



TEKNIK DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK JILID 3

untuk SMK

Suhadi, dkk.



Suhadi, dkk.

Teknik Distribusi Tenaga Listrik

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan

JILID 3



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

Suhadi
Tri Wrahatnolo

TEKNIK DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK JILID 3

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 DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK JILID 3

Untuk SMK

Penulis Utama : Suhadi
Tri Wrahatnolo
Perancang Kulit : Tim
Ukuran Buku : 18,2 x 25,7 cm

HAR SUHARDI, Bambang
t Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 3 untuk SMK/oleh
Suhadi, Tri Wrahatnolo ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah
Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan
Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xii. 84 hlm
Daftar Pustaka : A1-A2
Glosarium : B1-B5
ISBN : 978-979-060-059-1
978-979-060-062-1

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

KATA SAMBUTAN

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia Nya, Pemerintah, dalam hal ini, Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah Departemen Pendidikan Nasional, pada tahun 2008, telah melaksanakan penulisan pembelian hak cipta buku teks pelajaran ini dari penulis untuk disebarluaskan kepada masyarakat melalui *website* bagi siswa SMK.

Buku teks pelajaran ini telah melalui proses penilaian oleh Badan Standar Nasional Pendidikan sebagai buku teks pelajaran untuk SMK yang memenuhi syarat kelayakan untuk digunakan dalam proses pembelajaran melalui Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 12 tahun 2008.

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

Buku teks pelajaran yang telah dialihkan hak ciptanya kepada Departemen Pendidikan Nasional tersebut, dapat diunduh (*download*), digandakan, dicetak, dialihmediakan, atau difotokopi oleh masyarakat. Namun untuk penggandaan yang bersifat komersial harga penjualannya harus memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Pemerintah. Dengan ditayangkannya *softcopy* ini akan lebih memudahkan bagi masyarakat untuk mengaksesnya sehingga peserta didik dan pendidik di seluruh Indonesia maupun sekolah Indonesia yang berada di luar negeri dapat memanfaatkan sumber belajar ini.

Kami berharap, semua pihak dapat mendukung kebijakan ini. Selanjutnya, kepada para peserta didik kami 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,
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

Sebagai buku pegangan, presentasi dalam buku ini ditekankan pada pokok-pokok yang diperlukan dalam praktek distribusi tenaga listrik sehari-hari. Oleh sebab itu disini akan lebih banyak terlibat gambar-gambar dan tabel-tabel dari pada rumus-rumus yang rumit. Rumus-rumus yang disajikan hanya bersifat praktis dan sederhana.

Buku ini disusun berdasar Kurikulum SMK Edisi tahun 2004, yang merupakan penyempurnaan dari Kurikulum SMK Edisi tahun 1999 sebagai bagian dari rencana jangka panjang upaya untuk lebih meningkatkan kualitas lulusan sekolah menengah kejuruan. Penulis telah berusaha maksimal untuk memenuhi harapan sesuai dengan tujuan dan misi yang ada di dalam kurikulum tersebut.

Sebagai buku panduan untuk mencapai standard kompetensi kinerja secara nasional, sangat di sadari bahwa buku ini masih jauh dari sempurna, saran dan masukan yang konstruktif dan membangun terhadap buku ini maupun umpan balik berdasarkan pelaksanaan di lapangan sangat dinantikan dan terbuka pada semua pihak.

Penulis sangat berterima kasih kepada Sub Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyajikan karya terbaik berupa penulisan buku, walaupun masih jauh dari sempurna.

Terima kasih juga penulis sampaikan kepada bapak Munadji, BA direktur CV. Bintang Lima Surabaya, dan bapak Drs. Heru Subagyo selaku Ketua AKLI Jawa Timur dan rekan-rekan APEI yang telah memberikan referensi yang sangat bermanfaat dalam penulisan buku ini.

Akhirulkalam, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada isteri dan anak-anaknya yang telah banyak mengorbankan jam-jam istirahat, hari-hari Minggu dan hari-hari libur untuk kepentingan penulisan buku ini oleh suami dan ayah mereka.

Surabaya, Juli 2008

SINOPSIS

Buku ini menekankan pokok-pokok yang diperlukan dalam praktek distribusi tenaga listrik sehari-hari. Pengguna buku ini adalah siswa SMK jurusan teknik distribusi tenaga listrik. Di dalam buku ini banyak disajikan gambar-gambar yang dapat membantu/mempermudah para siswa agar mengenal materi yang ada di lapangan/industri.

Materi dalam buku ini sebagian besar diambil dari bahan pelatihan yang dilakukan oleh para praktisi (kontraktor listrik), tingkat Ahli Madya (setara D3) dan Ahli Muda (setara SMK), juga materi pelatihan dari diklat yang sesuai dengan kompetensi yang diinginkan. Penggunaan buku ini didampingi modul yang disusun sesuai dengan Kurikulum SMK tahun 2004.

Buku ini menyajikan gambar-gambar rakitan (susunan) hasil kerja yang sudah jadi dan alat-alat kerja yang digunakan. Penulis mengharapkan para pembimbing praktik (guru) sudah memiliki keterampilan (skill) memadai sehingga mampu menjelaskan gambar –gambar yang ada.

Materi dalam buku ini merupakan materi terapan yang sangat menarik untuk di kaji lebih dalam.

DAFTAR ISI

PENGANTAR DIREKTUR PEMBINAAN SMK.....	i
KATA PENGANTAR PENULIS.....	ii
SINOPSIS	iii
DAFTAR ISI	iv
PETA KOMPETENSI	vi
JILID 1	
BAB I PENDAHULUAN	1
1-1 Pemanfaatan Tenaga Listrik	1
1-2 Kualitas Daya Listrik	1
1-3 Keselamatan Pemanfaat Tenaga Listrik	2
1-4 Sistem Ketenagalistrikan	3
1-5 Klasifikasi Sistem Tenaga Listrik	5
1-6 Regulasi Sektor Ketenagalistrikan	5
1-7 Standarisasi dan Sertifikasi	7
BAB II SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK	11
2-1 Pengertian dan Fungsi Distribusi Tenaga Listrik	11
2-2 Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik	14
2-3 Tegangan Sistem Distribusi Sekunder	27
2-4 Gardu Distribusi	31
2-5 Trafo Distribuis	42
2-6 Pelayanan Konsumen	47
2-7 Dasar-dasar Perencanaan Jaringan Distribusi	53
BAB III ALAT PEMBATAS DAN PENGUKUR	63
3-1 Pembatas	63
3-2 Pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan	66
3-3 Alat Ukur Energi Arus Bolak-balik	66
3-4 Jenis-jenis kWh Meter	75
3-5 Pemasangan Alat Pembatas dan Pengukur	82
JILID 2	
BAB IV JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH	95
4-1 Tiang Saluran Tegangan Rendah	95
4-2 Saluran Tegangan Rendah	100
4-3 Memasang Instalasi Pembumian	130
4-4 Memasang Saluran Kabel Tanah Tegangan Rendah	145
4-5 Sambungan Pelayanan	162
4-6 Gangguan pada Saluran Udara Tegangan Rendah	181
4-7 Mengatasi Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	185
4-8 Pengaman terhadap Tegangan Sentuh	188
BAB V JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN MENENGAH	205
5-1 Konsep Dasar dan Sistem	205

5-2 Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah	216
5-3 Penyambungan kabel tanah	234
5-4 Saluran Udara Tegangan Menengah	237
5-5 Konstruksi Saluran Udara Tegangan Menengah	239
5-6 Konstruksi Palang Sangga (<i>Cross Arm, Travers</i>)	264
5-7 Telekomunikasi untuk Industri Tenaga Listrik	275
5-8 Baterai dan Pengisinya	288

JILID 3

BAB VI SAKELAR DAN PENGAMAN PADA JARING DISTRIBUSI	293
6-1 Perlengkapan Penghubung/pemisah	293
6-2 Transformator	307
6-3 Saklar dan Fuse	319
6-4 Pengaman	339
6-5 Jenis Pengaman	349
6-6 Saklar Seksi Otomatis	351
6-7 Penutup Balik Otomatis (PBO)	355

DAFTAR PUSTAKA	
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
DAFTAR ISTILAH	

**KODE, JUDUL, KOMPETENSI DAN SUB KOMPETENSI
SESUAI STANDAR KERJA KOMPETENSI NASIONAL
PROGRAM KEAHLIAN TEKNIK DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
BAB IV APP DIS.KON.001 (2).A	Memasang APP Fasa Tunggal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan menyiapkan pemasangan APP 1 fasa ▪ Memasang APP 1 Fasa ▪ Memeriksa hasil pemasangan APP 1 fasa ▪ Membuat laporan berita acara pemasangan
DIS.KON.002 (2).A	Memasang APP Fasa tiga Pengukuran Langsung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan menyiapkan pemasangan APP 3 fasa ▪ Memasang APP 3 fasa ▪ Memeriksa hasil pemasangan APP 3 fasa ▪ Membuat laporan/berita acara pemasangan
DIS.KON.003 (2).A	Memasang APP Fasa tiga dengan transformator arus (TA) tegangan rendah (TR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan menyiapkan pemasangan APP 3 fasa dengan CT-TR ▪ Memasang APP 3 fasa dengan CT – TR ▪ Memeriksa hasil pemasangan APP 3 fasa dengan CT-TR ▪ Membuat laporan/berita acara pemasangan
DIS.KON.004 (2).A	Memasang Alat Pengukur Fasa Tiga Tegangan Menengah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan menyiapkan pemasangan APP 3 fasa TM ▪ Memasang APP 3 fasa TM ▪ Memeriksa hasil pemasangan APP 3 fasa TM ▪ Membuat laporan/berita acara pemasangan
DIS.KON.005 (2).A	Memasang rele arus lebih untuk pembatas daya	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan menyiapkan pemasangan rele pembatas ▪ Memasang Rele pembatas ▪ Memeriksa hasil pemasangan rele pembatas ▪ Membuat laporan/berita acara pemasangan
DIS.KON.006 (2).A	Memasang alat bantu pengukuran	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan menyiapkan pemasangan alat bantu pengukuran ▪ Memasang alat bantu pengukuran Memeriksa hasil pemasangan rele pembatas ▪ Membuat laporan/berita acara pemasangan
DIS.HAR.001(2).A	Memelihara instalasi APP pengukuran langsung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan ▪ Menyiapkan pemeliharaan ▪ Memelihara instalasi APP ▪ Memeriksa instalasi APP ▪ Membuat laporan
DIS.HAR.002(2).A	Memelihara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
	instalasi APP pengukuran tidak langsung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyiapkan pemeliharaan ▪ Memelihara instalasi APP ▪ Memeriksa instalasi APP ▪ Membuat laporan
DIS.HAR.003(2).A	Mengganti Instalasi APP Pengukuran Langsung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan ▪ Menyiapkan penggantian ▪ Mengganti instalasi APP ▪ Memeriksa instalasi APP ▪ Membuat laporan
DIS.HAR.004(2).A	Mengganti Instalasi APP pengukuran tidak langsung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan ▪ Menyiapkan penggantian ▪ Mengganti instalasi APP ▪ Memeriksa instalasi APP ▪ Membuat laporan
BAB V TR DIS.KON.008 (2).A	Mendirikan/menanam tiang	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pendirian tiang dengan/tanpa penopangnya ▪ Mendirikan tiang ▪ Memasang tiang penopang ▪ Mengidentifikasi masalah penanaman tiang ▪ Membuat laporan penanaman tiang
DIS.KON.009 (2) A	Memasang saluran kabel udara tegangan rendah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan SKUTR ▪ Memasang perlengkapan pelengkap ▪ Memasang kawat tambat ▪ Menarik SKUTR ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan SKUTR ▪ Membuat laporan pemasangan SKUTR
DIS.KON.010 (2).A	Memasang instalasi pbumian	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan instalasi pbumian ▪ Memasang instalasi pbumian ▪ Mengukur tahanan elektroda ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan instalasi pbumian ▪ Membuat laporan pemasangan instalasi pbumian
DIS.KON.011 (1).A	Memasang konektor Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan konektor ▪ Memasang konektor sadapan SKUTR ▪ Memasang konektor lurus

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Memasang sambungan SKUTR dengan SKTR ▪ Mengidentifikasi masalah masalah pemasangan konektor ▪ Membuat laporan pemasangan konektor
DIS.KON.012 (2).A	Menggelar saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan penggelaran SKTR ▪ Menggelar SKTR ▪ Menyambung SKTR ▪ Mengidentifikasi masalah penggelaran SKTR ▪ Membuat laporan
DIS.KON.013 (1).A	Memasang Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan PHB-TR ▪ Memasang PHB-TR ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan PHBTR ▪ Membuat Laporan
DIS.KON.014 (2).A	Memasang Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan SUTR ▪ Memasang Perlengkapan pelengkap dan isolator ▪ Memasang kawat tambat ▪ Menarik SUTR ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan SUTR ▪ Membuat laporan pemasangan SUTR
DIS.OPS.001(2).A	Mengoperasikan sambungan pelanggan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan sambungan pelanggan ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian
DIS.OPS.002(2).A	Mengoperasikan Saluran Kabel Tegangan rendah (SKTR) atau opstyg tegangan rendah baru	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyiapkan pengoperasian. ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan SKTR dan kabel opstyg baru ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
DIS.OPS.003(2).A	Mengoperasikan peralatan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) baru	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan PHB-TR ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.004(2).A	Mengoperasikan Semi Automatic Change Over (SACO) pada jaringan tegangan rendah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Mengoperasikan SACO ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.005(2).A	Mengganti fuse pada Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB TR)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Mengganti Fuse PHB-TR ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.006(2).A	Mengoperasikan saluran udara tegangan rendah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian. ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan SUTR baru ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.007(1).A	Mencari gangguan pada saluran udara tegangan rendah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan sarana pekerjaan ▪ Mencari gangguan pada SUTR ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.008(2).A	Mengidentifikasi gangguan pada sistem Alat Pembatas dan Pengukur (APP)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pelaksanaan ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Melaksanakan identifikasi sistem APP ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
BAB VI TM DIS.KON.015 (2).A	Menggelar Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan penggelaran SKTM ▪ Menggelar SKTM

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mengidentifikasi masalah penggelaran SKTM ▪ Membuat laporan
DIS.KON.016 (2).A	Memasang kotak sambung dan kotak ujung Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan kotak sambung dan kotak ujung SKTM ▪ Memasang kotak sambung ▪ Melakukan berbagai macam pembubutan ▪ Memasang kotak ujung ▪ Memasang arester dan instalasi pembumian ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan kotak sambung dan kotak ujung ▪ Membuat laporan
DIS.KON.017 (2).A	Memasang Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan SUTM ▪ Memasang perlengkapan pelengkap dan isolator ▪ Memasang kawat tambat ▪ Menarik SUTM ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan SUTM ▪ Membuat laporan pemasangan SUTM
DIS.KON.018 (2).A	Memasang peralatan penghubung/pemisah	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan SUTM ▪ Memasang peralatan penghubung/pemisah ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan peralatan penghubung/pemisah ▪ Membuat laporan
DIS.KON.019 (2).A	Memasang Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan SKUTM ▪ Memasang perlengkapan pelengkap ▪ Memasang kawat tambat ▪ Menarik SKUTM ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan SKUTM ▪ Membuat laporan
DIS.KON.020(2).A	Memasang kotak ujung dan kotak sambung Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan kotak ujung dan kotak sambung SKUTM ▪ Memasang Kotak sambung ▪ Memasang kotak ujung ▪ Membuat laporan
DIS.OPS.009(2).A	Mengoperasikan Saluran Kabel Tegangan	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian. ▪ Menyiapkan pengoperasian

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
	Menengah (SKTM) Baru	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan jaringan SKTM ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.010(2).A	Melokalisir gangguan pada SKTM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan jaringan SUTM ▪ Menganggulangi masalah operasi ▪ Memeriksa dan membuat laporan
DIS.OPS.011(2).A	Mengoperasikan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Baru	Mengoperasikan Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) Baru
DIS.OPS.013(2).A	Mengganti fuse cut out pada SUTM	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian. ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Melaksanakan penggantian Fuse Link ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Membuat laporan penggantian Fuse
DIS.HAR.037(1).A	Memelihara instalasi Ground Fault Detector (GFD)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan ▪ Menyiapkan pemeliharaan GFD ▪ Memelihara GFD ▪ Memeriksa dan membuat laporan pemeliharaan
DIS.KON.025(1).A	Memasang Indikator Gangguan Tanah (IGT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Merencanakan dan mempersiapkan pemasangan IGT ▪ Memasang IGT ▪ Mengidentifikasi masalah pemasangan peralatan penghubung/pemisah ▪ Membuat laporan pemasangan IGT
DIS.HAR. 035(2).A	Memelihara sistem komunikasi suara	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan ▪ Menyiapkan pemeliharaan ▪ Memelihara instalasi sistem komunikasi suara ▪ Membuat laporan pemeliharaan
DIS.HAR.039(2).A	Memelihara sistem Baterai dan rectifier inverter	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pemeliharaan ▪ Menyiapkan pemeliharaan UPS dan rectifier catu daya ▪ Memelihara sistem UPS dan rectifier catu daya ▪ Menanggulangi masalah operasi

KODE KOMPETENSI	JUDUL KOMPETENSI	SUB KOMPETENSI
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Membuat laporan pemeliharaan
<p style="text-align: center;">BAB VII SAKLAR DAN PENGAMAN DIS.OPS.014(2) A</p>	<p>Mengoperasikan Pole Top Switch (PTS)/Load Break Switch (LBS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Mengoperasikan PTS dan Poletop LBS ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Membuat laporan pengoperasian
<p style="text-align: center;">DIS.OPS.015(2)A</p>	<p>Mengoperasikan Penutup Balik Automatic (PBO)/ Saklar Semi Automatic</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Menyiapkan dokumen pengoperasian ▪ Pengoperasian PBO dan SSO ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Membuat Laporan Pengoperasian
<p style="text-align: center;">DIS.OPS.016(2).A</p>	<p>Mengoperasikan Automatic Voltage Regulator (AVR) dan Cvasitor Voltage (CVR)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Menerapkan prosedur pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Menyiapkan pengoperasian ▪ Mengoperasikan AVR dan CVR ▪ Menanggulangi masalah operasi ▪ Membuat laporan pengoperasian

BAB VI

SAKELAR DAN PENGAMAN PADA JARING DISTRIBUSI

6-1 Perlengkapan Penghubung dan Pemisah

Perlengkapan Hubung Bagi (PHB) dan Kendali ialah suatu perlengkapan atau peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik seperti; pembangkit, gardu induk, gardu distribusi dan transformator ke saluran pelayanan atau ke pelanggan. Jika komponen-komponen dari PHB terlihat dari luar tanpa perlindungan selungkup tertutup maka PHB itu dari jenis terbuka. Pembuatan lain adalah PHB tertutup. Menurut ukuran dan bentuknya PHB disebut elmari, kotak atau meja hubung bagi.

Ciri-ciri lemari hubung bagi antara lain:

- Selungkup dan kerangka pada umumnya terbuat dari besi
- Dapat berdiri sendiri pada lantai, pada dinding atau dipasang dalam dinding
- Di bagian papan terdapat panel atau konstruksi panel-panel logam sebagai penutup dan perlindungan dari komponen-komponen yang terdapat di dalamnya dan panel itu ditempatkan alat pelayanan atau alat ukur.

Fungsi PHB untuk :

- Mengendalikan sirkuit dilakukan oleh saklar utama
- Melindungi sirkuit dilakukan oleh fase/pelebur
- Membagi sirkuit dilakukan oleh pembagian jurusan/kelompok

Syarat-syarat umum :

Secara umum sebuah PHB harus disusun dan dipasang sedemikian rupa sehingga terlihat rapi dan teratur, selain itu keberadaan PHB juga menentukan bahwa pemeliharaan, pemeriksaan dan pelayanan harus dapat dilaksanakan dengan mudah dan aman. Selanjutnya sesuai dengan syarat pengoperasian kemudahan pengamatan pengukuran, penekanan tombol, pemutaran atau pelayanan saklar, maka perkerjaan-pekerjaan ini harus dapat dilakukan dari bagian depan, tanpa alat bantuan, seperti tangga atau alat-alat lainnya.

Sehubungan dengan itu syarat PHB juga menentukan bahwa di bagian depan, lorong dan sisi kiri kanan PHB harus terdapat ruang bebas selebar sekurang-kurangnya 0,75 meter untuk tegangan rendah atau 1 meter pada tegangan menengah dan tinggi PHB sekurang-kurangnya

2 meter. Lorong yang di sisi kanan kirinya terdapat instalasi listrik tanpa dinsing pengaman, lebarnya harus sekurang-kurangnya 1,5 meter.

Di sekitar PHB tidak boleh diletakkan barang yang mengganggu kebebasan bergerak. Untuk pemasangan pada dinding di tempat-tempat umum lemari dan kotak PHB harus dipasang pada ketinggian sekurang-kurangnya 1,2 meter dari lantai. Pada instalasi perumahan ketinggian ini ditetapkan 1,5 meter dari lantai.

Syarat PHB menetapkan bahwa lemari dan kontak hubung bagi tidak boleh dipasang di kamar mandi, tempat cuci tangan, di atas kompor atau di atas bak air.

6-1-1 Macam-macam PHB :

Menurut kebutuhannya PHB dibedakan menjadi 2 macam yaitu : PHB Utama dan PHB sub instalasi atau PHB cabang.

- PHB Utama ialah PHB yang menerima aliran tenaga listrik dari sumber melalui saklar utama konsumen dan membagikan tenaga listrik tersebut ke seluruh alat pemakai pada instalasi konsumen.
- PHB Sub Instalasi atau PHB Cabang ialah PHB dari suatu instalasi untuk mensuplai tenaga listrik kepada satu konsumen dan instalasi tersebut merupakan bagian dari instalasi yang mensuplai konsumen tunggal atau lebih.

Menurut tegangan sumbernya, PHB dibedakan menjadi sesuai dengan tingkat tegangan sistemnya yaitu : PHB tegangan rendah (TR), PHB tegangan menengah (TM) dan PHB tegangan tinggi (TT).

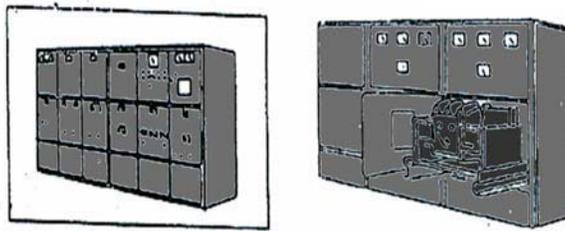
- PHB TR yaitu PHB yang banyak dipasang pada instalasi baik milik PLN maupun milik pelanggan, PHB yang terpasang milik pelanggan, PHB yang terpasang milik PLN biasanya ditempatkan gardu induk distribusi sisi sekunder trafo distribusi sedangkan PHB yang di pelanggan biasanya terpasang pada dinding atau ruangan tertentu setelah APP ditempat pelanggan tersebut.
- PHB TM ialah PHB yang terdapat pada pembangkit atau GI sisi TM berbentuk lemari panel (kubikel) tertutup terbuat dari bahan besi atau berbentuk gardu sel terbuka yang dilengkapi peralatan ukur dan pengaman (proteksi).
- PHB TT adalah PHB yang menggunakan peralatan-peralatan dengan kapasitas yang besar dan mempunyai resiko bahaya yang tinggi pula sehingga pemasangan PHB TT ini biasanya ditempat khusus dan terbuka (*switch yard*) yang dilengkapi rambu-rambu, pagar dan peralatan pengaman yang memadai.

Menurut tipenya PHB di kelompokkan menjadi 2 tipe yaitu tipe tertutup dan tipe terbuka.

- PHB dengan tipe tertutup yaitu apabila seluruh komponen PHB berada disuatu tempat yang tertutup oleh selungkup/pelindung mekanis maupun pelindung listrik.
- PHB tipe terbuka yaitu PHB yang semua peralatan atau komponennya berada diluar dan tampak secara kasar mata dan dilengkapi dengan pagar maupun peralatan isolasi huna melindungi dari bahaya mekanis dan elektrisnya.

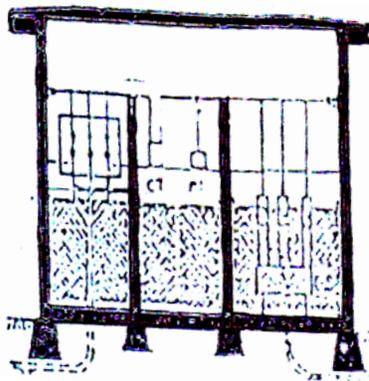
6-1-2 Bentuk PHB

1. Bentuk Tertutup



Gambar 6-1. Bentuk lemari dengan bagian yang dapat ditarik keluar

2. Bentuk Terbuka



Gambar 6-2. Busbar tipe terbuka (pandangan depan)

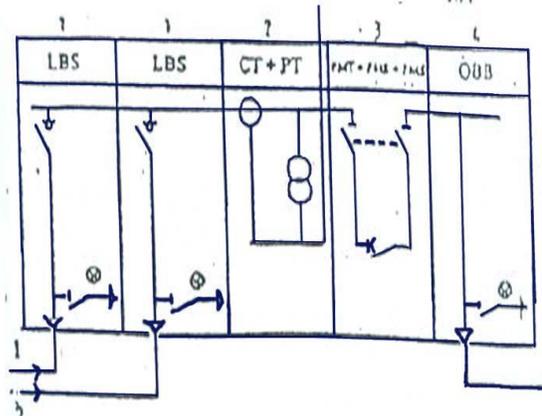
6-1-3 Busbar

1. Tipe Tertutup (*Close Type*)

Tipe tertutup ini banyak digunakan dan dikembangkan saat ini di pembangkitan atau digardu induk yang areal kerjanya tidak luas, biasanya dipasang di lemari hubung bagi atau kubikel karena bentuknya yang sederhana dengan konstruksi pemasangan yang sederhana dengan konstruksi pemasangan yang praktis dan lebih aman, sebab setiap pintu

lemari PHB nya dilengkapi dengan penataan sistem interlock dimana saklar pentanahannya terdapat didalam PHB tersebut.

Apabila pintu PHB akan dibuka maka terlebih dahulu posisi PMT harus terbuka dan saklar pentanahan dimasukkan, baru pintu PHB dapat dibuka. Begitu pula pada waktu akan menutup PMT maka posisi pintu tertutup dan saklar pentanahannya dalam keadaan terbuka.



Gambar 6-3. Salah satu contoh Busbar tipe tertutup (Kubikel)

2. Tipe Terbuka (*Open Type*)

Busbar pada tipe terbuka ini banyak dijumpai di gardu sel atau gardu open type, dimana semua peralatan termasuk rel pengumpul (Busbar) kelihatan secara visual. Hal ini menunjukkan bahwa semua peralatan yang terpasang memerlukan tempat tersendiri sehingga membutuhkan areal yang luas untuk tipe terbuka ini, karena masing-masing peralatan secara utuh akan terpasang pada PHB tipe terbuka ini.

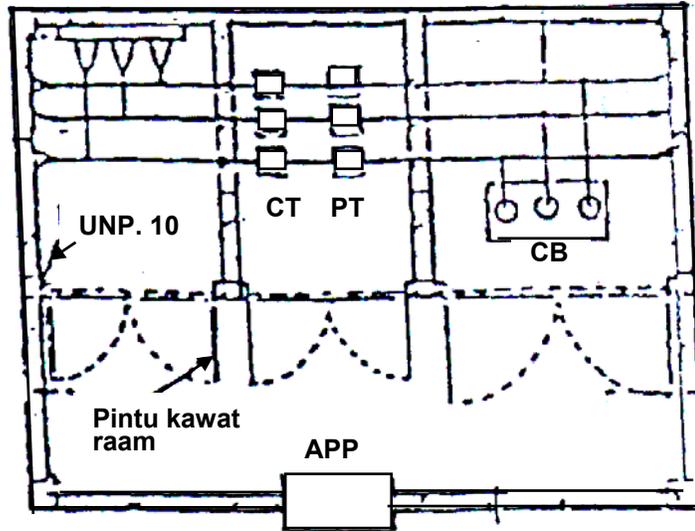
Oleh karena keadaan terbuka tersebut sehingga bagian-bagian yang bertegangan dari PHB ini sangat membahayakan operatornya, untuk mengatasi hal tersebut maka pada PHB/Gardu terbuka selalu diberi pagar dan tanda rambu keselamatan kerja untuk membatasi daerah berbahaya dan memperingatkan kepada semua petugas agar lebih berhati-hati.

6-1-4 Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB TR)

Yang dimaksud dengan PHB TR adalah Perlengkapan Hubung Bagi yang dipasang pada sisi TR atau sisi sekunder Trafo sebuah gardu Distribusi baik Gardu beton, Gardu kios, Gardu portal maupun Gardu cantol. Adapun PHB TR yang banyak kita jumpai adalah PHB TR yang ada pada Gardu Trafo Tiang (GTT).

PHB TR yang terpasang pada Gardu Trafo Tiang berbentuk lemari besi yang didalamnya terdapat komponen-komponen antara lain :

1. Kerangka / Rak TR
2. Saklar Utama
3. NH Fuse Utama

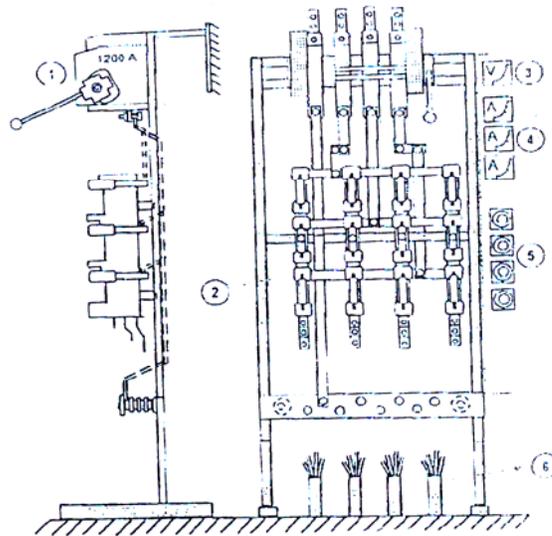


Gambar 6-4. PHB/Gardu terbuka



Gambar 6-5. PHB TR (Out Door)

4. Rel Tembaga
5. NH Fuse jurusan
6. Isolator penumpu Rel
7. Sirkuit Pengukuran
8. Alat ukur Ampere & Volt meter
9. Trafo Arus (CT)
10. Sistem Pembumian
11. Lampu Kontrol / Indikator



Keterangan Gambar:

1. Saklar Utama
2. NH Fuse Jurusan
3. Volt Meter
4. Fuse Kontrol
5. Kabel Jurusan

Gambar 6-6. Rangkaian Utama, Pengukuran & Kontrol PHB TR.

6-1-5 Fungsi PHB TR

Fungsi atau kegunaan PHB TR adalah sebagai penghubung dan pembagi atau pendistribusian tenaga listrik dari out put trafo sisi tegangan rendah TR ke Rel pembagi dan diteruskan ke Jaringan Tegangan Rendah (JTR) melalui kabel jurusan (*Opstyg Cable*) yang diamankan oleh NH Fuse jurusan masing-masing.

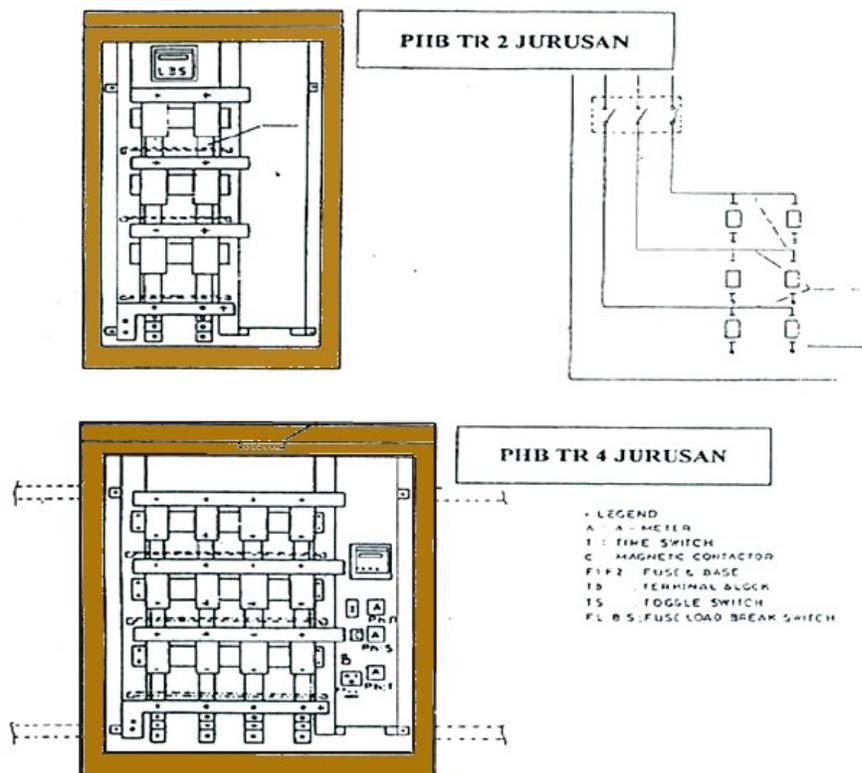
Untuk kepentingan efisiensi dan penekanan susut jaringan (*loses*) saat ini banyak unit PLN yang mengambil kebijaksanaan untuk melepas atau tidak memfungsikan rangkaian pengukuran maupun rangkaian kontrolnya, hal ini dimaksudkan agar tidak banyak energi listrik yang

mengalir ke alat ukur maupun kontrol terbangun untuk keperluan kontrol dan pengukuran secara terus menerus, sedangkan untuk mengetahui besarnya beban maupun tegangan, dilakukan pengukuran pada saat di perlukan saja dan bisa menggunakan peralatan ukur portable seperti AVO atau Tang Ampere saja.

