



Suhadi, dkk.

Teknik Distribusi Tenaga Listrik

untuk
Sekolah Menengah Kejuruan

JILID 1



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

Suhadi, dkk.

TEKNIK DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK JILID 1

SMK



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

Hak Cipta pada Departemen Pendidikan Nasional
Dilindungi Undang-undang

TEKNIK DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK JILID 1

Untuk SMK

Penulis Utama : Suhadi
Tri Wrahatnolo
Perancang Kulit : Tim
Ukuran Buku : 17,6 x 25 cm

HAR SUHARDI, Bambang
t Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1 untuk SMK/oleh
Suhadi, Tri Wrahatnolo ---- Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah
Menengah Kejuruan, Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan
Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
xii. 93 hlm
Daftar Pustaka : A1-A2
Glosarium : B1-B5
ISBN : 978-979-060-059-1
978-979-060-060-7

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

KATA SAMBUTAN

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

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

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

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

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

Jakarta, 17 Agustus 2008
Direktur Pembinaan SMK

KATA PENGANTAR

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.

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	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	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)	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	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	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	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	Menerapkan prosedur pemeliharaan
		Menyiapkan pemeliharaan
		Memelihara instalasi APP
		Memeriksa instalasi APP
DIS.HAR.002(2).A	Memelihara	Membuat laporan
		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 I

PENDAHULUAN

1-1 Pemanfaatan Tenaga Listrik

Selain memberikan manfaat, tenaga listrik mempunyai potensi membahayakan bagi manusia dan berpotensi merusak lingkungan. Beberapa permasalahan di bidang ketenagalistrikan bila dilihat dari sisi pemanfaatan tenaga listrik banyak ditemukan instalasi tenaga listrik yang digunakan masih banyak yang belum memenuhi standar dan peralatan listrik yang beredar di masyarakat banyak yang belum memenuhi standar. Di samping itu, untuk menjamin keselamatan manusia di sekitar instalasi, keselamatan pekerja, keamanan instalansi dan kelestarian fungsi lingkungan, usaha penyediaan tenaga listrik dan pemanfaatan tenaga listrik harus memenuhi ketentuan mengenai keselamatan ketenaga-listrikan.

Tenaga listrik sebagai bagian dari bentuk energi dan cabang produksi yang penting bagi negara sangat menunjang upaya dalam memajukan dan mencerdaskan bangsa. Sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam yang menguasai hajat hidup orang banyak, tenaga listrik perlu dipergunakan untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan satu kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi.

Beberapa tantangan besar yang dihadapi dunia pada masa kini, antara lain, bagaimana menemukan sumber energi baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi di mana saja diperlukan, dan mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lain, serta memanfaatkannya tanpa menimbulkan pencemaran yang dapat merusak lingkungan hidup kita.

1-2 Kualitas Daya Listrik

Secara umum, baik buruknya sistem penyaluran dan distribusi tenaga listrik terutama adalah ditinjau dari kualitas daya yang diterima oleh konsumen. Kualitas Daya yang baik, antara lain meliputi: kapasitas daya yang memenuhi dan tegangan yang selalu konstan dan nominal. Tegangan harus selalu di jaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi di ujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-alat elektronik). Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan

tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Tegangan terlalu tinggi akan dapat merusak alat-alat listrik.

Perubahan frekuensi akan sangat dirasakan oleh pemakai listrik yang orientasi kerjanya berkaitan/bergantung pada kestabilan frekuensi. Konsumen kelompok ini biasanya adalah industri-industri yang menggunakan mesin-mesin otomatis dengan menggunakan setting waktu/frekuensi. Kualitas daya yang baik juga harus dapat mengantisipasi timbulnya pengaruh harmonisa yang akhir-akhir ini sudah mulai menggejala. Pengaruh harmonisa disebabkan oleh adanya alat-alat elektronik, penyearah, UPS dan sebagainya.

1-3 Keselamatan Pemanfaat Tenaga Listrik

Keselamatan yang berhubungan dengan ketenagalistrikan (*electrical safety*) pada dasarnya adalah segala upaya atau langkah-langkah pengamanan terhadap instalasi tenaga listrik, peralatan serta pemanfaat listrik untuk mewujudkan kondisi andal dan aman, baik bagi pekerja maupun masyarakat umum.

Kita menyadari benar bahwa belum seluruh anggota masyarakat mengerti atau menyadari adanya potensi bahaya dari penggunaan listrik.

Sebagian sudah menyadari, tetapi belum mengetahui bagaimana prosedur untuk menangani pemanfaat listrik dengan benar. Untuk itu, perlu sosialisasi yang intensif untuk mencegah terjadinya bahaya dari listrik, baik terhadap jiwa manusia maupun harta benda.

Resiko atas suhu yang berlebihan pada instalasi listrik adalah;

- (1) Bahaya api,
- (2) Api dapat menyebabkan hilangnya nyawa,
- (3) Kematian karena kejut listrik biasanya hanya menimpa pada satu orang saja.

Kematian karena kebakaran yang terjadi pada tempat dengan orang banyak, seperti tempat-tempat hiburan, pertokoan dan industri, dapat menimpa pada banyak orang pada satu kali kejadian.

Penyebab timbulnya api/kebakaran pada instalasi adalah;

- (1) Peralatan listrik dibawah standard,
- (2) bencana alam,
- (3) manusia sebagai konsumen,
- (4) karena keawaman,
- (5) salah penggunaan,
- (6) kelalaian,
- (7) kesengajaan.

Manusia sebagai pemasang(instalator), karena penyimpangan dari peraturan, kelalaian, dan kesengajaan. Manusia sebagai pemeriksa karena

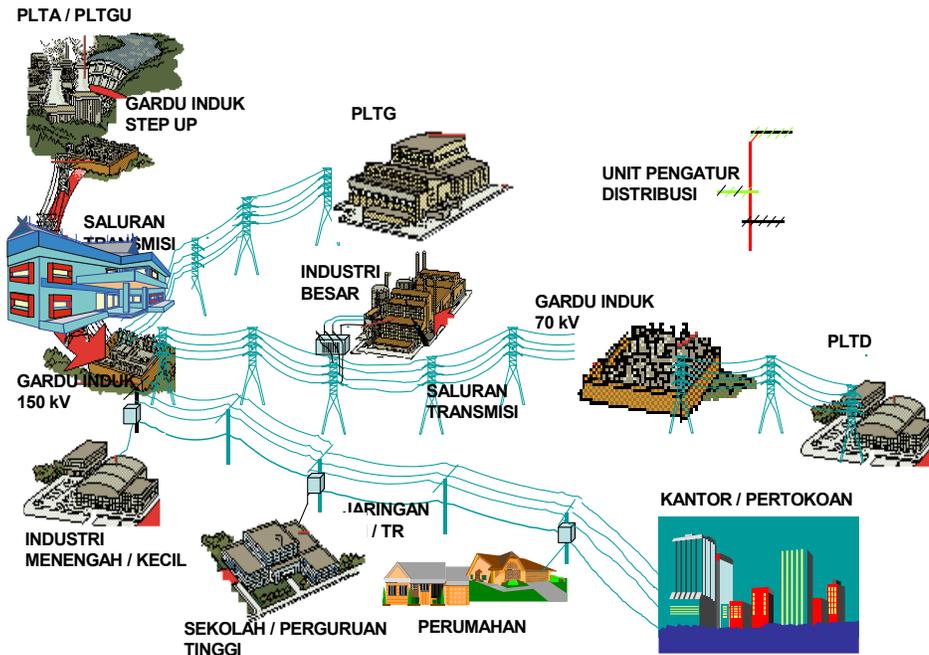
kurang teliti, kelalaian, kesengajaan, dan kegagalan pengamanan atau sistem. Untuk menangkal bahaya api listrik adalah dengan;

- (1) Perlengkapan listrik dipilih yang memenuhi standard teknik (IEC Standard) dan sesuai dengan lingkungan instalasinya, agar tidak terjadi percikan api,
- (2) Dimontase dengan ketentuan instalasi yang benar, atau sesuai dengan instruksi manual dari pembuatnya, walaupun ada, dan semua sambungan dan hubungan dilakukan dengan erat,
- (3) Instalasi sebaiknya diperiksa dan diuji secara periodik untuk mengetahui kemungkinan kerusakan, termasuk longgarnya sambungan/hubungan,
- (4) Dengan melengkapi gawai proteksi arus sisa yang tepat, dapat menghindari kegagalan pengamanan atau sistem,
- (5) Kelima, hindari kelebihan beban pada konduktor agar tidak timbul panas pada instalasi.

Untuk mencegah timbulnya api disarankan agar: Dilakukan penertiban mutu perlengkapan listrik yang ada dipasaran, Penyuluhan secara terus menerus lewat berbagai kesempatan, seminar, media massa, media elektronik dan sebagainya.

1-4 Sistem Ketenagalistrikan

Dalam sepuluh tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemik yang berkepanjangan dan telah memunculkan multi implikasi yang sangat kompleks di berbagai aspek kehidupan, antara lain : keuangan, ekonomi, sosial, budaya, politik, dan lain-lain. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Oleh karenanya tak berlebihan bahwa listrik bisa dikatakan sebagai salah satu kebutuhan utama bagi penunjang dan pemenuhan kebutuhan hidup umat manusia. Beberapa tantangan besar yang dihadapi dunia pada masa kini, antara lain, bagaimana menemukan sumber energi baru, mendapatkan sumber energi yang pada dasarnya tidak akan pernah habis untuk masa mendatang, menyediakan energi di mana saja diperlukan, dan mengubah energi dari satu ke lain bentuk, serta memanfaatkannya tanpa menimbulkan pencemaran yang dapat merusak lingkungan hidup kita. Dibanding dengan bentuk energi yang lain, listrik merupakan salah satu bentuk energi yang praktis dan sederhana. Di samping itu listrik juga mudah disalurkan dari dan



Gambar 1-1. Ruang Lingkup Sistem Tenaga Listrik

pada jarak yang berjauhan, mudah didistribusikan untuk area yang luas, mudah diubah ke dalam bentuk energi lain, dan bersih (ramah lingkungan). Oleh karena itu, manfaat listrik telah dirasakan oleh masyarakat, baik pada kelompok perumahan, sosial, bisnis atau perdagangan, industri dan publik. Tenaga listrik sebagai bagian dari bentuk energi dan cabang produksi yang penting bagi negara sangat menunjang upaya dalam memajukan dan mencerdaskan bangsa. Sebagai salah satu hasil pemanfaatan kekayaan alam yang menguasai hajat hidup orang banyak, tenaga listrik perlu dipergunakan untuk kesejahteraan dan kemakmuran rakyat. Yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik adalah sekumpulan pusat listrik dan gardu induk (pusat beban) yang satu dengan yang lain dihubungkan oleh jaringan transmisi dan distribusi sehingga merupakan sebuah satu kesatuan yang terinterkoneksi. Suatu sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian utama, yaitu: pusat pembangkit listrik, saluran transmisi, dan sistem distribusi. Suatu sistem distribusi menghubungkan semua beban yang terpisah satu dengan yang lain kepada saluran transmisi. Hal ini terjadi pada gardu-gardu induk (*substation*) di mana juga dilakukan transformasi tegangan dan fungsi-fungsi pemutusan (*breaker*) dan penghubung beban (*switching*). Gambar 1-1 memperlihatkan sistem tenaga listrik mulai dari pembangkit sampai ke pengguna/pelanggan.

1-5 Klasifikasi Sistem Tenaga Listrik

Tegangan pada generator besar biasanya berkisar di antara 13,8 kV dan 24 kV. Tetapi generator besar yang modern dibuat dengan tegangan bervariasi antara 18kV dan 24 kV. Tegangan generator dinaikkan ke tingkat yang dipakai untuk transmisi, yaitu 115 kV dan 765 kV. Tegangan tinggi standar (*high voltage, HV standard*) di luar negeri adalah 70 kV, 150 kV, dan 220 kV. Tegangan tinggi-ekstra standar (*extra high voltage, HV standard*) adalah 500 kV dan 700 kV.

Keuntungan transmisi (*transmission capability*) dengan tegangan lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada kemampuan transmisi (*transmission capability*) suatu saluran transmisi. Kemampuan ini biasanya dinyatakan dalam Mega-Volt-Ampere (MVA). Tetapi kemampuan transmisi dari suatu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat diterapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung lagi pada batasan-batasan termal dari penghantar, jatuh tegangan (*drop voltage*) yang diperbolehkan, keandalan, dan persyaratan kestabilan sistem.

Penurunan tegangan dari tingkat transmisi pertama-tama terjadi pada gardu induk bertenaga besar, di mana tegangan diturunkan ke daerah antara 70 kV dan 150 kV, sesuai dengan tegangan saluran transmisinya. Beberapa pelanggan yang memakai tenaga untuk keperluan industri sudah dapat dicatu dengan tegangan ini. Penurunan tegangan berikutnya terjadi pada gardu distribusi primer, di mana tegangan diturunkan lagi menjadi 1 sampai 30 kV. Tegangan yang lazim digunakan pada gardu-distribusi adalah 20.000 V antar-fasa atau 11.500 V antara fasa ke tanah. Tegangan ini biasanya dinyatakan sebagai 20.000 V/11.500 V. Sebagian besar beban untuk industri dicatu dengan sistem distribusi primer, yang mencatu transformator distribusi. Transformator-transformator ini menyediakan tegangan sekunder pada jaringan tegangan rendah tiga-fasa empat-kawat untuk pemakaian di rumah-rumah tempat tinggal. Standar tegangan rendah yang digunakan adalah 380 V antara antar fasa dan 220V di antara masing-masing fasa dengan tanah, yang dinyatakan dengan 220/380 V.

1-6 Regulasi Sektor Ketenagalistrikan

Dalam rangka meningkatkan pembangunan yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan di sektor ketenagalistrikan, diperlukan upaya untuk secara optimal dan efisien memanfaatkan sumber energi domestik serta energi yang bersih dan ramah lingkungan, dan teknologi yang efisien guna menghasilkan nilai tambah untuk pembangkitan tenaga listrik sehingga menjamin tersedianya tenaga listrik yang diperlukan. Demikian juga dalam upaya memenuhi kebutuhan tenaga listrik lebih merata, adil, dan untuk lebih meningkatkan kemampuan negara dalam hal penyediaan listrik, dapat diberikan kesempatan yang seluas-luasnya kepada semua pihak, baik Badan Usaha Milik Negara, Badan Usaha Milik Daerah, Koperasi atau Swasta untuk menyediakan tenaga listrik.

Kompetisi usaha penyediaan tenaga listrik dalam tahap awal diterapkan pada sisi pembangkitan dan di kemudian hari sesuai dengan

kesiapan perangkat keras dan perangkat lunaknya akan diterapkan di sisi penjualan. Hal ini dimaksudkan agar konsumen listrik memiliki pilihan dalam menentukan pasokan tenaga listriknya yang menawarkan harga paling bersaing dengan mutu dan pelayanan lebih baik. Demikian juga kewajiban pengusaha dan masyarakat yang menggunakan tenaga listrik, juga diatur sanksi terhadap tindak pidana yang menyangkut ketenagalistrikan mengingat sifat bahaya dari tenaga listrik dan akibat yang ditimbulkannya. Di samping itu, untuk menjamin keselamatan manusia di sekitar instalasi, keselamatan pekerja, keamanan instalansi dan kelestarian fungsi lingkungan, usaha penyediaan tenaga listrik dan pemanfaatan tenaga listrik harus memenuhi ketentuan mengenai keselamatan ketenagalistrikan.

Beberapa permasalahan di bidang ketenagalistrikan bila dilihat dari sisi pemanfaatan listrik juga banyak ditemukan instalasi tenaga listrik yang digunakan masih banyak yang belum memenuhi standar dan peralatan listrik yang beredar di masyarakat banyak yang sub-standar. Di sisi lainnya, perancangan, pembangunan, pemasangan, pengujian, pengoperasian dan pemeliharaan instalasi tenaga listrik dilakukan oleh tenaga teknik yang belum bersertifikat. Oleh karena itu, kebijakan-kebijakan menyangkut sektor ketenagalistrikan (restrukturisasi) seharusnya menjadi perhatian dan memperoleh dukungan semua pihak baik pemerintah maupun masyarakat.

Agar sektor ketenagalistrikan dapat menyediakan tenaga listrik yang andal, aman, memperhatikan lingkungan, efisien dan tetap menjaga nilai aset milik negara, maka dilakukan regulasi. Kerangka Regulasi meliputi;

- 1) aspek keteknikan,
- 2) peraturan keselamatan ketenagalistrikan,
- 3) persiapan penataan struktural,
- 4) persiapan pemenuhan standar lingkungan,
- 5) standar teknis untuk keandalan dan efisiensi sistem,
- 6) aturan operasi sistem, dan
- 7) program nasional. Regulasi aspek keteknikan,

pertama pada sisi instalasi tenaga listrik meliputi;

- 1) semua fasilitas yang dipergunakan untuk pembangkitan, transmisi, distribusi dan pemanfaat tenaga listrik,
- 2) rancangan, konstruksi, pengujian, pemeliharaan, pengoperasian, *repower* instalasi tenaga listrik atau bagian-bagiannya harus mengacu standar dan peraturan,

Kedua, dari sisi peralatan dan pemanfaat tenaga listrik, meliputi:

- 1) Peralatan listrik yang dijual dan instalasi tenaga listrik yang dibangun pada atau setelah tahun 2005 harus memenuhi spesifikasi teknik, standar kinerja dan keselamatan,

2) Setelah tahun 2010 (termasuk yang dibangun sebelum tahun 2005) wajib memenuhi standar, dan 3) Peralatan pemakai tenaga listrik yang terhubung ke jaringan wajib memenuhi persyaratan untuk menjaga faktor daya.

Persyaratan Umum Instalasi Listrik harus mengacu pada PUIL-2000, sebagai acuan dalam perancangan, pemasangan, pengamanan dan pemeliharaan instalasi di dalam bangunan. Peraturan Instalasi Ketenagalistrikan untuk perancangan instalasi mengacu SNI, IEC, PUIL atau Standar lain berdasarkan "*the best engineering practices*" dan dilakukan oleh Perusahaan Jasa Perancangan Teknik yang telah disertifikasi. Peraturan Instalasi ketenagalistrikan untuk bidang konstruksi, dilaksanakan oleh perusahaan jasa konstruksi bidang ketenagalistrikan yang telah di sertifikasi. Hasil konstruksi/pemasangan perlu diinspeksi oleh inspektur (perorangan) atau perusahaan jasa inspeksi teknik. Testing atau pengujian dilakukan untuk memastikan dan menjamin instalasi tenaga listrik telah memenuhi standar keselamatan dan standar unjuk kerja. Testing ini dilakukan oleh lembaga/perusahaan jasa inspeksi teknik yang telah diakreditasi.

Operasi dan Pemeliharaan Instalasi, merupakan tanggung jawab setiap pemilik dan perusahaan O & M, dan dilakukan oleh tenaga teknik yang memenuhi persyaratan sesuai peraturan yang ada, diinspeksi secara berkala sesuai dengan persyaratan pelaporan operasi dan pemeliharaan.

Pelarangan memproduksi, mengimpor atau mengedarkan peralatan/pemanfaat listrik yang tidak memiliki "label keselamatan dan/atau label efisien". Penerapan sanksi yang jelas dan tegas terhadap pelanggaran. Peraturan Tenaga Teknik Sektor Ketenagalistrikan. Tujuan sertifikasi tenaga teknik :

- a. Klasifikasi tenaga teknik sesuai kualifikasi.
- b. Memastikan pekerjaan dilaksanakan oleh tenaga teknik yang kompeten.
- c. Memastikan tenaga teknik yang bekerja di dalam negeri bersertifikasi.
- d. Menjamin tersediannya tenaga teknik memahami tentang keandalan, keselamatan dan lingkungan.
- e. Tenaga Teknik untuk Usaha Penunjang Tenaga Listrik.
- f. Kualifikasinya ditentukan menurut standar kompetensi.
- g. Sertifikasi dilakukan oleh Organisasi Profesi yang berakreditasi.

Organisasi Profesi Tenaga Teknik dibentuk untuk membantu membuat atau menetapkan, mengimplementasikan dan mengevaluasi program akreditasi dan sertifikasi personil atau pengembangan kurikulum dan program pendidikan dan pelatihan. Jasa Pendidikan dan Pelatihan mencakup usaha menciptakan sumber daya manusia yang berkualifikasi, menyiapkan SDM agar lulus sertifikasi, yang dilakukan oleh lembaga diklat yang terakreditasi.

1-7 Standarisasi dan Sertifikasi

Liberalisasi perdagangan telah mengubah tatanan dunia kerja menjadi baru. Dunia kerja yang baru tidak lagi dibatasi oleh pagar-pagar

geografis atau ideologi bahkan telah tercipta suatu keadaan di mana barang dan jasa sejenis akan mengacu pada suatu standar yang secara umum sama tetapi mempunyai kekhususan tertentu dari setiap produsen. Daya saing suatu bangsa ditentukan oleh kualitas sumber daya manusianya dan sangat erat kaitannya dengan kompetensi kerja. Sertifikasi kompetensi membuka peluang lebih besar bagi pekerja untuk mendapatkan pekerjaan sesuai dengan kompetensinya dan menjadi kompetitif baik di pasar tenaga kerja dalam maupun luar negeri.

Tujuan sertifikasi kompetensi adalah untuk memberi kerangka pembangunan kompetensi tenaga kerja Indonesia yang harmonis dan digunakan sebagai acuan bagi seluruh sektor, untuk menghasilkan tenaga kerja Indonesia yang kompeten, profesional dan kompetitif. Terciptanya sistem standarisasi dan sertifikasi kompetensi kerja nasional yang efisien dan efektif diharapkan dapat menghasilkan:

- a. Standar Kompetensi Kerja Nasional Indonesia (SKKNI) yang bermutu serta selaras dengan Standar Internasional untuk kebutuhan jaminan mutu internal dan kesepakatan perdagangan dalam usaha manufaktur maupun jasa.
- b. Sistem penerapan standar yang dapat menunjang peningkatan efisiensi dan produktivitas.
- c. Keunggulan kompetitif tenaga kerja Indonesia di pasar global
- d. Informasi standarisasi kompetensi yang diperlukan oleh pelaku usaha, pemerintah dan konsumen dalam rangka meningkatkan daya saing perdagangan domestik maupun internasional.

Undang-undang No. 15 Tahun 1985, pasal 15, ayat (1) menyatakan bahwa pemegang kuasa usaha ketenagalistrikan dan pemegang izin usaha ketenagalistrikan untuk kepentingan umum wajib: (1) menyediakan tenaga listrik, (2) memberikan pelayanan yang sebaik-baiknya kepada masyarakat, dan (3) memperhatikan keselamatan kerja dan keselamatan umum. Pada pasal 17 disebutkan bahwa syarat-syarat penyediaan, perusahaan, pemanfaatan instalasi, dan standarisasi ketenagalistrikan diatur oleh Pemerintah. Tugas Pemerintah seperti disebutkan dalam pasal 18 antara lain, (1) melakukan pembinaan dan pengawasan umum terhadap pekerjaan dan pelaksanaan usaha ketenagalistrikan, dan (2) pembinaan dan pengawasan umum tersebut meliputi keselamatan kerja, keselamatan umum, pengembangan usaha, dan terciptanya standarisasi dalam bidang ketenagalistrikan.

Dalam Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 3 tahun 2005 sebagai perubahan PP No. 10 Tahun 1989 tentang penyediaan dan pemanfaatan tenaga listrik, khususnya pada pasal 21 disebutkan bahwa:

- (a) Setiap usaha penyediaan tenaga listrik wajib memenuhi ketentuan keselamatan ketenagalistrikan,

- (b) Ketentuan keselamatan ketenagalistrikan meliputi standarisasi, pengamanan instalasi tenaga listrik dan pengamanan pemanfaat tenaga listrik,
- (c) Pekerjaan instalasi ketenagalistrikan untuk penyediaan dan pemanfaatan tenaga listrik harus dikerjakan oleh Badan Usaha Penunjang Tenaga Listrik yang disertifikasi oleh lembaga sertifikasi yang terakreditasi,
- (d) Dalam hal di suatu daerah belum terdapat Badan Usaha Penunjang Tenaga Listrik yang telah disertifikasi, Menteri, Gubernur atau Bupati/Walikota sesuai kewenangannya dapat menunjuk Badan Usaha Penunjang Tenaga Listrik.

Sedangkan terkait dengan pemeriksaan instalasi, pada pasal 21 disebutkan bahwa,

- (a) Pemeriksaan dan pengujian instalasi penyediaan dan instalasi pemanfaatan tegangan tinggi (TT) dan tegangan menengah (TM) dilaksanakan oleh lembaga inspeksi teknik yang terakreditasi,
- (b) Pemeriksaan instalasi pemanfaatan tegangan rendah (TR) oleh lembaga inspeksi independen yang sifat usahanya nirlaba,
- (c) Pemeriksaan instalasi TR yang dimiliki oleh konsumen TT dan atau TM dilakukan oleh lembaga inspeksi teknik yang diakreditasi, dan
- (d) Setiap lembaga teknik yang bekerja dalam usaha ketenagalistrikan wajib memiliki sertifikat kompetensi.

Lingkup regulasi teknik mencakup dua aspek yaitu aspek infrastruktur teknologi dan aspek keselamatan.

Aspek infrastruktur teknologi mengatur antara lain;

- (a) persyaratan akreditasi dan sertifikasi,
- (b) standarisasi sistem, instalasi, peralatan, perlengkapan dan pemanfaat listrik serta lingkungan dan tenaga teknik,
- (c) peningkatan komponen dalam negeri,
- (d) peningkatan kualitas dan kuantitas,
- (e) percepatan alih teknologi.

Sedangkan aspek keselamatan mengatur antara lain,

- (a) penetapan standar dan pemberlakuannya,
- (b) kelaikan instalasi tenaga listrik,
- (c) kelaikan peralatan dan pemanfaatan listrik,
- (d) kompetensi tenaga listrik, dan
- (e) perlindungan lingkungan.

Acuan yang melandasi regulasi keteknikan sektor ketenagalistrikan antara lain peraturan perundang-undangan, standar peralatan dan pemanfaat tenaga listrik, standar kompetensi, baku mutu lingkungan, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, inspeksi ketenagalistrikan dan sanksi-sanksi.

Pengembangan sumber daya manusia berbasis kompetensi sebagai suatu kebutuhan yang harus segera dipenuhi dalam mengikuti kemajuan teknologi yang semakin pesat. Tuntutan atas spesialisasi pekerjaan, dan persaingan global yang makin tajam yang memerlukan ketangguhan perusahaan dan kompetensi profesi. Dengan globalisasi yang bercirikan keterbukaan dan persaingan, membawa akibat suatu ancaman dan sekaligus peluang bagi tenaga kerja di semua negara. Bagaimana mewujudkan tenaga kerja yang kompeten harus melalui proses sertifikasi profesi berdasarkan standar kompetensi yang berlaku secara internasional. Implikasinya lembaga penyedia tenaga kerja baik sekolah, politeknik, akademi, perguruan tinggi, maupun lembaga pendidikan dan latihan dituntut menyelenggarakan pendidikan profesi berbasis kompetensi.

Peraturan yang telah diberlakukan mengenai standarisasi kompetensi tenaga teknik ketenagalistrikan adalah Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) nomor 2052.K/40/MEM/ 2001 tanggal 28 Agustus 2001 tentang Standardisasi Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan, meliputi;

- (1) Perumusan Standar Kompetensi,
- (2) Akreditasi dan Sertifikasi Kompetensi,
- (3) Pembinaan dan Pengawasan,
- (4) Sanksi Administrasi, dan
- (5) Ketentuan Peralihan.

Tujuan standardisasi kompetensi tenaga teknik adalah untuk:

- (a) Menunjang usaha ketenagalistrikan dalam mewujudkan penyediaan tenaga listrik yang aman, andal dan akrab lingkungan,
- (b) Mewujudkan peningkatan kompetensi tenaga teknik, dan
- (c) Mewujudkan tertib penyelenggaraan pekerjaan pada usaha ketenagalistrikan.

BAB II

SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

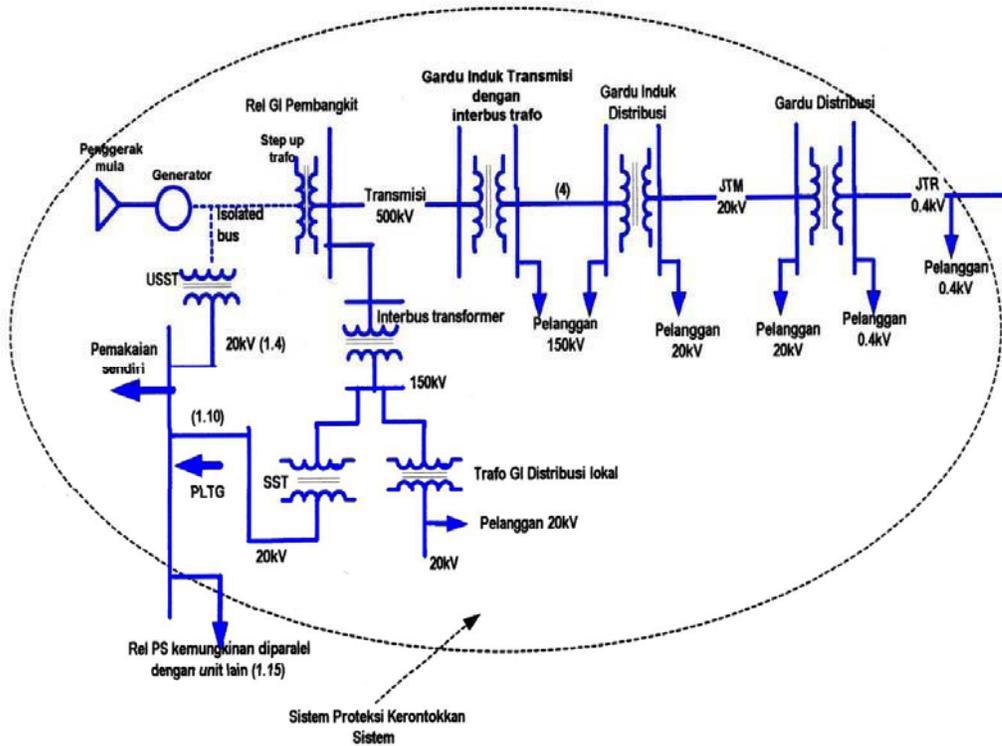
2-1 Pengertian dan Fungsi Distribusi Tenaga Listrik

2-1-1 Pengertian Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah; 1) pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan 2) merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan.

