

Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik



LAUHIL MAHFUDZ HAYUSMAN

**PENGOPERASIAN DAN
PEMELIHARAAN JARINGAN
DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

Undang-Undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap :

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Lauhil Mahfudz Hayusman



Poliban Press

**PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN JARINGAN
DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK**

Penulis:

Lauhil Mahfudz Hayusman

ISBN:

978-623-7694-75-5

ISBN Elektronik:

978-623-7694-76-2 (PDF)

Editor dan Penyunting:

Faris Ade Irawan

Desain Sampul dan Tata letak:

Rahma Indera; Eko Sabar Prihatin

Penerbit:

POLIBAN PRESS

Anggota APPTI (Asosiasi Penerbit Perguruan Tinggi Indonesia)

no.004.098.1.06.2019

Cetakan Pertama, 2022

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit

Redaksi:

Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basry,

Pangeran, Komp. Kampus ULM, Banjarmasin Utara

Telp: (0511)3305052

Email: press@poliban.ac.id

Diterbitkan pertama kali oleh:

Poliban Press, Banjarmasin, Januari 2022

PRAKATA

Buku ajar Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik ini memuat materi kuliah Operasi dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tegangan Rendah dan Menengah yang diberikan kepada Mahasiswa semester lima di Program Studi Teknik Listrik D-3 Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Banjarmasin.

Materi awal dalam buku ajar ini berisi mengenai konsep, jenis dan penjadwalan pemeliharaan sebagai modal awal Mahasiswa/i untuk memahami tahapan dalam melakukan proses pemeliharaan dan pengoperasian sistem atau peralatan jaringan distribusi tegangan rendah dan menengah. Untuk mendukung penguasaan terhadap materi yang telah disampaikan, dilakukan kegiatan praktek sesuai dengan *jobsheet* yang tersedia dalam buku ajar ini dan diberikan juga contoh soal dan latihan soal disetiap materi-nya.

Terselesaikannya penulisan buku ajar ini berkat bantuan dari berbagai pihak, karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada Direktur Politeknik Negeri Banjarmasin (POLIBAN), Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) POLIBAN, Ketua Jurusan Teknik Elektro POLIBAN, Ketua Program Studi Teknik Listrik D-3 POLIBAN, rekan-rekan Dosen dan PLP dilingkungan Pogram Studi Teknik Listrik D-3 POLIBAN.

Penulis menyadari kekurangan dan kesalahan dalam buku ajar ini pasti ada. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran guna perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata semoga buku ajar ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Banjarmasin, 30 Agustus 2021

Lauhil Mahfudz Hayusman

DAFTAR ISI

PRAKATA	v
DAFTAR ISI	vi
BAB 1 KONSEP, JENIS PEMELIHARAAN DAN PENJADWALAN PEMELIHARAAN	1
1.1 Pemeliharaan	1
1.2 Jenis-Jenis Pemeliharaan	2
1.3 Jadwal Pemeliharaan	3
1.4 Contoh Soal	5
1.5 Soal Latihan.....	7
BAB 2 PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN KUBIKEL <i>SCHNEIDER</i> SM6 24 kV	8
2.1 Pengertian Kubikel	8
2.2 Bagian-Bagian Kubikel	9
2.3 Spesifikasi Kubikel <i>Schneider</i> SM6 24 kV	10
2.3.1 Sisi PLN	10
2.3.2 Sisi Pelanggan	13
2.4 Alat yang Digunakan.....	17
2.5 Rangkaian Percobaan	18
2.6 Prosedur Pengoperasian.....	19
2.7 Prosedur Pemeliharaan	26
2.8 Data Hasil Percobaan	28
2.8.1 Pengujian Tahanan Isolasi (PMT, PMB, PMS)	28
2.8.2 Pengujian Tahanan Kontak (PMT, PMB, PMS)	29
2.8.3 Pengujian Keserempakan Alat Hubung (PMT, PMB, PMS).....	30
2.9 Contoh Soal	31
2.10 Soal Latihan.....	33
BAB 3 PEMELIHARAAN DAN PENGOPERASIAN GARDU TRAFU TIANG TIPE PORTAL	34

3.1	Gardu Distribusi Tenaga Listrik	34
3.2	Gardu Portal.....	35
3.3	Komponen Utama Konstruksi Gardu Portal.....	37
	3.3.1 Transformator Distribusi Fasa Tiga	37
	3.3.2 Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)..	38
	3.3.3 Peralatan Pengukur.....	38
	3.3.4 Peralatan <i>Switching</i> dan Pengaman sisi TM.....	40
3.4	Penghantar Pentanahan.....	42
3.5	Alat yang Digunakan	43
3.6	Rangkaian Percobaan	45
3.7	Prosedur Percobaan	46
	3.7.1 Pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan Gardu	46
	3.7.2 Pemeliharaan komponen Gardu Distribusi.....	46
	3.7.3 Prosedur pengoperasian kembali Trafo setelah pemeliharaan	49
3.8	Data Hasil Percobaan	50
	3.8.1 Pengukuran arus	50
	3.8.2 Pengukuran tegangan	51
	3.8.3 Pengukuran tahanan isolasi	51
	3.8.4 Pengukuran tahanan pembumian.....	52
	3.8.5 Pemeriksaan urutan fasa.....	52
3.9	Contoh Soal	52
3.10	Latihan Soal	55
BAB 4 PEMELIHARAAN PERALATAN HUBUNG BAGI TEGANGAN RENDAH (PHB-TR)		56
4.1	Pengertian dan Fungsi PHB-TR	56
4.2	Konstruksi PHB-TR	57
4.3	Bagian-Bagian PHB-TR.....	60
4.4	Spesifikasi Teknik PHB-TR.....	63
4.5	Alat yang Digunakan.....	63
4.6	Rangkaian Percobaan.....	65
4.7	Prosedur Percobaan	65

4.7.1	Prosedur pemeliharaan dalam keadaan bertegangan	65
4.7.2	Prosedur pemeliharaan dalam keadaan bebas tegangan	66
4.8	Data Hasil Percobaan	68
4.8.1	Pengukuran arus	68
4.8.2	Pengukuran tegangan	69
4.8.3	Pengukuran tahanan isolasi	70
4.8.4	Pengukuran tahanan pembumian.....	70
4.8.5	Pemeriksaan urutan fasa.....	70
4.9	Contoh Soal	71
4.5	Latihan Soal.....	73
BAB 5 PEMELIHARAAN SALURAN UDARA TEGANGAN RENDAH (SUTR).....		
		74
5.1	Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)	74
5.1.1	Komponen utama konstruksi JTR	75
5.1.2	Spesifikasi teknis material.....	77
5.2	Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik	79
5.3	Pembumian pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah ..	82
5.4	Alat yang Digunakan	82
5.5	Rangkaian Percobaan	84
5.6	Prosedur Percobaan	85
5.7	Data Hasil Percobaan	87
5.7.1	Pondasi	87
5.7.2	<i>Cross-Arm/Traverse</i>	87
5.7.3	<i>Insulator Tumpu</i>	88
5.7.4	<i>Insulator Tension</i>	88
5.7.5	<i>Grounding ujung Line Netral SUTR</i>	88
5.7.6	Konduktor	89
5.7.7	<i>Joint dan Jumper (Connector)</i>	89
5.7.8	<i>Guy Wire/Horizontal Guy Wire</i>	90
5.7.9	<i>Strut Pole</i>	90

5.7.10	Pengukuran arus	90
5.7.11	Pengukuran tegangan.....	91
5.8	Contoh Soal	91
5.5	Latihan Soal.....	94
BAB 6 PEMASANGAN / PENGGANTIAN		
<i>kWh</i>	METER 3 FASA	95
6.1	<i>kWh</i> Meter	95
6.2	Konstruksi <i>kWh</i> Meter	97
6.2.1	Konstruksi <i>kWh</i> meter Elektromekanik.....	97
6.2.2	Konstruksi <i>kWh</i> Meter Elektronik.....	98
6.3	Prinsip Kerja <i>kWh</i> Meter	99
6.4	Diagram Pengawatan <i>kWh</i> Meter	100
6.5	Spesifikasi Kabel Pengawatan <i>kWh</i> Meter	104
6.6	Alat yang Digunakan	105
6.7	Rangkaian Percobaan	106
6.8	Prosedur Percobaan	107
6.9	Data Percobaan.....	108
6.9.1	Pengukuran tegangan	108
6.9.2	Pengukuran arus	109
6.9.3	Pemeriksaan urutan fasa.....	109
6.10	Contoh Soal.....	109
6.11	Soal Latihan	111
BAB 7 PEMELIHARAAN <i>LIGHTNING ARRESTER</i> 20 kV		
7.1	<i>Lightning Arrester (LA)</i>	112
7.2	Bagian-Bagian <i>Lightning Arrester</i>	113
7.3	Jenis-Jenis <i>Lightning Arrester</i>	114
7.4	Spesifikasi <i>Lightning Arrester</i>	116
7.5	Pemasangan <i>Lightning Arrester</i>	117
7.5.1	Kawat penghubung <i>Lightning Arrester (Lead Wire)</i>	117
7.5.2	Lokasi <i>Lightning Arrester</i> sehubungan dengan pembatas peralatan.....	118

7.6	Kawat Penghubung <i>Disconnecter</i>	119
7.7	Alat yang Digunakan	120
7.8	Prosedur Percobaan	121
7.9	Data Hasil Percobaan	122
	7.9.1 Pengecekan sambungan.....	122
	7.9.2 Pengukuran pentanahan.....	122
	7.9.3 Pengukuran tahanan isolasi	122
7.10	Contoh Soal.....	123
7.11	Latihan Soal	125
BAB 8 PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN		
INSTALASI GARDU TRAFODISTRIBUSI		
	8.1 Tujuan Pentanahan	127
	8.2 Persyaratan Pentanahan	128
	8.3 Jenis Pentanahan.....	128
	8.4 Jenis Elektroda Pentanahan	129
	8.5 Resistansi Jenis Tanah dan Resistansi Pentanahan.....	131
	8.6 Resistansi Pentanahan	132
	8.7 Bahan dan Ukuran Elektroda.....	133
	8.8 Pemasangan dan Susunan Elektroda Pentanahan	133
	8.9 Alat yang Digunakan	134
	8.10 Rangkaian Percobaan	135
	8.11 Contoh Soal.....	136
	8.5 Latihan Soal.....	138
DAFTAR PUSTAKA.....		
GLOSARIUM		
		143

BAB 1

KONSEP, JENIS PEMELIHARAAN DAN PENJADWALAN PEMELIHARAAN

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan konsep pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik.
2. Mampu menjelaskan dan membedakan jenis-jenis pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik.
3. Mampu melakukan penjadwalan pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik.

1.1. Pemeliharaan

Pemeliharaan adalah suatu kegiatan yang dimaksudkan untuk mendapatkan jaminan bahwa suatu sistem atau peralatan akan berfungsi secara optimal, umur teknis-nya meningkat dan aman baik bagi personil maupaun bagi masyarakat umum. Pemeliharaan adalah kegiatan yang meliputi rangkaian tahapan kerja mulai dari perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan evaluasi pekerjaan pemeliharaan instalasi dan sistem distribusi yang dilakukan secara terjadwal atau tidak terjadwal.

Tujuan pemeliharaan adalah:

- Mendapatkan jaminan bahwa peralatan dapat dioperasikan atau beroperasi secara optimal.
- Mendapatkan jaminan bahwa keandalan dan mutu tenaga listrik akan mempunyai nilai tinggi.
- Mendapatkan jaminan bahwa umur teknis sistem atau peralatan dapat dipertahankan.
- Mendapatkan jaminan bahwa peralatan aman bagi personil maupun bagi masyarakat umum.

Agar tujuan pemeliharaan tercapai, maka perlu dirumuskan kriteria pemeliharaan yang baik meliputi beberapa aspek, yaitu:

- Sistem pemeliharaan harus direncanakan dengan baik.
- Memakai peralatan atau bahan yang sesuai dengan standar atau ketentuan.
- Sistem kelistrikan yang baru dibangun harus diperiksa secara cermat dan teliti.
- Petugas pemeliharaan harus terlatih atau berkompeten dibidangnya dan jumlahnya memadai.
- Mempunyai atau dilengkapi dengan peralatan kerja yang memadai dan berstandar nasional atau internasional.
- Mempunyai dan memahami *manual operation* suatu peralatan yang akan dilakukan pemeliharaan.
- Dalam melakukan pemeliharaan gunakan perlengkapan keselamatan kerja.

1.2. Jenis-Jenis Pemeliharaan

Jenis-jenis pemeliharaan dapat dibedakan menjadi beberapa bagian, yaitu:

a. Pemeliharaan rutin (*Preventif maintenance*)

Merupakan kegiatan pemeliharaan yang direncanakan secara terus-menerus (periodik) dengan tujuan untuk mempertahankan kondisi sistem atau peralatan agar tetap dalam keadaan baik dan optimal.

Contoh pemeliharaan rutin:

- Pemeriksaan instalasi listrik dengan *infrared*.
- Pengukuran beban pada trafo distribusi.
- Pengukuran tegangan jurusan pada PHB-TR
- *Tes trip* pada PMT penyulang 20 kV di Gardu Induk, dsb.

b. Pemeliharaan khusus (*Corrective maintenance*)

Merupakan pemeliharaan yang dilakukan untuk memperbaiki kerusakan atau mengadakan perubahan atau penyempurnaan dari suatu sistem atau peralatan.

Contoh pemeliharaan korektif:

- Perbaikan andongan JTM yang rendah.

- Perbaikan *jointing* yang meledak.
- Penggantian *bushing* trafo distribusi yang pecah.
- Penggantian tiang yang bengkok tertabrak bus/mobil.

c. Pemeliharaan darurat

Merupakan pemeliharaan yang bersifat mendadak, tidak terencana akibat gangguan atau kerusakan atau hal-hal lain di luar kemampuan sehingga perlu dilakukan pemeriksaan atau pengecekan, perbaikan maupun penggantian peralatan tetapi masih dalam kurun waktu pemeliharaan.

Contoh pemeliharaan darurat:

- Perbaikan atau penggantian instalasi gardu distribusi yang rusak akibat banjir.
- Perbaikan atau penggantian gardu dan jaringan yang rusak akibat huru-hara dsb.

1.3. Jadwal Pemeliharaan

Dalam melaksanakan pemeliharaan perlu dilakukan perencanaan dengan baik berdasarkan hasil pengamatan dan catatan serta pengalaman dari kegiatan pemeliharaan yang pernah dilakukan sebelumnya sehingga akan mendapatkan hasil yang lebih baik.

Jadwal pemeliharaan dengan jangka waktu yang berbeda sesuai dengan kebutuhan dan umur dari peralatan yang akan dipelihara dapat dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu:

- a. Pemeliharaan mingguan
- b. Pemeliharaan bulanan

Contoh pemeliharaan bulanan yang dilakukan dalam kondisi beroperasi:

- Perawatan tinggi permukaan minyak : melakukan pemeriksaan tinggi permukaan minyak pada indikator tangki.
- *Bushing* : melakukan pemeriksaan apakah ada *bushing* yang retak, pecah dan kebocoran minyak.

- Tangki radiator : melakukan pemeriksaan apakah ada suara-suara tidak normal.
- Alat pemadam kebakaran : melakukan pemeriksaan pada alat pemadam kebakaran, apakah masih baik atau berfungsi.
- Pengukuran beban : melakukan pengukuran nilai arus dan tegangan sisi sekunder dengan tang ampere.

c. Pemeliharaan *triwulan*

Pemeriksaan *triwulan* atau tiga bulan adalah suatu kegiatan yang dilaksanakan dalam tiga bulan dengan maksud untuk mengadakan pemeriksaan kondisi sistem. Dengan harapan, terdapat langkah-langkah yang perlu dilaksanakan perbaikan sistem atau peralatan yang terganggu dapat ditentukan lebih awal. Semisal memelihara bagian-bagian jaringan distribusi yang rawan gangguan, diantaranya adalah saluran telanjang atau tidak berisolasi, dimana saluran udara seperti ini diperkirakan paling rawan terhadap gangguan *eksternal* misalnya karena ranting pohon, benang layang-layang dsb.

Contoh kegiatan yang perlu dilakukan dalam program *triwulan* antara lain:

- Mengadakan inspeksi terhadap saluran udara, dimana saluran udara harus mempunyai jarak aman yang sesuai standar yang diijinkan yaitu 2 m.
- Mengadakan evaluasi terhadap hasil inspeksi yang telah dilaksanakan dan segera menindaklanjuti-nya.

d. Pemeliharaan semesteran

Pemeliharaan semesteran atau enam bulan adalah suatu kegiatan yang dilakukan dilapangan dengan maksud untuk mengetahui sendiri kemungkinan keadaan beban jaringan dan tegangan pada ujung-ujung suatu penyulang TR (tegangan rendah). Dimana besarnya regulasi tegangan yang diijinkan oleh PLN saat ini adalah + 5 % untuk sisi pengirim dan -10 % untuk sisi penerima. Perbandingan beban untuk setiap fasanya pada setiap penyulang TR tidak kurang dari 90 %, 100 % dan 110 %, hal ini untuk menjaga adanya perbedaan nilai tegangan yang terlalu besar pada saat terjadi gangguan berupa putusnya kawat netral di jaringan TR.

Contoh kegiatan yang perlu dilakukan dalam pemeliharaan semesteran antara lain:

- Melakukan pengukuran beban setiap jurusan pada PHB-TR.
 - Melaksanakan pengukuran tegangan ujung jaringan distribusi.
 - Mengadakan evaluasi hasil pengukuran dan menindak lanjutinya.
 - Memeriksa keadaan penghantar atau kawat.
 - Membersihkan isolator.
 - Memeriksa kondisi tiang, dsb.
- e. Pemeliharaan tahunan

Pemeliharaan tahunan merupakan suatu kegiatan yang dilaksanakan untuk mengadakan pemeriksaan dan perbaikan sistem atau peralatan. Kegiatan pemeliharaan tahunan biasanya dilaksanakan menurut tingkat prioritas tertentu. Pekerjaan perbaikan sistem atau peralatan yang sifatnya dapat menunjang operasi secara langsung atau pekerjaan yang dapat mengurangi adanya gangguan operasi sistem tenaga listrik perlu mendapatkan prioritas yang lebih tinggi.

Pada prakteknya pemeliharaan tahunan dapat dilaksanakan dalam dua keadaan yaitu: pemeliharaan tahunan keadaan bertegangan dan pemeliharaan tahunan keadaan tidak bertegangan.

Adapun bagian-bagian sistem tenaga listrik yang perlu dilakukan pemeliharaan tahunan secara periodik antara lain:

- JTM dan peralatannya.
- Gardu distribusi dan PHB-TR.
- JTR dan peralatannya.
- Sambungan rumah dan APP.

1.4. Contoh Soal

1. Salah satu tujuan dilakukanya pemeliharaan, yaitu kecuali:
 - a. *Life time*
 - b. *Safe*
 - c. *Reliability*

d. *After service*

Jawaban : d

2. Salah satu tujuan dilakukan kegiatan pemeliharaan yaitu mendapatkan jaminan bahwa umur teknis sistem atau peralatan dapat dipertahankan. Tujuan ini memiliki makna yang sama dengan:
- Life time*
 - Safe*
 - Reliability*
 - After service*

Jawaban : a

3. Berdasarkan waktu pelaksanaannya, macam pemeliharaan dapat dibedakan menjadi:
- Preventif dan Korektif
 - Preventif dan Darurat
 - Pemeliharaan terencana dan Pemeliharaan tidak terencana
 - Korektif dan Darurat

Jawaban : c

4. Mana yang termasuk dalam pemeliharaan terencana di bawah ini:
- Pemeliharaan darurat dan Pemeliharaan korektif
 - Pemeliharaan darurat dan Pemeliharaan preventif
 - Pemeliharaan terencana dan Pemeliharaan preventif
 - Pemeliharaan preventif dan pemeliharaan korektif

Jawaban : d

5. Kegiatan pemeliharaan seperti : pengecatan tiang SUTM dan SUTR, Pemoangan ranting atau dahan, Pengecatan PHB-TR, Pengukuran beban jurusan pada PHB-TR. Kegiatan-kegiatan tersebut termasuk dalam jenis pemeliharaan:
- Preventif
 - Korektif
 - Darurat
 - Terencana

Jawaban : a

6. Jenis pemeliharaan yang memiliki makna “mencegah” adalah:
 - a. Pemeliharaan korektif
 - b. Pemeliharaan darurat
 - c. Pemeliharaan preventif
 - d. Pemeliharaan khusus

Jawaban : c

1.5. Soal Latihan

1. Jelaskan dan berikan contoh dari *preventif maintenance*?
2. Sebutkan tujuan-tujuan dari pemeliharaan?
3. Dalam melakukan pemeliharaan perlukan dilakukan penjadwalan, agar dicapai hasil yang optimal. Sebutkan macam-macam jadwal pemeliharaan dan jelaskan satu diantaranya!

BAB 2

PENGOPERASIAN DAN PEMELIHARAAN KUBIKEL SCHNEIDER SM6 24 kV

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan prinsip kerja Kubikel *Schneider SM6 24 kV*.
2. Mampu mengoperasikan Kubikel *Schneider SM6 24 kV* sesuai dengan *SOP*.
3. Mampu memelihara Kubikel *Schneider SM6 24 kV* sesuai dengan *SOP*.

2.1. Pengertian Kubikel

Kubikel adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada gardu induk, penghubung, pengontrol dan proteksi sistem distribusi tenaga listrik tegangan 20 kV. Pengoperasian Kubikel adalah merubah posisi keluar / masuk kontak hubung (*LBS/PMT*) di gardu induk, gardu distribusi dan gardu hubung untuk keperluan:

- Pengaturan beban, pengoperasian jaringan baru dan pekerjaan pemeliharaan.
- Pengusutan gangguan pada jaringan 20 kV.
- Persiapan sumber cadangan untuk acara khusus.
- Pengaturan jaringan dalam rangka pengamanan bencana alam / huru-hara.
- Pelaksanaan pengoperasian Kubikel 20 kV dapat dilakukan secara manual atau dengan fasilitas *remote control*.



(a)

(b)

Gambar 2.1 Kubikel *Schneider* 20 kV Tipe SM-6, (a) Kubikel sisi PLN (*Incoming/IM* dan *Outgoing/DM1-A*), (b) Kubikel sisi Pelanggan (*Incoming/NSM-Double Incoming* dan *Outgoing/QM*)

2.2. Bagian-Bagian Kubikel

Bagian-bagian utama Kubikel terbagi menjadi 3 bagian, yaitu *Incoming*, *Metering*, dan *Outgoing*. Masing-masing bagian memiliki kontak pentanahan (*grounding*).

1. Sisi masukan (*Incoming*)

Tempat masuknya tegangan dari sumber sebesar 20 kV, dimana pada sisi *Incoming* tersebut terdapat tiga buah lampu indikator (R, S, T) yang akan menyala apabila terdapat tegangan.

2. Metering

Metering adalah suatu bagian dari kubikel yang memiliki kemampuan pengukuran besaran-besaran listrik.

3. Sisi Keluaran (*Outgoing*)

Berfungsi sebagai tempat keluarnya tegangan menengah setelah melalui *incoming* dan metering. *Outgoing* memiliki kompartemen yang paling besar, dimana pada kompartemen bagian atas terdapat

kontak *grounding* dan juga terdapat kontak *disconnecting switch* (*DS*). Pada bagian atas juga terdapat dua buah kunci dan satu kunci lagi pada bagian bawah kompartemen. Kunci-kunci tersebut bekerja secara *interlock*, dibagian bawah terdapat tuas yang akan menekan pegas yang ada di dalamnya. Selain menggunakan pegas, juga bisa dilakukan secara otomatis dengan *motorize*.

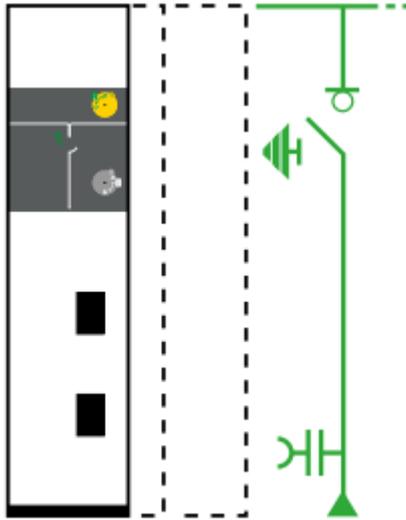
2.3. Spesifikasi Kubikel *Schneider* SM6 24 kV

1. *Disconnecting Switch (DS)* atau Saklar Pemisah
Suatu rangkaian peralatan yang dapat difungsikan pada keadaan bertegangan atau merupakan suatu rangkaian peralatan yang tidak dapat difungsikan pada keadaan berbeban, karena kontak penghubung tidak dilengkapi dengan alat peredam busur api.
2. *Load Break Switch (LBS)* atau Saklar Pemutus Beban
Merupakan suatu rangkaian peralatan yang dapat difungsikan pada keadaan bertegangan dan berbeban.
3. *Circuit Breaker (CB)* atau Pemutus Daya
Merupakan suatu rangkaian peralatan yang dapat difungsikan pada keadaan bertegangan, berbeban dan gangguan.

2.3.1. Sisi PLN

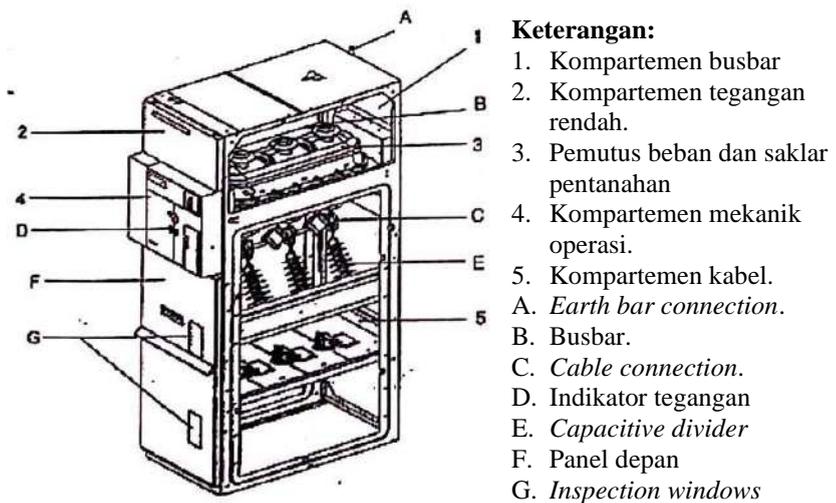
Sisi PLN terbagi menjadi dua bagian, yaitu Kubikel sisi *incoming* (*IM*) dan Kubikel sisi *outgoing* (*DMI-A*)

1. *Kubikel sisi incoming / IM*
Diagram satu garis kubikel sisi *incoming* (*IM*) seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.2. Merupakan tempat masuknya tegangan dari penyulang PLN sebesar 20 kV.



Gambar 2.2 Diagram satu garis Kubikel *incoming* / IM sisi PLN

Gambar 2.3 memperlihatkan bagian-bagian dari Kubikel *incoming* / IM, sisi PLN:



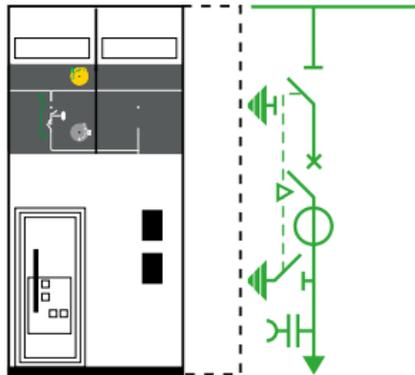
Gambar 2.3 Bagian-bagian Kubikel IM

Tabel 1.1 *Name plate* Kubikel Schneider SM6-IM

SM6-IM							
U _r	24 kV	U _d	50 kV	U _p	125 kV	IAC	12,5 kA/1s
I _k	16 kA	T _k	1 s	I _p	40 kA	A-FL	
I _r	630 A	U _n	20 kV	Fr	50 Hz		7896923EN
SF6	0,210 kg			year	2017	S/N	C1-2017- W51-1-0047
Pre	40 kPa	LMK				IEC	62271-2000

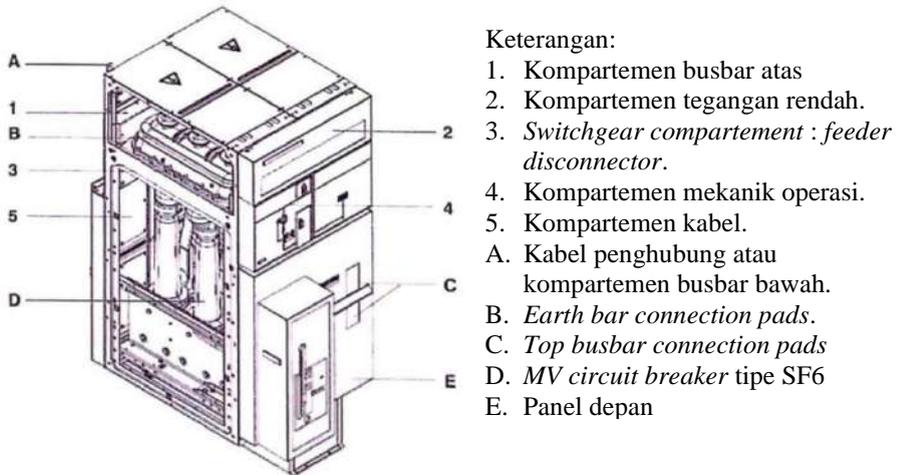
2. Kubikel sisi *Outgoing (DM1-A)*

Diagram satu garis Kubikel *outgoing (DM1-A)* sisi PLN seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4 Merupakan tempat keluarnya tegangan dari sumber PLN menuju *incoming* sisi pelanggan.



