



LAMPIRAN
KEPUTUSAN DIREKSI PT PLN (Persero)
NOMOR : 475.K/DIR/2010
TANGGAL : 11 Agustus 2010

BUKU I

KRITERIA DISAIN ENJINERING
KONSTRUKSI JARINGAN
DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK



PT PLN (Persero)
Tahun 2010

Penyusun :

Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik disusun oleh :
Kelompok Kerja Standar Kontruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik
dan Pusat Penelitian Sains dan Teknologi Universitas Indonesia

Tim Pembina :

Direktur Operasi Jawa Bali
Direktur Operasi Indonesia Barat
Direktur Operasi Indonesia Timur

Tim Pengarah :

Kepala Divisi Distribusi dan Pelayanan Pelanggan Jawa Bali
Kepala Divisi Distribusi dan Pelayanan Pelanggan Indonesia Barat
Kepala Divisi Distribusi dan Pelayanan Pelanggan Indonesia Timur

Kelompok Kerja Standar Kontruksi Distribusi Jaringan Tenaga Listrik :

Ratno Wibowo, Winayu Siswanto, Parluhutan Samosir, Hedy Nugroho, Agus Bactiar Azis,
Adi Subagio, Pedi Sumanto, Tumpal Hutapea, Gunawan, OMA, Hendie Prasetyono,
I Made Latera, Sumaryono, Novalince Pamuso, Riyanto, Antonius HP,
Sunaryo, Sugeng Rijadi, Tutun Kurnia, Joko Pitoyo, Prihadi,
Ngurah Suwena, Elphis Sinabela, Andhy Prasetyo,
Ketut Bagus Darmayuda, Agus Prasetyo.

Narasumber :

PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Bali, PT PLN (Persero) Indonesia Barat , PT PLN (Persero)
Indonesia Timur, PT PLN (Persero) Jasa Engginering, PT PLN (Persero)
Pusat Penelitian dan Pengembangan Ketenagalistrikan,
PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.

Diterbitkan Oleh :

PT PLN (PERSERO)
Jalan Trunojoyo Blok M-I / 135, Kebayoran Baru
Jakarta Selatan

PT PLN (PERSERO)

KEPUTUSAN DIREKSI PT PLN (PERSERO)

NOMOR : 475 .K/DIR/2010

TENTANG

PENETAPAN KRITERIA DISAIN ENJINERING KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

DIREKSI PT PLN (PERSERO)

- Menimbang :
- a. bahwa untuk mengoperasikan jaringan distribusi tenaga listrik yang efisien, andal dan berkualitas, maka konstruksi jaringan distribusi harus terbangun dengan benar sesuai kaidah enjineriing dan keselamatan ketenagalistrikan;
 - b. bahwa untuk mewujudkan konstruksi jaringan distribusi yang benar maka diperlukan standarisasi instalasi utama konstruksi jaringan distribusi yang berlaku di seluruh Unit PT PLN (Persero).
 - c. bahwa untuk mewujudkan standarisasi konstruksi jaringan maka diperlukan perancangan dan penerapan enjineriing konstruksi jaringan distribusi yang diwujudkan dalam bentuk Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik;
 - d. bahwa Penetapan Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, perlu ditetapkan dengan Keputusan Direksi PT PLN (Persero).
- Mengingat :
1. Undang-undang RI Nomor 19 Tahun 2003 tentang Badan Usaha Milik Negara;
 2. Undang-undang RI Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas;
 3. Undang-undang RI Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan;
 4. Peraturan Pemerintah RI Nomor 10 Tahun 1989 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah RI Nomor 3 Tahun 2005 dan Peraturan Pemerintah RI Nomor 26 Tahun 2006;
 5. Peraturan Pemerintah RI Nomor 23 Tahun 1994 tentang Pengalihan Bentuk Perusahaan Umum (Perum) Listrik Negara Menjadi Perusahaan Perseroan (Persero);
 6. Peraturan Pemerintah RI Nomor 45 Tahun 2005 tentang Pendirian, Pengurusan, Pengawasan dan Pembubaran Badan Usaha Milik Negara;
 7. Anggaran Dasar PT PLN (Persero);
 8. Keputusan Menteri Negara Badan Usaha Milik Negara Nomor KEP-58/MBU/2008 jo Keputusan Menteri Badan Usaha Milik Negara Nomor KEP-252/MBU/2009 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Anggota-Anggota Direksi Perusahaan Perseroan (Persero) PT Perusahaan Listrik Negara;
 9. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 001.K/030/DIR/1994 tentang Pemberlakuan Peraturan Sehubungan Dengan Pengalihan Bentuk Hukum Perusahaan;
 10. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 021.K/0599/DIR/1995 tentang Pedoman dan Petunjuk Tata Usaha Pelanggan;
 11. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 074.K/DIR/2008 tentang Pedoman Pengelolaan Aset Sistem Distribusi;
 12. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 304.K/030/DIR/2009 tentang Batasan Kewenangan Pengambilan Keputusan di Lingkungan PT PLN (Persero);
 13. Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 017.K/DIR/2010 tentang Organisasi dan Tata Kerja PT PLN (Persero) sebagaimana telah diubah dengan Keputusan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 055.K/DIR/2010.