Pada sistem penyaluran daya jarak jauh, selalu digunakan tegangan setinggi mungkin, dengan menggunakan trafo-trafo step-up. Nilai tegangan yang sangat tinggi ini (HV,UHV,EHV) menimbulkan beberapa konsekuensi antara lain: berbahaya bagi lingkungan dan mahal harganya perlengkapan-perengkapannya, selain menjadi tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan trafo-trafo step-down. Akibatnya, bila ditinjau nilai tegangannya, maka mulai dari titik sumber hingga di titik beban, terdapat bagian-bagian saluran yang memiliki nilai tegangan berbeda-beda.



Gambar 2-1. Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

2-1-2 Pengelompokan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Untuk kemudahan dan penyederhanaan, lalu diadakan pembagian serta pembatasan-pembatasan seperti pada Gambar 3-2:

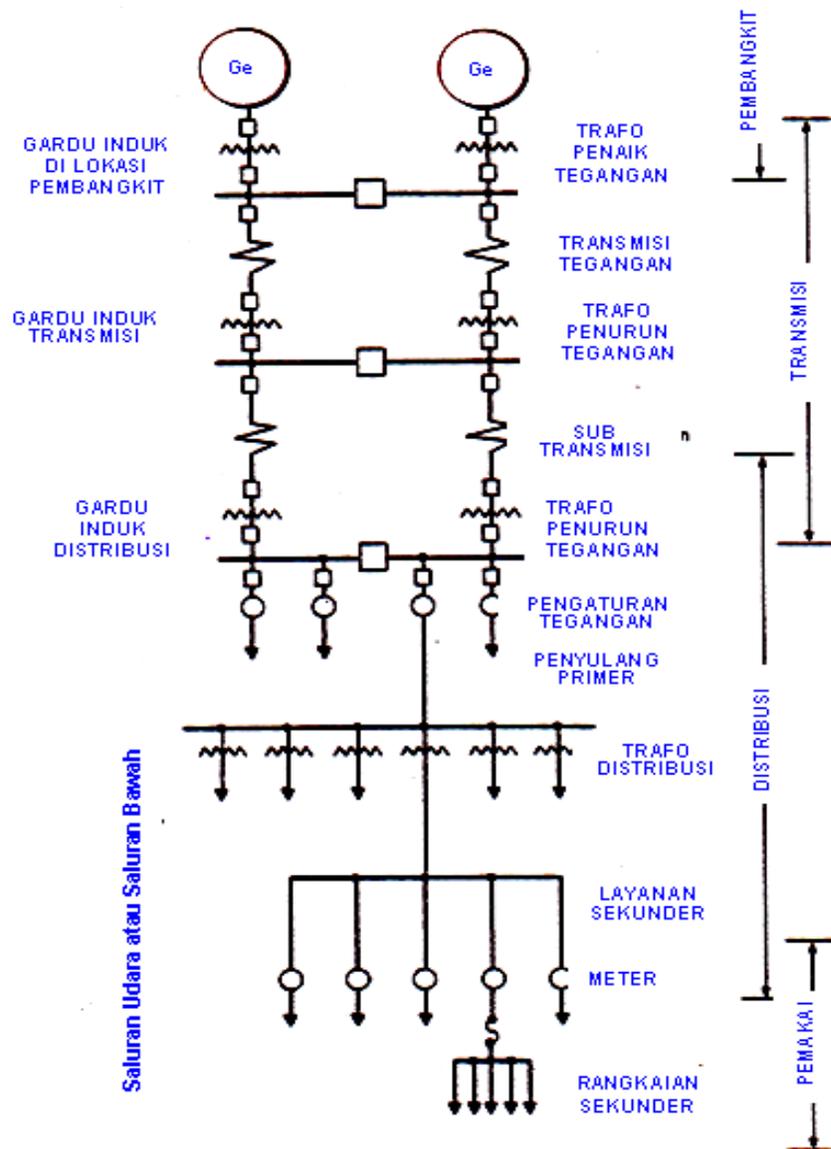
- Daerah I : Bagian pembangkitan (Generation)
- Daerah II : Bagian penyaluran (Transmission) , bertegangan tinggi (HV,UHV,EHV)
- Daerah III : Bagian Distribusi Primer, bertegangan menengah (6 atau 20kV).
- Daerah IV : (Di dalam bangunan pada beban/konsumen), Instalasi, bertegangan rendah

Berdasarkan pembatasan-pembatasan tersebut, maka diketahui bahwa porsi materi Sistem Distribusi adalah Daerah III dan IV, yang pada dasarnya dapat dikelasifikasikan menurut beberapa cara, bergantung dari segi apa klasifikasi itu dibuat.

Dengan demikian ruang lingkup Jaringan Distribusi adalah:

- a. **SUTM**, terdiri dari : Tiang dan peralatan kelengkapannya, konduktor dan peralatan per-lengkapannya, serta peralatan pengaman dan pemutus.
- b. **SKTM**, terdiri dari : Kabel tanah, indoor dan outdoor termination, batu bata, pasir dan lain-lain.

- c. **Gardu trafo**, terdiri dari : Transformator, tiang, pondasi tiang, rangka tempat trafo, LV panel, pipa-pipa pelindung, Arrester, kabel-kabel, transformer band, peralatan grounding, dan lain-lain.
- d. **SUTR dan SKTR** terdiri dari: sama dengan perlengkapan/ material pada SUTM dan SKTM. Yang membedakan hanya dimensinya.



Gambar 2-2. Pembagian/pengelompokan Tegangan Sistem Tenaga Listrik

2-2. Klasifikasi Saluran Distribusi Tenaga Listrik

Secara umum, saluran tenaga Listrik atau saluran distribusi dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

2-2-1. Menurut nilai tegangannya:

2-2-1-1 Saluran distribusi Primer.

Terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik Sekunder trafo substation (G.I.) dengan titik primer trafo distribusi. Saluran ini bertegangan menengah 20kV. Jaringan listrik 70 kV atau 150 kV, jika langsung melayani pelanggan, bisa disebut jaringan distribusi.

2-2-1-2 Saluran Distribusi Sekunder,

Terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban (Lihat Gambar 2-2)

2-2-2 Menurut bentuk tegangannya:

- Saluran Distribusi DC (Direct Current) menggunakan sistem tegangan searah.
- Saluran Distribusi AC (Alternating Current) menggunakan sistem tegangan bolak-balik.

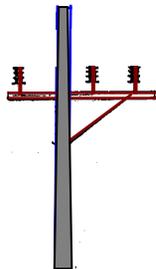
2-2-3 Menurut jenis/tipe konduktornya:

- Saluran udara, dipasang pada udara terbuka dengan bantuan support (tiang) dan perlengkapannya, dibedakan atas:
 - Saluran kawat udara, bila konduktornya telanjang, tanpa isolasi pembungkus.
 - Saluran kabel udara, bila konduktornya terbungkus isolasi.
- Saluran Bawah Tanah, dipasang di dalam tanah, dengan menggunakan kabel tanah (ground cable).
- Saluran Bawah Laut, dipasang di dasar laut dengan menggunakan kabel laut (submarine cable)

2-2-4 Menurut susunan (konfigurasi) salurannya:

a. Saluran Konfigurasi horisontal:

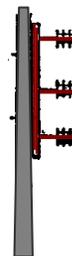
Bila saluran fasa terhadap fasa yang lain/terhadap netral, atau saluran positif terhadap negatif (pada sistem DC) membentuk garis horisontal.



Gambar 2-3
Konfigurasi horisontal

b. Saluran Konfigurasi Vertikal:

Bila saluran-saluran tersebut membentuk garis vertikal



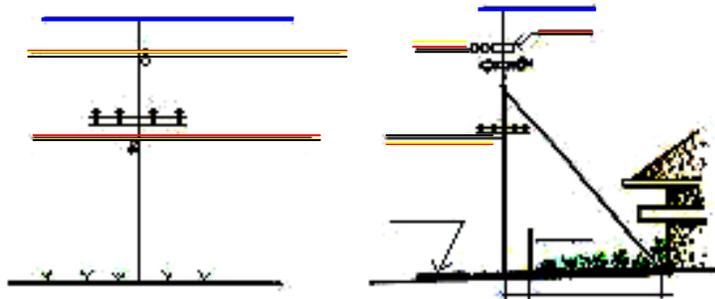
Gambar 2-4
Konfigurasi Vertikal

c. **Saluran konfigurasi Delta:**

Bila kedudukan saluran satu sama lain membentuk suatu segitiga (delta).



Gambar 2-5 Konfigurasi Delta

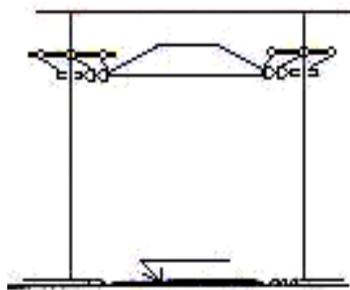


(a)

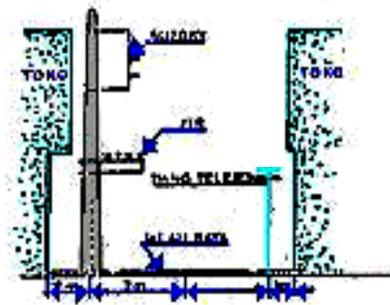
(b)

Gambar 2-6 (a) dan (b)

Jaringan distribusi lintas bangunan (perhatikan pemasangan kawat dekat bangunan dan diatas jalan raya)



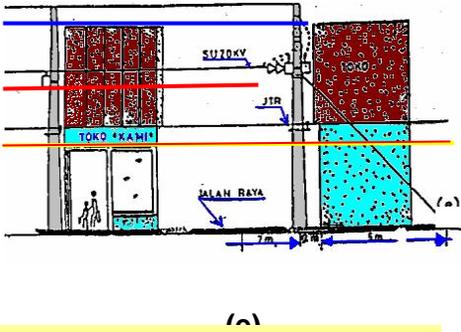
(c)



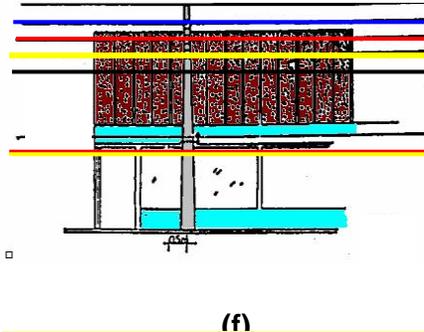
(d)

Gambar 2-6 (c) dan (d).

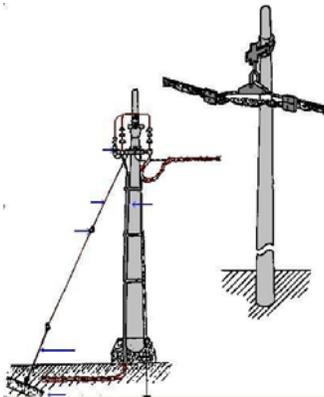
Jaringan distribusi lintas bangunan (perhatikan tarikan tiang ujung)



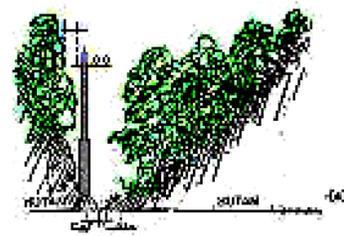
Gambar 2-6(e).
 Jaringan distribusi lintas bangunan
 (perhatikan tarikan tiang ujung di
 samping bangunan)



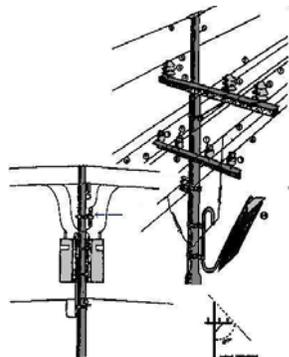
Gambar 2-6 (f).
 Jaringan distribusi lintas bangunan
 (perhatikan tarikan kawat vertikal
 disamping bangunan)



Gambar 2-7. Saluran Udara
 dengan konduktor kabel



Gambar 2-9.
 Saluran Udara Lintas Alam



Gambar 2-8. Saluran distribusi
 dimana saluran primer dan
 sekunder terletak pada satu tiang

2-2-5 Menurut Susunan Rangkaianya

Dari uraian diatas telah disinggung bahwa sistem distribusi di bedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

2-2-5-1 Jaringan Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer diguna kan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat mengguna kan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer.

1) Jaringan Distribusi Radial.

Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (line), tidak ada alternatif saluran lainnya. Bentuk Jaringan ini merupakan bentuk dasar, paling sederhana dan paling banyak digunakan. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani.

Catu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya penca-bangan-pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar.

Oleh karena kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Maksudnya, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar, ukuran penampangnya relatif besar, dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula.

Spesifikasi dari jaringan bentuk radial ini adalah:

- a). Bentuknya sederhana.(+)
- b). Biaya investasinya relatif murah.(+)
- c). Kualitas pelayanan dayanya relatif jelek, karena rugi tegangan dan rugi daya yang terjadi pada saluran relatif besar.(-)
- d). Kontinuitas pelayanan daya tidak terjamin, sebab antara titik sumber dan titik beban hanya ada satu alternatif saluran sehingga bila saluran tersebut mengalami gangguan, maka seluruh rangkaian sesudah titik gangguan akan mengalami "black out" secara total.(-)

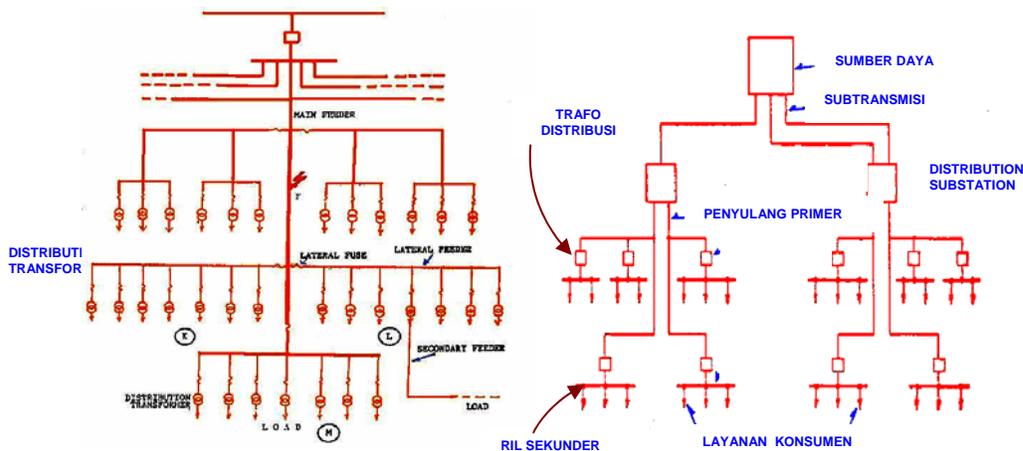
Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya diperlengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, *sectionalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya mem-batasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah/dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi. Jadi,

misalkan gangguan terjadi di titik F, maka daerah beban K, L dan M akan mengalami pemadaman total (Gambar 2-10). Jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi, antara lain:

- (1). Radial tipe pohon.
- (2). Radial dengan tie dan switch pemisah.
- (3). Radial dengan pusat beban.
- (4). Radial dengan pembagian phase area.

(1) Jaringan Radial tipe Pohon

Bentuk ini merupakan bentuk yang paling dasar. Satu saluran utama dibenteng menurut kebutuhannya, selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (lateral penyulang) dan lateral penyulang ini dicabang-cabang lagi dengan sublateral penyulang (anak cabang). Sesuai dengan kerapatan arus yang ditanggung masing-masing saluran, ukuran penyulang utama adalah yang terbesar, ukuran lateral adalah lebih kecil dari penyulang utama, dan ukuran sub lateral adalah yang terkecil.

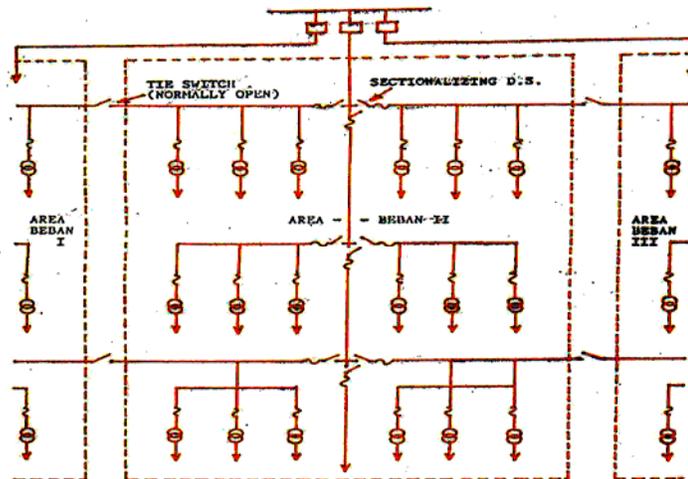


Gambar 2-10.
Jaringan radial tipe pohon

Gambar 2-11.
Komponen
Jaringan radial

(2) Jaringan radial dengan tie dan switch pemisah.

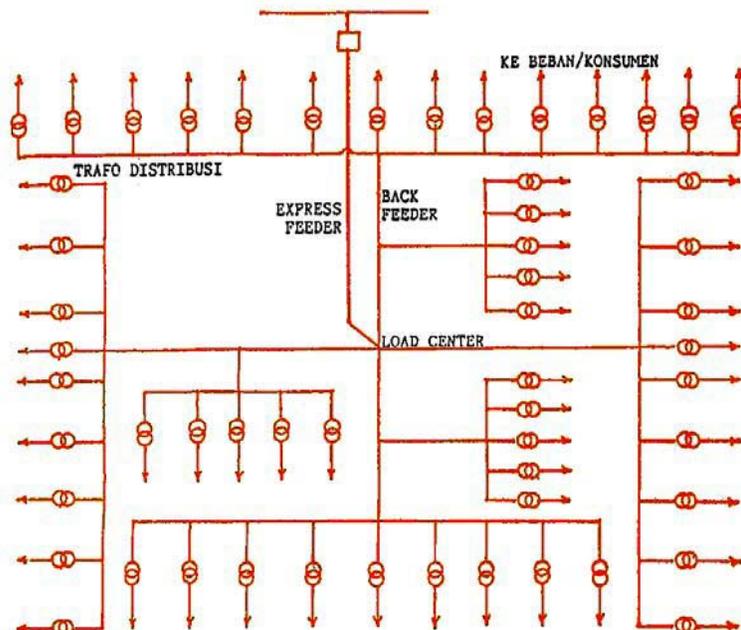
Bentuk ini merupakan modifikasi bentuk dasar dengan menambahkan tie dan switch pemisah, yang diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan bagi konsumen, dengan cara menghubungkan area-area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang di sekitarnya. Dengan demikian bagian penyulang yang terganggu dilokalisasi, dan bagian penyulang lainnya yang "sehat" segera dapat dioperasikan kembali, dengan cara melepas switch yang terhubung ke titik gangguan, dan menghubungkan bagian penyulang yang sehat ke penyulang di sekitarnya.



Gambar 2-12. Jaringan radial dengan tie dan switch

(3). Jaringan radial tipe pusat beban.

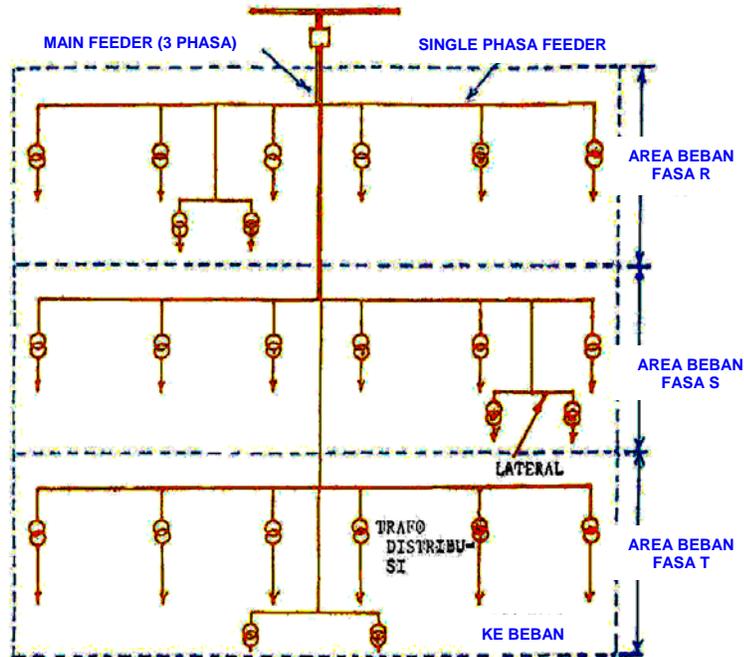
Bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (main feeder) yang disebut "*express feeder*" langsung ke pusat beban, dan dari titik pusat beban ini disebar dengan menggunakan "*back feeder*" secara radial.



Gambar 2- 13. Jaringan radial tipe pusat beban

(4) Jaringan radial dengan phase area

Pada bentuk ini masing-masing fasa dari jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Bentuk ini akan dapat menimbulkan akibat kondisi sistem 3 fasa yang tidak seimbang (simetris), bila digunakan pada daerah beban yang baru dan belum mantap pembagian bebannya. Karenanya hanya cocok untuk daerah beban yang stabil dan penambahan maupun pembagian bebannya dapat diatur merata dan simetris pada setiap fasanya

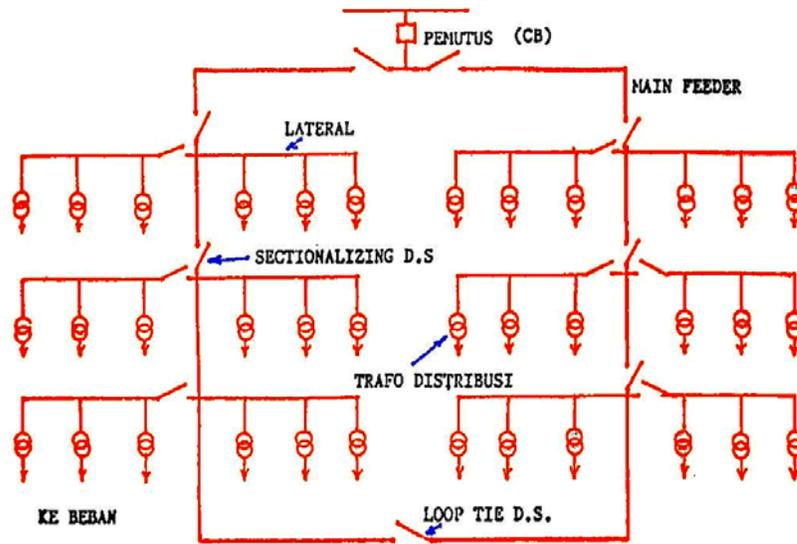


Gambar 2-14. Jaringan radial tipe phase area (kelompok fasa)

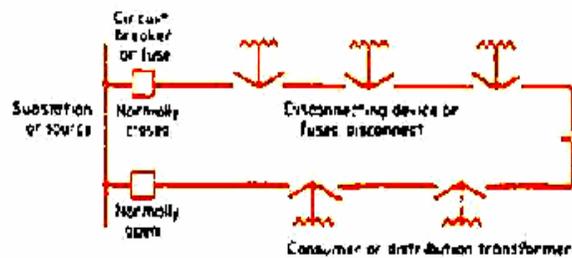
2) Jaringan distribusi ring (loop).

Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran berasal lebih dari satu sumber. Jaringan ini merupakan bentuk tertutup, disebut juga bentuk jaringan "loop". Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Bentuk loop ini ada 2 macam, yaitu:

- (a). Bentuk open loop:
Bila diperlengkapi dengan normally-open switch, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.
- (b). Bentuk close loop
Bila diperlengkapi dengan normally-close switch, yang dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

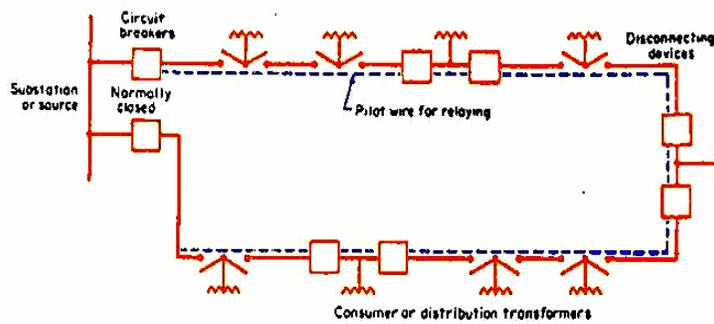


Gambar 2-15. Jaringan Distribusi tipe Ring



Open-loop circuit schematic diagram.

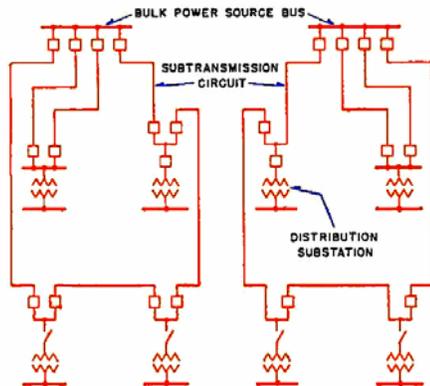
Gambar 2-16. Jaringan Distribusi ring terbuka



Closed-loop circuit.

Gambar 2-17. Jaringan Distribusi ring tertutup

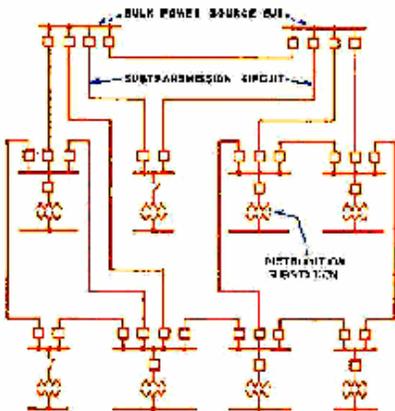
Pada tipe ini, kualitas dan kontinuitas pelayanan daya memang lebih baik, tetapi biaya investasinya lebih mahal, karena memerlukan pemutus beban yang lebih banyak. Bila digunakan dengan pemutus beban yang otomatis (dilengkapi dengan recloser atau AVS), maka pengamanan dapat berlangsung cepat dan praktis, dengan cepat pula daerah gangguan segera beroperasi kembali bila gangguan telah teratasi. Dengan cara ini berarti dapat mengurangi tenaga operator. Bentuk ini cocok untuk digunakan pada daerah beban yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.



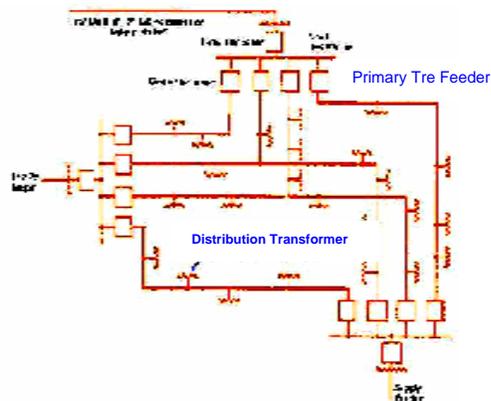
Gambar 2-18. Rangkaian Gardu Induk tipe Ring

3) Jaringan distribusi Jaring-jaring (NET)

Merupakan gabungan dari beberapa saluran mesh, dimana terdapat lebih satu sumber sehingga berbentuk saluran interkoneksi. Jaringan ini berbentuk jaring-jaring, kombinasi antara radial dan loop.



Gambar 2-19. Jaringan Distribusi NET



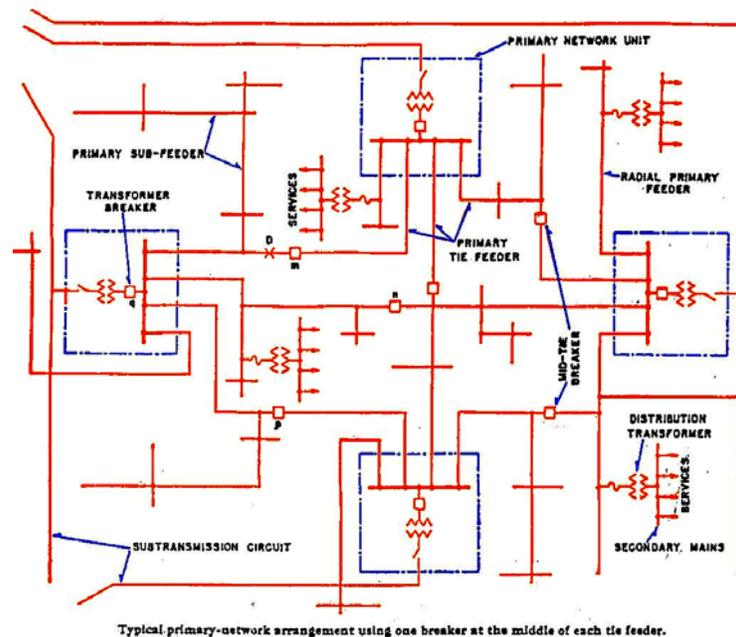
Gambar 2-20. Jaringan Distribusi NET dengan Tiga penyulang Gardu Hubung

Titik beban memiliki lebih banyak alternatif saluran/penyulang, sehingga bila salah satu penyulang terganggu, dengan segera dapat digantikan oleh penyulang yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin.

Spesifikasi Jaringan NET ini adalah:

- 1). Kontinuitas penyaluran daya paling terjamin.(+)
- 2). Kualitas tegangannya baik, rugi daya pada saluran amat kecil.(+)
- 3). Dibanding dengan bentuk lain, paling flexible (luwes) dalam mengikuti pertumbuhan dan perkembangan beban. (+)
- 4). Sebelum pelaksanaannya, memerlukan koordinasi perencanaan yang teliti dan rumit. (-)
- 5). Memerlukan biaya investasi yang besar (mahal) (-)
- 6). Memerlukan tenaga-tenaga terampil dalam pengoperasiannya.(-)

Dengan spesifikasi tersebut, bentuk ini hanya layak (feasible) untuk melayani daerah beban yang benar-benar memerlukan tingkat keandalan dan kontinuitas yang tinggi, antara lain: instalasi militer, pusat sarana komunikasi dan perhubungan, rumah sakit, dan sebagainya. Karena bentuk ini merupakan jaringan yang menghubungkan beberapa sumber, maka bentuk jaringan NET atau jaring-jaring disebut juga jaringan "interkoneksi".