6-1-6 Konstruksi PHB TR

Menurut Konstruksinya PHB TR dibagi menjadi 2 (dua) macam konstruksi yaitu :

1. Konstruksi PHB TR 2 Jurusan
2. Konstruksi PHB TR 4 Jurusan



Gambar 6-7. PHB-TR Dua Jurusan dan Empat Jurusan

6-1-7 Pengoperasian PHB TR

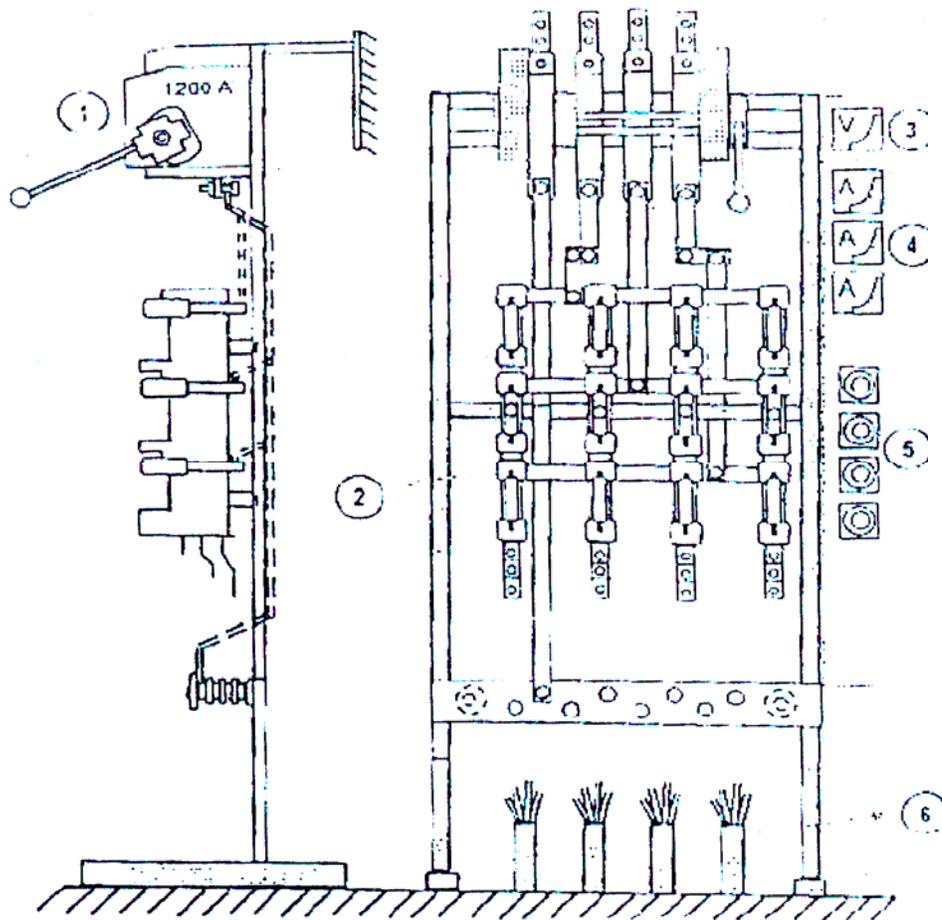
Untuk mengoperasikan PHB TR baru harus mengikuti prosedur yang sudah ditetapkan oleh manajemen dalam hal ini adalah unit operasi Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dalam bentuk Standing Operation Procedure (SOP).

Adapun pembuatan SOP bisa mengambil contoh dari beberapa referensi antara lain:

- Instruction Manual Books

- Data Spesifikasi peralatan PHB TR
- Operation Guidance
- Kondisi Jaringan
- Pengalaman (Experience)
- Dan lain-lain

6-1-8 Konstruksi PHB TR Berdiri (*Standing*)



Keterangan Gambar:

1. Saklar Utama
2. NH Tuse Jurusan
3. Volt meter
4. Fuse Kontrol
5. Kabel Jurusan

Gambar 6-8. Konstruksi PHB-TR type berdiri (*Standing*)



Kondisi (Isi) Panel

Gambar 6-9. Diagram Pengawatan PHB-TR

Langkah-langkah Kerja Pengoperasian PHB-TR

1. Petugas Pelaksana Menerima PK dari Asman Distrbusi untuk melakukan pengoperasian Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB – TR) baru.
2. Siapkan Alat Kerja, Alat Ukur, Alat K-3. Material Kerja dan Alat Bantu sesuai dengan kebutuhan
3. Setelah Petugas sampai di Lokasi gunakan Alat K-3 dan selanjutnya lapor ke Posko, petugas akan mengoperasikan PHB - TR baru
4. Periksa konstruksi PHB – TR baru meliputi :
 - Buka tutup Saklar Utama
 - Lampu kerja dan Lampu Test
 - Isolator Fuse Holder
 - Konduktor pentanahan (arde)
 - Kekencangan Baut
 - Rating NH Fuse sesuai dengan kapasitas Trafo Terpasang
5. Barikan Vaseline pada Pisau Saklar Utama dan Fuse Holder
6. Lakukan pengukuran tahanan isolasi antar arel dan antara Rel dengan Body serta tahanan pembumian dan dicatat dalam Formulir Berita Acara (BA).

7. Bersihkan Rel. Dudukan Fuse Holder, Pisau Saklar Utama (Hefboom Saklar). Sepatu Kabel dari kotoran/korosi. Dan bersihkan ruangan dalam panel hubung bagi.
8. Periksa kekencangan peningkatan mur/baut pada Saklar Utama Sepatu Kabel, Rel, Fuse Holder, kondisi isolator binnen dan Sistem pembumian.
9. Lakukan pemeriksaan hasil pekerjaan secara visual dan amankan seluruh peralatan kerja.
10. Laporkan ke posko bahwa kondisi PHB – TR dan Petugas dalam keadaan aman dan selanjutnya meminta tegangan dimasukkan (pemasukan CO gardu dilaksanakan oleh petugas operasi SUTM).
11. Setelah menerima ijin pemasukan tegangan dari posko masukan CUT OUT (CO).
12. Lakukan penukaran tegangan pada sisi masuk saklar utama dan amati putaran fasa dan selanjutnya catat dalam formulir BA.
13. Masukkan saklar utama (Hefboom Saklar).
14. Masukkan NH Fuse masing-masing jurusan.
15. Laporkan ke posko, bahwa pekerjaan pengoperasian PHB – TR baru telah selesai dan petugas akan meninggalkan lokasi pekerjaan.
16. Lepaskan Alat K-3 yang sudah tidak dipergunakan lagi.
17. Buat laporan dan berita acara pelaksanaan pekerjaan pengoperasian PHB – TR baru.
18. Buat laporan pekerjaan pengoperasian PHB – TR baru dan berita acara diserahkan kepada Asman Distribusi.

6-1-9 Pemeliharaan PHB TR

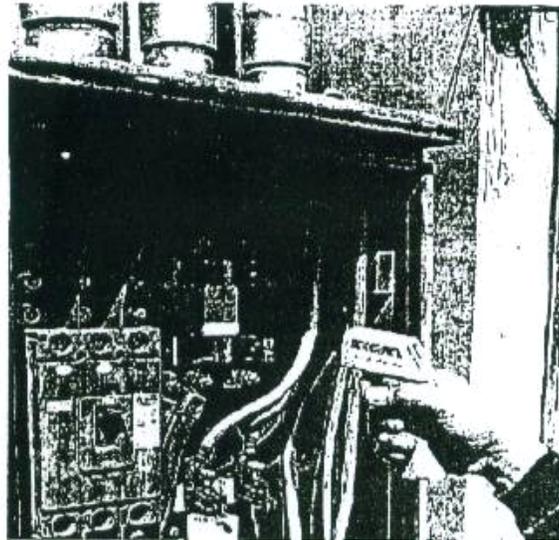
Sebagaimana pengoperasian PHB TR pada kegiatan pemeliharaanpun diperlukan langkah-langka atau prosedur pemeliharaan rutin periodik dan berkala yang disahkan oleh manajemen unit setempat sebagai prosedur tetap dalam bentuk SOP.

Langkah-langkah pemeliharaan antara lain :

- Persiapan Pemeliharaan
- Pemeriksaan dan Pengukuran
- Pemeriksaan Pemeliharaan
- Pemeriksaan Hasil Pemeliharaan
- Pembuatan Laporan Pemeliharaan

Pelaksanaan Pemeliharaan PHB TR

Di bawah ini ditunjukkan gambar pelaksanaan Pemeliharaan PHB TR dengan membongkar, membersihkan, memeriksa, mengganti dengan peralatan yang baru bila peralatan yang diperiksa tersebut sudah rusak dan



Gambar 6-10. Pemeriksaan titik sambungan dengan Thermavision

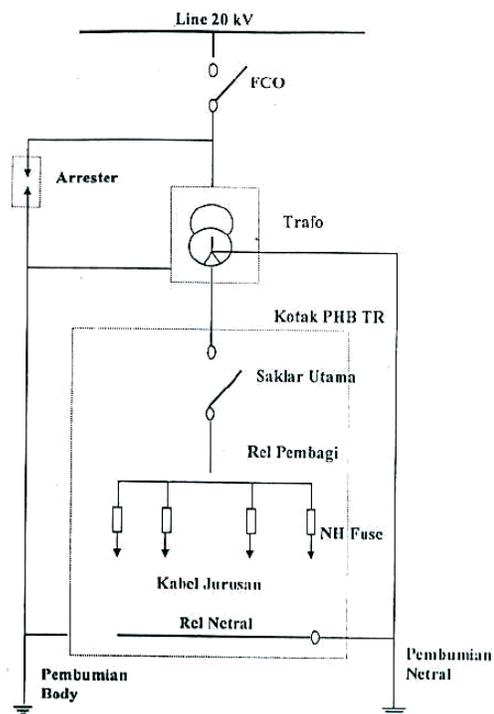
memasangkan kembali ke posisi semula kemudian mencoba dioperasikan oleh teknisi pemeliharaan yang selanjutnya dibuatkan laporan pengganti peralatan hasil pemeliharaan PHB TR tersebut.

Langkah-langkah Kerja Pelaksanaan Pemeliharaan PHB-TR

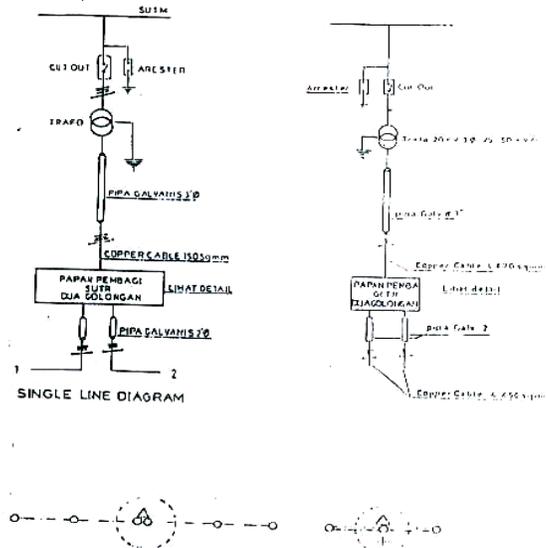
1. Petugas Pelaksana Menerima PK dari Asman Distrbusi untuk melakukan pemeliharaan Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB – TR) baru.
2. Siapkan Alat Kerja, Alat Ukur, Alat K-3. Material Kerja dan Alat Bantu sesuai dengan kebutuhan
3. Setelah Petugas sampai di Lokasi gunakan Alat K-3 dan selanjutnya lakukan pengukuran tegangan, arus beban, dan putaran fasa serta catat dalam formulir.
4. Lepas beban jurusan dan buka saklar utama.
5. Laporkan pada Posko bahwa pekerjaan akan dilaksanakan dan meminta pelepasan CO gardu (pelepasan CO gardu dilaksanakan oleh petugas operasi SUTM).
6. Tanahkan (Grounding) seluruh kabel jurusan dengan menggunakan Grounding cabel TR,
7. Bersihkan Rel, Dudukan Fuse Holder, Pisau Saklar Utama (Hefboom Saklar). Sepatu Kabel dari kotoran/korosi. Dan bersihkan ruangan dalam Panel Hubung Bagi.



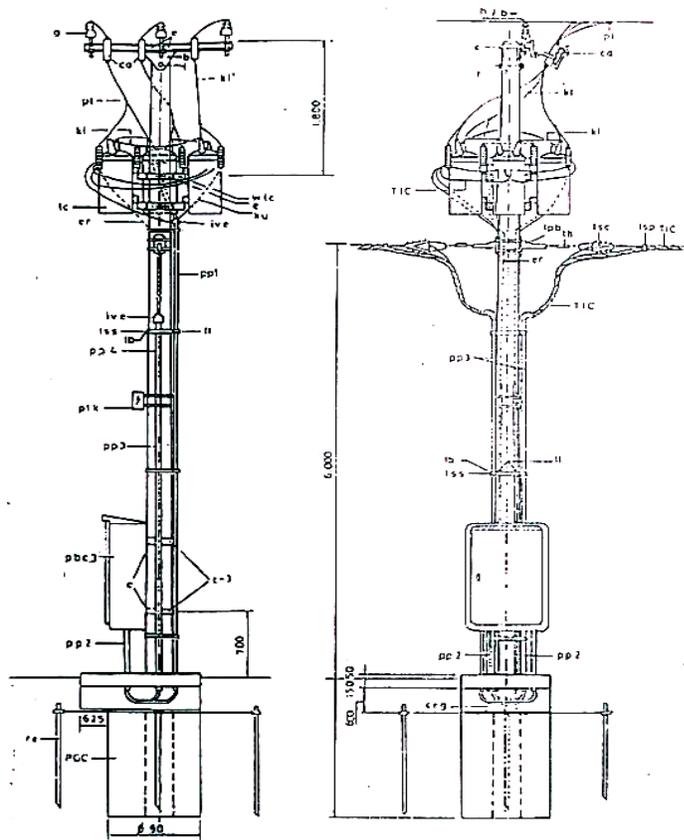
Gambar 6-11. Pelaksanaan Pemeliharaan Salah Satu Komponen PHB TR



Gambar 6-12. Diagram Segaris Gardu Trafo Tiang (GTT)



Gambar 6-14. Diagram Satu Garis PHB-TR Gardu Tiang Trafo



Gambar 6-15. Pemasangan PHB-TR pada Gardu Control

8. Periksa kekencangan peningkatan mur/baut pada Saklar Utama Sepatu, Kabel, Rel, Fuse Holder, Kondisi Isolator Binnen dan Sistem Pembumian.
9. Bila ada komponen PHB-TR yang rusak maka perbaiki atau ganti baru.
10. Berikan Vaseline pada Pisau Saklar Utama, Terminal Fuse Holder.
11. Ukur dan Catat nilai tahanan isolasi antar Rel dan atau Rel terhadap body setelah Tahanan Pentanahan dan catat dalam formulir berita acara (BA).
12. Lakukan pada posko bahwa pekerjaan pemeliharaan telah selesai dan meminta pemasukan CO gardu (pemasukan CO gardu dilaksanakan oleh petugas operasi SUTM).
13. Lepaskan pentanahan (Grounding cable TR) pada seluruh kabel jurusan.
14. Laporkan pada posko bahwa pekerjaan pemeliharaan telah selesai dan meminta pemasukan CO gardu (pemasukan CO gardu dilaksanakan oleh petugas operasi SUTM).
15. Masukkan saklar utama tanpa beban, kemudian ukur besaran tegangan antara fasa dan fasa, dan antara fasa dengan nol di rel, serta check arah putaran fasa dan selanjutnya catat dalam formulir BA.
16. Lakukan pengecekan Rating NH Fuse untuk disesuaikan dengan data Fuse semula.
17. Masukkan NH Fuse jurusan secara bertahap.
18. Lakukan pengukuran beban dan catat dalam formulir BA.
19. Tutup dan kunci pintu Panel PHB TR.
20. Tutup ke Posko bahwa pekerjaan memelihara PHB TR telah selesai dan petugas akan meninggalkan lokasi pekerjaan.
21. Lepaskan alat K-3 yang sudah tidak dipergunakan lagi.
22. Buat laporan Berita Acara pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan PHB TR.
23. Laporkan penyelesaian pekerjaan dan penyerahan Formulir BA kepada Asman Distribusi.

6-2 Transformator

Transformator adalah peralatan pada tenaga listrik yang berfungsi untuk memindahkan/menyalurkan tenaga listrik tegangan rendah ke tegangan menengah atau sebaliknya, sedangkan prinsip kerjanya melalui kopling magnetik atau induksi magnetik.

6-2-1 Bagian-Bagian Dari Transformator

6-2-1-1 Inti Besi

Inti besi tersebut berfungsi untuk membangkitkan fluksi yang timbul karena arus listrik dalam belitan atau kumparan trafo, sedang bahan ini terbuat dari lempengan-lempengan baja tipis, hal ini dimaksudkan untuk mengurangi panas yang diakibatkan oleh arus eddy (weddy current).

6-2-1-2 Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder

Kawat email yang berisolasi terbentuk kumparan serta terisolasi baik antar kumparan maupun antara kumparan dan inti besi. Terdapat dua kumparan pada inti tersebut yaitu kumparan primair dan kumparan skunder, bila salah satu kumparan tersebut diberikan tegangan maka pada kumparan akan membangkitkan fluksi pada inti serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada kumparan sisi lain akan timbul tegangan.

6-2-1-3 Minyak Trafo

Belitan primer dan sekunder pada inti besi pada trafo terendam minyak trafo, hal ini dimaksudkan agar panas yang terjadi pada kedua kumparan dan inti trafo oleh minyak trafo dan selain itu minyak tersebut juga sebagai isolasi pada kumparan dan inti besi.

6-2-1-4 Isolator Bushing

Pada ujung kedua kumparan trafo baik primair ataupun sekunder keluar menjadi terminal melalui isolator yang juga sebagai penyekat antar kumparan dengan body badan trafo.

6-2-1-5 Tangki dan Konserfator

Bagian-bagian trafo yang terendam minyak trafo berada dalam tangki, sedangkan untuk pemuain minyak tangki dilengkapi dengan konserfator yang berfungsi untuk menampung pemuain minyak akibat perubahan temperature.

6-2-1-6 Katub Pembuangan dan Pengisian

Katup pembuangan pada trafo berfungsi untuk menguras pada penggantian minyak trafo, hal ini terdapat pada trafo diatas 100 kVA, sedangkan katup pengisian berfungsi untuk menambahkan atau mengambil sample minyak pada trafo.

6-2-1-7 Oil Level

Fungsi dari oil level tersebut adalah untuk mengetahui minyak pada tangki trafo, oil level inipun hanya terdapat pada trafo diatas 100 kVA.

6-2-1-8 Indikator Suhu Trafo

Untuk mengetahui serta memantau keberadaan temperature pada oil trafo saat beroperasi, untuk trafo yang berkapasitas besar indikator limit tersebut dihubungkan dengan rele temperature.

6-2-1-9 Pernapasan Trafo

Karena naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyaknya akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki, sebaliknya bila suhu turun, minyak akan menyusut maka udara luar akan masuk kedalam tangki.

Kedua proses tersebut diatas disebut pernapasan trafo, akibatnya permukaan minyak akan bersinggungan dengan udara luar, udara luar tersebut lembab. Oleh sebab itu pada ujung pernapasan diberikan alat dengan bahan yang mampu menyerap kelembaban udara luar yang disebut kristal zat Hygrokopsis (*Clilicagel*).

6-2-1-10 Pendingin Trafo

Perubahan temperature akibat perubahan beban maka seluruh komponen trafo akan menjadi panas, guna mengurangi panas pada trafo dilakukan pendingin pada trafo, guna mengurangi pada trafo dilakukan pendinginan pada trafo. Sedangkan cara pendinginan trafo terdapat dua macam yaitu : alamiah/natural (*Onan*) dan paksa/tekanan (*Onaf*).

Pada pendinginan alamiah (natural) melalui sirip-sirip radiator yang bersirkulasi dengan udara luar dan untuk trafo yang besar minyak pada trafo disirkulasikan dengan pompa. Sedangkan pada pendinginan paksa pada sirip-sirip trafo terdapat fan yang bekerjanya sesuai setting temperaturnya.

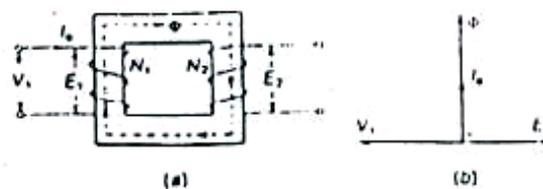
6-2-1-11 Tap Canger Trafo (Perubahan Tap)

Tap changer adalah alat perubah perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang sesuai dengan tegangan sekunder yang diinginkan dari tegangan primer yang berubah-ubah.

Tiap changer hanya dapat dioperasikan pada keadaan trafo tidak bertegangan atau disebut dengan "*Off Load Tap Changer*" serta dilakukan secara manual.

6-2-2 Impedansi Trafo

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid, akan mengalir arus primer I_g yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni. I_g akan



Gambar 6-16. Rangkaian Dasar Trafo

tertinggal 90° dari V_1 (gambar 1b) Arus primer I_g menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga berbentuk sinusoid.

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \text{Sin } \omega t \quad (6-1)$$

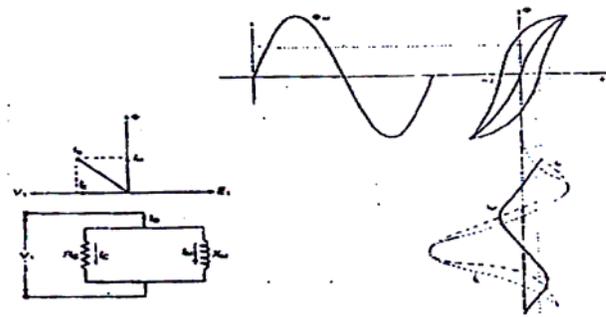
Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 (Hukum Farraday).

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (6-2)$$

$$e_1 = -N_1 \frac{d(\phi_{\text{maks}} \text{Sin } \omega t)}{dt} = N_1 \omega \phi_{\text{maks}} \text{Cos } \omega t \quad \langle \text{tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \phi \rangle \quad (6-3)$$

Harga efektifnya

$$E_1 = \frac{N_1 2\pi f \phi_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} = 4,44 N_1 f \phi_{\text{maks}} \quad (6-4)$$



Gambar 6-17. Diagram Arus Penguat

Pada rangkaian sekunder fluks (Φ) bersama tadi menimbulkan

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \quad (6-5)$$

$$e_2 = -N_2 \omega \phi_m \text{cos } \omega t \quad (6-6)$$

$$E_2 = 4,44 N_2 f \phi_{\text{maks}} \quad (6-7)$$

Sehingga

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (6-8)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor.

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = a \quad (6-9)$$

a = perbandingan transformator

Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 .

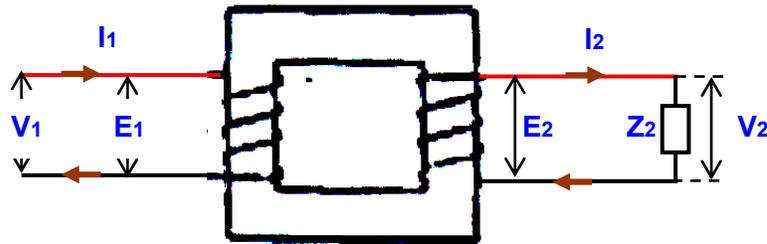
6-2-3 Arus Penguat

Arus primer I_0 yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer I_0 bukanlah merupakan arus induktif murni, hingga ia terdiri atas dua komponen (gambar 1).

1. Komponen arus pemagnetan I_M yang menghasilkan fluks (Φ). Karena sifat besi yang nonlinier (ingat kurva B-H) maka arus pemagnetan I_M dan juga fluks (Φ) dalam kenyataan tidak berbentuk sinusoid (gambar 1).
2. Komponen arus rugi tembaga I_c menyatakan daya yang hilang akibat adanya rugi histeresis dan arus eddy I_c sefasa dengan V_1 dengan demikian hasil perkaliannya ($I_c \times V_1$) merupakan daya (watt) yang hilang.

6-2-4 Trafo dalam Keadaan Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan Z_L I_2 mengalir pada kumparan sekunder, dimana $I_2 = V_2 / Z_L$ dengan O_2 = factor kerja beban.



Gambar 6-18. Rangkaian Trafo Berbeban

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya pada kumparan primer oleh arus beban I_2 hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan magnet primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I_2 \quad (6-10)$$

6-2-5 Pemeliharaan Gardu Trafo Tiang (GTT)

Tenaga Listrik merupakan suatu kebutuhan pokok bagi masyarakat saat ini, oleh karena itu Tenaga Listrik harus dapat tersedia secara terus-menerus dengan mutu dan keadaan yang tinggi, untuk dapat tercapainya hal tersebut salah satu usaha adalah dengan tetap terpeliharanya instalasi Sistem Tenaga Listrik di sisi Pembangkitan, Penyaluran dan Distribusinya.

Sebagaimana peralatan pada umumnya, peralatan yang operasi dalam instalasi Tenaga Listrik perlu dipelihara, hal ini bertujuan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan tersebut, terpeliharanya instalasi tenaga listrik dengan baik dapat mempertahankan mutu dan kendala penyaluran tenaga listrik.

Gardu Trafo Tiang (GTT) adalah merupakan salah satu komponen instalasi tenaga listrik yang terpasang di Jaringan Distribusi berfungsi sebagai trafo daya penurun tegangan dari tegangan menengah ke tegangan rendah, dan selanjutnya tegangan rendah tersebut disalurkan ke konsumen. Mengingat fungsi dan harga dari trafo tersebut cukup mahal bila dibandingkan dengan peralatan distribusi lainnya, maka pemeliharaan preventif yang dilakukan secara intensif, dengan kriteria pemeliharaan yang jelas untuk setiap komponen GTT dan ditangani oleh tenaga yang terampil dengan peralatan yang memadai agar pemeliharaan tersebut berjalan dengan efektif.

6-2-5-1 Komponen Utama GTT

Secara umum komponen utama GTT adalah sebagai berikut :

1. **Transformator** : berfungsi sebagai trafo daya merubah tegangan menengah (20 kV) menjadi tegangan rendah (380/200) Volt.
2. **Fuse Cut Out (CO)** : sebagai pengaman penyulang, bila terjadi gangguan di gardu (trafo) dan melokalisir gangguan di trafo agar peralatan tersebut tidak rusak. CO di pasang pada sisi tegangan menengah (20 kV).
3. **Arrester** : sebagai pengaman trafo terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir dan switching (SPLN se.002/PST/73).
4. **NH Fuse** : sebagai pengaman trafo terhadap arus lebih yang terpasang di sisi tegangan rendah (220 Volt), untuk melindungi trafo terhadap gangguan arus lebih yang disebabkan karena hubung singkat di jaringan tegangan rendah maupun karena beban lebih.
5. **Grounding Arrester** : untuk menyelurkan arus ketanah yang disebabkan oleh tegangan lebih karena sambaran petir dan switching.
6. **Graunding Trafo** : untuk menghindari terjadi tegangan lebih pada phasa yang sehat bila terjadi gangguan satu fasa ketanah mauoun yang disebutkan oleh beban tidak seimbang.

7. **Grounding LV Panel** : sebagai pengaman bila terjadi arus bocor yang mengalir di LV panel.

6-2-5-2 Peralatan Pendukung

Alat Kerja

Agar pekerjaan dapat terlaksana dengan baik perlu didukung oleh peralatan yang memadai baik peralatan mekanik maupun elektrik. Adapun peralatan kerja yang dibutuhkan sebagai berikut :

Alat Ukur

- AVO Meter
- Megger 1.0 Volt, 5.000 Volt, 10.000 Volt
- Earth Tester
- Tang Amper dengan range 1.000 Amper
- Infrares
- Drivelt/Phasa Detector dll.

Peralatan

- Shcaket Stick 20kV 13 meter
- Kunci Shock (satu set)
- Kunci Ring (satu set)
- Kunci Inggris
- Tang Kombinasi
- Tang Kupas/Potong
- Obeng Minus
- Obeng Plus
- Gergaji Besi
- Palu
- Corong Minyak
- Slang Plastik
- Pompa Minyak (plastik)
- Kain Lap Majun
- Kertas Gosok
- Dies Compression
- Cable Cutter 600 – 900 mm
- Tangga Fiber Glass 7 m
- Stainless Steel Belt/Stopping Tool
- Boto Kosong Bersih + Tutup
- Kuas
- Kikir dll.

Perlengkapan K3

- Sabuk Pengaman
- Helm
- P3K
- Sarung Tangan Katun
- Sepatu Kerja dan lain-lain

Material Pemeliharaan

Daftar material untuk pekerjaan pemeliharaan seperti tercantum pada Tabel 6-1 berikut:

Tabel 6-1. Material Pemeliharaan GTT

No.	Material	Satuan	Jumlah
1	Ground rod 2,5 m	Buah	2
2	Ground rod 1,5 m	Buah	4
3	Cincin rod	Buah	6
4	NYA 50 mm ²	Meter	10
5	NYA 70 / 95 mm ²	Meter	6
6	NYA 120 / 150 mm ²	Meter	6
7	BC Draad 50 mm	Meter	5
8	AAAC 70 mm ²	Meter	46
9	NYAF 50 mm	Meter	2
10	CCT 6 T 6 (95 / 95 mm)	Buah	6
11	STT 5 T 5 (70 / 70 mm)	Buah	6
12	STT 7 T 7' (120 / 120 mm)	Buah	4
13	STT 8 T 8 (150 / 150 mm)	Buah	4
14	SAA 5 T 5 (70 / 70 mm)	Buah	7
15	SAA 5 T 4 (70 / 50 mm)	Buah	6
16	SAT 4 (50 mm)	Buah	6
17	SKT 6 (95 mm)	Buah	12
18	SKT 7 (120 mm)	Buah	12
19	SKT 8 (150 mm)	Buah	8
20	SKA 5 (70 mm)	Buah	2
21	CCO 5 T 5 (70 / 70 mm)	Buah	7
22	Skaklar Utama 630 A (bila rusak)	Buah	1
23	Fuse base 400 A	Buah	6
24	Fuse Holder/Smeldraad Holder	Buah	6
25	Smel Draad 80 – 200 A	Buah	6
26	Fuse Ling 3 – 8 A	Buah	3
27	Pipa PVC AW ¾"	Buah	6
28	Stopping Buckle	Buah	10
29	Link	Buah	10
30	Isolasi PVC Pipa	Rol	1
31	Isolator Scot 23	Rol	1
32	Contac Cliner/Sakapen	Botol	1
33	Silikon gress/Vaseline	CC	50
34	Stainless Steel Strap	Meter	15
35	Semen	Kg	4
36	Minyak Trafo	Liter	25
37	Alkohol	Liter	1
38	Kain Majun	Kg	1
39	Cat/Meni Besi (abu-abu)	Kg	1
40	Thinner	Liter	1
41	Engsel	Buah	1

6-2-5-3 Pelaksanaan Pemeliharaan

Persiapan

Agar pekerjaan GTT dapat berjalan sesuai dengan rencana, maka perlu dilakukan persiapan sebelum pelaksanaan, persiapan tersebut menjadi :

1. Melakukan survai lapangan : survai bertujuan untuk melihat secara langsung keadaan GTT dengan mengadakan pemeriksaan secara Visual, Mekanik, Elektrikal, Pengukuran (beban, tegangan) atau pengukuran suhu/sambungan/NH fuse dengan menggunakan Infra Red. Semua hasil pemeriksaan tersebut dicatat dan dievaluasi sebagai bahan masukan untuk membuat rencana pemeliharaan terutama yang menyangkut kebutuhan material dan perkiraan waktu pemadaman.
2. Penyampaian rencana dan kondisi lapangan ke Pengawas Pelaksana Pekerjaan : hal ini untuk dapat memberikan gambaran pada pengawas pelaksana agar sebelum melaksanakan pekerjaan dapat mempersiapkan sesuatunya dengan baik dan membuat strategi pelaksanaannya, dan dari informasi tersebut diharapkan dapat mengurangi kesulitan dalam pelaksanaan pekerjaan.
3. Pemberitahuan pemadaman ke konsumen : karena pelaksanaan pemeliharaan GTT diperlukan pembebasan tegangan, maka sebelum pelaksanaan pekerjaan, konsumen yang dipasok oleh GTT tersebut perlu diberi informasi tentang rencana pemadaman, informasi pemadaman tersebut dapat di informasikan melalui media massa (radio, koran), untuk pelanggan industri bila perlu diberi surat tersendiri. Untuk pelanggan 3 phasa perlu diingatkan agar memasang pengaman phasa under voltage, untuk mengamankan bila terjadi hilang tegangan 1 phasa.

6-2-5-4 Pelaksanaan Pekerjaan

- a. Material, Alat kerja dan SDM : material dan alat kerja harus betul-betul dipersiapkan dengan baik, ketidak lengkapan material maupun alat kerja akan menyebabkan pekerjaan menjadi lama dan juga dapat menyebabkan hasil kerja tidak sempurna bahkan dapat juga menambah kerusakan pada komponen yang dikerjakan dengan menggunakan alat yang tidak seharusnya (contoh pengerasan mur/baut dengan menggunakan tang). Selain dari material dan alat kerja yang lebih penting adalah sumber daya manusia (SDM), material dan alat kerja lengkap tidak didukung dengan SDM yang memadai tidak ada artinya, oleh sebab itu para pelaksana perlu diberi Pedoman atau SOP yang dapat digunakan sebagai petunjuk pelaksanaan pekerjaan.
- b. Pengukuran Parameter yang diperlukan : untuk mengetahui hasil kerja yang telah dilakukan, salah satunya adalah dengan membandingkan parameter sebelum dengan setelah pekerjaan dilaksanakan,

parameter yang perlu dilakukan pengukuran antara lain Tegangan, Arus, Temperatur, dan Tahanan pentanahan.