MEMUTUSKAN :

MEMUTUSKAN :

- Menetapkan** : KEPUTUSAN DIREKSI PT PLN (PERSERO) TENTANG PENETAPAN KRITERIA DISAIN ENJINERING KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LSTRIK.
- PERTAMA** : Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik disusun dalam Buku 1 sebagaimana tercantum dalam Lampiran Keputusan ini dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Keputusan ini.
- KEDUA** : Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik sebagaimana dimaksud dalam Diktum PERTAMA, disusun dengan memperhatikan seluruh kondisi sistem distribusi yang digunakan diseluruh PT PLN (Persero) dan enjinereng konstruksi jaringan distribusi yang telah diimplementasikan di lingkungan PT PLN (Persero).
- KETIGA** : Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik yang disusun dalam Buku 1 sebagaimana dimaksud dalam Diktum PERTAMA, tidak boleh dilakukan modifikasi.
- KEEMPAT** : Untuk implementasi penerapan Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, perlu dilakukan sosialisasi ke seluruh PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Distribusi Tenaga Listrik oleh Tim yang ditetapkan dengan Keputusan Direksi, yang akan mengkaji masukan-masukan saat implementasi untuk penyempurnaanya.
- KELIMA** : Ketentuan-ketentuan lain mengenai Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi Jaringan Tenaga Distribusi Listrik sepanjang tidak bertentangan dengan Keputusan ini, masih dapat digunakan.

Keputusan ini mulai berlaku terhitung sejak tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 11 Agustus 2010

DIREKTUR UTAMA,



DAN LAN ISKAN

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
KATA PENGANTAR	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1.1
1.1 LATAR BELAKANG	1.1
1.2 TUJUAN	1.2
BAB 2 PERHITUNGAN LISTRIK TERAPAN	2.1
2.1 JATUH TEGANGAN	2.1
2.2 PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN	2.2
2.2.1 Sistem Fasa Tunggal, $\text{COS } \varphi \approx 1$	2.2
2.2.2 Sistem Fasa Tiga dengan $\text{cos } \varphi$	2.3
2.3 PERHITUNGAN DENGAN MOMEN LISTRIK	2.3
2.4 FAKTOR DISTRIBUSI BEBAN	2.5
2.5 JANGKAUAN PELAYANAN	2.6
2.6 KEMAMPUAN HANTAR ARUS/KUAT HANTAR ARUS	2.9
2.6.1 Kemampuan Hantar Arus Penghantar Saluran Udara	2.9
2.6.2 Kemampuan Hantar Arus Saluran Kabel Bawah Tanah	2.10
BAB 3 PERHITUNGAN MEKANIKA TERAPAN	3.1
3.1 GAYA-GAYA MEKANIS PADA TIANG	3.1
3.1.1 Jarak antar tiang (Jarak gawang)	3.1
3.1.2 Berat penghantar dan gaya berat penghantar	3.2
3.1.3 Gaya tarik pada tiang	3.3
3.1.4 Pengaruh angin	3.4
3.1.5 Gaya Mekanis Pada Tiang Awal/Ujung	3.5