Gambar 2.4 Diagram satu garis Kubikel *Outgoing / DM1-A* sisi PLN

Gambar 2.5 memperlihatkan bagian-bagian dari kubikel *outgoing DM1-A* sisi PLN



Gambar 2.5 Bagian-bagian Kubikel DM1-A

Tabel 2.2 *Name plate* Kubikel Schneider SM6 DM1-A

SM6-DM1-A							
Ur	24 kV	Ud	50 kV	Up	125 kV	IAC	12,5 kA/1s
Ik	16 kA	tk	1 s	Ip	40 kA	A-FL	
Ir	630 A	Un	20 kV	Fr	50 Hz		7896684EN
SF6	0,210 kg			year	2017	S/N	C1-2017-W49-3-0019
Pre	40 kPa	LMK				IEC	62271-2000

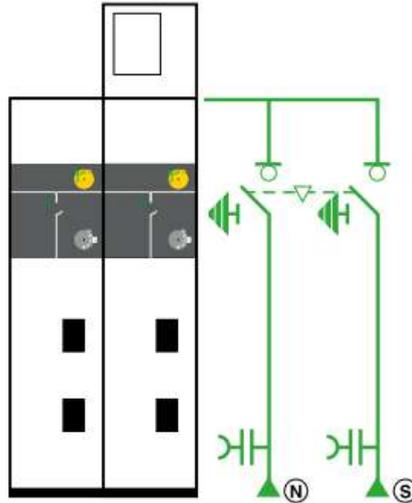
2.3.2. Sisi Pelanggan

Sisi pelanggan terbagi menjadi dua bagian, yaitu kubikel sisi *incoming* (*NSM Double Incoming*) dan kubikel sisi *outgoing* (*QM*).

1. Kubikel sisi *incoming* (*NSM Double Incoming*)

Incoming pada sisi pelanggan merupakan tempat masuknya tegangan dari *outgoing* sisi PLN. Kubikel *incoming* sisi pelanggan / *NSM Double Incoming* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.6 yang memiliki dua sisi masukan yang dapat dikendalikan secara manual

dengan memilih *selector switch* pada kubikel tersebut sisi masukan mana yang akan digunakan atau dikontrol secara otomatis melalui tuas.



Gambar 2.6 Diagram satu garis kubikel *incoming / NSM double incoming* sisi Pelanggan

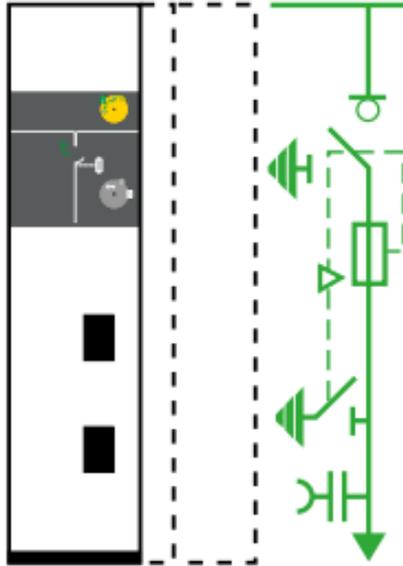
Tabel 2.3 Name plate kubikel *NSM Double Incoming*

SM6-NSM Double Incoming							
Ur	24 kV	Ud	50 kV	Up	125 kV	IAC	12,5 kA/1s
Ik	16 kA	tk	1 s	Ip	40 kA	A-FL	
Ir	630 A	Un	20 kV	Fr	50 Hz	7896690EN	
SF6	0,420 kg			year	2017	S/N	C1-2017-W50-2-0047
Pre	40 kPa	LMK			IEC	62271-200	

2. Kubikel sisi *outgoing (QM)*

Outgoing pada sisi pelanggan merupakan tempat keluarnya tegangan yang akan masuk ke trafo *step down* untuk diturunkan nilai

tegangannya, dan siap didistribusikan ke beban-beban listrik. *Single line diagram* Kubikel *outgoing / QM* sisi pelanggan diperlihatkan pada Gambar 2.7.

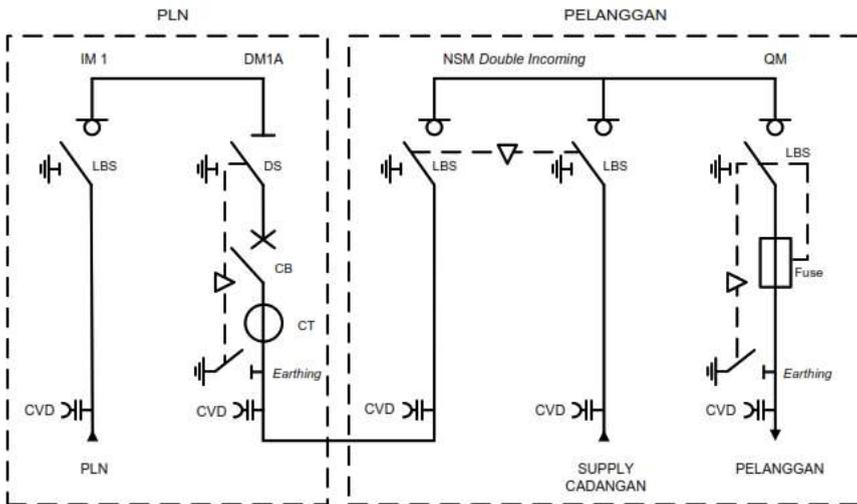


Gambar 2.7 Diagram satu garis Kubikel *outgoing / QM* sisi Pelanggan

Tabel 2.4 *Name plate* Kubikel *QM*

SM6-QM							
Ur	24 kV	Ud	50 kV	Up	125 kV	IAC	12,5 kA/1s
Ik	16 kA	tk	1 s	Ip	40 kA	A-FL	
Ir	630 A	Un	20 kV	Fr	50 Hz		7896682EN
SF6	0,210 kg			year	2017	S/N	C1-2017-W50-2-0047
Pre	40 kPa	LMK				IEC	62271-200

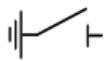
Gambar 2.8 memperlihatkan keseluruhan diagram satu garis Kubikel *Schneider SM6* 24 kV sisi PLN dan sisi Pelanggan.



Gambar 2.8 Diagram satu garis Kubikel *Schneider SM6* 24 kV

Tabel 2.5 Keterangan gambar diagram satu garis Kubikel *Schneider SM6* 24 kV

Nama	Simbol	Keterangan
<i>CVD</i> (<i>Capacitive Voltage Divider</i>)		Berfungsi sebagai pembagi tegangan tinggi untuk dirubah oleh trafo tegangan pengukuran yang lebih rendah.
<i>LBS</i> (<i>Load Break Switch</i>)		Berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik pada keadaan bertegangan dan berbeban.
<i>DS</i> (<i>Disconnecting Switch</i>)		Berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik pada keadaan tidak berbeban, karena kontak penghubung tidak dilengkapi dengan alat peredam busur api.

<i>CB (Circuit Breaker)</i>		Berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik pada keadaan bertegangan, berbeban dan gangguan.
<i>CT (Current Transformer)</i>		Berfungsi menurunkan nilai arus untuk pengukuran dan untuk proteksi.
<i>Earthing Switch</i>		Berfungsi untuk mengkondisikan jaringan dalam keadaan <i>grounding</i>
<i>Interlock</i>		Berfungsi sebagai pengunci agar tidak dapat dioperasikan dalam dua keadaan sekaligus.
<i>Fuse</i>		Berfungsi untuk melindungi trafo tegangan dari gangguan.

2.4. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada Praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 2.6 sampai dengan Tabel 2.9.

Tabel 2.6 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	Radio Komunikasi
2.	<i>Toolkit Set</i>
3.	Hendel / Tuas Kubikel
4.	Kunci gardu
5.	Lampu penerangan
6.	<i>Single line diagram</i>

Tabel 2.7. Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	Kubikel <i>Schneider SM6 24 kV</i>

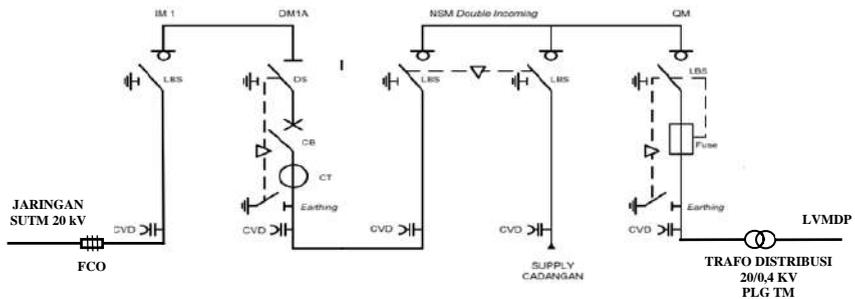
Tabel 2.8 Perlengkapan K3

No.	Perlengkapan K3
1.	Helm Pengaman
2.	Sepatu pengaman 20 kV
3.	Kaca mata (<i>safety glass</i>)
4.	Sarung tangan 20 kV
5.	Pakaian Kerja (<i>wearpack</i>)
6.	Alas pengaman (kayu/karet)
7.	Kotak P3K

Tabel 2.9 Alat Ukur

No.	Alat Ukur
1.	<i>Earth Resistance Tester (megger grounding)</i>
2.	<i>Insulation Tester (megger isolasi)</i>
3.	<i>Three Phase Indicator (Urutan fasa)</i>

2.5. Rangkaian Percobaan



Gambar 2.9 Diagram satu garis rangkaian percobaan Kubikel Schneider SM6 24 kV

2.6. Prosedur Pengoperasian

1. Pengoperasian Kubikel IM

- Untuk melakukan *energize* pada kubikel IM adalah memastikan *earthing switch* dalam posisi terbuka (*open*)

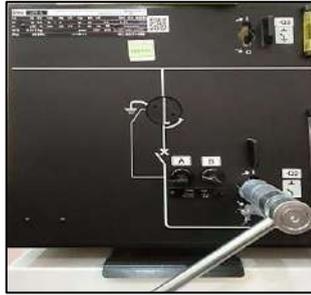


- Selanjutnya melakukan *closing LBS* dengan memasukkan handel kedalam lubang *LBS* lalu memutar handel searah jarum jam menuju titik 1.



2. Pengoperasian Kubikel DM1-A

- Untuk melakukan *energize* pada kubikel DM1-A adalah dengan memastikan *earthing switch* dalam terbuka (*open*)
- Selanjutnya melakukan *closing disconnecting switch (DS)* dengan memasukkan handel kedalam lubang *DS* lalu memutar handel searah jarum jam menuju titik 1.



- Saat *DS* sudah dalam kondisi tertutup (*close*) selanjutnya memindahkan anak kunci A ke rumah kunci C, dengan tujuan *unlocking open push button* dari *CB*, sehingga *CB* dapat dioperasikan.



- Untuk melakukan *closing CB* caranya adalah dengan melakukan *charging spring* dari *CB* terlebih dahulu untuk merubah *CB* dalam kondisi *charge* seperti berikut.

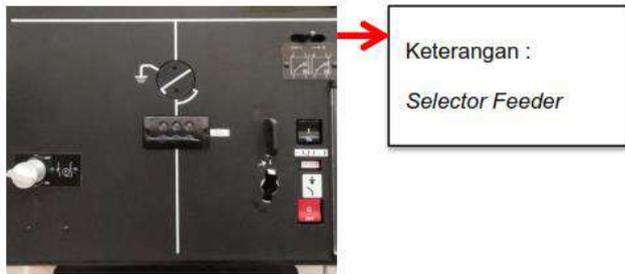




- Saat *CB* sudah dalam kondisi *charging* maka *CB* bisa untuk di *Close*, dengan menekan tombol *push button ON*, maka status *window CB* akan berubah dari status terbuka (*open*) menjadi tertutup (*close*). Kondisi seperti ini adalah kondisi dimana suplai listrik sudah dialirkan atau tegangan sedang *energize* dan indikasi status pada *VPIS* akan menyala.



- Mengoperasikan Kubikel untuk *energize* (memasukan tegangan) pada sisi pelanggan.
3. Pengoperasian Kubikel *NSM Double incoming*
- Untuk mengaktifkan sisi masukan (*incoming*) pelanggan, kita bisa memilih *feeder* mana yang diaktifkan.



- Memastikan *earthing switch* kubikel dalam kondisi terbuka (*open*)



- Memindahkan *switch* dalam posisi *motorize*.



- Selanjutnya melakukan *closing LBS (load break switch)*, dengan menekan tombol *push button ON*. Dan posisinya akan berubah terbuka (*open*) menjadi tertutup (*close*). Kondisi seperti ini adalah kondisi dimana suplai listrik sudah dialirkan atau tegangan sedang *energize*.



4. Pengoperasian kubikel *QM*

- Memastikan *earthing switch* Kubikel dalam kondisi terbuka (*open*)



- Kemudian memindahkan *switch* dalam kondisi *motorize*.

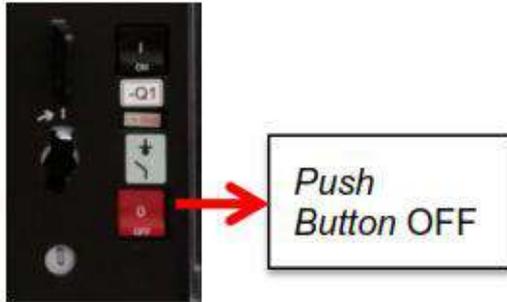


- Selanjutnya melakukan *closing LBS (Load Break Switch)*, dengan menekan tombol *push button ON*, dan posisinya akan berubah dari terbuka (*open*) menjadi tertutup (*close*). Kondisi seperti ini adalah kondisi dimana suplai listrik sudah dialirkan atau tegangan sedang *energize*,



5. Mengoperasikan kubikel untuk *de-energize* (memutuskan tegangan) pada sisi pelanggan

- Menekan tombol *push button off* untuk melakukan *open LBS* pada kubikel *QM*.



- Selanjutnya menekan tombol *push button off* pada kubikel *NSM double incoming*.



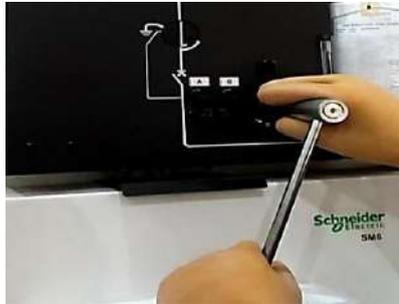
6. Mengoperasikan kubikel untuk *de-energize* (memutuskan tegangan) pada sisi PLN.
 - Menekan tombol *push button off* dari kompartemen *CB* sehingga status *CB* berubah dari status tertutup (*close*) menjadi terbuka (*open*) yang akan terlihat indikasinya pada *window status*.



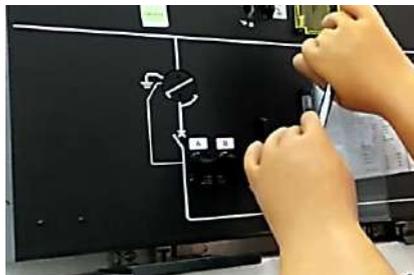
- Kemudian menekan *push button off* *CB* bersamaan dengan memutar 180° anak kunci C dan pindahkan ke rumah kunci A



- Setelah kunci A dimasukan, selanjutnya melakukan *open DS* dengan memasukan handel dan memutar handel berlawanan dengan arah jarum jam. *DS* akan berubah dari posisi tertutup (*close*) menjadi terbuka (*open*)



- Saat *DS* sudah terbuka (*open*) sehingga suplai tegangan di *busbar* sudah diputus dan suplai tegangan ke kabel *connection* juga sudah putus.



- Selanjutnya menekan tombol *push button off* untuk melakukan *open LBS* pada kubikel IM.



Kondisi seperti ini adalah kondisi kubikel sedang *de-energize* atau dipadamkan dari aliran listrik.

2.7. Prosedur Pemeliharaan

Untuk prosedur pemeliharaan Kubikel, tahapannya kebalikan dengan prosedur pengoperasian Kubikel. Dimana pada prosedur pemeliharaan kubikel dimulai dari sisi Pelanggan yaitu melepaskan beban pada *Low Voltage Main Distribution Panel (LVMDP)* dilanjutkan dengan pelepasan Kubikel QM. Ada empat tahap penting dalam prosedur pemeliharaan kubikel yang harus dicermati yaitu:

1. Mengeluarkan kontak hubung, yaitu tahapan untuk melepas beban dan memadamkan aliran listrik.
2. Membuka pintu kubikel, harus dalam keadaan benar-benar tidak bertegangan, karena ada sistem *interlock* bahwa pintu hanya dapat dibuka apabila saklar pentanahan pada posisi ON / masuk. Pada tahap ini harus ada koordinasi, dimana aliran listrik baik dari saluran sisi masuk (Sisi PLN) maupun sisi keluar (sisi Pelanggan) sudah dinyatakan padam. Pemeriksaan atau pemeliharaan pada bagian dalam kubikel dilaksanakan pada tahap ini.
3. Menutup pintu kubikel, tahap ini menandakan pekerjaan pemeriksaan / pemeliharaan telah dilakukan dan dengan hasil baik, berarti kubikel siap dioperasikan kembali.
4. Memasukan kontak hubung (*LBS, PMT*), tahap ini berarti memasukan tegangan dari:
 - Saluran / penyulang ke busbar untuk Kubikel *incoming*.
 - Busbar ke saluran ke busbar untuk Kubikel *outgoing*.

- Busbar ke beban ke busbar untuk Kubikel pemutus beban.

Pemeliharaan komponen-komponen Kubikel:

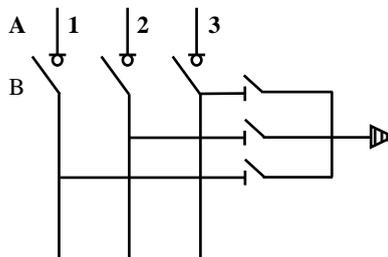
1. Pemeliharaan PMT / LBS (dilakukan dalam keadaan tidak bertegangan)
 - Pemeriksaan visual dan pembersihan bagian luar.
 - Pemeriksaan dan perbaikan bagian-bagian mekanik.
 - Percobaan keluar masuk manual maupun dengan simulasi relai.
 - Pemeriksaan dan perawatan media pemadam busur api.
 - Pemeriksaan dan perawatan motor penggerak.
 - Pengukuran tahanan isolasi.
 - Pengukuran tahanan kontak
 - Pemeriksaan keserempakan alat kontak.
 - Pengukuran dan pemeriksaan terhadap tahanan pentanahan.
 - Pemeriksaan / perbaikan terhadap peralatan *interlock*, mekanik maupun listrik.
2. Pemeliharaan *Disconnecting Switch* (dilakukan dalam keadaan tidak bertegangan)
 - Pemeliharaan dan perawatan pada pisau-pisau kontaknya.
 - Pengencangan pada baut-baut yang kendur.
 - Pemeriksaan pada isolator.
 - Pemeriksaan pada pegas-pegas kontaknya.
 - Percobaan keluar masuk.
 - Pemeriksaan pada peralatan mekanis *interlock*-nya.
3. Pemeriksaan sumber arus searah
 - Pengukuran besarnya tegangan ($90 - 100 V_{DC}$).
 - Pemeriksaan terhadap *MCB* sebagai pengaman sumber *DC*.
 - Pemeriksaan sel baterai.
4. Pemeriksaan sumber arus bolak-balik
 - Pengukuran besarnya tegangan ($190 - 240 V_{AC}$).
 - Pemeriksaan terhadap *MCB* sebagai pengaman sumber *AC*.
5. Pemeliharaan Relai.

- Pemeriksaan dan perawatan pengawatan relai, yaitu antara trafo arus dan bagian perasa.
 - Pemeriksaan dan perawatan pengawatan antara relai dan *tripping coil* PMT.
 - Pemeriksaan dan perawatan pengawatan antara sumber tegangan dan *tripping coil*.
 - Pemeriksaan dan pengukuran sumber tegangan untuk *tripping* pengetesan relai.
6. Pemeliharaan pelebur (*fuse*)
- Pemeriksaan kedudukannya.
 - Pemeriksaan dan perawatan terminal kontak dan jepitnya.
 - Pemeriksaan nilai nominal arusnya.
 - Pemeriksaan kondisinya.
7. Pemeliharaan pentanahan
- Pemeriksaan / perbaikan kondisi hantaran pentanahan.
 - Pengukuran tahanan pentanahan.
 - Penggantian / penambahan elektroda pentanahan.

2.8. Data Hasil Percobaan

2.8.1. Pengujian Tahanan Isolasi (PMT, PMB, PMS)

Lepaskan semua kabel atau rel penghubung. Posisi kontak utama dan saklar pentanahan terbuka semua. Posisikan kabel alat ukur dengan bagian yang diukur sesuai dengan Tabel 2.10 dan gambar pengawatan.



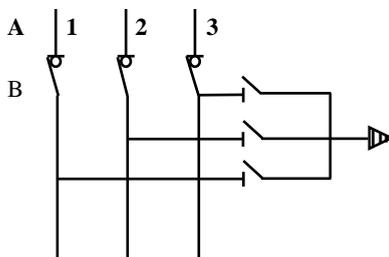
Gambar 2.10 Rangkaian pengawatan pengujian tahanan isolasi

Tabel 2.10 Hasil pengujian tahanan isolasi

No.	Yang Diukur	Nilai (M Ω)
1.	A1-A2	
2.	A1-A3	
3.	A2-A2	
4.	B1-B2	
5.	B1-B3	
6.	B2-B3	
7.	A1-BODY	
8.	A2- BODY	
9.	A3- BODY	
10.	B1- BODY	
11.	B2- BODY	
12.	B3- BODY	
13.	A1-B1	
14.	A2-B2	
15.	A3-B3	

2.8.2. Pengujian Tahanan Kontak (PMT, PMB, PMS)

Lepaskan semua kabel atau rel penghubung Posisi kontak utama masuk, tetapi saklar pentanahan keluar. Posisikan kabel alat ukur dengan bagian yang diukur sesuai dengan Tabel 2.11 dan gambar pengawatan.



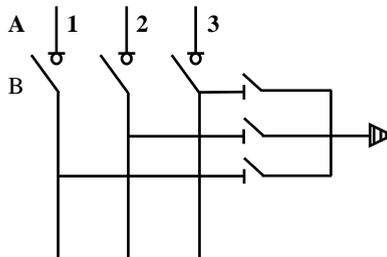
Gambar 2.11 Rangkaian pengawatan pengujian tahanan kontak

Tabel 2.11 Hasil pengujian tahanan kontak

No.	Yang Diukur	Nilai (M Ω)
1.	A1-B1	
2.	A2-B2	
3.	A3-B3	

2.8.3. Pengujian Keserempakan Alat Hubung (PMT, PMB/LBS, PMS)

Lepaskan semua kabel atau rel penghubung. Posisi kontak utama dan saklar pentanahan keluar. Posisikan kabel alat ukur sesuai dengan kontak yang diukur. Catat waktu penutupan dan pembukaan kontak.



Gambar 2.12 Rangkaian pengawatan pengujian tahanan kontak

Tabel 2.12 Hasil pengujian keserempakan alat hubung

No.	Yang Diukur	Kecepatan (ms)
1.	Kecepatan Tutup	
	Fasa 1	
	Fasa 2	
	Fasa 3	
2.	Kecepatan Buka	
	Fasa 1	
	Fasa 2	
	Fasa 3	

2.9. Contoh Soal

1. Pengoperasian kubikel adalah merubah posisi keluar/masuk kontak hubung di gardu induk, gardu distribusi dan gardu hubung. Kontak hubung yang dimaksud adalah::
 - a. *LBS; CB; Fuse*
 - b. *CB; PMS; FCO*
 - c. *Fuse; CB; DS*
 - d. *LBS; CB; DS*

Jawaban: d

2. Merubah posisi keluar/masuk kontak hubung pada kubikel di gardu induk atau gardu hubung dimaksudkan untuk keperluan:
 - a. Pengaturan beban
 - b. Pengusutan gangguan pada jaringan 20 kV
 - c. Pengoperasian jaringan baru dan pekerjaan pemeliharaan
 - d. Semua jawaban benar

Jawaban: d

3. Bagian-bagian utama kubikel terbagi menjadi beberapa bagian yaitu:
 - a. *Incoming; Proteksi; Outgoing; CVD*
 - b. *Incoming; Metering; Outgoing; VPIS*
 - c. *Incoming; Metering; Proteksi; Outgoing*
 - d. *Incoming; Outgoing; Metering; CVD*

Jawaban: c

4. Suatu rangkaian peralatan yang dapat difungsikan pada keadaan tidak berbeban adalah:
 - a. Pemutus daya
 - b. Saklar pemisah
 - c. *Load break switch*
 - d. Saklar pemutus beban

Jawaban: b

5. Kubikel pada sisi PLN terbagi menjadi dua bagian, yaitu:
 - a. *Outgoing-Panel DM1A; Incoming-Panel IM*

- b. *Outgoing*-Panel IM; *Incoming*-Panel DM1A
- c. *Incoming*-Panel IM; *Outgoing*-Panel QM
- d. *Incoming*-Panel NSM; *Outgoing*-Panel QM

Jawaban: a

6. Kubikel pada sisi pelanggan terbagi menjadi dua bagian, yaitu:
- a. Panel NSM *Double Incoming* & Panel QM
 - b. Panel IM & Panel QM
 - c. Panel Qm & Panel Dm-1A
 - d. Panel NSM *Double Incoming* & Panel DM-1A

Jawaban: a

7. Bagian-bagian dari panel IM adalah:
- a. *LBS compartment*; *DS compartment*; *Inspection windows*; Indikator tegangan
 - b. *LV compartment*; *LBS compartment*; *Inspection windows*; Indikator tegangan
 - c. *LV compartment*; *LBS compartment*; *Inspection windows*; *CB compartment*
 - d. Semua jawaban salah

Jawaban: b

8. Panel yang memiliki mekanisme *interlock* yaitu:
- a. Panel IM, Panel Dm-1A, Panel QM
 - b. Panel QM; Panel NSM *double incoming*, Panel IM
 - c. Panel NSM *double incoming*; Panel QM; Panel DM-1A
 - d. Panel DM-1A; Panel IM; Panel QM

Jawaban: c

9. Pada kubikel, panel yang tidak dilengkapi dengan peralatan *load break switch* adalah:
- a. *NSM Double Incoming*
 - b. QM
 - c. IM
 - d. DM-1A

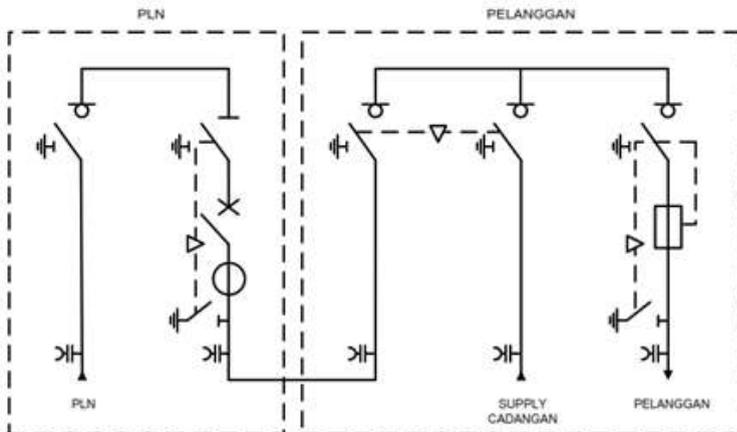
Jawaban: d

10. Peralatan yang digunakan untuk merubah nilai tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah melalui media kapasitor adalah:
- Capacitor bank
 - Transformator tegangan
 - Potensial transformer*
 - Capacitive voltage divider*

Jawaban: d

2.10. Soal Latihan

- Jelaskan tahapan untuk membuka *fuse* pada panel *outgoing* sisi pelanggan dari Kubikel *Schneider SM6 24 kV*?
- Jelaskan tahapan untuk melakukan *energize* panel DM-1A pada kondisi *earthing switch* masih tertutup?
- Jelaskan tahapan yang dilakukan untuk melakukan *de-energize* panel DM-1A?
- Gambarkan diagram satu garis untuk panel DM-1A.
- Identifikasi nama-nama peralatan pada Gambar diagram satu garis di bawah ini, dengan cara menuliskan nama disamping peralatan tersebut yang berhasil saudara identifikasi?



