8} \text{ Volt}$	7-10	366
34	$\frac{p}{a} . \frac{n}{60} . z . 10^{-8} = C$	7-11	360
35	$E = C . \phi$. Volt	7-12	367

36	$H=\frac{0{,}4\,\pi\,N\,.\,I_m}{\iota}$ *Oersted*	7-13	367

N0.	Rumus	No. Persamaan	Halaman
37	$B=\frac{0{,}4\,\pi\,N\,.\,Im}{\iota}$ μ *Gauss*	7-14	367
38	ϕ = B.q	7-15	367
39	$\phi=\frac{0{,}4\,\pi\,N\,.\,Im}{\iota}$ μ .q garis-garis	7-16	367
40	$\phi = \frac{B\,.\,A}{R_m}$ garis – garis	7-17	367
41	$\phi = \frac{C1}{R_m}$ garis – garis	7-18	368
42	$E = C \frac{C_1}{R_m}$ Volt	7-19	367
43	$E = \frac{C\,.\,C_1}{R_m}$ Volt	7-20	368
44	E = C . ϕ . Volt.	7-21	370
45	ϕ = C_I . f (I_m) garis-garis	7-22	370
46	$E = \frac{p}{a}\,.\,\frac{n}{60}\,.\,z\,.\,\phi\,.10^{-8}$ Volt	7-23	381
47	$E = \frac{p}{a}\,.\,\frac{n}{60}\,.\,z\,.\,\phi\,.10^{-8}$ Volt	7-24	384
48	$n=\frac{E_k\,.\,C}{\phi}$	7-25	384
49	$S_{20} = S_t + 0.0007(t - 20)$	8-1	397
50	$e(t) = -N(d\phi / dt)$	9-1	431
51	$Vp / Vs = Np / Ns$	9-2	432
52	$V = 4{,}44.f.N$	9-3	434
53	$F = B.L.V$	9-4	434
54	$F = 9{,}8\,m$	11-1	494
55	$T = F.d\,(N - m)$	11-2	495
56	$W = F.d$ Joule	11-3	495
57	$P = W.t$ wat t	11-4	496

58	$P = \frac{nT}{9{,}55}$ Watt	11-5	497

SOAL-SOAL LATIHAN

BAB I. PENDAHULUAN

1. Jelaskan secara ringkas proses pembangkitan tenaga listrik pada PLTA, PLTU, PLTD, PLTPB, dan PLTN
2. Pusat pembangkit jenis apa yang banyak dikembangkan di Indonesia, jawaban disertai dengan penjelasan
3. Faktor-faktor apa saja yang harus diperhatikan dalam pengembangan pusat pembangkit tenaga listrik?
4. Sebutkan 5 (lima) kelengkapan pada pusat pembangkit listrik dan fungsinya?
5. Sebutkan 9 masalah utama dalam pembangkitan tenaga listrik, dan mana yang paling dominan?
6. Apa yang dimaksud instalasi listrik pada pusat pembangkit listrik?
7. Faktor apa saja yang dipertimbangkan dalam memilih jenis penggerak mekanis pada pusat pembangkit listrik
8. Jelaskan 2 (dua) keuntungan sistem interkoneksi pusat pembangkit listrik?
9. Gambarkan proses penyaluran tenaga listrik di Indonesia dengan disertai fungsi masing-masing bagian
10. Jelaskan faktor apa saja yang menjadi indikator mutu tenaga listrik?

BAB II. INSTALASI LISTRIK PADA PUSAT PEMBANGKIT LISTRIK

1. Bagaimana cara melakukan instalasi pada generator sinkron dan transformator 3 phasa pada pusat pembangkit, jawaban dengan disertai gambar
2. Bagaimana cara melakukan instalasi kelistrikan pada transformator dan generator sinkron 3 phasa?
3. Bagaimana proses melakukan instalasi dari pusat pembangkit sampai ke transformator?
4. Jelaskan cara dan proses melakukan instalasi *excitacy* pada generator sinkron 3 phasa
5. Jelaskan perbedaan antara rel tunggal dan rel ganda pada pusat pembangkit listrik dengan disertai gambar
6. Sebutkan jenis dan fungsi saklar tenaga pada pusat pembangkit listrik
7. Jelaskan prinsip kerja *switchgear* pada pusat pembangkit?
8. Apa yang dimaksud instalasi sendiri pada pusat pembangkit listrik

9. Pada bagian depan dan belakang PMT harus dipasang pemisah, apa sebabnya? Jawaban dengan disertai penjelasan dan gambar.
10. Semua bagian instalasi pusat listrik yang terbuat dari logam harus ditanahkan, apa sebabnya?
11. Sebutkan cara untuk memutus busur listrik dalam pemutus tenaga.
12. Sebutkan 2 macam keuntungan dan kerugian antara pemutus tenaga menggunakan gas SF_6 dibandingkan pemutus tenaga hampa
13. Jelaskan mengapa pemutus tenaga dari sistem arus penguat (*exitacy*) generator harus dilengkapi tahanan yang harus dihubungkan dengan kumparan penguat generator
14. Jelaskan proses kerja pengatur otomatis dari generator berdasarkan prinsip mekanis maupun yang berdasar prinsip elektronik.
15. Sebutkan pokok-pokok spesifikasi teknik yang diperlukan dalam membeli pemutus tenaga!
16. Sebutkan relai-relai yang penting untuk memproteksi generator dengan daya di atas 10 MVA!
17. Apa fungsi yang terpenting dari baterai dalam instalasi listrik pusat listrik?
18. Apa yang mempengaruhi berat jenis *accu zuur*?
19. Bagaimana proses melakukan pemeliharaan *accu zuur*?
20. Sebutkan macam-macam transformator dan fungsinya masing-masing
21. Uraikan proses pengujian minyak transformator
22. Bagaimana cara melakukan pengukuran besaran listrik pada pusat pembangkit listrik
23. Sebutkan jenis-jenis dan fungsi sistem proteksi pada pusat pembangkit listrik
24. Bagaimana cara memelihara pusat pembangkit tenaga listrik
25. Jenis-jenis kabel apa saja yang digunakan untuk instalasi kelistrikan pada pusat pembangkit listri
26. Bagaimana cara melakukan pengamanan pusat pembangkit listrik terhadap gangguan petir
27. Apa yang dimaksud dengan proteksi rel?
28. Bagaimana cara melakukan instalasi pada bagian vital pada pusat pembangkit listrik
29. Jelaskan prinsip kerja generator sinkron
30. Mengapa pada *rel bus* dipasang proteksi?
31. Bagaimanakah pengaruh besarnya arus *excitacy* terhadap besar *output* tegangan generator sinkron 3 phasa dengan jumlah putaran tetap, baik untuk penguatan tersendiri

BAB III. OPERASI PADA PUSAT PEMBANGKIT LISTRIK

1. Mengapa hutan di daerah aliran sungai penggerak PLTA perlu dilestarikan?
2. Apa fungsi saluran pesat pada PLTA?
3. Sebuah PLTA memiliki tinggi terjun 200 meter dan instalasinya maksimum bisa dilewati air sebanyak 25 m3/detik. PLTA mempunyai kolam tando tahunan.

   Debit air sungai penggerak PLTA ini dalam satu tahun (365 hari) adalah sebagai berikut:

   Selama 240 hari rata-rata = 60 m^3/det
   Selama 120 hari rata-rata = 10 m^3/del
   Efisiensi rata-rata PLTA i = 80%

   Ditanya (penguapan air dalam kolam diabaikan):
   a. Berapa besar daya yang dibangkitkan PLTA?
   b. Berapa banyak air yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kWh?
   c. Berapa besar volume kolam tando yang diperlukan jika PLTA selalu siap operasi penuh sepanjang tahun?
   d. Berapa besar produksi kWh yang bisa dicapai PLTA ini dalam satu tahun?
   e. Jika PLTA dioperasikan penuh, berapa hari dapat dilakukan dalam 1 tahun?

4. Langkah-langkap apa saja yang harus dilakukan untuk mencegah terjadinya penyalaan sendiri pada batubara yang ditumpuk di lapangan?
5. Jika daya hantar listrik air ketel melampaui batas yang diperbolehkan, langkah apa yang harus dilakukan?
6. Apa yang terjadi jika derajat keasaman air ketel PLTU melampaui batas.
7. Jelaskan prosedur mengoperasikan genset?
8. Apa kelebihan dan kekurangan unit PLTD dibandingkan unit pembangkit lainnya?
9. Apa sebabnya bahan bakar minyak dari PERTAMINA yang dapat dipakai untuk turbin gas hanyalah high speed Diesel oil (HSD)?
10. Sebuah PLTGU menggunakan gas sebagai bahan bakar memiliki kapasitas 430 MW beroperasi dengan beban 400 MW selama 24 jam perhari. Efisiensinya pada beban 400 MW 46%. Jika setiap *standard cubic foot* mengandung 922 Btu dan harga 1 MSCF gas US$ 2,0 dengan kurs US$1

Rp 9.300,00. Berapa biaya pembelian gas per hari dan biaya gas per kWh. Catatan 1 kWh = 3.413 Btu.

11. Jika *excitacy* pada generator sinkron lepas dan Genset tetap berputar dan berbeban, berapa besar tegangan yang dibangkitkan
12. Bagian-bagian apa saja yang harus dipelihara pada genset

Bab IV. PEMBANGKITAN DALAM SISTEM INTERKONEKSI

1. Sebuah sistem tenaga listrik interkoneksi terdiri dari:
   a. PLTA dengan 4 unit yang sama 4 x 100 MW
   b. PLTU dengan 4 unit yang sama 4 x 600 MW
   c. PLTGU dengan 2 blok yang sama 2 x (3 x 100 MW + 150 MW)
   d. PLTG dengan 4 unit yang sama 4 x 100 MW, unit ke 4 baru Selesai terpasang bulan Maret

   Jadwal pemeliharaan unit unit adalah sebagai berikut:

   Januari : 1 unit PLTU selama 1 bulan
   Februari : 2 buah unit PLTG selama I bulan
   Maret : 1 blok PLTGU selama 1 bulan
   April : 1 unit PLTA selama 1 bulan

   Perkiraan beban puncak adalah:
   Januari : 3600 MW
   Februari : 3610 MW
   Maret : 3630 MW
   April : 3650 MW

   a. Susunlah neraca daya sistem untuk bulan Januari sampai dengan April
   b. Susunlah neraca energi dan perkiraan biaya bahan bakar sistem untuk bulan Januari, jika air untuk PLTA diperkirakan bisa memproduksi 360 MWH.