- c. Pembebasan Tegangan : setelah dipastikan bahwa ijin pemadaman dan fisik lapangan sudah siap, kemudian dilakukan pembebasan beban pada GTT tersebut dan dilakukan dan dilanjutkan dengan saklar utama (helboom), bila tidak terpasang helboom dapat melepas NH fuse jurusan di mulai dari fasa s, r, t, untuk menghindari ketidakimbangan pada konsumen 3 fasa sekaligus, sedangkan untuk pembebasan tegangan dilakukan dengan melepas Fuse Cut Out (CO) di mulai dari fasa S, R, T.
- d. Untukantisipasi ketidakcukupan waktu pemadaman, maka perlu dibuat prioritas pemeliharaan yaitu dengan mengutamakan terlebih dahulu pada komponen utama (trafo, CO, Arrester, NH Fuse) atau komponen lain yang hanya dapat dikerjakan dengan pembebasan tegangan.

6-2-5-5 SOP Pelaksanaan Dengan Memadamkan Trafo

1) Lightning Arrester

Bila arrester masih terpasang sebelum CO, pindah arrester tersebut setelah Cut Out dengan memakai dudukan kanal NP8 – 2.500 mm (bila perlu siapkan kanal sendiri untuk praktisnya pelaksanaan), hal ini untuk mempercepat penanganan gangguan SUTM yang disebabkan oleh kegagalan lightning arrester.

Tabel 6-2. Tabel Daya dan Arus Fuse Link

No.	Daya (kVA)	Arus (A)	Fuse Link Type K(A)	No.	Daya (kVA)	Arus (A)	Fuse Link Type K (A)
1	1 x 25	1,25	2	9	3 x 50	4,33	5
2	1 x 32	1,6	2	10	3 x 64	5,54	5
3	1 x 37,5	1,88	2	11	50	1,44	2
4	1 x 50	2,5	3	12	100	2,89	3
5	1 x 64	3,2	3	13	160	4,65	5
6	3 x 25	2,17	3	14	200	5,77	6
7	3 x 32	2,77	3	15	250	7,22	6
8	3 x 37,5	3,25	3	16	315	9,09	8

2) Fuse Cut Out (CO)

- Jumper CO sisi atas disesuaikan dengan konduktor SUTM (TC aluminium 25 mm² konektor ke Jaringan dengan CCO dan ujung ke terminal CO dengan SKAT3).
- Jumper CO bagian bawah (ke trafo) diperbaiki/dipasang SKT 3, bila perlu ganti dengan NYAF 50 mm².
- Periksa kembali mur baut pada terminalnya, kencangkan bila perlu.
- Sesuaikan penggunaan fuse link seperti tabel 6.2.

2.1) Mengganti *Fuse Cut Out* (CO)

Sesuai dengan namanya *Fuse Cut Out*, maka pada saat elemen lebur (kawat lumer) putus karena kelebihan beban (*over load*), maka rumah sekering akan terbuka, sehingga tampak dari jauh rumah sekering tersebut menggantung keluar. Karena rumah sekering menggantung pada pengait (bagian bawah), maka bisa diambil dengan menggunakan galah pengaman. Sampai di bawah sekering lumer diganti, selanjutnya rumah sekering di pasang lagi pada gantungan dan ujungnya di dorong masuk ke klem (terminal) bagian atas. Cara memasukkan CO ini setelah gangguan selesai diatasi dan dimasukkan pada kondisi tidak berbeban. Selanjutnya beban disisi sekunder dimasukkan per kelompok grup.

3) Transformator

- Minyak trafo ambil 1 botol melalui bawah, untuk test minyak dan tambah bila level minyak dibawah batas minimum melalui atas.
- Bushing primer, bersihkan dengan sakapenk, periksa, kencangkan mur bila perlu/ganti bila rusak (untuk isolator yang di pasang arching horn dari kawat baja 10 mm² atur jarak sparking rod selebar 13 cm, sesuai I.E.C.715A 1962 & SPLN 002/OST/73).
- Bushing sekunder bersihkan dengan sakapenk, pasang plat tembaga (cooper) 4 x 4 x 90 mm untuk daya trafo \geq 160 kVA, periksa kencangkan mur bila perlu ganti yang rusak.
- Tap Changer periksa mekaniknya dan catat posisi tap changer (posisikan tap changer pada trafo beban kosong tegangan sekunder antara phas – nol 231 Volt).
- Body trafo periksa, bersihkan/bila berkaratan cat total dengan kuwas (Cat Emco warna abu-abu).
- Packing periksa kencangkan bila perlu/ganti packing bila rembes/bocor.
- Grounding titik netral trafo periksa, ukur tahanan pentanahan, bila hasil pengukuran > 5 ohm tambah ground rod 2,5 meter (paralel).

4) LV Panel

- LV Panel periksa, bersihkan, perbaiki/las bagian yang kropos dan cat kembali sesuai standart (termasuk perbaikan engsel & grendel pintu besi diberi grease/gemuk), bila rusak tidak bisa diperbaiki ganti dengan yang baru.
- Saklar Utama periksa, kencangkan mur baut bila perlu dan beri vaselin putih pada kontakannya.
- NH Fuse periksa, sesuaikan rating arus dengan daya trafo dan arus beban line (sesuai tabel 6.3).

- Fuse Holder periksa/ganti bila rusak, kencangkan mur baut bila perlu dan beri vaselin putih pada kontakannya, bila ada grease (gemuk) bersihkan dulu dengan cleaner.
- Sepatu kabel periksa dan ganti sepatu kabel bila rusak atau kondisi ujung kabel masuk (fudeng) trafo maupun kabel keluar ke JTR terbakar, disesuaikan dengan jenis (CU/AL) dengan bimetal yang sama dan ukuran conductor.
- Kunci HS/LS periksa/bila macet semprot dengan pembersih (contac cleaner).
- Grounding body LV panel, body trafo & lightning arrester periksa/ukur tahanan pentanahan/pasang groun rod 2,5 meter (II) bila tahanan tanahnya > 5 ohm.

Tabel 6-3. Tabel Daya dan Arus Fuse Link

No	Daya (kVA)	Arus (A)	Fuse Link Type K (A)	No	Daya (kVA)	Arus (A)	Fuse Link Type K (A)
1	1 x 25	113,6	80	9	3 x 50	227,3	160
2	1 x 32	145,5	100	10	3 x 64	290,9	225
3	1 x 37,5	170,5	125	11	50	75,8	60
4	1 x 50	227,3	160	12	100	151,5	125
5	1 x 64	290,9	200	13	160	242,4	200
6	3 x 25	113,6	80	14	200	303	250
7	3 x 32	145,5	100	15	250	378,8	300
8	3 x 37,5	170,5	125	16	315	477,3	400

5) SUTR

- Sambungkan out going ke JTR periksa/bila menggunakan percing konektor ganti dengan joint bimetal/disesuaikan dengan jenis conductor.
- Ujung SUTR periksa, bila belum terpasang ground rod pasang ground rod 1,5 meter.
- Gambar SUTR lengkap dengan SR per gardu.
- Penggantian material harus dilaporkan pengawas PLN, bila material disediakan rekanan maka harus ada jaminan kualitas selama 1 tahun.

6) Pengoperasian Kembali

Setelah semua pekerjaan selesai dilaksanakan, sebelum pengisian tegangan maka perlu dilakukan hal-hal sebagai berikut :

- a. Lepas semua grounding yang terpasang.

- b. Lakukan pengecekan secara visual, apakah semua peralatan sudah terpasang dengan baik dan yakinkan tidak ada lagi peralatan kerja yang tertinggal.
- c. Masukkan Fuse Cut Out satu persatu mulai dari fasa S, R kemudian T.
- d. Ukur tegangan masuk di LV panel antara fasa-fasa, fasa – netral, bila normal lakukan pembebanan trafo.
- e. Masukkan saklar utama (helboom), bila terpasang.
- f. Pembebanan trafo dengan memasukkan NH fuse jurusan satu persatu mulai fasa s, r, t.
- g. Ukur parameter-parameter tegangan, arus dan temperatur mur baut NH fuse, koneksi/sambungan.
- h. Bila semua telah selesai dilakukan, dari pengamatan visual dan pengukuran tidak ada kelainan, maka pintu LV panel dapat ditutup kemudian dikunci dan pekerjaan dinyatakan selesai.

6-2-5-6 Pemeliharaan GTT Tanpa Memadamkan Trafo

Pekerjaan pemeliharaan GTT yang tidak memerlukan padam total adalah, hanya pemeliharaan yang sifatnya ringan, pekerjaan tersebut meliputi :

- a) Penambahan grounding (tambah ground rod).
- b) Penggantian joint kabel keluar dengan JTR (padam satu line JTR), sebelum pelaksanaan pekerjaan perlu pemberitahuan pemadaman lewat media massa.
- c) Pengelasan/pengecatan bagian luar LV Panel.
- d) Bila pekerjaan selesai cek kembali hasil pekerjaan tersebut secara visual, mekanik dan yakinkan bahwa pekerjaan tersebut sudah benar dan baik, bila pekerjaan memerlukan pemadaman salah satu line jurusan, pastikan bahwa line jurusan tersebut sudah aman, bila aman masukkan NH fuse jurusan satu persatu mulai dari fasa 2, r kemudian t.

Ukur tegangan antara fasa-fasa dan fasa–nol, bila kondisi normal tutup pintu LV panel kemudian dikunci dan pekerjaan dinyatakan selesai.

6-3 Saklar dan Fuse

1. Fuse pada Papan Hubung Bagi Tegangan Rendah
2. Semi Automatic Change Over (SACO) pada jaringan tegangan rendah
3. Fuse Cut Out (CO) pada saluran udara tegangan menengah (SUTM)
4. Poletop Switch (PTS) dan Poletop Load Break Switch (LBS)
5. Penutup Balik Otomatik (PBO) dan Saklar Semi Otomatik (SSO)
6. Automatic Voltage Regulator (AVR) dan Capacitor Voltage Regulator (CVR)

6-3-1 Load Break Switch (LBS)

Swich pemutus beban (*Load Break Switch*, LBS) merupakan saklar atau pemutus arus tiga fase untuk penempatan di luar ruas pada tiang pancang, yang dikendalikan secara elektronis. Switch dengan penempatan di atas tiang pancang ini dioptimalkan melalui control jarak jauh dan skema otomatisasi. Swich pemutus beban juga merupakan sebuah sistem penginterupsi hampa yang terisolasi oleh gas SF₆ dalam sebuah tangki baja anti karat dan disegel. Sistem kabelnya yang full-insulated dan sistem pemasangan pada tiang pancang yang sederhana yang membuat proses instalasi lebih cepat dengan biaya yang rendah. Sistem pengendalian elektroniknya ditempatkan pada sebuah kotak pengendali yang terbuat dari baja anti karat sehingga dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan. Panel pengendali (*user-friendly*) dan tahan segala kondisi cuaca. Sistem monitoring dan pengendalian jarak jauh juga dapat ditambahkan tanpa perlu menambahkan Remote Terminal Unit (RTU).

Pada umumnya versi-versi peralatan terdiri dari:

- Pole Top Load Break Switch
- Pole Top Control Cubicle
- Control & Protection Module

Dokumen-dokumen yang terkait antara lain:

- Window Switchgear Operating Sistem (WSOS)
- Tes and Training Set (TTS)
- Database Access Protocol (DAP)
- Specific Telemetry Protocol Implementations
- Panel Kontrol Jarak Jauh
- Workshop Field dan Test Procedures
- Prosedur Penggantian CAPM

Versi-Versi Peralatan mencakup Contact Close dari penerimaan perintah tutup <1.2 sec dan Contact Open sejak diterimanya perintah buka <1.2 sec. Tegangan Line Maksimum pada Swichgear Ratings antara 12 atau 24kV dengan arus kontinyu 630 A RMS. Media Isolasi Gas SF₆ dengan tekanan operasional gas SF₆ pada suhu 20 C adalah 200kPa Gauge. Pengoperasian secara manual dapat dilakukan secara independent oleh operator. Tekanan untuk mengoperasikan tuas Max 20 kg. Switch pemutus beban dilengkapi dengan bushing boots elastomeric untuk ruang terbuka. Boots tersebut dapat menampung kabel berisolasi dengan ukuran diameter antara 16 – 32 mm dan akan menghasilkan sistem yang terisolir penuh. Kabel pre-cut yang telah diberi terminal dapat digunakan langsung untuk bushing switch Pemutus Beban dan telah memenuhi persyaratan yang sesuai dengan peralatan tersebut. Namun demikian, untuk kabel, dapat menggunakan yang telah disediakan oleh peralatan tersebut sepanjang masih memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

Kabel standar yang digunakan sebagai berikut:

Tabel 6-4. Kabel standar

Lug Size	Stranding	Material	Rating
240	19/4.01	Aluminium	630
185	19/3.5	Aluminium	400
80	7/3.75	Aluminium	250

Konstruksi dan Operasi Load Break Switch dan Sectionalizer diuraikan sebagai berikut. Load Break Swicth menggunakan puffer interrupter di dalam sebuah tangki baja anti karat yang dilas penuh yang diisi dengan gas SF₆. Interrupter tersebut diletakkan secara berkelompok dan digerakkan oleh mekanisme pegas. Ini dioperasikan baik secara manual maupun dengan sebuah motor DC dalam kompartemen motor di bawah tangki. Listrik motor berasal dari batere-batere 24V dalam ruang kontrol. Transformer-transformer arus dipasang di dalam tangki dan dihubungkan ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan indikasi gangguan dan line measurement. Terdapat bushing-bushing epoksi dengan transformer tegangan kapasitif, ini terhubung ke elemen-elemen elektronik untuk memberikan line sensing dan pengukuran. Elemen-elemen elektronik kontrol terletak dalam ruang kontrol memiliki standar yang sama yang digunakan untuk mengoperasikan swicthgear intelijen, yang dihubungkan ke swicthgear dengan kabel kontrol yang dimasukkan ke Swicth Cable Entry Module (SCEM) yang terletak di dalam kompartemen motor.

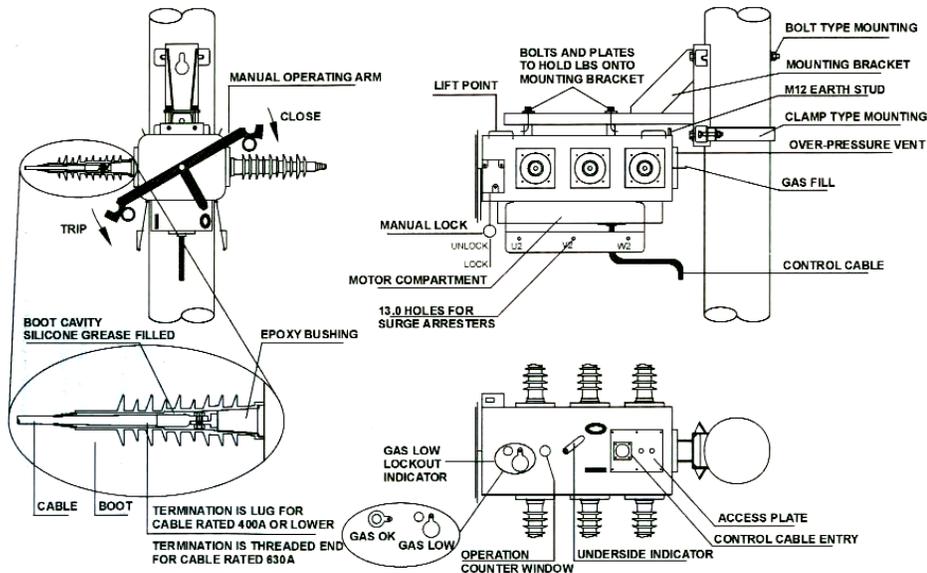
6-3-1-1 Fitur-fitur Swicthgear

Instalasi penting dan fitur-fitur operator dari load break swicth (Gambar 6-19), yang meliputi:

- Mounting bracket yang cocok untuk pemasangan semua jenis kutup daya. Mounting bracket ini dipasang ke kutup sebelum hoisting load break switch.
- Poin-poin pengangkatan to hoist Load Breaket Switch ke dalam posisi untuk dikancing dengan baut ke bracket.
- Hubungan tegangan tinggi dibuat dengan kabel berisolasi yang diterminasi pada bushing-bushing epoksi. Kabel dan bushing-bushing ditutup dengan boot elastomerik yang terisi dengan lemak silicon utnuk menciptakan sistem isolasi.
- Penangkal arus kejutan bisa dipasang pada lubang-lubang yang tersedia atau pada kutub. Jika dipasang ditempat lain maka penangkal arus dipasang pada tangki Load Break Switch.
- Sebuah earth bolt M12 disediakan untuk meletakkan load break switch.
- Jika terjadi internal arc fault, sebuah vent sisi kutup tangki load break pecah untuk memberikan ventilasi bagi tekanan yang berlebihan. Ini menghilangkan resiko ledakan atau lepas dari kutub daya dank arena

unit tersebut tidak berisi minyak, maka bahaya kebakaran bisa dihindari.

- Sebuah lengan operasi manual pada sisi yang paling lauh dari kutub membiarkan operasi hoolstick dari tanah. Dengan menarik sisi lengan yang tepat maka load break switch bisaditrip atau ditutup. Mekanisme ini “tergantung pada operator: sehingga tidak ada masalah seberapa cepat atau lambat lengan tersebut digerakkan oleh operator.
- Indikator-indikator posisi load break switch disediakan di bagian bawah dan pada lengan operasi.
- Sebuah counter operasi-operasi mekanis bisa dilihat melalui jendela pada bagian bawah kompartemen motor.
- Kunci untuk mekanisme load break switch disediakan dengan menarik turun gagang manual loack dengan sebuah hookstick. Saat terkunci mekanisme tidak bisa trip atau close baik secara mekanisme atau secara elektrik.
- Status interlock mekanis low gas ditunjukkan pada sisi bawah load break switch. Jika gas low maka sebuah penutup mengayun ke samping untuk mengekspos tanda merah low gas warning. Mekanisme juga dikunci secara mekanis sehingga tidak bisa trip atau close.



Gambar 6-19. Detail Load Break Switch

6-3-1-2 Sensor Tekanan SF₆.

Load break switch menggabungkan dua sensor tekanan yang memonitor tekanan gas SF₆. Satu sensor dimonitor oleh elemen-elemen elektronik control dan digunakan untuk menampilkan tekanan gas panel control operator. Jika tekanan gas jatuh di bawah ambang yang telah diset maka indikasi rendah tekanan SF₆ ditunjukkan pada panel kontrol operator (SF₆ Pressure Low) dan semua operasi elektrik dikunci elektronik. Ambang untuk deteksi tekanan rendah dikompensasi dengan suhu.

Sensor kedua bersifat mekanis dan mengunci semua operasi jika tekanan gas hilang. Pemicuan interlock ini terindikasi ketika muncul tanda tekanan rendah yang berwarna merah pada sisi bawah kompartemen motor. Jika sudah dipicu interlock hanya bisa direset dengan prosedur untuk pengisian ulang gas pada switch. Interlock gas ini hanya merupakan alat-alat pendukung. Operator harus selalu memeriksa tampilan tekanan gas dalam ruang kontrol dan indikator tekanan gas rendah sebelum operasi load break switch.

6-3-1-3 Memori Switchgear

SCEM di dalam kompartemen motor memiliki sebuah memori elektronik untuk menyimpan informasi tentang unit tersebut. Informasi ini meliputi nomor seri, breaking rating, continuous current rating, jumlah operasi mekanis, jumlah operasi mekanis, tegangan terukur, dan sisa umur kontak (per fasa) yang kesemuanya tersedia pada tampilan operator. Yang perlu mendapat perhatian bahwa counter operasi-operasi mekanis pada bagian bawah load break switch bisa berada di luar jalur ketika hitungan operasi disimpan dalam memori jika switch dioperasikan secara manual tanpa koneksi dan power up ruang kontrol. Demikian pula, umur kontak pada memori switchgear bisa tidak benar jika operasi switching manual dilakukan tanpa ruang kontrol terhubung dan di power up.

6-3-1-4 Umur Kontak

Puffer interrupter dalam load break switch memiliki rating tugas yang diberikan pada Bagian 3. elemen-elemen elektronik kontrol mengukur making/breaking current setiap saat load break switch beroperasi. Arus terukur ini digunakan untuk menghitung jumlah pemakaian kontak yang telah dialami setiap interrupter dan sisa umur kontakpun diupdate.

Sisa umur kontak disimpan dalam memori switchgear dan dapat ditampilkan dalam ruang kontrol. Jika sisa umur kontak mencapai nol pada fasa manapun maka load break switch harus diperbaharui.

Karena breaking current aktual diukur dan sebagian besar beban benar-benar lebih rendah dari line current maksimum, maka metode pemantauan ini diharapkan akan memberikan umur operasi yang lebih panjang dari metode penghitung operasi sederhana.

6-3-1-5 Penyambung ke Kontak Kontrol

Load break switch dihubungkan ke ruang kontrol dengan sebuah kabel kontrol. Kabel ini dimasukkan ke kompartemen motor pada bagian bawah switchgear.

Kabel kontrol membawa hubungan-hubungan berikut ini :

- Signal-signal operasi motor
- Travel switches yang memantau posisi kontak-kontak (satu switch yang menandakan close dan lainnya menandakan open) dan posisi gas interlock/interlock mekanis.
- Transformer-transformer arus dan layar-layar tegangan yang dimasukkan dalam bushing-bushing yang mengirimkan signal ke elemen-elemen elektronik untuk memonitor line current arus bumi dan tegangan fasa/bumi. Jika kabel kontrol dilepas (pada salah satu ujungnya) maka signal-signal ini secara otomatis dipersingkat oleh elemen arus di dalam load break switch.
- Signal-signal untuk membaca dan menulis memori switch.

6-3-1-6 Kontak Kontrol dan Panel Peralatan

Kontak control dirancang untuk tujuan pengoperasian untuk tiang pancang di ruang terbuka. Kontak kontrol tersebut mempunyai jendela ber-engsel yang dapat diakses oleh petugas operasional dalam segala cuaca sebuah pintu masuk untuk staf pemeliharaan.

Baik pintu maupun jendela tersebut dapat digembok untuk demi keamanan dan pintu bisa dipindahkan jika perlu. Gambar 6-20 menunjukkan dimensi ruang control. Di dalam cover terdapat sebuah panel peralatan dengan ciri-ciri utama berikut.

- Ruang kabel-kabel menampung transformer-transformer kabel LV dan sakelar pemutus untuk batere dan suplai Bantu.
- Ruang elemen-elemen elektronik menampung Modul Kontrol dan Proteksi (CAPM) dan Sub-Sistem Panel Operator (OPS). Ruang ini disegel untuk melindungi elemen-elemen elektronik dari polusi udara.
- **Ruang batere** menampung 2 batere 12 Volt.
- **Slot untuk radio** digunakan untuk menaikkan radio komunikasi, modem atau kartu IOEX. Nampan ini tergantung ke bawah untuk mengekpos radio/modem dan dapat dilepaskan untuk pemasangan radio.modem.
- **Modul Entri Kabel Kontrol** menyediakan terminasi dan penyaringan untuk kabel control, modul ini ditempatkan di belakang sebuah panel yang dapat dipindahkan.
- Kabel control yang masuk dihubungkan ke P1 dari CCEM, alat pemasang kabel N03-505 dihubungkan ke P2 dari CCEM.

- **Kompartemen pemanas** untuk pemanas ruang control.

Di tengah panel peralatan terdapat sebuah pipa karet untuk saluran kabel yang menampung sistem kabel internal. Panel peralatan dapat dipindahkan dengan melepaskan hubungan-hubungan eksternal dan baut-baut ini bisa dilakukan di lapangan jika dianggap perlu untuk mengganti keseluruhan panel peralatan. Demikian pula mungkin lebih mudah untuk mengganti seluruh ruang control.

Panel peralatan diatur sedemikian sehingga komponen-komponen yang sensitif terdapat panas, batere ditempatkan di bagian bawah dekat tempat masuknya udara. Pada keadaan-keadaan tropis, pengaturan ini menjamin batere dapat bertahan dalam beberapa derajat suhu sekitar setiap saat dan dengan demikian memaksimalkan umur batere. Di samping bagian yang paling menimbulkan panas, suplai listrik ditempatkan di bagian atas ruang sehingga dapat meminimalkan dampak pemanasan pada bagian-bagian lain.

6-3-1-7 Penyegelan dan Kondensasi

Semua lubang angin dipasang saringan untuk mencegah masuknya binatang-binatang kecil dan pintunya disegel dengan pita busa yang dapat diganti. Segel penuh terhadap air pada semua kondisi tidak diharapkan, misalnya selama operasi pada waktu hujan dengan jendela dalam keadaan terbuka. Oleh karena itu rancangannya dibuat sedemikian rupa sehingga jika ada air yang masuk, air itu akan terus mengalir ke bawah dan keluar tanpa mengganggu bagian-bagian elektrik atau komponen-komponen elektronik. Keadaan ruang memiliki sistem pemanas dan ventilasi yang baik sehingga menjamin tidak terjadinya kelembaban. Penggunaan baja anti karat dan bahan-bahan tahan air menjamin kelembaban yang terjadi tidak menimbulkan dampak yang merusak.

Kondensasi dapat terjadi pada beberapa keadaan atmosfer seperti badai tropis. Tetapi karena rancangan yang memiliki isolasi dan ventilasi yang baik, kondensasi akan terjadi pada permukaan-permukaan logam tanpa memberikan dampak yang berarti. Air akan keluar dengan lancar. Kondensasi akan keluar ke bawah dan kering oleh karena ada sistem ventilasi dan pemanasan.

6-3-1-8 Sumber Tenaga Tambahan

Supply tenaga tambahan digunakan oleh kotak control untuk mempertahankan daya pada batere lead-acid yang telah disegel yang digunakan untuk tenaga cadangan saat tenaga tambahan padam. Tenaga tambahan berasal dari salah satu dari dua sumber berikut ini :

- Suplain LV disediakan oleh utility. Sehingga terhubung ke kotak control. Dalam hal ini ruang control dipasang dengan sebuah transformer yang cocok dan plat namanya menunjukkan tegangan supply tambahan yang diperlukan.

- Supply kabel HV ke transformer tegangan (VT), dipasang pada kutub dan dihubungkan ke dalam Switch Cabel Entry Module (SCEM) dalam kompartemen motor. Ini disebut HV supply. Dalam hal ini plat rating pada transformer mengindikasikan rating tegangan.
- Bagian 6 memberikan rincian tentang earthing dan hubungan listrik bantu.

6-3-1-10 Slot untuk memasukkan kabel

Semua kabel masuk ke ruang control melalui bagian bawah seperti terlihat pada Gambar 6-22. Saluran masuk kabel disediakan untuk :

- Kabel control dari recloser yang disambungkan ke connector P1 di dasar ruang batere.
- Satu atau dua mains supply yang di belakang panel peralatan. Dua lubang 20 mm yang disediakan untuk entri kabel.
- Kabel komunikasi/antenna radio, lubang 16 mm disediakan untuk entri kabel.

6-3-1-11 Tempat Injeksi Arus

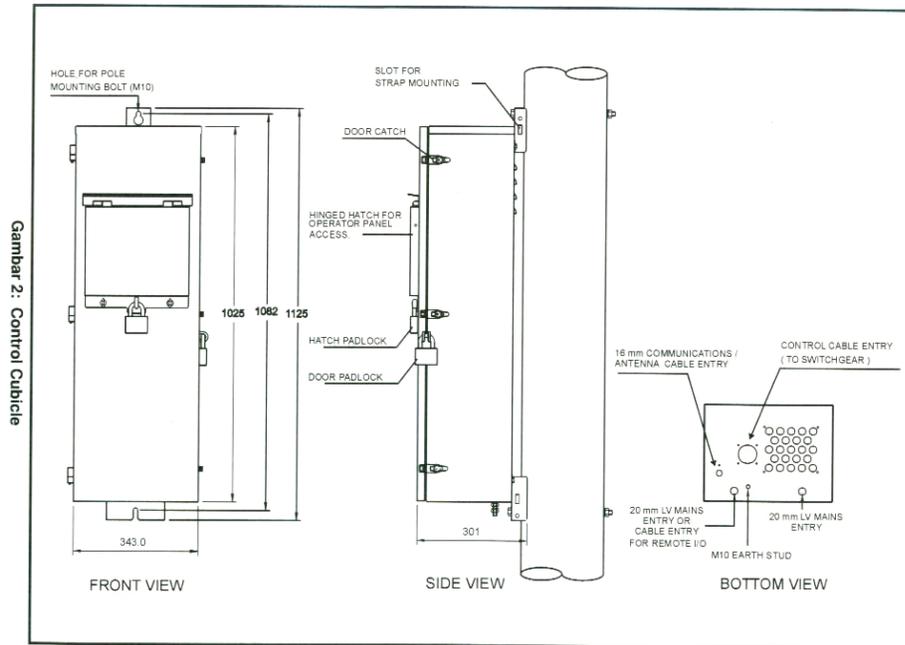
Sebuah konektor enam arah yang disebut “Poin Injeksi Arus” terletak pada kompartemen utama. Konektor ini digunakan dengan Test and Training Set (TTS) untuk melakukan injeksi sekunder sementara switchgear terhubung. Proses ini membuat injeksi peralatan tanpa diskoneksi.

6-3-1-12 Indikator Gangguan

Indikator gangguan eksternal pilihan dapat dipasang pada bagian atas kontrol atas ruang kontrol. Ini adalah xenon stobe yang akan menyala jika elemen elektronik kontrol mendeteksi adanya gangguan pada Load Break Switch.

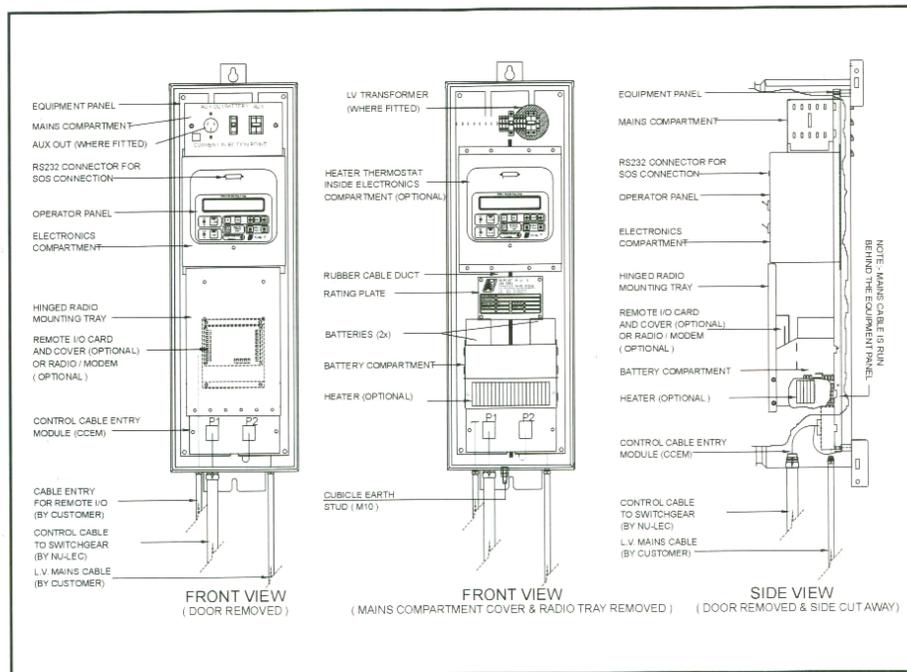
Setelah suatu event Maximum Current diadakan (di mana gangguan telah berakhir) arus-arus line dipantau selama satu detik. Jika arus pada ketiga fasa jatuh ke nol selama waktu ini maka event Supply Interrupt akan diadakan yang mengindikasikan pembukaan sebuah pemutus arus hulu. Arus nol ditentukan sebagai ambang untuk tampil pada panel kontrol operator.

Sebuah Supply Interruption Counter ditambah setiap saat suatu event Supply Interrupt terjadi. Current tersebut diset ke nol jika line-nya bebas dari gangguan selama waktu reclaim yang dikonfigurasi oleh user (Reclaim Time 30s) sementara load break switch tertutup. Dengan cara ini Supply Interruption Counter menghitung operasi pemutus arus hulu (atau reclose) dalam suatu urutan gangguan. Nilai Supply Interruption Counter ditunjukkan dalam event Supply Interrupt. Ketika reclaim timer telah lewat waktu berlalu maka suatu event Reclaim Expired akan diadakan.



Gambar 2: Control Cubicle

Gambar 6-20. Ruang Kontak Kontrol Load break switch



Gambar 3: Equipment Panel

Gambar 6-21. Panel Perlengkapan Load break switch

Jika arus jatuh ke nol hanya pada fasa yang mengalami gangguan (mungkin karena operasi sekering) maka suatu event Phase Interrupt diadakan hanya untuk fasa tersebut dan Supply Interruption Counter tidak ditambah.

Elemen elektronik control memantau layar-layar tegangan yang ada di dalam H.V bushings untuk menentukan apakah bushing-bushing dalam keadaan hidup. Live line ditunjukkan pada tampilan real time ketika tegangan fasa/tanah bushing melebihi ambang yang dikonfigurasi oleh user. Status live line digunakan untuk membangkitkan event-event saat kehilangan supply.

Untuk menentukan apakah supplynya hidup, maka status live line harus ditambah pada ke tiga bushing pada sisi line selama waktu yang ditetapkan oleh user.

Event-event deteksi gangguan yang digambarkan di atas bisa mengeset bendera-bendera deteksi dalam memori microprosesor elektronik kontrol. Event-event ini digunakan untuk mengindikasikan gangguan yang menggunakan indikator gangguan eksternal pilihan.

User bisa mengkonfigurasi sistem sehingga bendera-bendera diset hanya dengan event-event Supply Interrupt dan Phase Interrupt (*interrupted fault*). Setting pertama ini akan mengindikasikan semua gangguan. Setting kedua hanya akan mengindikasikan gangguan-gangguan yang telah diinterupsi dengan suatu sekering hulu atau Circuit Breaker. Bendera-bendera ini mungkin tersedia untuk telemetry pada sebuah komputer pengawas jika didukung dengan protocol telemetry yang dipasang dalam CAPM.