BAB 3

PEMELIHARAAN DAN PENGOPERASIAN GARDU TRAFO TIANG TIPE PORTAL

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu mengetahui jenis-jenis Gardu Trafo Tiang.
2. Mampu mengetahui komponen-komponen pada Gardu Trafo Tiang tipe Portal beserta fungsinya.
3. Mampu mengetahui persyaratan-persyaratan teknis Gardu Trafo Tiang.
4. Mampu memelihara Gardu Trafo Tiang tipe Portal.
5. Mampu mengoperasikan kembali Gardu Trafo Tiang tipe Portal.

3.1. Gardu Distribusi Tenaga Listrik

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan, baik pelanggan Tegangan Menengah 20 kV maupun pelanggan Tegangan Rendah 220/380 V.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas

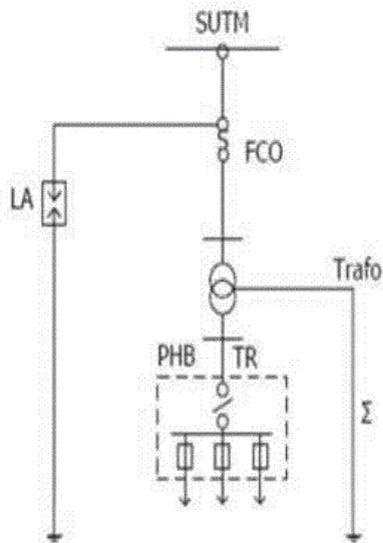
1. Jenis pemasangannya
 - a. Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
 - b. Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
2. Jenis konstruksinya
 - a. Gardu Beton.
 - b. Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
 - c. Gardu Kios.
3. Jenis penggunaanya
 - a. Gardu Pelanggan Umum
 - b. Gardu Pelanggan Khusus

3.2. Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah *T section* dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur *Fuse Cut Out (FCO)* sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (pengaman lebur *link tipe expulsion*) dan *lightning Arrester (LA)* sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.



(a)



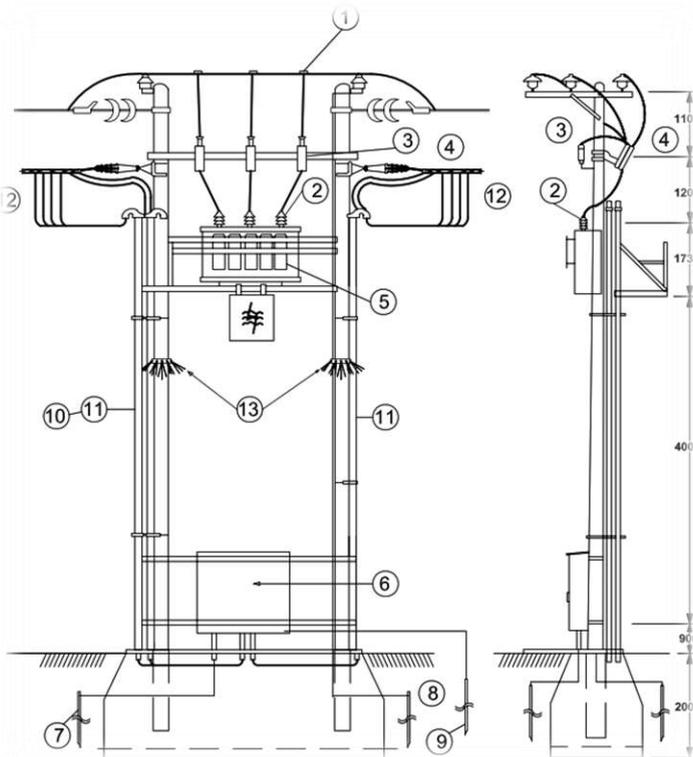
(b)

Gambar 3.1 (a) Gardu Distribusi tipe Portal dan (b) Diagram satu garis Gardu Distribusi tipe Portal

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi *switching/proteksi* yang sudah terakit ringkas sebagai *RMU (Ring Main Unit)*. Peralatan *switching incoming-outgoing* berupa pemutus beban atau *LBS (Load Break Switch)* atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau *CB (Circuit Breaker)* yang bekerja secara manual (atau digerakan dengan *remote control*). *Fault indicator* (dalam hal ini

PMFD : Pole Mounted Fault Detector) perlu dipasang pada *section* jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

Gardu Portal adalah gardu listrik tipe terbuka (*outdoor*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang-kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan *platform* sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. Transformator dipasangn pada bagian atas dan lemari panel / PHB-TR pada bagian bawah. Gardu Portal dengan kapasitas 50 kVA – 100 kVA, 2 jurusan TR, jenis ini dirancang untuk PHB-TR 2 jurusan jaringan tegangan rendah. Sedangkan Gardu Portal kapasitas 160 kVA – 400 kVA, 4 jurusan TR, jenis ini dirancang untuk PHB-TR 4 jurusan Jaringan Tegangan Rendah.



KETERANGAN :

- | | |
|--|--|
| 1. PARALLEL GROOVE (LIVE - LINE - CONNECTOR) | 7. ELEKTRODA BUMI TITIK NETRAL TRANSFORMATOR |
| 2. BIMETAL AL - CU - LUG | 8. ELEKTRODA BUMI DAN LA |
| 3. LIGHTING ARRESTER - LA | 9. ELEKTRODA BUMI BKT |
| 4. FUSED CUT OUT | 10. PIPA GALVANIS Ø 41 MCI |
| 5. TRANSFORMATOR | 11. PIPA GALVANIS Ø 5/8 MCI |
| 6. PHB - TR | 12. JARINGAN TR |
| | 13. RANJAU PANJAT |

Gambar 3.2 Konstruksi Gardu Trafo Tiang Jenis Gardu Portal

3.3. Komponen Utama Konstruksi Gardu Portal

3.3.1. Transformator Distribusi Fasa Tiga

Untuk transformator fasa tiga, merujuk pada SPLN, ada tiga tipe *vector grup* yang digunakan oleh PLN, yaitu Yzn5, Dyn5, Yyn0. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1:2007. Transformator gardu pasangan luar dilengkapi dengan *bushing* Tegangan Menengah isolator kramik. Sedangkan Transformator gardu pasangan dalam dilengkapi *bushing* Tegangan Menengah isolator kramik atau menggunakan isolator *plug-in premoulded*.



Gambar 3.3 Transformator Distribusi fasa tiga

Tabel 3.1 Vektor grup dan daya transformator

No	Vektor Grup	Daya (kVA)	Keterangan
1.	Yzn5	50	Untuk sistem 3 kawat
		100	
		160	
2.	Dyn5	200	Untuk sistem 3 kawat
		250	
		315	
		400	
		500	
		630	
3.	Ynyn0	50	Untuk sistem 4 kawat
		100	
		160	
		200	
		250	
		315	
		400	
		500	
		630	

3.3.2. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)

Materi PHB-TR bisa dilihat pada Bab 4 *Pemeliharaan Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)*.

3.3.3. Peralatan pengukur

1. Transformator Tegangan - *Potential Transformator (PT)*

Fungsinya adalah untuk mentransformasikan besaran tegangan tinggi ke besaran tegangan rendah guna pengukuran atau proteksi dan sebagai isolasi antara sisi tegangan yang diukur atau diproteksikan dengan alat ukurnya / proteksinya. Faktor yang harus diperhatikan

dalam pemilihan Transformator Tegangan adalah batas kesalahan transformasi dan pergeseran sesuai Tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2 Batas kesalahan transformasi Trafo Tegangan

Kelas	% Kesalahan Rasio Tegangan (+/-)	Pergeseran Sudut +/- (Menit)
0,5	0,5	20
1,0	1,0	40

Burden, yaitu beban sekunder dari Transformator Tegangan (PT) terkait dengan kelas, dalam hal ini sangat terkait dengan kelas ketelitian PT-nya. Untuk instalasi pasangan dalam, lazimnya Transformator Tegangan sudah terpasang pada Kubikel pengukuran.

2. Transformtor Arus – *Current Transformtor (CT)*

Transformator Arus adalah salah satu peralatan di Gardu Distribusi, fungsinya untuk mengkonversi besaran arus besar ke arus kecil guna pengukuran sesuai batasan alat ukur, juga sebagai proteksi serta isolasi sirkit sekunder dari sisi primernya. Faktor yang harus diperhatikan pada instalasi Transformator Arus adalah beban (*Burden*) Pengenal dan kelas ketelitian *CT*. Disarankan menggunakan jenis *CT* yang mempunyai tingkat ketelitian yang sama untuk beban 20% - 120 % arus nominal. Nilai *Burden*, kelas ketelitian untuk proteksi dan pengukuran harus merujuk pada ketentuan/persyaratan yang berlaku. Konstruksi Transformator Arus dapat terdiri dari satu kumparan primer (*double primer*).

Untuk konstruksinya sama halnya dengan Transfromator Tegangan, Transformator Arus pasangan luar memiliki konstruksi lebih besar/kokoh dibandingkan konstruksi pasangan dalam yang umumnya *built in* (atau akan dipasangkan) dalam kubikel pengukuran.

3.3.4. Peralatan *Switching* dan pengamanan sisi tegangan menengah

1. *Fused Cut Out (FCO)*

Pengaman lebar untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out (FCO)* dalam bentuk *Fuse Link*. Terdapat tiga jenis karakteristik Fuse link yaitu Tipe K (cepat), Tipe T (lambat) dan Tipe H yang tahan terhadap arus surja.

Data aplikasi pengamanan lebur dan kapasitas Transformator dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Rekomendasi arus pengenal pelebur 24 kV jenis letupan sebagai pengamanan Trafo Distribusi di sisi primer (Sumber SPLN 6: 1985)

Transformator Distribusi		Pelebur/tipe **) arus pengenal (A)				Pelebur sekunder (230/400V)	
Daya Pengenal (kVA)	Arus Nominal (A)	Tipe T		Tipe K		Arus pengenal (A)	
		Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks
Fasa tunggal, $\frac{20kV}{\sqrt{3}}$							
16	1,3856	-	-	6,3	6,3	80	100
25	2,1651	6,3	6,3	6,3	6,3	125	125
50	4,3301	10	10	10	16	250	250
Fasa tiga, 20 kV							
50	1,4434	-	-	6,3	6,3	80	100
100	2,8867	6,3	8	6,3	10	160	200
160	4,6188	10	12,5	10	12,5	250	250
200	5,7735	10	12,5	16	20	315	315
250	7,2169	16	16	16	25	400	400
315	9,0933	20	25	20	31,5	500	500
400	11,5470	25	25	25	40	630	630
500	14,4330	25	31,5	31,5	40	800	800
630	18,1860	40	40	40	63	1000	1000
800	23,0940	50	63	50	80	1250*)	1250*)
1000	28,8670	63	63	63	100	1600*)	1600*)

Catatan : Pemilihan nilai maksimum pelebur sekunder perlu di koordinasikan dengan nilai maksimum pelebur primer

*) diperoleh dengan pelebur paralel

**)Tipe H = pelebur tahan surja kilat

Tipe T = pelebur tipe lambat

Tipe K = pelebur tipe cepat

Apabila tidak terdapat petunjuk yang lengkap, nilai arus pengenal pengamanan lebur sisi primer tidak melebihi 2,5 kali arus nominal

2. *Lightning Arrester (LA)*

Materi *Lightning Arrester (LA)* dapat dilihat pada Bab 7 *Pemeliharaan Lightning Arrester*.

3. Konektor

Konektor adalah komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan kawat penghantar SUTM ke gardu. Jenis konektor yang digunakan untuk instalasi gardu ini ditetapkan menggunakan *live line connector* (sambungan yang bisa dibuka-pasang) untuk memudahkan membuka/memasang pada keadaan bertegangan. Penyadapan trafo dari SUTM dan percabangan harus di depan tiang peletakan trafo dari arah Pembangkit Listrik / Gardu Induk. Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk *live line connector*.



Gambar 3.5 *Live Line Connector*

3.4. Penghantar Pentanahan

Bagian-bagian yang harus ditanahkan pada Gardu Trafo Tiang adalah:

- Titik netral sisi sekunder Transformator.
- Bagian konduktif terbuka (BKT) instalasi gardu.
- Bagian konduktif ekstra (BKE).
- *Lightning Arrester*.

Tabel 3.4 Instalasi pentanahan pada Gardu Distribusi tipe Portal

No	Uaian	Ukuran Minimal Penghantar Pentanahan
1.	Panel PHB TM (Kubikel)	BC 16 mm ²
2.	Rak kabel TM-TR	BC 16 mm ²
3.	Pintu gardu/pintu besi/pagar besi	BC pita 16 mm ²
4.	Rak PHB-TR	BC 50 mm ²
5.	Badan Transformator	BC 50 mm ²
6.	Titik netral sekunder Transformator	BC 50 mm ²

Seluruh terminal pentanahan tersebut disambung pada ikatan penyama potensial pentanahan dan selanjutnya dihubungkan ke elektroda pentanahan. Nilai tahanan pentanahan tidak melebihi 1 Ω . Titik netral Transformator ditanahkan sendiri. Pentanahan *Lightning Arrester (LA)*, pbumian BKT dan BKE, pentanahan titik netral Transformator dilakukan dengan memakai elektroda pentanahan sendiri-sendiri, namun penghantar pentanahan *Lightning Arrester*, BKT dan BKE dihubungkan dengan kawat tembaga 50 mm². Penghantar-penghantar pentanahan dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 5/8 inchi sekurang-kurangnya setinggi 3 meter diatas tanah.

3.5. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 3.5 sampai dengan Tabel 3.8.

Tabel 3.5 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	<i>Toolkit Set</i>
2.	<i>Tang Press</i>
3.	Kain Lap / Kuas

No.	Peralatan Kerja
4.	Stik <i>Grounding</i>
5.	<i>Telescopic Hot Stick</i>
6.	Fuse Puller
7.	Kunci ring pas satu set ukuran 8 s.d 24 mm
8.	Tangga
9.	Tali Tambang
10.	Corong Minyak
11.	Selang Plastik
12.	Pompa Minyak
13.	Kertas Gosok
14.	Botol Kosong Bersih + Tutup

Tabel 3.6 Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	<i>NT/NH Fuse</i> Minyak trafo
2.	<i>Fuse Holder</i>
3.	<i>Ground Road</i>
4.	<i>Valine/Grease Fuse link</i>
5.	Sepatu Kabel
6.	Semen
7.	Alkohol
8.	Majun kaos
9.	Red Verbis 20 kV
10.	<i>Paste / Vaseline</i>
11.	<i>Thiner</i>
12.	<i>Stopping Buckle</i>

Tabel 3.7 Perlengkapan K3

No.	Perlengkapan K3
1.	Helm Pengaman

3.7. Prosedur Percobaan

3.7.1. Pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan Gardu

1. Mempersiapkan peralatan kerja, material kerja, perlengkapan K3 dan alat ukur.
2. Mengukur parameter tegangan operasi Trafo dan arus beban Trafo sebelum memulai pekerjaan.
3. Mengurangi beban Trafo, dengan cara:
 - Untuk pelanggan umum dan beban kecil, maka bukalah satu persatu *NH Fuse*, kemudian bukalah saklar masuk.
 - Untuk pelanggan industri, bukalah saklar utama, kemudian bukalah seluruh *NH Fuse*.
4. Pembebasan tegangan dengan cara membuka *Fused Cut Out (FCO)* menggunakan *Hot Stick*.
5. Hubungkan kabel pentanahan yang sudah dihubungkan ke elektroda pentanahan mulai dari ke empat *Bushing* Trafo sisi tegangan rendah, lalu ketiga *Bushing* Trafo sisi tegangan menengah.
6. Buka kabel / kawat yang terhubung pada terminal kabel masuk dan kabel keluar.
7. Kabel / kawat yang sudah terlepas hubungkan jadi satu dan tersambung pada kabel pentanahan.

3.7.2. Pemeliharaan komponen Gardu Distribusi

1. *Fused Cut Out (FCO)*
 - Periksa kembali baut-baut dudukan *FCO*, kencangkan bila perlu.
 - Periksa kembali baut-baut pada terminal *FCO*, kencangkan bila perlu.
 - Berikan *inhibitor / grease* pada lidah *FCO* dan engsel *FCO*.
 - Sesuaikan penggunaan *fuse-link FCO* berdasarkan kapasitas Trafo

2. *Lightning Arrester*

Silakan dilihat di ***Materi di Bab 7 Pemeliharaan Lightining Arrester.***

3. Transformator

a. *Bushing* Primer:

- Bersihkan isolator *Bushing* dengan lap bersih.
- Periksa simbol urutan fasa pada *Bushing*, tulis yang baru jika sudah terhapus.
- Periksa baut terminal *Bushing*, kencangkan bila perlu.
- Bila dilengkapi dengan *Arching Horn* (kawat baja 10 mm²), periksa kondisinya. Jika rusak diganti dan aturlah jarak *sparking rod* selebar 13 cm (IEC 71 A 1962 dan SPLN 002/pst/73).
- Periksa *seal/rig Bushing*, jika rusak/retak segera ganti untuk menghindari rembesan air/udara masuk.
- Bila ada bekas *flashover* pada *Bushing* primer segera *megger*/ukur tahanan isolasi trafo tersebut.
- Aturlah kawat/konduktor yang menuju *Bushing* agar membentuk seperti leher angsa (untuk menghindari rembesan air melalui ujung *Bushing* primer).

b. *Bushing* Sekunder

- Bersihkan isolator *Bushing* primer dengan lap bersih.
- Periksa baut terminal *Bushing*, kencangkan bila perlu.
- Untuk trafo > 160 kVA, pasang plat tembaga ukuran 4 x 40 x 90 mm pada terminal *Bushing*.
- Periksa *seal/ring Bushing*, jika rusak/retak segera ganti untuk menghindari rembesan air/udara masuk.
- Periksa simbol urutan fasa pada *Bushing*, tulis yang baru jika sudah terhapus.
- Periksa ukuran kabel inlet Trafo, untuk Trafo ≤ 100 kVA ukuran kabelnya NYY 70 mm², untuk Trafo ≥ 160 kVA ukuran kabelnya NYY 150 mm².

- Periksa sepatu kabel pada terminal *Bushing*, jika rusak (terbakar) segera ganti.
- Periksa kondisi kabel inlet Trafo dengan Megger, jika ada *short circuit* dengan *body trafo* atau *LV Board* segera ganti.

c. *Tap Changer*

- Periksa mekanik kerja dari *Tap Changer*.
- Atur posisi *Tap Changer* pada beban kosong sehingga tegangan yang keluar fasa netral 231 Volt (sesuai dengan *nameplate* Trafo)

d. *Body Trafo / Packing*

- Bersihkan badan Trafo (bagian atas dan sirip-sirip Trafo), jika berkarat segera cat total dengan warna abu-abu.
- Kencangkan baut-baut *packing* atau tangki Trafo yang kendur.
- Gantilah *packing* jika ada rembesan oli/oli bocor di *body*Trafo, *Bushing* dan tempat pengambilan sampel minyak.

e. *Arde* Body Trafo

- Periksa pentanahan *body* Trafo, jika tidak ada maka segera pasang arde/pentanahan.
- Periksa baut penghubung kawat pentanahan di *body* trafo dan kerangka *LV board*, jika kendur maka kencangkan.
- Periksa kondisi kawat pentanahan dan ukur besar tahanan pentanahan dari body trafo, nilainya < 5 ohm. Apabila lebih besar maka harus diperbaiki (*lihat Materi Bab 8 Pengukuran Tahanan Pembumian Instalasi Gardu Distribusi*).

4. *LV Board* (PHB-TR)

Proses pemeliharaan *LV Board* dapat dilihat di ***Materi Bab 4 Pemeliharaan Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah, Bagian V Prosedur Percobaan.***

5. SUTR /JTR

Proses pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR) dapat dilihat di ***Materi Bab 5 Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR, Bagian V Prosedur Percobaan).***

3.7.3. Prosedur pengoperasian kembali Trafo setelah pemeliharaan

1. Melepas semua *grounding* yang terpasang di *bushing* Trafo.
2. Lakukan pengecekan secara visual, apakah semua peralatan sudah terpasang dengan baik dan yakinkan tidak ada lagi peralatan kerja yang tertinggal.
3. Masukkan *Fused Cut Out (FCO)* satu persatu.
4. Ukur tegangan masuk di *LV Board* antara fasa-fasa, fasa-netral, bila normal lakukan pembebanan trafo.
5. Operasikan saluran jurusan dengan cara:
 - a. Untuk pelanggan umum: masukan saklar utama, menyusul kemudian *NH Fuse* satu persatu sambil di tes kemungkinan adanya hubung singkat pada saluran jurusan.
 - b. Untuk pelanggan industri: masukan saluran *NH Fuse*, sebelum saklar utama dimasukkan.
6. Ukur parameter-parameter tegangan, arus dan temperature pada mur baut *NH Fuse*, koneksi / sambungan.
7. Bila semua telah selesai dilakukan, dari pengamatan visual dan pengukuran tidak ada kelainan, maka pekerjaan dinyatakan selesai.

3.8. Data Hasil Percobaan

3.8.1. Pengukuran arus

Tabel 3.9 Data hasil pengukuran beban sebelum dan sesudah pemeliharaan

No	Pengukuran Arus (Amper)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Beban Total	Beban Total
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
2.	Beban Jurusan	Beban Jurusan
	1. Jurusan A:	1. Jurusan A:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
	2. Jurusan B:	2. Jurusan B:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
	3. Jurusan C:	3. Jurusan C:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
	4. Jurusan D:	4. Jurusan D:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =

	N =	N =
--	-----	-----

3.8.2. Pengukuran tegangan

Tabel 3.10 Data hasil pengukuran tegangan sebelum dan sesudah pemeliharaan

No	Pengukuran Tegangan (Volt)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Tegangan Fasa-Fasa	Tegangan Fasa-Fasa
	Fasa R-S =	Fasa R-S =
	Fasa S-T =	Fasa S-T =
	Fasa T-R =	Fasa T-R =
2.	Tegangan Fasa-Netral	Tegangan Fasa-Netral
	Fasa R-N =	Fasa R-N =
	Fasa S-N =	Fasa S-N =
	Fasa T-N =	Fasa T-N =

3.8.3. Pengukuran tahanan isolasi Trafo

Tabel 3.11 Data hasil pengukuran tahanan isolasi trafo

No	Pengukuran Tahanan Isolasi Trafo (MΩ)	
1.	Sisi TM - Body	
	R - Body	=
	S - Body	=
	T - Body	=
	R - S	=
	R - T	=
	S - T	=
2.	Sisi TR - Body	
	R - Body	=
	S - Body	=
	T - Body	=
	R - S	=

	R - T	=
	S - T	=
3.	Sisi TM – Sisi TR	
	R - r	=
	S - r	=
	T - r	=
	R - s	=
	S - s	=
	T - s	=
	R - t	=
	S - t	=
	T - t	=

3.8.4. Pengukuran tahanan pembumian

Tabel 2.15 Hasil pengukuran tahanan pembumian

No.	Yang Diukur	Nilai (Ω)
1.	Netral Trafo	
2.	Body Trafo	
3.	<i>Arrester</i>	
4.	Body PHB-TR	

3.8.5. Pemeriksaan urutan fasa

Hasil pemeriksaan urutan fasa : Sesuai / Tidak Sesuai* (* *Coret yang tidak perlu*).

3.9. Contoh Soal

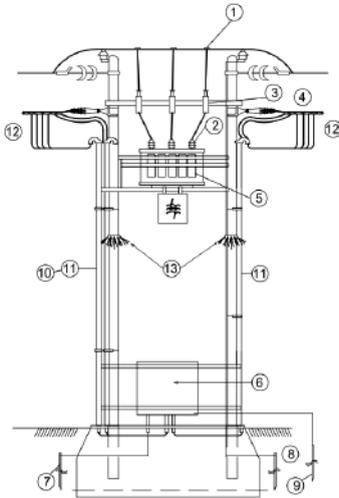
1. Pengukuran arus beban dengan menggunakan *current transformer* atau *potencial transformer* merupakan cara:
 - a. Pengukuran langsung
 - b. Pengukuran tidak langsung
 - c. Pengukuran menggunakan alat ukur
 - d. Pengukuran menggunakan trafo arus

Jawaban: b

2. Jenis Gardu Distribusi dapat dibedakan berdasarkan:
 - a. Pemasangannya, Kapasitasnya, Konstruksinya
 - b. Kapasitasnya, Konstruksinya, Bentuknya
 - c. Pemasangannya, Konstruksinya, Penggunaanya
 - d. Pemasangannya, Konstruksinya, Gardu pemasangan dalam

Jawaban: c

3. Komponen-komponen Gardu Trafo Tiang tipe Portal seperti yang terlihat pada Gambar no. 3, no. 4 dan no 7 adalah:



- a. LA, FCO, Elektroda bumi titik netral trafo
- b. LA, FCO, Elektroda bumi BKT
- c. LA, FCO, Elektroda bumi LA
- d. Semua jawaban salah

Jawaban: a

4. Peralatan pengaman yang dapat berfungsi sebagai pemutus atau penghubung instalasi listrik 20 kV atau pemutus beban yang dapat dioperasikan dalam keadaan bertegangan dan berbeban, serta terpasang pada kabel masuk atau keluar Gardu Distribusi adalah:
 - a. Pemutus tenaga
 - b. *Disconnecting Switch*

- c. Pemisah
- d. Saklar pemutus beban

Jawaban: d

5. Pelebur jenis letupan (*Expulsion*) tahan surja kilat berdasarkan IEC No. 282-2 (1974):
- a. Pelebur jenis letupan tipe-H
 - b. Pelebur jenis letupan tipe-K
 - c. Pelebur jenis letupan tipe-T
 - d. Pelebur jenis letupan tipe-W

Jawaban: a

6. Bagian-bagian yang dibumikan pada Gardu Distribusi adalah:
- a. BKT, Terminal netral sisi TR Trafo Distribusi, LA
 - b. Terminal netral sisi TR Trafo Distribusi, BKT, BKE, LA, Badan Trafo
 - c. Terminal netral sisi TR Trafo Distribusi, BKT, BKE, LA
 - d. BKT, Terminal netral sisi TR Trafo Distribusi, LA, BKE

Jawaban: b

7. Peralatan-peralatan pada Gardu Distribusi yang boleh dibumikan tersendiri adalah:
- a. *Body* PHB-TR
 - b. BKT
 - c. *Lightning Arrester*
 - d. Netral Trafo

Jawaban: c

8. Apabila *FCO* ditempatkan sebelum LA, maka dipilih/dipasang *fuse link* tipe:
- a. H
 - b. K
 - c. T
 - d. W

Jawaban: a

9. Komponen yang dipergunakan untuk menyadap atau mencabangkan kawat penghantar SUTM ke Gardu, adalah:
- Live line connector*
 - Percabangan
 - Line connector*
 - Jawaban a dan c benar

Jawaban: a

10. Instalasi pentanahan pada Gardu Distribusi tipe Portal, ukuran minimal pentanahan yaitu:
- 10 mm²
 - 16 mm²
 - 20 mm²
 - 50 mm²

Jawaban: b

3.10. Latihan Soal

1. Apabila pada saat saudara melakukan pemeliharaan sistem pentanahan pada Gardu Trafo Tiang, ditemukan nilai resistansi penatanahan masih diatas ambang batas yang ditentukan ($R > 5 \Omega$). Jelaskan langkah yang saudara lakukan?
2. Jelaskan secara singkat prosedur pengoperasian kembali Trafo pada Gardu Distribusi setelah dilakukan pemeliharaan?
3. Pada saat melakukan pelaksanaan pekerjaan pemeliharaan Gardu Distribusi, tahapan untuk mengurangi beban Trafo dilakukan dengan cara:

BAB 4

PEMELIHARAAN PERALATAN HUBUNG BAGI TEGANGAN RENDAH (PHB-TR)

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan prinsip kerja PHB-TR.
2. Mampu mengetahui dan menjelaskan komponen-komponen PHB-TR.
3. Mampu memelihara PHB-TR sesuai dengan SOP yang berlaku.

4.1. Pengertian dan Fungsi PHB-TR

PHB-TR adalah suatu kombinasi dari suatu atau lebih Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan. Keseluruhan dirakit lengkap dengan sistem pengawatan dan mekanis pada bagian-bagian penyangganya.