   Biaya bahan bakar PLTU (batubara) rata-rata = Rp l20,00/kWh
   Biaya bahan bakar PLTGU (gas) rata-rata = Rp l80,00/kWh
   Biaya bahan bakar (minyak) PLTG rata-rata = Rp 800,00/kWh

   Batasan jam nyala bulanan adalah:
   PLTA : 700 jam PLTGU : 660 jam
   PLTU : 660 jam PLTG : 500 jam
   Faktor beban sistem : 0,76

2. Mengapa jam nyala unit pembangkit tidak bisa dihitung penuh, misalnya untuk bulan Januari 31 *x* 24 jam = 744 jam?
3. Angka apa yang menggambarkan tingkat keandalan sistem interkoneksi?
4. Jelaskan bagaimana prosedur membebaskan tegangan sebuah saluran yang keluar dari pusat listrik dalam rangka melaksanakan pekerjaan pemeliharaan?
5. Apa tugas utama pusat pengatur beban dalam sistem interkoneksi?
6. Dalam sistem interkoneksi antar perusahaan (negara), angka apa yang perlu diamati untuk menentukan jual beli energi listrik?
7. Kendala-kendala apa yang harus diperhatikan dalam operasi sistem interkoneksi?
8. Apa manfaat penggunaan *SCADA* serta komputerisasi dan otomatisasi dalam sistem interkoneksi?
9. Bagaimanakan syarat-syarat untuk melakukan kerja jajar 2 (dua) generator sinkron 3 phasa?
10. Buat data dalam bentuk tabel yang berisi nama, spesifikasi, dan jumlah bahan serta alat untuk melakukan kerja jajar 2 generator sinkron 3 phasa
11. Bagaimana langkah-langkah dalam memperkirakan besar beban?
12. bagaimana langkah-langkah dalam melakukan koordinasi pemeliharaan pada sistem interkoneksi pusat pembangkit listrik
13. Faktor-faktor apa saja yang harus diperhatikan dalam pembangkitan?
14. Mengapa dalam pelayanan tenaga listrik harus memperhatikan kontinuitas pelayan beban
15. Tindakan apa saja yang dilakukan untuk menjamin keselamatan dan kesehatan kerja ditinjau dari segi mekanis, segi listrik dan kesehatan kerja
16. Dalam rangka untuk tujuan pemeliharaan, bagaimana prosedur dalam pembebasan tegangan dan pemindahan beban pada pusat pembangkit listrik
17. Jenis pekerjaan apa yang dapat dilakukan secara otomatisasi pada pusat pembangkit listrik
18. Kendala-kendala apa saja yang terjadi pada operasi pusat pembangkit listrik

BAB V. MANAJEMEN PEMBANGKITAN

1. Apa tujuan dari manajemen operasi pembangkitan energi listrik?
2. Apa tujuan pemeliharaan unit pembangkitan?
3. Apa yang harus dilaporkan pada pemeliharaan unit pembangkit?
4. Apa yang harus dilaporkan dalam membuat laporan operasi pembangkitan?

5. Apa yang harus dilaporkan dalam membuat laporan kerusakan unit pembangkit?
6. Apa yang harus dilaporkan dalam laporan kejadian gangguan pada unit pembangkit?
7. Dalam melakukan pemeliharaan secara prediktif, besaran-besaran apa yang harus dianalisis hasilnya?
8. Langkah-langkah apa saja yang harus dilakukan dalam melakukan pemeliharaan unit pembangkit diesel dan PLTU?
9. Dimana suku cadang pada pembangkit disimpan
10. Siapa yang memberi rekomendasi untuk operasi dan pemeliharaan yang waktu akan datang

BAB VI. GANGGUAN, PEMELIHARAAN DAN PERBAIKAN MESIN ARUS BOLAK BALIK

1. Sebutkan jenis gangguan dan gejala pada generator sinkron dan bagaimana cara mengatasinya?
2. Apa yang dilakukan jika terjadi pada belitan penguat generator sinkron 3 phasa?
3. Jenis kerusakan apa yang sering terjadi pada generator sinkron 3 phasa
4. Sebutkan jenis penguat pada generator sinkron 3 phasa, jawaban disertai penjelasan.
5. Sebutkan langkah-langkah dalam memelihara generator sinkron 3 phasa
6. Gangguan dan gejala gangguan apa saja yang sering terjadi pada motor induksi 3 phasa dan bagaimana cara mengatasinya?
7. Jika sekring pada motor induksi sering terputus, jelaskan apa penyebab dan cara pemeliharaannya
8. Jelaskan langkah-langkah dalam melakukan pemeliharaaan motor induksi 3 phasa
9. Jenis kerusakan pada bagian apa yang dapat dikategorikan keruskan berat pada motor listrik 3 phasa
10. Bagaimana cara memelihara motor listrik yang berfungsi sebagai penggerak mesin pendingin?
11. Bagaimana cara memperbaiki dan memelihara
    a. Lilitan stator generator terbakar
    b. Transformator penaik tegangan rusak.
    c. Lilitan stator motor listrik terbakar
    d. Pemutus tenaga meledak/rusak

BAB VII PEMELIHARAAN SUMBER ARUS SEARAH

1. Untuk pemilihan generator dan motor listrik arus searah (DC), faktor apa saja yang harus dipertimbangkan
2. Jelaskan fungsi generator arus searah dalam pusat pembangkit listrik arus searah
3. Jika generator arus searah tidak keluar tegangan, jelaskan faktor apa penyebabnya dan bagaimana cara mengatasinya
4. Sebutkan persyaratan untuk menghubungkan jajar generator arus searah dengan baterai akumulator
5. Jelaskan fungsi baterai pada pusat pembangkit tenaga listrik arus searah
6. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan dalam memelihara generator arus searah pada pusat pembangkit listrik arus searah?
7. Langkah-langkah apa saja yang dilakukan dalam memelihara baterai akumulator pada pusat pembangkit listrik arus searah?
8. Apa yang harus dilakukan jika generator DC, tegangan yang keluar polaritasnya terbalik?
9. Apa yang harus dilakukan jika motor DC putarannya rendah?
10. Apa yang harus dilakukan jika motor DC tidak berputar jika dibebani?
11. Apa yang harus dilakukan jika kumparan kutub atau kumparan maknit putus?
12. Bagaimana cara mengetahui jika kumparan kutup ada yang putus?
13. Jelaskan langkah-langkah dalam memeriksa dan memelihara jangkar motor DC?
14. Kapan harus dilakukan pemeliharaan pada *Accu* dan generator DC?

BAB VIIII. SISTEM PEMELIHARAAN PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA AIR

1. Kegiatan pemeliharaan apa saja yang harus dilakukan pada generator DC dan Sinkron di PLTA?
2. Mengapa pada generator pembangkit dilakukan pengukuran tahanan isolasi dan kapan harus dilakukan?
3. Mengapa dilakukan pengujian tahanan isolasi pada motor listrik yang ada di PLTA dan kapan harus dilakukan?
4. Mengapa dilakukan pengujian tahanan isolasi pada transformator yang ada di PLTA dan kapan harus dilakukan?
5. Mengapa dilakukan pemeliharaan *Accu Battery* yang ada di PLTA dan kapan harus dilakukan?
6. Bagaimana cara melakukan pengukuran nilai tahanan isolasi pada transformator? tindakan apa yang harus dilakukan jika besar tahanan isolasi tidak memenuhi persyaratan minimal?

7. Bagaimana cara melakukan pengukuran nilai tahanan isolasi pada *Oil Circuit Breaker (OCB)* transformator?
8. Bagaimana cara melakukan pengukuran nilai tahanan isolasi pada *Oil Circuit Breaker (OCB)* generator?
9. Langkah-langkah apa saja yang harus dilakukan dalam melakukan pemeliharaan *Accu Battery*?
10. Bagaimana cara melakukan pemeriksaan, perbaikan dan pemeliharaan minyak transformator?

BAB IX. *STANDARD OPERATION PROCEDURE (SOP)*

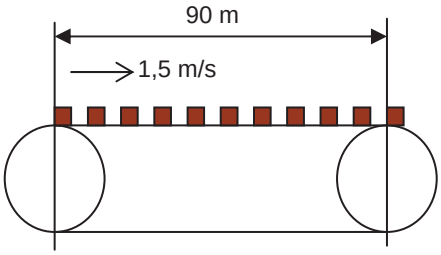
1. Apa maksud harus mengikuti *SOP* dalam melakukan pekerjaan?
2. Apa tujuan kita harus menggunakan *SOP* dalam melakukan pekerjaan?
3. Apa definisi dari *SOP*?
4. Jelaskan prosedur start dingin pada PLTU?
5. Apa yang dimaksud *BFP* dan *CWP* C. *Unit Start Up After 10 Hours Shut Down*
6. Jelaskan langkah-langkah pada *Turning Gear*
7. Jelaskan langkah-langkah pada pemeliharaan Genset dengan *menggunakan SOP*

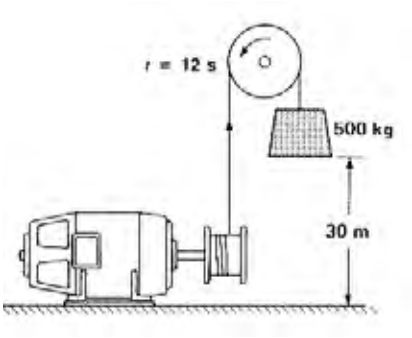
BAB X TRANSFORMATOR DAYA, *SWITCHGEAR, RELAY PROTECTION, EXCITACY* DAN *SYSTEM* KONTROL