Load Break Switch dilengkapi dengan automatic sectionalising logic. Sectionalising logic membuka Load Break Switch selama waktu matinya circuit breaker hulu setelah trip dan recluse sebanyak jumlah yang dikonfigurasi oleh recluser. Waktu mati circuit breaker hulu harus diset menjadi lebih besar dari 1,2 detik.

Keistimewaan sectionaliser bisa dimungkinkan atau tidak dimungkinkan oleh operator dari panel kontrol operator. Sectionaliser menggunakan supply Interruption Counter untuk menghitung trip dari sebuah circuit breaker hulu selama suatu fault sequence. Ketika counter tersebut mencapai nilai yang dikonfigurasi user Load Break Switch. Trip secara otomatis. Ini menimbulkan event sectionaliser trip.

6-3-2 Pemasangan, Pembongkaran dan Pengecekan

Masing-masing krat berisi:

- Load Break Switch dengan kutup bagian atas
- Ruang kontrol (yang biasanya menampung dua baterai kecuali telah dibuat pengaturan dimana baterainya dikirim secara terpisah)
- Kabel kontrol

- Enam cable tail baik dengan the reded lug untuk disekrup ke dalam bushing secara langsung atau dengan lug datar untuk dipasang pada piringan yang telah terpasang pada bushing-bushing.
- Enam bushung boot, tabung lemak silikon dan spanner pemasang boot
- Pole mounting bracket
- Penjepit untuk memasang switch ke pole mounting bracket
Alat-alat yang diperlukan pada pembongkaran:
- Obeng dan kunci pembuka mur 3/16 hex untuk membuka krat.
- Dua alat penahan dan derek dengan daya angkut 200 kg untuk mengangkat saklar pemutus arus.
- Pindahan bagian atas krat dan keluarkan kabek-kabel HV, kabel kontrol dan semua item di bagian atas krat. Simpan di tempat yang bersih dan kering.
- Buka kayu-kayu penyangga, pasang alat penahan pada titik-titik pengangkatan pada Load Break Switch dan keluarkan Load Break Switch untuk diletakkan di atas tanah dengan menggunakan derek.
- Angkat ruang kontrol dan letakkan di tempat yang bersih.
- Keluarkan kotak-kotak aksesoris dan letakkan di tempat yang bersih dan kering.
- Buka sekrup dan keluarkan mounting bracket dan letakkan di tanah.

6-3-2-1 Testing dan Konfigurasi

- Uji coba dapat dilakukan di lokasi atau dibengkel sesuai dengan keinginan.
- Bongkar kratnya dan letakkan kabel-kabel HV dan kabel kontrol di tempat yang bersih dan aman agar tidak rusak dan kotor. Buat ground connection sementara antara ruang kontrol dan saklar pemutus arus, yang hanya membutuhkan kabel tembaga 1mm².
- Pindahkan plat penutup akses pada ruang motor dan sambungkan kabel kontrol ke P1 di Switch Cable Entry Module (SCEM).
- Matikan listrik di kotak kontrol dengan mematikan seluruh MCB. Harus diperhatikan bahwa hal ini harus dilakukan ketika menyambungkan atau memutuskan kabel kontrol dari kotak kontrol. Pindahkan penutup kotak kontrol dan masukkan kabel kontrol tersebut dan sambungkan ke konektor P1 pada Control Cable Entry Module (CEM).
- Jika ruang kontrol tidak dilengkapi untuk LV auxiliary supply (karena sebuah suplai HV terpadu adalah untuk dihubungkan ke Load Break Switch di lokasi) maka bisa dibuat suplai bantu sementara dengan menghubungkan suplai AC 24 V terpadu dan terisolasi atau DC 32 Volt 24 VAC atau 32 VDC antara terminal 2 dan 3 dari blok terminal pada mains compartment. Batere 36 V terisolasi adalah cara yang

baik. Perhatikan bahwa ini terhubung langsung ke CAPM dan tidak dapat dimatikan dengan pemutus arus ruang kontrol.

- Hidupkan batere dan pemutus arus suplai bantu pada bagian atas ruang kontrol dan lakukan uji coba berikut:
 - Trip dan close manual dari saklar pemutus arus.
 - Tes isolasi koneksi-koneksi tegangan tinggi ke bumi untuk mengecek kerusakan-kerusakan pada saat pengiriman pada sisi tegangan dari saklar pemutus arus.
 - Mengkonfigurasi setting-setting proteksi.
 - Lakukan injeksi arus primer sesuai persyaratan
 - Lakukan injeksi arus sekunder sesuai persyaratan dengan menggunakan *tesk and training Set* (TTS)
 - Plat radio/modem dapat dilepaskan sekiranya dan radio atau modem dapat dipasang, dihubungkan dan dicoba sesuai persyaratan.
 - Jika Load Break Switch telah disambungkan ke powered up cubicle contor maka jangan mencabut atau mematikan ruang control sebelum panel operator berhenti berkedip.
 - Ikuti perintah perawatan batere yang diberikan dan perhatikan bahwa memasang batere dengan reverse polarity akan menyebabkan kerusakan pada sistem-sistem elektro elektronik.
 - Mungkin untuk sementara ini lebih baik memasang cable tails dan penangkal arus kejutan ke switchgear.

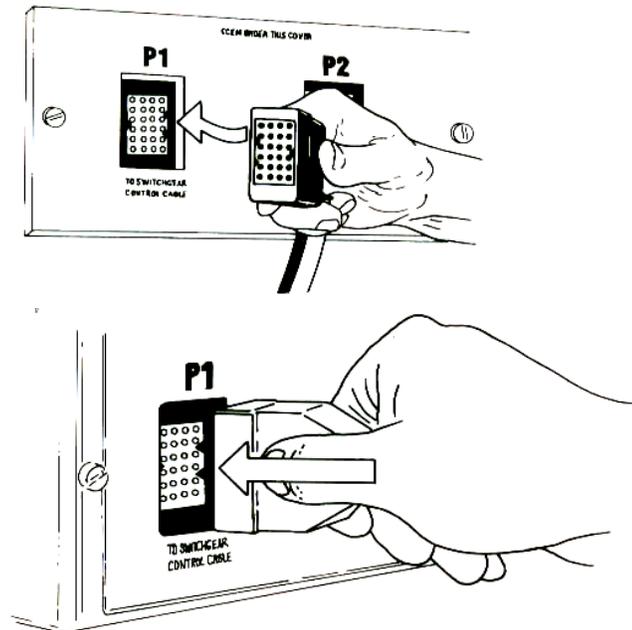
6-3-2-2 Pengangkutan ke Lokasi

Jika pembongkaran dan pengujian dilakukan di bengkel maka pemutus arus dan ruang kontrol harus diangkut ke lokasi. Penting untuk dilakukan langkah-langkah berikut ini:

- Matikan semua pemutusan ruang kontrol dan cabut semua supply daya bantu. Cabut kabel kontrol dari pemutus arus dan ruang kontrol dan letakkan kembali platpenutup pada bagian dasar pemutus arus.
- Pindahkan batere dari ruang kontrol untuk diangkat secara terpisah atau amankan batere dalam ruang kontrol.
- Angkat saklar pemutus, ruang kontrol dan semua bagian dengan cara yang baik dan aman.

6-3-2-3 Memasang dan Mencabut Kabel Kontrol

Perhatikan bahwa kabel kontrol tidak simetris, plat ujung dengan sudut mitred terhubung ke switchgear dan dibutuhkan teknik yang benar untuk menghubungkan dan melepaskan kabel kontrol. Lihat Gambar 6-25 dan 6-26.



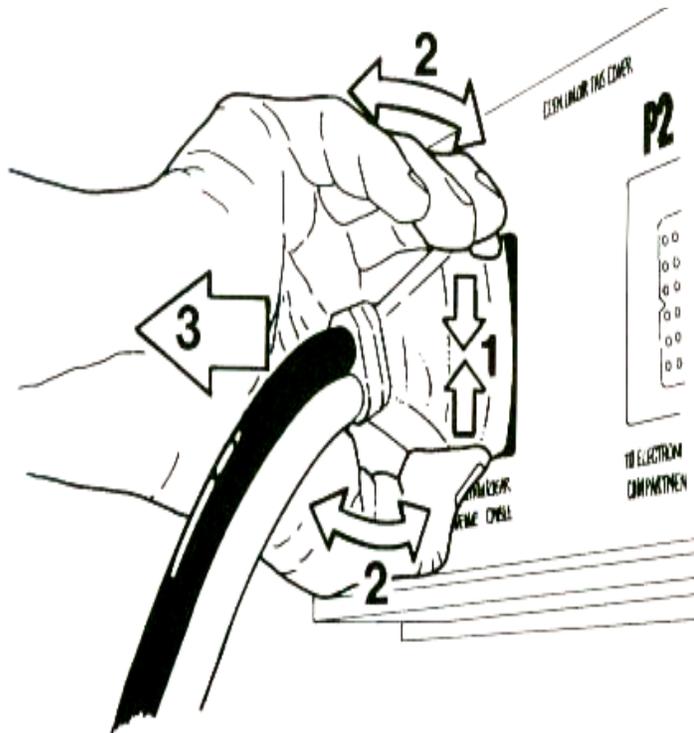
Gambar 6-22. Menghubungkan Kabel

- *Untuk menusuk kontak* : pegang tusuk kontak pada sisi panjang, cek orientasinya, letakkan dengan pelan-pelan soket/tampuk dan dorong agak kuat. Cek apakah sudah terkuncinya yaitu dengan menggoyang-goyang kontak itu. Jika kontaknya tidak bisa didorong dengan kekuatan sedang maka posisinya belum benar. Tetapi jangan dorong terlalu keras.
- *Untuk mencabut kontak*: pegang tusuk kontak pada sisi-sisi pendek pegang dengan cengkeraman yang keras untuk melepaskan klip-klip yang ada di dalam yang tidak terlihat. Kemudian digoyang-goyang untuk melepaskan klip-klip tersebut kemudian cabut kontakannya jangan mencabut kontak dengan menarik kabelnya.

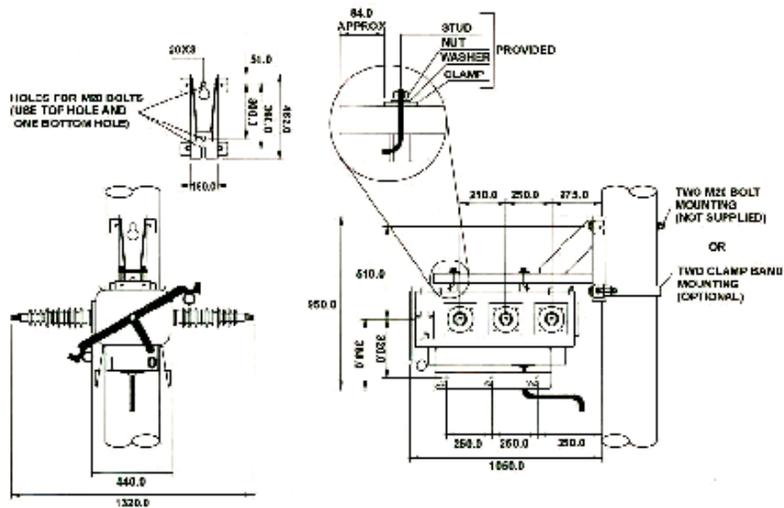
6-3-3 Pengujian Load Break Switch

Kabel-kabel HV disupply dalam dua bentuk:

- Dilengkapi dengan lug untuk dipasang pada ujung bushing (250 atau 400A).
- Dilengkapi dengan threaded termination yang disekrupkan ke dalam bushing (630A). Untuk kedua bentuk tersebut prosedurnya adalah untuk memasang kabel pada bushing dan kemudian menutupnya dengan bushing boot seperti yang digambarkan pada bagian-bagian berikut (Lihat Gambar 6-27)
- Perhatikan bahwa isi silikon sangat penting karena menjamin baut tersegel ke bushing dan tidak ada air yang masuk.



Gambar 6-23. Melepaskan Kabel Kontrol



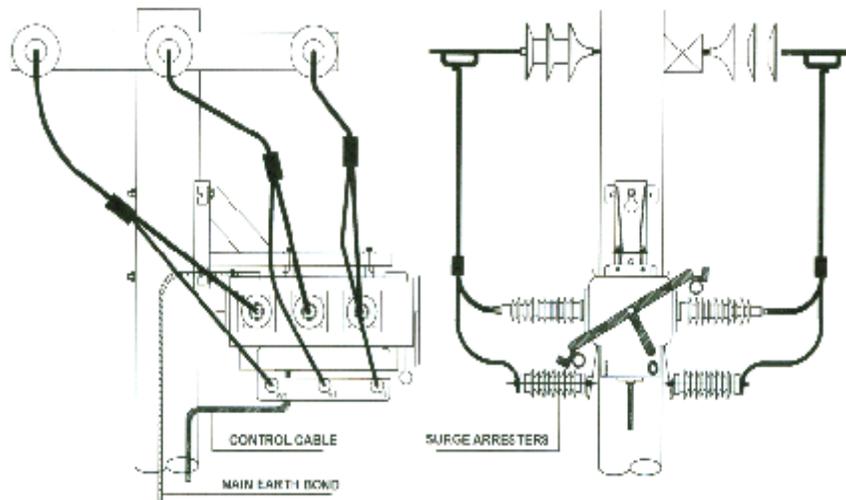
Gambar 6-24. Pengujian Load Break

- Bushing disuplai dalam keadaan bersih dan dilindungi dengan kap busa. Pastikan tidak terjadi gangguan dan badan bushing konduktor tengah berlapis timah atau palm dalam keadaan bersih dan tidak ada kerusakan. Jika bushingnya kotor maka harus dibersihkan dengan *spirtus meyil*. Sikat atau gosok dengan kertas pasir untuk menghilangkan oksida.
- Beri pelumas ada bushing dan konduktor dengan lemak silikon yang disediakan.
- Bongkar cable tail dan bushing boots. Pastikan bahwa terminai kabel dan boot dalam keadaan bersih dan tidak ada kerusakan, jika perlu, bersihkan dengan spirtus metal.
- Dorong bootnya lewat kabel sejauh kira-kira 1 meter dari terminasi (beri sedikit pelumas pada ujung boot agar boot bisa dengan mudah didorong melalui kabel). Isi bushing boot dengan lemak silikon yang disediakan, mulai dari ujung closed end sampai kira-kira 60 mm dari ujung lainnya pen end dari boot tersebut. Saat anda mengisi boot terus geser boot tersebut kebawah. Ini akan mendorong lemak ke dalam boot.
- Untuk kabel-kabel dengan ujung spiral sekrup, masukkan ke dalam bushing dengan memutar seluruh cable tail. Kencangkan sampai 70Nm dengan menggunakan spanner di seluruh locknut yang terpasang. Hati-hati agar ini dilakukan dengan pelan-pelan.
- Untuk kabel-kabel yang mempunyai lug pada ujungnya. Gorokkan pasta pesekat aluminium dan pasang lug itu pada bushing palm dengan baut yang tersedia dan kencangkan sampai 60Nm. boot kebawah sambil memutar-mutarkan bootnya. Pasang pada tempatnya dengan menggunakan cincin penjepit dan spanner yang tersedia. Dasar boot harus benar-benar duduk di atas tangki saklar pemutus. Selama proses pengepitan akan silikon akan keluar dari bagian atas boot tempat ujung kabel keluar. Ini hal yang biasa dan bisa dibantu dengan memasukkan obeng kecil ke dalam boot di sepanjang ujung kabel (*cable tail*). Lemak silikon juga akan keluar dari saklar dasar bushing. Ini hal yang biasa. Lap lemak silikon yang keluar itu dengan kain bersih. Perhatikan bahwa anda harus mendorong boot dengan keras agar boot bisa turun cukup jauh agar bisa terpasang dengan baik pada cincin penjepit.
- Lumasi permukaan bushing, geser bushing Pada cuaca dingin anda harus mendorong sangat keras. Pemasangan boot ini paling baik dikerjakan oleh dua orang, satu orang mendorong dan lainnya memasang dan memutar cincin penjepit.

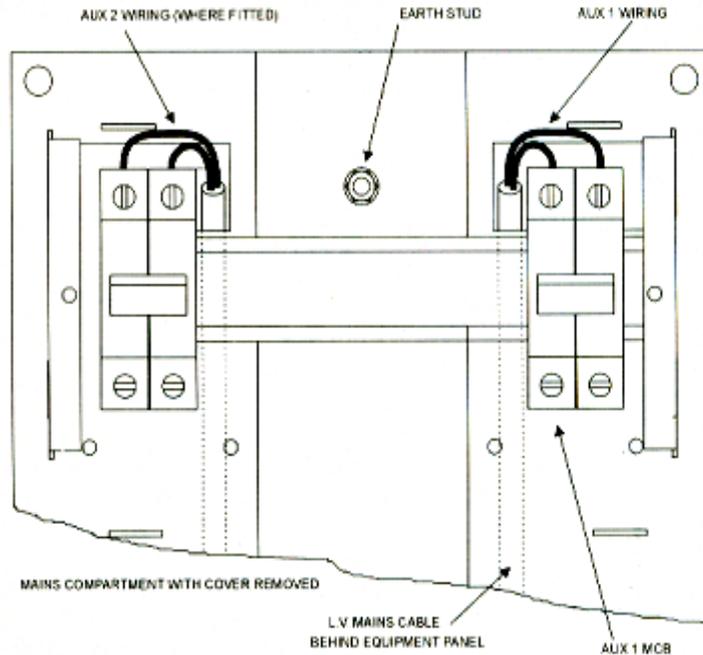
6-3-4 Pemasangan dan Penyambungan Surge Arrester

Tersedia penyangga-penyangga untuk penangkal arus kejutan pada kaki-kaki Load Break Switch.

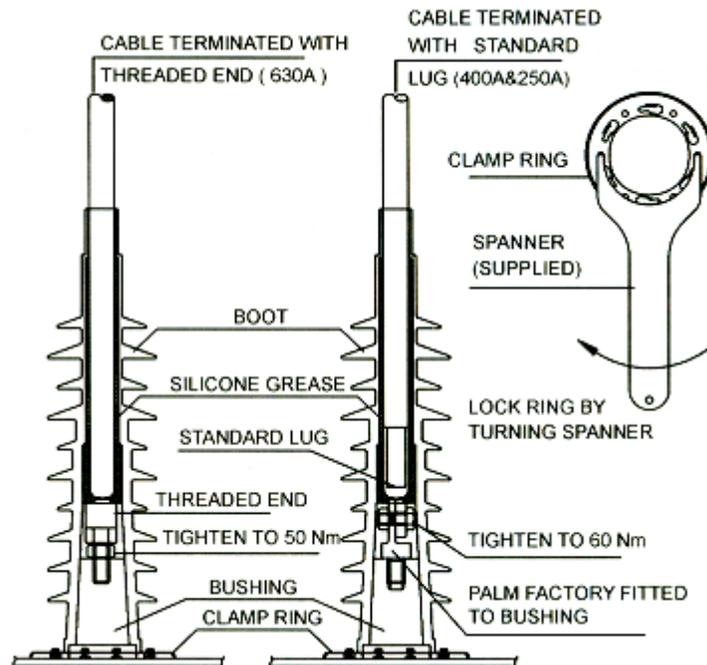
Hubungan-hubungan dari penangkal arus kejutan ke *tail* kabel bisa dibuat dengan mengupas isolasi *tail* kabel dan menggunakan klem paralel atau tipe T untuk membuat koneksi ke *tail* kabel. Kabel *tail* memiliki pelindung terhadap air sehingga tidak diperlukan penahan air tambahan di mana isolasinya telah dibuka. Tetapi baik juga untuk membalut dengan pita pada sambungan untuk menjaga isolasi sistem kabel.



Gambar 6-25. Terminal Tegangan Tinggi



Gambar 6-26. Sambungan Suplai Tegangan Rendah



Gambar 6-27. Sambungan Kabel Ujung

6-3-5 Pentanahan

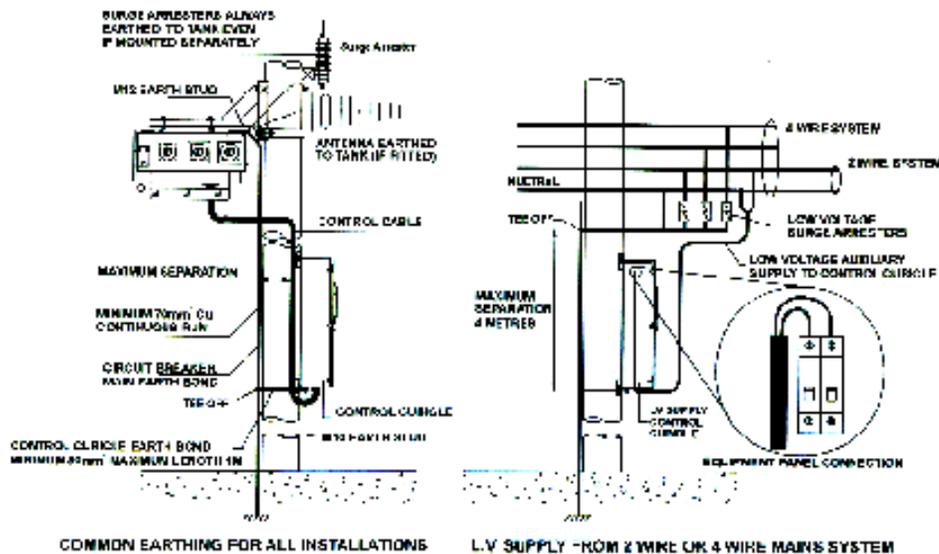
Gambar 6-28 Menunjukkan pentanahan yang umum bagi semua instalasi. Sistem ini menghubungkan Load Break Switch dan penangkal arus secara langsung ke tanah melalui main earth bond yang terdiri dari sebuah konduktor tembaga paling kurang 70mm^2 kejutan-kejutan apapun akan mengalirmelalui saluran ini. Jangan menghubungkan penangkal arus kejutan dengan saluran yang berbeda, karena jika hal tersebut dilakukan akan mengakibatkan kerusakan pada elemen-elemen elektronik kontrol atau saklar pemutus arus.

Juga antena manapun harus dihubungkan ke saklar pemutus arus atau earth bond utama.

Ruang kontrol dihubungkan ke main earth bond dengan sebuah tee-off. Elemen-elemen elektronik ruang control terlindung secara internal dari perbedaan-perbedaan [potensial yang bisa terjadi antara

kerangka saklar pemutus arus dan kerangka ruang control sementara arus-arus kejutan mengalir turun melalui main earth bond.

Tidak diijinkan adanya koneksi-koneksi laun untuk menghubungkan dari ruang control karena arus-arus kejutan juga akan melangir melalui saluran-saluran itu. Pengaturan ini harus diikuti konduksi dan insulasi kutub-kutub listrik.



Gambar 6-28. Suplai Tegangan Rendah dan Terminal Grounding

Main earth bond harus dipisahkan secara fisik dari kabel karena di sepanjang kutub listrik tersedia space yang maksimal. Ukurannya adalah 200 mm untuk kayu dan kutub konkrit dan 100 mm untuk kutub baja.

6-3-6 Listrik LV tambahan dari Saluran Utama

Dimana LV mains dihubungkan ke ruang kontrol untuk menyediakan listrik bantu maka hubungan tersebut harus menghubungkan sisi netral dari sistem LV ke sebuah tee-off dari main earth bond seperti ditunjukkan pada Gambar 6.32. Sebuah penangkal arus kejutan LV juga harus dipasang dari koneksi fasa LV ke tee-off ini.

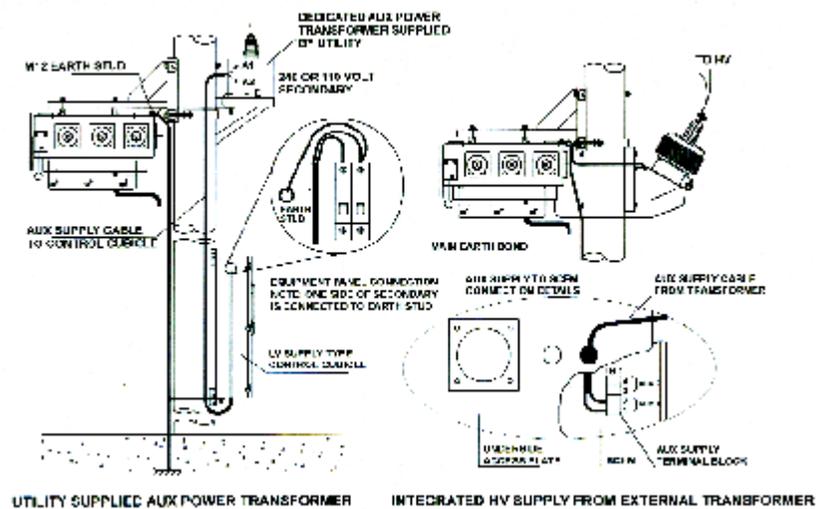
Rancangan koneksi ini menghubungkan LV dan HV earth sehingga melindungi insulasi utama dari transformer supply bantu dalam ruang kontrol saat arus-arus kejutan sedang mengalir. Penangkal arus kejutan LV tambahan harus dipasang pada semua fasa LV lainnya (jika ada) untuk keseimbangan supply untuk pengguna lain yang terhubung ke sistem LV. Jika kondisi lokal atau aturan sistem kabel melarang bonding sistem-sistem LV dan HV dengan cara ini maka supply bantu ke ruang kontrol dari LV mains sistem tidak mungkin ada. Maka harus digunakan salah satu pengaturan alternatif yang dijelaskan di bawah ini.

Gambar 6-29 menunjukkan koneksi-koneksi jika transformer resmi disupply oleh utility. Gambar 6-29 juga menunjukkan bahwa transformator dan peralatan baja apapun dihubungkan ke tangki saklar peralatan di dalam ruang kontrol.

Transformer tegangan tersedia baik di dalam atau diluar tangki saklar pemutus arus yang secara langsung terhubung ke dalam elemen-

elemen elektronik kontrol. Ini disebut Integrated auxiliary Supply. Koneksi-koneksi ditunjukkan Gambar 6.29.

Transformer naik pada kutub daya dan terhubung ke dalam SCEM di dalam kompartemen motor dan Load Break Switch. Untuk menghubungkan sekunder transformer, plat akses dan salah satu blanking plug 20mm SCEM di pindahkan. Saluran kabel yang terpasang sebelumnya dengan sebuah cable gland melalui lubang dan amankan gland tersebut.



Gambar 6-29 Gabungan Kabel suplai dari Terminal Trafo

6-3-7 Perawatan

Perawatan dilakukan dengan menggunakan alat-alat mekanis dan teknisi listrik standar. Tidak diperlukan perawatan user terhadap mekanisme Switch pemutus beban. Switch pemutus beban harus diperbaharui jika tugas mekanik dan tugas pemutusan sudah melewati batasnya.

Setiap lima tahun bushing boot harus dicek, bila perlu dibersihkan dan pointer dan tuas juga dicek untuk memastikan perangkat tersebut bebas dari gangguan mekanis. Didaerah-daerah yang memiliki tingkat polusi lingkungan yang tinggi perlu dilakukan pembersihan yang lebih sering. Cek gas low alarm secara rutin agar tidak muncul pada panel kontrol operator. Jika terlihat gas low, maka isi kembali SF_6 dengan menggunakan adaptor isi gas. Perawatan kotak pengendali diperlukan paling tidak setiap lima tahun. Membersihkan ruang kontrol, khususnya atapnya dan bersihkan. Lubang-lubang jendela pada ruang kontrol harus dipastikan tidak tersumbat dan juga lubang-lubang pendingin dan saluran air di bagian dasar dalam keadaan terbuka. Saat tutupnya dipindahkan, pastikan bahwa kasa penahan

sarangan tidak terganggu oleh kotoran atau debu. Penggantian batere adalah sebagai berikut:

- Matikan pemutus arus batere
- Cabut batere-batere dan gantikan dengan batere yang baru. Pastikan bahwa polaritasnya benar
- Hidupkansaklar pemutus arus batere dan pastikan bahwa status Battery Normal tersimpan pada tampilan status sistem.

Pengecekan deteksi gangguan dan sectionaliser dilakukan sebagai berikut. Bypass dan isolasikan Load Break Switch dan lakukan uji injeksi primer untuk mencek fault detect dan operasi sectionaliser. Karet seal pintu juga perlu dicek apakah ada kerusakan atau pengerasan. Jika perlu ganti dengan segel yang baru. Batere diperkirakan akan memberikan penampilan yang baik selama periode lima tahun. Di beberapa lingkungan, suhu ruang kontrol yang terlampau tinggi bisa mengakibatkan periode penggantian batere yang lebih singkat. Jika telah digunakan, maka hanya sedikit perawatan yang diperlukan untuk batere. Prosedur penyimpanan dan kemungkinan-kemungkinan lainnya adalah sebagai berikut:

- Batere harus disimpan pada suhu kurang dari 30°C dan disiklus setiap enam bulan. Batere harus disimpan paling lama 1 tahun
- Batere harus diganti sebelum digunakan jika belum disiklus selama tiga bulan.
- Jika batere telah habis tegangannya dan dibiarkan lebih dari dua minggu tanpa diberi supply bantu ke ruang kontrol maka batere harus dikeluarkan, disiklus dan cek kapasitasnya sebelum digunakan kembali.

Untuk mensiklus batere discharge dengan rasistor 10 Ohm 115 Watt ke tegangan terminal 10V. Kemudian, isi kembali dengan supply DC pengaturan tegangan yang diset ke 13,8V, supply terbatas arus 3A akan tepat sekali.

6-3-8 Pengisian Kembali Gas SF₆ untuk Switch Pemutus Beban

Pengisian ulang SF₆ pemutus arus dilakukan dengan menggunakan Gas Fill Adaptor (GFA) dan sebuah silinder SF₆ ukuran D standar. Prosedur pengisian ulang adalah sebagai berikut:

- Pindahkan kap dari katup isi gas pada sisi katub Load Break Switch
- Hubungkan adaptor isi gas ke silinder SF₆ buka pelan-pelan katup pada silinder untuk mengalirkan gas ke dalam selang. Tutup katup pada silinder SF₆.
- Dorong cincin pada katup isi gas dan colokkan pasangan selang adaptor isi gas. Tekanan gas Load Break Switch sekarang akan terlihat pada pengukuran tekanan.
- Buka katupnya pada bagian ukuran untuk melepaskan gas ke dalam saklar pemutus arus. Operasi ini akan dilakukan perlahan-lahan dan Anda harus berhati-hati agar tekanan pada saklar pemutus tidak

terlampau tinggi. Katup pelepasan dipasang pada adaptor isi gas untuk tujuan keamanan, namun tidak menjamin tidak melindungi saklar pemutus dari tekanan tinggi. Jika kelebihan gas dimasukkan dalam saklar pemutus maka dapat dikeluarkan dengan memutuskan hubungan adaptor isi gas dari silinder gas.

- Isi ulang Load Break Switch sampai pada tekanan di bawah 200kPa pada pengukuran (gauge) terkoreksi oleh +/- 1kPa untuk setiap derajat Celsius di atas/di bawah 20°C.
- Cabut katup selang isi gas dengan mendorong cincin pada katup isi gas.
- Pindahkan cincin 'O' lama dari katup isi gas dan buang. Bersihkan tempat peletakan cincin 'O' pada katup isi gas dan kap dengan kain bersih. Kencangkan kembali kapnya.

6-3-4-5 Pencarian Gangguan

Gangguan hanya bisa terjadi pada salah satu di antara:

- Saklar pemutus beban
- Kabel Kontrol
- Ruang Kontrol

Cara terbaik untuk menentukan bagian mana yang mengalami gangguan adalah dengan menggunakan Test and Trainig Set. Jika tidak tersedia Test and Training Set maka gunakan switchgear chec seperti yang disarankan di bawah ini dan gunakan teknik-teknik substitusi untuk menentukan dimana letak gangguan. Load Break Switch yang mengalami gangguan bisa dikembalikan ke pabrik untuk diperbaiki.

Kabel-kabel kontrol yang mengalami gangguan harus diganti. Ruang kontrol yang mengalami gangguan bisa dicek dan diperbaiki seperti petunjuk di bawah ini.

6-3-4-6 Pemeliharaan Switchgear dan Kabel Kontrol

Hubungan-hubungan ke Load Break Switch tersedia pada SCEM dalam kompartemen motor dan/atau di atas konektor kabel kontrol yang masuk P1 pada Control cable Entry Module (CCEM) bagian bawah ruang kontrol. Beberapa (tetapi tidak semua) koneksi ini secara sederhana bisa diuji dengan DVM. Ini bisa menunjukkan gangguan-gangguan Load Break Switch dengan uji yang sederhana.

Tabel di bawah ini bisa digunakan untuk mengecek swirchgear dan kabel kontrol. Uji ini harus dilakukan dengan kabel kontrol yang tersambung ke dalam switchgear dan ujung ruang kontrol tidak tersambung.

6-4 Pengaman

Jaringan distribusi berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari pusat beban ke pihak pelanggan melalui jaringan listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Karena fungsinya tersebut maka keandalan menjadi faktor sangat penting, untuk itu jaringan distribusi dilengkapi dengan pengaman.

Ada tiga fungsi sistem pengaman, yaitu untuk: (i) mencegah atau membatasi kerusakan pada jaringan beserta peralatannya, (ii) menjaga keselamatan umum akibat gangguan listrik, dan (iii) meningkatkan kelangsungan atau kontinuitas pelayanan kepada pelanggan.