Secara umum PHB-TR sesuai SPLN 118-3-1-1996, untuk pasangan dalam adalah jenis terbuka. Rak PHB-TR pasangan dalam untuk Gardu Distribusi Beton. PHB jenis terbuka adalah suatu rakitan PHB yang terdiri dari susunan penyangga peralatan proteksi dan peralatan hubung bagi dengan seluruh bagian-bagian yang bertegangan, terpasang tanpa isolasi. Jumlah jurusan per-transformator atau Gardu Distribusi sebanyak-banyaknya 8 jurusan, disesuaikan dengan besar daya transformator dan kemampuan hantar arus (KHA) penghantar JTR yang digunakan. Pada PHB-TR harus dicantumkan diagram satu garis, arus pengenal gawai proteksi dan kendali serta nama jurusan JTR. Sebagai peralatan sakelar saluran masuk PHB-TR, dipasangkan pemutus beban (*LBS*) atau *NFB* (*No fuse breaker*).

Pengaman arus lebih (*over current*) jurusan disisi tegangan rendah pada PHB-TR dibedakan atas:

- a. *No Fused Breaker (NFB)*

NFB adalah *breaker*/pemutus dengan sensor arus, apabila ada arus yang melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas *breaker*, maka

sistem *magnetic* dan *bimetallic* pada peralatan tersebut akan bekerja dan memerintahkan *breaker* melepaskan beban.

b. Pengaman Lebur (sekring)

Pengaman lebur adalah suatu alat pemutus yang dengan meleburnya bagian dari komponennya yang telah dirancang dan disesuaikan ukurannya untuk membuka rangkaian dimana sekering tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai tertentu dalam jangka waktu yang cukup (SPLN 64:1985:1).

Fungsi pengaman lebur dalam suatu rangkaian listrik adalah untuk setiap saat menjaga atau mengamankan rangkaian berikut peralatan atau perlengkapan yang tersambung dari kerusakan, dalam batas nilai pengenalnya (SPLN 64:1985:24). Berdasarkan konstruksinya pengaman lebur untuk tegangan rendah dapat digolongkan menjadi:

- Pelebur tabung semi terbuka

Pelebur ini mempunyai harga nominal sampai 1.000 Amper, penggunaannya sebagai pengaman pada saluran induk jaringan tegangan rendah, saluran induk instalasi penerangan maupun instalasi tenaga. Apabila elemen lebur dari pelebur ini putus dapat dengan mudah diganti.

- Pelebur tabung tertutup (tipe *NH* atau *NT*)

Jenis pengaman lebur ini paling banyak digunakan. Pemilihan besar rating pengaman pelebur sesuai dengan kapasitas Transformator dan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Fungsi atau kegunaan PHB-TR yaitu sebagai penghubung dan pembagi atau sebagai pendistribusi tenaga listrik dari *output* Trafo sisi tegangan rendah ke rel pembagi dan diteruskan menuju Jaringan Tegangan Rendah melalui kabel jurusan yang diamankan oleh *NH Fuse* pada jurusan masing-masing.

4.2. Konstruksi PHB-TR

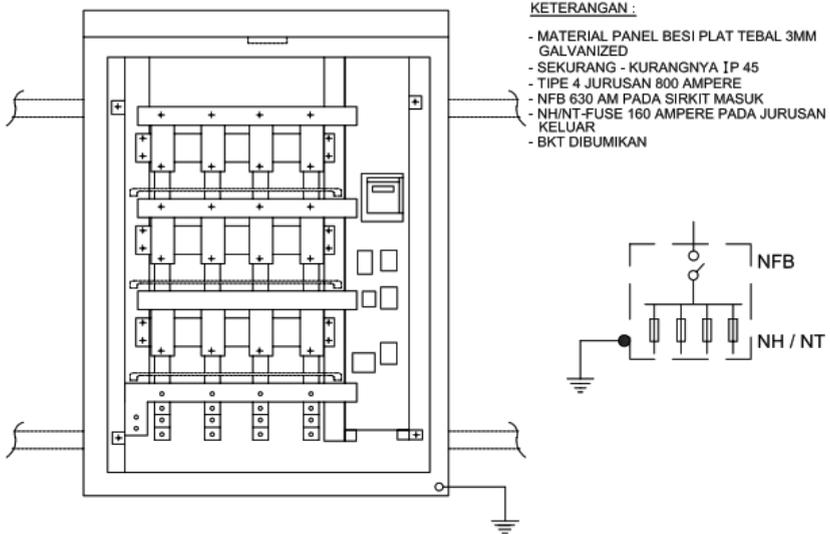
PHB-TR adalah jenis PHB *metalclad* yang tersimpan di dalam lemari panel yang tahan hujan dan debu (sekurang-kurangnya IP 45), minimal terdiri atas:

- Sebuah saklar *NFB* (*No Fuse Breaker*) atau pemisah.
- Sebanyak-banyaknya empat jurusan keluar jaringan tegangan rendah dengan proteksi pengaman lebur jenis *HRC*, (*NH*, *NT Fuse*).

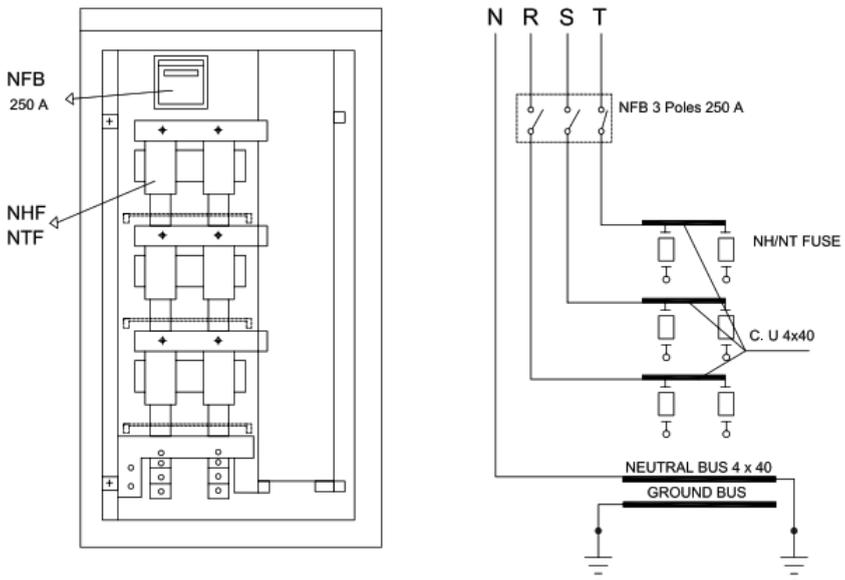
NFB yang dipakai adalah dari jenis tiga pisau dengan penghantar netral tanpa pisau (sistem pengaman *TN-C*). Arus pengenal *NFB* sekurang-kurangnya sama dengan 115% arus nominal Transformator sisi tegangan rendah. Rel atau busbar PHB harus mampu menahan arus hubung singkat dalam waktu singkat (0,5 detik) sekurang-kurangnya 125% dari hasil perhitungan teoritis sesuai dengan karakteristik transformatornya atau sekurang-kurangnya 16 kA selama 0,5 detik (*short time withstand current*). PHB-TR dipasang sekurang-kurangnya 1,2 meter dari permukaan tanah atau bebas terkena banjir. Penghantar antara *PHB-TR* dengan jaringan tegangan rendah dapat memakai kabel *NY* yang dimasukkan ke dalam satu pipa pelindung galvanis namun bukan jenis kabel pilin (*twisted cable*) untuk saluran udara tegangan rendah.



Gambar 4.1 Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)



Gambar 4.2 PHB-TR 4 jurusan Gardu Portal



Gambar 4.3 PHB-TR 2 jurusan Gardu Portal

4.3. Bagian-Bagian PHB-TR

1. Unit Masukan

Sirkuit unit masukan dilengkapi dengan pemutus beban tiga fasa yang didesain untuk tegangan nominal 400 Volt dengan unit-unit pemutus yang dapat terlihat atau dengan unit-unit pemutus di dalam suatu kotak tertutup dengan indikator posisi buka / tutup yang dapat dijamin keandalannya. Untuk hubungan kabel dari Transformator harus dilengkapi pelat/terminal penghubung. Saklar pemutus beban dalam posisi terbuka dapat dikunci dan dapat dioperasikan buka/tutup dengan tangkai operasi (*handle*) yang terletak didepan atau disebelah kanan jika dilihat dari depan saklar.

Jika saklar pemutus beban merupakan jenis putar, maka pusat tangkai putar tidak boleh melebihi tinggi 1 meter dari dasar PHB untuk PHB pasangan dalam dan 0,5 meter untuk PHB pasangan luar. Tangkai operasi dalam posisi tertutup harus membentuk sudut kurang dari 30^o dengan ventilasi.

2. Sistem *Busbar*

Sistem *Busbar* terbuat dari tembaga elektrolit. Pemasangan dan penyambungan hanya dapat dilakukan dengan mur-baut. Pemboran lubang berulir pada tembaga tidak dianjurkan. Kerangka harus disesuaikan untuk pemasangan *busbar* sebagai berikut:

- a. Empat *busbar* kolektor (netral ditempatkan paling bawah atau paling kiri), khusus untuk PHB pasangan dalam, setiap ujung busbar disebelah kanan dibor dengan empat buah lubang untuk kemungkinan perluasan dengan empat keluaran PHB tambahan. Penyambungan dua PHB tersebut dapat dilakukan sebagai berikut:
 - Menggunakan batang tembaga ukuran yang sama dengan *busbar* kolektor.
 - Menggunakan pelat/pita tembaga anyaman dengan ukuran yang sama dengan *busbar* kolektor.
 - Menggunakan kabel dengan konektor.

- b. Tiga *busbar* penghubung untuk menghubungkan *busbar* kolektor ke saklar pemutus beban. *Busbar* netral ditempatkan paling kiri jika dilihat dari depan PHB.
- c. Setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka dengan tiga *busbar* fasa vertikal. Dalam hal ini konduktor netral tersambung pada bagian bawah penjepit pemisah netral keluaran.

Jarak bebas dan jarak rambat untuk *busbar* tembaga dan hubungannya sekurang-kurangnya harus sesuai dengan jarak bebas dan jarak rambat pada peralatan yang langsung berhubungan dengannya (contoh: saklar utama). Jarak tersebut harus tetap dipertahankan sepanjang bingkai dan harus terpasang kuat padaudukannya sehingga tidak akan berubah jika tidak terjadi gaya dinamis dan termis akibat hubungan singkat. *Busbar* tembaga harus dicat dengan warna sebagai berikut:

- *Busbar* Fasa : Merah, kuning, hitam.
- *Busbar* Netral : Biru
- *Busbar* Pembumian : Hijau dengan strip kuning.
- *Busbar* sambung harus diberi lapisan timah atau perak

3. Unit Keluaran

a. Pengaman lebur *NH-Fuse*

Sebagai pengaman Trafo terhadap arus lebih yang terpasang di sisi tegangan rendah 220 V, untuk melindungi Trafo terhadap gangguan arus lebih yang disebabkan karena hubung singkat di jaringan tegangan rendah karena beban lebih.

b. Penghubung netral

Nilai pengenalan arus dan penghubung netral arus sama dengan nilai pengenalan nominal unit pengaman lebur untuk fasa. Jepitan harus sama juga dengan urutan pengaman lebur untuk fasa.

c. Hubungan keluaran

Hubungan keluaran melalui bagian bawah dari perangkat hubung bagi dan harus terdiri dari tiga terminal penghubung fasa dan satu terminal penghubung netral. Terminal penghubung harus didesain sehingga dapat digunakan untuk kabel tembaga dengan luas penampang

maksimum 150 mm² dan harus disediakan lubang yang sesuai dengan diameter 13 mm² lengkap dengan ring dan mur baut.

d. Pemisah Isolasi

Setiap dua atau lebih unit-unit pengaman lebur kutub tunggal fasa yang sama harus dipisahkan dari fasa-fasa lainnya dengan pemisah isolasi. Dibagian bawah PHB, pemisah *vertical* harus dipasang untuk memisahkan setiap keluaran. Pemisah *vertical* tersebut dapat dipindahkan sepanjang palang isolasi dan terbuat dari bahan yang kokoh dan tahan air.

e. Penghalang

Penghalang didesain untuk menutup setiap keluaran utama jika tiga buah pelebur *HRC* dilepas. Terbuat dari bahan yang kokoh dan tahan air serta dapat diukur untuk pengamanan.

f. Pemeriksaan

Pemeriksaan harus dapat dilakukan dengan memasukan tang amper meter pada setiap fasa keluaran, tepat di bawah setelah penjepit bawah urutan pengaman lebur. Untuk maksud tersebut harus tersedia ruang bebas sepanjang 50 mm²

g. Penandaan

Netral dan fasa dari setiap keluaran harus diberi penandaan yang sesuai: N; 1; 2; 3 /N; R; S; T /Biru, Merah, Kuning, Hitam. Penulisan tanda harus ditempatkan dekat dengan terminal kabel dan harus tetap terlihat jika konektor kabel terpasang pada terminal keluaran. Di atas setiap unit keluaran harus terpasang tempat label / penandaan yang terbuat dari bahan tahan karat dengan ukuran 80 x 30 mm².

4. Peralatan bantu

Suatu panel secara permanen terpasang pada kerangka peragkat hubung bagi untuk menampung atau tempat pemasangan beberapa peralatan sebagai berikut:

- Satu keluaran untuk lampu penerangan gardu distribusi.
- Satu keluaran untuk lampu penerangan umum.
- Tiga amper meter.

- Satu keluaran untuk lampu indikator hubung singkat.
- Kotak kontak dan lain-lain.

4.4. Spesifikasi Teknik PHB-TR

Spesifikasi teknis Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Spesifikasi teknis PHB-TR

No	Uraian	Spesifikasi
1.	Arus pengenal saklar pemisah	Sekurang-kurangnya 115% I_n transformator distribusi
2.	KHA rel PHB	Sekurang-kurangnya 125% arus pengenal saklar pemisah.
3.	Arus pengenal pengaman lebur	Tidak melebihi KHA penghantar sirkit keluar.
4.	<i>Short breaking current</i> (rms)	Fungsi dari kapasitas transformator dan tegangan impedansinya.
5.	<i>Short making current</i> (peak)	Tidak melebihi 2,5 x <i>short breaking current</i>
6.	<i>Impulse voltage</i>	20 kV
7.	Indeks proteksi-IP untuk PHB pasangan luar	Disesuaikan dengan kebutuhan, namun sekurang-kurangnya IP-45

* I_n = Arus nominal sisi sekunder transformator.

4.5. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.5.

Tabel 4.2 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	<i>Toolkit Set</i>

No.	Peralatan Kerja
2.	Tang Press
3.	Kain Lap / Kuas
4.	Stik <i>grounding</i>
5.	<i>Telescopic hot stick</i>
6.	Fuse Puller
7.	Kunci ring pas satu set ukuran 8 s.d 24 mm

Tabel 4.3. Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	<i>NT/NH Fuse</i>
2.	<i>Fuse holder</i>
3.	Vaseline/Grease
4.	Sepatu kabel

Tabel 4.4 Perlengkapan K3

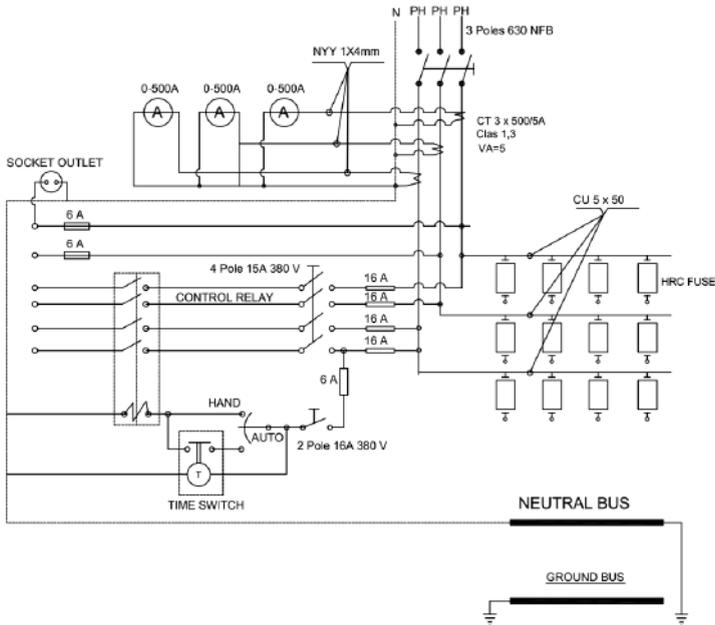
No.	Perlengkapan K3
1.	Helm Pengaman
2.	Sepatu pengaman
3.	Kaca mata (<i>safety glass</i>)
4.	Sarung tangan karet
5.	Pakaian kerja (<i>wearpack</i>)
6.	Full Body Harness
7.	Kotak P3K

Tabel 4.5 Alat Ukur

No.	Alat Ukur
1.	<i>Earth Resistance Tester (megger grounding)</i>
2.	<i>Insulation Tester (megger isolasi)</i>
3.	Tester tegangan

No.	Alat Ukur
4.	Avo Meter
5.	Tang Amper Meter

4.6. Rangkaian Percobaan



Gambar 4.4 Diagram satu garis PHB-TR pada Gardu Portal

4.7. Prosedur Percobaan

4.7.1. Prosedur pemeliharaan dalam keadaan bertegangan

Prosedur pemeliharaan PHB-TR pada Gardu Distribusi dalam keadaan bertegangan:

1. Ukur dan catat beban dan tegangan pada saklar utama dan saluran keluar.
2. Bandingkan hasil ukur arus pada amper meter di PHB-TR dengan hasil pengukuran dengan Tang Amper Meter.
3. Ukur dan catat suhu alat sambung-hubung pada saklar utama dan *fuse* pengaman saluran.

4. Amati dan catat adanya kelainan-kelainan pada PHB-TR dalam keadaan beroperasi.

4.7.2. Prosedur pemeliharaan dalam keadaan bebas tegangan

Prosedur pemeliharaan PHB-TR pada Gardu Distribusi dalam keadaan bebas tegangan Gardu Pasangan Luar.

1. Prosedur pemadaman sebelum pemeliharaan
 - a. Kurangi beban Trafo, dengan cara melepas satu-persatu *NH-Fuse*, bila beban tidak terlalu besar.
 - b. Buka *Fuse Cut Out (FCO)*.
 - c. Hubungkan kabel pentanahan yang sudah dihubungkan ke elektroda pentanahan, dimulai dari ke empat *Bushing* Trafo sisi tegangan rendah, lalu ketiga *Bushing* Trafo sisi tegangan menengah.
 - d. Buka kabel / kawat yang terhubung pada terminal kabel masuk dan kabel keluar.
 - e. Kabel / kawat yang sudah terlepas hubungkan jadi satu dan tersambung pada kabel pentanahan.
 - f. Lakukan pemeriksaan kondisi PHB-TR.
 - g. Dari hasil kegiatan yang sudah dilakukan, diambil kesimpulan:
 - PHB-TR dalam keadaan baik dan layak dioperasikan.
 - PHB-TR dalam keadaan kurang baik, perlu ada perbaikan sebelum dioperasikan.
 - PHB-TR dalam keadaan rusak, perlu penggantian.
2. Prosedur pemeliharaan PHB-TR
 - a. Gunakan peralatan kerja dan peralatan K3 sesuai dengan kebutuhan
 - b. Yakinkan PHB-TR sudah bebas tegangan.
 - c. Buka saklar utama.
 - d. Lepaskan seluruh *NH Fuse*.
 - e. Periksa kondisi dan kerja saklar utama.

- Adanya kotoran pada terminal-terminalnya, bersihkan dengan menggunakan kain dan cairan yang mudah menguap dan bila terlalu tebal, gosok dengan sabut plastik hijau.
 - Adanya kotoran pada alat-alat kontak (saklar jenis terbuka) lakukan hal yang sama seperti di atas.
 - Adanya tidak keserempakan buka-tutup alat hubung saklar utama, perbaiki mekanismenya dan bila perlu, ganti dengan yang baru.
 - Ukur tahanan kontakannya, nilainya tidak boleh melebihi $100 \mu\Omega$.
 - Ukur tahanan isolasi antara fasa-fasa dan fasa-*body*, nilai minimal tahanan isolasinya adalah $1.000 \times$ tegangan kerja.
3. Prosedur pemeliharaan *NH-Fuse* dan *Ground Plate*
- a. Periksa kesesuaian nilai *fuse* terhadap *ground plate*-nya.
 - b. Periksa kerapatan penjepit pisau *NH-Fuse*, setel kembali per-nya.
 - c. Adanya kotoran pada penjempit *ground plate* dan pisau *NH-Fuse* bersihkan dengan kuas atau kain lap dan cairan yang mudah menguap.
 - d. Adanya kotoran pada terminal *ground plate* lakukan hal yang sama seperti diatas.
 - e. Ukur tahanan isolasi terminal masuk maupun keluar *ground plate* terhadap *body*. Nilai tahanan isolasi minimal $1.000 \times$ tegangan kerja.
 - f. Periksa kondisi *busbar* dan *isolator* dudukannya.
 - g. Periksa kekencangan pengikat mur-baut antara terminal masuk *ground plate NH-Fuse* dengan *busbar*.
4. Prosedur pemeliharaan alat ukur peralatan bantuannya
- a. Periksa pengawatan alat-alat ukur dan alat bantuannya.
 - b. Periksa lampu tes tegangan.
 - c. Periksa lampu penerangan PHB-TR / Gardu.
 - d. Ukur nilai tahanan pentanahan kerangka PHB-TR dan netral tegangan rendah trafo.

- e. Nilai tahanan pentanahan kerangka maksimal $1,7 \Omega$.
 - f. Nilai tahanan pentanahan netral tegangan rendah trafo maksimal 5Ω .
 - g. Yakinkan pemeliharaan telah selesai dilakukan dan PHB-TR siap dioperasikan kembali.
5. Prosedur pengoperasian kembali PHB-TR sesudah pemeliharaan
- a. Pasang kembali kabel / kawat pada terminal sisi masuk dan sisi keluar.
 - b. Lepaskan kawat pentanahan.
 - c. Periksa keadaan disekitar Trafo dan yakinkan PHB-TR aman dioperasikan.
 - d. Masukkan *FCO*.
 - e. Ukur tegangan dan urutan fasa sisi TR, pastikan bahwa besarnya tegangan dan urutan fasa sudah benar.
 - f. Masukkan saklar utama, amati adanya kelainan-kelainan.
 - g. Ukur tegangan pada busbar TR, yakinkan besarnya tegangan fasa-fasa dan fasa-netral sudah benar.
 - h. Operasikan saluran jurusan dengan cara:
 - Untuk pelanggan umum, masukan saklar utama, kemudian *NH-Fuse* satu persatu sambal ditest kemungkinan adanya hubung singkat pada saluran jurusan.
 - Untuk pelanggan industri, masukan saluran *NH-Fuse*, sebelum saklar utama dimasukan.

4.8. Data Hasil Percobaan

4.8.1. Pengukuran arus

Tabel 4.6 Data hasil pengukuran beban sebelum dan sesudah pemeliharaan

No	Pengukuran Arus (Amper)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Beban Total	Beban Total
	R =	R =

	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
2.	Beban Jurusan	Beban Jurusan
	1. Jurusan A:	1. Jurusan A:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
	2. Jurusan B:	2. Jurusan B:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
	3. Jurusan C:	3. Jurusan C:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =
	4. Jurusan D:	4. Jurusan D:
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =
	N =	N =

4.8.2. Pengukuran tegangan

Tabel 4.7 Data hasil pengukuran tegangan sebelum dan sesudah pemeliharaan

No	Pengukuran Tegangan (Volt)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Tegangan Fasa-Fasa	Tegangan Fasa-Fasa

	Fasa R-S =	Fasa R-S =
	Fasa S-T =	Fasa S-T =
	Fasa T-R =	Fasa T-R =
2.	Tegangan Fasa-Netral	Tegangan Fasa-Netral
	Fasa R-N =	Fasa R-N =
	Fasa S-N =	Fasa S-N =
	Fasa T-N =	Fasa T-N =

4.8.3. Pengukuran tahanan isolasi

Tabel 4.8 Data hasil pengukuran tahanan isolasi PHB-TR

No	Pengukuran Tahanan Isolasi (M Ω)
1.	Fasa R - S =
2.	Fasa S -T =
3.	Fasa T-R =
4.	Fasa R – Netral =
5.	Fasa S – Netral =
6.	Fasa S – Netral =

4.8.4. Pengukuran tahanan pembumian

Tabel 4.9 Hasil pengukuran tahanan pembumian / BKT (Body PHB-TR)

No.	Yang Diukur	Nilai (Ω)
1.	Bagian konduktif terbuka / Body PHB-TR	

4.8.5. Pemeriksaan urutan fasa

Hasil pemeriksaan urutan fasa : Sesuai / Tidak Sesuai* (* *Coret yang tidak perlu*)

4.9. Contoh Soal

1. Komponen-komponen tenaga listrik yang terdapat pada peralatan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) yang paling lengkap adalah:
 - a. *LBS, NH fuse, CT, Rel Fasa, Rel PE, Rel Netral, Fuse Puller, Ampermeter, Stop Kontak, Lampu indikator*
 - b. *LBS, NH fuse, CT, Rel Fasa, Rel PE, Rel Netral, Fuse Puller, Ampermeter, Voltmeter*
 - c. *LBS, NH fuse, CT, Rel Fasa, Rel PE, Rel Netral, Fuse Puller, Voltmeter, Pilot Lamp*
 - d. *LBS, NH fuse, CT, Rel Fasa, Rel PE, Rel Netral, Fuse Puller, Ampermeter, Elektroda Batang*

Jawaban : a

2. Untuk menentukan/menghitung kapasitas saklar utama dan kapasitas pengaman jurusan pada PHB-TR
 - a. Kapasitas Trafo Tenaga dibagi tegangan kerja dan Nilai arus kapasitas saklar utama dibagi banyaknya jurusan.
 - b. Kapasitas Trafo Tenaga dibagi akar tiga dikali tegangan kerja dan nilai arus kapasitas saklar utama dibagi banyaknya jurusan.
 - c. Kapasitas Trafo Tenaga dibagi 3 dikali 380 V dan Nilai arus kapasitas saklar utama dibagi banyaknya jurusan.
 - d. Semua jawaban benar

Jawaban : b

3. Diketahui kapasitas Transformator 630 kVA, 4%, 20 kV/380 Volt. Berapa kemampuan hantar arus penghantar Transformator PHB-TR?
 - a. 110 Amper
 - b. 1196 Amper
 - c. 1100 Amper
 - d. 1,196 A

Jawaban: c

4. Diketahui kapasitas Transformator 630 kVA, 4%, 20 kV/380 Volt. Berapa kemampuan arus hubung singkat untuk konstruksi rel PHB-TR (*Short time withstand current*)?
- 29900 Amper
 - 29,9 kA
 - 30 kA
 - Semua jawaban benar

Jawaban : d

5. Pengaman arus lebih jurusan disisi tegangan rendah pada PHB-TR yaitu:
- NFB* dan Pengaman lebur
 - NH-Fuse* dan *NT-Fuse*
 - NH-Fuse* dan Pengaman lebur
 - Semua jawaban benar

Jawaban : a

6. Arus pengenal *NFB* sekurang-kurangnya sama dengan :
- 125 % arus nominal transformator sisi tegangan rendah
 - 115 % arus nominal transformator sisi tegangan rendah
 - Arus nominal transformator sisi tegangan rendah
 - 100 % arus nominal transformator tegangan rendah

Jawaban : b

7. Peralatan pengaman yang terpasang di sisi tegangan rendah, untuk melindungi trafo terhadap gangguan arus lebih adalah:
- NFB*
 - LBS*
 - NH-Fuse*
 - Pengaman lebur

Jawaban : c

8. Arus lebih yang terjadi pada sirkit pada waktu tidak ada gangguan listrik, yang melampui nilai arus pengenal perlengkapan listrik atau alat proteksi listrik disebut dengan
- Arus lebih

- b. Arus gangguan
- c. Arus Pengenal
- d. Arus beban lebih

Jawaban : d

9. Bagian dari instalasi listrik tidak bertegangan namun dapat bertegangan jika terjadi kegagalan isolasi adalah
- a. Bagian Konduktif Terbuka
 - b. Bagian Konduktif
 - c. Bagian Konduktif Ekstra
 - d. Semua Jawaban Benar

Jawaban : a

10. Secara umum ada tiga hal yang harus dijaga kualitasnya dalam penyaluran tenaga listrik, yaitu:
- a. Kontinuitas, Kualitas, Performa
 - b. Frekuensi, Tegangan, Keandalan
 - c. Tegangan, Frekuensi, SAIDI
 - d. Frekuensi, SAIDI, SAIFI

Jawaban : b

4.10. Latihan Soal

1. Jelaskan tahapan dalam melakukan pemeliharaan PHB-TR dalam keadaan tidak bertegangan.
2. Jelaskan tahapan pemeliharaan *NH-Fuse* dan *ground plate* pada PHB-TR.
3. Pada saat dilakukan pemeliharaan PHB-TR diperoleh nilai arus hasil pengukuran pada masing-masing jurusan (4 Jurusan) memiliki nilai yang berbeda satu sama lain. Langkah apa yang saudara lakukan untuk memperbaiki masalah tersebut?