1. Sebutkan klasifikasi tansformator tenaga dengan diserta penjelasan
2. Sebutkan bagian-bagian transformator tenaga dan fungsi tiap-tiap bagian
3. Bagaimana prosedur pengujian atau pemeliharaan transformator
4. Sebutkan jenis switchgear dan cara memeliharanya
5. Sebutkan jenis relay proteksi pada pusat pembangkit listri dan fungsi serta prosedur pemeliharaannya
6. Apa yang dimaksud system excitasi dengan sikat dan prosedur kerja serta pemeliharaannya
7. Sebutkan bagian-bagian dari sistem excitasi tanpa sikat (Brushless Excitation) pada PLTU
8. Jelaskan proses kerja alat pengatur tegangan otomatis (Automatic *Voltage RegulatorVR*) dan prosedur pemeliharaannya
9. Sebutkan bagian-bagian dari unit AVR dengan fungsinya masing-masing
10. Jeaskan prosedur pemeliharaan sistem kontrol pada pusat pembangkit listrik

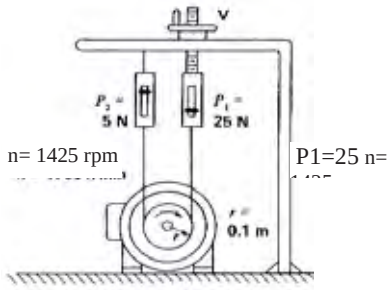
BAB XI *CRANE* DAN *ELEVATOR* (*LIFT*)

1. Sebutkan fungsi *crane* pada pusat pembangkit listrik
2. sebutkan jenis-jenis motor listrik ysng sering digunakan pada *crane*
3. Apa fungsi *magnetic contactor* mada rangkaian pengendali *crane*
4. Sebuah sabuk *konveyor* bergerak *horizontal* pada dengan 1,5 m/detik dengan dibebani 750 kg/jam. Panjang sabuk 90m dan digerakkan oleh sebuah motor listrik dengan kecepatan 960 rpm. Perbandingan momen enersia pada poros motor listrik seperti ditunjukkan pada gambar di samping.Tentukan momen pada poros motor listrik





5. Sebuah motor listrik dengan tenaga 150 DK (1DK = 736 Watt). Motor ini dipakai untuk mengangkat barang. Motor listrik dihubungkan pada dynamo (generator) KEM dengan tegangan 400 V. Pada motor listrik terjadi kerugian sebesar 40%. Berapakah besarnya arus yang diambil oleh *dynamo* atau generator *KEM*?
6. Motor untuk lift seperti gambar di bawah ini tetapi berat benda 600 kg dan diangkat dengan ketinggian 30 meter dalam 20 detik. Hitung daya motor listrik dalam kW dan HP (*Hourse Po*wer, 1 HP = 746 Watt).
7. Pengembangan pemilihan motor listrik untuk mengangkat benda dengan gaya P1 15 N dan pemberat 5 N. Hitung daya *output* jika putaran motor 1.425 rpm. Jari-jari pully 0,1 m.



8. Sebutkan bagian-bagian lift dan fungsinya
9. Jelaskan prinsip kerja *lift*. Penjelasan dengan disertai gambar

10. Sebutkan prosedur pemeliharaan pada lift dan tindakan keselamatan kerja yang harus dilakukan
11. Torsi motor pada saat start 140 N-M, dengan diameter *pully* 1 meter, hitung jarak pengereman jika motor berhenti 3 m dan gaya pengereman
12. Untuk pemilihan motor listrik untuk mengangkat benda dengan dengan gaya P_1 20 N dan pemberat 5 N. Hitung daya output jika putaran motor 1.800 rpm. Jari-jari *pully* 0,1 m.
13. Motor listrik 150 kW dengan efisiensi 90 persen dioperasikan dengan beban penuh. Hitung rugi-rugi (akibat gesek dan *eddy current*) pada motor listrik tersebut.
14. Sebuah sabuk *konveyor* bergerak horizontal pada dengan 1,5 m/detik dengan dibebani 50,000 kg/jam. Panjang sabuk 240m dan digerakkan oleh sebuah motor listrik dengan kecepatan 960 rpm..Tentukan momen pada poros motor listrik
15. Sebutkan 3 jenis cara pengereman pada motor listrik. Jawaban dengan disertai penjelasan dan gambar

BAB XII TELEKOMUNIKASI UNTUK INDUSTRI TENAGA LISTRIK

1. Sebutkan klasifikasi penggunaan telekomunikasi untuk industri tenaga listrik, dan jelaskan perbedaannya
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan saluran telekomunikasi dengan kawat
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan sistem transmisi alat komunikasi
4. Jelaskan kelebihan dan kekurangan komunikasi dengan pembawa saluran tenaga
5. Jelaskan kelebihan dan kekurangan komunikasi dengan rangkaian transmisi
6. Jelaskan kelebihan dan kekurangan komunikasi dengan komunikasi radio
7. Jelaskan kelebihan dan kekurangan komunikasi dengan komunikasi gelombang mikro
8. Jelaskan prosedur pemeliharaan telekomunikasi untuk industri tenaga listrik

BAB XIII ALAT UKUR LISTRIK

1. Bagaimana cara untuk melakukan pengukuran arus dengan kapasitas tinggi pada jaringan listrik. Jawaban disertai gambar dan penjelasan
2. Bagaimana cara untuk melakukan pengukuran tegangan tinggi pada jaringan listrik. Jawaban disertai gambar dan penjelasan
3. Sebukan 2 cara untuk mengukur daya listrik pada jaringan 3 phasa. Jawaban disertai penjelasan dan gambar
4. Sebukan 2 cara untuk mengukur daya listrik pada jaringan 3 phas. Jawaban disertai penjelasan dan gambar

5. Jelaskan prinsi pencatatan besarnya energi listrik. Jawaban disertai penjelasan dan gambar
6. Bagaimana cara mengukur besarnya tahanan isolasi dengan menggunakan *megger* (*megger* dengan *dynam*o dan diputar engkol dan *megger* dengan menggunakan baterai
7. Jelaskan prosedur pengukuran besaran istrik dengan menggunakan *oscilloscope*
8. Bagaimana prosedur pengukuran faktor daya menggunakan *cosphimeter*
9. Jelaskan prosedur memeliharaan alat ukur listrik
10. Jelaskan prosedur pemeriksaan alat ukur listrik dan cara perbaikannya

Pembangkitan Tenaga Listrik

Lampiran : 1

UNDANG-UNDANG KESELAMATAN KERJA

TUJUAN

SETELAH MENYELESAIKAN MATA PELAJARAN PESERTA DIHARAPKAN MAMPU :

1. MENJELASKAN UNDANG-UNDANG KESELAMATAN KERJA YANG BERLAKU DI PLN DAN ANAK PERUSAHAANNYA
2. MENJELASKAN MACAM-MACAM BAHAYA KECELAKAAN KERJA
3. MENJELASKAN FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB KECELAKAAN DAN TINDAKAN PENCEGAHANNYA
4. MENJELASKAN TINDAK LANJUT JIKA TERJADI KECELAKAAN
5. MENJELASKAN ASPEK-ASPEK P3K
6. MENJELASKAN CARA-CARA MELAKUKAN PERNAFASAN BUATAN
7. MENJELASKAN ASPEK-ASPEK HOUSE KEEPING

Pembangkitan Tenaga Listrik

KECELAKAAN KERJA

ADALAH SUATU KECELAKAAN YANG TERJADI PADA SESEORANG KARENA HUBUNGAN KERJA DAN KEMUNGKINAN DISEBABKAN OLEH BAHAYA YANG ADA KAITANNYA DENGAN PEKERJAAN.

KESELAMATAN KERJA

ADALAH SUATU BIDANG KEGIATAN YANG DITUJUKAN UNTUK MENCEGAH SUATU BENTUK KECELAKAAN KERJA DILINGKUNGAN DAN KEADAAN KERJA

Pembangkitan Tenaga Listrik

UNDANG-UNDANG NO. 1 TAHUN 1970
TENTANG
KESELAMATAN KERJA

YANG MENDASARI TERBITNYA UNDANG-UNDANG INI ANTARA LAIN :

- BAHWA SETIAP TENAGA KERJA BERHAK MENDAPATKAN PERLINDUNGAN KESELAMATANNYA.
- BAHWA SETIAP ORANG LAIN YANG BERADA DITEMPAT KERJA PERLU TERJAMIN KESELAMATANNYA.
- PEMANFAATAN SUMBER PRODUKSI SECARA AMAN DAN EFISIEN.
- PEMBINDAAN NORMA-NORMA PERLINDUNGAN KERJA.
- MEWUJUDKAN UNDANG-UNDANG YANG MEMUAT TENTANG KESELAMATAN KERJA YANG SESUAI DENGAN PERKEMBANGAN MASYARAKAT , INDUSTRIALISASI, TEKNIK DAN TEKNOLOGI.

Pembangkitan Tenaga Listrik

TERDIRI XI BAB YANG MENGATUR :

BAB	I	TENTANG ISTILAH-ISTILAH
BAB	II	RUANG LINGKUP
BAB	III	SYARAT-SYARAT KESELAMATAN KERJA
BAB	IV	PENGAWASAN
BAB	V	PEMBINAAN
BAB	VI	PANITIA PEMBINAAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
BAB	VII	KECELAKAAN
BAB	VIII	KEWAJIBAN DAN HAK TENAGA KERJA
BAB	IX	KEWAJIBAN BILA MEMASUKI TEMPAT KERJA
BAB	X	KEWAJIBAN PENGURUS
BAB	XI	KETENTUAN-KETENTUAN PENUTUP

Pembangkitan Tenaga Listrik

UNDANG-UNDANG NO. 1 TAHUN 1970
BAB II RUANG LINGKUP
ANTARA LAIN MEMUAT :

1. MENCEGAH DAN MENGURANGI
   - KECELAKAAN
   - BAHAYA PELEDAKAN
   - DAN MENADAMKAN KEBAKARAN

2. MEMBERI :
   - JALAN PENYELAMATAN DIRI
   - PERTOLONGAN PADA KECELAKAAN
   - ALAT-ALAT PELINDUNG PADA PEKERJA

3. MENCEGAH DAN MENGENDALIKAN
   - PENYEBARLUASAN : DEBU PRESIFIKATOR, KOTORAN, ASAP, UAP, GAS, SINAR, RADIASI, SUARA DAN GETARAN
   - TIMBULNYA PENYAKIT AKIBAT KERJA : PHISIK MAUPUN PSIKIS, KERACUNAN INFEKSI DAN PENULARAN