Sistem pengaman yang baik harus mampu: (a) melakukan koordinasi dengan sistem TT (GI/transmisi/pembangkit), (b) mengamankan peralatan dari kerusakan dan gangguan, (c) membatasi kemungkinan terjadinya kecelakaan, (d) secepatnya dapat membebaskan pemadaman karena gangguan, (e) membatasi daerah yang mengalami pemadaman, dan (f) mengurangi frekuensi pemutusan tetap (permanen) karena gangguan. Di samping itu, setiap sistem atau alat pengaman harus mempunyai kepekaan, kecermatan dan kecepatan bereaksi yang baik.

Tabel 6-5. Panduan Pengujian Switchgear

Pin	Tes	Penggunaan	Hasil Yang diharapkan
1-ve to 5+ve	Resistance	Motor Relay	10 to 15 kOhm (expect a long delay when taking this measurement because of a parallel capacitor)
2 to 5	DC Voltage	Integrated auxiliary supply tranformer (if fitted). This has been rectified internally so a DC full wave rectified signal is present	25 to 45 VDC measured with a true RMS meter when the transformer primary is energized.
3 to 5	Resistance	Motor Relay	10 to 15 kOhm (expect a long delay when taking this measurement because of a parallel capacitor)
4 to 8	Resistance	W phase CT	13 Ohm+/-3 Ohm
12 to 16	Resistance	V phase CT	13 Ohm+/-3 Ohm
20 to 24	Resistance	U phase CT	13 Ohm+/-3 Ohm
21 to 11	Resistance	Auxilliary	<5 Ohm when breaker is tripped >100kOhm when circuit breaker is closed
22 to 11	Resistance	Auxilliary travel switch closed indicates circuit breaker is closed	<5 Ohm when circuit breaker is cloded >100kOhm when circuit breaker is tripped

6-4-1 Kepekaan (sensitivitas)

Suatu pengaman bertugas mengamankan suatu alat atau bagian tertentu dari sistem tenaga listrik, alat atau bagian sistem yang termasuk dalam jangkauan pengamanannya atau merupakan 'daerah pengamanan'. Salah satu tugas suatu pengaman adalah mendeteksi adanya gangguan yang terjadi pada daerah pengamanannya dan harus memiliki kepekaan

untuk mendeteksi gangguan tersebut dengan rangsangan minimum, dan bila perlu men-trip-kan pemutus tenaga (pelebur) untuk memisahkan bagian sistem yang terganggu dengan bagian sistem yang sehat.

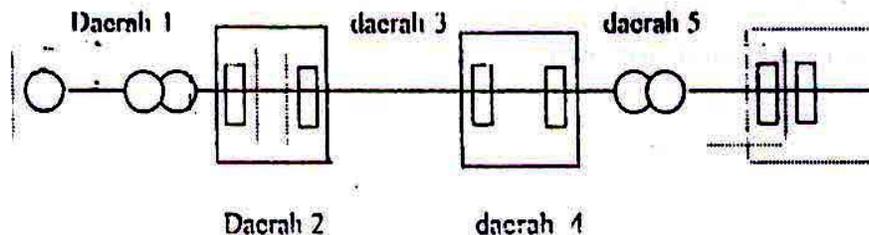
6-4-2 Kecermatan (Selektivitas)

Selektivitas dari pengaman adalah suatu kualitas kecermatan pemilihan dalam mengadakan pengaman bagian yang terbuka dari suatu sistem, oleh karena terjadinya gangguan sekecil mungkin jika dapat tercapai maka pengaman demikian disebut pengaman yang selektif.

Pengaman hanya akan bekerja selama kondisi tidak normal atau gangguan yang terjadi di daerah pengamanannya dan tidak akan bekerja pada kondisi normal atau pada keadaan gangguan yang terjadi di luar daerah pengamanannya. Gambar 6.30 memperlihatkan bahwa daerah-daerah yang berdekatan selalu saling menutupi bagian (overlap) hal ini memang perlu, karena jika tidak maka ada daerah yang dibiarkan tanpa pengaman atau disebut juga daerah mati (*dead zone*) jika terjadi gangguan di daerah overlap ini, maka mungkin kedua pengaman dari daerah bersangkutan sama-sama bekerja.

Kadang-kadang daerah pengaman suatu pengaman sengaja dibuat overlap dengan daerah pengaman seksi berikutnya, dengan maksud untuk memberi pengaman cadangan pada seksi berikutnya. Jadi daerah sendiri pengaman ini bertugas sebagai pengaman utama, sedangkan di seksi berikutnya bertugas sebagai pengaman cadangan dan untuk mendapatkan selektivitas maka pengaman diberi penundaan waktu (*time delay*). Jadi selektivitas dapat diperoleh dengan dua cara, yaitu:

1. Pembagian atas daerah-daerah pengaman
2. Koordinasi dengan peningkatan waktu (*time grading*).



Gambar 6-30. Daerah pengamanan gangguan

6-4-3 Keandalan (reliability)

Dalam keadaan normal pengaman tidak bekerja selama berbulan-bulan atau bahkan bertahun-tahun suatu pengaman tidak perlu bekerja, tetapi pengaman bila diperlukan harus dan pasti bekerja, sebab jika gagal bekerja dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah pada peralatan yang diamankan, atau mengakibatkan bekerjanya pengaman lain, sehingga daerah itu mengalami pemadaman yang lebih luas (*black out*). Pengaman

itu tidak boleh salah kerja (mistrip), sebab dapat mengakibatkan pemutusan-pemutusan yang tidak perlu dan pemadaman yang tidak semestinya.

Susunan alat-alat pengaman itu harus dapat diandalkan, baik pengaman itu sendiri maupun alat-alat lainnya serta hubungan-hubungannya. Keandalan pengaman tergantung kepada desain, pengerjaan (*workman ship*) dan perawatannya. Untuk beberapa pengaman tidak harus bekerja, tetapi harus pasti dapat bekerja bila sewaktu-waktu diperlukan. Oleh karena itu, pengujian secara periodik perlu sekali dilakukan khususnya rele+PMT. Hal ini dimaksudkan untuk:

1. Mengetahui apakah pengaman masih dapat bekerja sebagaimana mestinya
2. Mengetahui penyimpangan-penyimpangan karakteristik yang selanjutnya untuk mengadakan koreksi penyetelan
3. Membandingkan hasil-hasil pengujian sebelumnya, agar diketahui proses memburuknya rele pengaman alat bantu sehingga dapat direncanakan perbaikan dan penggantinya.

Hasil pengujian periodik dan catatan bekerjanya rele sebagai akibat gangguan sangat bermanfaat untuk mengadakan evaluasi dan analisa pengaman pada sistem tenaga listrik.

6-4-4 Kecepatan bereaksi

Makin cepat pengaman bekerja, tidak hanya dapat memperkecil kerusakan akibat gangguan, tetapi juga dapat memperkecil kemungkinan meluasnya akibat-akibat yang timbul oleh gangguan. Oleh karena itu, pada umumnya dikehendaki waktu kerja pengaman yang secepat mungkin.

Ada kalanya demi untuk terciptanya selektivitas dikehendaki adanya penundaan waktu (*time delay*), tetapi secara keseluruhan tetap dikehendaki penundaan waktu itu secepat mungkin. Di samping itu, harus diteliti pula apakah penundaan waktu itu tidak membahayakan bagian yang terganggu dan peralatan yang dilalui gangguan. Jika membahayakan, maka harus dicari jenis pengaman yang lain yang dapat memberi selektivitas yang baik dengan waktu yang lebih cepat.

6-4-5 Pentanahan Tegangan Menengah

Menurut fungsi pentanahan, sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu (a) pentanahan sistem (pentanahan netral) dan (b) pentanahan umum (pentanahan peralatan). Pentanahan sistem berfungsi untuk: (1) peralatan/saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan gangguan fasa ke tanah, (2) peralatan/saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan tegangan lebih, (3) makhluk hidup terhadap tegangan langkah (*step voltage*), serta untuk kebutuhan proteksi jaringan.

Sedangkan pentanahan umum berfungsi untuk melindungi: (1) makhluk hidup terhadap tegangan sentuh dan (2) peralatan dari tegangan lebih.

Dengan pentanahan tersebut diperoleh arus gangguan tanah yang besarnya bergantung pada impedansi pentanahan sedemikian rupa

sehingga alat-alat pengaman dapat bekerja selektif tetapi tidak merusak peralatan di titik gangguan.

Bagian yang diketanahkan adalah titik netral sisi TM trafo utama/gardu induk (pentanahan bertahanan) dan kawat netral sepanjang jaringan TM (pentanahan langsung).

Ada tiga macam pentanahan pada JTM, yaitu

a) Pentanahan netral dengan tahanan tinggi

Pentanahan dengan tahanan tinggi dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan keselamatan umum sehingga lebih layak memasuki daerah perkotaan dengan SUTM. Untuk jaringan 3 fasa hubungan bintang dengan kawat tahanan pentanahan 500 Ohm (pola I) di pasang titik netral sisi TM trafo utama,

$$RN = \frac{Xico}{3} \quad (6-11)$$

maka besar arus gangguan yang diijinkan adalah:

$$I_{kt} = 25 \text{ ampere}$$

di mana:

$Xico$ = Reaktansi kapasitif urutan nol dari jaringan

I_{kt} = Arus kawat tanah

Terjadinya busur listrik masih tetap dapat dicegah. Karena besar arus tanah lebih sangat kecil maka kerusakan peralatan pada titik gangguan sangat berkurang (hampir tidak ada). Bila diinginkan pelayanan dapat dipertahankan sekalipun masih ada gangguan tanah menjadi keuntungan yang diperoleh pada sistem yang tidak ditanahkan. Tetapi pada umumnya pada sistem tegangan di atas 13,2 kV, operasi yang demikian tidak diperbolehkan, dengan demikian pengaman harus dilengkapi dengan rute arus tanah.

b) Pentanahan netral dengan tahanan rendah

Pentanahan dengan tahanan rendah dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dari kombinasi antara faktor ekonomi, keselamatan umum dan yang layak untuk mempergunakan SUTM bagi daerah luar kota maupun SKTM bagi daerah padat dalam kota. Sistem pentanahan dengan tahanan rendah digunakan untuk jaringan hubungan bintang fasa tiga kawat. Sistem pentanahan ini dapat mencegah terjadinya busur listrik yang menimbulkan tegangan lebih peralihan yang besar. Tahanan pentanahan di titik netral sisi TM trafo utama adalah 12 Ohm untuk SKTM, 40 Ohm untuk SUTM atau campuran SKTM dan SUTM.

$$I_{k-t} = (0,10 \text{ s/d } 0,25) \times I_{3\phi} \quad (6-12)$$

dengan ketentuan:

- $I_{k-t} < 1000$ untuk $RN = 12$ Ohm
- $I_{k-t} < 300$ untuk $RN = 40$ Ohm
- $I_{3\phi}$ = arus gangguan tiga fasa

Karena besar arus gangguan dibatasi, maka kerusakan peralatan pada titik gangguan dikurangi, sedangkan selektivitas dari rele arus lebih masih terjamin. Karena tagangan pada fasa-fasa sehat dibatasi di bawah tegangana jala-jala, dimungkinkan menggunakan peralatan dengan isolasi dasar yang dikurangi, demikian juga angka pengenal (rating) arester dapat dikurangi.

c) Pentanahan netral dengan pentanahan langsung

Pentanahan secara langsung (tanpa tahanan) dimaksudkan untuk memperoleh hasil optimum dengan mengutamakan ekonomi sehingga dengan SUTM layak dipakai di daerah luar kota sampai daerah terpencil. Untuk jaringan hubung bintang tiga fasa empat kawat (multi grounded) di pasang sepanjang jaringan. Biasanya tahanan elektroda dari bumi ke tanah di setiap titik pentanahan di batasi maksimum 5 Ohm, sedangkan arus gangguan ke tanah tidak dibatasi.

6-4-6 Hubungan Sistem Pentanahan dan Pola Arus Pengaman Lebih

6-4-6-1 Hubungan Sistem Pentanahan Tahanan Tinggi dan Pola Arus Pengaman Lebih

Sistem pentanahan ini lebih kebal terhadap gangguan yang bersifat sementara. Mengingat kecilnya arus gangguan tanah (<25 A) pengamanan hanya dengan rele arus lebih normal tidak dapat digunakan lagi dan arus dilengkapi dengan relai gangguan tanah terarah yang lebih rumit dan mahal. Demikian pula selektivitas (diskriminasi) hanya dilakukan dengan waktu (khususnya gangguan fasa tanah).

Pengamanan PBO-2 (Penutup Balik Otomatis, *Automatic Circuit Recloser*) di sisi hilir tidak dapat dilakukan.

Saklar Seksi Otomatis (SSO) yang dapat dipergunakan pada sistem ini harus jenis pengindera tegangan dan koordinasinya dilakukan dengan penyetelan waktu, SSO dengan pengindera arus tidak dapat digunakan.

Alat pengaman fasa tunggal tidak dapat digunakan untuk mengamankan gangguan satu fasa ke tanah karena arus gangguannya kecil.

6-4-6-2 Hubungan Sistem Pentanahan Tahanan Rendah dan Pola Arus Pengaman Lebih

Arus gangguan fasa tanah pada sistem ini tidak terlalu besar (maksimum 1000 A untuk sistem SKTM dan 300A untuk SUTM) sehingga gangguan pada lingkungan akibat arus tanah (step voltage dan gangguan pada jaringan telekomunikasi) berkurang (dibatasi). Demikian pula penggunaan peralatan (PMT dan penghantar) dapat dipilih yang lebih ringan dan ekonomis.

Mengingat adanya tahanan netral, maka arus gangguan tanah hasilnya kecil sehingga tidak efektif bagi penggunaan relai arus lebih dengan karakteristik waktu arus terbalik (invers), sebaliknya dapat dipergunakan relai dengan karakteristik waktu tetap yang lebih selektif dan mudah penyetelannya.

PBO yang dipakai harus dari relai dengan pengatur elektronik untuk mendapatkan karakteristik waktu tetap bagi gangguan fasa tanah. Demikian pula SSO perlu dilengkapi dengan pengindera arus fasa tanah yang rendah.

Alat pengaman fasa tunggal tidak dapat dipergunakan untuk mengamankan gangguan satu fasa tunggal karena arus kapasitif (terutama SKTM) perlu diperhitungkan.

6-4-6-3 Hubungan Sistem Pentanahan Langsung dan Pola Arus Pengaman Lebih

Dengan tidak adanya tahanan netral maka arus hubung tanah menjadi relatif sangat besar dan berbanding terbalik dengan letak gangguan tanah sehingga perlu dan dapat dipergunakan alat pengaman PMT + rele (berpengaman sendiri/LsP) yang dapat bekerja cepat dan dapat memanfaatkan alat pengindera dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse-time*) dengan sebaik-baiknya.

Karena gangguan arus fasa tanah besar, maka dapat dilakukan koordinasi antara PMT-relai arus lebih atau PBO dengan fuse atau antara PBO dengan SSO secara baik sekali.

Dengan didasarkannya sistem ini pada tiga fasa empat kawat, fasa-netral, maka peralatan pengaman fasa tunggal yang lebih selektif (PBO, SSO dan fuse dapat dimanfaatkan).

Karena arus gangguan fasa tanah besar dan kejadian gangguan fasa tanah relatif banyak dan PBO relatif sering bekerja, maka peralatan kemampuan (PMT, PBO dan lain-lain) harus disesuaikan dengan besarnya arus gangguan dan frekuensi buka tutup PBO (misalnya tidak menggunakan PMT berisi minyak minimum).

6-4-7 Sistem-Sistem yang Tidak Simetris

Seperti diuraikan di atas, sistem-sistem ini pada dasarnya tidak simetris karena mengandung bagian-bagian yang tidak simetris, misalnya saluran yang tidak di transposisi. Jadi sistem ini pada kerja normal tidak simetris.

Besarnya arus lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor antara lain:

a) Tegangan (volt).

Tegangan pada saat terjadi gangguan meningkat makin besar sehingga menyebabkan arus yang timbul makin besar pula.

b) Impedansi (ohm)

Impedansi ini dipengaruhi oleh nilai impedansi trafo, impedansi saluran, impedansi titik gangguan dan jarak gangguan dari terminal sumber/trafo yang makin jauh menyebabkan impedansi saluran makin besar pula.

c) Jenis gangguan

Jenis gangguan penyeyab timbulnya arus lebih mempengaruhi impedansi tiap alat dan saluran serta rangkaian ekuivalen sistem saat gangguan. Misalnya, arus gangguan atau arus lebih karena gangguan hubung singkat fasa-fasa lebih kecil dari arus gangguan tiga-fasa. Rangkaian

ekivalen sistem saat terjadinya gangguan sehingga mempengaruhi impedansi ekuivalen sistem saat terjadi gangguan.

d) Tahanan pentanahan

Nilai tahanan pentanahan mempengaruhi impedansi sistem, semakin kecil tahanan pentanahan semakin besar arus lebih atau sebaliknya.

e) Saat mulai gangguan

Jika gangguan mulai saat gelombang tegangan melampaui puncak, maka arus lebih mencapai maksimum.

f) Perbandingan X/R dan faktor daya

Jika rasio X/R naik (besar dan faktor daya menurun) maka arus lebih asimetri akan naik dan sebaliknya.

6-4-8 Pengaman Terhadap Arus Lebih TM

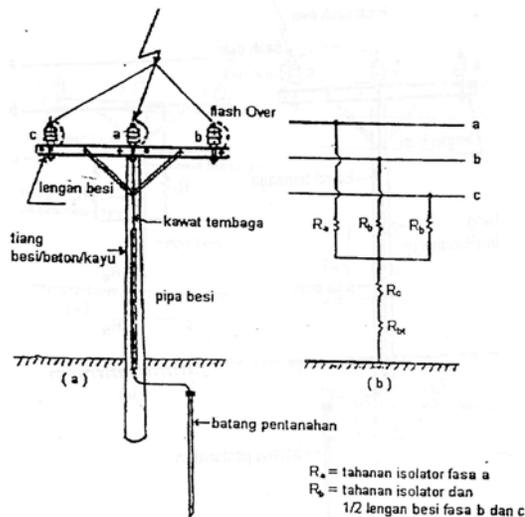
Arus lebih adalah arus yang timbul karena terjadinya gangguan/hubungan singkat pada sistem/peralatan yang diamankan. Beban lebih adalah beban/arus yang melebihi nilai nominalnya, yang untuk waktu tertentu dapat ditolerir adanya untuk kepentingan perusahaan, yang besar dan waktunya dibatasi oleh kemampuan alat/sistem JTM untuk menahannya. Arus lebih timbul disebabkan oleh hubungan singkat antara fasa dan atau antara fasa dengan tanah/netral. Hubungan singkat ini dapat terjadi karena terjadinya gangguan.

Pada SKTM, gangguan yang berasal dari dalam dapat disebabkan pemasangan yang kurang baik, penuaan, dan beban lebih. Sedangkan gangguan dari luar berupa misalnya gangguan-gangguan mekanis karena pekerjaan galian saluran lain, kendaraan-kendaraan yang melewati di atasnya, dan deformasi tanah. Gangguan pada SKTM umumnya bersifat permanen. Pada SUTM, sebagian besar gangguan disebabkan pengaruh dari luar yaitu angin dan pohon, kegagalan pengaman tegangan lebih/petir, kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran (misalnya peralatan yang dipasang kurang baik, kawat putus pada konektor/lepas, dan sebagainya), manusia, hujan dan cuaca, binatang atau benda-benda asing (misalnya benang layang-layang dari bahan non isolasi, ular dan sebagainya). Kegagalan atau kerusakan peralatan dan saluran (misalnya peralatan yang dipasang kurang baik, kawat putus pada konektor/lepas, dan sebagainya), manusia, hujan dan cuaca, binatang atau benda-benda asing (misalnya benang layang-layang dari bahan non isolasi, ular dan sebagainya).

Gangguan pada SUTM dapat dibagi dua, yaitu:

1. Gangguan sementara yang dapat hilang dengan sendirinya atau dengan memutuskan sementara bagian yang terganggu dari sumber tegangannya. Gangguan sementara jika tidak dapat hilang dengan segera, baik hilang dengan sendirinya maupun karena bekerjanya alat pengaman (PBO) dapat berubah menjadi gangguan permanen (tetap) dan menyebabkan pemutusan tetap.
2. Gangguan permanen (tetap) di mana untuk membebaskan kanya diperlukan tindakan perbaikan dan atau menyingkirkan penyebab gangguan tersebut

6-4-8-1 Hubungan Singkat Dua Kawat ke Tanah



(a) Konstruksi (b) Rangkaian ekivalen

Gambar 6-33. SUTM dalam keadaan gangguan 3 kawat ke tanah

Salah satu penyebab hubungan singkat dua kawat ke tanah ialah bila pada salah satu fasa ada tegangan lebih yang tinggi, di samping isolator itu *flash-over* terjadi juga *flash-over* fasa di sisi lainnya ke isolator (*back flash-over*). Penyebab lain karena pohon/dahan mengenai dua fasa/kawat.

6-4-8-2 Hubungan Singkat Tiga Kawat ke Tanah

Sekalipun tipe gangguan ini jarang terjadi, patut juga mendapat perhatian dan pembahasan. Penyebabnya bisa antara lain petir yang menyambar tiga kawat fasa atau pohon.

Gangguan Seri

Gangguan yang umum terjadi pada jaringan tegangan menengah adalah:

- Satu fasa terbuka karena satu kawat atau satu pelebur putus
- Dua fasa terbuka karena dua kawat atau dua pelebur putus
- Ketidak seimbangan pada impedansi saluran, dan ini biasanya karena tidak ditransposisi
- Ketidak seimbangan pada impedansi saluran pada sistem dengan jalan balik kawat netral.

6-4-8-3 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Perhitungan praktis untuk menghitung besar arus hubung singkat dalam sistem distribusi tegangan menengah yang disuplai dari sistem tegangan tinggi (trafo tenaga) dapat dilakukan sebagai berikut.

Data yang diperlukan:

- MVA_{hs} pada sisi busbar tegangan tinggi
- MVA , kV , X_T % dari trafo tenaga yang mensuplai JTM
- JTM (penampang penghantar (q , mm^2), panjang penghantar (l , km), tahanan penghantar (R_K , ohm) dan reaktansi induktif penghantar (X_K , ohm).

Rumus menentukan arus hubung singkat:

$$I_{hs, 3\phi} = \frac{U}{\sqrt{3} \times \sqrt{R_{tot}^2 + X_{tot}^2}} \quad (6-14)$$

$$I_{hs, 2\phi} = \frac{U}{2x\sqrt{R_{tot}^2 + X_{tot}^2}} \quad (6-15)$$

$$I_{hs, 1\phi} = \frac{\sqrt{3xU}}{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_n} \quad (6-16)$$

Untuk arus hubung singkat 1 fasa dipengaruhi oleh sistem pentanahan
Menentukan impedansi total (Z_{tot}).

Impedansi sisi tegangan tinggi:
= tegangan sistem JTM
= 20 kV

$$Z_{HV} = \frac{kV^2}{MVA_{hs}} \quad (6-17)$$

Impedansi trafo tenaga:

Impedansi sisi JTM:

$$Z_K = R_K + jX_K$$

$$Z_{HV} = \frac{X_r \%kV^2}{100MVA_r}$$

6-5 Jenis Pengaman

Jenis pengaman yang digunakan pada jaringan tegangan menengah antara lain:

1. Pengaman lebur (Fuse Cut Out, FCO)
2. Relai Arus Lebih (Over Current Relay)
3. Relai Arus Gangguan Tanah (Ground Fault Relay)
4. Relai Arus Gangguan Tanah Berarah (Directional Ground Fault Relay)
5. Relai Penutup Balik (Reclosing Relay)
6. Penutup Balik Otomatis (PBO, *Automatic Circuit Recloser*)
7. Saklar Seksi Otomatis (SSO, *Sectionalizer*).

6-5-1 Pengaman lebur

Pengaman lebur (FCO) merupakan pengaman bagian dari saluran dan peralatan dari gangguan hubung singkat antar fasa, dapat pula sebagai pengaman hubung singkat fasa ke tanah bagi sistem yang ditanahkan langsung.

Berdasarkan bentuk fisik pelebur dibedakan menjadi:

- Tertutup (enclosed)
- Terbuka (open)
- Elemen terbuka (open link)

Berdasarkan cara kerjanya dibedakan menjadi:

- Tipe expultion
- Tipe limiting

Karakteristik fuse cut out mempunyai sepasang garis lengkung yang disebut karakteristik arus waktu. Lengkung yang berada di bawah disebut waktu lebur minimum (*minimum melting time*), lengkung di atas disebut waktu bebas maksimum (*maximum clearing time*). Ada dua tipe fuse cut out yaitu tipe cepat (K) dan tipe lambat (T). Perbedaan kedua tipe ini terletak pada *speed ratio*-nya.

6-5-2 Relai Arus Lebih

Relai arus lebih merupakan pengaman utama sistem distribusi tegangan menengah terhadap gangguan hubung singkat antar fasa. Relai arus lebih adalah suatu relai yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi nilai setting-nya pengaman tertentu dalam waktu tertentu. Berdasarkan karakteristik waktu relai arus lebih dibagi menjadi 3, yaitu:

- a) Tanpa penundaan waktu (*instaneous*)
- b) Dengan penundaan waktu
- c) Dengan penundaan waktu tertentu (*definite time OCR*)
- d) Dengan penundaan waktu berbanding terbalik (*inverse time OCR*)
- e) Kombinasi 1 dan 2

6-5-3 Relai Arus Gangguan Tanah

Relai arus gangguan tanah (*ground fault relay*) merupakan pengaman utama terhadap gangguan hubung singkat fasa ke tanah untuk sistem yang ditanahkan langsung atau melalui tahanan rendah.

6-5-4 Relai Arus Gangguan Tanah Berarah

Relai arus gangguan tanah berarah (*directional ground fault relay*) adalah pengaman utama terhadap hubung singkat fasa ke tanah untuk sistem yang ditanahkan melalui tahanan tinggi.

6-5-5 Relai Penutup Balik

Relai penutup balik (*reclosing relay*) adalah pengaman pelengkap untuk membebaskan gangguan yang bersifat temporer untuk keandalan sistem.

6-5-6 Penutup Balik Otomatis

Penutup balik otomatis (PBO, *automatic circuit recloser*) digunakan sebagai pelengkap untuk pengaman terhadap gangguan temporer dan membatasi luas daerah yang padam akibat gangguan.

PBO menurut media peredam busur apinya dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu:

- a) Media minyak
- b) Vacuum
- c) SF₆

PBO menurut peralatan pengendalinya (control) dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu:

- a) PBO Hidraulik (*kontrol hidraulik*)
- b) PBO Terkontrol Elektrik

Urutan operasi PBO:

- a) Pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir melalui PBO sangat besar sehingga menyebabkan kontak PBO terbuka (*trip*) dalam operasi cepat (*fast trip*)

- b) Kontak PBO akan menutup kembali setelah melewati waktu reclose sesuai setting. Tujuan memberi selang waktu ini adalah untuk memberikan waktu pada penyebab gangguan agar hilang, terutama gangguan yang bersifat temporer
- c) Jika gangguan bersifat permanen, PBO akan membuka dan menutup balik sesuai dengan settingnya dan akan lock-out (terkunci)
- d) Setelah gangguan dihilangkan oleh petugas, baru PBO dapat dimasukkan ke sistem.

6-6 Saklar Seksi Otomatis

Saklar seksi otomatis (SSO, *Sectionalizer*) adalah alat pemutus untuk mengurangi luas daerah yang padam karena gangguan. Ada dua jenis SSO yaitu dengan pengindera arus yang disebut *Automatic Sectionalizer* dan pengindera tegangan yang disebut *Automatic Vacuum Switch (AVS)*. Agar SSO berfungsi dengan baik, harus dikoordinasikan dengan PBO (*recloser*) yang ada di sisi hulu. Apabila SSO tidak dikoordinasikan dengan PBO, SSO hanya akan berfungsi sebagai saklar biasa.

6-6-1 Pemilihan Pengaman Arus Lebih

Pemilihan pengaman arus lebih untuk pengamanan sistem 20 kV disesuaikan dengan pola pengaman sistem SPLN 52-3:1983 berdasarkan sistem pentanahan netral

- a) Sistem distribusi 20 kV tiga fasa, tiga kawat dengan pentanahan netral melalui tahanan tinggi (Pola I)
- b) Sistem distribusi 20 kV tiga fasa, empat kawat dengan pentanahan langsung (Pola II)
- c) Sistem distribusi 20 kV tiga fasa, tiga kawat dengan pentanahan netral melalui tahanan rendah (Pola III)

Pola I

Pada gardu induk dipasang pengaman jaringan (pengaman utama) yaitu pemutus beban dengan alat pengaman

- a) Relai arus lebih untuk membebaskan gangguan antar fasa
- b) Relai gangguan tanah terarah untuk membebaskan gangguan tanah
- c) Relai penutup balik untuk memulihkan sistem dari gangguan temporer dan untuk koordinasi kerja dengan peralatan di sisi hilir (SSO) atau AVS
- d) Saklar seksi otomatis
- e) Untuk mengisolasi daerah yang terkena sekecil mungkin gangguan. Alat ini mempunyai pengatur dan transformator tegangan sebagai penggerak dan pengindera.
- f) Pelebur (PL)
- g) Dipasang pada titik percabangan antara saluran utama dan cabang.

Pola II

Pengaman lebur dipakai sebagai pengaman saluran cabang terhadap gangguan permanen

Pola III

- a) Pengaman utama dalam PMB yang dipasang di gardu induk yang dilengkapi dengan
 - Relai arus lebih untuk membebaskan gangguan antar fasa
 - Relai gangguan tanah terarah untuk membebaskan gangguan tanah
 - Relai penutup balik untuk memulihkan sistem dari gangguan temporer dan untuk koordinasi kerja dengan peralatan di sisi hilir SSO atau AVS
- b) Saklar seksi otomatis (SSO)
 - Untuk membatasi pemadaman sekecil mungkin maka jaringan utama dapat dibagi dalam beberapa seksi dengan menggunakan SSO sebagai pemisah.
- c) Pelebur (PL)
 - Sebagai pengaman terhadap gangguan permanen yang dipasang pada seluruh cabang.

6-6-2 Pemilihan Relai Arus Lebih

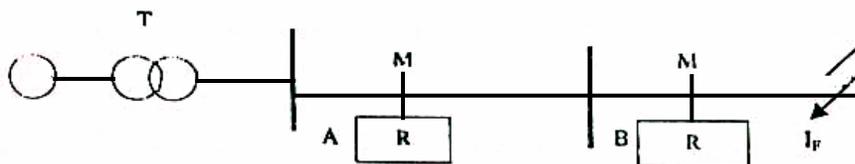
Pemilihan relai arus lebih untuk pengamanan sistem 20 kV diatur sebagai berikut.

- a) Sistem distribusi di mana variasi arus gangguannya cukup besar, yaitu sistem distribusi yang disuplai dari sistem terpisah (PLTD), maka pemilihan relai arus lebih waktu tertentu akan lebih baik dari arus lebih waktu terbalik.
- b) Sistem distribusi di mana variasi arus gangguannya kecil yang disuplai dari sistem yang sudah interkoneksi, maka pemilihan relai arus lebih waktu terbalik akan lebih baik dari arus lebih waktu tertentu.
- c) Sistem distribusi yang disuplai lebih dari satu sistem pembangkit, untuk mendapatkan selektivitas dan untuk penyulang yang menginterkoneksi relai arus lebih harus dilengkapi dengan relai tanah.

6-6-3 Pemilihan Relai Gangguan Tanah

Arus gangguan satu fasa sangat bergantung pada jenis pentanahannya. Pada umumnya gangguan satu fasa melampaui tahanan gangguan, sehingga menjadi semakin kecil. Oleh karena itu dipasang relai gangguan tanah secara khusus dan disesuaikan dengan sistem pentanahannya. Pemilihan relai gangguan tanah untuk pengamanan sistem 20 kV diatur sebagai berikut.

- Untuk sistem pentanahan dengan tahanan tinggi, digunakan relai yang memiliki sensitivitas tinggi yaitu relai gangguan tanah berarah dengan karakteristik waktu tertentu.
- Untuk sistem pentanahan dengan tahanan rendah di mana besarnya arus gangguan vs letak gangguan landai maka relai akan sukar dikordinasikan dengan peningkatan arus, sehingga relai yang digunakan sebaiknya relai arus lebih karakteristik waktu tertentu. Demikian juga untuk gangguan tanah SKTM sistem Spindel (untuk panjang saluran 10 km)
- Untuk sistem pentanahan langsung, besarnya arus hubung singkat vs letak gangguan sangat curam, sehingga relai yang digunakan adalah relai arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik.



Gambar 6-34 Penempatan Rele Pengaman pada Jaringan Radial

6-6-4 Koordinasi Pengaman

Untuk mendapatkan pengamanan yang selektif, maka penyetelan waktu relai pengaman arus lebih harus dibuat secara bertingkat.

$$t_F > t_{set} \text{ OCR di A} > t_{set} \text{ OCR di B} \quad (6-19)$$

Untuk gangguan yang terjadi di titik F, relai A dan relai B akan pick-up karena $t_A > t_B$ maka relai B akan bekerja lebih dahulu. Beda waktu dari kedua relai $\Delta t = 0,4$ detik.

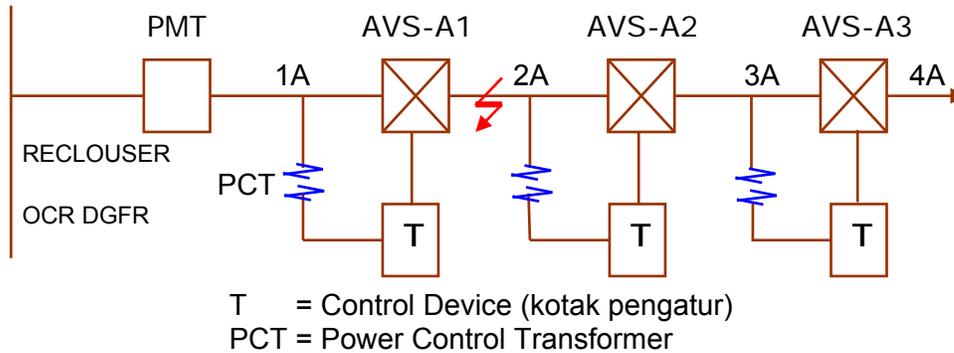
6-6-5 Koordinasi Pengaman pada Jaringan Radial

Misalkan gangguan terjadi pada sebuah jaringan radial seksi 2A (lihat gambar 6-35).