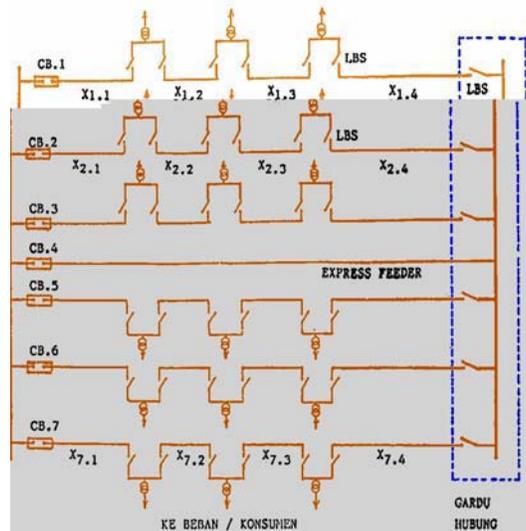


Gambar 2-21. Jaringan Distribusi NET dilengkapi breaker pada bagian tengah masing-masing penyulang

4) Jaringan distribusi spindle.

Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah ada, maka dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi, yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang populer adalah bentuk spindle, yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Perhatikan gambar 2-22. Saluran 6 penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan "working feeder" atau saluran kerja, dan satu saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan "express feeder".

Fungsi "express feeder" dalam hal ini selain sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu "working feeder", juga berfungsi untuk memperkecil terjadinya drop tegangan pada sistem distribusi bersangkutan pada keadaan operasi normal. Dalam keadaan normal memang "express feeder" ini sengaja dioperasikan tanpa beban. Perlu diingat di sini, bahwa bentuk-bentuk jaringan beserta modifikasinya seperti yang telah diuraikan di muka, terutama dikembangkan pada sistem jaringan arus bolak-balik (AC).



Gambar 2-22. Jaringan distribusi Spindle

5) Saluran Radial Interkoneksi

Saluran Radial Interkoneksi yaitu terdiri lebih dari satu saluran radial tunggal yang dilengkapi dengan LBS/AVS sebagai saklar interkoneksi. Masing-masing tipe saluran tersebut memiliki spesifikasi sendiri, dan agar lebih jelas akan dibicarakan lebih lanjut pada bagian lain. Pada dasarnya semua beban yang memerlukan tenaga listrik, menuntut kondisi pelayanan yang terbaik, misalnya dalam hal stabilitas tegangannya, sebab seperti telah dijelaskan, bila tegangan tidak nominal

kesimetrisan beban pada masing-masing fasa perlu diperhatikan. Bagaimana pengaruh pembebanan yang tidak simetris pada suatu sistem distribusi, akan dibicarakan lebih lanjut dalam bagian lain.

4). Fleksibel dalam pengembangan dan perluasan daerah beban.

Perencanaan sistem distribusi yang baik, tidak hanya bertitik tolak pada kebutuhan beban sesaat, tetapi perlu diperhatikan pula secara teliti mengenai pengembangan beban yang harus dilayani, bukan saja dalam hal penambahan kapasitas dayanya, tetapi juga dalam hal perluasan daerah beban yang harus dilayani.

5). Kondisi dan Situasi Lingkungan. Faktor ini merupakan pertimbangan dalam perencanaan untuk menentukan tipe atau macam sistem distribusi mana yang sesuai untuk lingkungan bersangkutan, misalnya tentang konduktornya, konfigurasi, tata letaknya, dsb. termasuk pertimbangan segi estetika (keindahan) nya.

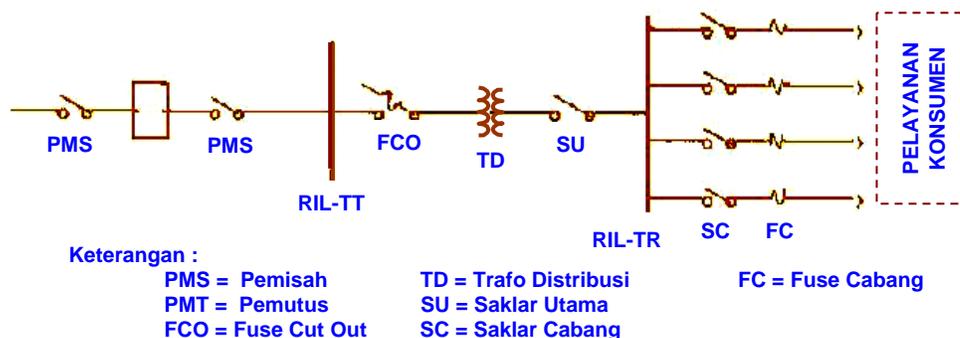
6). Pertimbangan Ekonomis. Faktor ini menyangkut perhitungan untung rugi ditinjau dari segi ekonomis, baik secara komersial maupun dalam rangka penghematan anggaran yang tersedia.

2-2-5-2 Jaringan Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan-peralatan sbb:

- 1) Papan pembagi pada trafo distribusi,
- 2) Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder).
- 3) Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- 4) Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

Komponen saluran distribusi sekunder seperti ditunjukkan pada gambar 2-24 berikut ini.



Gambar 2-24. Komponen sistem distribusi

Selanjutnya konstruksi hantaran tegangan rendah diuraikan pada bab IV sedang Alat Ukur dan Pembatas diuraikan pada bab III.

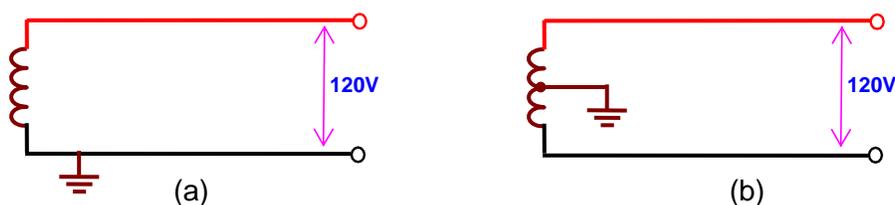
2-3 Tegangan Sistem Distribusi Sekunder

Ada bermacam-macam sistem tegangan distribusi sekunder menurut standar; (1) EEI : Edison Electric Institut, (2) NEMA (National Electrical Manufactures Association). Pada dasarnya tidak berbeda dengan sistem distribusi DC, faktor utama yang perlu diperhatikan adalah besar tegangan yang diterima pada titik beban mendekati nilai nominal, sehingga peralatan/beban dapat dioperasikan secara optimal. Ditinjau dari cara pengawatannya, saluran distribusi AC dibedakan atas beberapa macam tipe, dan cara pengawatan ini bergantung pula pada jumlah fasanya, yaitu:

1. Sistem satu fasa dua kawat 120 Volt
2. Sistem satu fasa tiga kawat 120/240 Volt
3. Sistem tiga fasa empat kawat 120/208 Volt
4. Sistem tiga fasa empat kawat 120/240 Volt
5. Sistem tiga fasa tiga kawat 240 Volt
6. Sistem tiga fasa tiga kawat 480 Volt
7. Sistem tiga fasa empat kawat 240/416 Volt
8. Sistem tiga fasa empat kawat 265/460 Volt
9. Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

Di Indonesia dalam hal ini PT. PLN menggunakan sistem tegangan 220/380 Volt. Sedang pemakai listrik yang tidak menggunakan tenaga listrik dari PT. PLN, menggunakan salah satu sistem diatas sesuai dengan standar yang ada. Pemakai listrik yang dimaksud umumnya mereka bergantung kepada negara pemberi pinjaman atau dalam rangka kerja sama, dimana semua peralatan listrik mulai dari pembangkit (generator set) hingga peralatan kerja (motor-motor listrik) di suplai dari negara pemberi pinjaman/kerja sama tersebut. Sebagai anggota, IEC (International Electrotechnical Comission), Indonesia telah mulai menyesuaikan sistem tegangan menjadi 220/380 Volt saja, karena IEC sejak tahun 1967 sudah tidak mencantumkan lagi tegangan 127 Volt. (*IEC Standard Voltage* pada Publikasi nomor 38 tahun 1967 halaman 7 seri 1 tabel 1). Diagram rangkaian sisi sekunder trafo distribusi untuk masing-masing sistem tegangan tersebut ditunjukkan pada gambar berikut ini:

2-3-1 Sistem distribusi satu fasa dengan dua kawat.

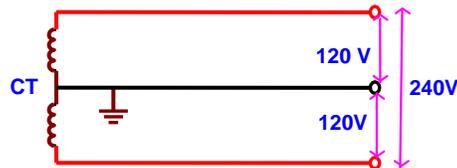


Gambar 2-25. Sistem satu fasa dua kawat tegangan 120Volt

Tipe ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana, biasanya digunakan untuk melayani penyalur daya berkapasitas kecil dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan dan pedesaan. Ditinjau dari sisi sekunder trafo distribusinya, tipe ini ada 2(dua) macam, seperti ditunjukkan apada gambar 3-25.

2-3-2 Sistem distribusi satu fasa dengan tiga kawat.

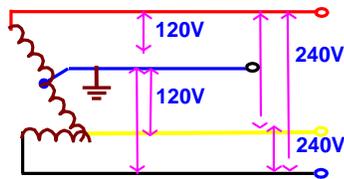
Pada tipe ini, prinsipnya sama dengan sistem distribusi DC dengan tiga kawat, yang dalam hal ini terdapat dua alternatif besar tegangan. Sebagai saluran “netral” disini dihubungkan pada tengah belitan (center-tap) sisi sekunder trafo, dan diketanahkan, untuk tujuan pengamanan personil. Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitas kecil dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan dan pedesaan.



Gambar 2-26. Sistem satu fasa tiga kawat tegangan 120/240 Volt

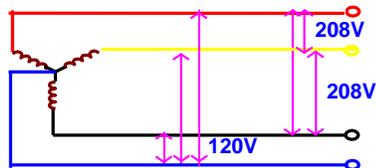
2-3-3 Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/240 Volt

Tipe ini untuk melayani penyalur daya berkapasitas sedang dengan jarak pendek, yaitu daerah perumahan pedesaan dan perdagangan ringan, dimana terdapat dengan beban 3 fasa



Gambar 2-27. Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/240 Volt

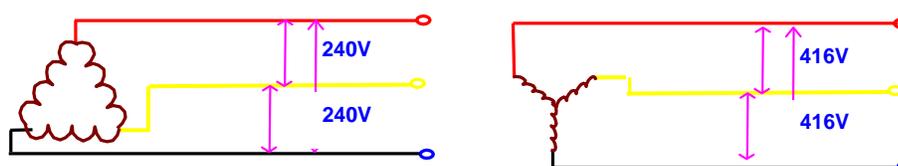
2-3-4 Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt



Gambar 2-28. Sistem distribusi tiga fasa empat kawat tegangan 120/208 Volt

Untuk rangkaian seperti diatas terdapat pula sistem tegangan 240/416 Volt dan atau tegangan 265/460 Volt.

2-3-5 Sistem distribusi tiga fasa dengan tiga kawat

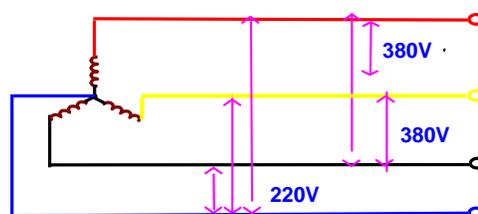


Gambar 2-29. Sistem distribusi tiga fasa tiga kawat

Tipe ini banyak dikembangkan secara ekstensif. Dalam hal ini rangkaian tiga fasa sisi sekunder trafo dapat diperoleh dalam bentuk rangkaian delta (segitiga) ataupun rangkaian wye (star/bintang).

Diperoleh dua alternatif besar tegangan, yang dalam pelaksanaannya perlu diperhatikan adanya pembagian seimbang antara ketiga fasanya. Untuk rangkaian delta tegangannya bervariasi yaitu 240 Volt, dan 480 Volt. Tipe ini dipakai untuk melayani beban-beban industri atau perdagangan.

2-3-6 Sistem distribusi tiga fasa dengan empat kawat



Gambar 2-30. Sistem distribusi tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

Pada tipe ini, sisi sekunder (output) trafo distribusi terhubung star, dimana saluran netral diambil dari titik bintangnya. Seperti halnya pada sistem tiga fasa yang lain, di sini perlu diperhatikan keseimbangan beban antara ketiga fasanya, dan disini terdapat dua alternatif besar tegangan.

2-3-7 Ketidaksimetrisan beban

Dalam kondisi ideal dimana beban benar-benar terbagi rata (simetris) pada ketiga fasanya, maka arus yang lewat pada saluran netral adalah benar-benar "netral" (no), yang artinya saluran netral ini tidak dilalui arus. Karenanya dalam pelaksanaan pengoperasiannya, saluran netral pada tipe star dibuat dengan ukuran yang lebih kecil dari ukuran kawat-kawat fasanya. Tipe ini dipakai untuk melayani beban-beban perumahan, perdagangan dan Industri

Generator AC tiga fasa, pada dasarnya adalah serupa dengan tiga generator satu fasa dengan daya yang sama ($P_{3\phi} = 3 \times P_{1\phi}$), yang dirancang menyatu secara rigid (kompak), dengan tata letak masing-masing kumparan berbeda sudut (listrik) sebesar 120° . Jadi, misalkan sebuah generator 3ϕ

berkapasitas nominal bebannya 10 ampere, pada dasarnya adalah sama dengan tiga generator 1ϕ masing-masing berkapasitas 10 ampere, yang dijadikan satu. Jika dibandingkan pada kapasitas daya yang sama, misalkan sebuah generator AC 3ϕ berkapasitas 30 kVA (total) dengan generator AC 1ϕ berkapasitas 30 kVA akan didistribusikan pada 3 berkas kumparan daya, (katakan bebannya simetris), masing-masing berkas menanggung 10 kVA. Pada tipe 1ϕ , daya sebesar 30 kVA ini seluruhnya ditanggung oleh satu berkas kumparan daya. Dalam praktek, sistem 3 fasa tidak selalu beroperasi pada kondisi arus beban simetris, baik pada pembangkit maupun pada penyalurannya. Pada dasarnya, ada 4 sumber penyebab terjadinya ketidak simetrisan sistem 3 fasa ini, yaitu:

2-3-7-1 Tidak simetris tegangan sejak pada sumbernya:

Tegangan tak simetris pada output generator 3 fasa bisa saja terjadi (walaupun jarang) karena kesalahan teknis pada ketiga berkas kumparan dayanya (jumlah lilitan atau resistansi).

2-3-7-2 Tidak simetris tegangan pada salurannya:

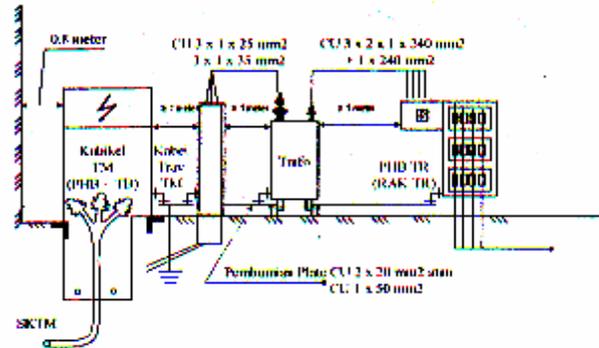
Hal demikian dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:

- 1) Konfigurasi ketiga saluran secara total total tidak simetris, sehingga total kapasitansinya tidak simetris. Keadaan demikian dapat terjadi pada penyaluran jarak jauh dan bertegangan tinggi, dimana jarak rata-rata masing-masing saluran fasa terhadap tanah tidak sama.
- 2) Resistansi saluran tidak sama karena jenis bahan konduktor yang berbeda (besar R dipengaruhi oleh besar l).
- 3) Resistansi saluran tidak sama karena ukuran konduktor tidak sama (besar R dipengaruhi oleh besar q).
- 4) Resistansi saluran tidak sama karena jarak antara masing-masing saluran fasa dengan beban tidak sama (besar R dipengaruhi oleh jarak l).

2-3-7-3 Tidak simetris pada resistansi bebannya:

Karena besar I (arus beban) ditentukan oleh besar R (beban), maka pada keadaan 3ϕ : $R_R \neq R_S \neq R_T$, maka arus bebannya: $I_R \neq I_S \neq I_T$. Akibat lanjutnya adalah: bila resistansi saluran dianggap sama dengan R , maka rugi tegangan yang terjadi pada sistem 3ϕ adalah $I_R R \neq I_S R \neq I_T R$ atau $V_R \neq V_S \neq V_T$ dan rugi daya $I_R^2 R \neq I_S^2 R \neq I_T^2 R$ atau $P_R \neq P_S \neq P_T$ sehingga: $V_{(T)} R \neq V_{(T)} S \neq V_{(T)} T$ dimana $V_{(T)}$ = tegangan pada sisi terima (konsumen). Kondisi tak simetris pada tegangan sisi terima akibat tidak simetrisnya beban ini adalah suatu hal yang paling sering terjadi dalam praktek, antara lain oleh adanya sambungan-sambungan di luar perhitungan dan perencanaan. Upaya teknis memang perlu dilakukan, agar diperoleh keadaan pembebanan yang simetris. Pada sistem 3 fasa yang menggunakan saluran netral (baca saluran nol), dalam keadaan beban simetris maka arus yang lewat saluran nol adalah benar-benar nol (netral), tetapi bila terjadi keadaan tak simetris, maka sebagian arus (berupa arus resultan) akan lewat saluran netral ini, sehingga saluran tersebut menjadi tidak netral lagi.

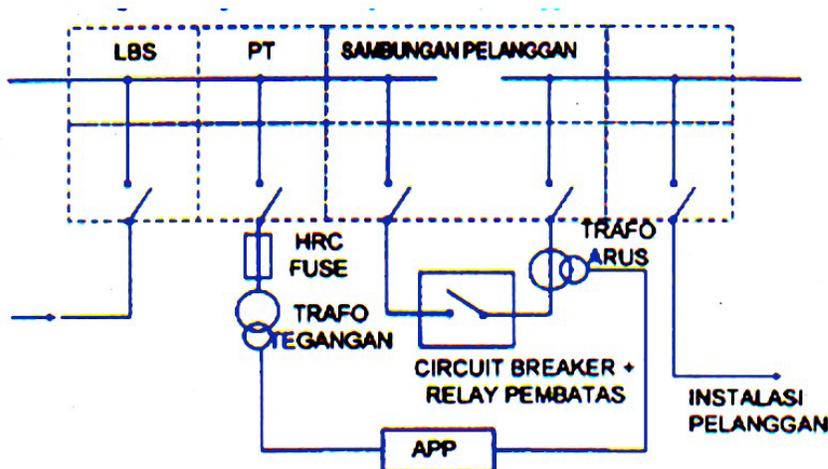
Instalasi lain yang ada pada gardu distribusi adalah Instalasi penerangan, terdiri dari; 1) Instalasi alat pembatas dan pengukur; 2) Instalasi kabel scada untuk kubikel dengan motor kontrol; 3) Instalasi pengamanan pelanggan untuk APP pelanggan tegangan menengah



Gambar 2-32. Penampang Fisik Gardu Distribusi

Prosedur uji laik instalasi gardu; Sebelum dioperasikan instalasi gardu distribusi harus dilakukan uji laik yang meliputi:

- 1). Uji verifikasi rencana
 - Meneliti kesesuaian hasil pelaksanaan dengan rancangan bahan referensi adalah persyaratan-persyaratan teknis pada rancangan surat perintah kerja.
 - Meneliti kesesuaian spesifikasi teknis dengan material yang terpasang.
- 2). Uji fisik hasil pelaksanaan.
 - Meneliti apakah hasil pelaksanaan telah memenuhi persyaratan fisik hasil pekerjaan (kokoh, tidak goyang) tekukan, belokan kabel dan lain-lain.
 - Meneliti mekanisme kerja peralatan.
 - Meneliti kebenaran pengkabelan, pengawatan instalasi listrik.
 - Meneliti kekencangan ikatan-ikatan mur, baut, konektor dan lain-lain.
 - Meneliti kabel-kabel instalasi tidak menahan beban mekanik selain beban sendiri.
 - Meneliti pengkabelan (wiring) instalasi kontrol.
- 3). Uji Ketahanan Isolasi
 - Melakukan uji ketahanan isolasi dengan alat megger pada tiap antar fasa dan fasa tanah (referensi PUIL 1 volt = 1 kilo ohm) pada sisi TM dan TR.
 - Uji dilakukan juga pada transformator.
- 4) Uji ketahanan Impulse
 - Melakukan uji withstand test 50 k J per 1 menit.



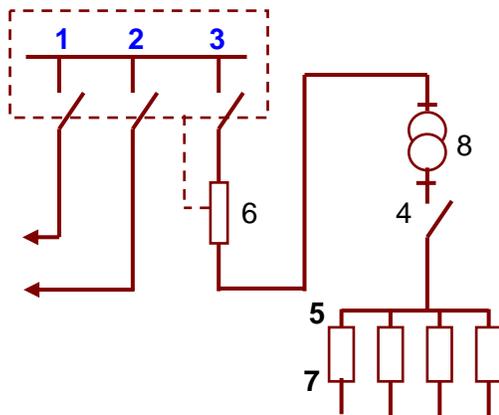
Contoh-cotoh tipe-tipe sel kubikel sambungan pelanggan
 Alsthom : PGDb, PGDt
 Merlin Gerin : DM12, DM 22

Gambar 2-33. Bagan satu garis pelanggan TM

- 5). Uji Power Frekuensi
Melakukan uji tegangan 24 kV selama 15 menit.
- 6). Uji alat proteksi
 - Uji fisik pengaman lebur dengan multi meter
 - Uji Rak proteksi (jika ada)
- 7). Uji alat-alat kontrol
 - Setelah dioperasikan uji unjuk kerja alat-alat kontrol (lampu, voltmeter, ampere meter): Hasil uji laik didokumenkan untuk izin operasional.
- 8). Instalasi untuk pelanggan tegangan menengah, hanya ditambah:
 - Satu sel kubikel transformator tegangan
 - Satu sel kubikel sambungan pelanggan dengan fasilitas:
 - Circuit breaker yang bekerja etas dater batas arus nominal. Daya tersambung pelanggan.
 - Transformator arus.
 - Satu sel kubikel untuk sambungan kabel milik pelanggan
 - Satu set alat ukur (KWH meter, KVARH meter)
 - Satu set relai pembatas beban.
- 9). Spesifikasi teknis den ketentuan instalasinya same dengan ketentuan instalasi sel kubikel lain.
- 10). Uji opersional dilaksanakan dengan tambahan, uji untuk kerja circuit breaker den relai pembatas pelanggan.

2-4-1 Gardu Beton

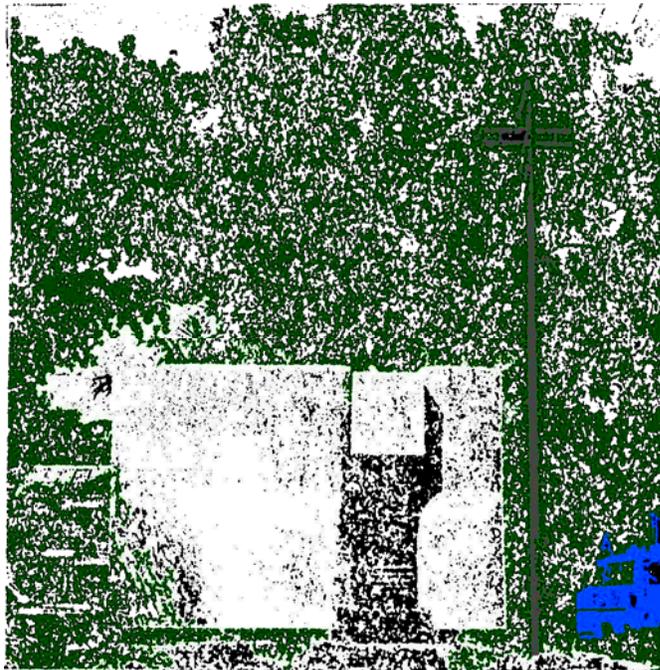
Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari beton (campuran pasir, batu dan semen). Gardu beton termasuk `gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan beton. Dalam pembangunannya semua peralatan tersebut di disain dan diinstalasi di lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu. Gambar 3-37 memperlihatkan sebuah gardu distribusi konstruksi beton.



Keterangan :

1. Kabel masuk-pemisah atau sakelar beban (load break)
2. Kabel keluar-sakelar beban (load break)
3. Pengaman transformator-sakelar beban+pengaman lebur.
4. Sakelar beban sisi TR.
5. Rak TR dengan 4 sirkit bekan.
6. Pengaman lebur TM (HRC-Fuse)
7. Pengaman lebur TR(NH - Fuse)
8. Transformator.

Gambar 2-34. Bagan satu garis Gardu Beton



Gambar 2-35. Bangunan Gardu beton

Ketentuan teknis komponen gardu beton, komponen tegangan menengah (contoh rujukan PHB tegangan menengah), yaitu; a) Tegangan perencanaan 25 kV; b) Power frekuensi withstand voltage 50 kV untuk 1 menit; c) Impulse withstand voltage 125 kV; d) Arus nominal 400A; e) Arus nominal transformator 50A; f) Arus hubung singkat dalam 1 detik 12,5 kA; g) Short circuit making current 31,5 kA.

Komponen tegangan rendah (contoh rujukan PHB tegangan rendah), yaitu;

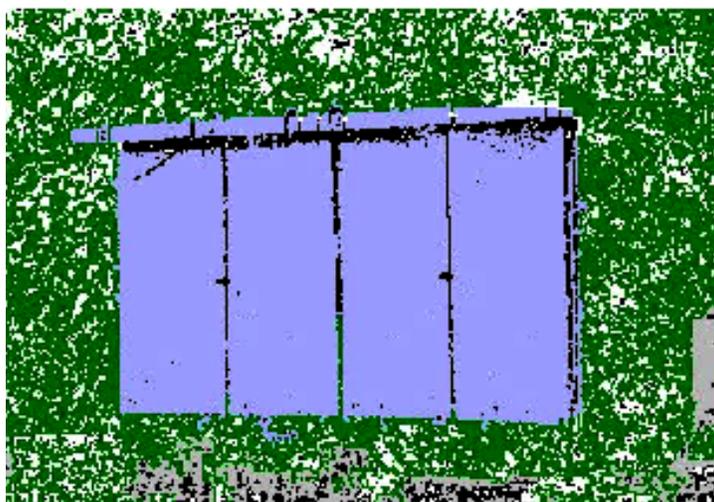
- a) Tegangan perencanaan 414 Volt(fasa-fasa);
- b) Power frekuensi withstand 3 kV untuk 1 menit test fasa-fasa;
- c) Impulse withstand voltage 20 kV;
- d) Arus perencanaan rel/busbar 800 A, 1.200 A, 1.800 A;
- e) Arus perencanaan sirkit keluar 400A;
- f) Test ketahanan tegangan rendah.

Harga Efektif (RMS)

Rel	(Waktu 0,5 detik)	Peak
800 A	16 kA	32 kA
1200 A	25 kA	52 kA
1800 A	32 kA	72 kA

2-4-2 Gardu metal clad (Gardu besi)

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari besi. Gardu besi termasuk gardu jenis pasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi terletak di dalam bangunan besi. Semua peralatan tersebut sudah di instalasi di dalam bangunan besi, sehingga dalam pembangunannya pelaksana pekerjaan tinggal menyiapkan pondasinya saja. Gambar 2-36 memperlihatkan sebuah gardu distribusi berupa gardu besi berbentuk kios.



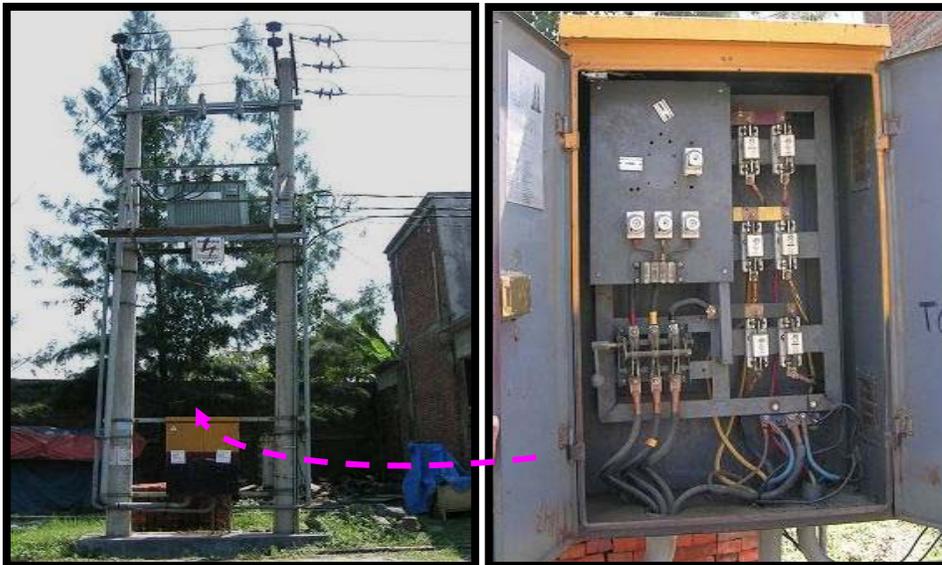
Gambar 3-36. Bardu Besi

2-4-3 Gardu Tiang Tipe Portal.

Gardu Tiang, yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya/ penyangganya terbuat dari tiang. Dalam hal ini trafo distribusi terletak di bagian atas tiang. Karena trafo distribusi terletak pada bagian atas tiang, maka gardu tiang hanya dapat melayani daya listrik terbatas, mengingat berat trafo yang relatif tinggi, sehingga tidak mungkin menempatkan trafo berkapasitas besar di bagian atas tiang (± 5 meter di atas tanah). Untuk gardu tiang dengan trafo satu fasa kapasitas yang ada maksimum 50 KVA, sedang gardu tiang dengan trafo tiga fasa kapasitas maksimum 160 KVA (200 kVA). Trafo tiga fasa untuk gardu tiang ada dua macam, yaitu trafo 1x3 fasa dan trafo 3x1 fasa. Gambar 3-39 memperlihatkan sebuah gardu distribusi tiang tipe portal lengkap dengan perlengkapan proteksinya dan panel distribusi tegangan rendah yang terletak di bagian bawah tiang (tengah).

2-4-3-1 Bangunan fisik Gardu Portal

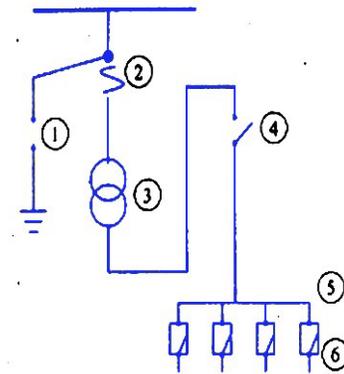
Gardu portal adalah gardu listrik tipe terbuka (outdoor) yang memakai konstruksi tiang/menara kedudukan transformator minimal 3 meter diatas platform. Umumnya memakai tiang beton ukuran 2x500 daN.