3.1.6	Gaya Mekanis Pada Tiang Tengah	3.6
3.1.7	Gaya Mekanis Pada Tiang Sudut	3.6
3.1.8	Aplikasi perhitungan gaya mekanis	3.7
3.1.9	Penggunaan Hasil Perhitungan Dalam Konsep Perencanaan	3.9
3.1.10	Metode Grafis Untuk Tiang Sudut	3.10
3.1.11	Beban mekanik pada Palang (cross arm /travers)	3.11
3.1.12	Beban Mekanis Isolator	3.12
3.1.13	Andongan pada permukaan miring	3.13
3.1.14	Pondasi Tiang dan Struktur Tanah	3.14
3.1.15	Jarak antar penghantar (conductor spacing)	3.15
3.2	BEBAN MEKANIS TAMBAHAN JARINGAN NON ELEKTRIKAL	3.16
3.3	CONTOH APLIKASI PERHITUNGAN	3.17
3.4	PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN AKIBAT PENGARUH GAYA MEKANIS AKIBAT SALURAN NON ELEKTRIKAL PLN	3.19
BAB 4 KONSEP DASAR KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK		4.1
4.1	KONSEP DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK	4.1
4.2	KONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI	4.3
4.3	KEANDALAN KONTINUITAS PENYALURAN	4.8
4.4	SISTEM PEMBUMIAN	4.8
4.4.1	Pembumian Transformator Daya Gardu Induk Pada Sisi TM	4.9
4.4.2	Pembumian Transformator Distribusi Pada Sisi Tegangan Rendah	4.10
4.4.3	Pembumian Lightning Arrester	4.10
4.5	SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH	4.10
4.5.1	Konsep Perencanaan	4.10
4.5.2	Proteksi Jaringan	4.11
4.5.3	Melokalisir Titik Gangguan	4.18
4.5.4	Konstruksi SUTM	4.18
4.5.5	Penggunaan Tiang	4.19
4.5.6	Area Jangkauan Pelayanan	4.19
4.6	SALURAN KABEL TANAH TEGANGAN MENENGAH	4.20
4.6.1	Konsep Perencanaan	4.20

4.6.2	Proteksi Jaringan	4.21
4.6.3	Konstruksi SKTM	4.22
4.6.4	Konsep Isolir Gangguan	4.22
4.6.5	Area Jangkauan Pelayanan	4.22
4.7	GARDU DISTRIBUSI	4.23
4.7.1	Gardu Distribusi Pasangan Luar	4.23
4.7.2	Gardu Distribusi Pasangan Dalam	4.24
4.7.2.1	Sambungan Tee – off (TO) dari saluran udara	4.25
4.7.2.2	Sambungan Saluran Kabel Tanah	4.25
4.7.2.3	Sambungan untuk Pemanfaat Tegangan Menengah	4.26
4.8	AREA PELAYANAN GARDU	4.26
4.8.1	Area Pelayanan Gardu Induk (<i>Service Area</i>)	4.27
4.8.1.1	Gardu Induk dengan Pelayanan Murni SKTM	4.27
4.8.1.2	Gardu Induk dengan Pelayanan SUTM	4.28
4.8.2	Area Pelayanan Gardu Distribusi	4.29
4.8.2.1	Gardu Distribusi Tipe Beton Daerah Padat Beban Tinggi	4.29
4.8.2.2	Gardu Distribusi Daerah Padat Beban Rendah	4.30
4.9	JARINGAN TEGANGAN RENDAH	4.30
4.9.1	Konstruksi Saluran Udara	4.30
4.9.2	Konstruksi Saluran Bawah Tanah	4.31
4.9.3	Proteksi Jaringan Dan Pembedaan	4.31
4.10	SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK	4.31
4.10.1	Konstruksi Saluran Udara	4.32
4.10.2	Konstruksi Sambungan Pelayanan Tegangan Rendah Bawah Tanah	4.32
4.10.3	Sambungan Pelayanan Pelanggan Tegangan Menengah	4.33
4.10.4	Intalasi Alat Pembatas dan Pengukur (APP)	4.33
4.11	PARAMETER-PARAMETER RANCANGAN KONSTRUKSI	4.34
4.11.1	Parameter Listrik	4.34
4.11.2	Parameter Lingkungan	4.35
4.11.3	Parameter Material	4.35