Untuk gangguan di seksi 2A, koordinasi pengaman sebagai berikut.

- Relai di GI bekerja dan memerintahkan PMT trip.
- Karena tidak ada tegangan, maka AVS-A1, AVS-A2, dan AVS-A3 membuka setelah selang waktu t_3 .
- Setelah tercapainya waktu penutup balik pertama PMT A masuk kembali, kemudian selang waktu t_1 , AVS-A1 mendeteksi tegangan sehingga menutup.
- Karena di seksi 2A masih ada gangguan, maka PMT di A ditripan lagi oleh relai pengaman (bila gangguan temporer, dengan masuknya AVS-1 sistem akan kembali normal)
- Karena AVS-1 bertegangan sesaat (kurang dari t_2) maka a langsung mengunci (*lock out*)

- f) Setelah waktu recloser ke-2 tercapai, PMT masuk dan seksi A bertegangan
- g) Seksi 2A, 3A dan 4A padam.
- h) Lampu indikator AVS-A1 menyala hijau, sedangkan AVS-A2 dan AVS-A3 padam.



- T1 = Waktu mulai ada tegangan sampai dengan arus masuk (15 detik)
- T2 = Waktu untuk menentukan buka atau terkunci (5 detik)
- T3 = Waktu tanda mulai saat tegangan hilang sampai arus terbuka (18 detik)

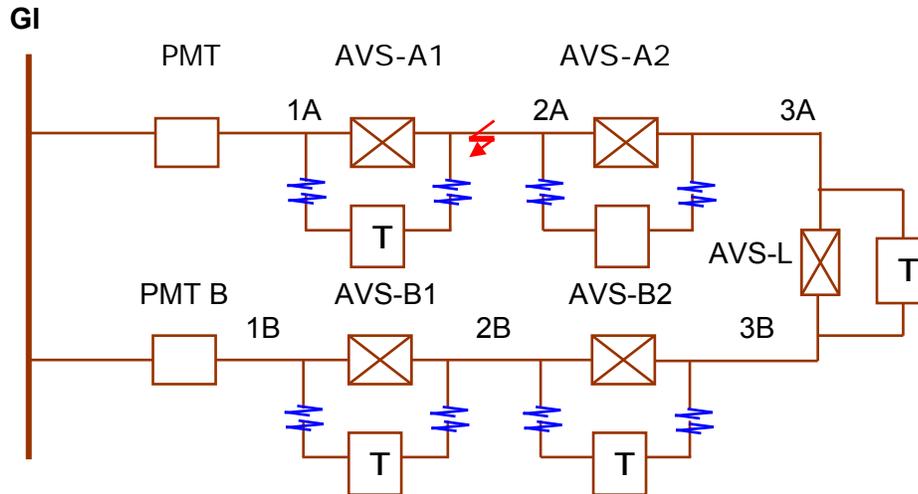
Gambar 6-35 Koordinasi Pengaman pada Jaringan Radial

6-6-6 Koordinasi Pengaman pada Jaringan Loop

Misalkan gangguan terjadi pada seksi 2A dari jaringan loop (lihat gambar 6-36).

Untuk gangguan di seksi 2A, koordinasi pengaman sebagai berikut.

- a) Relai PMT-A bekerja, memerintahkan PMT-A trip
- b) Relai PMT-A bekerja, memerintahkan PMT-A trip
- c) Relai PMT-A bekerja, memerintahkan PMT-A trip
- d) Karena tidak ada tegangan pada penyulang A, maka AVS-A1 dan AVS-A2 membuka setelah selang waktu t_3 .
- e) Setelah waktu recloser ke-1 dari penutup balik dicapai, maka PMT-A masuk setelah selang waktu t_1 dan AVS-A1 masuk.
- f) Karena gangguan di seksi 2A masih ada (permanen) maka PMT-A trip lagi
- g) AVS-A1 langsung mengunci karena waktu merasakan tegangan lebih kecil dari t_2 .
- h) Setelah waktu menutup balik ke-2 dari penutup balik tercapai PMT-A masuk dan seksi 1A bertegangan.
- i) Setelah selang waktu t_5 dari AVS-L, AVS-L akan masuk sehingga PMT-B trip karena relai di B merasakan adanya gangguan.
- j) Pada penyulang B terjadi buka tutup, sampai AVS-A2 lock-out sehingga seksi 2A terisolasi dan seksi 3A mendapat suplai dari penyulang B.



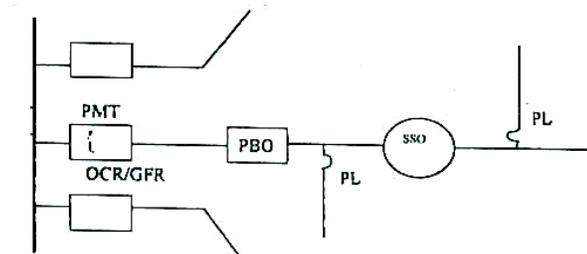
Gambar 6-36 Koordinasi Pengaman pada Jaringan Loop

Keterangan:

- T1 = waktu mulai kotak pengatur bertegangan sampai AVS masuk kembali (5-10 detik)
- T2 = waktu yang distel agar AVS terkunci, bila waktu merasakan tegangan lebih kecil dari setting t2
- T3 = waktu mulai kotak pengatur tidak bertegangan sampai AVS masuk kembali (0,5-2 detik)
- T5 = waktu mulai kotak pengatur tidak merasakan tegangan dari salah satu sisinya sampai AVS-L masuk secara otomatis $t5 > tr + (n+1) t1$
- tr = waktu penutup balik
- n = banyaknya AVS

6-7 Penutup Balik Otomatis (PBO)

Dalam pola II, penggunaan PBO, SSO dan FCO (pengaman lebur) dapat dikoordinasikan. Pola ini digunakan dalam sistem jaringan 4 kawat dengan pentanahan multi grounded.



Gambar 6-37 Koordinasi PBO, SSO dan FCO

a) Koordinasi antara OCR/GFR dengan PBO

Secara fisik PBO ini semacam PMB yang mempunyai kemampuan sebagai pemutus arus hubung singkat yang dilengkapi dengan alat pengindera arus gangguan dan peralatan pengatur kerja membuka dan menutup serta mengunci bila terjadi gangguan permanen.

Untuk melakukan koordinasi antara OCR/GFR di gardu induk dengan PBO harus dibuat sedemikian rupa sehingga setiap terjadi gangguan setelah PBO, relai OCR/GFR tidak boleh trip sebelum PBO terkunci (lock out).

Oleh karena itu, harus dihitung terlebih dahulu waktu reset dan putaran dari relai OCR/GFR, agar supaya PMT tidak trip. Sebelum PBO terkunci total putaran relai OCR/GFR diusahakan kurang dari 100% pada saat PBO terkunci.

b) Koordinasi antara PBO dengan PBO

Koordinasi antara PBO dengan PBO dapat dicapai dengan:

- Memilih nilai arus trip minimum yang berbeda antara kedua PBO (yang menggunakan kontrol elektronik)
- Mengatur pemakaian urutan operasi yang terbalik dari masing-masing PBO dengan cara mempelajari dan memilih karakteristik kerja dari kurva arus waktu.

Faktor yang penting dalam koordinasi antara kedua bentuk kurva arus waktu dari kedua PBO adalah perbedaan waktu antara kedua kurva untuk satu nilai arus tertentu (arus hubung singkat)

Perbedaan waktu minimum antara kedua kurva adalah untuk mengamankan agar kedua PBO tidak beroperasi secara bersamaan.

c) Koordinasi antara PBO dengan SSO

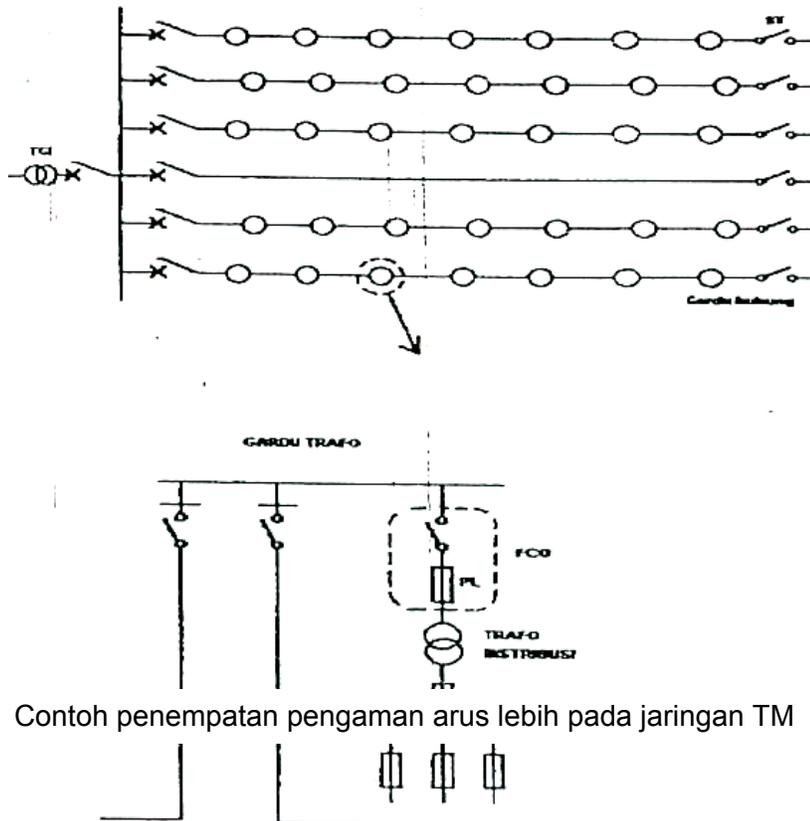
Bila terjadi gangguan di sisi hilir dari SSO maka PBO akan bekerja membuka tutup dengan cepat pertama sampai kedua untuk menghilangkan gangguan yang bersifat temporer. SSO mengindera arus gangguan dan menghitung banyaknya buka tutup dari PBO, bila gangguan bersifat permanen, maka sesuai dengan penyetelan hitungan (*count to open*) SSO. SSO membuka pada saat PBO membuka sebelum buka tutup terakhir dan mengunci dari PBO.

d) Koordinasi antara PBO dengan PL

PBO harus dapat mendeteksi arus gangguan di daerah pengaman PL koordinasi maksimum antara PBO dan PL dapat dicapai dengan mengatur urutan kerja PBO dua, cepat atau lambat.

Operasi cepat pertama dan kedua untuk menghilangkan gangguan temporer sebelum operasi ketiga, yaitu operasi lambat pertama yang memberikan kesempatan pada PL untuk melebur (putus) lebih dahulu sehingga gangguan dapat diisolasi.

Contoh penempatan PMT, PBO, PL dan SSO pada pangkal saluran cabang jaringan TM dapat dilihat pada Gambar 6-38. Sedangkan penempatan PMT dan PL pada jaringan Spindel SKTM dapat dilihat pada Gambar 6-39.



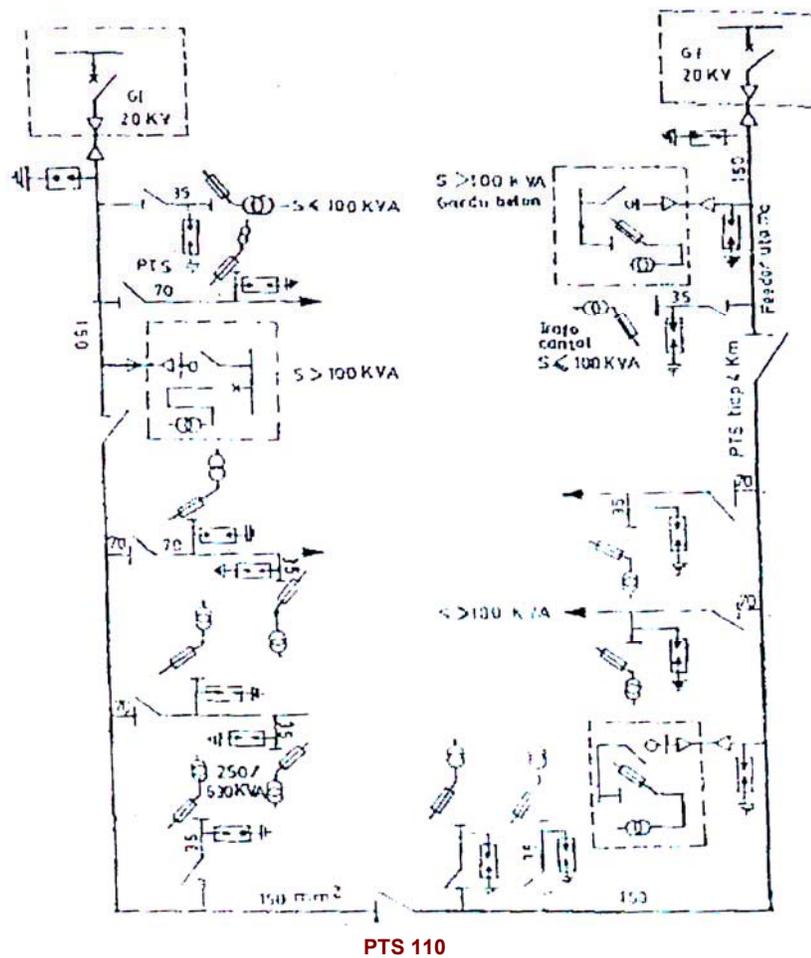
Contoh penempatan pengaman arus lebih pada jaringan TM

Gambar 6-39 Penempatan PMT dan PL pada jaringan Spindel SKTM (PMT tanpa PBO) Pola 2

6-7-2 Pengaman Terhadap Tegangan Lebih

Dalam keadaan operasi, suatu sistem tenaga sering mengalami gangguan yang dapat mengakibatkan terputusnya pelayanan daya ke pelanggan. Gangguan tersebut lebih sering terjadi pada jaringan distribusi. Terjadinya gangguan disebabkan oleh peningkatan tegangan pada hantaran distribusi, yang dikenal dengan **tegangan lebih**, yang besar tegangan itu melampaui tingkat ketahanan isolasi dari hantaran distribusi. Dengan demikian terjadi hubung singkat antar kawat-kawat fasa ke tanah yang dapat menyebabkan PMT membuka.

Tegangan lebih ini antara lain ditimbulkan oleh:



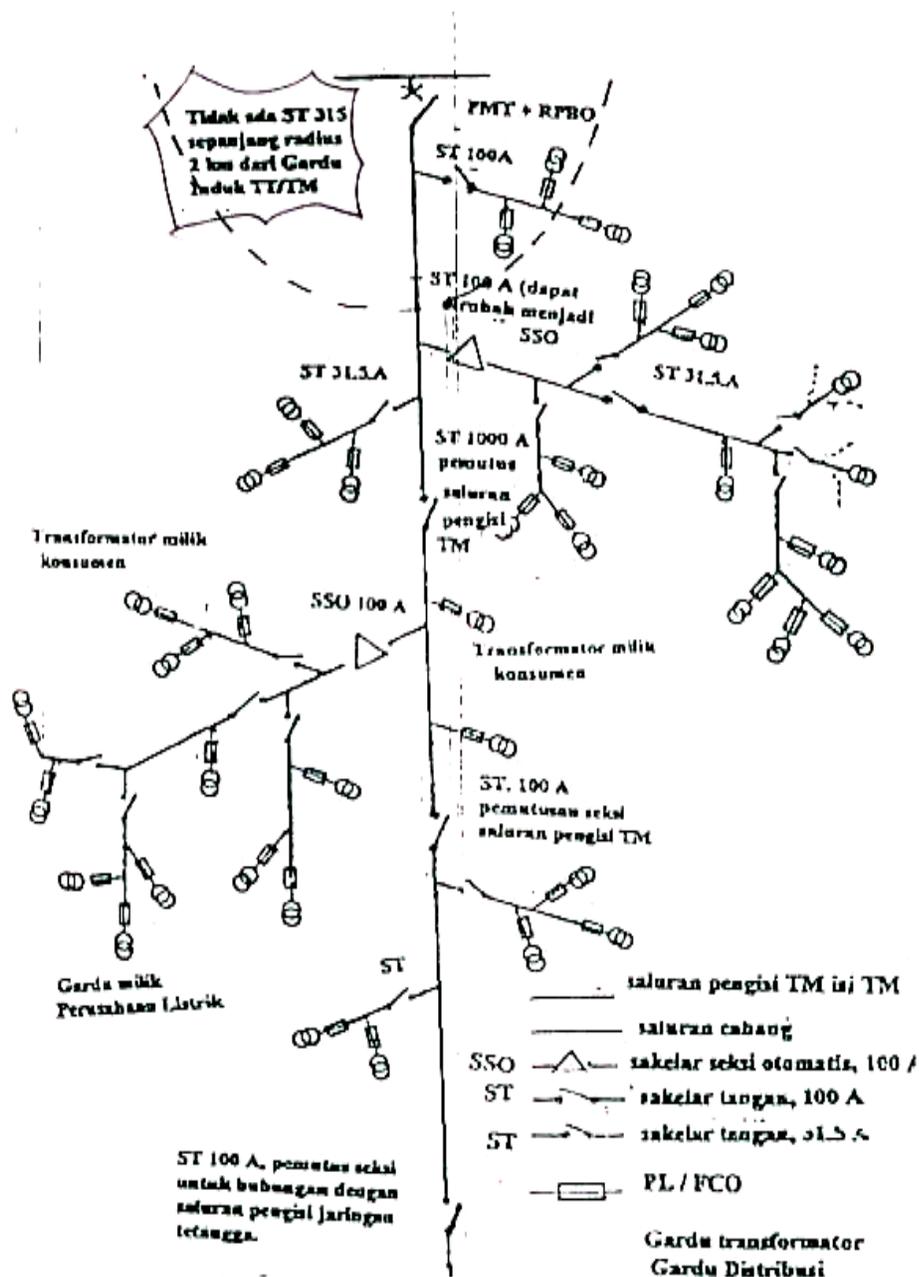
Gambar 6-41. Penempatan PMT, SSO, ST, FCO pada SUTM

b) Tegangan Lebih Hubung

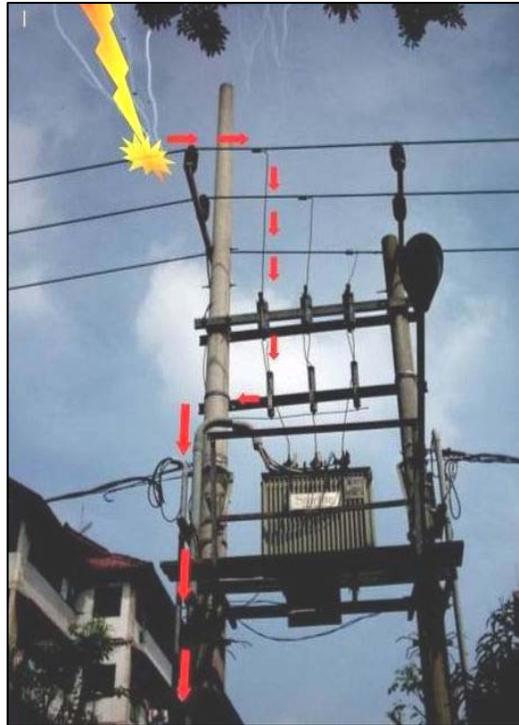
Kondisi dalam jaringan listrik dibedakan menjadi dua, yaitu keadaan stasioner (misalnya keadaan masa kerja suatu jaringan) dan keadaan sementara atau proses menuju keseimbangan (transien), yang timbul pada waktu switching atau memutus arus. Proses transien adalah peralihan dari kondisi stasioner I ke kondisi stasioner II yang hampir selalu menyebabkan osilasi tegangan dan arus, dan oleh karena itu menimbulkan peningkatan tegangan.

Karena adanya tahanan dalam jaringan, maka tegangan lebih diredam dan sesudah beberapa waktu tertentu tegangan itu menghilang. Dalam Gambar 6-41 digambarkan kondisi stasioner I dan II. Pada kondisi I, generator memberikan daya melalui suatu penghantar, transformator diteruskan ke pemakai. Fenomena itu tidak hanya merupakan penghantaran daya dari pembangkit ke pemakai melalui penghantar, melainkan dalam

distribusi daya itu juga terdapat medan magnet yang mengelilingi penghantar-penghantar dan medan listrik antara penghantar-penghantar sendiri dan antara penghantar-penghantar dengan tanah. Medan magnet dan medan listrik itu mengandung energi berpulsa sebesar harga rata-rata frekuensi jaringan. Selama kondisi stasioner I energi dari pembangkit itu disimpan pada transformator, penghantar dan pemakai.

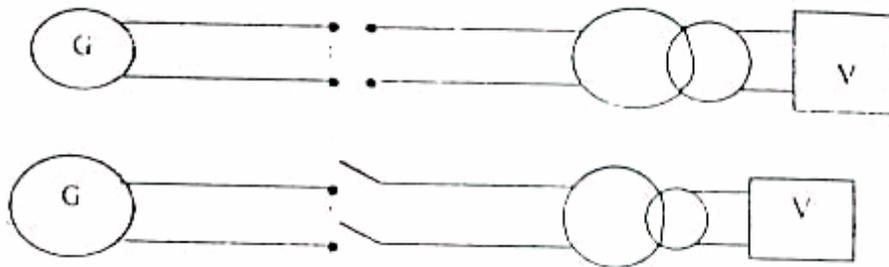


Gambar 6-42 Penempatan Arester, PL dan PMT pada SUTM



Gambar 6-43 Sambaran petir pada SUTM

Sesudah membuka sakelar S (keadaan II) generator itu tidak menyerahkan daya lagi kepada pemakai, tetapi generator tetap memberi energi medan listrik pada penghantar, walaupun energi itu hanya sedikit. Proses keseimbangan itu membawa keadaan energi antara kondisi stasioner yang masing-masing mempunyai muatan-muatan energi yang berbeda.



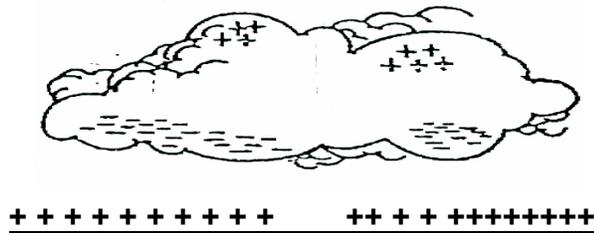
Gambar 6-44. Kondisi I dan II dari Jaringan Distribusi

c) Karakteristik Tegangan Lebih

Teori tentang petir yang telah diterima secara luas bahwa awan dari daerah bermuatan positif dan negatif. Pusat-pusat muatan ini menginduksikan muatan memiliki polaritas berlawanan ke awan yang

terdekat atau ke bumi. Gradien potensi awan di udara antara pusat-pusat muatan di awan atau antara awan dan bumi tidak seragam, tetapi gradien tersebar timbul pada bagian konsentrasi muatan tertinggi. Konsentrasi muatan tertinggi dan gradien tegangan tertinggi dari awan ke bumi menimbulkan pelepasan muatan pada awan. Ketika gradien mencapai batas untuk udara-udara di daerah konsentrasi tekanan tinggi mengionisasi atau tembus (*break down*).

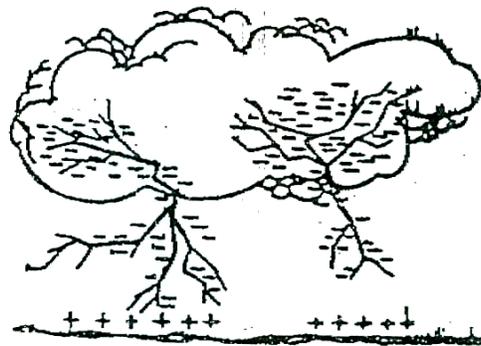
Muatan dari pusat muatan mengalir ke dalam kanal terionisasi, mempertahankan gradien tegangan tinggi pada ujung kanal dan melanjutkan proses tembus listrik. Formasi suatu sambaran petir berikutnya adalah tembus listrik progresif pada jalur busur api lebih kecil dari pada tembus listrik sesaat dan terintegrasi di udara sepanjang kanal.



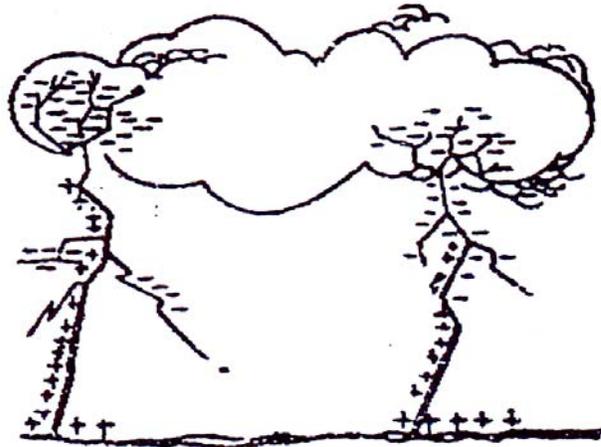
Gambar 6-45. Muatan sepanjang tepi awan menginduksikan muatan lawan pada bumi

Sambaran petir ke bumi diawali ketika muatan sepanjang tepi awan menginduksikan suatu muatan lawan ke bumi (gambar 7-48), lidah arah bawah menyebar dari awan ke arah bumi seperti pada gambar 7-49. Jika pusat muatan kecil, semua muatan bisa saja dilepaskan selama lidah utama (*pilot leader*) terbentuk dan sambaran tidak lengkap.

Ketika sambaran lengkap, pusat muatan kecil tampaknya dikosongkan, akibatnya lidah petir juga berhenti. Begitu pusat muatan baru terbentuk maka lidah petir terbentuk lagi secara cepat.

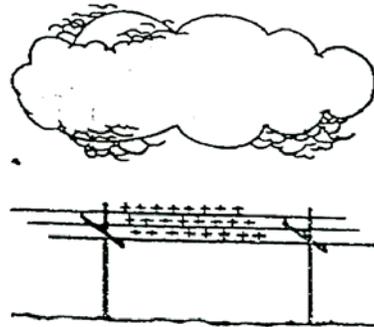


Gambar 6-46. Lidah petir menjalar ke arah bumi



Gambar 6-47 Kilat sambaran balik dari bumi ke awan

Begitu lidah petir mendekati bumi, sambaran ke arah atas terbentuk dan biasanya berawal dari titik tertinggi di sekitarnya. Bila lidah petir ke arah atas dan ke bawah bertemu (Gambar 6-47) suatu hubungan awan ke bumi terbentuk dan energi muatan dari awan dilepaskan ke dalam tanah. Muatan-muatan dapat terinduksi ke jaringan listrik yang berada di sekitar sambaran petir ke tanah. Walaupun muatan awan dan bumi dinetralisir melalui jalur awan ke tanah, muatan dapat terjebak pada jaringan listrik (Gambar 6-48).



Gambar 6-48 Kumpulan

Besar muatan yang terjebak ini tergantung pada gradien mula awan ke bumi dan kedekatan sambaran ke jaringan. Tegangan terinduksi pada jaringan listrik dari sambaran di tempat jauh, akan menjalar sepanjang jaringan dalam bentuk gelombang berjalan sampai dihilangkan oleh pengurangan (*attenuasi*), kebocoran, isolator rusak/pecah atau arester beroperasi bila sambaran langsung ke jaringan listrik dan tegangan meningkat secara cepat pada titik kontak. Tegangan ini juga menjalar dalam bentuk gelombang berjalan dalam dua arah dari titik sambaran, berusaha menaikkan tegangan potensial jaringan terhadap tegangan lidah petir arah

ke bawah. Tegangan ini melampaui ketahanan tegangan jaringan terhadap tanah dari isolasi sistem dan jika tidak cukup dilengkapi dengan pengaman tegangan lebih, dapat berakibat pada kerusakan (kegagalan) isolasi.

Operasi arester akan membentuk suatu jalur dari kawat jaringan ke tanah untuk sambaran petir. Hal ini menyempurnakan mata rantai antara awan dan bumi untuk melepas energi awan dalam bentuk arus surja. Karena titik hubung jaringan ke tanah makin jauh dari titik kontak sambaran, maka sebagian kawat jaringan dapat membentuk suatu bagian dari jalur arus petir. Arestor surja mempunyai karakteristik tembus listrik terkontrol yaitu pengaliran arus surja ke bumi melalui arester akan berhenti ketika tegangan benar-benar di bawah kawat tahanan isolasi sistem. Keadaan ini menyebabkan keberadaan arester surja begitu penting sebagai bagian dari sistem distribusi.

Menurut karakteristiknya, tegangan yang dihasilkan oleh sambaran petir akan meningkat mencapai nilai puncak secara cepat dan kemudian menurun menuju nol pada laju yang sangat lambat. Waktu yang diperlukan tegangan mencapai puncak biasanya dalam beberapa mikro detik atau kurang. Waktu ekor gelombang dapat mencapai 10 atau ratusan mikro detik, tegangan pada penghantar jaringan distribusi tang tersambar petir tidak seragam terjadi induksi muatan. Ketika lidah ini mendekati penghantar pada kecepatan 0,3048 m/mikro detik terjadi kenaikan tegangan induksi.

Bila sambaran petir mencapai penghantar, kenaikan tegangan menjadi lebih cepat karena arester yang biasanya dipakai pada jaringan distribusi mempunyai tegangan pengenalan yang rendah, maka bisa saja arester beroperasi pada tegangan terinduksi tersebut. Perbandingan kenaikan tegangan terhadap waktu beroperasinya arester akan lebih rendah pada JTM dan JTT. Untuk mengetahui ketahanan tegangan isolasi terhadap tegangan petir dilakukan uji tegangan impuls di laboratorium.

Bentuk gelombang tegangan impuls ini distandarisasi (SPLN) sebesar 1,2 x 50 mikro detik, seperti terlihat pada gambar 6-49. Bentuk gelombang dan besar arus sambaran petir juga bervariasi. Hal ini juga telah distandarisasi untuk gelombang arus uji yaitu meningkat dari nol hingga mencapai nilai puncak dalam 8 mikro detik dan menurun mencapai nilai $\frac{1}{2}$ puncak dalam 20 mikro detik sejak awal.

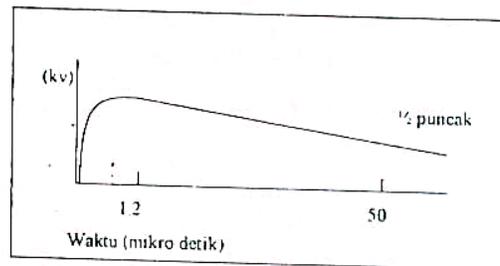
6-7-3 Karakteristik Tegangan Surja

Ketika suatu saklar dalam rangkaian listrik dibuka atau ditutup akan terjadi suatu transien hubung. Hal serupa juga akan terjadi pada JTM atau JTT. Kombinasi dari resistansi, induktansi dan kapasitansi pada JTM sedemikian rupa sehingga tegangan lebih surja hubung yang dapat merusak

isolasi sistem tidak terjadi. Tetapi tegangan lebih surja hubung dapat terjadi akibat pukulan balik ketika proses membuka atau menutup saklar bangku kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Pukulan balik yang terjadi saat membuka atau menutup saklar kapasitor menunjukkan suatu pemakaian yang tidak sempurna dari saklar. Penyelesaian terbaik dari masalah ini

adalah mendapatkan saklar bebas pukulan balik dan mencegah tegangan lebih, daripada mencoba mengamankan atau memproteksinya.

Ferro resonansi juga dapat menghasilkan tegangan lebih merusak pada JTM. Tegangan lebih ini tidak benar-benar transien, karena bersiklus dan tetap ada dalam periode panjang. Tegangan lebih dapat terjadi ketika kapasitansi dirangkai secara seri dengan kumparan primer trafo tanpa beban atau bebahan rendah. Hal ini biasanya terjadi ketika proses hubung (switching) sebagai akibat dari suatu pelebur putus atau suatu penghantar JTM putus. Penyelesaian dari masalah ini adalah mengubah hubungan jaringan atau merevisi operasi saklar sehingga tegangan lebih tidak dapat terjadi. Cara ini dapat mengamankan isolasi dari tegangan lebih surja hubung.