Gambar 2-37. Gardu tiang tipe portal dan Midel Panel

- Perlengkapan peralatan terdiri atas :
 - Fuse cut out
 - Arrester lighting
 - Transformer type 250, 315, 400 WA
 - Satu lemari PHB tegangan rendah maksimal 4 jurusan
 - Isolator tumpu atau gantung

🌈 Sistem pentanahan



Keterangan Gambar 2-38:

1. Arrester.
2. Proteksi cut out fused
3. Trafo Distribusi
4. Sakelar beban tegangan rendah
5. PHB tegangan rendah
6. Sirkuit keluar dilengkapi pengamanan lebur (NH. Fuse)

Gambar 2-38. Bagan satu garis Gardu tiang tipe portal

- Lemari PHB TR dipasang minimal 1,2 meter diatas permukaan tanah atau 1,5 meter pada daerah yang sering terkena banjir. Pada beberapa tempat gardu portal juga dipasang trafo arus untuk pengukuran alat ukur pelanggan-pelanggan tegangan rendah.

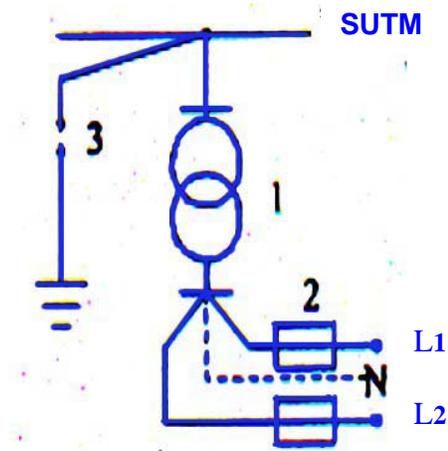
2-4-4 Gardu Tiang Tipe Cantol.

2-4-4-1 Bangunan fisik Gardu tipe Cantol

- Gardu cantol adalah type.gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan pada tiang listrik besamya kekuatan tiang minimal 500 daN.
- Instalasi gardu dapat berupa :
 - 1 Cut out fused
 - 1 lighting arrester.
 - 1 panel PHB tegangan rendah dengan 2 jurusan atau transformator completely self protected (CSP - Transformator)
 Lihat contoh gambar konstruksi gardu cantol PT. PLN (Persero)

2-4-4-2 Sambungan Gardu Tiang Tipe Cantol

- Gardu cantol 1 fasa dengan transformator CSP (completely self protected) untuk pelayanan satu fasa.
- Untuk pelayanan sistem 3 fasa memakai 3 buah trafo 1 fasa dengan titik netral di gabungkan dari tiap-tiap transformator menjadi satu.
- Instalasi dalam PHB terbagi atas 6 bagian utama.
 - Instalasi switch gear tegangan menengah
 - Instalasi switch gear tegangan rendah
 - Instalasi transformator
 - Instalasi kabel tenaga dan kabel kontrol
 - Instalasi pembumian
 - Bangunan fisik gardu.



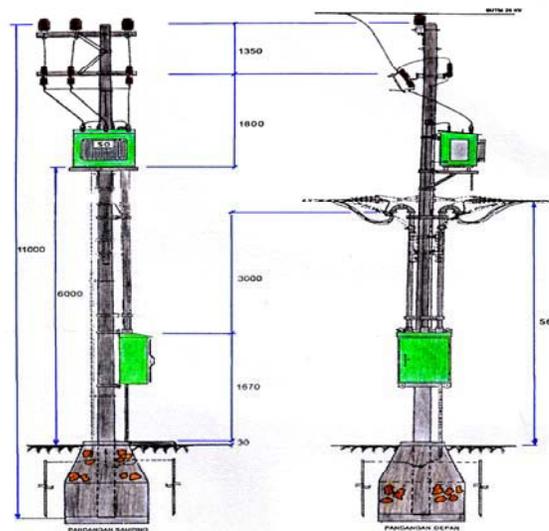
Keterangan

1. Transformator
2. Sirkuit akhir 2 fasa
3. Arrester
4. Cut out fused, sakelar beban TR sudah terpasang di dalam transformator.

Catatan

- EL1 - N = 220 Volt
 EL2 - N = 220 Volt
 EL1 - EL 2 = 440 Volt

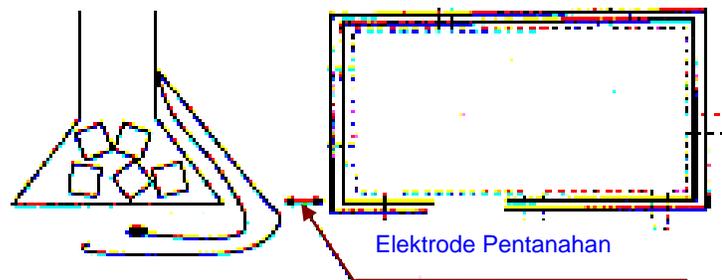
Gambar 2-39. Bagan satu garis Gardu tiang tipe Cantol



Gambar 2-40. Gardu tiang tiga fasa tipe Cantol

Instalasi Penumaian

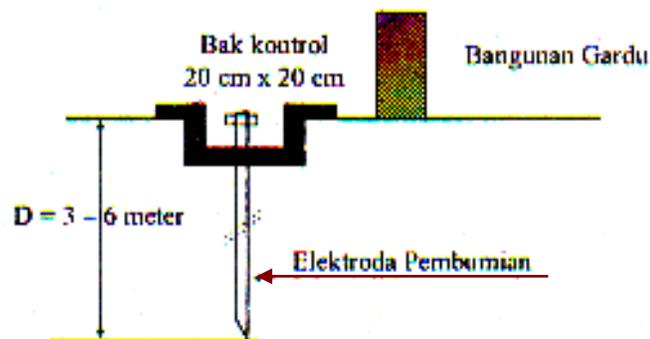
- Instalasi penumaian pada gardu berdasarkan ketentuan yang diberlakukan setempat. Tujuan utamanya adalah mendapatkan nilai penumaian elektroda maksimum 1 Ohm
- Jenis-jenis Elektroda (lihat PUIL 2000 Bab III).



Gambar 2-41. Elektrode Pentanahan

Contoh

Instalasi pbumian di PT. PLN Distribusi Jakarta Raya & Tangerang kabel $1 \times 50 \text{ mm}^2$ Cu digelar dibawah fondasi melingkar tertutup. Pada beberapa titik tiap-tiap 1 meter dikeluarkan sebagai terminal pbumian. Kabel ini berfungsi juga sebagai ikatan penyama potensial.



Gambar 2-42. Detail Pemasangan Elektrode Pentanahan

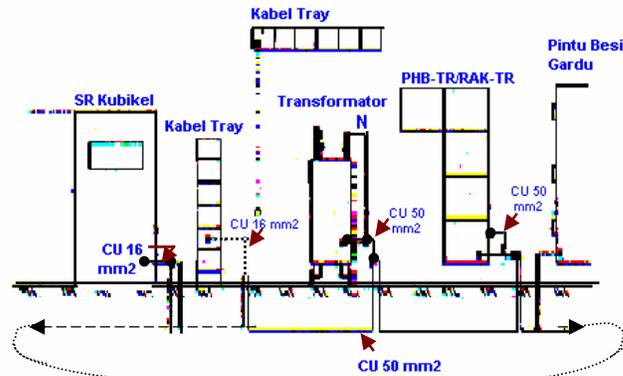
Contoh

Penggunaan elektroda batang pada gardu distribusi:

- Memakai elektroda dengan kedalaman 3-6 meter.
- Jarak tanam minimal 2 meter atau sejarak $1 \times$ panjang elektroda.
- Pada terminal keluar harus diberi bak kontrol untuk melakukan pengukuran tahanan tanah.

Ikatan Pbumian

- Semua bagian-bagian konduktif terbuka dan bagian konduktif extra pada gardu dihubungkan dengan penghantar ke ikatan penyama potensial pbumian.
- Titik netral sistem tegangan rendah pada terminal netral transformator, pada Rak PNB-TR dibumikan, dihubungkan pada elektroda pbumian.
- Klem pengikat harus terbuat dari bahan tahan korosi minimal memakai baut ukuran 10 mm^2 .



Gambar 2-43. Diagram Instalasi Pembumian Gardu Distribusi

Keterangan

- Elektroda pembumian grid CU 1 x 50 mm² digelar di bawah ponclasi gardu.
- Pada titik-titik tertentu dikeluarkan setinggi 30 cm untuk terminal pembumian.
- Penghantar terminal memakai CU 1 x 16 mm² untuk BKT. CU 1 x 50 mm² untuk Netral Transformator BKT, Transformator dan Rak TR.

Konstruksi penunjang.

- Beberapa konstruksi penunjang terdapat pada kelengkapan konstruksi gardu yang kebutuhannya disesuaikan setempat.
- Kabel Tray harus terbuat dari bahan anti korosif untuk keperluan tiap-tiap 3 meter jalur kabel.
- Klem kabel untuk memperkuat dudukan kabel pada ikatan dinamis atau kabel tray bisa terbuat dari kayu (Support cable).
 - bolt clamp
 - Spice plate - plate bar
 - Collar- penjepit kabel pada Rak TR/TM.
 - Fisser ukuran 10 mm² panjang 60 mm², 120 mm²
 - Insulating bolt, baut dilapisi nilon, makrolon.
 - Insulating slim, bahan bakelit, nilon, makrolon.
 - Terminal hubung, plat dibawah sel TM.
 - Clamping connector 9 mm², 13 mm², 17 mm².
 - T- connector lunimog-clamp terbuat dari Cu.
 - Angle clamp connector (knee-konektor)
 - Connecting blok terbuat dari tembaga
 - Straight clamp connector

Untuk konstruksi pemasangan contoh pada standard konstruksi instalasi gardu PT. PLN (Persero).

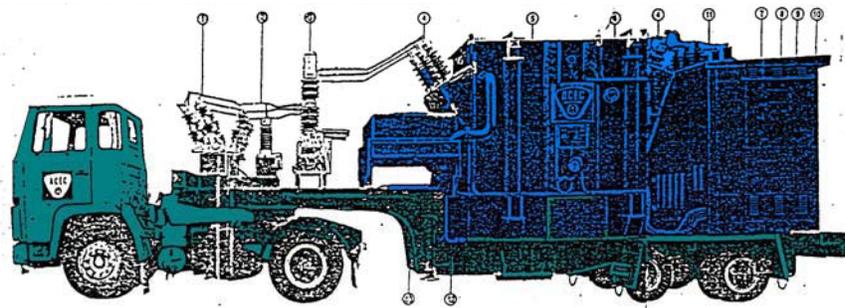
2-4-5 Gardu Mobil

Yaitu gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa sebuah mobil (diletakkan diatas mobil), sehingga bisa dipindah-pindah sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Oleh karenanya gardu mobil ini pada

umumnya untuk pemakaian sementara(darurat), yaitu untuk mengatasi kebutuhan daya yang sifatnya temporer.

Secara umum ada dua jenis gardu mobil, yaitu **pertama** gardu mobil jenis pasangan dalam (mobil boks) dimana semua peralatan gardu berada di dalam bangunan besi yang mirip dengan gardu besi. **Kedua**, gardu mobil jenis pasangan luar, yaitu gardu yang berada diatas mobil trailer, sehingga bentuk pisiknya lebih panjang dan semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah dan trafo distribusi tampak dari luar. Gambar 2-44 memperlihatkan sebuah gardu distribusi berupa gardu mobil pasangan luar berada diatas trailer. Gardu distribusi jenis trailer ini umumnya berkapasitas lebih besar daripada yang jenis mobil. Hal ini bisa dilihat dari konstruksi peralatan penghubung yang digunakan.

Pada setiap gardu distribusi umumnya terdiri dari empat ruang (bagian) yaitu, bagian penyambungan/pemutusan sisi tegangan tinggi,



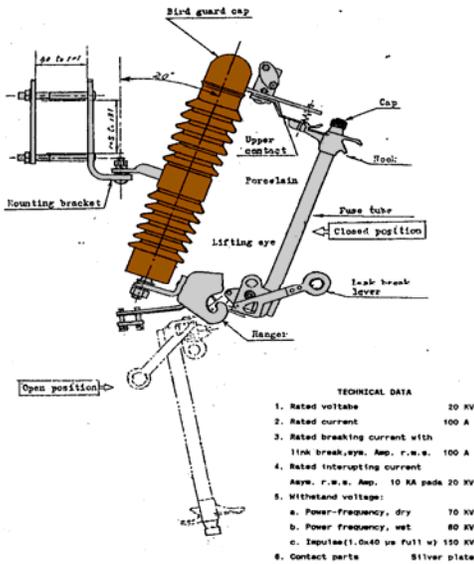
Gambar 2-44. Gardu mobil

bagian pengukuran sisi tegangan tinggi, bagian trafo distribusi dan bagian panel sisi tegangan rendah.

Keterangan gambar:

- | | | |
|-------------------|-------------------|----------------------|
| 1. Saklar pemisah | 6. Pengubah tap | 11. Saklar Pemisah |
| 2. Penyalur Petir | 7. Pemutus | 12. Poros berganda |
| 3. Pemutus | 8. Kotak kontrol | 13. Gudang peralatan |
| 4. Isolator | 9. Trafo bantu | |
| 5. Transformator | 10. Baterai Nikad | |

Pada gardu beton dan gardu metal bagian-bagian tersebut tersekat satu dengan lainnya, sedang pada gardu tiang panel distribusi tegangan rendah diletakkan pada bagian bawah tiang. Pada gardu distribusi, sistem pengaman yang digunakan umumnya berupa arrester untuk mengantisipasi tegangan lebih (over voltage), kawat tanah (ground wire) untuk melindungi saluran fasa dari sambaran petir dan sistem pentanahan untuk menetralkan muatan lebih, serta sekring pada sisi tegangan tinggi (fuse cut out) untuk memutus rangkaian jika terjadi arus lebih (beban lebih).



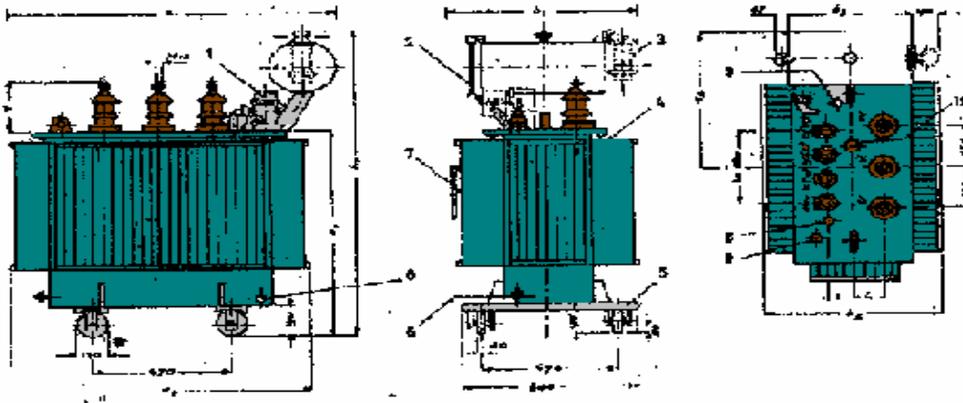
Gambar 2-45. Pemutus beban 20 kV tipe "Fuse Cut out"

Secara visual "Fuse Cut Out" ini dari bawah (jauh) tampak sedang on atau off. Arrester dipasang di bagian luar gardu distribusi, yaitu pada SUTM tempat penyambungan ke gardu distribusi. "Fuse cut out" dipasang dekat arrester atau bisa juga dipasang di dalam gardu, jika jarak antara titik penyambungan dan gardu distribusi relatif jauh dan saluran cabang menuju gardu distribusi menggunakan kabel tanah. Untuk gardu tiang dan gardu mobil "Fuse Cut Out" di pasang pada bagian atas tiang terdekat (titik jumper). Gambar 2-45 memperlihatkan sebuah pemutus beban 20 kV tipe "Fuse Cut out"

2-5 Trafo Distribusi

2-5-1 Trafo Buatan Indonesia

Trafo distribusi yang digunakan di Indonesia saat ini pada umumnya adalah trafo produksi dalam negeri. Ada lima pabrik trafo di Indonesia yaitu:



Gambar 2-46. Trafo distribusi kelas 20 kV

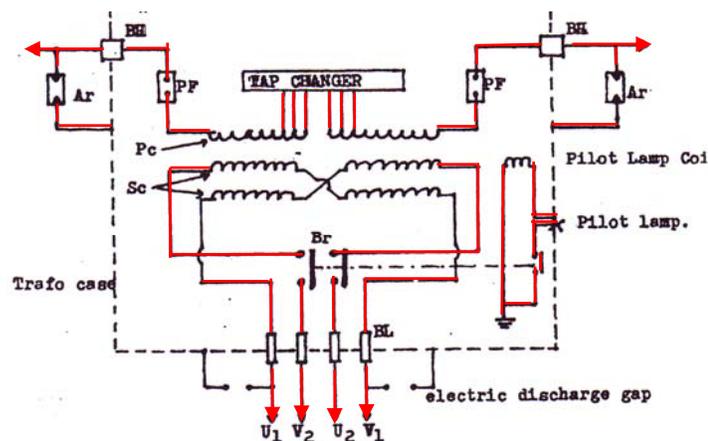
Keterangan-keterangan gambar 2-46, adalah:

1. Rele Buchholz
2. Indikator permukaan minyak
3. Penapas Pengering
4. Untuk pembukaan
5. lubang untuk tarikan
6. Sumbat pengeluaran minyak
7. Pelat-nama
8. Apitan untuk hubungan tanah
9. Kantong-thermometer
10. Alat untuk merubah kedudukan tap

Trafo distribusi yang digunakan di Indonesia saat ini pada umumnya adalah trafo produksi dalam negeri. Ada lima pabrik trafo di Indonesia yaitu: PT. UNINDO, PT. TRAFINDO dan PT. ASATA di Jakarta; PT. MURAWA di Medan : PT. Bambang Djaja di Surabaya. Ditinjau dari jumlah fasanya trafo distribusi ada dua macam, yaitu trafo satu fasa dan trafo tiga fasa.

Trafo tiga fasa mempunyai dua tipe yaitu tipe tegangan sekunder ganda dan tipe tegangan sekunder tunggal. Sedang trafo satu fasa juga mempunyai dua tipe yaitu tipe satu kumparan sekunder dan tipe dua kumparan sekunder saling bergantung, yang di kenal dengan trafo tipe "NEW JEC". Gambar 2-46 memperlihatkan sebuah trafo distribusi tiga fasa kelas 20 kV produksi PT. UNINDO Jakarta menurut standarisasi DIN, Jerman Barat. Bak trafo dapat diisi dengan minyak trafo biasa atau askarel (suatu bahan buatan) dan kelas ini untuk kapasitas daya lebih kecil dari 1000 kVA.

2-5-2 Trafo Standar "NEW JEC"



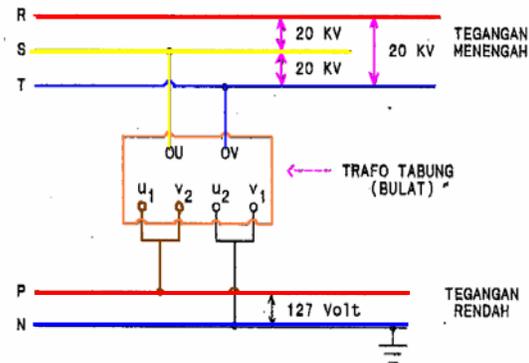
Keterangan gambar 2-47:

BH = Primary Bushing High
BL = Secondary Bushing Low
Br = Breaker Switch
PF = Power Fuse

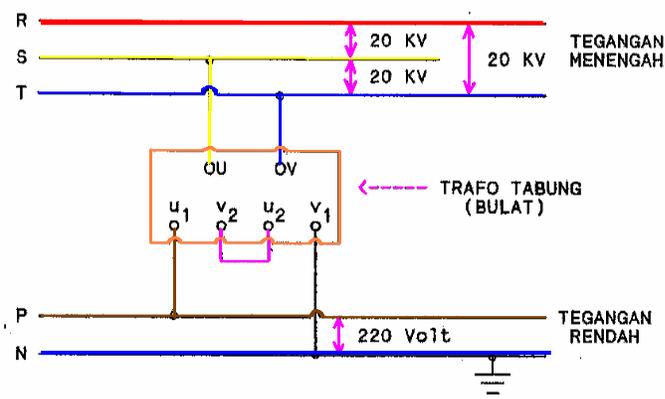
Pc = Primary coil
Sc = Secondary coil
Ar = Arrester

Gambar 2-47. Hubungan dalam trafo distribusi tipe "New Jec"

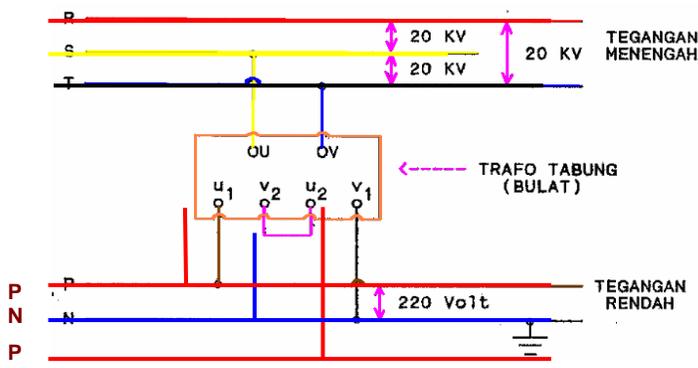
Dengan mengubah posisi "tap changer" tegangan sisi sekunder dapat diatur dari 115 Volt sampai dengan 133 Volt. Keistimewaan trafo tipe New Jec ialah setiap fasa terdiri dari satu tabung dapat diinstalasi untuk mendapatkan dua sistem tegangan, yaitu sistem 127 Volt dan sistem 220 Volt,



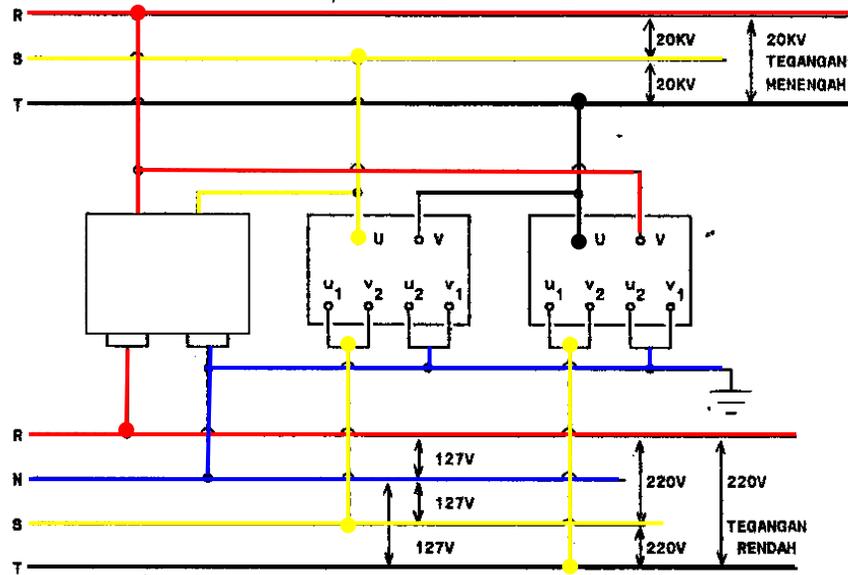
Gambar 2-48. Sistem satu fasa dua kawat 127 Volt



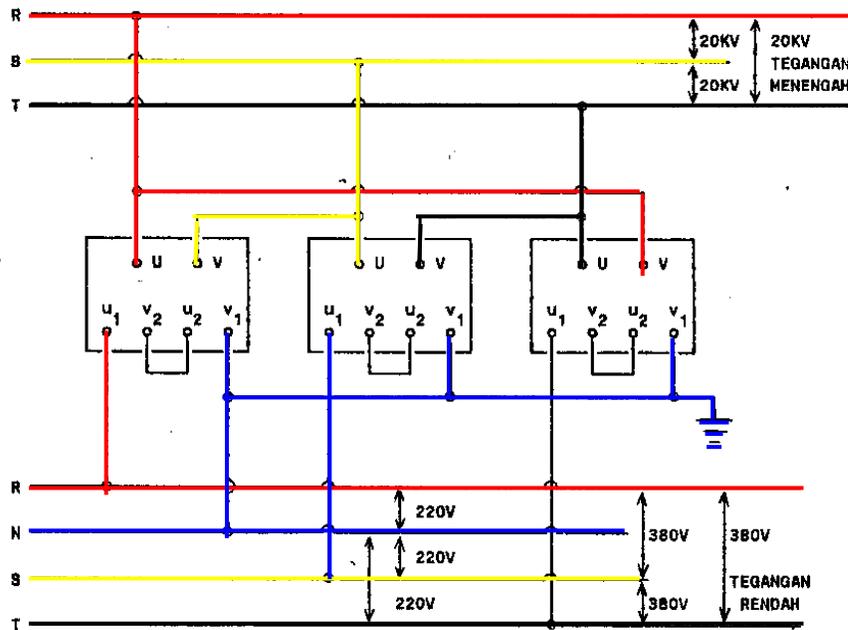
Gambar 2-49. Sistem satu fasa dua kawat 220 Volt



Gambar 2-50. Sistem satu fasa tiga kawat 127 Volt



Gambar 2-51. Sistem tiga fasa empat kawat 127/220 Volt

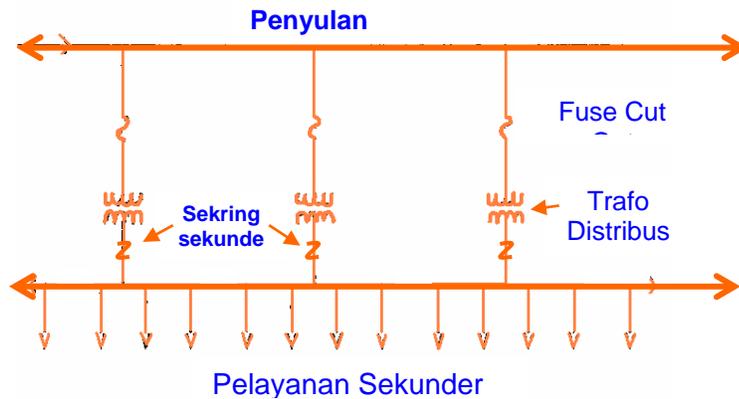


Gambar 2-52. Sistem tiga fasa empat kawat 220/380 Volt

2-5-3 Bank Trafo

2-5-3-1 Bank trafo dengan ril sekunder

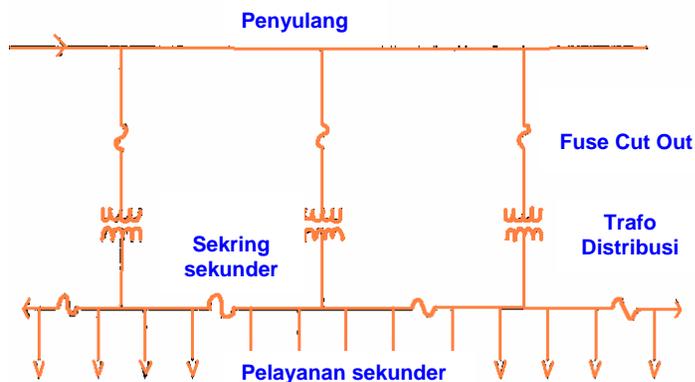
Yang dimaksud dengan bank trafo ialah menghubungkan paralel tegangan pada sisi sekunder sejumlah trafo, yang semuanya disambungkan dengan jaringan sisi primer yang sama. Gambar 2/53-55 memperlihatkan beberapa model bank trafo (*Transformer banking*).



Gambar 2-53. Bank trafo dengan ril

Sekring sekundernya tidak dapat mengamankan secara lengkap melawan beban lebih dari trafo dan gangguan sekunder dengan impedansi tinggi, disebabkan sekring memerlukan waktu pemutusan yang relatif lama. Dalam susunan ini akan terjadi pemutusan total pada sekunder, jika ada bagian pelayanan sekunder yang terganggu.

2-5-3-2 Bank trafo dilengkapi sekring sekunder

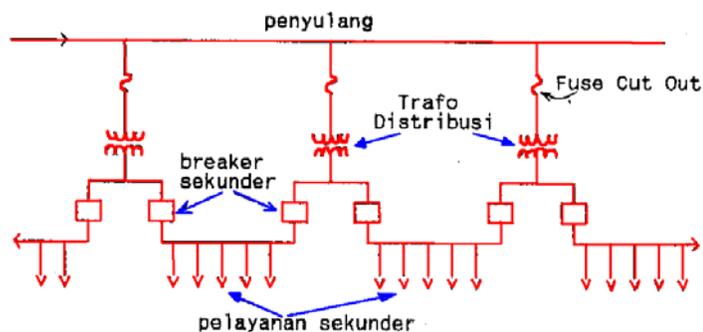


Gambar 2-54. Bank trafo dilengkapi sekring sekunder pada relnya

Hubungan dari trafo distribusi langsung ke pelayanan sekunder. Pelayanan sekunder dibagi antara trafo-trafo dengan sekering sekunder. Dalam susunan ini jika trafo mengalami gangguan, maka akan terjadi pemutusan pelayanan sekunder pada kelompok trafo yang terganggu. Sebaliknya jika ada bagian pelayanan sekunder yang terganggu, maka satu trafo pada kelompok beban tersebut terputus (trip).

2-5-3-3 Bank trafo dengan pengamanan lengkap

Trafo distribusi dihubungkan ke pelayanan sekunder dengan 2 buah "circuit breaker". Maksudnya masing-masing trafo dilengkapi 2 buah breaker yang identik. Bila arus lebih melalui sebuah dari breaker, maka breaker ini akan trip dan tidak bergantung pada breaker yang lain. Untuk suatu kegagalan trafo, maka pengaman rangkaian primer (FCO) akan terbuka (trip) bersama-sama kedua breaker sekunder.



Gambar 2-55. Bank trafo dengan pengamanan lengkap

2-6 Pelayanan Konsumen

Di dalam melayani konsumen/pemakai listrik, yang perlu diperhatikan adalah:

2-6-1 Tegangan

Tegangan harus selalu di jaga konstan, terutama rugi tegangan yang terjadi di ujung saluran. Tegangan yang tidak stabil dapat berakibat merusak alat-alat yang peka terhadap perubahan tegangan (khususnya alat-alat elektronik). Demikian juga tegangan yang terlalu rendah akan mengakibatkan alat-alat listrik tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan sumber harus sama dengan tegangan yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Tegangan terlalu tinggi akan dapat merusak alat-alat listrik.