Pembangkitan Tenaga Listrik

4. MEMPEROLEH :
   - PENERAPAN YANG CUKUP DAN SESUAI KEBERSIHAN LINGKUNGAN ALAT KERJA, CARA DAN PROSES KERJA

5. MEMELIHARA :
   - PENYEGARAN UDARA, KEBERSIHAN, KESEHATAN DAN KETERTIBAN

6. MENGAMANKAN DAN MEMPERLANCAR PEKERJAAN BONGKAR MUAT, PERLAKUAN DAN PENYIMPANAN.

7. ALAT KERJA : - KK
   - Produktivitas
   - Fungsi
   - Alat
   - Lingkungan

Pembangkitan Tenaga Listrik

UNDANG-UNDANG NO. 1 TAHUN 1970
BAB III KEWAJIBAN DAN HAK TENAGA KERJA
ANTARA LAIN MEMUAT :

1. MEMBERI KETERANGAN YANG BENAR BILA DIMINTA OLEH PEGAWAI PENGAWAS ATAU AHLI KESELAMATAN KERJA

2. MEMAKAI ALAT PELINDUNG DIRI YANG DIWAJIBKAN

3. MEMENUHI DAN MENTAATI SEMUA SYARAT K-3 YANG DIWAJIBKAN

4. MEMINTA PENGURUS AGAR DILAKSANAKAN SEMUA SYARAT K3 YANG DIWAJIBKAN

5. MENYATAKAN KEBERATAN KERJA PADA PEKERJAAN DIMANA TEMPAT KERJA SERTA ALAT-ALAT PELINDUNG DIRI YANG DIWAJIBKAN DIRAGUKAN

Pembangkitan Tenaga Listrik

DASAR-DASAR KESELAMATAN & KESEHATAN KERJA PLN

1. UNDANG-UNDANG NO. 1 TAHUN 1970 TENTANG KESELAMATAN KERJA.

2. PENGUMUMAN DIREKSI NO. 023/PST/75 TENTANG KESELAMATAN MEMASUKI DAN BEKERJA DIDALAM RUANGAN SENTRAL PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK.

3. SURAT EDARAN NO. 005/PST/82 TENTANG KEWAJIBAN MEMAKAI ALAT PENGAMAN KERJA DAN SANGSINYA.

4. INSTRUKSI DIREKSI NO. 002/84 TENTANG MEMBUDAYAKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN DILINGKUNGAN PLN.

5. DAN BEBERAPA SE DIREKSI YANG LAIN.

Pembangkitan Tenaga Listrik

PENGUMUMAN
NO. 023/PST/75
TENTANG
KESELAMATAN MEMASUKI DAN BEKERJA DIDALAM RUANGAN SENTRAL PEMBANGKIT TENAGA KERJA

- MENGGUNAKAN PAKAIAN DINAS
- MENGGUNAKAN SEPATU KULIT YANG TELAPAKNYA TIDAK PAKAI PAKU CERMAI (PAKUNYA TIDAK MENONJOL)
- MENGGUNAKAN SARUNG TANGAN KULIT PENDEK
- MENGGUNAKAN ALAT PELINDUNG TELINGA
- DILARANG MEROKOK
- PEKERJA HARUS TERDIRI MINIMAL 2 0 ORANG

SURAT EDARAN
NO. 055/PST/82
TENTANG
KEWAJIBAN MEMAKAI ALAT PENGAMAN KERJA DAN SANSIKNYA
AGAR PADA DIREKTUR/PEMIMPIN/KEPALA SATUAN PLN AGAR SECEPATNYA MENGAMBIL LANGKAH
:

- SECARA BERTAHAP MEMENUHI KEBUTUHAN ALAT PENGAMAN KERJA
- MEWAJIBKAN PEMAKAIAN ALAT PENGAMAN BAGI SETIAP PEGAWAI SESUAI DENGAN PEKERJAANNYA
- MEWAJIBKAN KEPADA SEMUA PENGAWAS UNTUK

Pembangkitan Tenaga Listrik

- Tetap berada ditempat kerja
- Memberi peringatan bagi pegawai yang tidak memakai alat pengaman
- Memberikan petunjuk lisan tertulis tentang syarat-syarat keselamatan kerja untuk melaksanakan suatu pekerjaan

- PELANGGARAN TERHADAP KETENTUAN DIATAS DIKENAKAN SANKSI :
  - Tindakan administrasi sesuai ketentuan yang berlaku, peningkat, pensiun dini dan cuti kerja
  - Tidak diberi tunjangan kecelakaan dinas bila petugas celaka tanpa memakai alat pengaman kerja

Pembangkitan Tenaga Listrik

INSTRUKSI DIREKSI
NO. 002/84
TENTANG

MEMBUDAYAKAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA DILINGKUNGAN PLN

- MELAKSANAKAN KAMPANYE NASIONAL DALAM MEMASYARAKATKAN K3

  UNTUK MEWUJUDKAN K3 YANG BAIK DI PLN DIPERLUKAN

  - PEMBENTUKAN ORGANISASI KK SEJAJAR DENGAN TINGKATAN SEKSI
  - MEMBERIKAN BIMBINGAN DAN PENGAWASAN SECARA EFEKTIF
  - MENGAJUKAN KEBUTUHAN POSTER-POSTER BUKU-BUKU PEDOMAN K3
  - MELENGKAPI ALAT PENGAMAN KERJA

Pembangkitan Tenaga Listrik

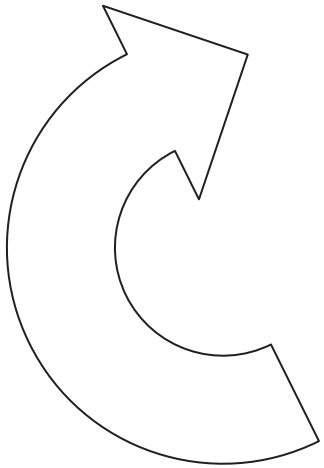
ALASAN UTAMA PENCEGAHAN KECELAKAAN KERJA

- KEMANUSIAAN → Manusia adalah makluk Tuhan yang tertinggi
  Aset perusahaan yang harus dijaga
- EKONOMI → Menjaga supaya perusahaan mendapat untung
- MANAJEMEN → Management harus baik maka management harus dijaga

Pembangkitan Tenaga Listrik

TIGA SUMBER KECELAKAAN

KEMBALI KE MANUSIA



- MANUSIA → Karena manusia sifatnya Fleksible Sehingga kawan dalam kegiatan Kerja
- METHODE KERJA → Methode waktu kerja yang Kurang baik
- TEMPAT KERJA → Tempat kerja yang tidak mendukung

Pembangkitan Tenaga Listrik

M A N U S I A

- TIDAK MENGETAHUI CARA KERJA YANG BENAR DAN AMAN
- TIDAK MENGERTI BAHAYA YANG AKAN TIMBUL AKIBAT PEKERJAANNYA
- TIDAK MENGERTI MAKSUD DAN FUNGSI DARI PEMAKAIAN ALAT PENGAMAN
- KURANG MENDAPAT PENDIDIKAN DAN LATIHAN KESELAMATAN KERJA
- KURANG KOORDINASI DALAM TEAM ATAU ANTAR TEAM
- CEROBOH, SENDA GURAU, BIMBANG/RAGU
- TIDAK MENTAATI RAMBU-RAMBU PERINGATAN

Pembangkitan Tenaga Listrik

METHODE KERJA

- TIDAK MENDAPAT PENJELASAN MENGENAI PROSEDUR KESELAMATAN KERJA
- PERALATAN KERJA ATAU MESIN TIDAK DILENGKAPI DENGAN PENGAMAN YANG MEMADAI, BAGIAN YANG BERPUTAR DIBERI TUTUP
- PENEMPATAN PERALATAN SECARA SEMBARANGAN
- MENGGUNAKAN ALAT TIDAK SEBAGAIMANANYA MESTINYA

TEMPAT KERJA

- RUANG DAN DAERAH SEKITAR KOTOR
- TATA RUANG DAN PENERANGAN KURANG MEMADAI
- LANTAI DAN JALAN BANYAK HAMBATAN DAN TUMPAHAN MINYAK
- PROSEDUR KESELAMATAN KERJA TIDAK DIPENUHI
- RAMBU-RAMBU PERINGATAN TIDAK LENGKAP

Pembangkitan Tenaga Listrik

MACAM BAHAYA

- MEKANIK → Benda yang berputar
- PHISIK → Sakit, Lingkungan
- KIMIA → Bahan Kimia
- LISTRIK → Menjalankan Mesin
- KEBAKARAN DAN LEDAKAN → Karena Over load, pemasokan area Pada sektor max.

AKIBAT KECELAKAAN

- KARYAWAN
- PERUSAHAAN

Pembangkitan Tenaga Listrik

TINDAKAN PENCEGAHAN KECELAKAAN

- KENALI ADANYA YANG DAPAT DITEMPAT KERJA DAN TINDAKAN PENGAMANANNYA
- HINDARI SITUASI YANG DAPAT MENYEBABKAN KECELAKAAN DENGAN MEMBERI TANDA-TANDA PERINGATAN PADA DAERAH TERTENTU
- LAKUKAN PERBAIKAN/MODIFIKASI PADA LOKASI YANG DAPAT MENIMBULKAN KECELAKAAN BILA MEMUNGKINKAN
- SESUAIKAN METHODE KERJA DENGAN PROSEDUR KESELAMATAN KERJA
- GUNAKAN PERALATAN PENGAMAN YANG SESUAI DENGAN SIFAT KERJANYA
- TINGKATKAN ASPEK KESELAMATAN DENGAN KONDISI LINGKUNGAN KERJA YANG BAIK
- HINDARI TINDAKAN YANG TIDAK AMAN

Pembangkitan Tenaga Listrik

HAUSE KEEPING

BISA DIARTIKAN SEBAGAI :

PEMELIHARAAN RUMAH TANGGA, PERUSAHAAN, ATAU MEMELIHARAAN TEMPAT KERJA

Bahan bakar ⟶ Hasil aliran listrik

HUBUNGAN HOUSE KEEPING DENGAN KESELAMATAN KERJA

- SEMUA ORANG PADA DASARNYA MENYENANGI KEBERSIHAN, KEINDAHAN DAN KERAPIHAN
- KEINDAHAN, KEBERSIHAN DAN KERAPIHAN AKAN MENIMBULKAN RASA NYAMAN
- TANPA DISADARI RASA NYAMAN AKAN MENINGKATKAN GAIRAH KERJA
- GAIRAH KERJA MENINGKAT BERARTI PRODUKTIVITAS MENINGKAT