BAB 5 KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH	5.1
5.1 TERMINOLOGI	5.1
5.2 KONSTRUKSI DAN JARAK ANTAR TIANG	5.2
5.2.1 Pole Support (Topang tarik, topang tekan) dan fondasi tiang	5.2
5.2.2 Fondasi Tiang	5.4
5.2.3 Konstruksi tiang (Pole Top Construction)	5.4
5.3 KONSTRUKSI PEMBUMIHAN	5.11
5.4 KONSTRUKSI FUSED CUT-OUT (FCO)	5.11
5.5 KONSTRUKSI PENGHANTAR BUMI (SHIELD WIRE)	5.11
5.6 KONSTRUKSI PENGHANTAR NETRAL TM	5.12
5.7 KELENGKAPAN PENGHANTAR (kabel schoon, Tap Connector, Joint Sleeve)	5.12
5.8 JARAK AMAN (SAFETY DISTANCE)	5.12
5.9 KONSTRUKSI PROTEKSI PETIR	5.13
5.10 KONSTRUKSI KABEL PILIN TEGANGAN MENENGAH	5.13
5.11 SAMBUNGAN KABEL DENGAN SALURAN UDARA	5.14
5.12 SAMBUNGAN KAWAT KONDUKTOR	5.14
5.13 KOMPONEN KONSTRUKSI JARINGAN	5.15
BAB 6 KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI SALURAN KABEL BAWAH TANAH	
TEGANGAN MENENGAH	6.1
6.1 KONSTRUKSI PENGGELARAN KABEL	6.1
6.1.1 Kedalaman galian dan perlindungan mekanis kabel	6.1
6.1.2 Penggelaran lebih dari satu kabel	6.2
6.1.3 Jarak kabel tanah dengan utilitas lain	6.2
6.1.4 Persilangan dengan bangunan diatas tanah	6.3
6.1.5 Persilangan dengan rel kereta api	6.3
6.1.6 Persilangan dengan saluran air dan bangunan air	6.3
6.1.7 Persilangan dengan jalan umum	6.4
6.1.8 Terminasi Kabel	6.4
6.1.9 Radius Belokan Kabel	6.4
6.1.10 Kabel Duct	6.5

6.2	TRANSPORTASI DAN PENANGANAN (<i>HANDLING</i>) KABEL	6.5
6.2.1	Pengangkutan kabel	6.5
6.2.2	Penggelaran Kabel	6.5
6.2.3	Penutupan jalan dan penandaan jalur	6.6
6.3	MATERIAL SALURAN KABEL TANAH	6.6
6.3.1	Kabel Tanah	6.6
6.3.2	Batu Peringatan	6.7
6.3.3	Patok Pilot Kabel dan Mof Kabel	6.7
6.3.4	Timah Label	6.7
6.3.5	Pasir urug	6.7
BAB 7 KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI GARDU DISTRIBUSI		7.1
7.1	KONSTRUKSI GARDU BETON	7.2
7.1.1	Susunan Tata Ruang	7.2
7.1.2	Instalasi PHB – TM	7.3
7.1.3	Instalasi PHB –TR	7.5
7.1.4	Instalasi Pembumian	7.6
7.1.5	Transformator	7.7
7.1.6	Instalasi Kabel TM dan TR	7.8
7.2	GARDU KIOS – METALCLAD	7.8
7.3	GARDU PORTAL DAN CANTOL	7.9
7.3.1	Konstruksi Gardu Portal	7.9
7.3.1.1	Konstruksi Penopang	7.9
7.3.1.2	Konstruksi PHB TR	7.10
7.3.1.3	Konstruksi PHB TM	7.10
7.3.1.4	Proteksi Surja Petir	7.13
7.3.1.5	Konstruksi Gardu Cantol	7.14
7.3.1.6	Konstruksi Pembumian	7.15
BAB 8 KRITERIA DISAIN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH		8.1
8.1	SALURAN UDARA TEGANGAN RENDAH (SUTR)	8.1
8.1.1	Desain Konstruksi Fasa-3 dengan kabel twisted	8.3