**Gambar 6-49 Gelombang tegangan uji impuls
1,2 x 50 mikro detik**

6-7-4 Pengamanan Terhadap Tegangan Lebih

Pengaman saluran distribusi menurut metode yang lama adalah merupakan pengembangan dari metode yang digunakan pada saluran transmisi. Terdapat beberapa metode pengaman yang digunakan pada metode lama, antara lain kawat tanah, kawat netral dan sela batang.

a) Kawat Tanah (*Overhead Statics*)

Metode pertama yang digunakan untuk pengaman saluran distribusi adalah kawat tanah. Metode ini biasanya digunakan pada saluran transmisi, yang memerlukan ketahanan impuls isolasi sangat tinggi. Pada jaringan distribusi hal ini tidak mungkin dipenuhi, khususnya pada tempat-tempat peralatan seperti pada transformator atau gardu distribusi. Kriteria utama perencanaan dalam mengevaluasi kawat tanah adalah persoalan *back-over* ke tanah. Penggunaan kawat tanah memerlukan tahanan pentanahan yang sangat rendah untuk setiap struktur dan ketahanan impuls isolasi yang tinggi. Pada sistem multi grounded Y, kawat netral dihubungkan pada titik dengan tanah, yang selanjutnya mempengaruhi arus petir pada seluruh peralatan pada saluran. Ketika arus petir yang besar terjadi dan mengenai transformator dan peralatannya, hasil kerja kawat tanah ini tidak signifikan dalam mengamankan saluran dan flash over.

b) Kawat Netral

Kawat netral ditempatkan di atas kawat penghantar fasa menggantikan kedudukan kawat tanah, tetapi persoalan yang sama menyangkut back flash over tetap saja terjadi. Hasil riset yang telah dilakukan di Australia menunjukkan bahwa baik kawat tanah (di atas kawat fasa) maupun kawat netral (di bawah kawat fasa), keduanya meredam sedikit gelombang surja. Kawat netral di atas kawat fasa, ternyata tidak ekonomis atau tidak merupakan metode yang baik untuk melindungi peralatan terhadap sambaran petir.

c) Sela Batang

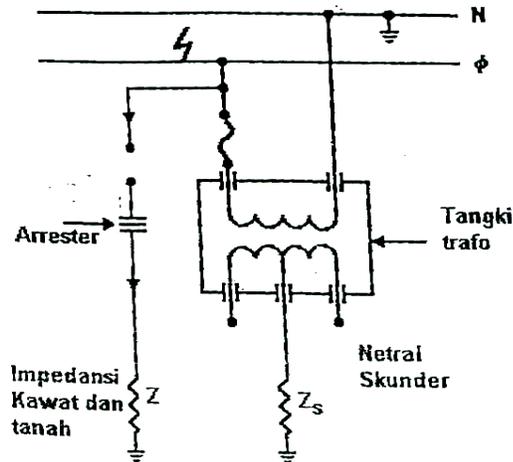
Latar belakang dari metode pengamanan terhadap tegangan lebih menggunakan sela batang adalah apabila saluran harus flash over, maka dibuat ketahanan impuls dari saluran tinggi dan dibuat pada beberapa titik dari saluran ketahanan impuls isolasi yang lebih rendah, sehingga flash over akan terjadi pada ketahanan impuls isolasi yang lebih rendah tersebut, yaitu melalui sela batang. Untuk hal ini memerlukan beroperasinya pemutus daya (*circuit breaker*) untuk menghilangkan gangguan 50 Hz tersebut. Dengan adanya PBO berkecepatan tinggi, jenis pengaman ini agak banyak digunakan pada beberapa wilayah di dunia misalnya di Inggris. Ada satu persoalan yang timbul dengan penggunaan metode sela batang ini, yaitu mengontrol jarak sela (*gap*) karena hal ini sangat menentukan flash over. Jika arus gangguan sangat besar, maka bunga api pada sela batang dapat merusak peralatan di sekitarnya.

6-7-5 Pengamanan Saluran Distribusi Masa Kini

Pada akhir tahun 1960-an telah diadakan studi antara para industriawan IEEE dan General Electric Company. Studi tersebut dilakukan berdasarkan pendekatan Scale-model yang dikenal sebagai teknik model Nanosecond dan pendekatan Monte Carlo untuk menentukan parameter-parameter dari sambaran petir. Studi ini menggunakan model skala dari beberapa tipe struktur saluran distribusi untuk menentukan metodologi dari pengamanan petir.

Dalam studi tersebut diamati berbagai metode pengaman petir, mencakup penggunaan lightning arrester (LA) pada seluruh fasa, arrester-arrester pada ujung-ujung tiang (*dead ends*), kawat tanah dan proteksi yang hanya pada fasa tengah dari saluran tiga fasa.

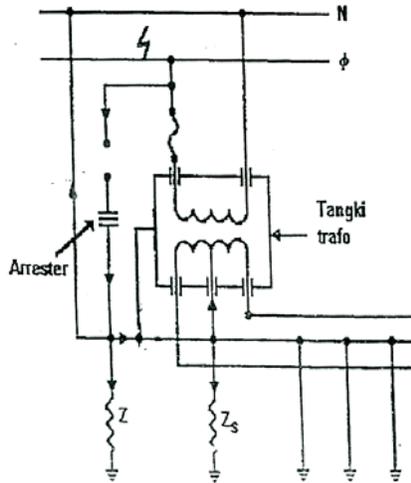
Hasil utama dari riset tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan lightning arrester pada seluruh fasa pada interval tertentu, ternyata lebih baik dari pada menggunakan kawat tanah atau dengan menggunakan pengaman hanya pada fasa teratas. Arrester dipasang sedekat mungkin dengan trafo. Penempatan arrester pengaman trafo pada gardu induk di sisi 20 kV yang ditanahkan tidak efektif (kawat netral ditanahkan dengan tahanan). Jarak arrester dengan trafo maksimum 6 mm (SPLN 7-1978). Jenis arrester yang biasa dipakai adalah jenis katub (*valve arrester*) dan jenis tabung ledak (*expulsion*).



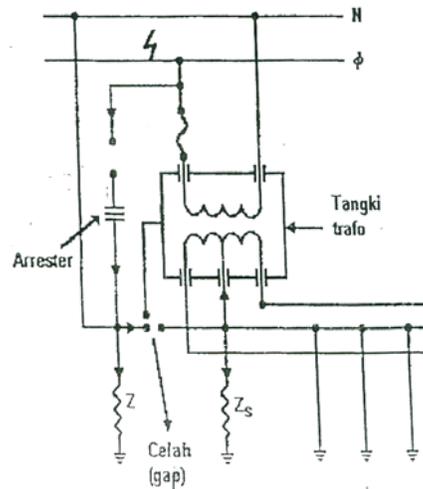
Gambar 6-51 Pengamanan dengan arrester tanpa interkoneksi terminal pentanahan

6-7-6 Arrester pada Transformator Distribusi

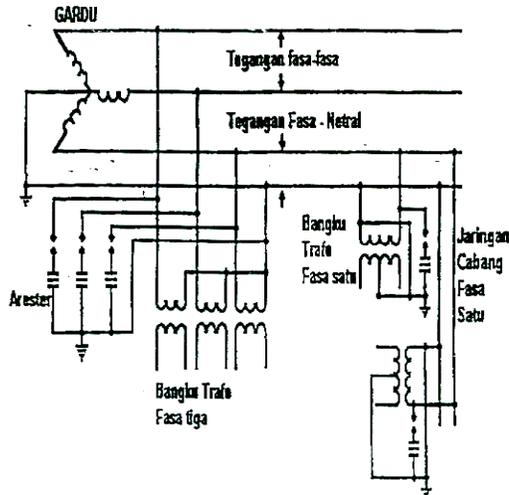
Terminal pentanahan arrester diinterkoneksi dengan terminal pentanahan tangki trafo dan terminal pentanahan netral trafo (netral diketanahkan langsung). Jika ditanahkan bersama maka arus surja yang mengalir ke tanah melalui suatu impedansi (Z) menyebabkan jatuh tegangan (*drop voltage*) pada impedansi tersebut hingga tegangan tinggi pada kumparan primer. Karena kumparan sekunder dan tangki mempunyai



Gambar 6-52. Pengamanan dengan arrester dan interkoneksi ke terminal pentanahan (solid)



Gambar 6-53. Pengamanan dengan arrester dan interkoneksi pentanahan melalui celah (gap)

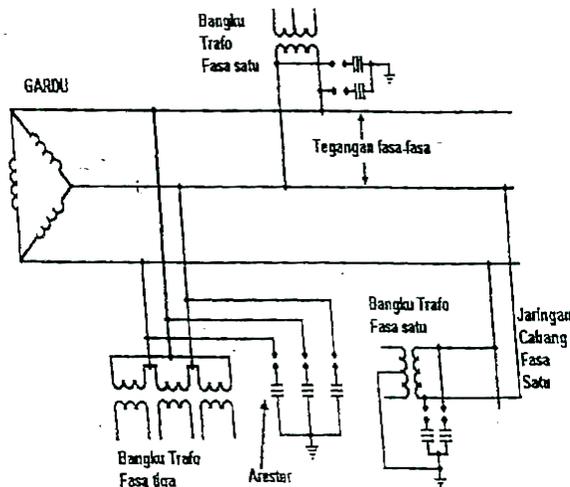


Gambar 6-54 Hubungan arrester pada sistem bintang yang diketanahkan

beda potensial terhadap tanah, maka timbul beda potensial di antara kedua kumparan, dan di antara kumparan primer dengan tangki (Gambar 6-51). Jika ditanahkan bersama maka akan menurunkan drop tegangan pada impedansi tersebut di atas, yaitu menghilangkan beda potensial yang dihasilkan oleh drop tegangan pada impedansi tanah (Gambar 6-52).

Jika interkoneksi (solid) antara tangki dan titik pentanahan bersama tidak dimungkinkan, dapat digunakan celah antara titik pentanahan dan netral kumparan sekunder (Gambar 6-53).

Hal ini menyebabkan arus surja dilewatkan melalui beberapa impedansi pentanahan paralel dan bahaya terhadap kerusakan isolasi diminimalkan, meskipun dalam kondisi arus surja besar dan impedansi pentanahan tinggi.



Gambar 6-55. Pemakaian arrester pada sistem delta

- Arrester dipasang pada tiang kawat penghantar, baik pada trafo tiga fasa maupun satu fasa untuk sistem bintang (Y) (lihat Gambar 6-54).
- Pemakaian arrester pada sistem delta (tidak ditanahkan), tegangan arrester adalah tegangan line to line (Gambar 6-58).

petir mengalir ke arrester diteruskan ke tanah, tidak melalui PL, sehingga PL tidak putus (lebur) (lihat Gambar 6-56).

6-7-10 Arrester pada SUTM

Penempatan arrester pada SUTM dilaksanakan sebagai berikut. Arrester sedapat mungkin dipasang pada titik percabangan dan pada ujung-ujung saluran yang panjang, baik saluran utama maupun saluran cabang.

Jarak antara arrester yang satu dengan yang lain tidak boleh melebihi 1000 meter dan di daerah yang berpotensi banyak petir berjarak tidak boleh melebihi 500 meter. Jika terdapat kabel tanah sebagai bagian dari sistem, arrester sebaiknya dipasang pada ujung kabel dan dipasang pada tiap kawat fasa.

6-7-11 Arrester pada SKTM

Saluran kabel tegangan menengah bawah tanah tahan terhadap gangguan petir. Saluran kabel bawah tanah mulai dari generator sampai pelanggan. Jika SKTM digabung dengan SUTM, maka petir dapat masuk ke SKTM melalui SUTM pada tiang naik. Jadi arrester harus dipasang pada tiang naik dan pada tiap kawat penghantar fasa.

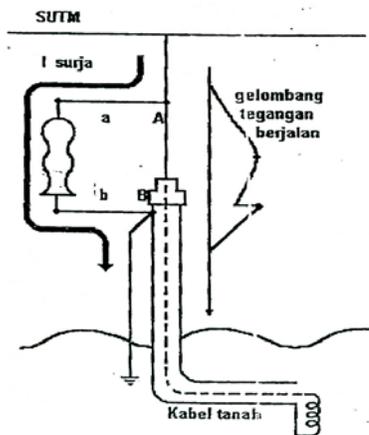
6-7-12 Kegagalan Pengamanan dan Penyebabnya

Pengamanan tegangan lebih yang terbaik adalah arrester. Ada kalanya alat pengaman sudah terpasang dengan baik tetapi mengalami kerusakan pada saat terkena sambaran petir baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga menyebabkan kegagalan dalam pengamanan.

Kegagalan pengamanan mencakup komponen sebagai berikut:

a) Pada arrester dapat disebabkan antara lain:

- Sambungan kawat arrester pada terminal arrester tidak baik atau tidak cukup kencang

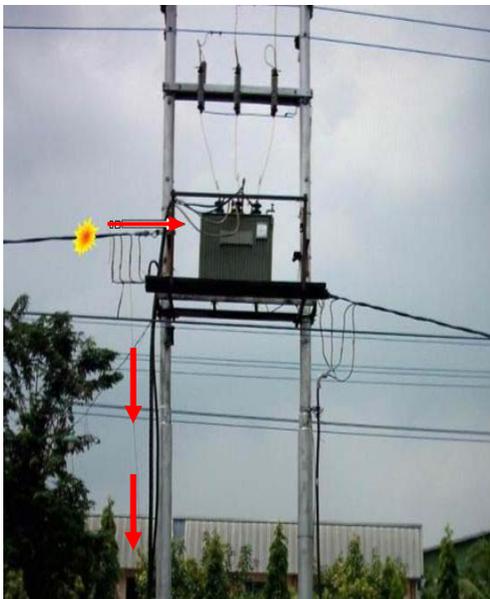


Gambar 6-57 Tegangan pada SKTM akibat sambaran petir pada SUTM

- Sambungan kawat arrester pada kawat fasa jaringan tidak baik atau tidak cukup kencang
- Sambungan kawat arrester ke terminal tanah arrester tidak baik atau tidak cukup kencang
- Sambungankawat pentanahan arrester dengan kawat (batang pentanahan) tidak baik atau tidak cukup kencang
- Tahanan pentanahan arrester > 1 Ohm
- Jarak arester terlalu jauh dari trafo
- Jarak panjang arrester pada tiang yang satu dengan arrester pada tiang yang lain terlalu jauh
- Arrester tidak bekerja optimal, meskipun tidak ada petir menyambar

secara langsung maupun tidak langsung arrester bekerja atau jika ada

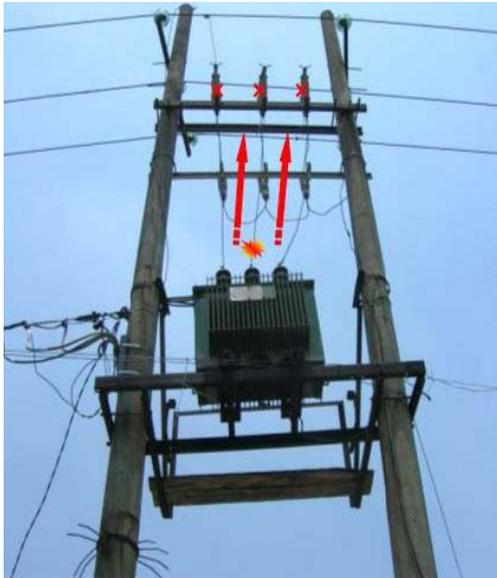
- Pentanahan kawat tanah tidak sempurna ($> 1 \text{ ohm}$) misalnya sambungan pada konektor longgar, elektroda bumi berkarat, perubahan kondisi dan struktur tanah dan sebagainya.
 - sambaran dan arrester bekerja tapi alat yang diamankan juga rusak. Hal ini disebabkan oleh jarak celah arrester tidak sesuai atau arrester sudah rusak, sehingga perlu diganti dengan yang baru.
 - Jika arrester meledak karena terkena sambaran petir secara langsung atau tidak langsung baik pada JTM maupun pada arrester, berarti arrester tidak dapat bekerja dan tidak dapat mengubah dirinya menjadi penghantar lagi sehingga arrester juga harus diganti dengan yang baru.
- b) Turunnya rodgap/sparkgap (trafo, isolator dan bushing) dapat disebabkan antara lain:
- Posisi dan jarak antara rodgap pada terminal sekunder trafo GI maupun pada terminal primer trafo distribusi perlu dikembalikan ke posisi dan jarak semula yang benar.



Gambar 6-58. Penghantar putus sehingga arus mengalir ke tanah

- Rodgap juga perlu dibersihkan
- dari akumulasi kotoran dan polusi, bushing tua, kotor, retak rambut dan sebagainya.
- Isolator kotor perlu dibersihkan dari akumulasi kotoran dan polusi dan retak dan sebagainya.
- Trafo sudah tua atau kualitas tahanan isolasi kumparan menurun
- Minyak trafo kotor sehingga banyak mengandung bahan konduktif seperti endapan karbon dan uap/air.
- Jarak kawat tanah dengan kawat fasa tidak standar (sudut perlindungan maksimum 45°)
- Kawat tanah mengendor

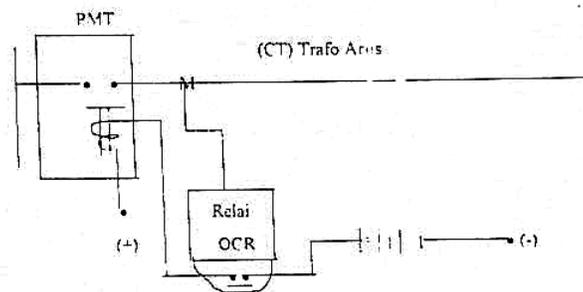
- Terjadi perubahan konstruksi JTM karena gangguan alam, tiang miring dan sebagainya
- c) Perencanaan salah, misalnya penempatan pengaman, penentuan jenis dan ukuran pengaman, koordinasi isolasi, salah pemilihan dan survai tahanan tanah tidak akurat.
- d) Pemeliharaan tidak baik pada jaringan trafo, penghantar maupun pada alat pengaman.



Gambar 6-59. Kegagalan sambungan kawat pada terminal trafo



Gambar 6-60. Bushing trafo pecah

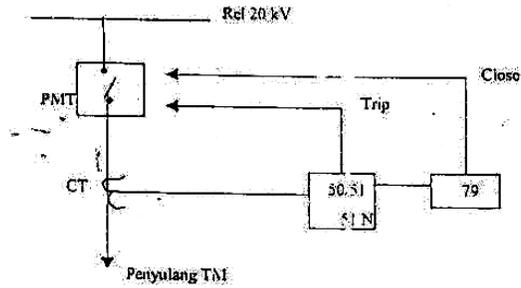


Gambar 6-61. Perangkat Relai Pengaman Arus Lebih

6-7-13 Pengawatan Pengaman

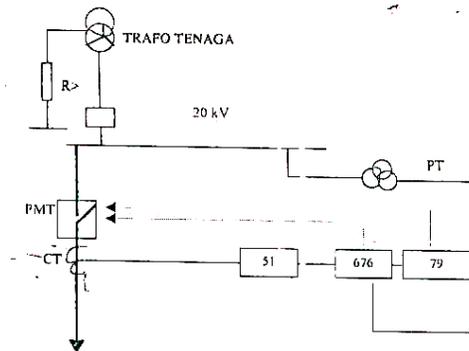
Pengawatan relai pengaman bertujuan untuk menjadikan seluruh komponen-komponen perangkat pengaman dapat berfungsi sebagai mana mestinya. Dengan demikian komponen-komponen berfungsi sebagai relai pengaman yang dapat beroperasi menjatuhkan pemutus tenaga atau melepaskan aliran arus dan tegangan jika terjadi gangguan. Komponen-komponen tersebut adalah relai arus lebih (OCR), pemutus tenaga (PMT), trafo arus, trafo tegangan, baterai dan kabel kontrol.

Diagram satu garis pengaman jaringan tegangan menengah dapat dilihat pada Gambar 6-62. Bila terjadi gangguan pada penyulang, relai 51 atau 51 N akan bekerja memerintahkan trip pada PMT secara otomatis. Dan relai recloser 79 akan memerintahkan PMT untuk menutup kembali.



Gambar 6-62. Diagram satu garis pengaman JTM

Keterangan: 50/51 = Relai OCR antar fasa dengan penundaan waktu dikombinasi dengan instant
 51 N = Relai hubung tanah
 79 = Relai recloser

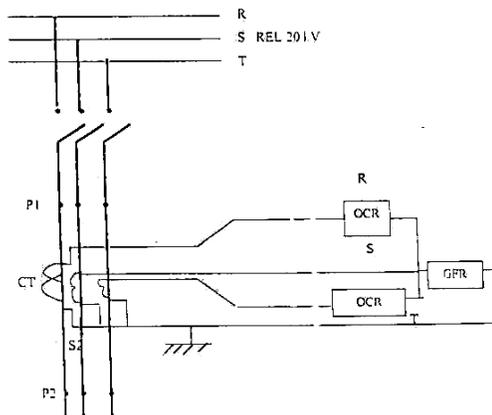


Gambar 6-63. Pengawatan pengaman dengan relai OCR

Keterangan:

51 = Relai OCR antar fasa dengan penundaan waktu
 676 = Relai gangguan tanah terarah (DGFR)
 79 = Relai recloser
 PT = Trafo tenaga
 CT = Trafo arus

Diagram pengawatan pengaman arus bolak-balik (AC) dengan kendali arus searah (kontrol DC) dapat dilihat pada Gambar 6-64. Diagram pengawatan AC adalah pengawatan dari terminal-terminal trafo arus ke terminal kumparan arus dari relai dan terminal trafo tenaga ke kumparan tegangan dari relai. Diagram kontrol DC adalah pengawatan dari kontak-kontak relai ke terminal kumparan trip dari pemutus tenaga dan baterai.



Gambar 6-64. Diagram pengawatan AC dengan kontrol DC dari OCR/GFR (Metoda 2 OCP)

Bila gangguan terjadi, maka relai OCR (R), OCR (T) dan GFR akan bekerja, tergantung pada jenis gangguan (fasa atau tanah) sehingga akan menutup kontakannya. Kontak R adalah OCR fasa R dan kontak T adalah OCR fasa T, serta G adalah GFR fasa R. Bila salah satu atau ketiga kontak menutup, maka relai waktu RT akan mendapat tegangan DC dan akan bereaksi untuk menutup kontak D1 sesuai dengan tunda waktunya. Karena D1 menutup, maka tripping coil dari PMT (52) akan mendapat tegangan serta membuka PMT. Internal diagram dari relai pengaman diperlukan untuk menentukan terminal-terminal arus DC suplai dan kontak trip.

DAFTAR PUSTAKA

1. Artono Arismunandar, DR. M.A.Sc DR. Susumu Kuwahara. 1975. **Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid I**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
2. Artono Arismunandar, DR. M.A.Sc, DR. Susumu Kuwahara. 1975. **Buku Pegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid II**. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
3. APEI Pusat. 2004. **Materi kursus/Pembekalan Uji Keahlian bidang Teknik tenaga Listrik, Kualifikasi : AHLI MUDA**. Jakarta: APEI.
4. APEI Pusat. 2006. **Materi kursus/Pembekalan Uji Keahlian bidang Teknik tenaga Listrik, Kualifikasi : AHLI MADYA**. Jakarta: APEI.
5. Bambang Djaja. 1984. *Distribution & Power Transformator*. Surabaya : B & D.
6. Bonggas L. Tobing. 2003. *Dasar Teknik Pengujian Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
7. Bonggas L. Tobing. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
8. Daryanto Drs. 2000. **Teknik Pengerjaan Listrik**. Jakarta: Bumi Aksara.
9. Depdiknas. 2004. **Kurikulum SMK 2004 Bidang Keahlian Teknik Distribusi Tenaga Listrik**. Dirjen Dikdasmen, Direktorat Dikmenjur.
10. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral. 2004. *Sosialisasi Standar Latih Kompetensi (SLK) Tenaga Teknik Ketenagalistrikan Bidang Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta: Pusat Diklat Energi dan Ketenagalistrikan.
11. Imam Sugandi Ir, dkk. 2001. **Panduan Instalasi Listrik untuk Rumah berdasarkan PUIL 2000**. Jakarta: Yarsa Printing.
12. Naryanto, Ir. & Heru Subagyo, Drs. 1997. *Manajemen Gangguan sebagai Upaya Meningkatkan Keandalan Sistem*. Surabaya : AKLI DPD JATIM dan DPC SURABAYA.
13. PLN PT. 2003. **Workshop Nasional Distribusi**. Jakarta: PLN Jasa Diklat
14. PLN UDIKLAT Pandaan. **Pemeliharaan Gardu tiang (GTT)**.
15. PLN Distribusi Jatim. 1997. **Pelatihan Koordinator Pelaksana Pekerjaan Konstruksi Jaring Distribusi**. AKLI DPD JATIM dan PLN Distribusi Jatim.

16. PLN Distribusi Jatim. 1997. **Konstruksi Jaringan Perusahaan Listrik Negara Distribusi Jawa Timur.**
17. PLN Distribusi Jatim. 1997. **Pelatihan Tenaga Ahli Kontraktor Listrik.** AKLI DPD JATIM dan PLN Distribusi Jatim.
18. Soedjana Sapiie. DR, Osamu Nishino DR. 1982. **Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik.** Jakarta: Pradnya Paramita.
19. Standar Nasional Indonesia. 2000. **Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000.** Jakarta: Yayasan PUIL.
20. Standar Listrik Indonesia. 1988. **Gangguan pada Sistem Suplai yang diakibatkan oleh Peranti Listrik dan Perlengkapannya.** Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
21. Standar Listrik Indonesia. 1988. **Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah dan Jaringan Tegangan Rendah.** Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
22. Standar Listrik Indonesia. 1988. **Metode Pengujian yang direkomendasikan untuk Instrumen Ukur Listrik Analog Penunjuk Langsung dan kelengkapannya.** Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi.
23. Stam H. N. C. 1993. **Keselamatan dan Kesehatan di Tempat Kerja.** Penebar Swadaya: Jakarta.
24. Trevor Linsley. 2004. **Instalasi Listrik Tingkat Lanjut.** Jakarta : Erlangga.
25. Yamanaka. **Electric Wire & Cable.** Sinar Merbabu: Surabaya

DAFTAR ISTILAH

admitansi	admittance
andongan (lendutan)	sag
arus bolak-balik	alternating current
arus pemuat	charging current
arus searah	direct current
arus yang diperbolehkan	allowable current
arus	current
atenuasi	attenuation
bagian penguat	bracing member
barang besi	hardware
batang pelindung	armor rod
batas elastis	elasticity limit
beban lawan	counterweight
beban	load
berat jenis	specific gravity, density
berisik	noise
besi tempaan	malleable iron
beton pelindung	mulching concrete
daya	power
daya-guna	efficiency
faktor beban	load factor
faktor daya	power factor
faktor hilang tahanan	annual loss factor
faktor keamanan	safety factor
faktor tegangan lebih	overvoltage factor
frekuensi frequency	
gangguan radio	radio interference
gardu induk	substation
garis pusat	centerline
garis-tengah	diameter
gawang	span
gaya putar	torsional force
gejala menghilang	fading
gelombang berdiri	standing wave
gelombang lenturan	diffracted wave
gelombang mikro	micro wave
gelombang pantulan	reflected wave
gulungan kerja (operasi)	operating coil
gulungan pelindung	shielding coil
gulungan penghambat	restraining coil
gulungan peredam	damper winding
gulungan	coil, winding
hilang kebocoran	leakage loss
hilang tenaga	energy loss
hubung singkat	short-circuit
impedansi surja	surge impedance
impedansi	impedance
induktansi	inductance
isolator gantung	suspension insulator
isolator jenis batang-panjang	long-rod insulator
isolator jenis pasak	pin-type insulator
isolator jenis pos saluran	line-post insulator
jam ekivalen tahunan	annual equivalent hour
kapasitansi	capacitance

kapasitor	capacitor
kawat berkas	bundled conductor
kawat berlilit	stranded conductor
kawat campuran	alloy conductor
kawat komponen	component wire
kawat padat	solid conductor
kawat paduan	composite conductor
kawat pelindung	shield wire
kawat penolong	messenger wire
kawat rongga	hollow conductor
kawat tanah	ground wire
kawat telanjang	bare conductor
kawat	conductor, wire
keadaan peralihan	transient state
keadaan tetap	steady state
keandalan	reliability
kearahkan	directivity
kelongsong reparasi	repair sleeves
kepekaan	sensitivity
keporian	porosity
kisi-kisi	lattice
koeffisien elastisitas	elasticity coefficient
koeffisien pemuaiian linier	coefficient of linear expansion
koeffisien suhu	temperature coefficient
komponen simetris	symmetrical component
konduktansi	conductance
konduktivitas	conductivity
konstanta saluran	line constants
kuat pancang	cantilever strength
kuat patah	breaking strength
kuat pikul angkatan,	uplift bearing strength
kuat pikul tekanan	compression bearing strength
kuat pikul	bearing strength
kuat tarik maksimum	ultimate tensile strength
kuat tarik	tensile stress
kuat tindas	crushing strength
kuat tekan	compressive strength
kupingan (isolator)	shed
lintasan	route
lompatan api	flashover
lubang kerja	manhole
panas jenis	specific heat
panas spesifik	specific heat
pancang	pile
pangkal pengiriman	sending end
pantulan	flection
papan penahan	butting board
pasak pengunci	lock pin
pasangan	fitting
pekerja saluran	lineman
pelindung jaringan	network protector
pemanjangan	elongation
pembagian beban	load dispatching
pembawa saluran tenaga	power line carrier (PLC)
pembumian	grounding
pemisah	disconnect switch
pemutus beban cepat	high-speed circuit breaker
pemutus beban	circuit breaker

penala	tuner, tuning
penegang kawat	tensioner
penemu gangguan	fault locator
pengait	coupling
pengapit	clamp
penghitung	counter
penguat penerima	receiving amplifier
penguat penyama	matching amplifier
pengubah fasa	phase modifier
penjepit kawat	snatch block
pentanahan	grounding
penuntun gelombang	wave guide
penutup cepat	high-speed recloser
penyaring	filter
penyearah	rectifier
penyeimbang	balancer
penyetelan	adjustment
penyokong	bracket
peralatan hubung (-penghubung)	switch gear
peralatan pengait	line coupling equipment
peralatan pengait	line coupling equipment
peralatan pengubah AC ke DC	converter
peralatan pengubah DC ke AC	inverter
peralatan perisai	shielding device
peralihan	transient
perancangan	planning
perbandingan hubung-singkat	short-circuit ratio
perbandingan kerampingan	slenderness ratio
percikan	sparkover
peredam	damper
peredaman	lihat "atenuasi", damping
perentang	spacer
permitivitas	permittivity~
perolehan daya	power gain
pusat beban	load centre
Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA)	hydro power stations
Pusat Listrik Tenaga Termis (PLTT)	thermal power station
Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD)	diesel power stations
Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG)	gas-fired power station
pusat-pusat listrik	power stations
rambatan	propagation
rangkaian ganda	double circuit
rangkaian monitor penghambat	delay monitor circuit
rangkaian tunggal	single circuit
reaktansi	reactance
regulasi tegangan	voltage regulation
relc pencatat gangguan	fault locating relay
rele arah	directional relay
rele arus lebih	overcurrent relay
rele daya	power relay
rele diferensial	differential relay
rele firkwensi	frequency relay
rele gelombang mikro	microwave relay
rele impedansi	impedance relay
rele jarak	distance relay
rele konduktansi	conductance relay
rele Mho	Mho relay
rele offset-Mho	Offset-Mho relay

rele penutup kembali	reclosing relay
rele penutupan	closing relay
rele penyalur	transmitter relay
rele pembawa saluran	power line carrier relay
rele pilot-kawat	wire-pilot relay
rele reaktansi	reactance relay
rele suseptansi	susceptance relay
rele tahanan	resistance relay
rele tegangan kurang	undervoltage relay
rele tegangan lebih	overvoltage relay
resistivitas	resistivity
respon penguat	exciter response
ril, rel	bus
rugi daya tranmisi	transmission loss
rugitahanan	resistance loss
s l arung (kabel)	(cable) sheath
saluran bawah tanah	underground line
saluran bertegangan	hot-line
saluran ganda	double-circuit transmission line
saluran komunikasi	communication channel
saluran panas	hot-line
saluran penghubung	feeder line
saluran tertutup	loop transmission line
saluran transmisi	transmission line
saluran udara	overhead line
sela batang	rod gap
sela pelindung	protective gap
semu	appearance
sentral. listrik	lihat Pusat Listrik
siku pelindung	mulching angle
sistim banyak-terminal	multi-terminal system
sistim berturutan	tandem system
sistim jaringan	spot-network system
sistim rangkaian tertutup	loop system
stabilitas peralihan	transient stability
stabilitas tetap	steady state stability
stasiun jinjingan	portable station
stasiun mobil	mobile station
stasiun pangkalan	base station
stasiun tetap	fixed station
struktur pasak	pin structure
sudut ayun	swing angle
surja hubung	switching surge
surja	surge
survey garis pusat	center line survey
survey lokasi menara	tower site study
survey profil.	profile survey
survey tampak atas	plan survey
suseptansi	susceptance
tahanan jenis	resistivity
tahanan	resistance
tanjuk (busur) api	arcing horn
tangkai operasi	operating shaft
tegangan geser	shearing stress
tegangan harian	everyday stress (EDS)
tegangan kejut	pulse voltage
tegangan ketahanan	withstand voltage
tegangan lebih dalam	internal overvoltage

tegangan lebih	overvoltage
tegangan lentur	bending stress
tegangan lumer	yielding stress
tegangan patah	breaking strength
tegangan perencanaan	design stress
tegangan pikul	bearing stress
tegangan tarik	tensile stress
tegangan tekan	compression stress
tegangan serat	fibre stress
tenaga	energy
titik lebur	melting point
ugi pancaran	propagation loss
ujung penerimaan	receiving end
urutan negatip	negative sequence
urutan nol	zero sequence
urutan positip	positive sequence
waktu mati	dead time
waktu membuka	opening time
waktu menutup	making time
waktu pasang kembali	resetting time