PRINSIP – PRINSIP MELAKSANAKAN HOUSE KEEPING

- BARANG YANG TIDAK BERGUNA, BERSERAKAN, SAMPAH CECERAN MINYAK DLL MERUPAKAN :
  - SUMBER PENYAKIT
  - SUMBER KEBAKARAN
  - BERBAHAYA TERHADAP KESEHATAN DAN KESELAMATAN KERJA

Pembangkitan Tenaga Listrik

OLEH KARENA ITU BERSIHKAN DAN BUANGLAH
DI TEMPAT YANG TELAH DITENTUKAN

- SETELAH SELESAI BEKERJA
  - KUMPULKAN ALAT DAN BERSIHKAN DAN SIMPAN DITEMPATNYA
  - BERSIHKAN LOKASI TEMPAT KERJA, TERMASUK SISA-SISA MATERIAL
  - SLANG, KABEL LISTRIK, TALI TAMBANG HARUS DIGULUNG DENGAN RAPI
  - MENGANGKAT, MEMINDAHKAN DAN MENUMPUK BARANG HARUS SESUAI PROSEDUR
  - KAMAR GANTI PAKAIAN, TOILET HARUS DIJAGA TETAP BERSIH
- KEBERSIHAN ADALAH PANGKAL KESELAMATAN
- JADIKAN KEBIASAAN HIDUP : TERTIB, BERSIH, INDAH & RAPI

Lampiran: 2

K E B A K A R A N

ADALAH SUATU KEJADIAN YANG TIDAK DIKEHENDAKI KEBERADAANNYA, YANG DISEBABKAN OLEH API BESAR YANG TIDAK TERKENDALIKAN DAN MERUPAKAN SUATU BERTANDA

YANG MENYEBABKAN : - Bahan bakar
- Udara
- Panas

AKIBAT KEBAKARAN

TIMBUL KERUGIAN :

- HARTA
- BENDA
- JIWA
- KERUSAKAN LINGKUNGAN ⟶ Tata Kota

SEBAB-SEBAB TERJADINYA KEBAKARAN

- KEGAGALAN PADA PEMADAM AWAL / API
- KETERLAMBATAN DALAM MENGETAHUI AWAL TERJADINYA KEBAKARAN ⟶ Alrm/ Detector
- TIDAK ADANYA ALAT PEMADAMAN KEBAKARAN YANG SESUAI
- TIDAK ADA ATAU KURANG BERFUNGSINYA SISTEM DETEKSI API ⟶ Relay
- PERSONIL YANG ADA, TIDAK MENGETAHUI CARA/TEKNIK PEMADAMAN YANG BENAR

TERJADI API

UNSUR API

BATAS BISA TERBAKAR

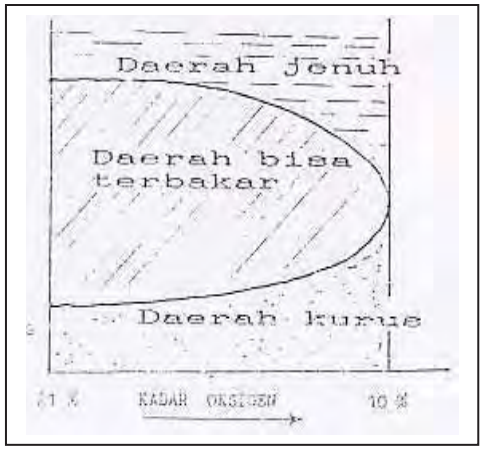
ADALAH BATAS KOSENTRASI CAMPURAN ANTARA UAP BAHAN BAKAR DENGAN UDARA YANG DAPAT TERBAKAR/MENYALA BILA DIKENAI SUMBER PANAS YANG CUKUP

CONTOH : BENSIN = 1,4 % - 7,6 %

BATAS ATAS = 7,6 %

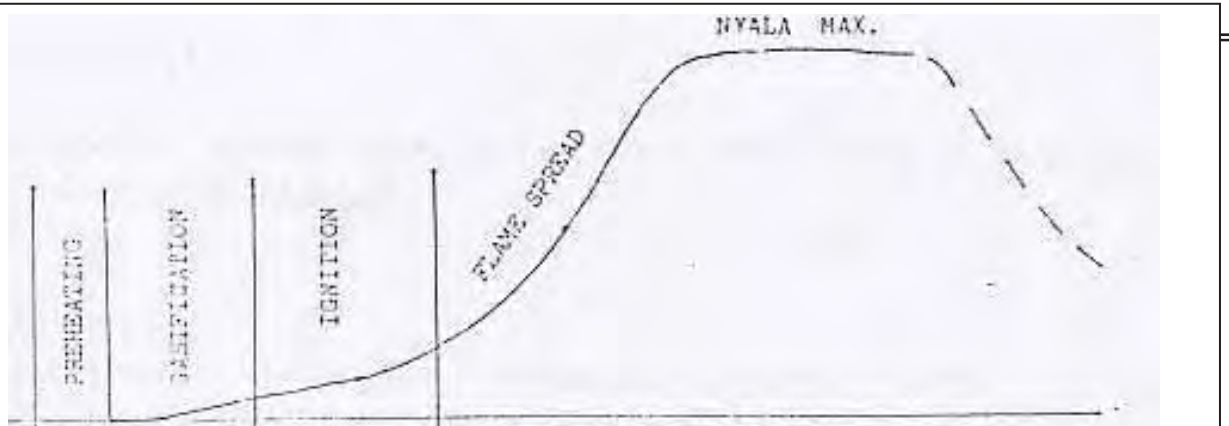
GAS b . b ↑

BATAS BAWAH = 1,4 %



Kerosin = 1,6 % - 6 %
Diesel Oil = 1,3 % - 6,05 %

TAHAPAN PROSES TERJADINYA API



1. TAHAPAN PERMULAAN (INCIPIENT)
2. TAHAP PEMBAKARAN TANPA NYALA (SMOLDERING)
3. TAHAP PEMBAKARAN DIBARENGI DENGAN NYALA (FLAME STAGE)

KLASIFIKASI KEBAKARAN

TUJUANNYA :

UNTUK LEBIH MEMUDAHKAN, CEPAT DAN TEPAT DALAM PEMILIHAN MEDIA PEMADAMAN

DIATUR OLEH:
PERATURAN MENTERI TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI NO. PER.04/MEN/1980 TANGGAL 14 APRIL 1980, SBB :

KLAS KEBAKARAN	JENIS KEBAKARAN

A	BAHAN BAKARNYA BILA TERBAKAR AKAN MENINGGALKAN ARANG DAN ABU
B	BAHAN BAKARNYA CAIR ATAU GAS YANG MUDAH TERBAKAR
C	KEBAKARAN INSTALASI LISTRIK BERTEGANGAN
D	KEBAKARAN LOGAM

PRINSIP TEKNIK PEMADAMAN

- DENGAN KETEPATAN MEMILIH MEDIA PEMADAM, MAKA AKAN DIDAPAT PEMADAM KEBAKARAN YANG EFEKTIF

- DENGAN MERUSAK/MEMUTUS KESEIMBANGAN CAMPURAN KETIGA UNSUR DIDALAM SEGI-TIGA API (BAHAN BAKAR – PANAS – UDARA)

INI DAPAT DILAKUKAN DENGAN CARA :

- STARVATION : MENGHILANGKAN ATAU MENGURANGI BAHAN BAKAR, MENGAMBIL YANG BELUM TERBAKAR ⟶ Ladang minyak

- SMOTHERING : MEMISAHKAN UDARA DARI BAHAN BAKAR
- DILLUTION : MENGURANGI KADAR O_2 DALAM UDARA
- COOLING : MENDINGINKAN ATAU MENGURANGI PANAS BAHAN YANG TERBAKAR, SAMPAI SUHU DIBAWAH TITIK NYALA
- KIMIA DAN TEKNIK : MEMUTUSKAN RANTAI REAKSI PEMBAKARAN

ALAT PEMADAM API TRADISIONAL
Sesuai SPLN 66 – 1986

1. PASIR / TANAH ⟶ Solar & bensin

2. SELIMUT API ⟶

3. AIR ⟶ Pendinginan

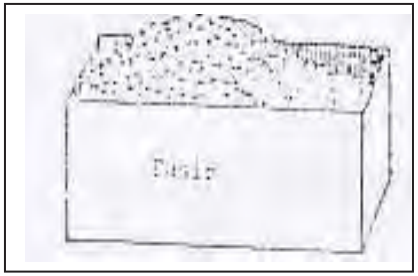
PERLENGKAPAN APAT

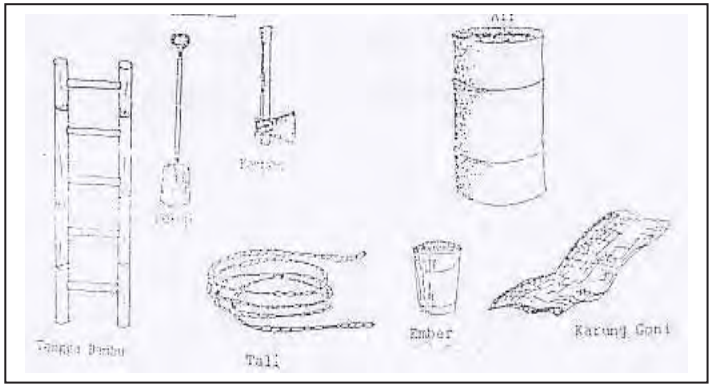
1. GALAH/PENGKAIT
2. KAMPAK
3. TANGGA BAMBU
4. TALI MANILA
5. LINGGIS

ALAT PEMADAM API TRADISIONAL
Sesuai SPLN 66 – 1986

Kegunaan : Memadamkan Kebakaran Jenis A
Bahan : Pasir, Air dan Peralatan Tambahan
Ukuran : - Pasir :1 – 2 m^3
- Air : minimum 1 drum

- Perlengkapan tambahan : sekop, Galah 5 m berkait, 4 ember 3 karung Goni, kapak, tambang min 20 meter, tangga 4 m