BAB 5

PEMELIHARAAN SALURAN UDARA TEGANGAN RENDAH (SUTR)

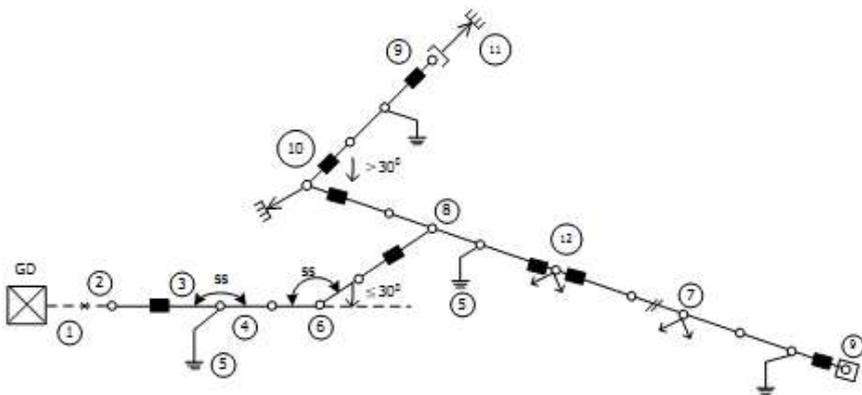
Capaian Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan komponen-komponen yang ada pada saluran udara tegangan rendah (SUTR).
2. Mampu melakukan pemeliharaan saluran udara tegangan rendah (SUTR) sesuai dengan *SOP* yang berlaku.

5.1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jaringan Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu jaringan sistem tenaga listrik. Jaringan Tegangan Rendah dimulai dari Gardu Distribusi dengan bentuk jaringan radial.

Monogram jaringan distribusi tegangan rendah saluran udara kabel *Twisted* fasa 3 dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Jaringan distribusi tegangan rendah saluran udara kabel pilin (*twisted*) fasa 3

Keterangan Gambar:

GD : Gardu Distribusi

—○— : Penghantar

1 : Kabel bawah tanah

- 2 : Tiang awal
- 3 : Penghantar
- 4 : Tiang penumpu
- 5 : Pembumian
- 6 : Tiang sudut kecil ($\leq 30^\circ$).
- 7 : Tiang perengang.
- 8 : Tiang *Tee Off*
- 9 : Tiang Ujung
- 10 : Titik pembumian
- 11 : *Guy Wire*
- 12 : Tiang Seksi
-  : Konstruksi *FDE (Fixed Dead End)* atau *ADE (Adjustable Dead End)*
-  : Konstruksi *Suspension (SS)*
-  : Konstruksi Tiang seksi (*section pole*) untuk sambungan 2 penghantar yang berbeda ukurannya

Terdapat dua jenis konstruksi jaringan distribusi tegangan rendah sesuai dengan sistemnya:

- Konfigurasi fasa 3 menggunakan kabel pilin (*twisted cable*) dengan 3 penghantar fasa dan 1 netral.
- Konfigurasi fasa 2 menggunakan kabel pilin (*twisted cable*) dengan 2 penghantar fasa + 1 netral atau penghantar BC atau AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*).

Kedua sistem tersebut berdiri pada tiang sendiri atau di bawah saluran udara tegangan menengah (*underbuilt*). Jenis tiang yang digunakan adalah tiang beton berukuran panjang 9 m dengan 1/6 kedalaman penanaman kali panjang tiang. Untuk jaringan tegangan rendah, beban kerja (*working load*) tiang yang dipakai adalah 160 daN, 200 daN, 350 daN dan 500 daN (1 daN = 1,01 Kg . gaya)

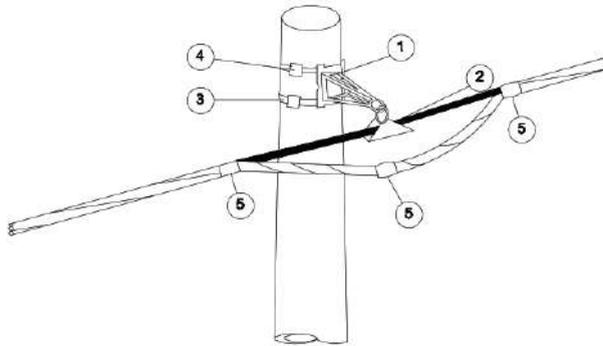
5.1.1. Komponen utama konstruksi Jaringan Tegangan Rendah

Terdapat sejumlah komponen utama konstruksi pada Jaringan Tegangan Rendah:

- Tiang beton
- Penghantar kabel pilin udara (NFA2Y).
- Penghantar kabel bawah tanah (NYFGby).
- Perlengkapan hubung bagi dengan kendali.

- *Tension bracket.*
- *Strain clamp.*
- *Suspension bracket.*
- *Suspension clamp.*
- *Stainless steel strip.*
- *Stopping buckle.*
- *Link.*
- *Plastic strap.*
- *Joint sleeve press type (Al-Al; Al-Cu).*
- *Connector press type.*
- *Piercing connector type.*
- *Elektroda pembumian.*
- *Penghantar pembumian*
- *Pipa galvanis.*
- *Turn buckle.*
- *Guy-wire insulator.*
- *Ground anchor set.*
- *Steel wire.*
- *Guy anchor.*
- *Collar bracket.*
- *Terminating thimble.*
- *U-clamp.*
- *Connector block.*

Gambar komponen utama konstruksi saluran udara tegangan rendah diperlihatkan pada Gambar 5.2



Gambar 5.2 Komponen utama saluran udara tegangan rendah (SUTR)

Keterangan:

- 1 : *Suspension bracket*
- 2 : *Suspension clamp*
- 3 : *Stainless steel strap*
- 4 : *Stopping buckle*
- 5 : *Plastic strap*

5.1.2. Spesifikasi teknis material

1. Tiang

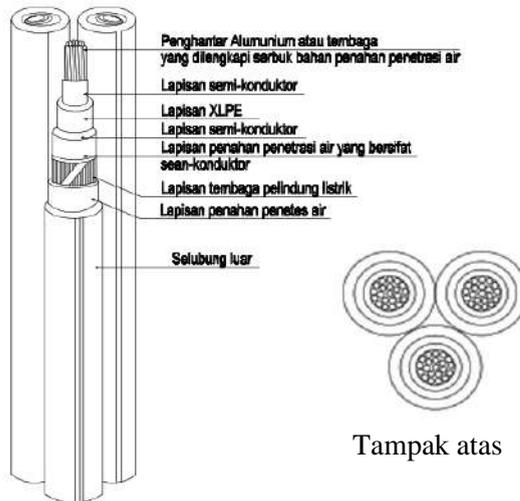
Untuk konstruksi jaringan SUTR yang berdiri sendiri dipakai tiang beton atau tiang besi dengan panjang 9 meter. Tiang beton yang dipakai dari berbagai jenis yang memiliki kekuatan beban kerja (*working load*) 200 daN, 350 daN dan 500 daN (dengan angka faktor keamanan tiang = 2). Pada titik yang memerlukan pembumian dipakai tiang beton yang dilengkapi dengan terminal pembumian. Pada dasarnya pemilihan kemampuan mekanis tiang SUTR berlandaskan kepada empat hal, yaitu:

- Posisi fungsi tiang (tiang awal, tiang tengah, tiang sudut).
- Ukuran penghantar.
- Jarak andongan (*sag*).
- Tiupan angin.

Tiang besi dipergunakan untuk konstruksi pada lingkungan dimana tiang beton tidak mungkin dipasang.

2. Penghantar

Jenis penghantar yang dipergunakan adalah kabel pilin udara (NFA2Y) *aluminium twisted cable* dengan inti aluminium sebagai inti penghantar fasa dan *almelec/aluminium alloy* sebagai netral. Penghantar netral dengan ukuran $3 \times 35 + N$, $3 \times 50 + N$, $3 \times 70 + N$ berfungsi sebagai pemikul beban mekanis kabel.



Gambar 5.3 Penghantar kabel pilin

3. Pole Bracket

Terdapat dua jenis komponen *pole bracket* :

- *Tension bracket*, dipergunakan pada tiang ujung dan tiang sudut, *breaking capacity* 1000 daN terbuat dar *aluminium Alloy*.
- *Suspension bracket* dipergunakan pada tiang sudut dengan sudut lintasan sampai dengan 30^0 . *Breaking capacity* 700 daN terbuat dari *aluminium alloy*.

Ikatan *pole bracket* pada tiang memakai *stainless teel strip* atau baut *galvanized M30* pada posisi tidak melebihi 15 cm dari ujung tiang.

4. Strain Clamp

Strain Clamp atau *clamp Tarik* dipakai pada *pole bracket* tipe *tension bracket*. Bagian penghantar yang dijepit adalah penghantar netral.

5. Suspension Clamp

Fungsi *suspension clamp* adalah menggantung bagian penghantar netral pada tiang dengan sudut lintasan jaringan sampai dengan 30° .

6. *Stainless steel strip*

Pengikat *pole bracket* pada tiang yang diikat mati dengan *stopping buckle*. Dibutuhkan lebih kurang 120 cm untuk tiang.

7. *Plastic Strip (plastic tie)*

Plastic strip digunakan untuk mengikat kabel pilin terurai agar terlihat rapi dan kokoh.

8. Penghantar Pembumian dan *Bimetal Joint*

Untuk tiang yang tidak dilengkapi fasilitas pembumian, penghantar yang diperlukan adalah kawat tembaga (BC). Sambungan penghantar BC dengan penghantar netral jaringan tidak boleh langsung, tetapi harus menggunakan bimetal joint. Sambungan ke penghantar netral yang memakai kabel aluminium, sambungan ke penghantar pembumian menggunakan Bimetal *Joint Al-Cu*.

5.2. Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik

Sambungan tenaga listrik pelanggan merupakan bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik, yaitu penghantar baik di atas maupun di bawah tanah termasuk peralatannya sebagai bagian instalasi PLN yang merupakan sambungan antara jaringan tenaga listrik milik PLN dengan instalasi milik pelanggan untuk menyalurkan tenaga listrik.

Berdasarkan jenis tegangannya dibagi atas:

- Sambungan tenaga listrik tegangan menengah (SLTM)
- Sambungan tenaga listrik tegangan rendah (SLTR)

Berdasarkan sistem fasanya dibagi atas:

- Sambungan fasa 1
- Sambungan fasa 3

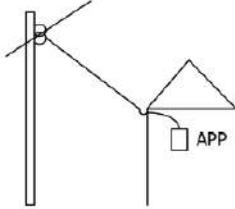
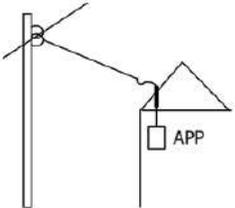
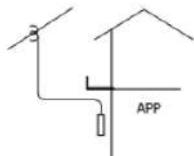
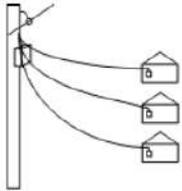
1. Jenis konstruksi sambungan tenaga listrik tegangan rendah

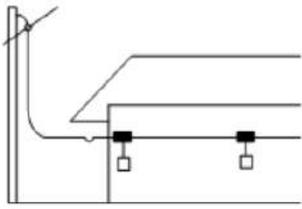
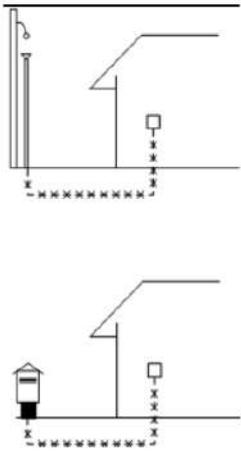
Konstruksi sambungan tenaga listrik tegangan rendah dimulai dari titik sambung di jaringan tegangan rendah sampai dengan alat pembatas dan pengukur (APP) pada bangunan pelanggan baik melalui

saluran udara maupun bawah tanah. Batas tingkat mutu pelayanan adalah +5 % sampai -10 % dari tegangan pelayanan secara keseluruhan. Jatuh tegangan pada sambungan tenaga listrik dibatas 1 % dan untuk listrik pedesaan 2 %.

Sambungan tenaga listrik tegangan rendah secara umum dibatasi atas dua bentuk konstruksi sambungan sebagaimana pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Konstruksi sambungan tenaga listrik tegangan rendah

	Jenis sambungan	Gambar	Penggunaan
1.	Sambungan langsung tanpa tiang atap		Rumah pelanggan secara umum
2.	Sambungan dengan tiang atap		Rumah pelanggan secara umum
3.	Sambungan mendatar tanpa tiang atap		Jarak rumah dengan tiang dekat, kurang dari 3 meter
4.	Sambungan Terpusat		Sekelompok pelanggan – maksimum 9 pelanggan, disambung dengan keadaan lemari APP terpusat

	Jenis sambungan	Gambar	Penggunaan
5.	Sambungan Seri rumah kopel		Rumah-rumah petak, ruko, kabel di tempel di dinding (<i>clipped – on the wall</i>)
6.	Sambungan dengan Kabel tanah a. Melalui Saluran Udara b. Melalui Saluran Kabel Bawah Tanah		- Daerah-daerah khusus - Perumahan-perumahan eksklusif

2. Jenis Kabel

Sambungan tenaga listrik tegangan rendah pasangan luar memakai jenis kabel pilin (NFAAX-T) dengan inti Aluminium. Pada bagian yang memasuki rumah pelanggan, kabel harus dilindungi dengan pipa PVC atau *flexible conduit*. Luas penampang penghantar yang dipakai 10 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm².

Sambungan pelayanan yang memakai kabel tanah berisolasi dan berselubung termoplastik dengan perisai kawat baja (NYFGbY) dengan ukuran penampang 16 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm², dan 95 mm².

3. Area pelayanan sambungan tenaga listrik tegangan rendah

Jauh jangkauan kabel dibatasi oleh tegangan jatuh (ΔV) sebesar 1 %. Jarak kabel adalah jarak antara titik sambung pada JTR dengan papan

meter. Panjang kabel tidak melebihi 30 meter sedangkan untuk listrik pedesaan diperbolehkan sampai 60 meter. Kabel untuk pelayanan ini tidak dibenarkan menyebrang (*crossing*) jalan raya.

4. Jarak aman

Sambungan tenaga listrik tegangan rendah tidak boleh terjangkau oleh tangan menghalangi lalu lalang kendaraan, kabel tidak boleh menyentuh bangunan dan pohon.

5.3. Pembumian pada jaringan distribusi tegangan rendah

1. Pembumian proteksi pada jaringan tegangan rendah memakai pola TN-C. penghantar netral jaringan dibumikan setiap 5 tiang (± 200 meter) dengan titik pembumian pertama pada tiang kedua dari tiang awal dan satu tiang sebelum tiang terakhir.
2. Besar nilai pembumian satu elektroda maksimal 10 Ω . Tahanan total pada gardu dan JTR maksimal 5 Ω .
3. Pada sistem *multi grounded common netral*, penghantar netral sistem tegangan rendah juga menjadi penghantar netral sistem tegangan menengahnya. Ketentuan pada standar konstruksi di PLN pada setiap tiang, penghantar tersebut dihubungkan dengan terminal pembumian tiang, namun hubungan dengan elektroda pembumian dilakukan pada tiap lima tiang.

5.4. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai dengan Tabel 5.5.

Tabel 5.2 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	<i>Toolkit Set</i>
2.	<i>Tang Press</i>
3.	Tangga
4.	<i>Grounding Set</i>

No.	Peralatan Kerja
5.	Tali / Tambang
6.	<i>Power Pull</i>
7.	<i>Fuse Pooler</i>
8.	<i>Track Stainless</i>
9.	Taspen
10.	Seling
11.	Selang Plastik
12.	Katrol dan kaki tiga
13.	Kertas gosok

Tabel 5.3 Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	Kabel sku sesuai dengan ukuran dan kebutuhan
2.	<i>Joint press</i>
3.	Isolasi
4.	<i>Tap connector</i> sesuai kebutuhan
5.	Asesoris JTR Lengkap
6.	<i>Travers TR</i>
7.	<i>Binding Wire</i>
8.	Tali Karung (Henef)
9.	Tiang Besi/beton cor
10.	Material <i>Treck Schoor</i>

Tabel 5.4 Perlengkapan K3

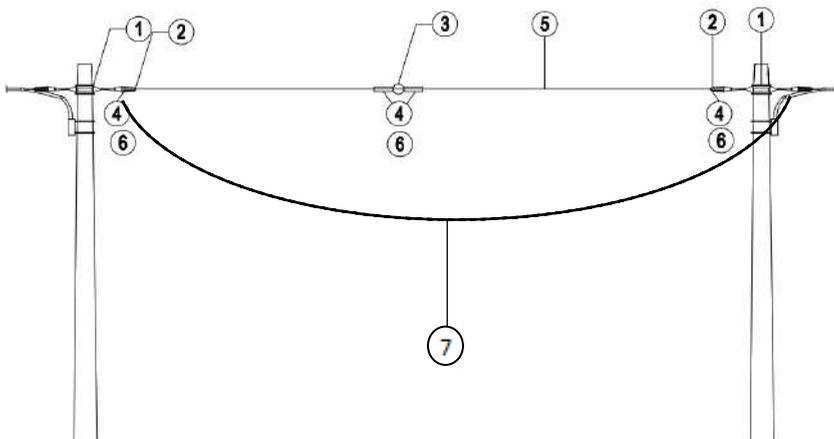
No.	Perlengkapan K3
1.	Helm Pengaman
2.	Sepatu pengaman 20 kV
3.	Kaca mata (<i>safety glass</i>)
4.	Sarung tangan 20 kV

No.	Perlengkapan K3
5.	Pakaian kerja (<i>wearpack</i>)
6.	<i>Full Body Harness</i>
7.	Kotak P3K
8.	Sarung tangan kain

Tabel 5.5 Alat Ukur

No.	Alat Ukur
1.	<i>Earth Resistance Tester (megger grounding)</i>
2.	<i>Insulation Tester (megger isolasi)</i>
3.	Phase secunece indicator
4.	Avo Meter
5.	Tang Amper Meter

5.5. Rangkaian Percobaan



Gambar 5.4 Rangkaian percobaan

Keterangan:

- 1 : *Fixing collar double bolt*
- 2 : *Turn Buckle*
- 3 : *Guy Insulator*
- 4 : *End preformed*

- 5 : *Steel wire 50 mm²*
- 6 : *Terminating thimble*
- 7 : Andongan yang akan diperbaiki

5.6. Prosedur Percobaan

1. Menyiapkan Peralatan kerja, Material kerja, perlengkapan K3 dan Alat ukur.
2. Melepaskan *NT/NH Fuse* Jurusan.
3. Ukur beban sebelum pekerjaan (Tegangan, arus dan arus netral), pembebasan tegangan dengan melepas *NH Fuse* jurusan, *fuse* utama, *DS* saklar utama, *CO* dan memasang *grounding* di sisi TR yang sudah bebas tegangan, catat jam padam
4. Pekerjaan pemeliharaan SUTR (Konduktor TR/*Stringing*/Pengencangan, *Isolator*, *Travers*, Tiang, Perabasan pohon dan asesoris JTR) dimulai.
5. *Tiang/Pole*
 - a. Lakukan pemeriksaan/pemeliharaan kondisi fisik tiang, yaitu adanya kemungkinan keroposnya tiang besi atau keretakan pada tiang beton.
 - b. Ganti tiang beton yang retak atau tiang besi yang keropos.
 - c. Periksa dan perbaiki terhadap kemungkinan adanya kemiringan tiang karena lemahnya pondasi atau karena tarikan penghantar.
 - d. Pengecatan tiang besi secara berkala (sebelum dicat dibersihkan dulu).
6. *Pondasi*

Periksa kondisi fisik pondasi, bila rusak/pecah harus diperbaiki untuk menjaga kokohnya tiang.
7. *Cross-Arm/Traverse*
 - a. Pemeriksaan kekurangan mur baut pengikat *traverse* ke tiang.
 - b. Pemeriksaan keadaan plat *traverse* atau palang penyangga serta kekurangan mur bautnya.
 - c. Pemeriksaan adanya karat, bila ada segera dibersihkan.
8. *Arm Tie* dan *Arm Tie Band*

- a. Pemeriksaan kekurangan mur baut pengikat *arm tie band* dan *arm tie ke traverse* dan ketiang.
 - b. Pemeriksaan adanya karat, bila ada segera dibersihkan.
9. *Insulator Tumpu*
- a. Pemeriksaan/pemeliharaan kondisi fisik isolator.
 - b. Pemeriksaan/pemeliharaan mur dan baut tempat kedudukan isolator.
 - c. Pemeriksaan/pemeliharaan pengikat kawat pada isolator.
10. *Insulator Tension/Tarik*
- a. Pemeriksaan/pemeliharaan kondisi fisik isolator.
 - b. Pemeriksaan/pemeliharaan mur dan baut tempat kedudukan isolator.
11. *Grounding Ujung Line Netral SUTR*
 Pemeriksaan/pemeliharaan pentanahan netral JTR, bila belum ada pasanglah dengan menggunakan penghantar dari bahan aluminium (untuk menghindari pencurian) dan dengan menggunakan *ground rod* (1,5 – 2,75) meter.
12. *Konduktor*
- a. Pemeriksaan/pemeliharaan jarak aman terhadap peralatan dan orang dari bahaya akibat listrik (tegangan sentuh) termasuk pembersihan benang layang-layang, pohon dan lain-lain.
 - b. Periksa/pemeliharaan andongan kawat/lendutan, bila terlalu kendor maka harus segera dikencangkan.
 - c. Pemeriksaan/penggantian konduktor yang KHA-nya sudah tidak memenuhi atau terjadi *bottle neck*.
13. *Joint dan Jumper (Connector)*
- a. Mutu sambungan yang kurang baik dapat menimbulkan rugi tegangan dan rugi daya yang cukup besar sehingga mengurangi keandalan JTR.
 - b. Pada kontak yang buruk dapat menyebabkan seringnya terjadi gangguan *loss contac* atau putusnya sambungan.
14. *Guy Wire/Horizontal Guy Wire*

- a. Pemeriksaan secara *visual guy wire*.
 - b. Pemeriksaan/perbaikan terhadap mur baut klem yang kendur, lepas atau retak.
 - c. Mengganti *stell draad* yang telah rusak.
15. *Strut Pole*
- a. Pemeriksaan kekurangan mur baut pengikat *strut arm band* ke tiang dan *guy wire band* yang terpasang pada tiang utama dan *strut pole*.
 - b. Memeriksa keadaan kelainan pada plat *strut arm band* dan *guy wire band* atau palang penyangga serta kekurangan mur dan bautnya.
 - c. Memeriksa adanya karat, bila ada segera dibersihkan.
16. Melakukan penormalan dengan memasang / memasukan *NH fuse* jurusan, *fuse* utama, *DS*, Saklar utama, *CO di Gardu*.
17. Pekerjaan pemeliharaan selesai.

5.7. Data Hasil Percobaan

5.7.1. Pondasi

Tabel 5.6 Pemeliharaan pondasi tiang SUTR

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Periksa kondisi fisik pondasi, bila rusak/pecah harus diperbaiki untuk menjaga kokohnya tiang	

5.7.2. Cross-Arm/Traverse

Tabel 5.7 Pemeliharaan *Cross Arm/Traverse*

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Periksa kekurangan mur baut pengikat <i>traverse</i> ke tiang	

2.	Periksa keadaan plat <i>traverse</i> atau palang penyangga serta kekurangan mur baut	
3.	Periksa adanya karat, bila ada segera dibersihkan	

5.7.3. Insulator Tumpu

Tabel 5.8 Pemeliharaan Insulator Tumpu

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Pemeriksaan/pemeliharaan kondisi fisik isolator.	
2.	Pemeriksaan/pemeliharaan mur dan baut tempat kedudukan isolator	
3.	Pemeriksaan/pemeliharaan pengikaran kawat pada isolator	

5.7.4. Insulator Tension

Tabel 5.9 Pemeliharaan *Insulator Tension*

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Pemeriksaan/pemeliharaan kondisi fisik isolator	
2.	Pemeriksaan/pemeliharaan mur dan baut tempat kedudukan isolator	

5.7.5. Grounding Ujung Line Netral SUTR

Tabel 5.10 Pemeliharaan *grounding* SUTR

No	Item Pemeliharaan	Keterangan
1.	Pemeriksaan/pemeliharaan pentanahan netral JTR, bila belum ada pasanglah dengan menggunakan penghantar dari bahan aluminium	

	dan dengan menggunakan ground rod (1,5 – 2,75 meter).	
--	---	--

5.7.6. Konduktor

Tabel 5.11 Pemeliharaan konduktor

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Pemeriksaan/pemeliharaan jarak aman terhadap peralatan dan orang dari bahaya akibat listrik (tegangan sentuh)	
2.	Pemeriksaan/pemeliharaan andongan kawat/lendutan, bila terlalu kendor maka harus segera dikencangkan.	
3.	Pemeriksaan/penggantian konduktor yang KHA-nya sudah tidak memenuhi atau terjadi <i>bottle neck</i> .	

5.7.7. Joint dan Jumper (Connector)

Tabel 5.12 Pemeliharaan *Joint* dan *Jumper* (Connector)

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Mutu sambungan yang kurang baik dapat menimbulkan rugi tegangan dan rugi daya cukup besar sehingga mengurangi keandalan JTR.	
2.	Pada kontak yang buruk dapat juga menyebabkan seringnya terjadi gangguan <i>loss contact</i> atau putus sambungan.	

5.7.8. Guy Wire/Horizontal Guy Wire

Tabel 5.13 Pemeliharaan *Guy Wire/Horizontal Guy Wire*

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Pemeriksaan secara <i>visual</i> kondisi <i>guy wire</i>	
2.	Pemeriksaan/perbaikan terhadap mur baut klem yang kendur, lepas atau retak.	
3.	Mengganti <i>steel draad</i> yang telah rusak.	

5.7.9. Strut Pole

Tabel 5.14 Pemeliharaan *Strut Pole*

No	Item Pemeliharaan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Pemeriksaan kekurangan mur baut pengikat <i>strut arm band</i> ke tiang dan <i>guy wire band</i> yang terpasang pada tiang utama dan <i>strut pole</i>	
2.	Pemeriksaan keadaan kelainan pada plat <i>strut arm band</i> dan <i>guy wire band</i> atau palang penyangga serta kekurangan mur bautnya.	
3.	Pemeriksaan adanya karat, bila ada segera dibersihkan.	