8.1.2	Fungsi Konstruksi Fixed Dead End (FDE) dan Adjustable Dead End (ADE)	8.3
8.1.3	Fungsi Konstruksi Suspension	8.4
8.1.4	Jenis Penghantar	8.4
8.1.5	Pembumian Penghantar Netral dan titik Netral Transformator	8.4
8.1.6	Sambungan dan sadapan	8.5
8.1.7	Jarak antar tiang atau Gawang (Spon) dan andongan (Sag)	8.5
8.1.8	Jarak aman (Safety Distance)	8.6
8.1.9	Jaring distribusi tegangan rendah Sistem fasa -2	8.6
8.2	SALURAN KABEL TANAH TEGANGAN RENDAH	8.7
8.2.1	Jenis Kabel	8.8
8.2.2	Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah – PHB TR	8.9
8.2.3	Penggelaran Kabel	8.9
8.2.4	Kabel Utama Jaringan Tegangan Rendah	8.10
 BAB 9 KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK		9.1
9.1	SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK TEGANGAN RENDAH	9.1
9.1.1	Jenis Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik TR	9.2
9.1.2	Jenis Kabel	9.3
9.1.3	Area pelayanan Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah	9.4
9.1.4	Jarak aman	9.4
9.1.5	Konstruksi Sambungan Kabel Udara	9.4
9.1.6	Konstruksi Sambungan Kabel Tanah	9.5
9.1.7	Pemasangan kotak APP dan lemari APP	9.6
9.1.8	Instalasi APP	9.7
9.2	SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK TEGANGAN MENENGAH	9.8
9.2.1	Sambungan dengan pembatas relai	9.8
9.2.2.	Sambungan dengan pembatas pengaman lebur	9.8
9.2.3	Sambungan dengan spot load	9.9
9.2.4	Instalasi Meter kWh	9.9