PASIR / TANAH

- SANGAT EFEKTIF UNTUK MEMADAMKAN KEBAKARAN LANTAI TERUTAMA UNTUK KEBAKARAN MINYAK
- DAPAT JUGA UNTUK PEMADAMAN AWAL SEMUA JENIS KEBAKARAN

- MEMBENDUNG MINYAK AGAR TIDAK MELUAS

PRINSIP PEMADAMAN

- SMOTHERING : MENGISOLASI O_2
- COOLING : PENDINGINAN

SELIMUT API

- MEDIANYA KARUNG GONI (BUKAN PLASTIK) YANG DICELUPKAN DALAM AIR
- SANGAT EFEKTIF UNTUK PEMADAMAN SEMUA JENIS KEBAKARAN KECUALI KEBAKARAN LISTRIK
- MUDAH DIDAPAT, MURAH HARGANYA DAN MUDAH DALAM PENGGUNAANNYA

PRINSIP PEMADAMAN

- PENDINGINAN
- PENYELIMUTAN

A I R

MEDIA PEMADAM YANG PALING BANYAK DIGUNAKAN, KARENA :

- MUDAH DIDAPAT
- MUDAH DIANGKUT
- DAYA SERAP PANAS YANG TINGGI

- DAYA MENGEMBANG MENJADI UAP YANG TINGGI

KELEMAHAN

- LOKASI HARUS BEBAS DARI LISTRIK
- UNTUK KEBAKARAN MINYAK, TIDAK BISA DIGUNAKAN SECARA LANGSUNG DAN HARUS DIKABUTKAN

PRINSIP PEMADAMAN

- PENDINGINAN
- PENYELIMUTI

- **APAR**

- Alat pemadam ringan yaitu :
  - YAITU SUATU ALAT PEMADAM KEBAKARAN YANG DAPAT DIBAWA, DIGUNAKAN DAN DIOPERASIKAN OLEH SATU ORANG
  - COCOK UNTUK PEMADAMAN AWAL PADA LOKASI YANG ALIRAN UDARANYA TIDAK DERAS
  - BANYAK JENIS DAN MACAMNYA
  - MUDAH DIDAPAT DIPASARAN UMUM

JENIS APAR

A.	BAHAN PADAT	: DRY POWDER, DRY CHEMICAL MULTI PURPOSE
B.	BAHAN CAIR	: - AIR BERTEKANAN

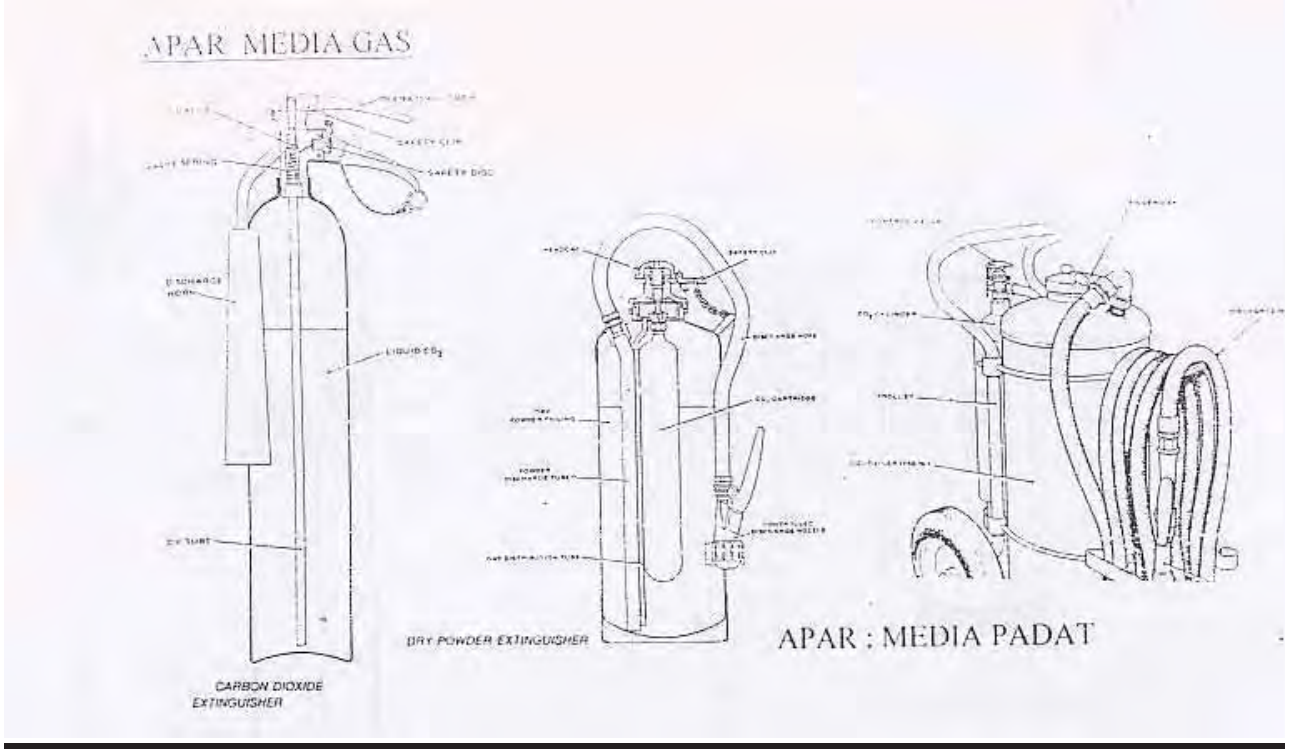
- CAIRAN MUDAH MENGUAP

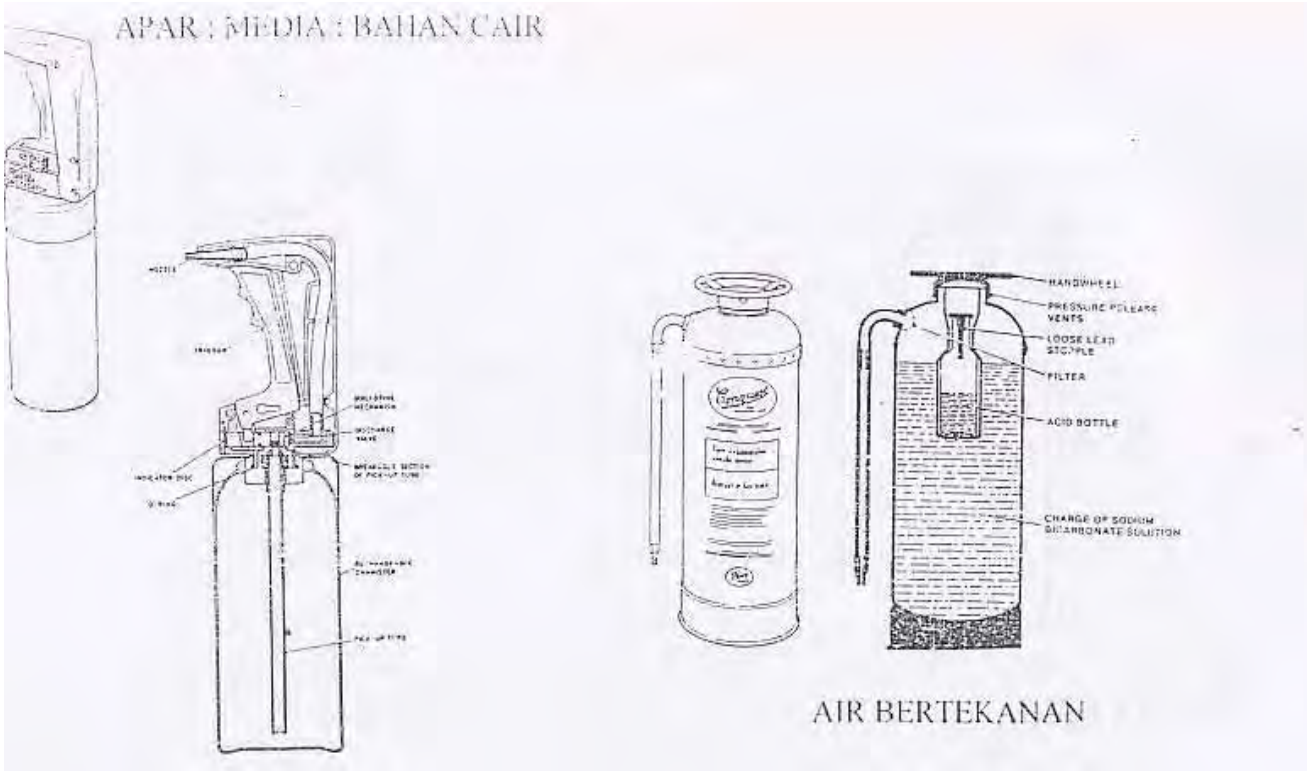
(BCF, CBM, BTM)

C. BUSA (FOAM) : - BUSA KIMIA

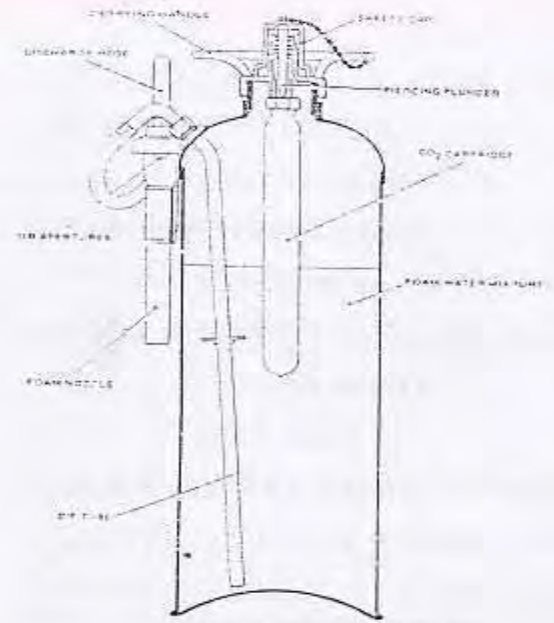
- BUSA MEKANIK

D. GAS : - CO_2

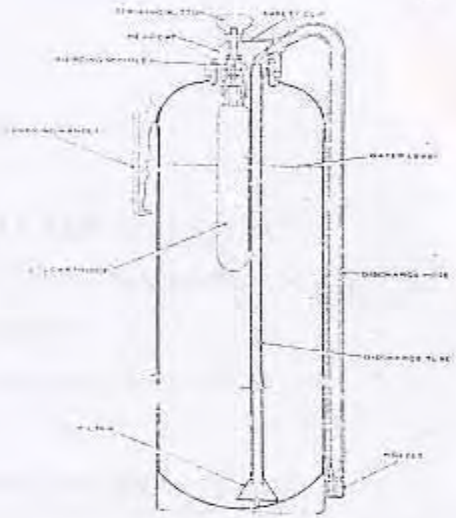

APAR MEDIA GAS
CARBON DIOXIDE EXTINGUISHER
DRY POWDER EXTINGUISHER
APAR : MEDIA PADAT


APAR : MEDIA : BAHAN CAIR
HANDWHEEL
PRESSURE RELEASE VENTS
LOOSE LEAD STOPPLE
FILTER
ACID BOTTLE
CHARGE OF SODIUM BICARBONATE SOLUTION
AIR BERTEKANAN