5.7.10. Pengukuran arus

Tabel 5.15 Data hasil pengukuran beban sebelum dan sesudah pemeliharaan

No	Pengukuran Arus (Amper)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Beban Total	Beban Total
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =

	N =	N =
--	-----	-----

5.7.11. Pengukuran tegangan

Tabel 5.16 Data hasil pengukuran tegangan sebelum dan sesudah pemeliharaan

No	Pengukuran Tegangan (Volt)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Tegangan Fasa-Fasa	Tegangan Fasa-Fasa
	Fasa R-S =	Fasa R-S =
	Fasa S-T =	Fasa S-T =
	Fasa T-R =	Fasa T-R =
2.	Tegangan Fasa-Netral	Tegangan Fasa-Netral
	Fasa R-N =	Fasa R-N =
	Fasa S-N =	Fasa S-N =
	Fasa T-N =	Fasa T-N =

5.8. Contoh Soal

1. Terdapat dua jenis konstruksi jaringan distribusi tegangan rendah yaitu konfigurasi fasa 3 dan konfigurasi fasa 2. Untuk konfigurasi fasa 3 terdiri dari:
 - a. Fasa R, Fasa S dan Fasa T
 - b. Fasa R, Fasa S, Fasa T dan Netral
 - c. Fasa R, Fasa S, Fasa T dan *Grounding*
 - d. Fasa R, Fasa S, Fasa T dan pbumian

Jawaban : b

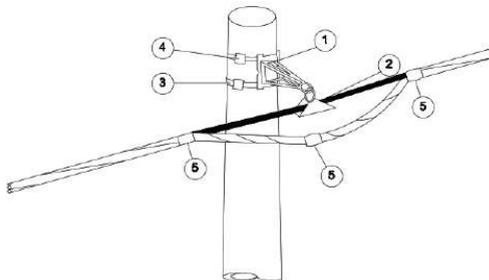
2. Kedalaman tiang jaringan distribusi tegangan rendah yang ditanam berdasarkan ketentuan yaitu:
 - a. 0,2 x Panjang tiang
 - b. $\frac{1}{6}$ x Panjang tiang
 - c. 0,167 x Panjang tiang
 - d. Semua jawaban benar

Jawaban : d

3. Beban kerja (*working load*) tiang untuk jaringan distribusi tegangan rendah yang dipakai adalah:
- 150 daN
 - 200 daN
 - 140 daN
 - 130 daN

Jawaban : b

4. Komponen-komponen utama saluran udara tegangan rendah seperti yang terlihat pada Gambar di bawah. Sebutkan komponen yang ditunjukkan pada no 5 dan no 3:



- Plastik strap* dan *Stopping buckle*
- Plastic strap* dan *Stainless steel strap*
- Stopping buckle* dan *Stainless steel strap*
- Stainless steel strap* dan *Suspension bracket*

Jawaban : b

5. Pemilihan kemampuan mekanis tiang SUTR didasarkan pada 4 hal, yaitu:
- Tiupan angin, *Sag*, Jarak andongan, Ukuran penghantar
 - Tiupan angin, *Sag*, Posisi fungsi tiang, Ukuran penghantar
 - Posisi fungsi tiang, Ukuran penghantar, Tiupan angin, Tiang awal
 - Jarak andongan, Ukuran penghantar, Diameter penghantar, Tiupan angina

Jawaban : b

6. Peralatan yang digunakan untuk mengantung bagian penghantar netral pada tiang dengan sudut lintasan jaringan sampai dengan 30° adalah:
- Stainless steel strap*
 - Plastic strip*
 - Suspension clamp*
 - Bimetal joint*

Jawaban : c

7. Pada Jaringan Distribusi Tegangan Rendah, nilai tegangan diperbolehkan turun sampai dengan:
- 10 %
 - 0,9 pu
 - 198 V
 - Semua jawaban benar

Jawaban : d

8. Penyebab terjadinya jatuh tegangan pada ujung saluran adalah:
- Panjang penghantar, Besar Arus, Tahanan Jenis, Luas penampang penghantar
 - Ketidakseimbangan beban, Luas penampang penghantar, Tahanan jenis, Panjang penghantar
 - Panjang penghantar, Ketidakseimbangan beban, Besarnya tahanan jenis, Besarnya arus yang mengalir
 - Luas penampang penghantar, Panjang Penghantar, Tahanan Jenis, Ketidakseimbangan beban

Jawaban : c

9. Nilai frekuensi pada saat terjadinya gangguan berdasarkan standar yang berlaku adalah
- 47,5 Hz dan 50,5 Hz
 - 47,5 Hz dan 50,1 Hz
 - 47,5 Hz dan 50 Hz
 - 47,5 Hz dan 52 Hz

Jawaban : d

10. Sambungan pelayanan yang memakai kabel tanah NYFGbY menggunakan kabel dengan ukuran penampang:
- 16 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm², 95 mm²
 - 35 mm², 50 mm², 70 mm², 150 mm², 200 mm²
 - 50 mm², 70 mm², 95 mm², 150 mm², 200 mm²
 - 16 mm², 35 mm², 50 mm², 60mm², 95 mm²

Jawaban: a

5.9. Soal Latihan

1. Sebutkan jenis dari *pole bracket* dan jelaskan karakteristiknya?
2. Jelaskan kriteria pembumian pada jaringan distribusi tegangan rendah (SUTR)?
3. Sebelum dilakukan pemeliharaan saluran udara tegangan rendah, dilakukan pembebasan tegangan yang meliputi beberapa tahapan, yaitu:

BAB 6

PEMASANGAN / PENGGANTIAN *kWh* METER 3 FASA

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan prinsip kerja *kWh* Meter 3 fasa.
2. Mampu memasang/mengganti *kWh* Meter 3 fasa sesuai dengan *SOP*.
3. Mampu melakukan pengujian/komisioning instalasi *kWh* Meter 3 fasa yang sudah terpasang.

6.1. *kWh* Meter

kWh meter merupakan alat pengukuran pemakaian energi listrik yang dipasang pada pelanggan-pelanggan listrik milik PLN. Energi listrik yang dihitung oleh *kWh* meter merupakan perhitungan daya aktif yang dikalikan dengan waktu dalam satuan jam dan faktor daya.

Menurut jumlah fasa-nya, *kWh* meter dapat dibedakan menjadi:

- *kWh* meter 1 fasa, merupakan *kWh* meter yang dipasang pada pelanggan rumah tangga, bisnis, publik, sosial skala kecil dengan kapasitas daya terpasang yaitu 450 VA sampai dengan 11 kVA.
- *kWh* meter 3 fasa, merupakan *kWh* meter yang dipasang pada pelanggan bisnis, industri, sosial skala menengah dan besar dengan kapasitas daya terpasang 6,6 kVA keatas.

Menurut jenisnya, *kWh* meter dibedakan menjadi:

- *kWh* meter elektromekanik adalah suatu peralatan induksi yang dikonversikan menjadi putaran, yang berfungsi sebagai alat ukur energi listrik daya aktif (fasa tunggal dan fasa tiga) dan reaktif (fasa tiga) beroperasi pada frekuensi 50 Hz.
- *kWh* meter elektronik adalah suatu peralatan elektronik yang berfungsi sebagai alat ukur energi listrik daya aktif, daya reaktif, faktor daya, arus, tegangan, kombinasi terhadap fungsi waktu dan data historical.

Menurut jenis sambungannya, *kWh* meter dibedakan menjadi:

- *kWh* meter sambungan langsung, merupakan *kWh* meter yang disambungkan langsung dengan sistem tegangan rendah (220/380 V) tanpa melalui trafo pengukuran (trafo arus atau trafo tegangan).
- *kWh* meter sambungan tidak langsung, merupakan *kWh* meter yang disambungkan dengan sistem tenaga listrik melalui trafo arus atau trafo tegangan. *kWh* meter jenis ini bisa digunakan untuk tegangan rendah (220/380 V) maupun tegangan menengah/tinggi menggunakan trafo tegangan (57,7/100 V).

Tabel 6.1 Pemilihan, penggunaan dan pemasangan meter energi berdasarkan daya tersambung

Daya Tersambung	Tegangan nominal	Lokasi penempatan	Jenis Meter	Kelas Meier	Cara Baca Meter
Daya \geq 30 MVA	150 kV	Gardu Induk	Elektronik fase 3	0,2	AMR
197 kVA < Daya < 30 MVA	20 kV	Gardu PLN	Elektronik fase 3	0,5	AMR
53 kVA \leq Daya \leq 197 kVA	400 V	Gardu PLN	Elektronik fase 3	1,0	AMR
6,6 kVA \leq Daya \leq 41,5 kVA	400 V	Pelanggan	Elektronik atau Elektromekanik fase 3	1,0 1,0	Setempat/ dengan remote
450 VA \leq Daya < 11 kVA	231 V	Pelanggan	Elektronik atau Elektromekanik atau Meter Prabayar fase 1	1,0 2,0 1,0	Setempat/ dengan remote

Sumber : (SPLN D5.001, 2008)

Catatan:

Untuk pemasangan *kWh* meter di sisi pelanggan dapat digunakan cara:

1. Dipasang per pelanggan secara terpisah sesuai ketentuan SPLN 55 Alat ukur, pembatas dan perlengkapannya dan 57-1 meter *kWh* arus bolak-balik kelas 0,5, 1 dan 2 Bagian-1: Pasangan dalam.
2. Dipasang per pelanggan dengan menggabungkan meter dan alat pembatas secara terpadu (diatur dalam SPLN D3.003 APP Terpadu).
3. Menyatukan beberapa pelanggan dalam kotak meter terpusat khusus untuk meter energi elektromekanik (diatur dalam SPLN D3.001-1 Kotak *kWh* Meter Elektromekanik Terpusat, Bagian 1: *kWh* meter fasa tunggal).
4. Ketentuan mengenai kelas akurasi trafo pengukuran (trafo arus dan trafo tegangan) diatur dalam SPLN No. D3.002-3 CT & PT.

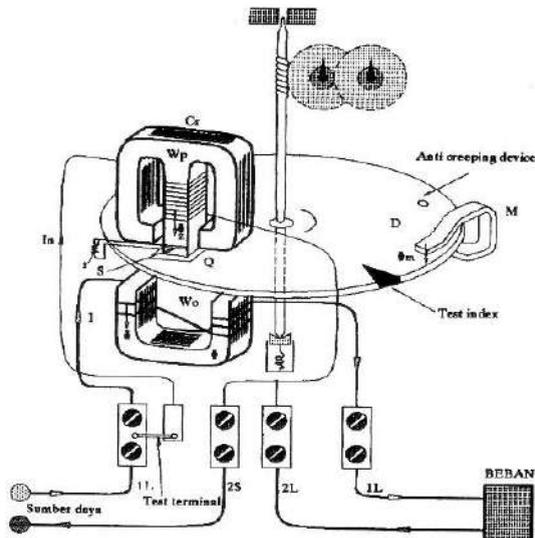
6.2. Konstruksi kWh Meter

6.2.1. Konstruksi kWh meter elektromekanik

kWh meter elektromekanik mengukur secara langsung hasil kali tegangan, arus, faktor kerja ($V \times I \times \cos \phi \times t$) yang bekerja selama waktu tertentu. Contoh kWh meter elektromekanik diperlihatkan pada Gambar 6.1. Sedangkan bagian-bagian kWh meter elektromekanik ditampilkan Gambar 6.2.



Gambar 6.1 kWh meter elektromekanik



Gambar 6.2 Bagian-bagian kWh meter elektromekanik

Keterangan Gambar :

M : Magnit permanen

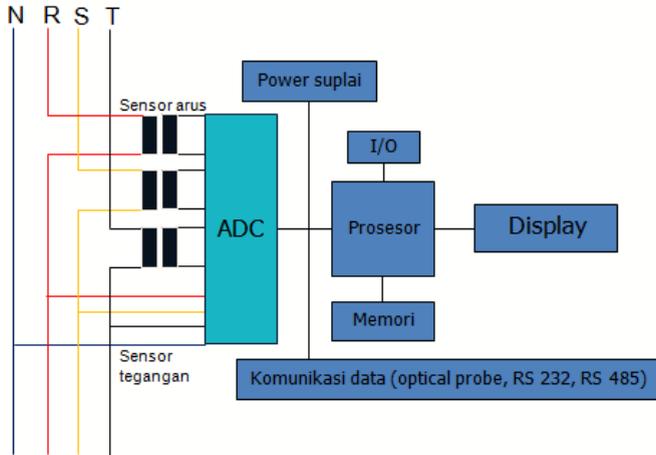
Cp : Inti besi kumparan tegangan

Wp	: Kumparan tegangan
Cc	: Inti besi kumparan arus
Wc	: Kumparan arus
I _p	: Arus yang mengalir melalui Wp
I	: Arus beban yang mengalir melalui Wc
F	: Kumparan penyesuaian fasa yang diberi tahanan R
RGS	: Register
1L & 2S	: Terminal sumber daya masuk
2L & 1S	: Terminal daya keluar

6.2.2. Konstruksi *kWh* meter elektronik

Secara umum tampilan *kWh* meter elektronik ditunjukkan pada Gambar 6.3. Sedangkan konstruksi *kWh* meter elektronik dapat dilihat pada Gambar 6.4 yang terdiri dari :

- Transformer Modul : terdiri dari modul sensor arus dan tegangan.
- Power Suplay* Modul : modul untuk menyuplai daya ke *kWh* meter.
- Analog to Digital Converter (ADC)* Modul : mengubah sinyal analog hasil baca sensor arus dan tegangan menjadi sinyal digital.
- Register Processor Modul* : merupakan modul pemroses data di *kWh* meter elektronik.
- Display Modul* : menampilkan data pengukuran yang diukur dan direkam *kWh* meter.
- Mass Memory Modul* : merupakan modul yang digunakan untuk menyimpan semua data hasil pengukuran dan perekaman.
- Input/Output Modul* : *modul auxiliary* untuk koneksi ke peralatan tambahan.
- Communication Modul* : modul untuk berkomunikasi dengan perangkat komunikasi/modem sehingga data di meter dapat dimonitor dari jarak jauh.



Gambar 6.3 Konstruksi *kWh* meter elektronik



Gambar 6.4 *kWh* meter elektronik 3 fasa

6.3. Prinsip Kerja *kWh* Meter

kWh meter elektronik bekerja berdasarkan prinsip elektronis, yaitu sebagai berikut:

- a. Arus yang masuk ke *kWh* meter akan diukur oleh modul sensor arus dan masih merupakan sinyal analog.
- b. Tegangan yang masuk ke *kWh* meter akan diukur oleh modul sensor tegangan dan masih merupakan sinyal analog.

- c. Sinyal analog arus dan tegangan akan diubah menjadi sinyal digital oleh modul *analog to digital converter (ADC)*
- d. Sinyal digital akan diproses oleh modul prosesor. Hasil pengukuran dan pemrosesan sinyal; berupa parameter listrik seperti tegangan, arus, faktor daya, daya, frekuensi, *alarm* dan akan disimpan di modul memori.
- e. Data hasil pemrosesan juga akan ditampilkan melalui modul *display*.
- f. *kWh* meter elektronik juga dapat dihubungkan dengan peralatan tambahan lain melalui modul *input/output*, misalnya untuk koneksi pemutusan beban.
- g. Data *kWh* meter juga dapat dimonitor dari jarak jauh dengan menggunakan perangkat modem yang dihubungkan melalui *modul communication*.

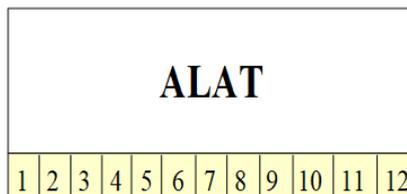
6.4. Diagram Pengawatan *kWh* Meter

Diagram Pengawatan adalah gambar elektro-teknik yang biasanya dinyatakan dengan simbol, yang menyatakan hubungan antara bagian peralatan atau suatu instalasi listrik. Manfaat diagram pengawatan adalah untuk mengetahui prinsip kerja, membantu pelaksanaan pemasangan dan mempermudah dalam menelusuri, mengusut gangguan pada suatu peralatan atau instalasi.

Macam-macam diagram pengawatan *kWh* meter :

- a. Diagram *layout*

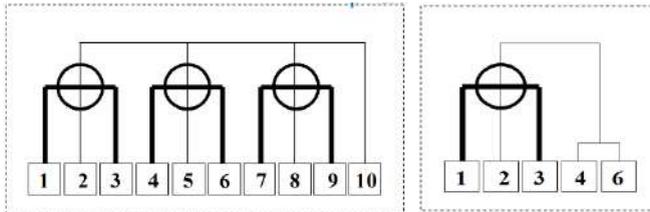
Diagram yang menyatakan tata letak peralatan atau terminal ditunjukkan pada Gambar 6.5.



Gambar 6.5 Diagram *layout* terminal *kWh* meter

b. Diagram *Internal*

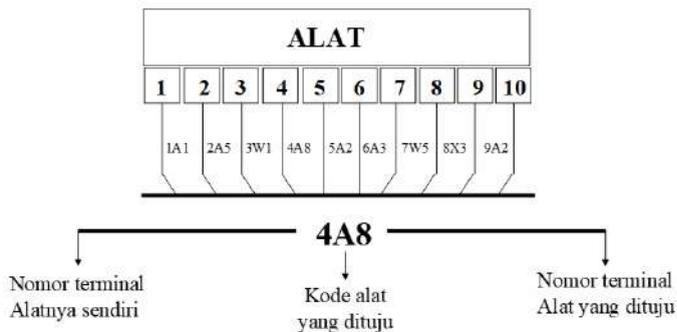
Diagram yang menyatakan rangkaian internal suatu peralatan, misalnya diagram internal alat ukur, diagram internal *kWh* meter 1 fasa dan 3 fasa ditunjukkan pada Gambar 6.6



Gambar 6.6 Diagram *internal kWh* meter

c. Diagram penyambungan

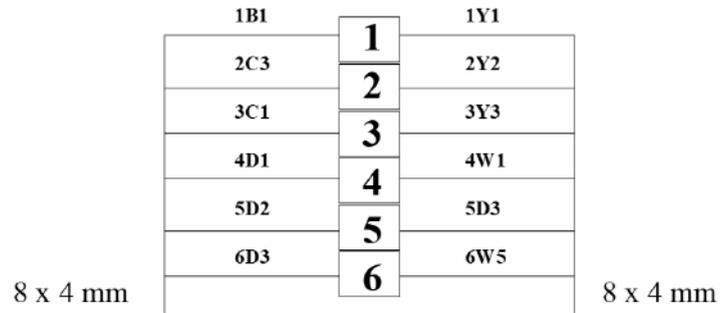
Diagram yang menyatakan nomor terminal dari suatu alat yang harus disambungkan ke nomor terminal dari alat yang lain dengan menggunakan kawat, ditunjukkan pada Gambar 6.7.



Gambar 6.7 Diagram penyambungan *kWh* meter

d. Diagram terminal

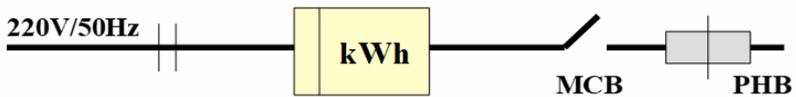
Diagram yang menyatakan penghantar-penghantar dengan kode pengawatan tertentu yang tersambung pada suatu terminal, ditunjukkan pada Gambar 6.8.



Gambar 6.8 Diagram terminal *kWh* meter

e. Diagram garis tunggal

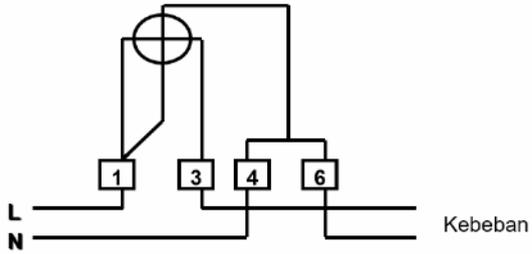
Diagram sederhana dari suatu sirkit yang menunjukkan bagian pentingnya saja namun dapat menggambarkan cara operasi dan fungsi kelompok dari suatu instalasi listrik, sirkit biasanya digambarkan dalam bentuk garis tunggal dilengkapi dengan huruf atau simbol yang sesuai ditunjukkan pada Gambar 6.9.



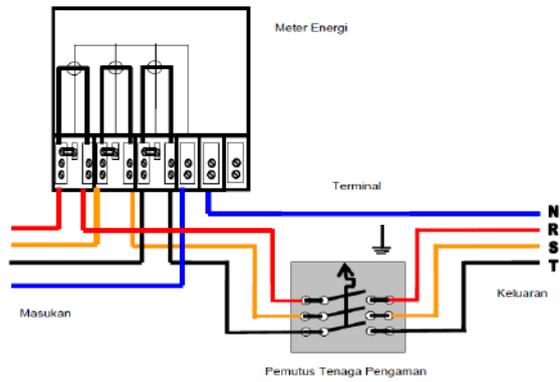
Gambar 6.9 Diagram garis tunggal *kWh* meter

f. Diagram pengawatan *kWh* meter

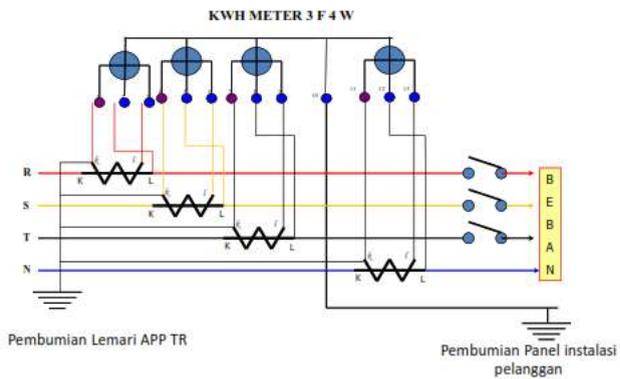
Diagram pengawatan *kWh* meter digunakan sebagai petunjuk pemasangan *kWh* meter yang berguna untuk mempermudah petugas dalam memasang *kWh* meter. Diagram pengawatan *kWh* meter harus menggambarkan urutan fasanya, seperti diperlihatkan pada Gambar 6.10, Gambar 6.11, Gambar 6.12 dan Gambar 6.13.



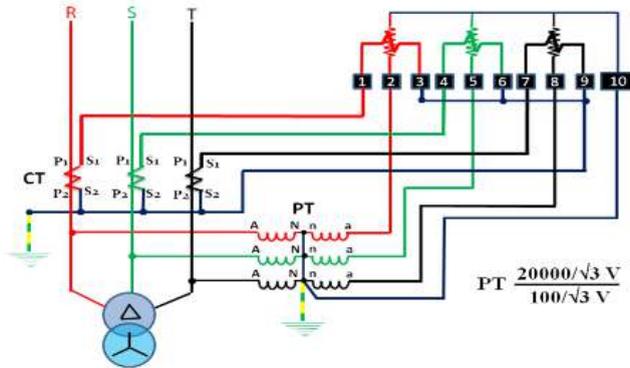
Gambar 6.10 Diagram pengawatan *kWh* meter 1 fasa



Gambar 6.11 Diagram pengawatan *kWh* meter 3 fasa pengukuran langsung



Gambar 6.12 Diagram pengawatan *kWh* meter 3 fasa pengukuran tidak langsung TR



Gambar 6.13 Diagram pengawatan kWh meter 3 fasa pengukuran tidak langsung TM

6.5. Spesifikasi Kabel Pengawatan kWh Meter

Kabel pengawatan pada APP harus mengacu kepada peraturan atau ketentuan yang berlaku, diantaranya adalah PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). Tabel 6.2 memperlihatkan spesifikasi kabel untuk pengawatan kWh meter.

Tabel 6.2 Kabel instalasi dalam kWh meter

No	Uraian	Satuan	Jenis Pengukuran		
			TR Tidak Langsung	TM	TT
1.	Luas Penampang	mm ²	2,5	4	6
2.	Warna:				
	a. Fasa R		Merah	Merah	Merah
	b. Fasa S		Kuning	Kuning	Kuning
	c. Fasa T		Hitam	Hitam	Hitam
	d. Netral		Biru	Biru	Biru
	e. <i>Grounding</i>		Kuning strip hijau	Kuning strip hijau	Kuning strip hijau
3.	Jenis kabel		NYAF	NYAF	NYAF

6.6. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 6.3 sampai dengan Tabel 6.6.

Tabel 6.3 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	Obeng +
2.	Obeng -
3.	Tang Potong
4.	Tang Kombinasi
5.	Kabel

Tabel 6.4 Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	<i>kWh</i> Meter 3 Fasa (<i>Analog / Digital</i>)
2.	Motor Listrik 3 Fasa
3.	Terminal Block
4.	Rel <i>MCB</i>
5.	Isolasi Listrik

Tabel 6.5 Perlengkapan K3

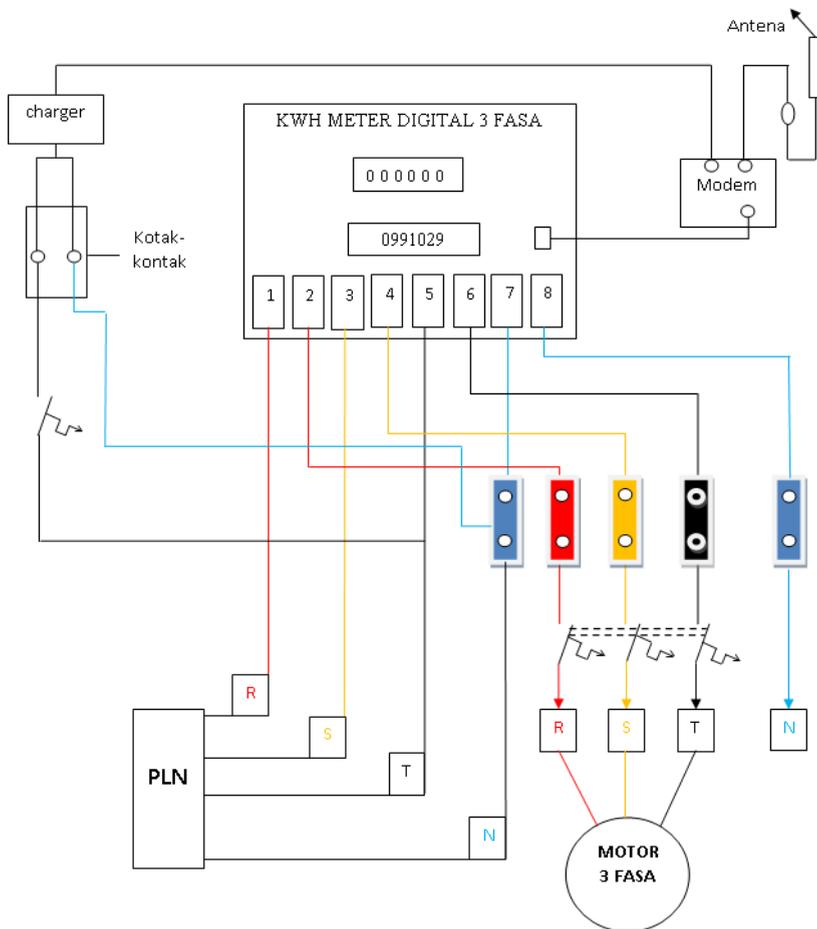
No.	Perlengkapan K3
1.	Helm Pengaman
2.	Sepatu pengaman 20 kV
3.	Kaca mata (<i>safety glass</i>)
4.	Sarung tangan 20 kV
5.	Pakaian kerja (<i>wearpack</i>)
6.	Kotak P3K
7.	Sarung tangan kain
8.	Senter

Tabel 6.6 Alat Ukur

No.	Alat Ukur
1.	<i>Tang Ampere</i>
2.	<i>Multi tester</i>
3.	<i>Phase detector</i>
4.	Tespen

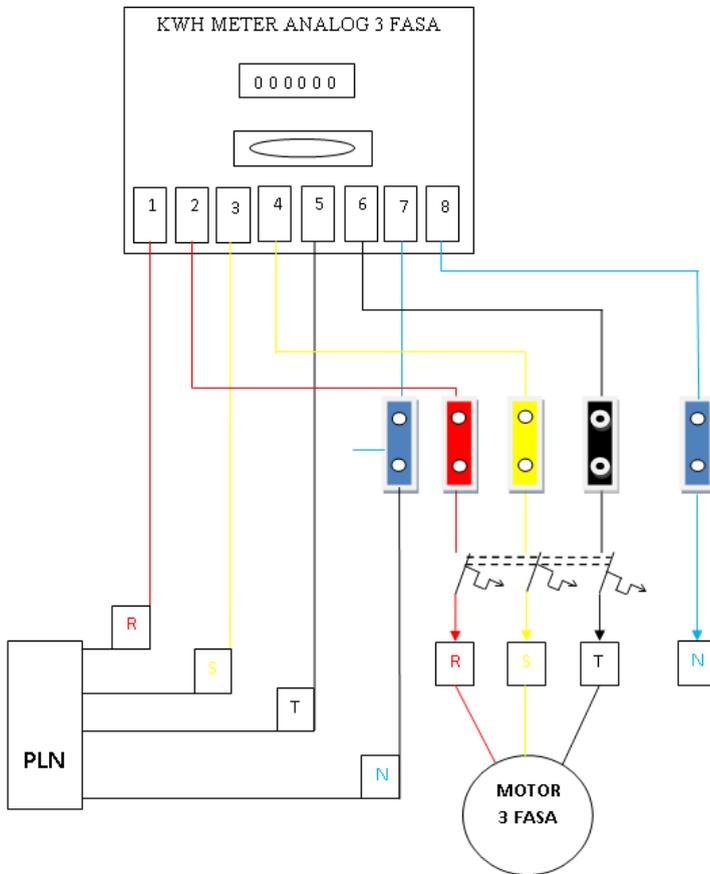
6.7. Rangkaian Percobaan

1. kWh Meter Digital



Gambar 6.14 Rangkaian percobaan untuk pemasangan kWh Meter digital 3 fasa

2. kWh Meter Analog



Gambar 6.15 Rangkaian percobaan untuk pemasangan kWh Meter analog 3 fasa

6.8. Prosedur Percobaan

1. Buatlah rangkaian seperti pada Gambar 6.14 atau Gambar 6.15
2. Gunakan perlengkapan K3
3. Siapkan alat dan bahan
4. Dengarkan arahan dari dosen pengawas
5. Pastikan sumber dari PLN tidak terhubung
6. Pasang kWh Meter pada panel
7. Masukkan fasa R, S dan T dari PLN pada *input* kWh meter

8. Ambil *output* dari dari *MCB*, masukan pada input motor 3 fasa
9. Pastikan rangkaian sudah terpasang dengan baik dan benar
10. Berikan sumber 3 fasa dari PLN
11. *ON*-kan kedua *MCB*
12. Cek pemasangan kabel sudah benar atau belum menggunakan safety phase indicator
13. Catat jumlah arus keluar di tiap fasa pada saat motor menyala
14. Amati piringan *kWH* meter apakah berjalan atau tidak
15. Catat hasil pengamatan pada tabel percobaan
16. Matikan kembali dengan meng-*off*-kan *MCB*
17. Lepaskan sumber tegangan
18. Lepaskan *kWH* meter dari panel
19. Simpan dan rapikan alat dan bahan yang sudah digunakan

6.9. Data Percobaan

6.9.1. Pengukuran tegangan

Tabel 6.7 Data hasil pengukuran tegangan sebelum dan sesudah pemasangan

No	Pengukuran Tegangan (Volt)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Tegangan Fasa-Fasa	Tegangan Fasa-Fasa
	Fasa R-S =	Fasa R-S =
	Fasa S-T =	Fasa S-T =
	Fasa T-R =	Fasa T-R =
2.	Tegangan Fasa-Netral	Tegangan Fasa-Netral
	Fasa R-N =	Fasa R-N =
	Fasa S-N =	Fasa S-N =
	Fasa T-N =	Fasa T-N =

6.9.2. Pengukuran arus

Tabel 6.8 Data hasil pengukuran arus sebelum dan sesudah pemasangan

No	Pengukuran Arus (Amper)	
	Sebelum	Sesudah
1.	Nilai Arus	Nilai Arus
	R =	R =
	S =	S =
	T =	T =

6.9.3. Pemeriksaan urutan fasa

Hasil pemeriksaan urutan fasa : Sesuai / Tidak Sesuai* (* Coret yang tidak perlu)

6.10. Contoh Soal

1. Menurut jumlah fasanya *kWh* meter dapat dibedakan menjadi:
 - a. *kWh* meter 1 fasa dan *kWh* meter 3 fasa
 - b. *kWh* meter 1 fasa dan *kWh* meter 3 fasa 4 kawat
 - c. *kWh* meter 1 fasa dan *kWh* meter 2 fasa
 - d. *kWh* meter 3 fasa dan *kWh* meter 3 fasa 4 kawat

Jawaban : a

2. Kategori *kWh* meter 1 fasa memiliki kapasitas daya terpasang pada rentang:
 - a. 450 kVA s.d 1.3000 kVA
 - b. 450 VA s.d 1,3 kVA
 - c. 450 VA s.d 11 kVA
 - d. 450 kVA s.d 450 kVA

Jawaban : c

3. Peralatan elektronik yang berfungsi sebagai alat ukur energi listrik, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, arus, tegangan, dan kombinasi terhadap fungsi waktu merupakan definisi dari:
 - a. *kWh* meter 1 fasa
 - b. *kWh* meter 3 fasa

- c. *kWh* meter elektronik
- d. *kWh* meter prabayar

Jawaban : c

4. *kWh* meter yang disambungkan dengan sistem tenaga listrik melalui trafo pengukuran dan dapat digunakan untuk tegangan rendah maupun tegangan menengah dan tegangan tinggi, merupakan *kWh* meter dengan jenis sambungan:
- a. Langsung
 - b. Tidak langsung
 - c. Melalui trafo arus
 - d. Melalui trafo tegangan

Jawaban : b

5. Lokasi penempatan/pemasangan *kWh* meter dengan daya tersambung sebesar 53 kVA dilakukan di:
- a. Gardu induk
 - b. Gardu PLN
 - c. Pelanggan
 - d. Rumah tinggal

Jawaban : b

6. Berdasarkan standar PLN, untuk pemasangan *kWh* meter di sisi pelanggan dapat digunakan cara, kecuali:
- a. Dipasang per pelanggan secara terpisah
 - b. Dipasang per pelanggan dengan mengabungkan meter dan alat pembatas secara terpadu.
 - c. Menyatukan beberapa pelanggan dalam kotak meter terpusat.
 - d. Dipasang per pelanggan secara terpusat.