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1-1 Sistem Tenaga Listrik	3
2-1 Sistem Penyaluran Tenaga Listrik	11
2-2 Pembagian/pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik ...	12
2-3 Konfigurasi horisontal	13
2-4 Konfigurasi Vertikal	13
2-5 Konfigurasi Delta	14
2-6 (a) dan (b) Jaringan distribusi lintas bangunan	14
2-6 (c) dan (d) Jaringan distribusi lintas bangunan	14
2-6(e) Jaringan distribusi lintas bangunan	15
2-6 (f) Jaringan distribusi lintas bangunan	15
2-7 Saluran Udara dengan konduktor kabel	15
2-8 Saluran distribusi dimana saluran primer dan sekunder terletak pada satu tiang	15
2-9 Saluran Udara Lintas Alam	15
2-10 Jaringan radial tipe pohon	17
2-11 Komponen Jaringan radial	17
2-12 Jaringan radial dengan tie dan switch	18
2-13 Jaringan radial tipe pusat beban	18
2-14 Jaringan radial tipe phase area (kelompok fasa)	19
2-15 Jaringan Distribusi tipe Ring	20
2-16 Jaringan Distribusi ring terbuka	20
2-17 Jaringan Distribusi ring tertutup	20
2-18 Rangkaian Gardu Induk tipe Ring	21
2-19 Jaringan Distribusi NET	21
2-20 Jaringan Distribusi NET dengan Tiga penyulang Gardu Hubung	21
2-21 Jaringan Distribusi NET dilengkapi breaker pada bagian tengah masing-masing penyulang	22
2-22 Jaringan distribusi Spindle	23
2-23 Diagram satu garis Penyulang Radial Interkoneksi	24
2-24 Komponen sistem distribusi	25
2-25 Sistem satu fasa dua kawat tegangan 120Volt	26
2-26 Sistem satu fasa tiga kawat tegangan 120/240 Volt	27
2-27 Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/240 Volt	27
2-28 Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt	27
2-29 Sistem distribusi tiga fasa tiga kawat	28
2-30 Sistem distribusi tiga fasa empat kawat 220/380 Volt	28
2-31 Contoh Gambar Monogram Gardu Distribusi	30
2-32 Penampang Fisik Gardu Distribusi	31
2-33 Bagan satu garis pelanggan TM	32
2-34 Bagan satu garis Gardu Beton	33
2-35 Bangunan Gardu beton	33
3-36 Bardu Besi	34
2-37 Gardu tiang tipe portal dan Midel Panel	35

2-38	Bagan satu garis Gardu tiang tipe portal	36
2-39	Bagan satu garis Gardu tiang tipe Cantol	37
2-40	Gardu tiang tiga fasa tipe Cantol	37
2-41	Elektrode Pentanahan	38
2-42	Detail Pemasangan Elektrode Pentanahan	38
2-43	Diagram Instalasi Pembumian Gardu Distribusi	39
2-44	Gardu mobil	40
2-45	Pemutus beban 20 kV tipe " <i>Fuse Cut out</i> "	41
2-46	Trafo distribusi kelas 20 kV	41
2-47	Hubungan dalam trafo distribusi tipe " <i>New Jec</i> "	42
2-48	Sistem satu fasa dua kawat 127 Volt	42
2-49	Sistem satu fasa dua kawat 220 Volt	43
2-50	Sistem satu fasa tiga kawat 127 Volt	43
2-51	Sistem tiga fasa empat kawat 127/220 Volt	44
2-52	Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt	44
2-53	Bank trafo dengan ril	45
2-54	Bank trafo dilengkapi sekring sekunder pada relnya	45
2-55	Bank trafo dengan pengamanan lengkap	46
2-56	Karakteristik beban untuk industri besar	47
2-57	Karakteristik beban harian untuk industri kecil yang hanya bekerja pada siang hari	48
2-58	Karakteristik beban harian untuk daerah komersil	48
2-59	Karakteristik beban harian rumah tangga	49
2-60	Karakteristik beban penerangan jalan umum	50
2-61	Perbandingan nilai g untuk rumah besar dan rumah kecil	51
2-62	Andongan	55
2-63	Konstruksi tiang penyangga (TM-1)	57
2-64	Konstruksi tiang penyangga ganda (TM-2)	57
2-65	Konstruksi tiang tarik akhir (TM-4)	58
2-66	Konstruksi tiang tarik ganda (TM-5)	58
2-67	Konstruksi tiang pencabangan (TM-8)	58
2-68	Konstruksi tiang sudut (TM-10)	58
2-69	Konstruksi <i>Guy Wire</i>	59
2-70	Konstruksi Horisontal <i>Guy Wire</i>	59
2-71	Konstruksi <i>Strut Pole</i>	59
2-72	Konstruksi GTT tipe cantol	60
2-73	GTT tipe dua tiang	60
2-74	Konstruksi Tiang Penyangga (TR-1)	60
2-75	Konstruksi Tiang Sudut (TR-2)	60
2-76	Konstruksi Tiang Awal (TR-3)	61
2-77	Konstruksi Tiang Ujung (TR-3)	61
2-78	Konstruksi Tiang Penegang (TR-5)	61
3-1	<i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB)	62
3-2	Konstruksi KWH meter	65
3-3	Tang Ampere.....	66
3-4	Bentuk-bentuk penunjukan (register)	66

3-5 Rangkaian Prinsip Kerja Transformator	67
3-6 Transformator Arus	69
3-7 Jenis-jenis Trafo Arus	69
3-8 Trafo Tegangan	71
3-9 Jenis-jenis trafo tegangan	71
3-10 Alat Pembagi Tegangan Kapasitor	71
3-11 Kombinasi-kombinasi transformator pengukur dan Wattmeter	72
3-12 Pengukuran arus pada kawat penghantar	73
3-13 Diagram Pengawatan kWh Meter 1 fasa 2 kawat	74
3-14 Diagram Pengawatan kWh Meter 3 fasa 4 kawat	75
3-15 Diagram Pengawatan kWh Meter 3 fasa 3 kawat	75
3-16 Bentuk kWh Meter Elektronik	76
3-17 Bentuk meter standar	77
3-18 Bentuk Kunci Elektronik	78
3-19 Sambungan Listrik 3 Fasa Tarip Ganda Dari Gardu Tiang dengan kabel TR NYFGBY	82
3-20 Lemari APP untuk TM-TR (100 A– 500 A) (Dengan Tutup Luar)	83
3-21 Lemari APP untuk TM-TR (100 A– 500 A) (Tanpa Tutup Luar) ..	84
3-22 Sambungan Listrik TM Pengukuran TM Tarif Tunggal Mengguna- kan peralatan Cubicle dg Kabel TM	85
3-23 Sambungan Listrik TM Pengukuran TM Tarif Ganda Mengguna- kan peralatan Cubicle dg Kabel TM KVARh (Sistem 4 kawat)	86
3-24 Lemari Pasangan Luar untuk Penempatan Alat Ukur TT-TM	87
3-25 Sambungan Listrik TM Pengukuran TM Tarif Tunggal Mengguna- kan Cut Out / Tiang dengan AAAC & KVARH (Sistem 3 kawat) ...	88
3-26 Sambungan Listrik TM Pengukuran TR Tarif Tunggal Mengguna- kan Peralatan Cubicle dengan Kabel TM & KVARH (Sistem 3 kawat/4 kawat TM)	89
3-27 Lemari APP untuk TM-TR (100 A - 500 A) (dengan Tutup Luar)	91
3-28 Lemari APP untuk TM-TR (100 A - 500 A) (Tanpa Tutup Luar)..	90
3-29 Sambungan Listrik TM Pengukuran TR Tarif Ganda Mengguna- kan Peralatan Cubicle dengan Kabel TM & KVARH (Sistem 3 kawat/4 kawat)	92
4-1 Konstruksi Tiang Beton	93
4-2 Jarak aman yang diperlukan untuk menentukan panjang tiang	94
4-3 Mendirikan tiang cara manual	95
4-4 Mendirikan Tiang dengan alat pengangkat	98
4-5 Kabel udara melintasi jalan umum yang dilalui kendaraan bermotor	100
4-6 Kabel udara yang dipasang di sepanjang jalan raya	100
4-7 Kabel udara yang dipasang di bawah pekerjaan konstruksi	101
4-8 Dua Kabel udara (SUTM & SUTR) dipasang pada satu tiang	101
4-9 Kabel udara melintasi sungai	102
4-10 Kabel udara yang melintas di sebelah jembatan	103
4-11 Kabel udara melintasi jalur listrik saluran udara	104
4-12 Kabel udara yang melintasi rel kereta api	104

4-13 Kabel udara yang melalui kabel udara telekomunikasi	105
4-14 Jarak dengan kabel telekomunikasi	106
4-15 Pemasangan saluran udara di dekat kabel telekomunikasi	107
4-16 Kabel udara yang melintasi Rel kereta api	108
4-17 Contoh skema jaringan tegangan rendah	108
4-18 Pemasangan TC pada jaringan 0°-45° pada tiang beton bulat (sudut kecil)	109
4-19 Pemasangan TC pada jaringan 45°-120° pada tiang beton bulat (sudut besar)	109
4-20 Penyambungan TC pada tiang penegang tiang beton	110
4-21 Konstruksi tiang penyangga(TR1)	110
4-22 Konstruksi tiang penegang/sudut(TR2)	111
4-24 Konstruksi tiang penyangga silang(TR4)	111
4-25 Konstruksi tiang penyangga & sudut silang (TR4A)	112
4-26 Konstruksi tiang penyangga & sudut silang (TR4B)	112
4-27 Konstruksi tiang penegang (TR5)	112
4-28 Konstruksi tiang penegang dengan hantaran beda penampang (TR5A)	113
4-29 Konstruksi tiang percabangan (TR6)	113
4-30 Konstruksi tiang percabangan (TR6A)	113
4-31 Konstruksi Penyambungan konduktor TC dan AAAC (TR7)	114
4-32 Konstruksi <i>Guy Wire</i> (GW)	114
4-33 Konstruksi <i>Strut Pole</i>	115
4-34 Konstruksi Horizontal <i>Guy Wire</i> (GW)	115
4-35 Alat pelindung dari seng	116
4-36 Kendaraan pengangkut kabel dan haspel (gulungan kabel)	116
4-37 Kantung Perkakas Tukang Listrik (<i>Electrician tool poche</i>)	118
4-38 Kotak Perkakas (<i>Tool box</i>)	118
4-39 Belincong (Pick)	119
4-40 Bor Listrik (<i>Electric drill</i>)	119
4-41 Cangkul (<i>Shovel</i>)	119
4-42 Bor Nagel (<i>Auger (Ginlet)</i>)	119
4-43 Bor Tangan (<i>Hand drill</i>)	119
4-44 Gergaji kayu (<i>stang</i>)	119
4-45 Gergaji kayu	119
4-46 Kakatua	119
4-47 Linggis (<i>Digging Bar</i>)	120
4-48 Kunci Inggris (<i>Adjustable Wrech</i>)	120
4-49 Kikir (<i>File</i>)	120
4-50 Kunci Pas (<i>Spanner</i>).....	120
4-51 Kunci Ring (<i>Offset Wrech</i>)	120
4-52 Pahat Beton (<i>Concrete Chisel</i>)	120
4-53 Obeng (<i>Screw Driver</i>)	120
4-54 Pahat Kayu (<i>Wood Chisel</i>)	120
4-55 Palu (<i>Hammer</i>)	120
4-56 Penjepit Sepatu Kabel Hidrolik (<i>Hydraulic Crimping Tool</i>)	121

4-57	Alat Pembengkok Pipa (<i>Pipe Bender</i>)	121
4-58	Sendok Aduk (<i>Trowel</i>)	121
4-59	Pisau Kupas Kabel (<i>Line's men knife</i>)	121
4-60	Skop (<i>Spade</i>)	121
4-61	Tang Kombinasi (<i>Master Plier</i>)	121
4-62	Tang Lancip (<i>Radio long Nose Plier</i>)	121
4-63	Tang Pengupas Kabel (<i>Wire Striper</i>)	121
4-64	Tang Potong (<i>Diagonal cutting plier</i>)	122
4-65	Tirpit (Penarik kabel)	122
4-66	Ampere Meter	122
4-67	Kwh Meter	122
4-68	Lux Meter (<i>Illumino Meter</i>)	122
4-69	Megger (<i>Insulation Tester</i>)	122
4-70	Meteran Kayu/lipat (<i>Folding wood measurer</i>)	123
4-71	Meteran Pendek (<i>Convec Rule</i>)	123
4-72	Multimeter (<i>Multy meter</i>)	123
4-73	Termometer (<i>Thermometer</i>)	123
4-74	Tespen (<i>Electric tester</i>)	123
4-75	Water Pas (<i>Level</i>)	123
4-76	Volt meter	123
4-77	Kacamata Pengaman (<i>Safety goole</i>)	124
4-78	Pelindung Kedengaran (<i>Hearing protector</i>)	124
4-79	Pelindung Pernafasan (<i>Dust/Mist Protector</i>)	124
4-80	Topi Pengaman (<i>Safety Helmet/Cap</i>)	124
4-81	Sabuk Pengaman (<i>Safety Belt</i>)	124
4-82	Sarung Tangan 20 kV (<i>20 kV Glove</i>)	124
4-83	Sepatu Pengaman (<i>Safety Shoe</i>)	124
4-84	Bor Listrik Duduk (<i>Bend Electric Drill</i>)	125
4-85	Catok (<i>Vise</i>)	125
4-86	Dongkrak Haspel Kabel (<i>Cable Drum Jack</i>)	125
4-87	Disel Genset (<i>Diesel Generator</i>)	125
4-88	Gerinda Potong Cepat (<i>High Speed Cutter</i>)	125
4-89	Mesin Penarik Kabel (<i>Winche</i>)	125
4-90	Molen Beton (<i>Concrete Mixer</i>)	125
4-91	Pembengkok Pipa Hidrolis (<i>Hydraulic Pipe Bender</i>)	125
4-92	Pemegang Kabel (<i>Cable Grip</i>)	126
4-93	Pompa Air (<i>Water Pump</i>)	126
4-94	Rol Kabel (<i>Cable Roller</i>)	126
4-95	Tangga Geser (<i>Extension Ladder</i>)	126
4-96	Treller Haspel Kabel (<i>Cable Drum Trailler</i>)	126
4-97	Alat Ukur Model Wenner	129
4-98	Mengukur Tahanan Tanah dengan Earth Tester Analog	130
4-99	Pengukuran dengan <i>Earth Resistance Tester</i> dan Persyaratan pengukuran tahanan tanah	131
4-100	Pengukuran dengan Tang Ground Tester Digital	131
4-101	Pemasangan Multyple Grounding	132

4-102	Penempatan Elektrode Pengukuran	132
4-103	Diagram Satu Garis PHB-TR	135
4-104	Gambar Konstruksi Sistem Pembumian	138
4-105	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	142
4-106	Perletakan 2 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	142
4-107	Perletakan 3 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	143
4-108	Perletakan 4 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	143
4-109	Perletakan 5 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	144
4-110	Perletakan 6 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	144
4-111	Perletakan 7 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	145
4-112	Perletakan 8 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm	145
4-113	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm posisi penyebrangan	146
4-114	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah berm posisi paralel	146
4-115	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	147
4-116	Perletakan 2 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	147
4-117	Perletakan 3 kabel tanah TR tiap 1 eter di bawah trotoar	148
4-118	Perletakan 4 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	148
4-119	Perletakan 5 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	149
4-120	Perletakan 6 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	149
4-121	Perletakan 7 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	150
4-122	Perletakan 8 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar	150
4-123	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar posisi penyebrangan	151
4-124	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter di bawah trotoar posisi paralel	151
4-125	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	152
4-126	Perletakan 2 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	152
4-127	Perletakan 3 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	153
4-128	Perletakan 4 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	153
4-129	Perletakan 5 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	154
4-130	Perletakan 6 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	154
4-131	Perletakan 7 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	155
4-132	Perletakan 8 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali)	155
4-133	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali) posisi penyebrangan	156

4-134	Perletakan 1 kabel tanah TR tiap 1 meter melintang jalan raya aspal (digali) posisi paralel	156
4-135	Susunan struktur penanaman kabel tanah	157
4-136	Pemasangan kabel tanah dengan pipa pelindung	157
4-137	Cara meletakkan kabel tanah di dalam tanah galian	157
4-138	Ukuran dan penempatan untuk satu kabel dan dua kabel	157
4-139	Ketentuan umum sambungan pelanggan	158
4-140	Ketentuan umum sambungan luar pelanggan	159
4-141	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada STR tanpa isolasi dan berisolasi	160
4-142	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada STR tanpa isolasi dan STR berisolasi	160
4-143	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada STR tanpa isolasi dan STR berisolasi	161
4-144	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada STR tanpa isolasi dan berisolasi	161
4-145	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada STR tanpa isolasi dan berisolasi	162
4-146	Konstruksi SLP 1 phasa / 3 phasa jenis Twisted pada STR tanpa isolasi dan STR berisolasi	162
4-147	Konstruksi SLP 1 phasa / 3 phasa jenis Twisted pada STR tanpa isolasi dan STR berisolasi	163
4-148	Konstruksi SLP 1 phasa / 3 phasa jenis Twisted pada STR tanpa isolasi dan STR berisolasi	163
4-149	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX padatiang atap ..	164
4-150	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada titik tumpu dinding/tiang kayu	164
4-151	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada titik tumpu dinding/tiang beton	165
4-152	Konstruksi SLP 1 phasa jenis DX/ 3 phasa jenis QX pada titik tumpu dinding/tiang kayu dan beton	165
4-153	Konstruksi SLP 1 phasa, 3 phasa Jenis twisted pada tiang atap	166
4-154	Konstruksi SLP 1 phasa, 3 phasa jenis twisted pada titik tumpu dinding/tiang kayu dan beton	166
4-155	Konstruksi SLP 1 phasa, 3 phasa jenis twisted pada titik tumpu dinding/tiang kayu	166
4-156	Konstruksi SLP 1 phasa, 3 phasa jenis twisted pada titik tumpu dinding/tiang kayu	167
4-157	Konstruksi SMP dengan tiang atap untuk SR 1 phasa/3 phasa dengan SLP jenis DX/QX dan SMP jenis NYM/NYY di luar Bangunan	167
4-158	Konstruksi SMP dengan tiang atap untuk SR 1 phasa/3 phasa dengan SLP jenis DX/QX dan SMP jenis NYM/NYY di luar Plapon	169

4-159	Konstruksi SMP dengan titik tumpu untuk SR 1 phasa/3 phasa dengan SLP jenis DX/QX dan SMP jenis NYM/NYY di luar Bangunan	169
4-160	Konstruksi SMP dengan titik tumpu untuk SR 1 phasa/3 phasa dengan SLP jenis DX/QX dan SMP jenis NYM/NYY di luar Bangunan	170
4-161	Konstruksi SMP dengan tiang atap untuk SR 1 phasa/3 phasa tanpa sambungan jenis Twisted	171
4-162	Konstruksi SMP dengan tiang atap untuk SR 1 phasa/3 phasa tanpa sambungan jenis Twisted	172
4-163	Konstruksi SMP dengan tiang atap untuk SR 1 phasa/3 phasa tanpa sambungan jenis Twisted	172
4-164	Konstruksi SMP dengan titik tumpu untuk SR 1 phasa/3 phasa tanpa sambungan jenis Twisted	173
4-165	Pemasangan APP pelanggan TR 1 phasa/3 phasa dengan OK type I/III pada dinding yang telah ada pelindungnya	173
4-166	Pemasangan APP pelanggan TR 1 phasa dengan OK type I dengan pelindung tambahan	174
4-167	Pemasangan APP pelanggan TR 3 phasa dengan OK type III dengan pelindung tambahan	175
4-168	Pemasangan APP pelanggan TR 3 phasa pada Gd. Trafo Tiang	176
4-169	Pembagian daerah pengaruh arus bolak-balik (pada 50-60 hz) terhadap orang dewasa	184
4-170	Sistem Pentanahan TR	189
4-171	Sistem Pentanahan PNP.....	190
4-172	Kasus Putusnya Penghantar Netral pada Sistem PNP	192
4-173	Macam-macam hubungan singkat	193
4-174	Pengaman Lebur Tabung Tertutup	195
4-175	Kurva leleh minimum dan kurva pemutusan maksimum dan pelebur tegangan rendah	198
4-176	Kurva leleh minimum dan kurva pemutusan maksimum dan pelebur tegangan rendah (230/400V) Berdasarkan rekomendasi IEC 269 – 2	199
4-177	Kurva leleh minimum dan kurva pemutusan maksimum dan pelebur tegangan rendah (230/400V) Berdasarkan rekomendasi IEC 269 – 2	200
5-1	Pola sistem tenaga Listrik	202
5-2	Pola proteksi pada saluran udara tegangan menengah	207
5-3	Pola proteksi pada saluran kabel tanah	207
5-4	Pola proteksi pada pembangkit	208
5-5	Aspek Pembumian pada JTM	208
5-6	Titik-titik pembumian pada jaringan	211
5-7	Aturan Penanaman Kabel	214
5-8	Pekerjaan sebelum penanaman kabel	216
5-9	Peletakan Kabel Tanah	217
5-10	Pengangkutan kabel tanah tegangan menengah dengan forklif ..	218

5-11	Alat pelindung dari seng	219
5-12	Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah	219
5-13	Penentuan Lintasan Kabel Tanah	220
5-14	Lebar Galian dan Penanganan Kotak Sambungan	220
5-15	Dasar lubang galian	220
5-16	Aturan Penanaman Kabel	221
5-17	Jembatan Kabel	221
5-18	Konstruksi khusus penanaman kabel	222
5-19	Lintasan penyebrangan kabel tanah pada gorong-gorong/parit ..	222
5-20	Pekerjaan penanaman kabel	223
5-21	Buis Beton	224
5-22	Konstruksi Penanaman Kabel Tanah	224
5-23	Pemasangan Kabel pada Jembatan Beton	225
5-24	Posisi/kedudukan kabel di dasar rak kabel	226
5-25	Penanganan dan Pengangkutan dengan Haspel	227
5-26	Alat Penarik Kabel	227
5-27	Alat Penarik kabel (Grip)	228
5-28	Roller untuk Kabel	228
5-29	Roll Penggelar Kabel	229
5-30	Dongkrak Kabel	229
5-31	Penarikan kabel TM dengan Roll dibelokan normal	229
5-32	Penarikan kabel TM Belokan Tajam	230
5-33	Penggelaran Kabel	230
5-34	Persiapan Penyambungan Kabel	231
5-35	Tutup / Dop Ujung Kabel	231
5-36	Aturan galian penyambungan	232
5-37	Penamaan Timah Label	232
5-38	Pemasangan Lebel pada Kotak Sambung	233
5-39	Alat Pembumian Kabel yang akan dipotong	233
5-40	Tutup Asbes	234
5-41	Anyaman penghubung	234
5-42	Alat Kerja Pembumian	234
5-43	Jarak aman antara kereta api dengan tiang	237
5-44	Jarak aman antara SUTT dan SUTM	238
5-45	Jarak aman antara Menara SUTT dan SUTM	238
5-46	Jarak aman antara SUTR dan SUTM	239
5-47	JTM 3 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi/beton Pin type insulator & kawat AAAC/AAAC-S per kms jarak gawang 50 meter (sistem 3 kawat)	244
5-48	JTM 3 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi / beton Pos type insulator & kawat AAAC/AAAC-S per kms jarak gawang 50 mete (sistem 3 kawat)	245
5-49	JTM 3 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi / beton dengan kabel udara Twisted 20 kV per kms jarak gawang 50 meter (sistem 3 & 4 kawat)	246

5-50	JTM 3 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi / beton Pin type insulator & kawat AAAC / AAAC-S per kms jarak gawang 50 meter (sistem 4 kawat)	247
5-51	JTM 3 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi / beton Pos type insulator & kawat AAAC/ AAAC-S per kms jarak gawang 50 meter (sistem 4 kawat)	248
5-52	JTM 1 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi/ beton Pin type insulator & kawat AAAC / AAAC-S per kms jarak gawang 50 meter	249
5-53	JTM 1 fasa 20 kV Menggunakan tiang besi/beton Post type insulator & kawat AAAC / AAAC-S per kms jarak gawang 50 meter	250
5-54	Konstruksi tiang penyangga (TM-1)	251
5-55	Konstruksi tiang penyangga ganda (TM-2).....	251
5-56	Konstruksi tiang tarik akhir (TM-4)	252
5-57	Detail rangkaian isolator tarik/gantung	252
5-58	Konstruksi tiang penegang (TM-5)	253
5-59	Konstruksi tiang penegang dengan Cut Out Switch pada tiang akhir lama (TM-4XC)	253
5-60	Konstruksi tiang tarik ganda (TM-5)	254
5-61	Konstruksi penegang dengan Cut Out Switch (TM5C)	254
5-62	Konstruksi Percabangan tiang penyangga dan tarik (TM8)	255
5-63	Konstruksi Tiang sudut (TM10)	255
5-64	Konstruksi tiang sudut dilengkapi Cut Out Switch (TM10C)	256
5-65	Konstruksi portal dua tiang (TMTP2)	256
5-66	Konstruksi portal tiga tiang (TMTP3)	257
5-67	Konstruksi sudut portal dua tiang (TMTP2A)	257
5-68	Konstruksi sudut portal tiga tiang (TMTP3A)	258
5-69	Konstruksi tiang akhir dengan pemasangan kabel tanah (TM11)	258
5-70	Konstruksi Guy Wire (GW)	259
5-71	Strut Pole (SP)	260
5-72	Horizontal Guy Wire (HGW)	260
5-73	Pemasangan Cross Arm double Tumpu pada Tiang Beton Bulat	261
5-74	Pemasangan Cross Arm double Tumpu pada Tiang Beton H	262
5-75	Pemasangan Cross Arm Tention Support 2000 mm pada Tiang Beton Bulat	263
5-76	Pemasangan Cross Arm Tention Support 2000 mm pada Tiang Beton H	264
5-77	Pemasangan Cross Arm Tention Support 2200 mm Double Pole pada Tiang Beton Bulat	265
5-78	Pemasangan Cross Arm Tention Support 2200 mm Double Pole pada Tiang Beton H	266
5-79	Pemasangan 2 X Tention Support 2200 mm Diatas Dua Tiang..	267
5-80	Pemasangan 2 X Tention Support 2200 mm Diatas Dua Tiang Beton H	268

5-81	Pemasangan 2 X ½ Tention Support 2000 mm pada Tiang Beton Bulat sudut $\pm 90^\circ$	269
5-82	Pemasangan 2 X ½ Tention Support 2000 mm pada Tiang Beton H sudut $\pm 90^\circ$	270
5-83	Pemasangan Cross Arm 2 x T- Off pada Tiang Beton bulat	271
5-84	Peralatan Pengait untuk komunikasi Pembawa (PLC)	276
5-85	Peralatan Pengait (Coupling Equipment). dalam Gardu. A: Jebakan Saluran (Line Trap) B: Kapasitor Pengait (Coupling Capacitor) C: Penyaring Pengait (Coupling Filter)	277
5-86	Sistem Rangkaian Transmisi dengan Pembawa (PLC)	278
5-87	Contoh Peralatan Radio	281
5-88	Contoh Sistem Komunikasi Radio Mobil untuk Pemeliharaan Saluran	283
5-89	Lintasan Gelombang Mikro yang dipantulkan oleh reflektor Pasif.	285
5-90	Reflektor Pasif (A) dan Antena Parabola (B) Gelombang Mikro (Panah menunjukkan Lintasan Gelombang	285
5-91	Penghitungan Kapasitas Baterai	287
5-92	Lengkung Pelepasan Baterai	287
6-1	Bentuk lemari dengan bagian yang dapat ditarik keluar	291
6-2	Busbar tipe terbuka (pandangan depan)	291
6-3	Salah satu contoh Busbar tipe tertutup (Kubikel)	292
6-4	PHB/Gardu terbuka	293
6-5	PHB TR (<i>Out Door</i>)	293
6-6	Rangkaian Utama, Pengukuran & Kontrol PHB TR.	294
6-7	PHB-TR Dua Jurusan dan Empat Jurusan	295
6-8	Konstruksi PHB-TR type berdiri (Standing)	296
6-9	Diagram Pengawatan PHB-TR	297
6-10	Pemeriksaan titik sambungan dengan Thermavision	299
6-11	Pelaksanaan Pemeliharaan Salah Satu Komponen PHB TR	300
6-12	Diagram Segaris Gardu Trafo Tiang (GTT)	300
6-13	Pemasangan PHB-TR pada Gardu	301
6-14	Diagram Satu Garis PHB-TR Gardu Tiang Trafo	302
6-15	Pemasangan PHB-TR pada Gardu Control	302
6-16	Rangkaian Dasar Trafo	305
6-17	Diagram Arus Penguat	306
6-18	Rangkaian Trafo Berbeban	307
6-19	Detail Load Break Switch	318
6-20	Ruang Kontak Kontrol <i>Load break switch</i>	323
6-21	Panel Perlengkapan <i>Load break switch</i>	323
6-22	Menghubungkan Kabel	327
6-23	Melepaskan Kabel Kontrol	329
6-24	Pengujian Load Break	329
6-25	Terminal TeganganTinggi	330
6-26	Sambungan Suplai Tegangan Rendah	331
6-27	Sambungan Kabel Ujung	332
6-28	Suplai Tegangan Rendah dan Terminal Grounding	332

6-29	Gabungan Kabel suplai dari Terminal Trafo	333
6-30	Daerah pengamanan gangguan	337
6-31	SUTM dalam keadaan gangguan satu kawat ke tanah	343
6-32	SUTM dalam keadaan gangguan 2 kawat ke tanah	343
6-33	SUTM dalam keadaan gangguan 3 kawat ke tanah	344
6-34	Penempatan Rele Pengaman pada Jaringan Radial	359
6-35	Koordinasi Pengaman pada Jaringan Radial	350
6-36	Koordinasi Pengaman pada Jaringan Loop	351
6-37	Koordinasi PBO, SSO dan FCO	351
6-38	Penempatan PMT, PBO, PL dan SSO pada pangkal saluran cabang jaringan TM	353
6-39	Penempatan PMT dan PL pada jaringan Spindel SKTM (PMT tanpa PBO) Pola 2	354
6-40	Penempatan PMT, PBO, PL, SSO serta Saklar Tuas (ST)	355
6-41	Penempatan PMT, SSO, ST, FCO pada SUTM	356
6-42	Penempatan Arrester, PL dan PMT pada SUTM	357
6-43	Sambaran petir pada SUTM	358
6-44	Kondisi I dan II dari Jaringan Distribusi	368
6-45	Muatan sepanjang tepi awan menginduksikan muatan lawan pada bumi	359
6-46	Lidah petir menjalar ke arah bumi	359
6-47	Kilat sambaran balik dari bumi ke awan	360
6-48	Kumpulan muatan pada SUTM	360
6-49	Gelombang tegangan uji impuls 1,2 x 50 mikro detik	362
6-50	Skema Sambaran Petir yang Dialihkan <i>Arrester</i> ke Tanah	364
6-51	Pengamanan dengan arrester tanpa interkoneksi terminal Pentanahan	365
6-52	Pengamanan dengan arrester dan interkoneksi ke terminal pentanahan (solid)	365
6-53	Pengamanan dengan arrester dan interkoneksi pentanahan melalui celah (gap)	365
6-54	Hubungan arrester pada sistem bintang yang diketanahkan	366
6-55	Pemakaian arrester pada sistem delta	366
6-56	Hubungan arrester yang direkomen-dasikan untuk sisi beban di bagian primer pelebur (PL)	367
6-57	Tegangan pada SKTM akibat sambaran petir pada SUTM	368
6-58	Penghantar putus sehingga arus mengalir ke tanah	359
6-59	Kegagalan sambungan kawat pada terminal trafo	370
6-60	Bushing trafo pecah	370
6-61	Perangkat Relai Pengaman Arus Lebih	370
6-62	Diagram satu garis pengaman JTM	371
6-63	Pengawatan pengaman dengan relai OCR	371
6-64	Diagram pengawatan AC dengan kontrol DC dari OCR/GFR (Metoda 2 OCP)	372

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2-1	Penggolongan tarif tenaga listrik 49
2-2	Nilai g untuk bermacam-macam jenis beban 51
2-3	Daya hantar arus AAAC & XLPE cable TR 54
3-1	Jenis Pembatas dan Penggunaannya 63
3-2	Contoh Data Teknik Pemutus Tenaga (MCB) 63
3-3	Arus Mula 80
3-4	Batas Kesalahan Presentase yang Dijinkan 81
4-1	Memilih Panjang Tiang 94
4-2	Batas minimum penggunaan tiang beton Pada jaring SUTR– TIC khusus 95
4-3	Spesifikasi kabel LVTC 99
4-4	Tahanan Jenis Tanah 127
4-5	Nilai rata-rata Tahanan Elektrode Bumi 128
4-6	Ukuran galian tanah untuk beberapa pipa beton 157
4-7	Daftar material konstruksi SMP dengan tiang atap dan titik tumpu untuk SR 1 phasa/3 phasa dengan SLP jenis DX/QX da SMP jenis NYM/NYY..... 168
4-8	Daftar material konstruksi SMP dengan tiang atap/titik tumpu untuk SR 1 phasa/3 phasa tanpa sambungan jenis Twisted.... 171
4-9	Tegangan sentuh yang aman sebagai fungsi dari waktu 185
4-10	Tahanan tubuh sebagai fungsi dari tegangan sentuh 185
4-11	Kuat Hantar Arus Pangeman Lebur 196
4-12	KHA Penghantar Tembaga A2C dan A3C 197
4-13	Rekomendasi pemilihan arus pengenal pelebur 24 kV jenis letupan (Publikasi IEC 282-2 (1970). NEMA disisi primer berikut pelebur jenis pembatas arus (publikasi IEC 269-2 (1973)(230/400V) disisi sekunder yang merupakan pasangan yang diserahkan sebagai pengaman trafo distribusi..... 197
4-14	Persamaan kurva ketahanan untuk bermacam-macam jenis isolasi 201
5-1	Momen listrik kabel dan hantaran udara TM (20kV) pada bebar diujung penghantar dengan susut tegangan 5% 212
5-2	Pemilihan Kekuatan Tiang Ujung Jaring Distribusi Tegangan Menengah 240
5-3	Jenis-jenis Fasilitas Komunikasi 272
5-4	Karakteristik dan Struktur Kabel Telekomunikasi 275
5-5	Contoh spesifikasi Peralatan Pembawa Saluran tenaga 279
5-6	Contoh spesifikasi Peralatan Radio 280
6-1	Material Pemeliharaan GTT 310
6-2	Tabel Daya dan Arus Fuse Link 313
6-3	Tabel Daya dan Arus Fuse Link 314
6-4	Kabel standar 317
6-5	Panduan Pengujian Switchgear 336

ISBN 978-979-060-059-1
ISBN 978-979-060-062-1

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 46 Tahun 2007 tanggal 5 Desember 2007 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk Digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 9.702,00