APAR : MEDIA BUSA



FOAM (MECHANICAL) EXTINGUISHER



BUSA KIMIA

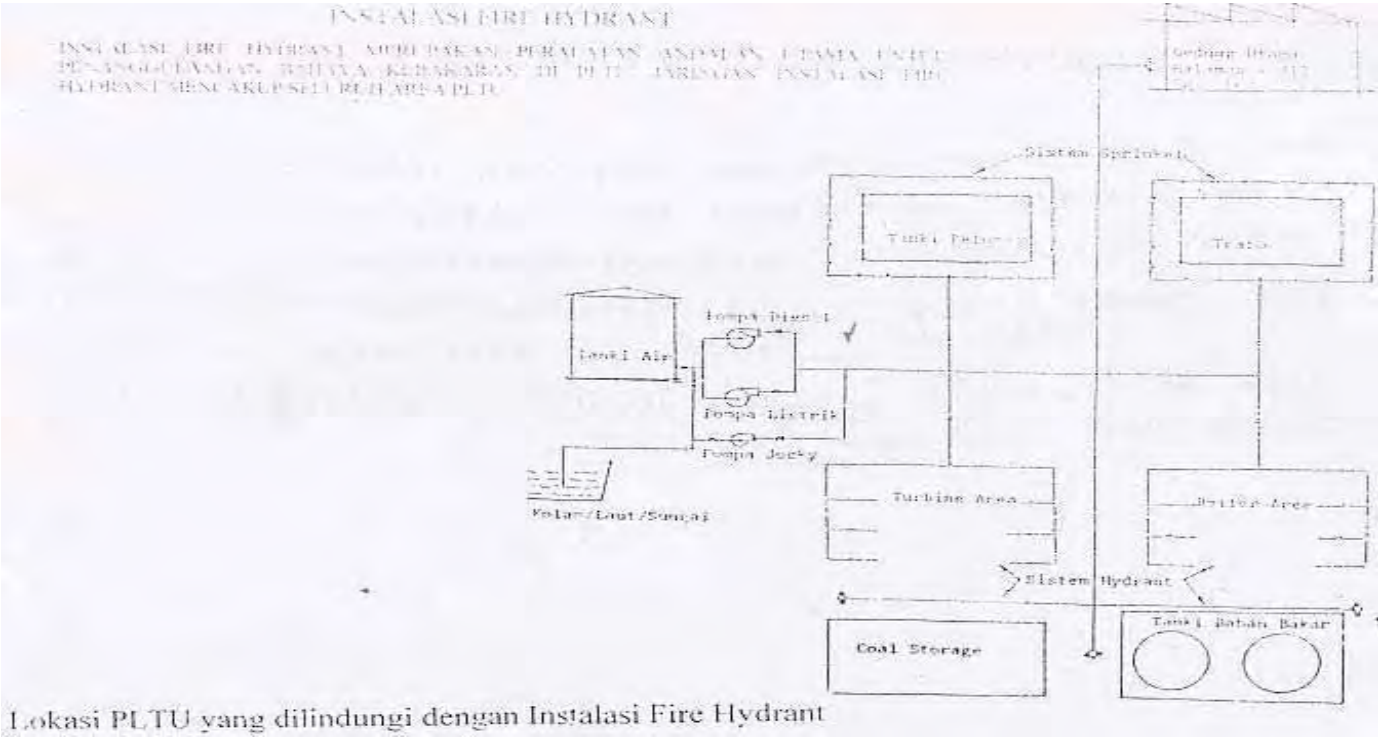
LANGKAH PENGOPERASIKAN APAR

- TURUNKAN DRY CHEMICAL DARI TEMPATNYA
- BUKA SLANG DARI JEPITNYA
- CABUT LEAD SEAL (SEGEL)
- CABUT PEN PENGUNCI
- PEGANG HORN DENGAN TANGAN KIRI DAN ARAHKAN KEATAS
- COBA DITEMPAT SECARA SESAAT, (TANGAN KANAN MENEKAN KATUB)

  KET : JIKA KOSONG - CARI YANG LAIN

  JIKA BAIK - BAWA KE LOKASI PEMADAMAN
- BAWA APAR KELOKASI KEBAKARAN
- SEMPROTKAN DRY CHEMICAL DENGAN MENGIBAS-IBAS HORN

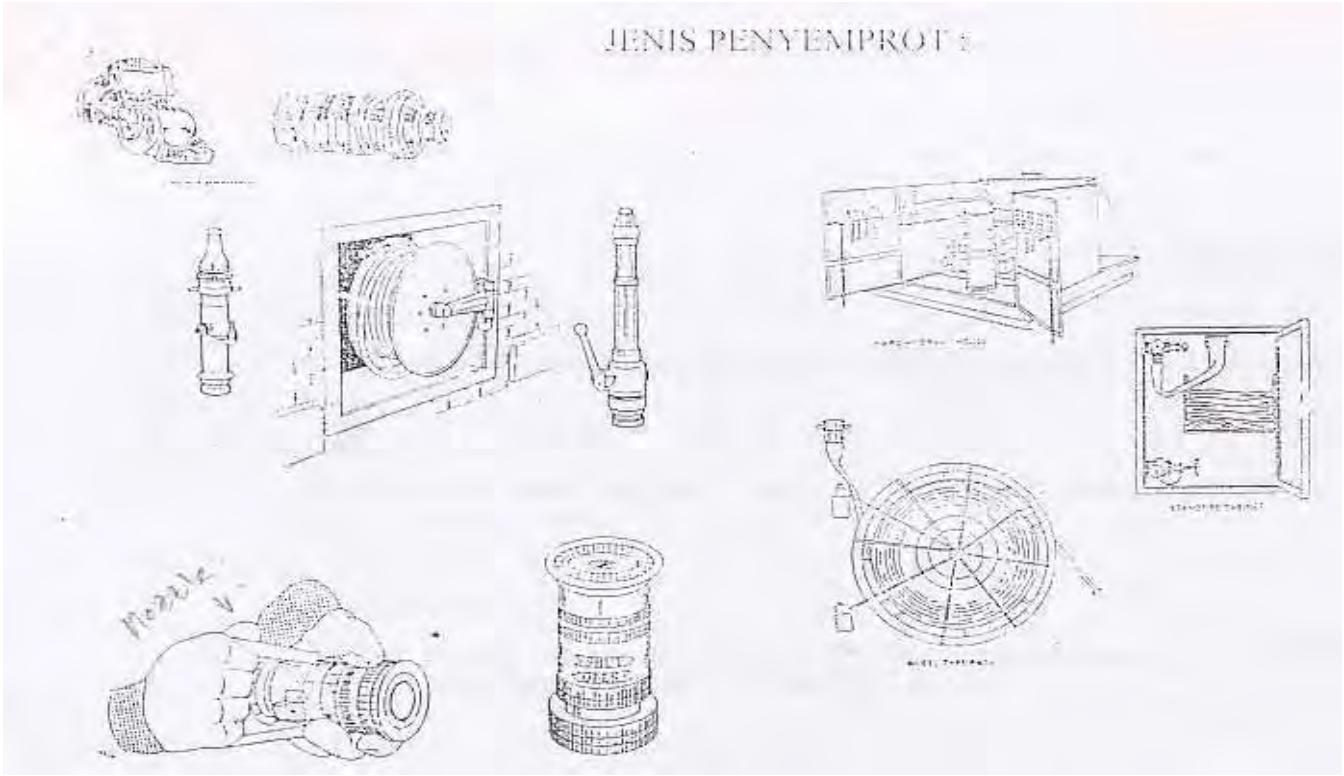
INGAT : POSISI HARUS SELALU BERADA DIATAS ANGIN



Lokasi PLTU yang dilindungi dengan Instalasi Fire Hydrant

PERALATAN UTAMA FIRE HYDRANT

1. POMPA UTAMA ⟶ Pompa yang pertama mengambil air dari sumber air
2. POMPA JOCKY ⟶ Untuk mempertahankan tekanan air pada pipa distribusi
3. PIPA DISTRIBUSI / PENYALUR ⟶ Untuk menyalurkan air bertempat
4. YARD HYDRANT HOSE CABINET ⟶ Tempat dibelakang selang & menyimpan fire Hydrant
5. SLANG / HOSE ⟶ Menyalurkan air
6. NOZZEL PENYEMPROT ⟶ Alat yang diletakan di akhir output air yang Fungsinya untuk membentuk air