Jawaban : d

7. PUIL merupakan singkatan dari:
- a. Persyaratan umum instalasi listrik
 - b. Peraturan umum instalasi listrik
 - c. Pedoman umum instalasi listrik

d. Peraturan umum dan instalasi listrik

Jawaban : a

8. Pada *kWh* meter elektronik terdapat bagian yang bernama *mass memory modul* yang berfungsi sebagai:
- Menyimpan data hasil perhitungan listrik
 - Menampilkan data hasil perhitungan listrik
 - Menyimpan data hasil pengukuran dan perekaman
 - Menampilkan data hasil pengukuran dan perekaman

Jawaban: c

9. Fungsi *register processor modul* pada *kWh* meter yaitu:
- Menyimpan data hasil pengukuran dan perekaman
 - Menampilkan data hasil pengukuran dan perekaman
 - Mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital
 - Pemroses data *kWh* meter

Jawaban : d

10. Lokasi penempatan / pemasangan *kWh* meter untuk daya tersambung $\leq 41,5$ kVA dilakukan di:
- Gardu induk
 - Gardu PLN
 - Pelanggan
 - Konsumen PLN

Jawaban : d

6.11. Soal Latihan

- Apabila diketemukan (berdasarkan hasil pengukuran) urutan fasa dari pemasangan *kWh* meter tidak sesuai, langkah apa yang saudara ambil?
- Apabila saudara sudah selesai melakukan pemasangan *kWh* meter, tahapan selanjutnya yang saudara kerjakan? Silakan saudara uraikan.
- Gambarkan diagram pengawatan *kWh* meter 3 fasa pengukuran tidak langsung dan pengukuran langsung.

BAB 7

PEMELIHARAAN *LIGHTNING ARRESTER* 20 kV

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu mengetahui kerja dan jenis-jenis *Lightning Arrester (LA)*.
2. Mampu menjelaskan persyaratan-persyaratan teknik *Lightning Arrester (LA)*.
3. Mampu memelihara *Lightning Arrester (LA)* sesuai dengan SOP yang berlaku.

7.1. *Lightning Arrester (LA)*

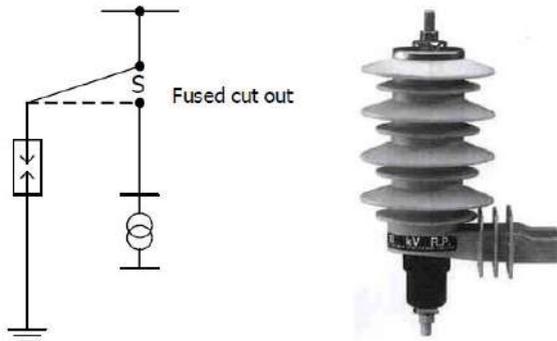
Lightning Arrester adalah alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap tegangan lebih, baik yang disebabkan oleh surja petir maupun surja hubung. Alat ini bersifat sebagai *bypass* di sekitar isolasi yang membentuk jalan dan mudah dilalui oleh arus kilat, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan.

LA memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Pada tegangan operasi (rms):
 - a. *LA* bersifat sebagai *isolator*
 - b. Arus bocor ke tanah tetap ada, namun tetap dalam orde mili amper. Arus bocor ini mayoritas adalah arus kapasitif.
2. Pada saat terjadi surja petir/surja hubung:
 - a. *LA* bersifat konduktif, dengan nilai resistansi sangat rendah.
 - b. *LA* mengalirkan arus surja ke tanah dalam orde kilo-amper.
 - c. *LA* segera bersifat isolator setelah surja berhasil dilewatkan, sehingga menghilangkan pengaruh *fellow current*.

Pada keadaan normal *Lightning Arrester* berlaku sebagai isolator, namun bila terkena sambaran petir *LA* sebagai konduktor yang tahanannya relatif rendah, sehingga dapat mengalirkan arus surja ke tanah. Setelah surja hilang, *Lightning Arrester* harus dengan cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus tenaga (PMT) tidak sempat membuka.

Untuk melindungi Transformator Distribusi, khususnya pada pasangan luar dari tegangan lebih akibat surja petir. Dengan pertimbangan masalah gangguan pada SUTM, pemasangan *Lightning Arrester* dapat saja dipasang sebelum atau sesudah *FCO*. Gambar 7.1 memperlihatkan bentuk dan lokasi pemasangan *LA*.



Gambar 7.1 Bentuk dan letak pemasangan *Lightning Arrester*

Nilai arus pengenal *LA* : 5 kA – 10 kA – 15 kA, untuk tingkat IKL diatas 110, sebaiknya tipe 15 KA. Sedang untuk perlindungan Transformator yang dipasang pada tengah-tengah jaringan memakai *LA* 5 KA, dan di ujung jaringan dipasang *LA* – 10 KA.

7.2. Bagian-Bagian *Lightning Arrester*

1. Elektroda

Terdapat dua elektroda pada *Lightning Arrester*, yaitu elektroda atas yang dihubungkan dengan bagian yang bertegangan dan elektroda bawah yang dihubungkan dengan tanah.

2. *Spark Gap*

Apabila terjadi tegangan lebih oleh surja petir atau surja hubung pada *Lightning Arrester* yang terpasang, maka pada *spark gap* atau sela percik akan terjadi busur api.

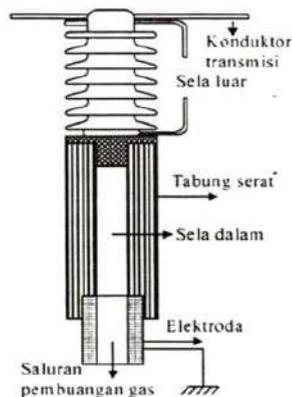
3. Tahanan katup/kran

Tahanan yang dipergunakan dalam *Lightning Arrester* ini adalah suatu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah bila mendapatkan perubahan tegangan.

7.3. Jenis-Jenis *Lightning Arrester*

1. *Lightning Arrester tipe ekspulsi*

Lightning Arrester ini mempunyai dua jenis sela, yaitu sela luar dan sela dalam. Sela dalam ditempatkan didalam tabung serat, bila di terminal *Lightning Arrester* tiba suatu surja petir maka kedua sela terpercik. Arus susulan yang terjadi, memanaskan permukaan dalam tabung serat, akibatnya tabung mengeluarkan gas. Arus susulan merupakan arus sinusoidal sehingga pada periode tertentu akan mencapai nilai nol. Saat arus susulan mencapai nol, gas akan memadamkan arus susulan. Arus susulan paling lama bertahan dua periode, biasanya sudah padam dalam waktu setengah periode setelah arus susulan terjadi. Tetapi, pemadaman arus susulan masih tergantung pada tingkat arus hubung singkat pada lokasi penempatan *Lightning Arrester*.

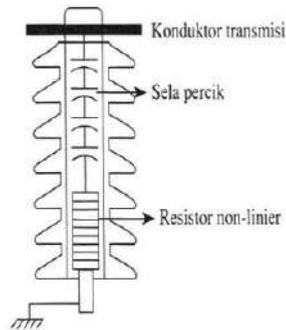


Gambar 7.2 *Lightning arrester tipe ekspulsi*

2. *Lightning Arrester Tipe Katup*

Lightning Arrester ini terdiri atas beberapa sela percik yang dihubungkan seri dengan resistor tak linier. Resistor tak linier

mempunyai tahanan yang rendah saat dialiri arus besar dan mempunyai tahanan yang besar saat dialiri arus kecil. Resistor tak linier yang umumnya digunakan untuk *Lightning Arrester* terbuat dari bahan silikon karbid. Sela percik dan resistor tak linier keduanya ditempatkan dalam tabung isolasi tertutup, sehingga kerja *Lightning Arrester* ini tidak dipengaruhi oleh keadaan udara sekitar.



Gambar 7.3 *Lightning arrester* tipe katup

3. *Lightning Arrester* Tipe *Gapless*

Lightning Arrester tipe *gapless* terdiri dari tabung isolasi dan batang elektroda terisolasi dimana elektroda batang tersebut tidak ada gap diantaranya dan dilengkapi oleh material *zinc Oxide* yang berfungsi untuk mengeleminir *arcing*. Panjang batang sedemikian rupa sehingga *spark over / arcing* yang terjadi pada batang elektroda dalam tabung dapat terelimir oleh *zinc oxide*. *Lightning Arrester* jenis *gapless* mempunyai konstruksi lebih kompak dan mempunyai *reability* kerja lebih baik dibandingkan jenis lainnya.

Antara material bagian atas dan bagian bawah tidak ada gap, sehingga pada keadaan normal dapat berfungsi sebagai konduktor (isolator) sedangkan pada saat terjadi *spike* dengan tegangan dan arus yang tinggi sesaat dapat diredam dan daya dari arus susulan dapat diteruskan melalui pentanahan efektif.

7.4. Spesifikasi *Lightning Arrester*

Lightning Arrester terdiri dari MOV, selubung, terminal fasa dan terminal pembumian. Untuk sistem distribusi 20 kV ditetapkan spesifikasi *Lightning Arrester* seperti yang terlihat pada Tabel 7.1. Sedangkan spesifikasi kelas *Lightning Arrester* untuk sistem distribusi 20 kV ditetapkan sesuai dengan Tabel 7.2.

Tabel 7.1 Penetapan spesifikasi *Lightning Arrester*
Jaringan Distribusi 20 kV

No	Spesifikasi	Satuan	Sistem Pembumian Titik Netral		
			Pembumian langsung (<i>Solid /effective</i>)	Pembumian dengan resistans rendah (<i>non-effective</i>)	Pembumian dengan resistans tinggi(<i>non-effective</i>)
1	Lama arus gangguan	detik	≤ 1	≤ 10	≤ 7200
2	Tegangan pengenalan (U_r)**	kV	≥ 21	≥ 24	≥ 27
3	Tegangan operasi kontinu (U_c)**	kV	≥ 16.8	≥ 19.2	≥ 21.6
4	Tipe isolator		Polimer (<i>Molded Case</i>)/Keramik untuk pemasangan <i>outdoor/indoor</i> ; (Pilihan Keramik hanya untuk pemasangan di GI, GH dan pembangkit)		
5	Bahan terminal fase/pembumian		<i>Stainless Steel</i>		
6	Frekuensi Pengenal (F_r)	Hz	50		
7	Tegangan Tertinggi untuk Peralatan (U_m)	kV	24		
8	Arus pelepasan nominal pengenalan ($8/20 \mu s$) (I_n)				
8.1	Untuk area dengan jumlah hari guruh < 91 hari (<i>IKL (Isokeraunic Level) < 25%)</i> *	kA	10		
8.2	Untuk area dengan jumlah hari guruh > 91 hari (<i>IKL (Isokeraunic Level) > 25%)</i> *				
	- Pada GI, GH dan pembangkit atau kabel keluar (<i>outgoing</i>) GI, GH, pembangkit dan ujung penyulang	kA	20		
	- Pada proteksi tegangan lebih Transformator Distribusi dan Kabel Distribusi TM	kA	10		

9	Kelas		
9.1	Untuk area dengan jumlah hari guruh < 91 hari (<i>IKL (Isokeraunic Level) < 25%</i>)*		
	- Pada GI, GH dan pembangkit atau kabel keluar (<i>outgoing</i>) GI, GH, pembangkit dan ujung penyulang	3	
	- Pada proteksi tegangan lebih Transformator Distribusi dan Kabel Distribusi TM	2	
9.2	Untuk area dengan jumlah hari guruh > 91 hari (<i>IKL (Isokeraunic Level) > 25%</i>)*		
	- Pada GI, GH dan pembangkit atau kabel keluar (<i>outgoing</i>) GI, GH, pembangkit dan ujung penyulang	4	
	- Pada proteksi tegangan lebih Transformator Distribusi dan Kabel Distribusi TM	2	
14	Gaya mekanis sesaat yang dispesifikasikan		Ditetapkan dan dicantumkan dalam spesifikasi oleh pabrik
15	<i>Disconnecter</i>		Ada
16	<i>Bracket</i>		Ada

* Tipikal peta IKL Indonesia dapat dilihat pada lampiran namun untuk mendapatkan data IKL terkini dapat diperoleh di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesia

** Perhitungan pedoman pemilihan dapat dilihat pada lampiran.

*** Untuk penggunaan di daerah perkotaan dan pedesaan yang jauh dari polusi industri, tepi pantai dan pegunungan dengan tingkat kelembaban yang tinggi, dibuktikan dengan pengujian *weathering ageing* 1000 jam.

**** Untuk penggunaan di daerah yang dekat dengan polusi industri, tepi pantai dan pegunungan dengan tingkat kelembaban yang tinggi, dibuktikan dengan pengujian *weathering ageing* 5000 jam.

Tabel 7.2 Kelas *Lightning Arrester*

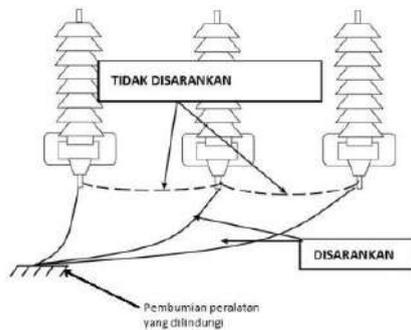
Kelas Sesuai IEC 60099-4:2009	Kemampuan Menyerap Energi Maksimum berdasarkan IEC <i>Operating Duty Test</i> dengan 2 x <i>Long duration current impulse</i>	
	kJ/kV (<i>Uc</i>)	kJ/kV (<i>Ur</i>)
2	≥ 5	≥ 4
3	≥ 8.75	≥ 7
4	≥ 12.5	≥ 10

7.5. Pemasangan *Lightning Arrester*

7.5.1. Kawat penghubung *Lightning Arrester (Lead Wire)*

Pembuangan arus petir melalui induktansi dari kawat penghubung *arrester* menghasilkan tegangan yang menambah tegangan keluaran

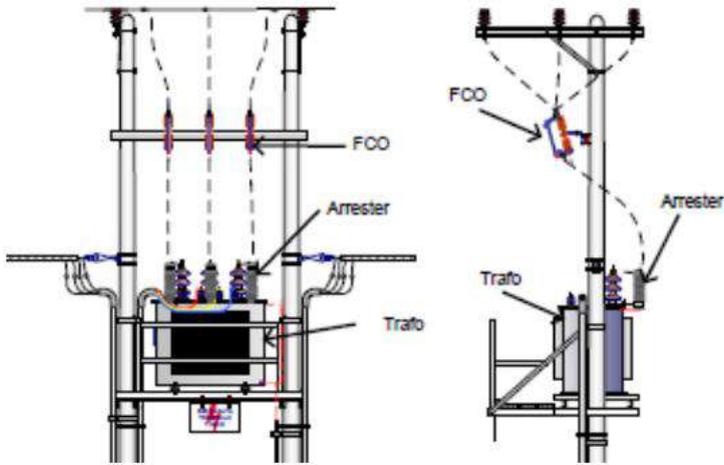
arrester. Panjang kawat penghubung tersebut terdiri dari panjang kawat penghubung *arrester* ke pembumian serta panjang kawat penghubung *arrester* dengan tegangan fasa. Panjang total dari kawat penghubung ini diukur dari titik di mana sambungan kawat penghubung *arrester* ini dibuat ke titik di mana dilakukan interkoneksi antara pembumian *arrester* dan pembumian dari peralatan yang dilindungi. Kawat penghubung pembumian masing-masing *arrester* disarankan dihubungkan langsung dari pembumian *arrester* dengan pembumian dari peralatan yang dilindungi tanpa terlebih dahulu disatukan.



Gambar 7.4 Sambungan kawat penghubung pembumian

7.5.2. Lokasi *Lightning Arrester* sehubungan dengan pembatas peralatan

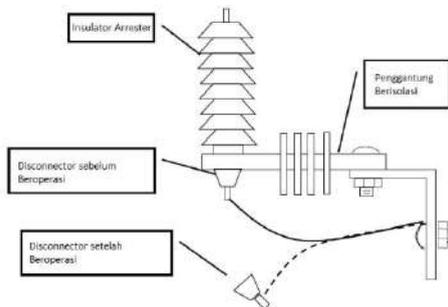
Menempatkan sebuah *Lightning Arrester* pada sisi sumber dari *FCO* menyebabkan panjang kawat penyambung *Lightning Arrester* yang sangat panjang. Oleh karena itu *Lightning Arrester* harus diletakan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindunginya dengan menempatkan setelah *FCO* agar kawat penyambung *Lightning Arrester* menjadi pendek. Lokasi dari *fuse* di depan *Lightning Arrester* menyebabkan *fuse* membawa arus pelepasan *Lightning Arrester*. Maka disyaratkan *fuse* yang digunakan di depan *Lightning Arrester* adalah *fuse* yang tahan arus surja petir.



Gambar 7.5 Contoh penempatan *Lightning Arrester* pada Gardu Distribusi

7.6. Kawat Penghubung *Disconnecter*

Disconnecter diletakkan pada terminal pembumian dari *Lightning Arrester* dan menghubungkan terminal pembumian *Lightning Arrester* dengan kawat penghubung pembumian. Apabila *Lightning Arrester* menghantarkan arus yang besar akibat kegagalan *Lightning Arrester* akan menyebabkan bekerjanya *disconnecter* untuk memisahkan terminal pembumian *Lightning Arrester* dengan kawat penghubung pembumian. Sehingga sangat perlu diperhatikan kawat penghubung pembumian tidak terkena kawat fasa apabila *disconnecter* bekerja. Oleh karena itu kawat penghubung pembumian harus dari material yang memiliki fleksibilitas tinggi dan tidak kaku.



Gambar 7.6 Penempatan *Disconnecter* pada *Lightning Arrester*

7.7. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 7.3 sampai dengan Tabel 7.6.

Tabel 7.3 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	Radio Komunikasi
2.	Tangga
3.	<i>Grounding stick</i> 20 kV
4.	Tang Kombinasi
5.	Kunci pas ring lengkap
6.	Alat pentanahan
7.	<i>Roller</i> pengerek
8.	Kantong alat kerja
9.	<i>Binding Wire</i> 20 kV
10.	Dudukan <i>Roller (Eye Bolt)</i>
11.	Tambang manila 25 m
12.	Tambang 3 m untuk tali tangga
13.	<i>Hot Stick</i>

Tabel 7.4 Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	<i>Arrester</i> 20 kV
2.	Kawat A3C
3.	Sepatu kabel
4.	Kabel BC

Tabel 7.5 Perlengkapan K3

No.	Perlengkapan K3
1.	<i>Safety helm</i>
2.	<i>Safety shoes</i> 20 kV

No.	Perlengkapan K3
3.	Sarung tangan karet 20 kV
4.	<i>Body harness safety</i>
5.	Kotak P3K

Tabel 7.6 Alat Ukur

No.	Alat Ukur
1.	<i>Earth Resistance Tester (megger grounding)</i>
2.	<i>Insulation Tester (megger isolasi)</i>

7.8. Prosedur Percobaan

1. Siapkan peralatan kerja, material kerja, perlengkapan K3 dan alat ukur.
2. Ikuti prosedur manuver pembebasan tegangan.
3. Lakukan pengecekan sambungan *Lightning Arrester* (jumper, cco, sepatu kabel).
4. Buka jumper dan titik sambung, kemudian turunkan *Lightning Arrester*.
5. Bersihkan dan ukur masing-masing *Lightning Arrester* dengan *megger* isolasi untuk memastikan kondisi *Lightning Arrester* (rusak/tidak rusak).
6. Bila hasil pengukuran menunjukkan nilai $> 1.000 \text{ M}\Omega$, *Lightning Arrester* dibersihkan saja.
7. Pembersihan *Lightning Arrester* dengan cara dipoles dengan sakapen hingga merata. Kemudian dibersihkan dengan lap/kain majun yang sudah dibasahi dengan wash bensin.
8. Kemudaian dilap kembali dengan menggunakan lap kering dan bersih.
9. Pasang kembali *Lightning Arrester* pada titik sambung.
10. Ukur pentanahan *Lightning Arrester* dengan *megger grounding (earth resistance tester)*.

11. Bila hasil pengukuran $> 5 \Omega$ dinyatakan tidak layak, maka hasil ukur dicatat pada format laporan sebagai bahan pelaporan.
12. Setelah selesai, periksa kembali pekerjaan dan turunkan kembali semua peralatan, pastikan peralatan tidak ada yang ketinggalan.

7.9. Data Hasil Percobaan

7.9.1. Pengecekan sambungan

Tabel 7.7 Hasil pengecekan sambungan *Lightning Arrester*

No	Item Pengecekan	Kondisi (Baik/Buruk)
1.	Periksa sambungan <i>Lightning Arrester</i> (Jumper, CCO, Sepatu kabel), jika longgar harus dikencangkan.	

7.9.2. Pengukuran pentanahan

Tabel 7.8 Hasil pengukuran pentanahan *Lightning Arrester*

No	Item Pengukuran	Hasil Pengukuran (Layak/Tidak Layak)
1.	Pengukuran <i>Lightning Arrester</i> , syarat $< 5 \text{ Ohm}$	

7.9.3. Pengukuran tahanan isolasi

Tabel 7.9 Hasil pengukuran tahanan isolasi *Lightning Arrester*

No	Item Pengukuran	Kondisi (Baik/Rusak)
1.	Pengukuran dengan megger isolasi. Bila hasil pengukuran menunjukkan nilai $> 1.000 \text{ M}\Omega$ <i>Lightning Arrester</i> dibersihkan saja	

7.10. Contoh Soal

1. Pada keadaan normal/tidak terjadi gangguan *lightning arrester* akan memiliki karakteristik bersifat
 - a. Isolator
 - b. Konduktor
 - c. Konduktor bertahanan rendah
 - d. Netral

Jawaban: a

2. Salah satu bagian yang terdapat pada *lightning arrester* adalah elektroda atas dan elektroda bawah. Manakah dari dua elektroda tersebut yang dihubungkan dengan sistem pentanahan?
 - a. Elektroda atas
 - b. Elektroda bawah
 - c. Elektroda pentanahan
 - d. Elektroda tengah

Jawaban : b

3. Manakah pernyataan di bawah ini yang paling benar:
 - a. Masing-masing kawat penghubung pembumian *lightning arrester* dihubungkan langsung dengan pembumian, tanpa disatukan terlebih dahulu.
 - b. Masing-masing kawat penghubung pembumian *lightning arrester* terlebih dahulu disatukan, baru selanjutnya dihubungkan dengan pembumian.
 - c. Dua kawat penghubung pembumian *lightning arrester* terlebih dahulu disatukan sebelum dihubungkan dengan kawat pembumian yang lain.
 - d. Kawat penghubung pembumian *lightning arrester* tidak perlu disatukan dan dihubungkan dengan opembumian

Jawaban : a

4. Peralatan yang digunakan untuk melindungi transformator distribusi dari tegangan lebih akibat sambaran petir/hubung singkat yaitu:

- a. *Fuse cut out*
- b. Elektroda pentanahan
- c. *Lightning arrester*
- d. *MCCB*

Jawaban : c

5. Tipe-tipe *lightning arrester* yaitu:
- a. Tipe ekspulsi
 - b. Tipe katup
 - c. Tipe *gapless*
 - d. Semua jawaban benar

Jawaban : d

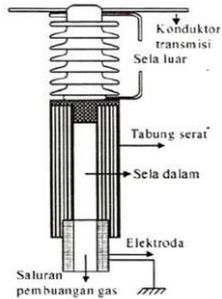
6. Berdasarkan sela perciknya *lightning arrester* tipe katup dibagi menjadi:
- a. 2 tipe
 - b. 3 tipe
 - c. 4 tipe
 - d. 6 tipe

Jawaban : b

7. Tipe *LA* yang memiliki sela percik resistor non linear dan isolator tabung dan digunakan pada jaringan distribusi hantaran udara adalah:
- a. *LA* tipe katup sela pasif
 - b. *LA* tipe katup sela aktif
 - c. *LA* tipe katup tanpa sela percik
 - d. *LA* tipe *gapless*

Jawaban : a

8. Gambar di bawah ini merupakan *LA* tipe:



- a. Katup
- b. Eskpulasi
- c. Gapless
- d. Tanpa sela percik

Jawaban : b

9. Bagian mana pada *lightning arrester* apabila terjadi tegangan lebih akibat surja petir akan terjadi busur apa:
 - a. Elektroda
 - b. Tahanan Katup
 - c. *Spark gap*
 - d. Sela dalam

Jawaban : c

10. Cara yang digunakan oleh *LA* tipe katup sela aktif dalam memadamkan busur apa adalah:
 - a. Membangkitkan medan magnit pada sela percik
 - b. Menggunakan resistor non linear
 - c. Memperbesar nilai resistor
 - d. Menggunakan sela percik

Jawaban : a

7.11. Soal Latihan

1. Gambarkan cara pengawatan kawat pembumian *lightning arrester* yang benar dan tepat.
2. Berikan penjelasan terkait dengan alasan kenapa masing-masing kawat pembumian *lightning arrester* langsung dihubungkan

dengan pembumian, tidak terlebih dahulu disatukan (3 kawat pembumian *arrester*).

3. Gambarkan (*layout*) kawat penghubung *disconnector* pada terminal dari *lighting arrester* sebelum beroperasi dan sesudah beroperasi.

BAB 8

PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN INSTALASI GARDU TRAFU DISTRIBUSI

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu mengetahui besarnya tahanan pentanahan pada instalasi gardu trafo distribusi.
2. Mampu mengetahui dan memahami fungsi dan kegunaan dari pengukuran tahanan pentanahan.
3. Mampu menjelaskan persyaratan suatu sistem pentanahan.
4. Mampu mengetahui prinsip kerja alat *earth resistance tester* (*megger grounding*).
5. Mampu mengetahui cara untuk memperkecil nilai tahanan pentanahan.
6. Mampu mengukur tahanan pentanahan sesuai dengan SOP yang berlaku.