2-6-2 Frekuensi

Perubahan frekuensi akan sangat dirasakan oleh pemakai listrik yang orientasi kerjanya berkaitan/bergantung pada kestabilan frekuensi.

Konsumen kelompok ini biasanya adalah industri-industri yang menggunakan mesin-mesin otomatis dengan menggunakan setting waktu/frekuensi.

2-6-3 Kontinuitas pelayanan

Kelangsungan pelayanan listrik secara kontinyu merupakan dambakan setiap pelanggan/pemakai. Pemadaman listrik dapat mengakibatkan kerugian yang besar pada industri-industri yang operasionalnya sangat bergantung kepada tenaga listrik. Oleh karenanya jika pemadaman listrik tidak dapat dihindari, misalnya karena perbaikan jaringan yang sudah direncanakan atau karena gangguan dan sebab-sebab lain, maka pelaksanaan pemadaman harus didahului dengan pemberitahuan.

2-6-4 Jenis Beban

2-6-4-1 Tarif Listrik.

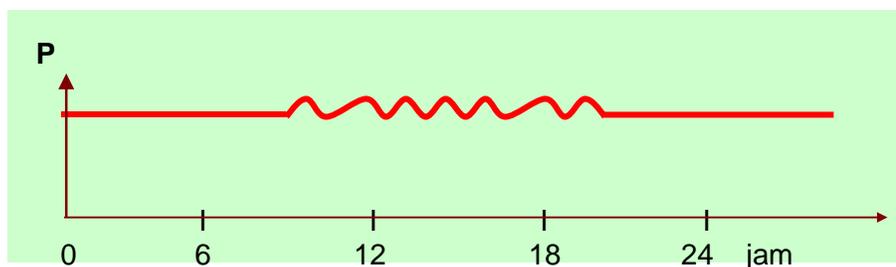
Tarif listrik ditetapkan berdasarkan Keputusan Direksi PLN, yang direkomendasikan oleh Pengumuman Menteri Pertamben dan Kepurusan Presiden. Isi Keputusan Direksi tersebut membagi beban listrik berdasarkan jenis pemakaiannya, yaitu untuk keperluan sosial, keperluan rumah tangga, untuk keperluan usaha, untuk keperluan industri dan lain lain yang masing-masing diklasifikasikan menurut besar kecilnya daya yang dibutuhkan dengan membedakan tarif pembayarannya. Pengelompokan tarif tersebut dapat dilihat pada tabel 2-1.

2-6-4-2 Karakteristik Beban

Dari pengelompokan beban tersebut secara periodik dapat dicatat besar-kecilnya beban setiap saat berdasarkan jenis beban pada tempat-tempat tertentu, sehingga dapat dibuat karakteristiknya .

1) Karakteristik Beban untuk Industri Besar.

Pada industri besar (misalnya pengecoran baja) umumnya bekerja selama 24 jam, sehingga perubahan beban hanya terjadi pada saat jam kerja pagi untuk keperluan kegiatan administrasi. Perubahan beban tersebut nilainya sangat kecil jika dibanding dengan daya total yang digunakan

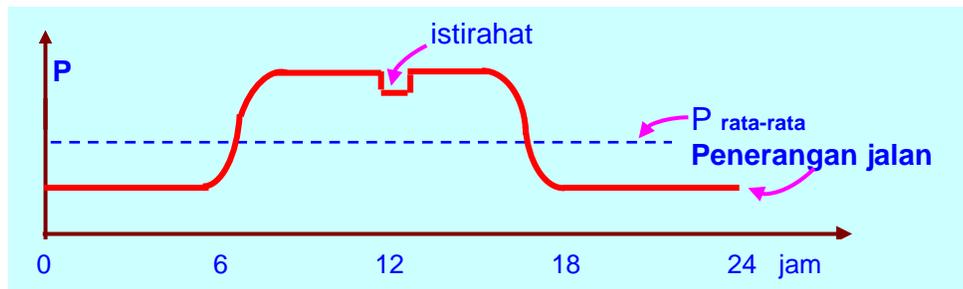


Gambar 2-56. Karakteristik beban untuk industri besar

untuk operasional industri. Selebihnya hampir kontinu, selama 24 jam. Gambar 2-56 memperlihatkan karakteristik beban harian untuk industri besar yang umumnya, bekerja selama 24 jam.

2) Karakteristik Beban untuk Industri Kecil.

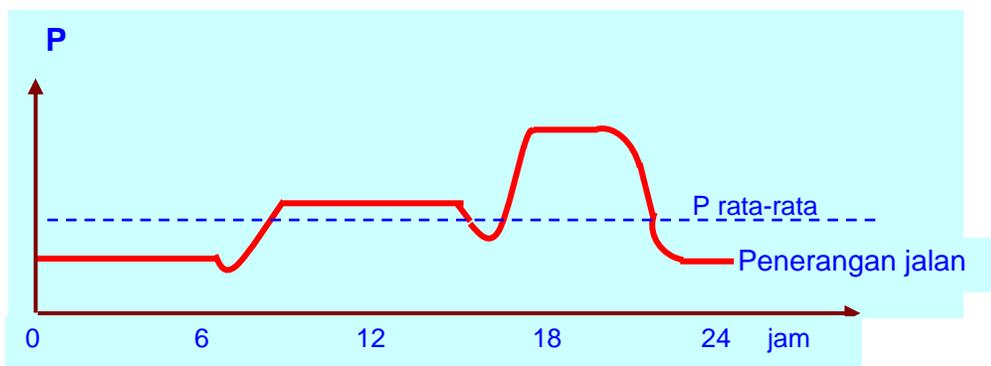
Untuk beban harian pada industri kecil yang umumnya hanya bekerja pada siang hari saja perbedaan pemakaian tenaga listrik antara siang dan malam hari sangat mencolok, karena pada malam hari listrik hanya untuk keperluan penerangan malam. Gambar 2-57 memperlihatkan karakteristik beban harian untuk industri kecil yang hanya bekerja pada siang hari.



Gambar 2- 57. Karakteristik beban harian untuk industri kecil yang hanya bekerja pada siang hari

3) Karakteristik Beban Daerah Komersial.

Untuk daerah komersial beban amat bervariasi dan beban puncak terjadi antara pukul 17.00 sampai dengan pukul 21.00. Gambar 2-58 memperlihatkan kurve beban harian untuk daerah komersial.



Gambar 2-58. Karakteristik beban harian untuk daerah komersial

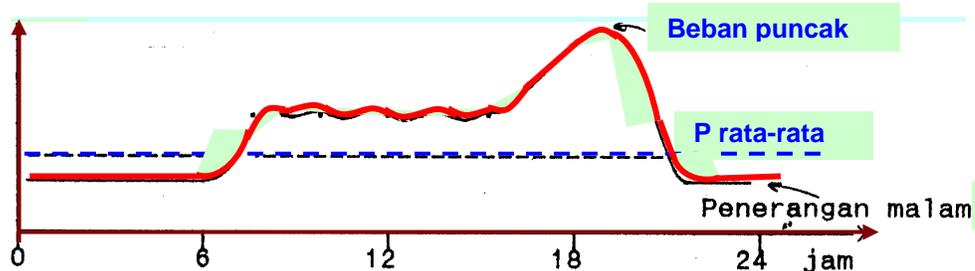
Tabel 2-1. Penggolongan tarif tenaga listrik

No.	Kode Tarif	Uraian Pemakaian	Batas Daya
1.	S-1/TR	Untuk keperluan pemakai sangat kecil	s/d 200VA
2.	S-2/TR	Untuk keperluan badan sosial kecil	250VA s/d 2.200VA
3.	S-3/TR	Untuk keperluan badan sosial sedang	2.201VA s/d 200kVA
4.	S-4/TM	Untuk keperluan badan sosial besar	201kVA ke atas
5.	SS-4/TM	Untuk keperluan badan sosial swasta besar yg mengenakan tarif komersil	201kVA ke atas
6.	R-1/TR	Untuk keperluan rumah tangga kecil	250VA s/d 500VA
7.	R-2/TR	Untuk keperluan rumah tangga sedang	501VA s/d 2.200VA
8.	R-3/TR	Untuk keperluan rumah tangga menengah	2.201VA s/d 6.600VA
9.	R-4/TR	Untuk keperluan rumah tangga besar	6.600 VA ke atas
10.	U-1/TR	Untuk keperluan usaha kecil	250VA s/d 2.200VA
11.	U-2/TR	Untuk keperluan usaha sedang	2.201VA s/d 200 kVA
12.	U-3/TM	Untuk keperluan usaha menengah	201 kVA ke atas
13.	U-4/TR	Untuk keperluan sambungan sementara a.l. penerangan pesta (tegangan rendah)	Tergantung permintaan (sesuai kebutuhan)
14.	H-1/TR	Untuk keperluan perhotelan kecil	250VA s/d 99 kVA
15.	H-2/TR	Untuk keperluan perhotelan sedang	100 kVA s/d 200 kVA
16.	H-3/TM	Untuk keperluan perhotelan besar	201 kVA ke atas
17.	I-1/TR	Untuk keperluan industri rumah tangga	450VA s/d 2.200VA
18.	I-2/TR	Untuk keperluan industri kecil	2.201VA s/d 13,9 kVA
19.	I-3/TR	Untuk keperluan industri sedang	14 kVA s/d 200 kVA
20.	I-4/TM	Untuk keperluan industri menengah	201kVA ke atas
21.	I-5/TT	Untuk keperluan industri besar	30.000 kVA ke atas
22.	G-1/TR	Untuk keperluan gedung kantor pemerintah kecil sampai sedang	250VA s/d 200 kVA
23.	G-2/TM	Untuk keperluan gedung kantor pemerintah besar	201kVA ke atas
24.	J/TR	Untuk keperluan penerangan jalan umum	

Catatan :
 TR = Tegangan Rendah
 TM = Tegangan Menengah
 TT = Tegangan Tinggi

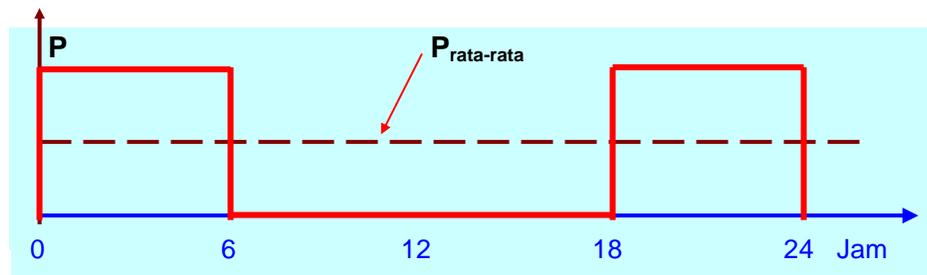
4) Karakteristik Beban untuk Rumah Tangga

Pemakaian beban untuk keperluan rumah tangga dalam gambar 2-59 ialah karakteristik beban untuk rumah tangga yang mana tenaga listrik sudah merupakan kebutuhan. Misalnya penggunaan kompor listrik, seterika listrik, mesin cuci, kulkas, pemanas air listrik (heater), oven listrik, AC dan lain-lain. Rumah tangga yang pemakaian listriknya seperti tersebut diatas ialah rumah tangga dengan tarif R3 dan R4.



Gambar 2-59. Karakteristik beban harian rumah tangga

5) Karakteristik Beban untuk Penerangan Jalan



Gambar 2-60. Karakteristik beban penerangan jalan umum.

Pemakaian beban untuk keperluan penerangan jalan adalah yang paling sederhana, karena pada umumnya tenaga listrik hanya digunakan mulai pukul 18.00 sampai dengan pukul 06.00. Gambar 2-60 memperlihatkan kurve beban harian penerangan jalan umum.

2-6-4-3 Faktor Beban

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pelayanan distribusi ialah :

- a. **Load density** (kepadatan beban) = $\frac{\text{Besarnya daya}}{\text{Luas daerah pelayanan}}$
- b. **Load factor** (faktor beban) = $\frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Beban maksimum}} \dots \dots \dots < 1$
- c. **Demand factor** (faktor kebutuhan) = $\frac{\text{Kebutuhan beban maksimum}}{\text{Jumlah daya yang tersedia (kontrak)}} \dots \dots \dots < 1$
- d. **Diversity factor** (ketidak serempakan) = $\frac{\text{Jumlah permintaan maksimum dari masing masing konsumen}}{\text{Beban yang sesungguhnya dari grup (seluruh komplek)}}$

Nilai normalnya dapat mencapai 3,5 – 5

- e. **Coincidence factor** (faktor keserempakan) $>< \text{Diversity factor}$

Penggunaan rumus diatas ialah untuk menentukan kebutuhan penyediaan tenaga listrik pada suatu komplek perumahan.

Contoh:

Suatu komplek perumahan yang baru dibangun terdiri dari 1.600 rumah, masing-masing memerlukan daya 1.300 VA. Jika faktor kebutuhan =

0,6 dan faktor ketidakserempakan = 3,5, berapa KVA daya trafo yang harus disediakan untuk keperluan penyediaan tenaga listrik pada kompleks tersebut

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} \text{Daya maksimum} &= \frac{1.800 \times 1.300 \times 0,6}{3,5} \\ &= 356.571 \approx \mathbf{350 \text{ KVA}} \end{aligned}$$

Jika dihitung kebutuhan total = 1.600 X 1.300 VA seluruh calon pelanggan = 2.080.000 VA ≈ 2.000 KVA.

Jadi daya trafo yang harus disediakan = 350 KVA ~ 400 KVA
± 1/5 X kebutuhan total calon pelanggan

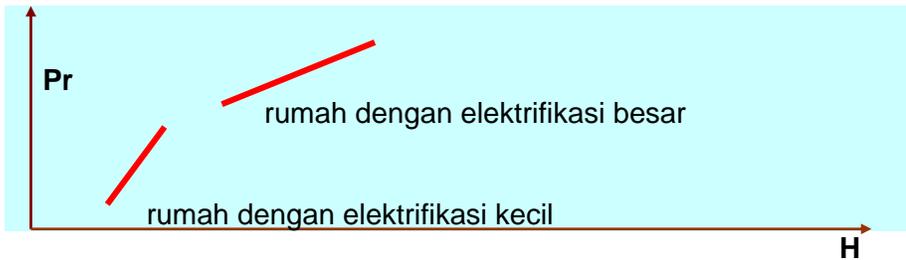
Jika beban terpasang = H,

Faktor keserempakan = g

Daya maksimum yang sesungguhnya terpakai = Pr

$$g = \frac{Pr}{H} \dots \dots \dots g < 1$$

Kalau jumlah rumahnya banyak, maka g < 1 dan sebaliknya untuk jumlah rumah sedikit g > 1



Gambar 2-61. Perbandingan nilai g untuk rumah besar dan rumah kecil

Tabel 2-2. Nilai g untuk bermacam-macam jenis beban

No.	Jenis kelompok beban	g(%)
1.	Komplek perumahan kecil	50-75
2.	Komplek perumahan besar	40-65
3.	Kantor-kantor	60-80
4.	Pertokoan (Departemen store)	70-90
5.	H o t e l	35-60
6.	Daerah industri kecil	35-65
7.	Daerah industri besar	50-80
8.	Industri dengan berbagai beban	
	a. (1 – 20) HP	70-80
	b. (10 – 20) HP	60-70
	c. (20 – 50) HP	55-65
	d. (50 – 100) HP	50-60
	e. > 100 HP	45-55
9.	Untuk bengkel	10-30
10.	Untuk pabrik kertas yang kontinyu	80-100

2-7 Dasar-dasar Perencanaan Jaringan Distribusi

2-7-1 Kriteria Teknik Saluran Listrik

2-7-1-1 Batasan standar

Semua material, peralatan, perakitan dan struktur harus disesuaikan dengan kriteria teknik yang terurai di bawah ini:

2-7-1-2 Kriteria

- 1) Tekanan angin
 Dengan mengacu kecepatan angin maksimum 80 km/jam atau 25 m/detik, temperatur minimum 26,8° C, maka diasumsikan tekanan adalah:
 Konduktor tunggal : 40 kg/m²
 Tiang : 40 kg/m²
- 2) Tegangan sistem
 SUTM: Nominal 20kV, maksimum 24 kV, 3 kawat
 SUTR: Nominal 380V / 220 V, 4 kawat
- 3) Tingkat isolasi tegangan menengah
 Impulse withstand voltage : 125 kV
 Power frequency test voltage : 50 kV
- 4) Regulasi tegangan
 Pada sisi konsumen + 5% - 10%
- 5) Jatuh tegangan
 Pada SUTM 5%, Trafo 3%, SUTR 4% dan pada SR yang disadap dari SUTR 2%, bila disadap langsung dari trafo 12%.
- 6) Pentanahan titik netral pada sistem 20 kV
 Dengan tahanan 500 Ohm, kecuali di Madura dengan tahanan 40 Ohm.
- 7) Jarak bebas
 Batasan jarak bebas jaringan adalah:

	SUTM	SUTR
Dari permukaan tanah	6.0 m	4,0 m
Menyilang jaringan 20 kV	2.0 m	2,0 m
Menyilang jaringan 220 V	1.0 m	1,0 m
Dengan bangunan	3.0 m	2,0 m
Dengan pohon	2.0 m	0,3 m
- 8) Pentanahan pada SUTM:
 Sebagai kelengkapan dari pemasangan Arester, Trafo, LBS, Recloser, AVS dan pada ujung jaringan
- 9) Pentanahan pada SUTR:
 Dipasang pada setiap 5 gawang atau lebih, dan pada ujung jaringan.
 Besarnya tahanan pentanahan maksimum 5 Ohm

2-7-1-3 Standar

Pada perencanaan konstruksi standar yang dipakai sejauh tidak bertentangan adalah:

- 1) Standar untuk material dan peralatan : SPLN (standar PLN), IEC (International Electrotechnical Commission). JIS (Japanese Industrial Standard), ANSI (American National Standard Institute) dan standar lain yang setara.
- 2) Pemberian warna penandaan kawat dan kabel : **merah-kuning-hitam untuk fasa, dan biru untuk netral**
- 3) Fasa rotasi SUTM dari sisi jalan : R-S-T.

2-7-2 Perencanaan Konstruksi

2-7-2-1 Tingkat Isolasi

- 1) Tingkat isolasi yang dipakai adalah:
 - Impulse withstand test voltage* : 125 kV Crest
 - Power Frequency test voltage* : 50 kV rms
 - Isolator creepage distance* : 500 mm
- 2) Tegangan test tersebut sesuai dengan SPLN, selain itu untuk daerah kepulauan dan pantai yang diperhitungkan akan terjadi kontaminasi garam, maka dipakai isolator dengan creepage distance 500 mm.

2-7-2-2 Pelindung surja petir

- 1) Pelepasan arus petir secara umum dibedakan dalam pelepasan di dalam antara awan” serta pelepasan dari awan ke tanah yang disebut sambaran ke tanah”. Kerusakan instalasi listrik disebabkan oleh sambaran ketanah dimaksud.
- 2) Berdasarkan map isokeraunic level, dengan asumsi 120 IKL, maka arester pelindung surja petir yang dapat diklasifikasikan:
 - a. Pada *Out Going cable* 20 kV : rating 10 kA
 - b. Pada bagian lain : rating 5 kA

Yang dimaksud bagian lain adalah, pada Trafo, pada tiang yang terpasang kabel tanah, pada pemasangan Saklar dan tiang akhir.

2-7-2-3 Konfigurasi Saluran

Sebagaimana dipaparkan pada bab ini, konfigurasi jaringan yang paling sesuai adalah :

- 1) Jaringan distribusi primer:
 - a) Saluran udara 3 kawat / 3 fasa
 - b) Tipe Radial
 - c) Saklar untuk mengisolasi gangguan: LBS, Recloser, untuk Sectionalizer
- 2) Jaringan distribusi sekunder:

- a) Saluran udara 4 kawat / 3 fasa
- b) Saluran udara 2 kawat / 1 fasa
- c) Tipe Radial
- d) Pengaman dengan Fuse atau Saklar Pemutus.

2-7-2-4 Konduktor dan kabel

1) Kapasitas Arus

Jenis konduktor untuk SUTM dipakai AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), suatu campuran aluminium dengan silicium (0,4-0,7%), magnesium (0,3-0,35%) dan ferum (0,2-0,3%), mempunyai kekuatan yang lebih besar daripada aluminium murni, tetapi kapasitas arusnya lebih rendah. Untuk SUTR dipakai kabel pilin udara (*twisted cable*) suatu kabel dengan inti AAC berisolasi XLPE (*Cross Linked polythylene*), dilengkapi kawat netral AAAC sebagai penggantung, dan dipilin. Kapasitas arus adalah kemampuan daya hantar arus pada *ambient* temperatur 35°C, kecepatan angin 0,5 m/dt, serta daya tahan termal XLPE pada suhu 450°C. Sebagai contoh kapasitas arus tersebut dapat dilihat pada tabel 2-3.

Tabel 2-3. Daya hantar arus AAAC & XLPE cable TR

Temperatur (°C)	Daya hantar arus (Ampere)				
	AAAC			XLPE cable	
	35 mm ²	70 mm ²	150 mm ²	35 mm ²	70mm ²
90	156	244	402	129	210
75	129	199	323	106	171
60	92	138	214	74	116

2) Pemilihan Ukuran

Konduktor AAAC ukuran yang tersedia yaitu; 16, 25, 35, 50, 70, 110, 150 dan 240 mm², sedangkan untuk *Twisted Cable* tersedia usuran; 3x25, 1x25; 3x35 + 1x25; 3x50 +1x35; dan 3x70 + 1x50; 2x25 + 1x25; 2x35 + 1x25; 2x50 + 1x35; mm²

3) Pemasangan Saluran Udara

Konduktor harus ditarik tidak terlalu kencang dan juga tidak boleh terlalu kendur, agar konduktor tidak menderita kerusakan mekanis maupun kelelahan akibat tarikan dan ayunan, dilain pihak dicapai penghematan pemakaian konduktor. Sebagaimana diketahui bahwa harga konduktor berkisar 40% dari harga perkilometer jaringan.

Batasan-batasannya sebagai berikut:

- Tarikan AAAC yang diijinkan maksimum 30% dari tegangan putus (*Ultimate tensile strength*).
- Tarikan *Twisted cable* (TC) yang diijinkan maksimum 35% dari tegangan putus dari kawat penggantung.
- Andongan yang terjadi pada SUTM dengan jarak gawang 60-80 meter, dan pada SUTR dengan jarak gawang 35-50 meter, tidak boleh lebih dari 1 meter.

a) Andongan

Menghitung andongan juga dapat dipakai rumus :

$$a = Wc \cdot S^2 / (Pt)$$

dimana: a : andongan (m)
 Wc : berat konduktor
 S : Jarak gawang (m)
 Pt : Kuat tarik konduktor (kg)

b) Jarak gawang

Penentuan jarak gawang dipengaruhi oleh:

- Kondisi geografis dan lingkungan
- Jarak aman konduktor dengan tanah
- Perhitungan tarikan dan andongan
- Efisiensi biaya

Mengingat hal itu maka penentuan jarak gawang adalah:

Daerah permukiman : jarak gawang SUTM murni, sebesar 50-60 meter, jarak gawang SUTR murni sebesar 40-50 meter.

Di luar permukiman : jarak gawang SUTM murni sebesar 60-80 meter.

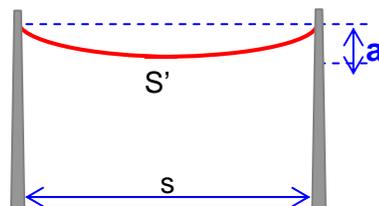
c) Perhitungan panjang konduktor

Dengan berdasarkan penentuan dan perhitungan tersebut diatas, maka jarak gawang adalah:

AAAC : panjang konduktor = jarak gawang + 1%

TC : panjang konduktor = jarak gawang + 2%

Perhitungan ini diperoleh dengan cara dan rumus sebagai berikut:



Gambar 2-62. Andongan

Sesuai dengan gambar 2-62, panjang konduktor S' dapat dihitung dengan rumus:

$$S' = S + (8xa^2)/(3xS)$$

Contoh perhitungan:

Bila diketahui jarak gawang $S = 100$ meter, konduktor AAAC 70 mm^2 dari data konduktor diperoleh berat $W_c = 0,208 \text{ kg/m}$ dan UTS = 2150 kgf atau jika diambil $P_t = 15\% \text{ UTS} = 15\% \times 2150 = 322,5 \text{ kgf}$.

Andongan:

$$a = 0,208 \times 100^2 / 8 \times 322,5 = 0,806 \text{ meter}$$

$$\text{Panjang konduktor } S' = 100 + (8 \times 0,806^2 / 3 \times 100)$$

$$S' = 100,0174 \text{ m, jadi } S' = (1 + 1\%) S \text{ sudah cukup}$$

2-7-2-5 Transformator.**1) Pemilihan tipe dan kapasitas.**

(a) Tipe transformator dapat dipakai:

- (1) Konvensional tiga fasa
- (2) CSP (*completely self protection*), tiga fasa
- (3) Tegangan primer 20 kV antar fasa dan 11,54 kV fasa-netral, tegangan sekunder 380 V antara fasa dan 220 V fasa-netral.
- (4) Model cantol, yaitu dicantolkan/digantungkan pada tiang SUTM.

(b) Kapasitas trafo tiga fasa.

Secara umum mulai dari : 25, 50, 100, 160, 200, 250 kVA.

2) Papan bagi dan perlengkapan.**(a) Papan bagi**

- Pada trafo CSP fasa tiga tidak diperlukan papan bagi, SUTR langsung dihubungkan dengan terminal TR dari Trafo. Hal ini dimungkinkan karena pada CSP trafo sudah dilengkapi dengan saklar pengaman arus lebih.
- Tidak demikian halnya pada konvensional trafo, diperlukan pengaman arus lebih tegangan rendah berupa fuse/pengaman lebur, atau pemutus tegangan rendah (LVCB/low voltage circuit breaker) sehingga diperlukan almari fuse, sekaligus sebagai papan bagi untuk keluaran lebih dari satu penyulang.
- Menyesuaikan dengan penyebaran konsumen, dapat dipilih papan bagi 2 group dan 4 group.

(b) Pengaman untuk trafo konvensional

- Pemisah lebur 20 kV / Fuse Cut Out, dengan rating arus kontinyu 100A, dan kawat lebur disesuaikan dengan kapasitas trafo.
- Arrester 24 kV, 5 kA.
- Pentanahan, terpisah antara pentanahan arrester dan pentanahan trafo.

- Pemutus daya tegangan rendah (LVCB) untuk trafo sampai dengan dengan 50 kVA.

2-7-2-6 Penentuan Konstruksi

Setelah kita membahas satu persatu atas standar yang dipakai, tentang kriteria-kriteria yang dipakai sebagai pedoman, serta berbagai hal yang berkaitan dengan material dan peralatan listrik, dan beberapa kondisi yang menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan/penentuan: jenis material, jenis peralatan, bahan dan ukuran dan lainnya, maka selanjutnya sudah dapat menentukan jenis konstruksi dari SUTM, SUTR dan Gardu Distribusi, dilengkapi dengan perhitungan jumlah dari material dan peralatan yang diperlukan.

Bila lokasi yang akan dibangun sudah disurvei dan dirancang rute jaringannya maka dapat dihasilkan perencanaan konstruksi yang lengkap untuk pembangunan jaringan Listrik pada lokasi yang dimaksud.

1) Jenis Konstruksi SUTM, GTT, SUTR.

a) Jenis Konstruksi SUTM

Berdasarkan hal-hal yang dibahas terdahulu, terdapat konstruksi SUTM yang dipasang pada tiang disesuaikan dengan sudut belok, awal dan akhir suatu jaringan, maupun fungsi jaringan lainnya.

b) Konstruksi tiang penyangga

(1) Konstruksi tiang penyangga (TM-1)

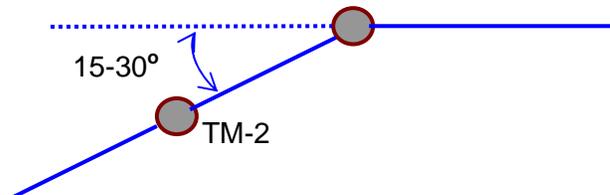
Dipakai pada jaringan lurus dan jaringan dengan sudut belok maksimum 15 derajat.



Gambar 2-63. Konstruksi tiang penyangga (TM-1)

(2) Konstruksi tiang penyangga ganda (TM-2)

Untuk jaringan dengan sudut belok 15-30°



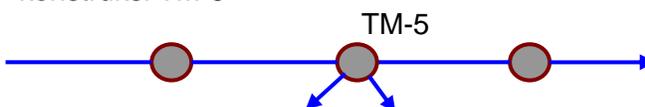
Gambar 2-64. Konstruksi tiang penyangga ganda (TM-2)

Sebagai tiang akhir dari suatu jaringan



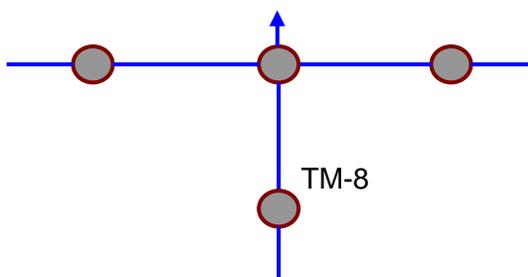
Gambar 2-65. Konstruksi tiang tarik akhir (TM-4)

- (4) Konstruksi tiang tarik ganda (TM-5)
Setiap panjang jaringan lurus 500-700 meter dipasang konstruksi TM-5



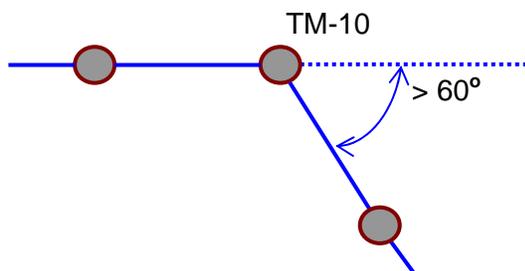
Gambar 2-66. Konstruksi tiang tarik ganda (TM-5)

- (5) Konstruksi tiang pencabangan (TM-8)



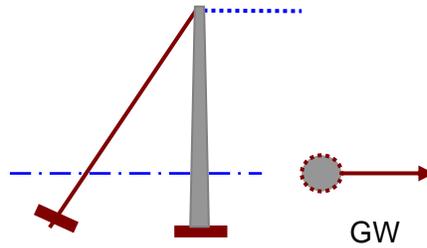
Gambar 2-67. Konstruksi tiang pencabangan (TM-8)

- (6) Konstruksi tiang sudut (TM-10)
Dipakai apabila sudut belok $> 60^\circ$



Gambar 2-68. Konstruksi tiang sudut (TM-10)

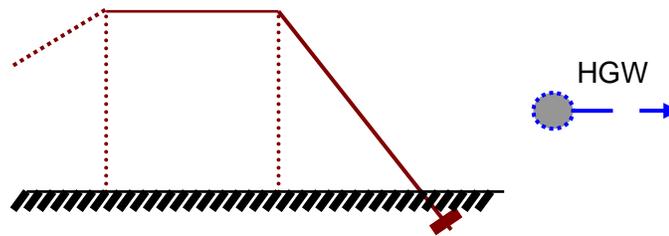
- (7) Konstruksi Guy Wire
Yaitu konstruksi dari topang-tarik pada tiang, untuk menetralsir beban vertikal pada tiang.