JENIS PENYEMPROT
Nozzle

PENGAMAN TANKI MINYAK DARI BAHAYA KEBAKARAN

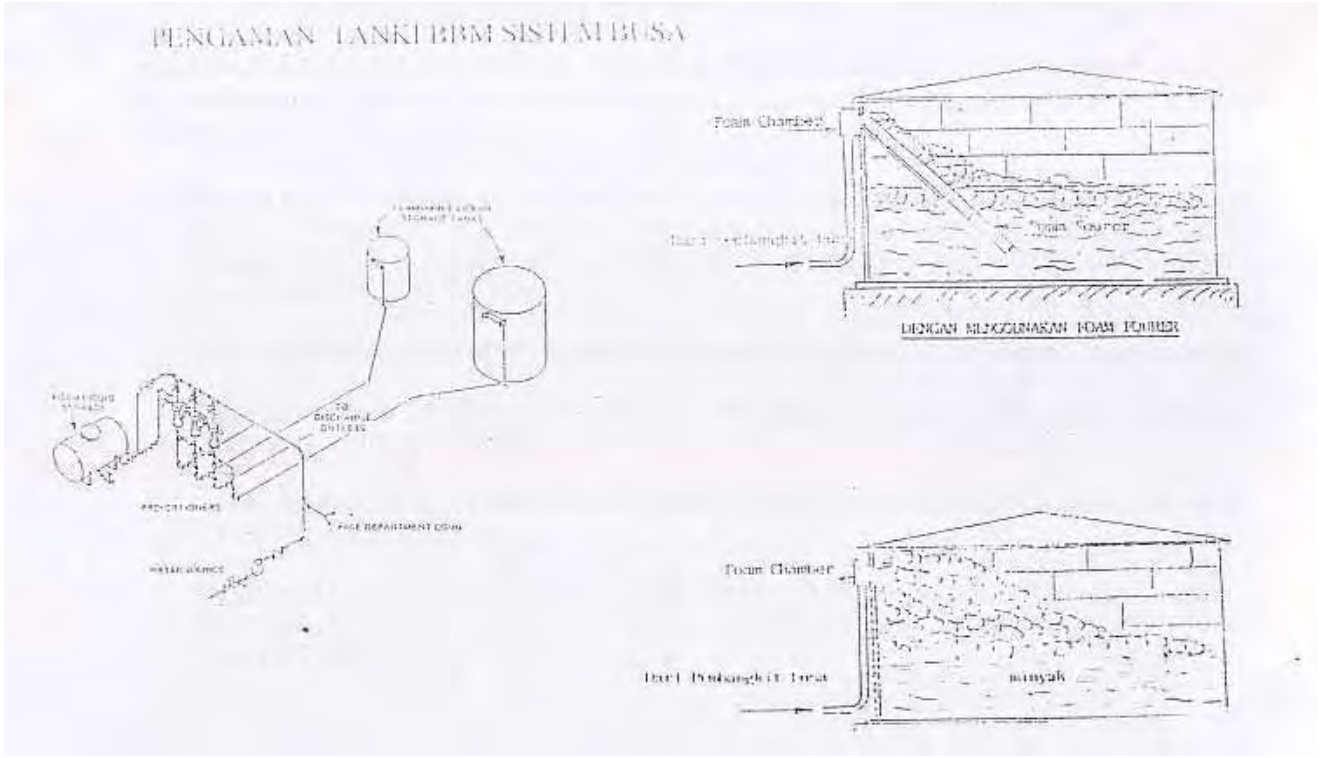
TANKI MINYAK BBM DILENGKAPI DENGAN BEBERAPA PENGAMAN :

- TANGGUL / TEMBOK KELILING TANGKI
  GUNANYA UNTUK MENCEGAH MELUAPNYA MINYAK APABILA TANGKI BBM BOCOR

- SISTEM HYDRANT
  DIPASANG PADA KELILING LUAR DARI TANGGUL/TEMBOK PENGAMAN TANGKI

- SISTEM BUSA
  BUSA YANG DIBANGKITKAN OLEH PEMBANGKIT BUSA DIALIRKAN MASUK KEDALAM TANGKI TERBAKAR

- SISTEM PENGABUT
  SISTEM INI BIASANYA DIGUNAKAN UNTUK MENGAMANKAN KE TANGKI MINYAK RINGAN, DAN DIPASANG SISI LUAR DINDING TANGKI


PENGAMAN TANKI BBM SISTEM BUSA
Foam Chamber
Foam Source
DENGAN MENGGUNAKAN FOAM POURER
Foam Chamber
minyak

LANGKAH-LANGKAH PENCEGAHAN KEBAKARAN :

USAHA/TINDAKAN PREVENTIF UNTUK MENGHINDARKAN ANCAMAN BAHAYA KEBAKARAN YANG MUNGKIN TIMBUL DAPAT DILAKSANAKAN SEBAGAI BERIKUT :

1. MEMBERIKAN PENDIDIKAN/LATIHAN MENGHADAPI BAHAYA KEBAKARAN, BAIK SECARA TEORI MAUPUN PRAKTEK, MULAI DARI UNSUR PIMPINAN, KARYAWAN DAN SISWA, BAIK MENGGUNAKAN ALAT PEMADAM API RINGAN ATAU HYDRANT, MAUPUN PEMADAM API TRADISIONAL

2. MENEMPATKAN BARANG-BARANG YANG MUDAH TERBAKAR DITEMPAT YANG AMAN

3. MENEMPATKAN ANAK-ANAK KUNCI RUANGAN/GUDANG SECARA TERPUSAT (MISALNYA DIPOS SATPAM)

4. TIDAK MEROKOK DAN MELAKUKAN PEKERJAAN PANAS DIDEKAT BARANG-BARANG YANG SUDAH TERBAKAR

5. MEMBAKAR SAMPAH/KOTORAN DITEMPAT YANG DISEDIAKAN DAN TIDAK DILAKUKAN DIDEKAT BANGUNAN/ GUDANG/TUMPUKAAN BARANG-BARANG YANG MUDAH TERBAKAR

6. TIDAK MEMBUAT SAMBUNGAN LISTRIK SECARA SEMBARANGAN DAN TIDAK MEMASANG STEKER SECARA BERTUMPUK-TUMPUK

7. PENYEDIAAN DAN PEMASANGAN ALAT-ALAT PEMADAM API YANG SESUAI UNTUK LINGKUNGAN KANTOR, BAIK JUMLAH MAUPUN JENISNYA

8. PEMASANGAN TANDA-TANDA PERINGATAN PADA TEMPAT-TEMPAT YANG RESIKO BAHAYA KEBAKARANNYA TINGGI, ANTARA LAIN

   - DILARANG MELAKUKAN PEKERJAAN PANAS/MEMBUAT API
   - DILARANG MEROKOK, DLL YANG SEJENIS
   - SERTA MENTAATI LARANGAN TERSEBUT

9. MATIKAN ALIRAN LISTRIK (AC, PENERANGAN, PERALATAN PENGAJARAN, DLL) JIKA PERALATAN TERSEBUT TIDAK DIGUNAKAN)

10. BARANG-BARANG TAK TERPAKAI JANGAN DIBIARKAN BERSERAKAN DISEKITAR PERALATAN MESIN, ATAU DITEMPAT KERJA MISALNYA BAHAN SERAT, LAP KOTOR, SISA OLI

11. ALAT PEMADAM API RINGAN HARUS DILETAKAN DITEMPAT YANG MUDAH DIAMBIL DAN JANGAN DIHALANGI BENDA LAIN

12. JANGAN MENUMPUK BARANG DIDEPAN PINTU KELUAR

13. BOTOL KALENG DAN TEMPAT PENYIMPANG BAHAN MUDAH TERBAKAR JANGAN BIARKAN TERBUKA

14. JAUHKAN TABUNG GAS DARI BAHAN PANAS/SUMBER API

15. SEBELUM TEMPAT KERJA DITUTUP, PERIKSA DENGAN SEKSAMA TERUTAMA HAL YANG DAPAT MENYEBABKAN KEBAKARAN MISALNYA : PERALATAN LISTRIK DAN TEMPAT PEMBUANGAN SAMPAH

16. BUANG PUNTUNG ROKOK DAN SISA KOREK API PADA ASBAK YANG ADA DAN MATIKAN LEBIH DULU API PADA PUNTUNG ROKOK TERSEBUT

17. MENEMPATKAN ALAT-ALAT PEMADAM API PADA TEMPAT YANG MUDAH DIKETAHUI DAN SIAP DIPERGUNAKAN UNTUK MELAKUKAN PEMADAMAN UNTUK GEDUNG BERTINGKAT, LOKASI PENEMPATANNYA DIBUAT SAMA

LANGKAH-LANGKAH PENANGGULANGAN KEBAKARAN

USAHA/TINDAKAN YANG CEPAT DAN TEPAT UNTUK MENANGGULANGI MENCEGAH MELUASNYA BAHAYA KEBAKARAN DENGAN MENGGUNAKAN SARANA/ALAT-ALAT PEMADAM KEBAKARAN YANG ADA, SEBAGAI BERIKUT :

1. MEMADAMKAN DENGAN MENGGUNAKAN ALAT-ALAT PEMADAM API YANG SESUAI (APAR, APAT, HYDRAN)

2. MEMBUNYIKAN ALARM/TANDA BAHAYA (SESUAI DENGAN KETENTUAN)

3. SECEPATNYA MEMBERITAHUKAN/MENGHUBUNGI PERTELEPON KEPADA SATPAM, KEPOLISIAN SETEMPAT, PMI/AMBULANCE SESUAI DENGAN KONDISI SITUASI LAPANGAN

4. LAPORKAN DENGAN MENYEBUTKAN NAMA PELAPOR , NOMOR TELEPON YANG DIPAKAI (KECUALI TELEPON UMUM) TEMPAT KEJADIAN KEBAKARAN, JENIS YANG TERBAKAR

5. DILOKASI KEBAKARAN DIHARAP KARYAWAN MENGAMANKAN LOKASI DARI HAL YANG MENGHABAT KELANCARAN PETUGAS MISALNYA JALAN MASUK KELOKASI MEMBUKA PORTAL

6. MENGUSAHAKN PEMADAMAN SEMAMPU MUNGKIN, DENGAN PERALATAN YANG ADA

7. BERITAHU PETUGAS TGENTANG SUMBER AIR YANG ADA DISEKITAR LOKASI (HYDRANT, KOLAM, WADUK, Parit, DLL)

8. SELAMATKAN JIWA DAN BARANG BENDAYANG MASIH BISA DIAMANKAN

9. JIWA NILAINYA JAUH LEBIH BESAR DARI BENDA. JANGANLAH MENGORBANKAN JIWA HANYA UNTUK MENGAMANKAN BENDA

YANG PERLU DIPERHATIKAN

DALAM PEMADAMAN

ARAH ANGIN

JENIS BAHAN YANG TERBAKAR

SITUASI DARI LINGKUNGAN

VOLUME BAHAN YANG TERBAKAR

ALAT PEMADAM YANG TERSEDIA

LAMA TELAH TERBAKAR

Diunduh dari BSE.Mahoni.com

ISBN 978-979-060-097-3
ISBN 978-979-060-099-7

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 26,554.00