8.1. Tujuan Pentanahan

Pentanahan peralatan berlainan dengan pentanahan sistem, ialah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normal tidak dialiri arus listrik atau sistem pengamanan terhadap peralatan/perangkat yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik utamanya petir. Sistem pentanahan digambarkan sebagai hubungan antara suatu peralatan atau sirkit listrik dengan bumi.

Secara umum tujuan dari sistem pentanahan dan pentanahan peralatan adalah sebagai berikut:

1. Mencegah terjadinya perbedaan potensial antara bagian tertentu dari instalasi secara aman.
2. Mengalirkan arus gangguan ke tanah sehingga aman bagi manusia dan peralatan.
3. Mencegah timbulnya bahaya sentuhan tidak langsung yang menyebabkan tegangan kejut.

4. Menciptakan jalur yang *low impedance* (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik.

8.2. Persyaratan Pentanahan

Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Membuat jalur impedansi rendah ke-tanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge current*).
3. Menggunakan bahan tahan terhadap korosi berbagai kondisi kimiawi tanah. Untuk meyakinkan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanannya.

8.3. Jenis Pentanahan

Jenis pentanahan dapat dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Pentanahan Sistem (pentanahan netral)
 - Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
 - Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
 - Meningkatkan keandalan (*reliability*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
 - Mengurangi/membatasi tegangan lebih *transient* yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang (*restrike ground fault*)
2. Pentanahan Peralatan
 - Tindakan pengamanan dengan cara menghubungkan badan peralatan/instalasi yang diproteksi dengan hantaran netral, sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tidak

terjadi tegangan sentuh yang tinggi sampai berkerjanya alat pengaman arus lebih.

- Untuk membatasi tegangan antara bagian-bagian peralatan yang tidak dilalui arus dengan tanah sampai pada suatu harga yang aman untuk semua kondisi operasi normal atau tidak normal.

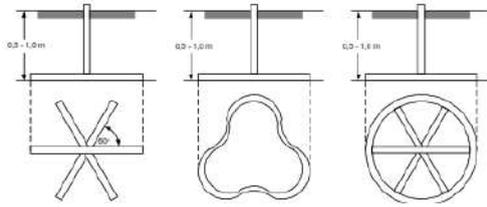
3. Pentanahan Penangkal Petir

Untuk menghindari timbulnya kecelakaan atau kerugian akibat sambaran petir, maka diadakan usaha pemasangan instalasi penangkal petir pada bangunan. Akibat sambaran petir ini mengakibatkan kerugian pada objek tersambar. Dengan adanya instalasi penangkal petir, maka diharapkan sambaran petir dapat dikendalikan melalui instalasi penangkal petir yang diteruskan ke-bumi tanpa merusak benda disekitarnya. Tiga bagian utama penangkal petir: Batang penangkal petir, Kabel konduktor, dan Elektroda pentanahan.

8.4. Jenis Elektroda Pentanahan

Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam bumi dan membuat kontak langsung dengan bumi. Penghantar pentanahan yang tidak berisolasi yang ditanam dalam bumi dianggap sebagai bagian dari elektroda bumi.

1. Elektroda Pita ialah elektroda yang dibuat dari penghantar berbentuk pita atau berpenampang bulat atau penghantar pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Elektroda ini dapat ditanam sebagai pita lurus, radial, melingkar, jala-jala atau kombinasi dari bentuk tersebut seperti pada Gambar 8.1, yang ditanam sejajar permukaan tanah dengan kedalaman antara 0,5 – 1,0 m.



Gambar 8.1 Cara pemasangan elektroda pita

Persamaan yang digunakan untuk menghitung tahanan pentanahan elektroda pita:

$$R_{pt} = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{d} \right) \dots\dots\dots (8-1)$$

Keterangan:

- R_{pt} = tahanan pentanahan elektroda pita (Ω).
- ρ = tahanan jenis tanah (Ωm).
- L = panjang elektroda pita tertanam (m).
- d = lebar pita / diameter elektroda pita kalua bulat (m).

2. Elektroda Batang adalah elektroda dari pipa besi, baja profil atau batang logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah.

Persamaan yang digunakan untuk menghitung besar tahanan pembumian untuk satu buah elektroda batang:

$$R_{bt} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right) \dots\dots\dots (8-2)$$

Keterangan:

- R_{bt} = tahanan pentanahan elektroda plat (Ω).
- ρ = tahanan jenis tanah (Ωm).
- L = panjang batang tertanam (m).
- B = lebar plat (m).
- t = kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah (m).

3. Elektroda plat adalah elektroda dari bahan logam tuah atau berlubang. Pada umumnya elektroda plat ditanam secara dalam bila persyaratan

dipenuhi, jaringan pipa air minum dari logam dan selubung logam kabel yang tidak diisolasi yang langsung ditanam dalam tanah, besi tulang beton atau konstruksi baja bawah tanah lainnya boleh dipakai sebagai elektroda bumi. Persamaan yang digunakan untuk menghitung besar tahanan pembumia untuk elektroda plat:

$$R_{pl} = \frac{\rho}{4,1L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right) \dots\dots\dots (8-3)$$

Keterangan:

- R_{pl} = tahanan pentanahan elektroda batang(Ω).
- ρ = tahanan jenis tanah (Ω m).
- L = panjang elektroda pita tertanam (m).
- d = diameter elektroda batang (m).

8.5. Resistansi Jenis Tanah dan Resistansi Pentanahan

Nilai resistansi jenis tanah sangat berbeda-beda bergantung pada jenis tanah. Semakin kecil nilai resistansi tanah, maka tahanan sistem pentanahan akan semakin kecil. Tahanan jenis tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

- Karakteristik material tanah,
- Kelembaban tanah dan Temperatur tanah.
- Nilai resistansi jenis tanah.

Berdasarkan PUIL 2000 resistansi jenis tanah dapat dilihat pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Resistansi jenis tanah

1	2	3	4	5	6	7
Jenis tanah	Tanah rawa	Tanah liat & tanah ladang	Pasir basah	Kerikil basah	Pasir dan kerikil kering	Tanah berbatu
Resistans jenis (Ω -m)	30	100	200	500	1000	3000

8.6. Resistansi Pentanahan

Resistansi pentanahan dari elektroda bumi tergantung pada jenis dan keadaan tanah serta pada ukuran dan susunan elektroda. Resistansi pentanahan suatu elektroda harus dapat diukur, untuk keperluan tersebut penghantar yang menghubungkan setiap elektroda bumi atau susunan elektroda bumi harus dilengkapi dengan hubungan yang dapat dilepasakan. Tabel 8.2 menunjukkan nilai rata-rata resistansi elektroda bumi.

Tabel 8.2 Resistansi pentanahan untuk beberapa jenis elektroda

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Jenis elektrode	Pita atau penghantar pilin				Batang atau pipa				Pelat vertikal dengan sisi atas ± 1 m dibawah permukaan tanah	
	Panjang (m)				Panjang (m)				Ukuran (m ²)	
	10	25	50	100	1	2	3	5	0,5x1	1x1
Resistans pembu-mian (Ω)	20	10	5	3	70	40	30	20	35	25

Keterangan:

Untuk resistansi jenis yang lain (ρ), maka besarnya resistansi pembumian adalah perkalian nilai di atas dengan,

$$\frac{\rho}{\rho_1} \text{ atau } \frac{\rho}{100}$$

Contoh:

Untuk mencapai resistansi jenis pembumian sebesar 5 Ω pada tanah liat atau tanah lading dengan resistansi jenis 100 Ω meter diperlukan sebuah elektroda pita yang panjangnya 50 meter atau empat buah elektroda batang yang panjangnya masing-masing 5 meter. Jarak antara elektroda-elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya. Pada pasir basah yang resistansi jenisnya 200 Ω meter, sebuah elektroda pita sepanjang 100 meter, menghasilkan resistansi pembumian 6 Ω .

8.7. Bahan dan Ukuran Elektroda

Sebagaimana bahan elektroda digunakan tembaga, atau baja yang digalvanisasi atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain (misalnya pada perusahaan kimia). Ukuran minimum elektroda dapat dipilih menurut Tabel 8.3 dengan memperhatikan pengaruh korosi dan KHA

Tabel 8.3 Ukuran elektroda pentanahan

No	Bahan jenis elektrode	1	2	3
		Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektrode pita	-Pita baja 100 mm ² setebal minimum 3 mm -Penghantar pilin 95 mm ² (bukan kawat halus)	50 mm ²	Pita tembaga 50 mm ² tebal minimum 2 mm Penghantar pilin 35 mm ² (bukan kawat halus)
2	Elektrode batang	-Pipa baja 25 mm -Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3 - Batang profil lain yang setaraf	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 μm	
3	Elektrode pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 m ² sampai 1 m ²

8.8. Pemasangan dan Susunan Elektroda Pentanahan

Untuk memilih macam elektroda bumi yang akan dipakai, harus diperhatikan terlebih dahulu kondisi setempat, sifat tanah, dan resistansi pembumian yang diperkenankan. Permukaan elektroda bumi harus berhubungan baik dengan tanah sekitarnya. Batu dan kerikil yang langsung mengenai elektroda bumi dapat memperbesar resistansi pentanahan. Jika keadaan tanah mengijinkan, elektroda pita harus ditanam sedalam 0,5 – 1 meter.

Beberapa catatan yang harus diperhatikan:

1. Pengaruh kelembaban lapisan tanah terhadap resistansi pentanahan agar diperhatikan.

2. Panjang elektroda bumi agar disesuaikan dengan resistansi pentanahan yang dibutuhkan.
3. Elektroda batang dimasukan tegak lurus ke dalam tanah dan panjangnya disesuaikan dengan resistansi pentanahan yang diperlukan. Resistansi pentanahan-nya sebgaaian besar tergantung pada panjangnya dan sedikit bergantung pada luas penampangya.
4. Jika beberapa elektroda diperlukan untuk memperoleh resistansi pentanahan yang rendah, jarak antara elektroda tersebut minimum harus dua kali panjangnya. Jika elektroda tersebut tidak berkerja efektif pada seluruh panjangnya, maka jarak minimm antara elektroda harus dua kali Panjang efektifnya.
5. Elektroda plat ditanam tegak lurus dalam tanah, ukurannya disesuaikan dengan resistansi pentanahan yang diperlukan dan pada umumnya cukup menggunakan plat berukuran 1 m x 0,5 m. Sisi atas pelat harus terletak minimum 1 m di bawah permukaan tanah.
6. Jika diperlukan beberapa plat logam untuk memperoleh resistansi pentanahan yang lebih rendah, maka jarak antara plat logam, jika dipasang parallel dianjurkan minimum 3 meter.

8.9. Alat yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pada Praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 8.4 sampai dengan Tabel 8.7.

Tabel 8.4 Peralatan Kerja

No.	Peralatan Kerja
1.	Meteran
2.	Martil / Palu

Tabel 8.5 Material Kerja

No.	Material Kerja
1.	Elektroda Batang (Baja Galvanis)
2.	Elektro Batang (Baja berlapis tembaga)

No.	Material Kerja
3.	Elektroda Batang (Tembaga)
4.	Kabel BC

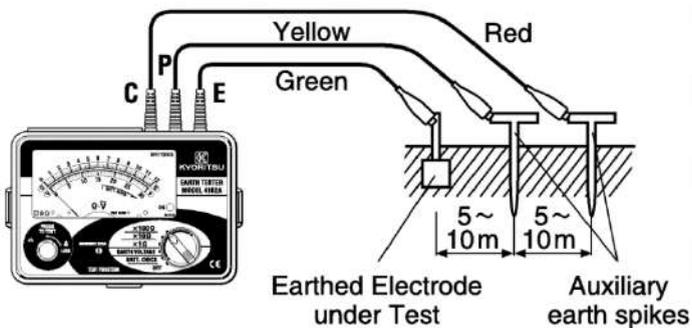
Tabel 8.6 Perlengkapan K3

No.	Perlengkapan K3
1.	Helm Pengaman
2.	Sepatu pengaman
3.	Kaca mata (<i>safety glass</i>)
4.	Sarung tangan kain
5.	Pakaian kerja (<i>wearpack</i>)
6.	Kotak P3K
7.	Sarung tangan kain

Tabel 8.7 Alat Ukur

No.	Alat Ukur
1.	<i>Earth Resistance Tester (Megger Grounding).</i>

8.10. Rangkaian Percobaan



Gambar 8.2 Rangkaian percobaan pengukuran pentanahan instalasi Gardu Distribusi

8.11. Contoh Soal

1. Sistem pembumian dapat dibuat dalam beberapa bentuk, yaitu:
 - a. *Single grounding rod, Double grounding rod, Multi grounding rod*
 - b. *Multi grounding rod, Single grounding rod, Sistem mesh*
 - c. *Double grounding rod, Multi grounding rod, Sistem mesh*
 - d. Semua jawaban benar

Jawaban: a

2. Jika sistem *single grounding rod* masih mendapatkan hasil yang kurang maksimal ($R > 5 \text{ Ohm}$), maka dilakukan penambahan *grounding rod* ke-dalam tanah dengan ketentuan:
 - a. Jarak minimal 1,5 meter dari elektroda pertama
 - b. Jarak minimal 2 meter dari elektroda pertama
 - c. Jarak 2,5 meter dari elektroda pertama
 - d. Jarak minimal 1 meter dari elektroda pertama.

Jawaban: b

3. Beberapa variabel yang dapat mempengaruhi nilai tahanan pentanahan, kecuali:
 - a. Panjang atau kedalaman elektroda
 - b. Jumlah elektroda
 - c. Jenis tanah
 - d. Diameter Elektroda

Jawaban: c

4. Nilai resistansi jenis tanah untuk tanah rawa adalah:
 - a. 500 Ohm-meter
 - b. 3.000 Ohm-meter
 - c. 200 Ohm-meter
 - d. 30 Ohm-meter

Jawaban : d

5. Berdasarkan standar PUIL untuk resistansi pembumian jenis elektroda batang atau pipa dengan kedalaman 5 meter, akan menghasilkan resistansi pembumian sebesar:

- a. 20 Ohm
- b. 70 Ohm
- c. 40 Ohm
- d. 25 Ohm

Jawaban : a

6. Berdasarkan standar PUIL untuk resistansi pembumian jenis elektroda pita dengan panjang 100 meter, akan menghasilkan nilai resistansi pembumian sebesar:

- a. 3,5 Ohm
- b. 3 Ohm
- c. 4 Ohm
- d. 5 Ohm

Jawaban : b

7. Diketahui suatu persamaan sebagai berikut:

$$R_{pl} = \frac{\rho}{4,1L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right)$$

Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menghitung nilai resistansi pembumian dari elektroda:

- a. Elektroda batang
- b. Elektroda pita
- c. Elektroda plat
- d. Elektroda pilin

Jawaban : c

8. Peralatan yang digunakan untuk melakukan pengukuran tahanan pembumian adalah:

- a. *Megger isolasi*
- b. *Insulation tester*
- c. *Earth resistance tester*
- d. Tahanan *grounding*

Jawaban : c

9. Persamaan yang digunakan untuk menentukan besar tahanan pembumian untuk satu buah elektroda batang adalah:

- a.

$$R_{bt} = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

b.

$$R_{bt} = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

c.

$$R_{bt} = \frac{\rho}{4,1L} \left(\ln \frac{4L}{d} - 1 \right)$$

d.

$$R_{bt} = \frac{\rho}{4,1L} \left(1 + 1,84 \frac{b}{t} \right)$$

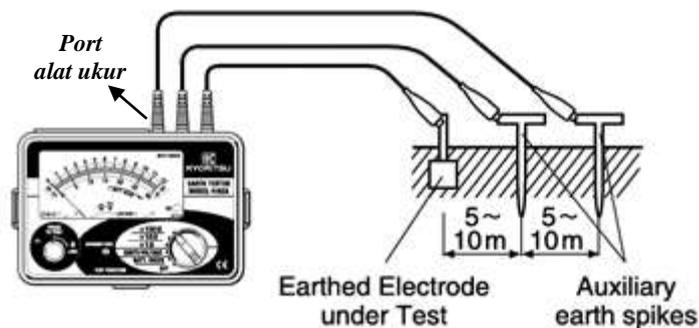
Jawaban : a

10. Kode huruf dan warna kabel pada *megger grounding* yang akan dihubungkan dengan elektroda yang diakur adalah:
- C, warna merah
 - P, warna kuning
 - E, warna hijau
 - C, warna kuning

Jawaban : c

8.12. Latihan Soal

1. Lengkapi proses pengukuran pada Gambar di bawah ini, dengan cara memberikan notasi warna pada kabel dan notasi huruf pada port alat ukur tersebut.



2. Tuliskan persamaan untuk menghitung/menentukan nilai:
- Tahanan elektroda batang

- b. Tahanan elektroda pita
 - c. Tahanan elektroda plat
3. Diketahui elektroda batang dengan panjang 2,5 meter mempunyai diameter 15 cm dengan tahanan tanah 200 Ohm. Berapakah nilai tahanan jenis elektroda batang tersebut?
 4. Sebutkan bagian-bagian pada gardu trafo tiang tipe portal yang diketanahkan?
 5. Hitunglah tahanan pembumian elektroda batang jika diketahui tahanan jenis tanah sebesar $200 \Omega\text{-m}$, dengan panjang elektroda 300 cm dengan diameter sebesar 12 mm^2 .

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2011. Persyaratan Umum Instalasi Listrik. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Hajar, I, Rahman, E. 2017. Kajian Pemasangan Lightning Arrester pada sisi HV Transformator Daya Unit Satu Gardu Induk Teluk Betung. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 9(2), 168-179.
- Hidayat, T, Hayusman, L. M dan Setiawan, R. 2018. Integrasi Distributed Generation (DG) pada Sistem Distribusi 20 kV Sebagai Upaya Mengurangi Losses dan Meningkatkan Profil Tegangan. *Jurnal Industri Inovatif*, 8(2), 22-26.
- IEEE Std 142. 2007. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.
- Kyoritsu Electrical Instruments Works, LTD. Instruction Manual Digital Earth Resistance Tester Model 4102A. Jepang: Kyoritsu Electrical Instruments Works, LTD.
- Kyoritsu Electrical Instruments Works, LTD. Instruction Manual Compact Insulation Resistance Tester With 3-Range. Jepang: Kyoritsu Electrical Instruments Works, LTD.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.4. 2009. Aturan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta: Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- PLN Corporate University. 2014. Pengoperasian JTR dan Sambungan Pelayanan TR B.1.1.3.01.3. Jakarta: PT PLN (Persero)
- PLN Rayon Binjai Kota. 2017. SOP Pemeliharaan Arrester. PLN Rayon Binjai <https://plnrayonbinjaikota.wordpress.com/2017/02/10/sop-pemeliharaan-arrester/> 06 Oktober 2019 (22.48)
- PT. Borobudur Medecon. Standing Operation Procedure (SOP) Pemeliharaan Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR). PT. Borobudur Medecon

<https://www.scribd.com/document/360047347/Sop-Har-Sutr-gress>. 05

Oktober 2019 (21.00)

Hutauruk, T. S. 1991. Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan. Jakarta: Erlanga.

Suprijono, G. 2013. Pemeliharaan Jaringan Tegangan Rendah. *Jurnal Power Elektronik*, 2(3), 1-4.

Schneider Electric. 2018. Catalog Kubikel SM6 Modular Unit - Air Insulated Switchgear up to 36 kV. France: Schneider Electric
[https://download.schneider-](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SM6_A_MTED398078EN_0918.pdf&p_Doc_Ref=AMTED398078EN)

[electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SM6_A_MTED398078EN_0918.pdf&p_Doc_Ref=AMTED398078EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=SM6_A_MTED398078EN_0918.pdf&p_Doc_Ref=AMTED398078EN). 06
Oktober 2019 (22.59)

Simora, Ismail dkk. 2014. Pengoperasian JTR dan Sambungan Pelayanan TR. Jakarta: PLN Corporate University.

Suhantono, D, Sumerta, I. M dan Yasa, K. A. 2018. Evaluasi Error kWh Meter Analog Pengukuran Langsung dengan Metode Peneraan Waktu pada Laboratorium Jurusan Teknk Elektro Politeknik Negeri Bali. *Jurnal Matrix*, 8(1), 16-21

SPLN 3. 1978. Pentanahan Jaring Tegangan Rendah PLN dan Pentanahan Instalasi. Jakarta: Perusahaan Umum Listrik Negara

SPLN 64. 1985. Petunjuk Pemilihan dan Penggunaan Pelebur pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi Perusahaan Umum Listrik Negara.

SPLN D5.006. 2013. Pedoman Pemilihan Arrester untuk Jaringan Distribusi 20 kV. Jakarta Selatan: PT PLN (Persero).

SPLN D5.001. 2008. Pedoman Pemilihan dan Penggunaan Meter Energi Listrik. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).

SPLN D3.015-2. 2012. Alat Pengukur, Pembatas dan Perlengkapan. Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero).

Syukur, A, Warsito, A dan Nilawati, L. 2009. Kinerja Arrester Akibat Induksi Sambaran Petir pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV. *Jurnal Teknik Elektro*, 11(1), 9-14.

Wibowo, Retno dkk. 2010. Buku 1: Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT. PLN (PERSERO)

_____. 2010. Buku 2: Standar Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT. PLN (PERSERO)

_____. 2010. Buku 3: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT. PLN (PERSERO)

_____. 2010. Buku 4: Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT. PLN (PERSERO)

_____. 2010. Buku 5: Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. Jakarta Selatan: PT. PLN (PERSERO)

<https://docplayer.info/59005763-Pengoperasian-kubikel-20-kv.html>

<https://plnrayonbinjaikota.wordpress.com/2017/02/10/sop-pemeliharaan-arrester/>

<https://dokumen.tips/documents/6-pemeliharaan-phb-tr.html>

<https://docplayer.info/67439724-Prosedur-pengujian-tahanan-isolasi-trafo.html>

<https://plnrayonbinjaikota.wordpress.com/2017/02/10/sop-pemeliharaan-fuse-cut-out-fco/>

[https://www.scribd.com/document/357398152/Instalasi-Kwh-Meter-3-](https://www.scribd.com/document/357398152/Instalasi-Kwh-Meter-3-Fasa)

[Fasa](#)

GLOSARIUM

- APP : alat pembatas dan pengukur, merupakan peralatan milik PLN yang digunakan sebagai pembatas pemakaian listrik dan pengukur pemakaian energi listrik.
- AAAC : *all aluminium alloy conductor*, jenis kabel yang digunakan pada jaringan tenaga listrik baik sebagai penghantar maupun kabel penangkal petir.
- BKT : bagian konduktif terbuka.
- BKE : bagian konduktif ekstra.
- CVD : *capacitive voltage divider*, berfungsi sebagai pembagi tegangan tinggi untuk dirubah oleh trafo tegangan pengukuran lebih rendah.
- CT : berfungsi untuk menurunkan nilai arus untuk pengukuran dan proteksi.
- DM-1A : Kubikel sisi *outgoing* PLN
- DS : *disconnecting switch*, peralatan pengaman tenaga listrik yang tidak dilengkapi dengan peredam busur api.
- DC : sumber tegangan searah.
- Elektroda Batang : elektroda yang terbuat dari tembaga atau baja yang digalvanisasi. Digunakan untuk sistem pembumian
- Earthing Switch* : Kondisi jaringan dalam keadaan diketanahkan.
- Fuse Puller* : peralatan yang digunakan untuk melepas NH *fuse* pada PHB-TR.
- Fuse* : peralatan pengaman lebur.

<i>FCO</i>	: pengamanan lebur <i>fuse cut out</i> , pengamanan hubung singkat transformator dengan elemen pelebur
GD	: gardu distribusi
Gardu Portal	: gardu listrik tipe terbuka dengan memakai konstruski dua tiang.
IEC	: <i>international electrotechnical commission</i> , merupakan standar international yang memuat regulasi terkait bidang elektro.
<i>IM</i>	: Kubikel sisi <i>incoming</i> PLN.
<i>Interlock</i>	: berfungsi sebagai pengunci agar tidak dapat dioperasikan dalam dua keadaan sekaligus.
JTM	: jaringan tegangan menengah, merupakan saluran distribusi tenaga listrik dengan nilai tegangan 20 kV.
JTR	: jaringan tegangan rendah, merupakan saluaran distribusi tenaga listrik dengan nilai tegangan 220 V/380 V.
kV	: satuan tegangan dalam kilo volt $1 \text{ kV} = 1.000 \text{ V}$.
kVA	: kilo volt amper
<i>kWh</i> meter	: peralatan yang digunakan untuk mengukur pemakaian energi listrik.
K3	: keselamatan dan kesehatan kerja.
KHA	: kuat hantar arus, seberapa besar batasan arus listrik yang mampu dialirkan melalui suatu penghantar listrik.
<i>LBS</i>	: saklar pemutus beban, merupakan suatu rangkaian peralatan yang dapat difungsikan pada keadaan bertegangan dan berbeban.

LA	: pengamanan transformator dari kenaikan tegangan lebih akibat surja petir atau sambarn petir
MCB	: <i>miniature circuit breaker</i> . Peralatan pengamanan pada instalasi listrik tegangan rendah.
NH/NT Fuse	: Sebagai pengamanan trafo terhadap arus lebih yang dipasang di sisi tegangan rendah 220 V/380 V
NYAF	: kabel yang memiliki inti temabag bersserabut, dengan inti tunggal berisolasi PVC.
NYY	: kabel berinti tembaga dan berisolasi PVC.
NFB	: <i>no fused breaker</i> , pemutus dengan sensor arus. Apabila ada arus yang mengalir melewati peralatan tersebut melebihi kapasitas pemutus, <i>NFB</i> akan bekerja
<i>NSM Double Incoming</i>	: Kubikel sisi <i>incoming</i> pelanggan
<i>Name Plate</i>	: papan nama, tempat dituliskan keterangan (spesifikasi) peralatan
PMT	: peralatan yang digunakan sebagai pemutus tenaga (<i>circuit breaker</i>) yang dilengkapi dengan peredam busur api
PMS	: peralatan yang digunakan sebagai pemisah dan tidak dilengkapi dengan peredam busur api.
PHB-TR	: panel hubung bagai tegangan rendah
PHB-TM	: panel hubung bagi tegangan menengah
PT	: <i>potential transformer</i> , merupakan transformator pengukuran yang berfungsi untuk menurunkan nilai tegangan tinggi ke tegangan rendah guna pengukuran atau proteksi
PE	: simbool yang digunakan untuk penghantar pembumian.

Penghantar BC	: kabel yang digunakan untuk sistem pentanahan/pembumian.
<i>Push Button</i>	: tombol tekan.
PBO	: pemutus beban otomatis
<i>QM</i>	: kubikel sisi <i>outgoing</i> pelanggan
R	: simbol atau indikator untuk kabel listrik berwarna merah.
S	: simbol atau indikator untuk kabel listrik berwarna kuning.
SPLN	: standar perusahaan listrik Negara.
SLTM	: sambungan tenaga listrik tegangan menengah
SLTR	: sambungan tenaga listrik tegangan rendah
<i>Single line diagram</i>	: gambar instalasi yang menggunakan hanya satu garis.
T	: simbol atau indikator untuk kabel listrik berwarna hitam.
TR	: tegangan rendah dengan nilai 220 V, 380 V sampai dengan 1.000 Volt.
TM	: tegangan menengah dengan nilai diatas 1.00 Volt sampai dengan 20.000 Volt
<i>VPIS</i>	: <i>voltage presence indicating system</i> , berfungsi sebagai indikator sumber listrik sudah dialirkan.

Pengoperasian dan Pemeliharaan Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Materi awal dalam buku ajar ini berisi mengenai konsep, jenis dan penjadwalan pemeliharaan sebagai modal awal Mahasiswa/i untuk memahami tahapan dalam melakukan proses pemeliharaan dan pengoperasian sistem atau peralatan jaringan distribusi tegangan rendah dan menengah. Untuk mendukung penguasaan terhadap materi yang telah disampaikan, dilakukan kegiatan praktek sesuai dengan jobsheet yang tersedia dalam buku ajar ini dan diberikan juga contoh soal dan latihan soal disetiap materinya.

Capaian Pembelajaran:

1. Mampu menjelaskan konsep pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik.
2. Mampu menjelaskan dan membedakan jenis-jenis pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik.
3. Mampu melakukan penjadwalan pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik.

Lauhil Mahfudz Hayusman

ISBN 978-623-7694-75-5



9 786237 694755



Penerbit Poliban Press

Redaksi :

Politeknik Negeri Banjarmasin, Jl. Brigjen H. Hasan Basry,
Pangeran, Komp. Kampus ULM, Banjarmasin Utara

Telp : (0511)3305052

Email : press@poliban.ac.id

ISBN 978-623-7694-76-2 (PDF)



9 786237 694762