Gambar 2-69. Konstruksi *Guy Wire*

(8) Konstruksi *Horizontal Guy Wire*

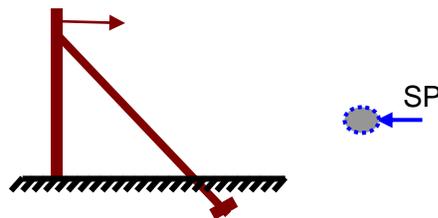
Bila topang tarik tidak dapat dipasang langsung pada tiang yang bersangkutan, maka dipasang konstruksi ini. Halangan pemasangan antara lain karena tempat untuk pemasangan anchor blok tidak tersedia dekat tiang. (Gambar 2-70).



Gambar 2-70. Konstruksi *Horizontal Guy Wire*

(9) Konstruksi *Strut Pole*

Selanjutnya, pada lokasi yang tidak memungkinkan dipasang konstruksi guy wire maupun horizontal guy wire, maka dipilih konstruksi penyangga tiang yang disebut strut pole.



Gambar 2-71. Konstruksi *Strut Pole*

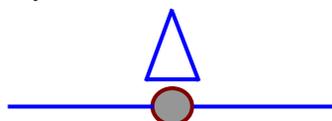
2). Jenis Konstruksi GTT

Gardu Trafo Tiang merupakan tipe yang lebih cocok untuk perkotaan yang padat maupun pedesaan karena tidak memerlukan

lahan, dapat dipasang pada pusat beban, dan dengan daya bervariasi dapat mengurangi panjang jaringan tegangan rendah

a) Konstruksi GTT tipe cantol.

Pada konstruksi ini dapat dipasang trafo fasa tunggal dan fasa tiga, yang dengan sendirinya ada perbedaan kebutuhan material/peralatannya.



Gambar 2-72. Konstruksi GTT tipe cantol

b) Konstruksi GTT tipe dua tiang

Untuk trafo dengan kapasitas > 50 kVA karena beratnya, tidak mampu dipikul oleh satu tiang, maka dipasang pada dua tiang. Trafo itu biasanya jenis konvensional.



Gambar 2-73. GTT tipe dua tiang

3). Jenis Konstruksi SUTR

a) Konstruksi Tiang Penyangga (TR-1)

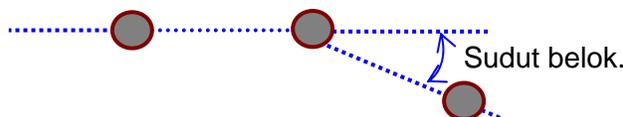
Pada jaringan tegangan rendah yang lurus atau dengan sudut belok maksimum 15 derajat, dipakai konstruksi tiang penyangga atau penggantung kabel.



Gambar 2-74. Konstruksi Tiang Penyangga (TR-1)

b) Konstruksi Tiang Sudut (TR-2)

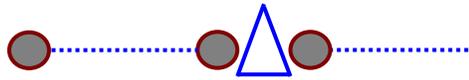
Jaringan dengan sudut belok lebih besar dari 15 derajat sampai dengan 90 derajat, dipakai konstruksi TR-2 ini.



Gambar 2-75. Konstruksi Tiang Sudut (TR-2)

c) Konstruksi Tiang Awal (TR-3)

Pada awal jaringan yaitu tempat dipasangnya trafo distribusi, dipakai konstruksi TR-3.



Gambar 2-76. Konstruksi Tiang Awal (TR-3)

d) Konstruksi Tiang Akhir (TR-3)

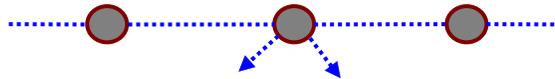
Pada ujung jaringan dipasang konstruksi TR-3



Gambar 2-77. Konstruksi Tiang Ujung (TR-3)

e) Konstruksi Tiang Penegang (TR-5)

Secara umum pada setiap 5 gawang panjang jaringan lurus diperlukan konstruksi penegang, yang dikenal sebagai konstruksi TR-5



Gambar 2-78. Konstruksi Tiang Penegang (TR-5)

f) Konstruksi Guy Wire

Seperti halnya pada SUTM, juga pada tiang awal, tiang akhir, dan tiang penegang, dari suatu SUTR diperlukan topang tarik untuk mengimbangi beban vertikal yang bekerja pada tiang.

g) Konstruksi horizontal Guy Wire

Bila penempatan anchor blok di dekat tiang tersedia, maka dapat di pasang konstruksi ini, sama halnya dengan yang dipakai pada SUTM.

h) Konstruksi Strut Pole

Dalam suatu kondisi tidak memungkinkan dipasang konstruksi guy wire maupun horizontal guy wire, dipasang suatu konstruksi penyangga yaitu konstruksi Strut Pole.

BAB III

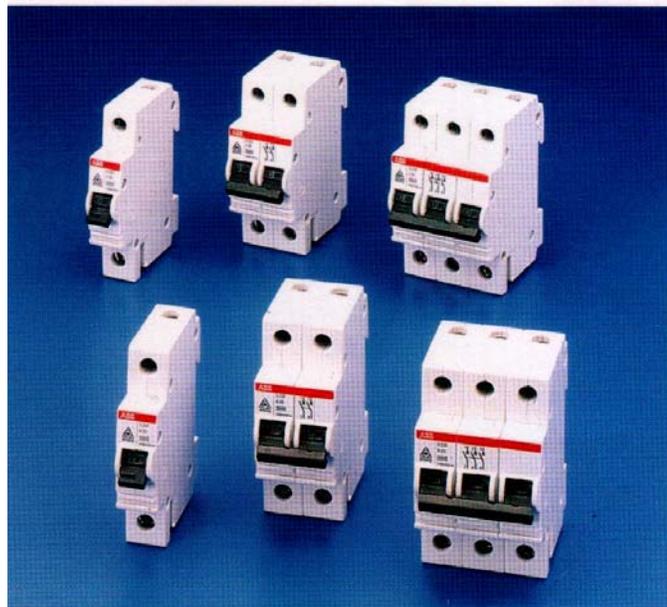
ALAT PEMBATAS DAN PENGUKUR

3-1 Pembatas

Satuan arus ialah Ampere, sedangkan satuan daya ialah VA. Karena itu pembatas arus listrik menggunakan satuan Ampere. Penggunaan pembatas disebut sebagai penentuan *demand* (kebutuhan) pengguna. Besar arus trip pelepas atau pemutus yang digunakan sebagai pembatas maksimum ditetapkan sebesar 10% di atas arus nominal trafo yang dilindungi.

Penggunaan pembatas sebagai salah satu *interface* antara PLN dengan pelanggan, bila pelanggan memakai lebih pembatas akan bekerja, dan terjadi pemadaman. Dari sudut pandang pelanggan kejadian ini berarti berkurangnya keandalan suplai tenaga listrik.

Jenis-jenis alat pembatas yang paling banyak digunakan adalah jenis termis dan elektromagnet. Beberapa jenis pembatas tersebut terdiri dari pembatas satu kutub, dua kutub dan tiga kutub, seperti terlihat pada Gambar 3-1.



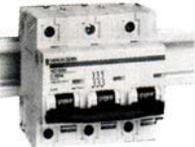
Gambar 3-1. Miniature Circuit Breaker (MCB)

Beberapa contoh MCB sesuai dengan peruntukannya dapat dilihat pada Tabel 3-1, berikut ini:

Tabel 3-1. Jenis Pembatas dan Penggunaannya

Jenis Pengaman	MCB	RCD	LT SURGE ARRESTER	SAKELAR ISOLASI
Bentuk				
Fungsi/ Penggunaan	Mengamankan kabel terhadap beban lebih dan hubung singkat MCB range: NC45a/aD/N/H NCIOOH/ULH	Untuk aplikasi yang hanya membutuhkan pengamanan terhadap kontak langsung dan tak langsung serta bahaya api. RCD range: EKB DPNa Vigi Modul Vigi	Mengamankan peralatan listrik dan elektronik terhadap tegangan transien yang disebabkan oleh petir dan industri, seperti penyalaan motor besar. LT terdiri dari 2 jenis LTM dan LTD dengan I _{max} ., LTM 40kA LTD 6,5 kA	Pembuka dan penutup sirkuit saat berbeban

Tabel 3-2. Contoh Data Teknik Pemutus Tenaga (MCB)

1. Pemutus Tenaga/Circuit Breaker	6 t0 63 A	1 to 40A	1 to 100A
	NC45a NC45Ad NC45N	NC45H	NC100H/NC1 25H NC100L NC100LH
Jumlah kutub/ <i>number of poles</i>	1-2-3-4	1-2-3	1-2-3-4
Tegangan isolasi pengenal / <i>rated insulation voltage (V)</i>	400	415	440
Tegangan dapat ditahan impuls / <i>impulse withstand voltage (W)</i>	6	6	6
Karakteristik listrik / <i>Electrical characteristics</i>	NC45a	NC45H	NC100L
Arus pengenal / <i>rated current (A)</i>	63	40	63
Tegangan operasi pengenal / <i>rated operational voltage (V)Ue AC 50/60Hz</i>	440	440	440
<u>Kapasitas pemutusan pengenal / <i>rated breakitzg capaciv (kA rms)</i></u>			
SPLN108 / SLI 175	230V		
(IEC898)	400V		
IEC 947.2	Icu 240V		
	400V		
	415V		
	440V		
<u>Ics (% of ICU)</u>	100	50	75

3-2 Pemasangan, pengoperasian dan pemeliharaan

Cara pemasangan pembatas type MCB ini sangatlah mudah, karena konstruksi pada bagian bawah MCB sudah dilengkapi dengan ril, sehingga begitu ril dipasang MCB tinggal memasukkan dari arah samping dan didorong sesuai dengan posisi yang diinginkan.

Demikian pula dalam pengoperasian, tinggal mendorong ke atas untuk posisi ON, dan menekan ke bawah untuk posisi OFF.

Dalam pemeliharaan, jika hal ini terkait dengan PLN maka setting/peneraan/mengganti baru menjadi tanggung jawab PLN, sedang pada industri umumnya diganti baru. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat yang harus dimiliki oleh pengaman, diantaranya peka, cepat reaksi, andal, dan harganya tidak terlalu mahal.

3-3 Alat Ukur Energi Arus Bolak-balik

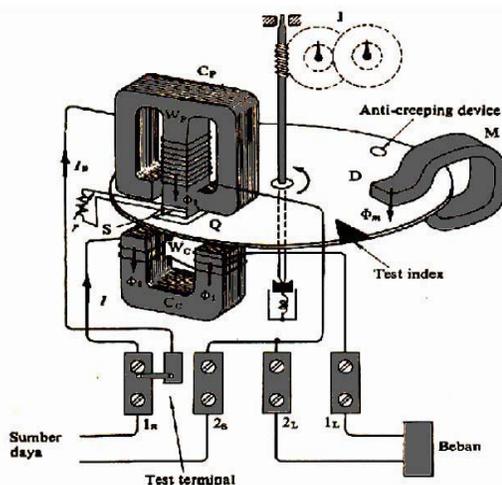
3-3-1 Prinsip-prinsip Kerja

Dalam alat ukur energi, kumparan-kumparan arus dan tegangan merupakan suatu belitan pada dua buah magnet seperti tampak pada Gambar 3-2. Kumparan arus akan membangkitkan fluks magnet, (Φ_1 , dengan nilai berbanding lurus terhadap besar arus. Sementara kumparan tegangan akan membangkitkan fluks magnet, (Φ_2).

Perputaran dari piringan aluminium terjadi karena interaksi dari kedua medan magnet ini. Fluks magnetik akan membangkitkan arus Eddy pada piringan yang akan menghasilkan gaya yang melawan arah putaran piringan. Gaya yang dihasilkan berbanding lurus terhadap sudut fasa antara fluks-fluks kumparan tegangan dan kumparan arus, gaya maksimum akan terjadi jika sudut fasanya 90° . Gaya ini sebanding dengan daya aktif $V I$

$\cos \theta$, yang sama dengan kecepatan putaran piringan. Jumlah putaran dalam waktu tertentu akan memberikan pengukuran dari energi yang digunakan karena energi = daya x waktu.

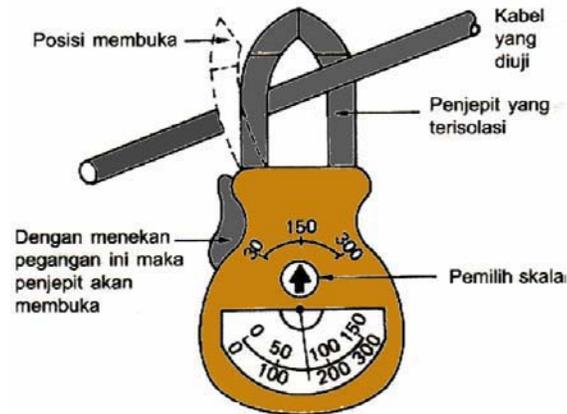
Batang besi untuk piringan putar dilekatkan pada penghitung putaran melalui sistem gigi yang tepat yang dikalibrasikan untuk mengukur kilowatt hours (kWh) yang merupakan satuan energi listrik.



Gambar 3-2. Konstruksi KWH meter

3-3-2 Tang Ampere

Alat ukur tang ampere atau dikenal juga dengan sebutan Ampere meter jepit bekerja dengan prinsip, yang sama dengan inti primer sebuah transformator arus seperti tampak pada Gambar 3-3. Dengan alat ukur tang ampere ini pengukuran arus dapat dilakukan tanpa memutuskan suplai listrik terlebih dahulu. Konstruksi dari alat ukur tang ampere ini diperlihatkan pada Gambar 3-3.

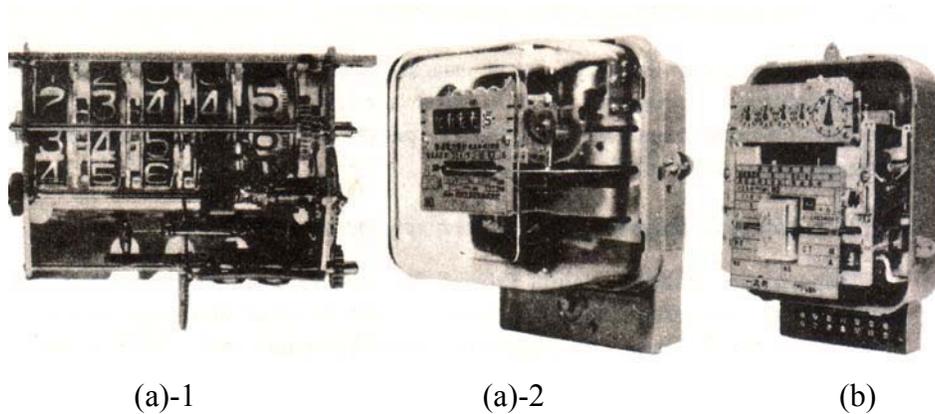


Gambar 3-3. Tang Ampere

mempergunakan roda-roda angka.

3-3-3 Register

Satu alat mengintegrasikan dan memperlihatkan jumlah perputaran dari kepingan tersebut disebut register. Register dibuat sebagai petunjuk diperlihatkan dalam Gambar 3-4a, yang mempergunakan penunjuk untuk memperlihatkan jumlah perputaran. Di samping itu terdapat pula register *cydometris* yang diperlihatkan pada Gambar 3-4b yang

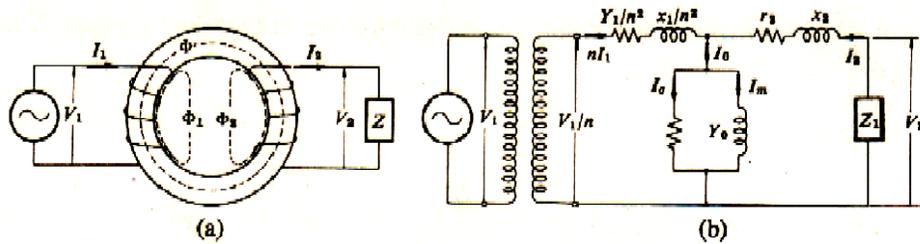


Gambar 3-4. Bentuk-bentuk penunjukan (register)

3-3-4 Transformator untuk Alat-alat Pengukuran

Dalam keadaan arus searah, maka untuk memperbesar daerah pengukuran suatu tahanan shunt atau seri dipergunakan. Untuk kepentingan yang sama maka dalam keadaan pemakaian pada arus bolak balik, suatu transformator khusus yang dikenal sebagai transformator alat-alat pengukuran dipergunakan. Dalam prinsipnya suatu transformator alat pengukur adalah identik dengan transformator daya, akan tetapi dalam transformator alat-alat

pengukuran yang dipentingkan bukanlah kerugian-kerugian daya, akan tetapi kesalahan-kesalahannya. Suatu keadaan yang menguntungkan dalam penggunaan transformator alat-alat pengukuran adalah, bahwa alat pengukur akan mungkin diisolasi dari pada jaringan-jaringan utama. Transformator untuk alat-alat pengukuran dapat berupa transformator untuk arus dan tegangan. Transformator untuk arus dikenal sebagai transformator arus (TA), dan transformator untuk tegangan dikenal sebagai transformator tegangan (TP). Penggunaan transformator-transformator tersebut pada umumnya dilakukan pada frekuensi-frekuensi komersial akan tetapi kadang-kadang pula dipergunakan pada frekuensi audio.



Gambar 3-5. Rangkaian Prinsip Kerja Transformator

3-3-4-1 Prinsip-prinsip Kerja

Dalam Gambar 3-5 diperlihatkan transformator yang mempunyai lilitan primer N_1 , dan lilitan sekunder sebanyak N_2 , yang dihubungkan dengan beban Z pada lilitan-lilitan sekundernya. Dengan lilitan primernya dihubungkan dengan sumber daya arus bolak balik seperti diperlihatkan pada Gambar 3-5(a), rasio dari lilitan-lilitan adalah $n = N_1/N_2$. Misal tegangan primer arus V_1 , dan tegangan sekunder V_2 , arus primer I_1 , dan arus sekunder I_2 .

Mengingat suatu transformator yang ideal akan memenuhi persamaan-persamaan:

$$V_1 = -nV_2 \quad (3.1)$$

$$I_1 = -\frac{1}{n} I_2 \quad (3.2)$$

maka persamaan antara tegangan primer dan tegangan sekunder, serta antara arus primer dan arus sekunder hanya ditentukan oleh rasio dari lilitan-lilitan. Akan tetapi dalam prakteknya, sebagian dari arus I_1 , dipakai untuk membangkitkan fluksi magnetis di dalam kumparan besi. Nyatakanlah bagian ini sebagai I_0 , maka:

$$n I_1 = -I_2 + I_0 \quad (3.3)$$

Kemudian arus primer I_1 , membangkitkan fluksi magnetis Φ_1 , yang hanya memotong kumparan-kumparan primer yang mengakibatkan adanya satu reaktansi X_1 , yang dihubungkan di dalam seri dengan kumparan-kumparan primer. Akan tetapi disamping reaktansi ini kumparan primer masih

mempunyai tahanan r_x . Jadi dengan kombinasi r_1 , dan x_1 , kumparan primer dapat dianggap sebagai kumparan ideal yang dihubungkan secara seri dengan suatu impedansi ($r_1 + jx_1$). Impedansi ini akan disebut impedansi kebocoran primer; kumparan sekunder dapat pula dianggap sebagai kumparan ideal yang dihubungkan secara seri dengan impedansi bocor ($r_1 + jX_2$). Jadi cara kerja dari transformator ini dapat dinyatakan dengan Gambar 3-5(b). Oleh sebab itu maka persamaan-persamaan diatas tidak berlaku. Arus I_0 disebut arus magnetisasi, dan Y_0 disebut aknitanansi magnetisasi. Rasio

$$\frac{V_{1n}}{V_{2n}} = K_n \quad (3.4)$$

dimana V_{1n} dan V_{2n} . adalah harga-harga nominal dari tegangan- tegangan primer dan sekunder dari transformator, dan rasio

$$\frac{I_{1n}}{I_{2n}} = K_n \quad (3.5)$$

dimana I_{1n} dan I_{2n} adalah harga-harga nominal dari arus-arus primer dan sekunder, disebut rasio-rasio transformator nominal yaitu untuk masing-masing arus dan tegangan. Bila, rasio transformator yang sebenarnya, dinyatakan dengan K maka untuk transformator tegangan,

$$K = \frac{V_1}{V_2} \quad (3.6)$$

dan dengan demikian, maka kesalahan transformasi atau juga disebut kesalahan ratio dapat dinyatakan sebagai

$$\varepsilon = \frac{K_n - K}{K} = \frac{K_n V_2 - V_1}{V_1} \quad (3.7)$$

atau

$$\varepsilon = \frac{K_n V_2 - V_1}{V_1} \times 100 \% \quad (3.8)$$

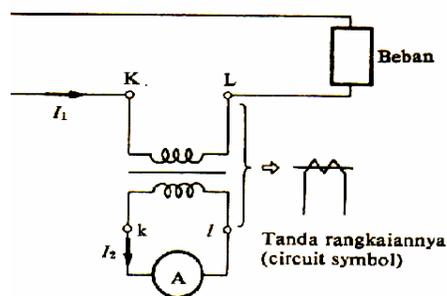
Demikian pula dalam keadaan yang sama maka kesalahan ratio untuk transformator arus dapat dinyatakan sebagai

$$\varepsilon = \frac{K_n I_2 - I_1}{I_1} \times 100 \% \quad (3.9)$$

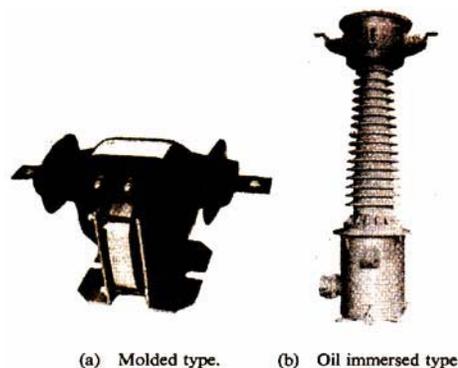
Dalam pengukuran daya dengan mempergunakan transformator-transformator pengukuran, maka terdapat suatu masalah yang disebabkan oleh persamaan-persamaan fasa antara (Φ_1 dan Φ_2 , lagi pula berkaitan dengan I_1 dan I_2 . Bila $-V_2$ atau $-I_2$, yang didapatkan dengan memutarakan fasor-fasor dari kebesaran sekunder dengan 180° mempunyai fasa di depan terhadap V_1 atau I_1 , maka secara konvensional disebutkan, bahwa perbedaan fasa dari transformator adalah positif. Besar perbedaan fasa ini dinyatakan dalam menit. Impedansi beban pada transformator ini disebut beban, dan besarnya dinyatakan dalam daya nyata atau VA, sesuai dengan harga-harga nominal dari kebesaran-kebesaran sekunder. Sebagai contoh, bila beban dari suatu transformator adalah 100 VA, dan tegangan nominal dari transformator adalah 110 V, maka $Z_b = 110^2/100 = 121 \Omega$. Demikian pula bila beban dari suatu transformator arus adalah 20 VA dan arus nominal sekunder adalah 5 A, maka $Z_b = 20/5^2 = 0,8 \Omega$. Sebagai catatan, maka komponen reaktif dari beban biasanya, dinyatakan dengan faktor kerjanya, sebagai contoh misalnya beban 20 VA, faktor kerja 0,8.

3-3-4-2 Transformator-transformator Arus

Seperti diperlihatkan dalam Gambar 3-6, transformator arus dipergunakan dengan dihubungkannya dalam seri kumparan primernya dengan beban, kumparan sekundernya dihubungkan dengan sirkit arus dari alat pengukur amper atau alat pengukur watt. Dalam transformator arus, kesalahan terjadi terutama disebabkan oleh adanya magnitisasi, yang didapat dari sebagian arus primer.



Gambar 3-6. Transformator Arus



Gambar 3-7. Jenis-jenis Trafo Arus

Arus magnitisasi tersebut yang akan membangkitkan fluksi di dalam inti magnitnya. Untuk membuat kesalahan ini kecil maka inti besi dibuat dari material yang mempunyai permeabilitas yang tinggi dan jumlah lilitan diperbanyak. Disamping ini, maka jumlah lilitan dari kumparan sekunder dalam banyak hal dikurangi dengan 1 % bila dibandingkan dengan harga yang ditentukan oleh transformator nominalnya. Cara-cara untuk membuat lilitan dari transformator arus adalah sebagai berikut. Terdapat pada

dasarnya dua cara pokok yaitu yang menghasilkan transformator arus dari tipe lilitan dan dari tipe tusukan. Dalam tipe lilitan maka kedua kumparan primer dan sekunder dililitkan melalui satu inti besi sedangkan dalam tipe tusukan, maka sebagai kumparan primer dipergunakan satu konduktor tunggal yang ditusukkan melalui jendela yang dibentuk dari inti-inti besinya.

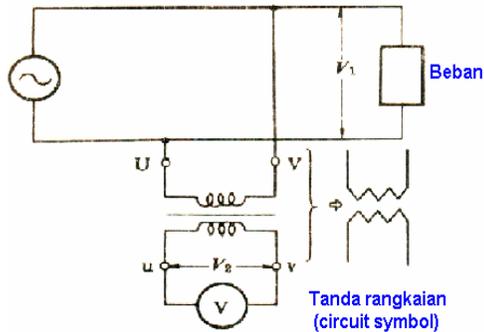
Disamping tipe lilitan dan tusukan tersebut, masih terdapat apa yang dikenal sebagai tipe jendela dimana lilitan primernya tidak diberikan akan tetapi pemakai dapat membentuknya sendiri pada saat penggunaannya dengan memberikan sejumlah lilitan yang diperlukan pada sisi primernya. Tipe lilitan dipergunakan pada umumnya bila harga nominal dari arus primer adalah di bawah 1.000 A. Sedangkan tipe-tipe lainnya dipergunakan pada arus-arus primer yang mempunyai harga nominal lebih tinggi.

Cara-cara menempatkan isolasi adalah sebagai berikut. Pada umumnya terdapat tiga isolasi, yaitu isolasi kering, yang hanya mempergunakan isolasi udara, di samping isolasi-isolasi yang terdapat pada pengantar masing-masing, yang biasanya mempergunakan pengantar-pengantar khusus diperuntukkan lilitan-lilitan transformator; isolasi kering padat dimana lilitan-lilitan dimasukkan ke dalam zat yang pada mulanya adalah cair, akan tetapi dalam keadaan akhirnya membeku dan dengan demikian maka seluruh lilitan-lilitan tersebut terdapat di dalam suatu rumah yang dibentuk oleh material isolasi yang telah membeku tersebut. Isolasi minyak dimana kumparan-kumparan dimasukkan di dalam suatu bejana yang berisi minyak khusus untuk isolasi. Seleksi dari pada cara-cara isolasi tersebut tergantung kepada penggunaan dari pada transformator, arus atau tegangan, pula dari pada jala-jala dimana transformator, arus tersebut dipergunakan.

Gambar 3-7 memperlihatkan transformator arus yang dipergunakan dalam jala-jala tegangan tinggi. Transformator tersebut ditempatkan pada suatu isolator tegak yang tinggi. Bila kumparan sekunder dari transformator arus dibuka sedangkan arus primernya mengalir maka tidak ada arus sekunder yang mengalir, dan arus primer secara menyeluruh dipakai untuk magnitisasi. Hasilnya adalah kerugian-kerugian besi akan menaik secara berlebihan dan akan memungkinkan menyebabkan pemanasan yang sangat besar atau tegangan yang diinduksikan pada kumparan sekunder akan mungkin menaik secara berlebihan sehingga menyebabkan isolasi-isolasinya pecah dan tidak mungkin menahan tegangan yang demikian besarnya. Jadi pada penggunaan transformator arus tidak diperkenankan untuk membuka kumparan-kumparan sekundernya bila arus primernya mengalir. Sebagai contoh, bila, dalam penggunaan diperlukan untuk mengganti sesuatu alat pengukur pada jaringan-jaringan sekunder dari transformator arus, adalah suatu keharusan untuk menghubungkan pendek kumparan-kumparan arus terlebih dahulu.

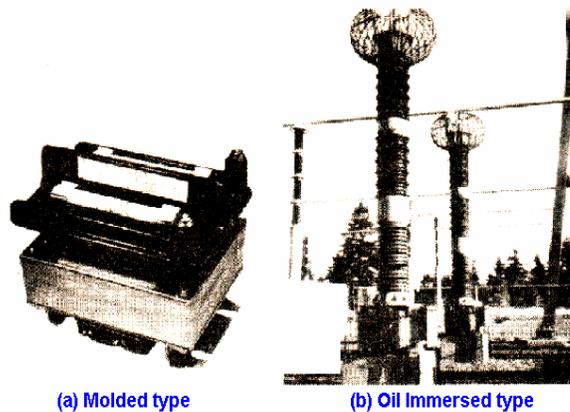
3-3-4-3 Transformator Tegangan

Seperti diperlihatkan pada Gambar 3-8 transformator tegangan dipergunakan dengan menghubungkan kumparan-kumparan primernya



Gambar 3-8. Trafo Tegangan

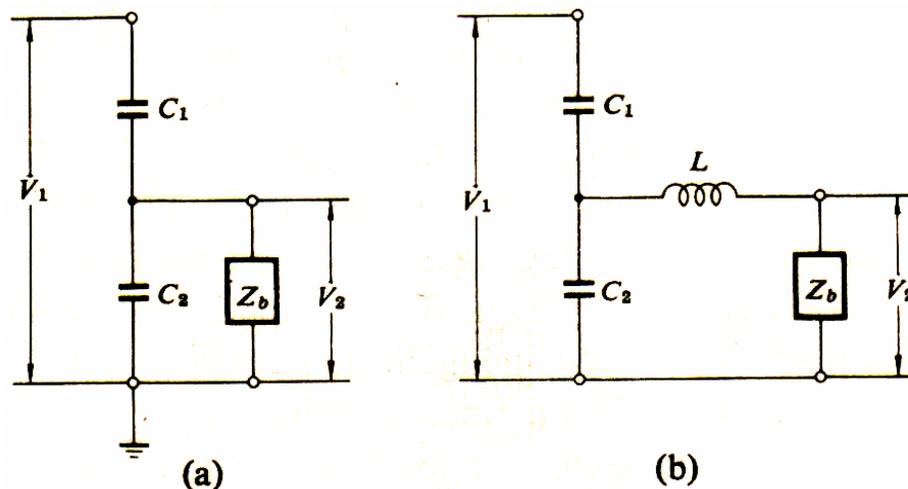
secara paralel dengan beban, dan kumparan sekundernya dihubungkan dengan sirkuit tegangan dari pengukur Volt atau pengukur Watt. Dengan cara demikian, maka kumparan primer dan sekunder diisolasi secara cukup dari satu dan lainnya, sehingga tegangan tinggi bisa ditransformasikan ketegangan rendah, untuk keperluan pengukuran dengan aman. Dalam kebanyakan penggunaan maka tegangan primer adalah di bawah 300 kV. Pada transformator tegangan, suatu kesalahan negatif sering terjadi, yang disebabkan oleh adanya kerugian tegangan pada kumparan-kumparan sekundernya dan arus magnetisasinya. Untuk mengkompensasikan kesalahan ini, maka jumlah lilitan pada tegangan primer sedikit dikurangi dari pada rasio nominal dari lilitan-lilitannya. Cara-cara isolasi sama untuk transformator arus pada Gambar 3-9 memperlihatkan transformator tegangan yang biasanya dipergunakan.



Gambar 3-9. Jenis-jenis trafo tegangan

3-3-4-4 Pembagi Tegangan Kapasitip

Penggunaan dari transformator tegangan yang dijelaskan pada paragraf yang lalu terbatas dalam penggunaannya kira-kira pada 300 kV. Untuk pengukuran pada tegangan yang lebih tinggi, pembagi tegangan kapasitip seperti diperlihatkan pada Gambar 3-10 lebih menguntungkan terutama karena masalah-masalah isolasinya lebih mudah dipecahkan.



Gambar 3-10. Alat Pembagi Tegangan Kapasitor

Akan tetapi karena pengambilan langsung dari arus melalui terminal-terminal pengukurannya akan mungkin menyebabkan kesalahan yang besar, suatu induktansi ditempatkan seperti diperlihatkan pada Gambar 3-10(b). Dengan cara ini, dan karena adanya resonansi maka ratio dari V_1 , ke V_2 hanya

tergantung kepada C_1 dan C_2 dan tidak dipengaruhi oleh beban. Alat pembagi tegangan, tersebut disebut sebagai pembagi tegangan kapasitif. Dengan melihat pada Gbr. 3-10(b),

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1/Y}{1/j\omega C + 1/Y} + \frac{Z_b}{j\omega L + Z_b} \quad (3.10)$$

$$Y = j\omega C + \frac{1}{j\omega L + Z_b} \quad (3.11)$$

Dengan demikian

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} + \frac{1 - \omega^2 L(C_1 + C_2)}{j\omega C_1 Z_b} \quad (3.12)$$

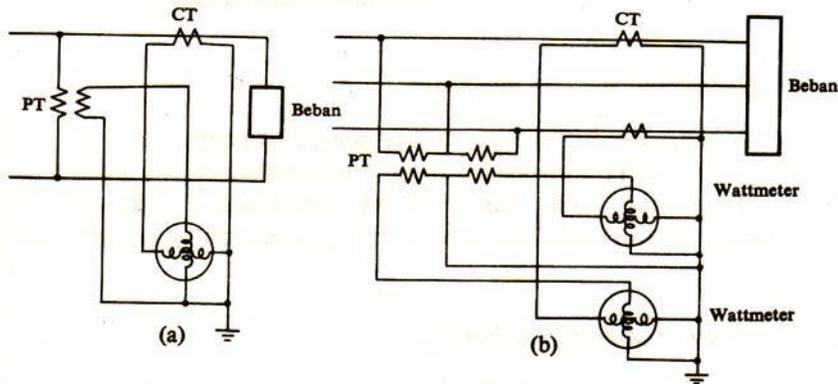
Bila konstanta-konstanta di atas dipilih sehingga memenuhi hubungan

$$\omega^2 L(C_1 + C_2) = 1 \quad (3.13)$$

maka persamaan berikut ini didapatkan

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} \quad (3.14)$$

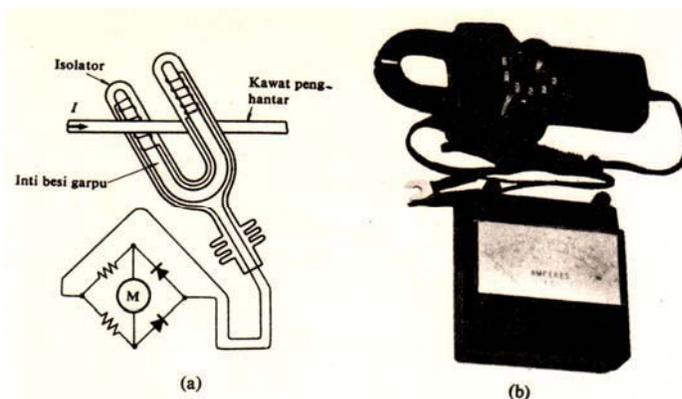
Jadi V_1/V_2 , tidak tergantung dari beban, yaitu Z_b . Akan tetapi karena persamaan 4.54 tergantung dari frekuensi maka V_1/V_2 akan mempunyai karakteristik frekuensi.



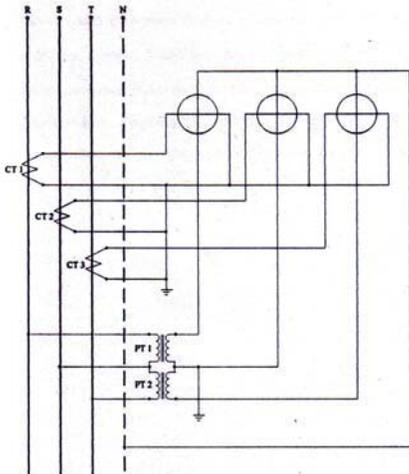
Gambar 3-11. Kombinasi-kombinasi transformator pengukur dan Wattmeter

3-3-4-5 Pengukuran arus pada jaringan

Bila arus yang melalui suatu jaringan akan diukur sedangkan tidak memungkinkan memotong jaringan tersebut untuk menghubungkan alat pengukur ampere, atau melalui suatu transformator arus, maka penggunaan dari alat ukur ampere jaringan, akan merupakan pemecahan yang sangat baik. Seperti diperlihatkan dalam Gambar 3-11(a), alat ukur ampere jaringan dibuat dengan kumparan besi dalam bentuk seperti garpu yang mempunyai banyak lilitan, dan membentuk kumparan sekunder, dan satu pengantar sebagai kumparan primer dari satu lilitan, yang terdiri dari pengantar dimana arus yang akan diukur mengalir. Bila pengantar ditempatkan di antara inti besi seperti diperlihatkan dalam gambar, arus sekunder yang berbanding lurus dengan arus yang akan diukur didapat pada penunjukan dari alat pengukur ampere. Akan tetapi dengan cara pengukuran ini dimana jalan magnetis tidak menutup, maka kesalahan-kesalahan yang tergantung dari



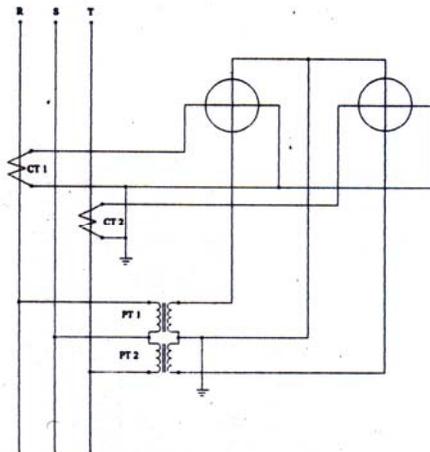
Gambar 3-12. Pengukuran arus pada kawat penghantar



Gambar 3-14. Diagram Pengawatan kWh Meter 3 fase 4 kawat.

3 fase 3 kawat dengan kWh meter 3 fase 4 kawat adalah, kWh meter 3 fase 3 kawat ini hanya mempunyai 2 kumparan tegangan, 2 kumparan arus, 2 pengatur $\cos \phi$ serta, 7 terminal beban. Sama halnya dengan kWh meter 3 fase 4 kawat, kWh meter 3 fase 3 kawat ini juga dilengkapi dengan 2 register dan 2 terminal timer. Pada kWh meter ini tidak terdapat kawat nol (netral), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3-15, di bawah ini.

Ketiga jenis kWh meter di atas merupakan alat ukur yang cara bekerjanya secara analog. Tetapi dewasa ini telah diciptakan kWh meter elektronik (digital) dan sampai saat ini banyak yang sudah menggunakannya, khususnya untuk pelanggan-pelanggan besar atau industri yang daya terpasangnya di atas 200 kVA.



Gambar 3-15. Diagram Pengawatan kWh Meter 3 fase 3 kawat.

dan 2 terminal untuk penyambungan ke timer (sebagai pemindah register). Gambar rangkaian dari kWh meter 3 fase 4 kawat dapat dilihat pada gambar 3-14.

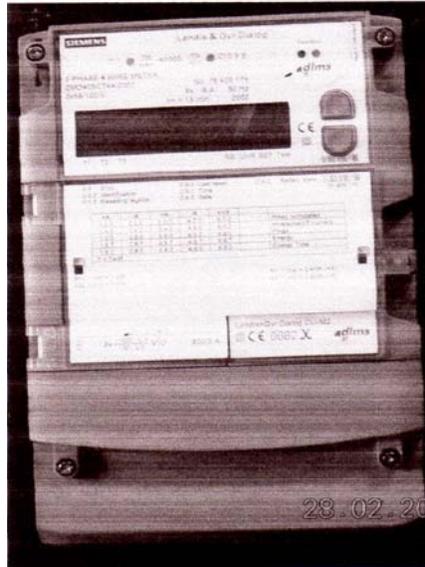
3-4-2-2 kWh meter 3 fase 3 kawat

Sekarang ini kWh meter 3 fase 3 kawat sedang direkomendasikan pemakaian/pemasangannya pada industri-industri. Hal ini dikarenakan konstruksinya dan pengawatannya sederhana, sehingga dalam pemasangannya lebih efisien dan ekonomis (untuk beban seimbang tanpa netral (A).

Perbedaan kWh meter 3 fase 3 kawat dengan kWh meter 3 fase 4 kawat adalah, kWh meter 3 fase 3 kawat ini hanya mempunyai 2 kumparan tegangan, 2 kumparan arus, 2 pengatur $\cos \phi$ serta, 7 terminal beban. Sama halnya dengan kWh meter 3 fase 4 kawat, kWh meter 3 fase 3 kawat ini juga dilengkapi dengan 2 register dan 2 terminal timer. Pada kWh meter ini tidak terdapat kawat nol (netral), untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3-15, di bawah ini.

Dengan memasang kWh meter elektronik ini dapat memudahkan kinerja PLN dalam mengecek pemakaian energi listrik para pelanggan. Hal ini dikarenakan kWh meter elektronik ini dihubungkan ke sebuah modem, sehingga dapat diakses secara on-line dengan komputer. Dari pemasangan kWh meter elektronik dapat diketahui arus tiap fase, tegangan tiap fase, faktor kerja ($\cos \phi$) tiap fase, frekuensi dan daya.

kWh meter elektronik ini dilengkapi dengan baterai 9 Volt dan pada modem terdapat kartu handphone yang digunakan untuk pemanggilan (akses). Gambar 3-16 menunjukkan bentuk dari kWh meter elektronik tersebut.



Gambar 3-16. Bentuk kWh Meter Elektronik

3-4-3 Meter Standar

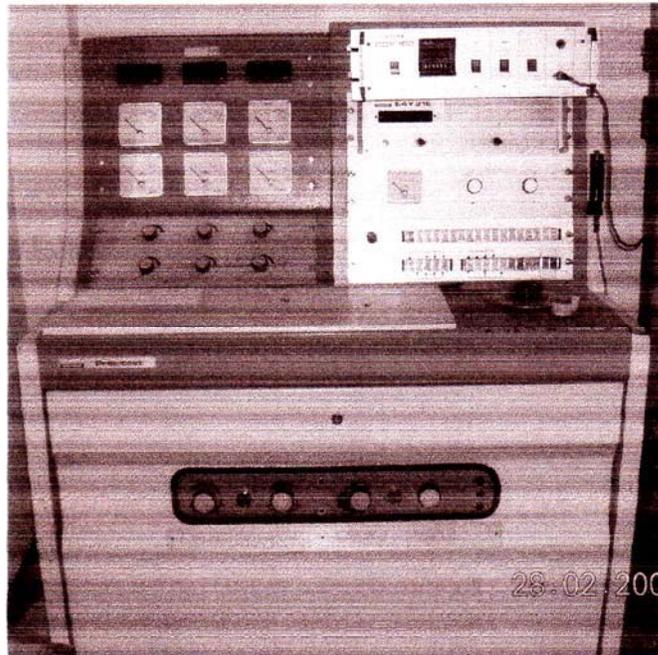
Suatu kWh meter yang akan dipasang pada pelanggan sebelumnya harus sudah dilakukan peneraan terhadap kesalahan-kesalahan (*error*) kWh meter sesuai dengan batas dan kelasnya. Peneraan ini menggunakan suatu alat yang disebut meter standar.

Meter standar adalah suatu alat ukur energi yang dibuat khusus dengan ketelitian tertentu. Meter standar ini digunakan sebagai alat pembanding kesalahan-kesalahan (*error*) pada kWh meter. Karena fungsinya sebagai pembanding, maka, meter standar ini memiliki akurasi kesalahan sampai dengan 0,5 % dan spesifikasinya, adalah 127 V, 5 A dan 500 rev/kWh.

Meter standar ini dihubungkan ke alat penghubung yang dinamakan meja tera. Jadi dalam pelaksanaan pengujian, meter standar tidak langsung dihubungkan ke kWh meter yang diuji melainkan melalui meja tera lebih dahulu. Suatu pengujian kWh meter dapat dilakukan sampai 3-20 buah kWh meter secara bersamaan. Gambar 3-17 memperlihatkan bentuk meter standar.

3-4-4 Sistem Pengamanan kWh Meter

Seperti yang telah diketahui bahwa PLN sering mengalami kerugian-kerugian, ini tidak hanya pada material namun juga energi listrik



Gambar 3-17. Bentuk meter standar

yang secara langsung pada kerugian finansial. Kerugian-kerugian PLN sering disebabkan adanya pelanggaran-pelanggaran energi listrik yang dilakukan para pelanggan. Banyak cara yang dilakukan pelanggan dalam melakukan pelanggaran energi listrik. Salah satunya adalah dengan membuka/merusak segel kWh meter. PLN sebagai perusahaan listrik negara dalam hal ini sudah mengantisipasi tindakan-tindakan pencurian tersebut dengan memberikan segel-segel di bagian alat ukur, antara lain:

- Segel kWh meter
- Segel terminal kWh
- Segel kVARh meter
- Segel terminal kVARh
- Segel kVA max
- Segel terminal
- Segel clock (jam)
- Segel jendela APP
- Segel pintu APP

Seiring dengan kemajuan jaman yang serba canggih ini, PLN juga memanfaatkannya untuk keperluan sistem pengamanan kWh meter. Sistem pengamanan ini berupa kunci elektronik (*cyber key*). Dinamakan kunci elektronik karena kunci ini dilengkapi baterai 9 volt, validator dan didalamnya menggunakan software. Fungsi validator adalah sebagai alat penghubung dari kunci elektronik ke komputer yang digunakan untuk memasukkan (*download*) data. Kunci elektronik ini mempunyai nomor seri atau alamat sehingga dalam memasukkan data tidak terjadi kesalahan. Seperti pada umumnya, kunci elektronik terdiri dari 2 bagian yaitu kunci dan gembok. Pemasangan kunci elektronik ialah khusus untuk pelanggan yang dayanya di atas 200 kVA (industri-industri) dan dipasang pada pintu APP (Alat Pembatas dan Pengukur) dari suatu gardu listrik.

Cara penggunaan kunci elektronik ialah apabila petugas PLN akan mengadakan pengecekan kWh meter di suatu industri, maka pemegang kunci memberikan kunci elektronik yang sebelumnya telah dimasukkan datanya ke komputer. Kemudian pada pukul 21.00 dengan sendirinya kunci elektronik akan mengirimkan laporannya ke komputer, sehingga di komputer dapat diketahui jam berapa gardu dibuka.



Gambar 3-18. Bentuk Kunci Elektronik

3-4-5 Peneraan kWh Meter

3-4-5-1 Peneraan kWh meter 3 fasa 4 kawat dengan metode Meter Standard

kWh meter yang akan dipasang (di pelanggan), terlebih dahulu harus melalui suatu proses yang disebut peneraan. Tujuan dari peneraan adalah agar kesalahan penunjukkan kWh meter yang terjadi berada dalam batas-batas yang diizinkan. Peneraan kWh meter dapat dilakukan antara lain dengan melalui Meter Standard, Watt Meter dan Stopwatch. Jika kita menera kWh meter dengan Meter Standard, peneraan dengan cara ini adalah membandingkan energi yang ditunjukkan kWh meter yang ditera dengan energi yang ditunjukkan di Meter Standard. Dan kWh meter yang kita tera adalah kWh meter 3 fasa 4 kawat karena semua kWh meter baik 1 fasa 2 kawat dan 3 fasa 3 kawat prinsipnya sama dalam melakukan peneraan.

Langkah-langkah peneraan kWh meter adalah sebagai berikut:

a. Pemeriksaan visual dan mekanis

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk **melihat ada tidaknya cacat pada** meter. Kemudian tutup meter dilepas dan memeriksa bagian-bagian meter, antara lain:

- 1) Kotak meter
- 2) Rangkaian register
- 3) Kekencangan sekrup

- 4) Kebersihan bagian dalam meter, terutama sela pada bagian magnet peredaman
- 5) Dan bagian lain yang dianggap perlu

Setelah pemeriksaan di atas selesai, langkah selanjutnya yaitu kumparan arus dan kumparan tegangan kWh meter dihubungkan ke meja tera/Meter Standard. Kumparan arus dibubung seri sedangkan kumparan tegangan dihubung paralel.

b. Pemanasan awal

Sebelum peneraan dilaksanakan, dilakukan pemanasan awal terlebih dahulu. Langkah ini dimaksudkan untuk memberikan pemanasan sesuai dengan temperatur kerja kWh meter, guna memperoleh kestabilan hingga kesalahan akibat perbedaan suhu menjadi minimum. Pemanasan ini dilakukan selama 30 sampai 60 menit dengan memberikan arus dan tegangan nominal pada $\cos \varphi = 1$.

c. Pengujian register

Pengujian register ini dilakukan pada waktu pemanasan awal. Jadi disamping menjalankan kWh meter juga dilihat penunjukan register. Maksud dari pengujian ini adalah untuk membuktikan kebenaran dari konstanta meter yang ditera.

Jika dalam pengujian ini terjadi kesalahan menghubungkan kabel ke kumparan arus maupun tegangan, maka register tidak berputar. Cara pengujian konstanta (c) meter dengan satuan jumlah putaran per kWh meter ada 2 cara, yaitu:

1) Menghitung jumlah putaran piringan dan selisih penunjukan register

Dengan cara ini, konstanta (c) yang diperoleh sebagai berikut:

$$c = \frac{n}{B - A} \left[\frac{\text{putaran}}{\text{kWh}} \right] \quad (3.15)$$

dimana:

- c = konstanta
 - n = putaran piringan
 - A = posisi awal register dalam kWh
 - B = posisi akhir register dalam kWh
- (SPLN. 60-3: 1992)

2) Menghitung selisih penunjukan register dalam membandingkan dengan energi pada Meter Standard

Dengan cara ini, pertama-tama kita harus mengetahui selisih penunjukan register, kemudian membandingkan energi yang ditunjukkan register. Jadi selisih register harus sama atau mendekati energi (E) yang dirumuskan:

$$E = p \times t \quad (3.16)$$

dimana:

E = Energi (kWh)
 p = Penunjukkan meter (watt)
 t = Waktu Oarn) (SPLN. 60-3: 1992)

Kelemahan cara ini adalah bahwa suplai harus stabil.

3) Pemeriksaan kopel penahan (perputaran tanpa beban)

Pemeriksaan ini dimaksud untuk mengetahui bahwa piringan kWh meter bila arus = 0, maka piringan kWh meter tidak boleh berputar. Cara pemeriksaan ini adalah kumparan tegangan diberi tegangan antara 80% - 110% tegangan nominal dan kumparan arus dalam keadaan tanpa arus (tidak diberi arus).

4) Pemeriksaan arus mula

Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk memeriksa nilai arus terkecil suatu kWh meter yang sanggup memutar piringan terus menerus. Langkah ini dilakukan dengan cara:

- Kumparan tegangan diberi tegangan nominal
- Kumparan arus diberi arus sesuai dengan tabel di bawah ini dengan faktor daya 1

Tabel 3-3. Arus Mula

Meter	Arus Mula (%) Id = Meter Kelas		
	0,5	1,0	2,0
Meter tarif tunggal tanpa penahan putaran balik	0,3	0,4	0,5
Meter lainnya	0,4	0,4	0,5

5) Pemeriksaan keseimbangan kopel

Tujuan pengujian ini adalah untuk menghindarkan meter dari kesalahan ukur yang melampaui batas, bila meter dibebani beban tak seimbang. Keseimbangan kopel, tercapai bila piringan tidak berputar.

Keseimbangan ini diperiksa dengan memberikan tegangan nominal pada dua kumparan tegangan secara paralel dan arus dasar pada $\cos \varphi = 1$ pada dua kumparan arus yang dihubungkan seri tetapi dengan polaritas yang berlawanan. Sehingga diperoleh besar kopel putar yang sama besar tiap-tiap fasa.

6) Pengujian karakteristik beban

Dari langkah-langkah peneraan di atas, pengujian karakteristik beban merupakan langkah yang paling utama. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kesalahan ukur suatu meter untuk berbagai nilai arus dengan batas kesalahan yang diizinkan.

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan tegangan nominal dan memberikan arus sesuai dengan titik tera. Pengujian karakteristik beban dilakukan pada:

- 1) Titik Tera 1, yaitu dengan memberikan arus pada kumparan arus sebesar 1001% Id (Arus dasar meter) dengan faktor daya (untuk tera beban penuh (FL))
- 2) Titik Tera 2, yaitu dengan memberikan arus pada kumparan arus sebesar 100% Id (Arus dasar meter) dengan faktor daya 0,5 (untuk tera faktor daya (PF))
- 3) Titik Tera 3, yaitu dengan memberikan arus pada kumparan arus sebesar 5% Id (Arus dasar meter) dengan faktor daya 1 (untuk tera beban rendah (LL))

Jika dalam pengujian di atas kesalahannya melebihi batas yang diizinkan, maka dilakukan penyetelan, antara lain:

- 1) Pada Titik Tera 1, penyetelan dilakukan dengan mengatur shunt magnetis rem magnet, yang pada kWh meter ditandai dengan tulisan FL
- 2) Pada Titik Tera 2, penyetelan dilakukan dengan mengubah kedudukan alat penyetel faktor daya.
- 2) Pada Titik Tera 3, penyetelan dilakukan pada alat penyetelan Beban rendah, yang pada kWh meter ditandai dengan tulisan LL

Di bawah ini adalah tabel batas kesalahan presentase yang diizinkan.

Tabel 3-4. Batas Kesalahan Presentase yang Diizinkan

Arus Dasar (% Id)	Faktor Daya (Cos φ)	Batas Kesalahan kWh Kelas 2	Batas Kesalahan kWh Kelas 1	Batas Kesalahan kWh Kelas 0,5
100	1,0	± 2,0 %	± 1,0 %	± 0,5 %
100	0,5	± 2,0 %	± 1,0 %	± 0,8 %
5	1,0	± 2,5 %	± 1,5 %	± 1,0 %

Rumus untuk suatu alat ukur

$$(S) = \frac{H_p - H_s}{H_s} \times 100\%$$

mengetahui batas kesalahan adalah:

(3.17)

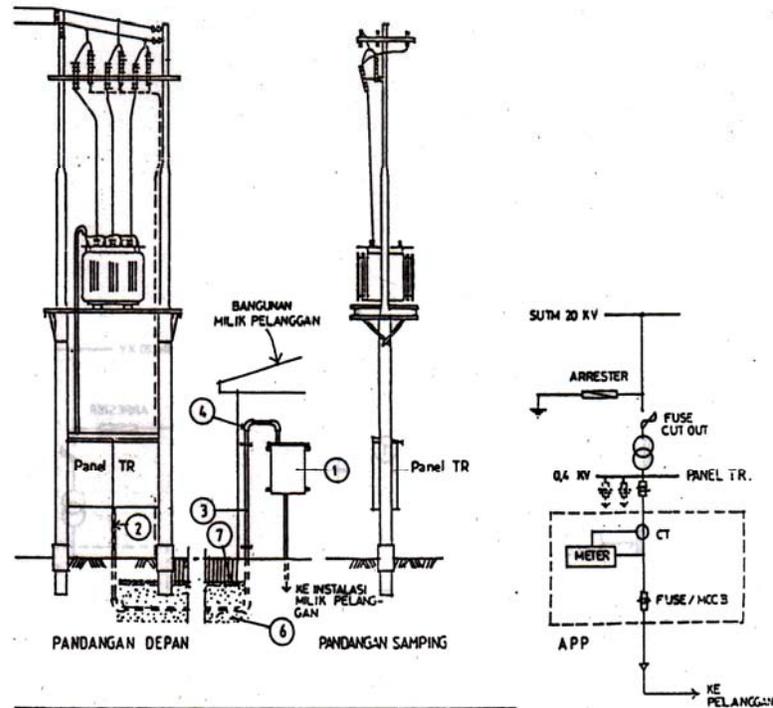
dimana:

- S = Batas kesalahan (%)
- Hp = Hasil penunjukkan
- Hs = Hasil sesungguhnya

3-5 Pemasangan Alat Pembatas dan Pengukur

Jenis/model sambungan APP untuk pelanggan relatif banyak, hal ini disebabkan tingkat keanekaragaman kontrak daya antara PLN dengan pelanggan cukup banyak.

**SAMBUNGAN LISTRIK 3 PHASA TARIP GANDA DARI GARDU TIANG
DENGAN KABEL TR NYFGBY MENGGUNAKAN CT DAN KVARH**
II. GARDU TIANG MELAYANI PELANGGAN LAIN DAN PELANGGAN YG. AKAN DISAMBUNG



No.	Nama material	Sa- tu- an	Kebu- hu- an
1	Lemari APP Tipe Khusus 1 (lengkap)	Bh	1
2	Kabel NYFGBY	Mtr	100
3	Pipa PVC $\phi 4''$	Mtr	10
4	Bocht pipa PVC	Bh	2
5	Sepatu kabel	Bh	12
6	Pasir urug	m ³	13
7	Bata merah	Bj	400
8	Lem plastik	tube	3

Keterangan

Gardu tiang dan perlengkapannya telah terpasang (beroperasi)

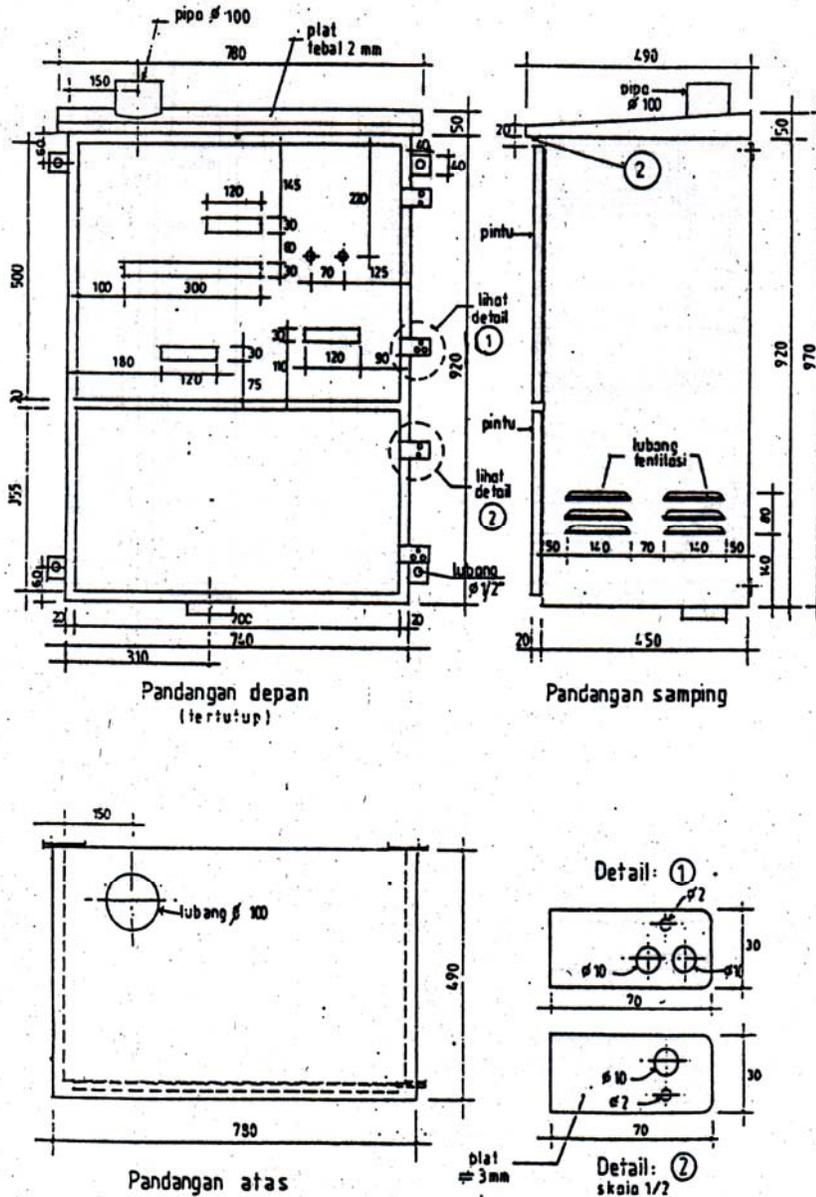
**Gambar 3-19. Sambungan Listrik 3 Fasa Tarip Ganda
Dari Gardu Tiang dengan kabel TR NYFGBY**

Di tinjau dari besarnya daya maupun tingkat tegangan pada pelanggan, yaitu pelanggan TT-TM, TM-TM, TM-TR, dan TR-TR baik untuk pasangan luar maupun pasangan dalam. Oleh karenanya disini hanya di tunjukkan beberapa saja dimana sudah dianggap mewakili dari masing-masing jenis tersebut.

LEMARI APP UNTUK TM-TR (100A-500A)

(DENGAN TUTUP LUAR)

ukuran : mm skala : 1/10

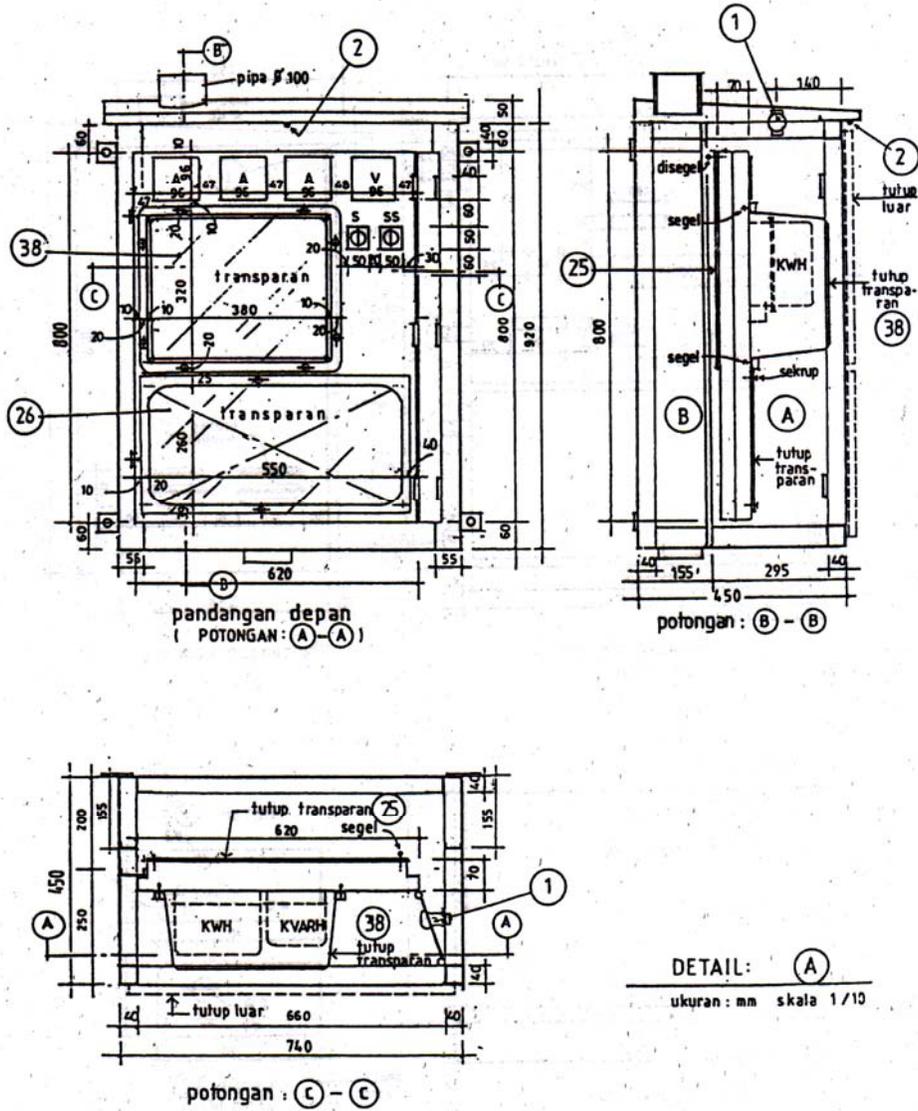


Gambar 3-20. Lemari APP untuk TM-TR (100 A– 500 A) (Dengan Tutup Luar)

LEMARI APP UNTUK TM-TR (100A - 500A) ...

TANPA TUTUP LUAR

ukuran : mm skala 1/10

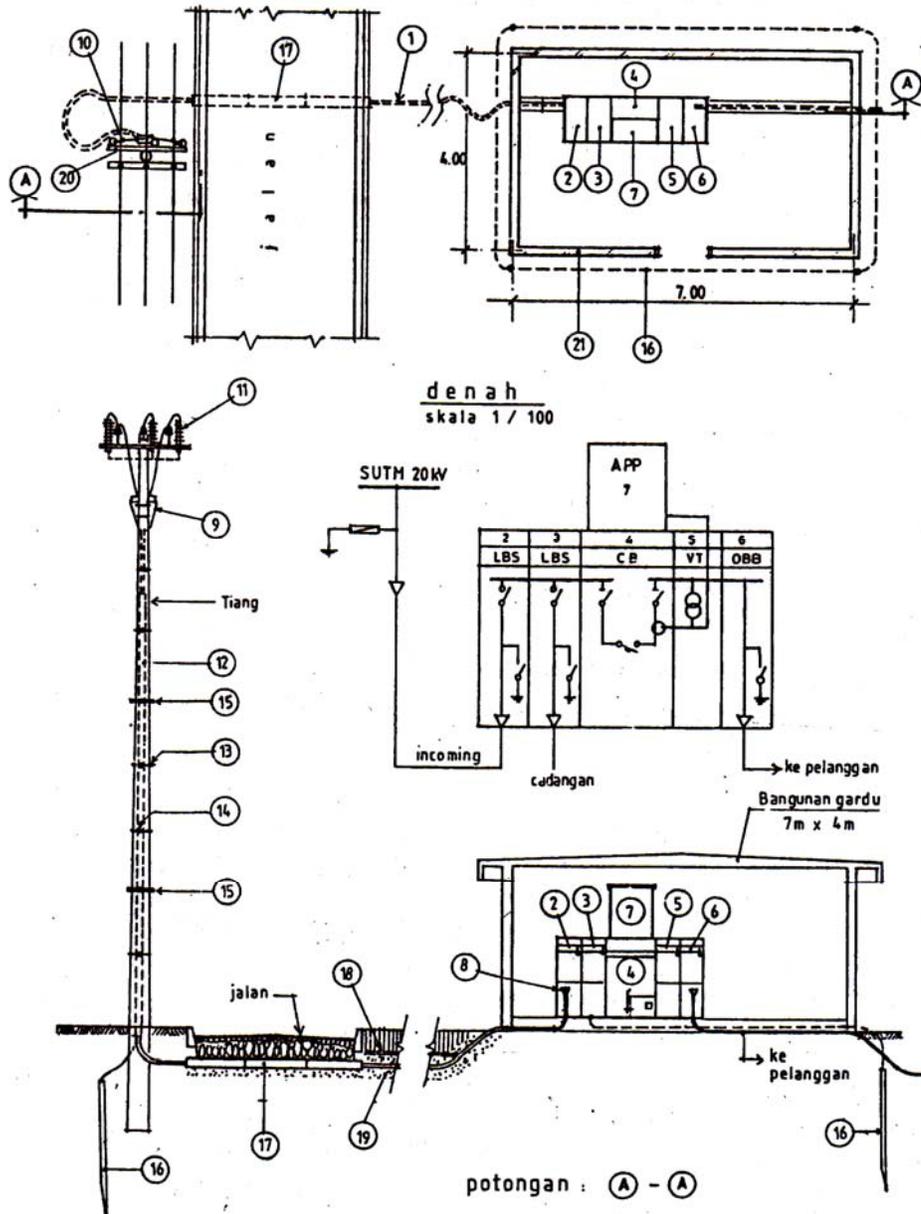


DETAIL: (A)
ukuran : mm skala 1/10

Gambar 3-21. Lemari APP untuk TM-TR (100 A- 500 A) (Tanpa Tutup Luar)

SAMBUNGAN LISTRIK TM PENGUKURAN TM TARIF TUNGGAL
MENGUNAKAN PERALATAN CUBICLE dng. KABEL TM
& KVARH (SYSTEM 3 KAWAT).

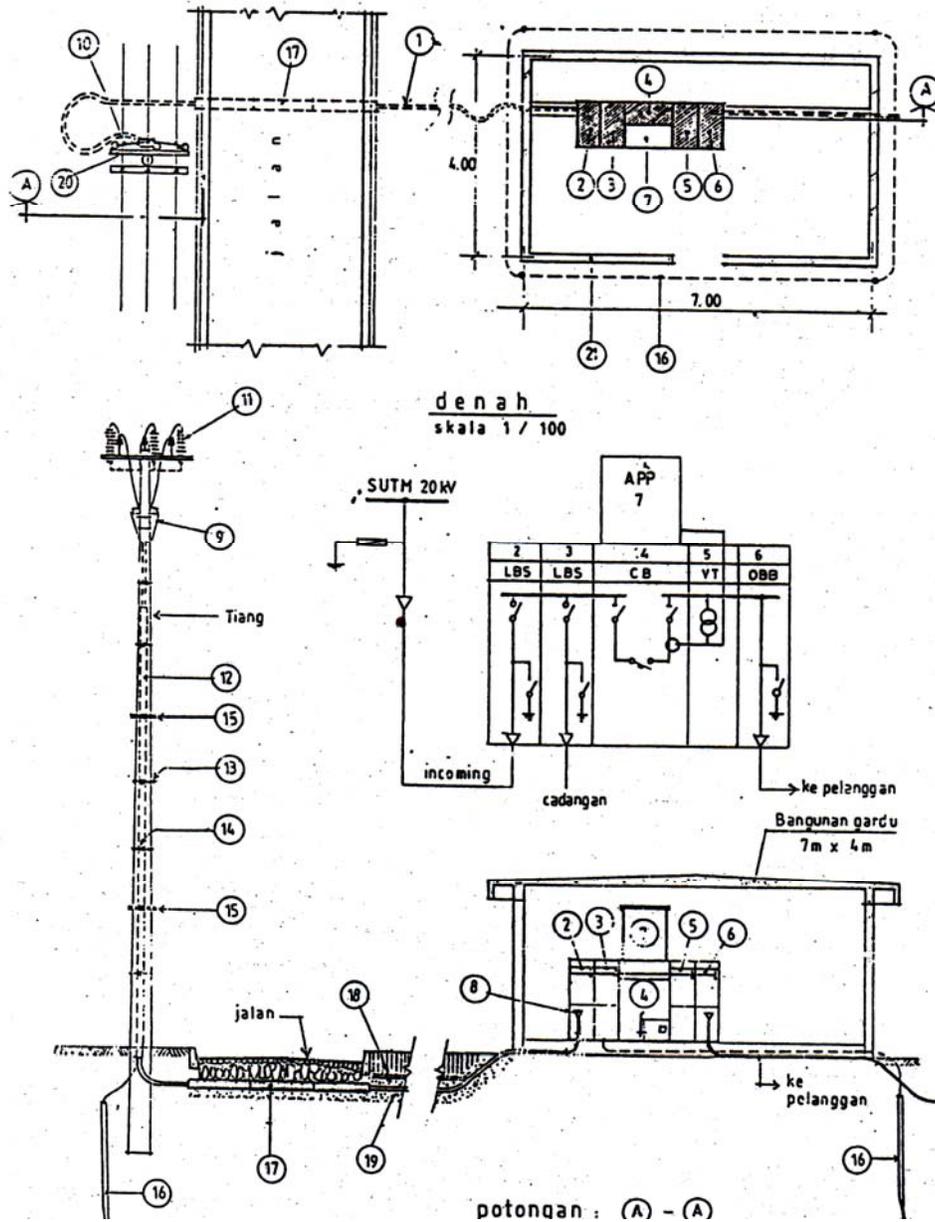
SKALA 1 / 100



Gambar 3-22. Sambungan Listrik TM Pengukuran TM Tarif Tunggal Menggunakan peralatan Cubicle dg Kabel TM

SAMBUNGAN LISTRIK TM PENGUKURAN TM TARIF GANDA
MENGUNAKAN PERALATAN CUBICLE dng. KABEL TM
& KVARH (SYSTEM 4 KAWAT)

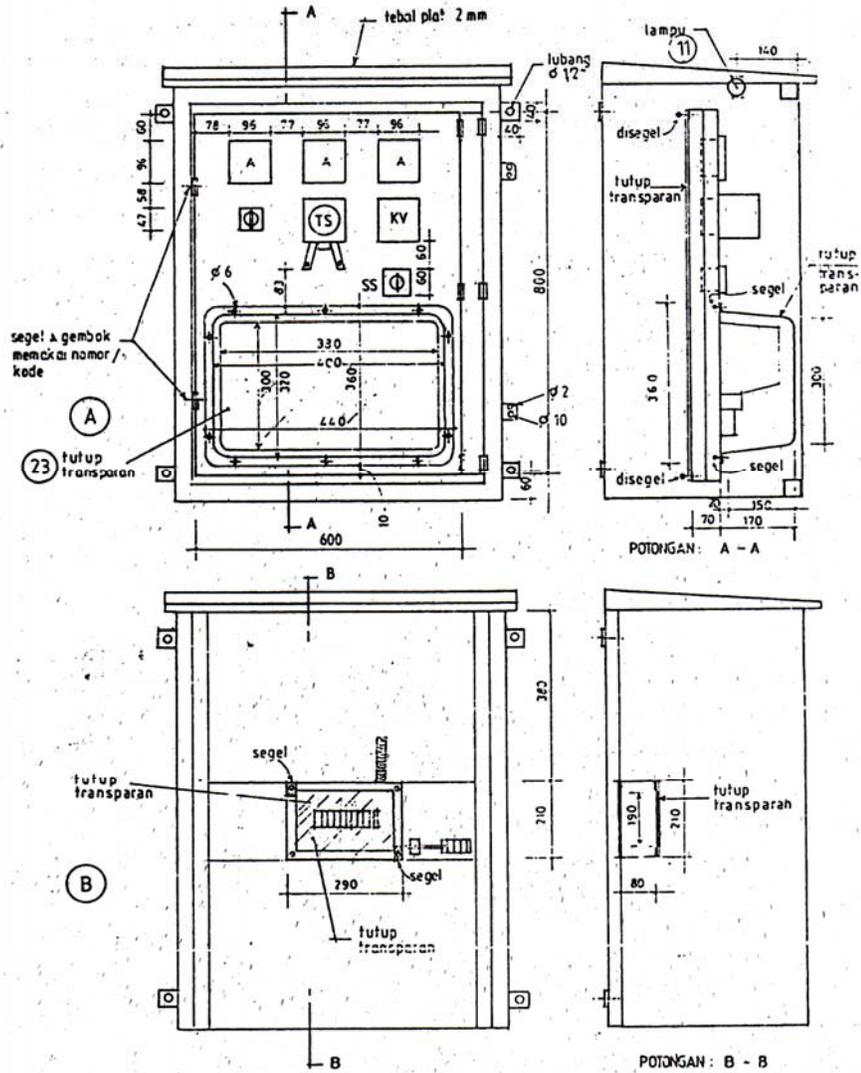
SKALA 1 / 100



Gambar 3-23. Sambungan Listrik TM Pengukuran TM Tarif Ganda Menggunakan peralatan Cubicle dg Kabel TM KVARH (Sistem 4 kawat)

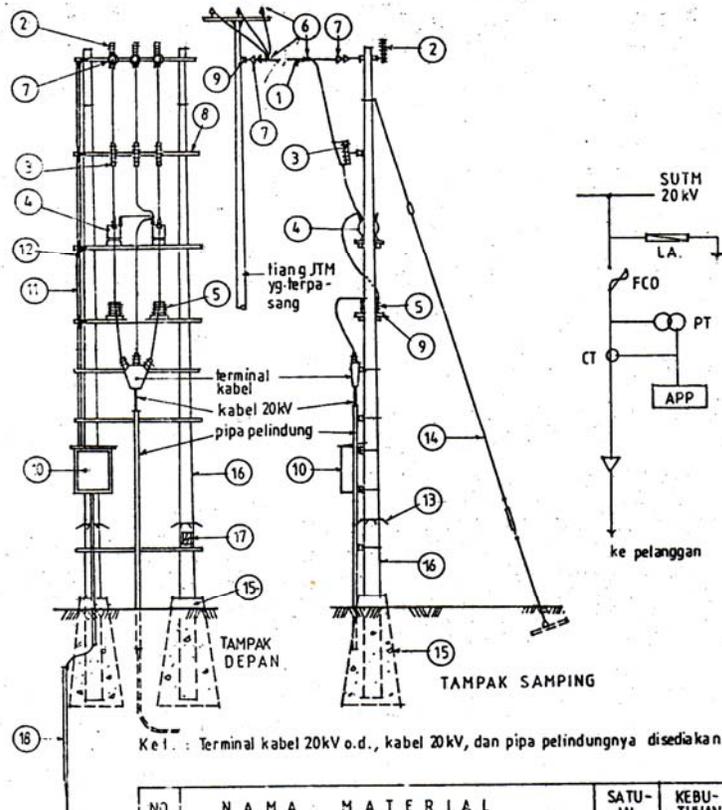
LEMARI PASANGAN LUAR UTK. PENEMPATAN ALAT UKUR TT-TM.

ukuran : mm. skala 1 / 10
(TANPA TUTUP LUAR)



Gambar 3-24. Lemari Pasangan Luar untuk Penempatan Alat Ukur TT-TM

SAMBUNGAN LISTRIK TM PENGUKURAN TM TARIF TUNGGAL
MENGUNAKAN CUT OUT / TIANG DENGAN AAAC
& KVARH (SYSTEM 3 KAWAT)

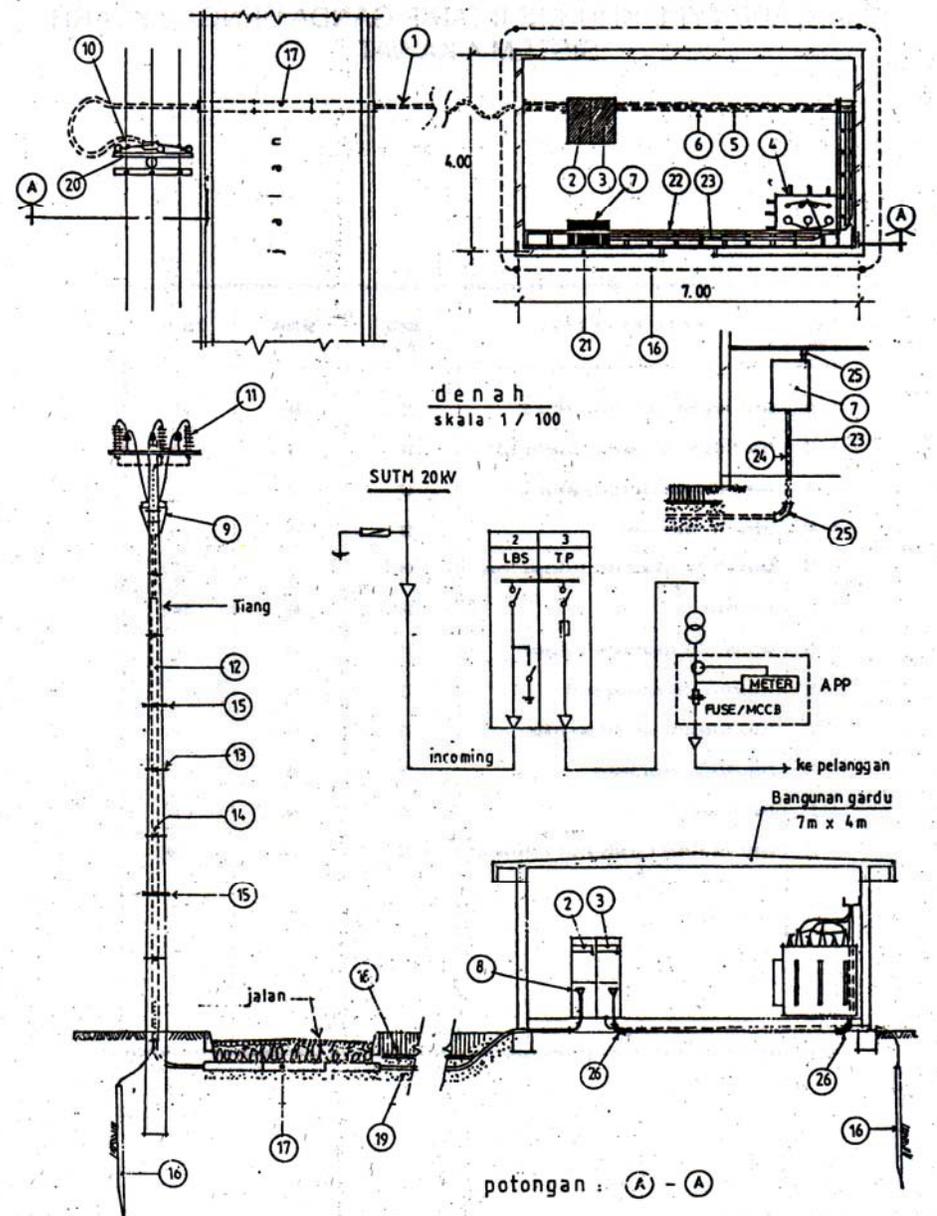


NO.	N A M A M A T E R I A L	SATU-AN	KEBU-TURHAN
1	Kawat AAAC	mtr	300
2	Lighning arrester 20kV, 5kA	bh	3
3	Fuse cut out 20kV + fuse link	bh	3
4	Trato leg. 20 kV/100 V	bh	2
5	Trato arus... / SA 20kV o.d.	bh	2
6	Tap connector	bh	3
7	Isolator tarik 20kV	bh	6
8	Cross arm UNP 10 2m	bh	7
9	Cross arm UNP 8 2m	bh	3
10	Lemari APP Tipe khusus II	bh	2
11	Pipa air PVC	mtr	5
12	Knée sock, bocht sock, T sock PVC	set	1
13	Penghalang panjang	bh	1
14	Down guy lengkap	bh	2
15	Fondasi tiang	bh	2
16	Tiang besi / beton 11m, 50 dan	bh	2
17	Tanda kilat	bh	1
18	Pentanahan lengkap	set	1

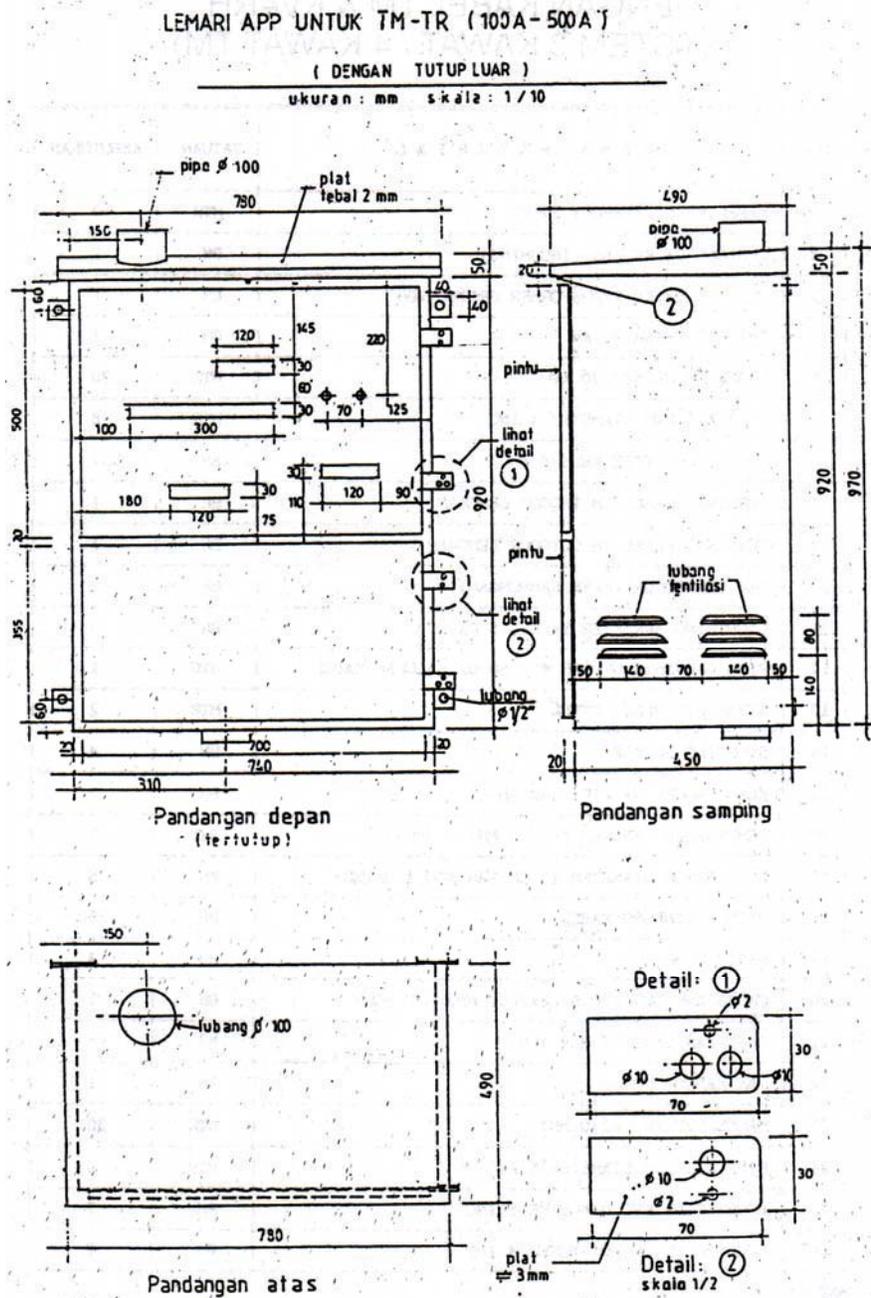
Gambar 3-25. Sambungan Listrik TM Pengukuran TM Tarif Tunggal Menggunakan Cut Out / Tiang dengan AAAC & KVARH (Sistem 3 kawat)

SAMBUNGAN LISTRIK TM PENGUKURAN TR TARIF TUNGGAL
MENGUNAKAN PERALATAN CUBICLE dng. KABEL TM
& KVARH (SYSTEM 3 KAWAT/4 KAWAT TM).

SKALA 1 / 100



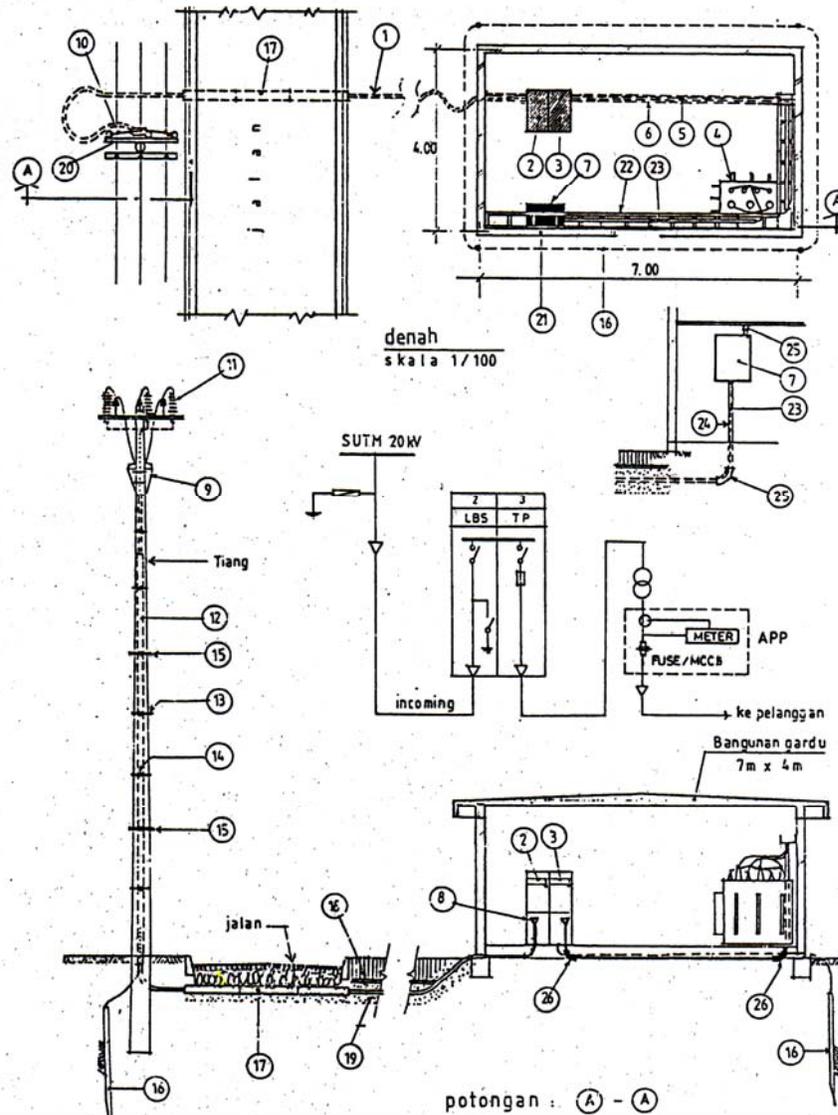
Gambar 3-26. Sambungan Listrik TM Pengukuran TR Tarif Tunggal Menggunakan Peralatan Cubicle dengan Kabel TM & KVARH (Sistem 3 kawat/4 kawat TM)



Gambar 3-27. Lemari APP untuk TM-TR (100 A - 500 A)
(dengan Tutup Luar)

SAMBUNGAN LISTRIK TM PENGUKURAN TR TARIF GANDA
MENGUNAKAN PERALATAN CUBICLE dng. KABEL TM
& KVARH (SYSTEM 3 KAWAT/4 KAWAT)

SKALA 1 / 100



Gambar 3-29. Sambungan Listrik TM Pengukuran TR Tarif Ganda Menggunakan Peralatan Cubicle dengan Kabel TM & KVARH (Sistem 3 kawat/4 kawat)

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 perisaian	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
tanduk (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 (<i>Pick</i>)	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 978-979-060-060-7

Buku ini telah dinilai oleh Badan Standar Nasional Pendidikan (BSNP) dan telah dinyatakan layak sebagai buku teks pelajaran berdasarkan Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 45 Tahun 2008 tanggal 15 Agustus 2008 tentang Penetapan Buku Teks Pelajaran yang Memenuhi Syarat Kelayakan untuk digunakan dalam Proses Pembelajaran.

HET (Harga Eceran Tertinggi) Rp. 13.970,00