BAB 10 PEMBUMIAN PADA KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI	
TENAGA LISTRIK	10.1
10.1 KONSEP DASAR PEMBUMIAN	10.1
10.2 PEMBUMIAN TITIK NETRAL SISI SEKUNDER TRANSFORMATOR	
TENAGA PADA GARDU INDUK/PEMBANGKIT	10.2
10.2.1 Pembumian dengan nilai tahanan rendah 12 Ohm dan 40 Ohm	10.2
10.2.2 Pembumian dengan nilai tahanan sangat rendah (<i>Solid Grounded</i>)	10.3
10.2.3 Pembumian dengan nilai tahanan tinggi	10.3
10.2.4 Pembumian Mengambang	10.4
10.3 PEMBUMIAN TITIK NETRAL TRANSFORMATOR DISTRIBUSI	10.4
10.4 PEMBUMIAN PADA JARING DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH	10.5
10.5 PEMBUMIAN PADA GARDU DISTRIBUSI	10.5
10.6 PEMBUMIAN PENGHANTAR TANAH (SHIELD WIRE/EARTH WIRE)	10.6
10.7 PEMBUMIAN LIGHTNING ARRESTER	10.6
BAB 11 PERHITUNGAN TERAPAN BEBAN TERSAMBUNG TRANSFORMATOR	11.1
11.1 BEBAN TERSAMBUNG TRANSFORMATOR DISTRIBUSI	11.1
11.2 KAPASITAS TRANSFORMATOR	11.3
11.3 PROTEKSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI	11.3
11.3.1 Proteksi hubung singkat dan beban lebih	11.3
11.3.2 Lightning Arrester (LA) dan Sela Batang	11.4
11.3.3 Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan rendah – PHB TR	11.7
BAB 12 PENGGUNAAN SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)	12.1
GLOSARI.	1
DAFTAR PUSTAKA.	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Momen listrik jaringan distribusi Tegangan Menengah Saluran Bawah Tanah dengan penghantar kabel berisolasi XLPE, M 1% [MW.km]	2.4
Tabel 2.2.	Momen listrik jaringan distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara dengan Penghantar AAAC, M 1% [MW.km].	2.5
Tabel 2.3.	Momen listrik jaringan distribusi Tegangan Rendah dengan Penghantar Kabel Pilin M 1% [MW.km].	2.5
Tabel 2.4.	KHA penghantar tak berisolasi pada suhu keliling 35 °C, kecepatan angin 0,6 m/detik, suhu maksimum 80 °C (dalam keadaan tanpa angin factor koreksi 0,7).	2.11
Tabel 2.5.	KHA kabel tanah inti tunggal isolasi XLPE, copper screen, berselubung PVC jenis kabel NAAXSY.	2.11
Tabel 2.6.	KHA kabel tanah dengan isolasi XLPE, copper screen, berselubung PVC pada tegangan 12/20/24 kV, pada suhu keliling 30°C atau suhu tanah 30°C.	2.12
Tabel 2.7.	Faktor reduksi kabel multi core/single core dengan konfigurasi berjajar di dalam tanah.	2.12
Tabel 2.8.	Faktor koreksi KHA kabel XLPE untuk beberapa macam temperature udara.	2.12
Tabel 2.9.	KHA kabel pilin Tegangan Rendah berinti Alumunium berisolasi XLPE atau PVC pada suhu keliling 30°C.	2.13
Tabel 2.10.	KHA terus menerus untuk kabel tanah berinti tunggal penghantar Tembaga, berisolasi dan berselubung PVC, dipasang pada sistem Arus Searah dengan tegangan kerja maksimum 1,8 kV; serta untuk kabel tanah berinti dua, tiga dan empat berpenghantar tembaga, berisolasi dan dengan berselubung PVC yang dipasang pada sistem Arus Bolak-balik tiga fasa dan tegangan pengenalan 0,6/1 kV (1,2 kV), pada suhu keliling 30°C.	2.14
Tabel 3.1.	Karakteristik penghantar Kabel Pilin inti Alumunium Tegangan Rendah (NFAAX-T) dengan penggantung jenis Almelec (<i>breaking capacity</i> 1755 daN).	3.5
Tabel 3.2.	Karakteristik penghantar All Alumunium Alloy Conductor (AAAC).	3.5
Tabel 3.3.	Karakteristik panghantar kabel Pilin inti Aluminium Tegangan Menengah (NAFFXSEY-I)	3.5
Tabel 3.4.	Tabel Gaya mekanis pada Tiang Awal/Ujung.	3.8
Tabel 3.5.	Gaya maksimum pada Tiang Sudut jaringan distribusi tenaga listrik.	3.8
Tabel 3.6.	Kekuatan tarik Tiang Awal/Ujung (<i>working load</i>) JTR.	3.9
Tabel 3.7.	Kekuatan Tarik Tiang Awal/Ujung (<i>working load</i>) JTM.	3.9
Tabel 3.8.	Kekuatan Tiang Sudut (<i>working load</i>) saluran fasa-3 konstruksi under-built JTM/JTR.	3.10
Tabel 3.9.	Karakteristik Palang.	3.12
Tabel 3.10.	Karakteristik Isolator.	3.12
Tabel 3.11.	Karakteristik teknis Isolator Payung dan <i>Long Rod</i> .	3.13
Tabel 3.12.	Data Klasifikasi kondisi tanah untuk membuat berbagai macam	3.14

	pondasi tiang.	
Tabel 3.13.	Gaya Mekanis pada Tiang Awal/Ujung saluran kabel fiber optic.	3.17
Tabel 3.14.	Gaya mekanis maksimum pada Tiang Sudut.	3.17
Tabel 4.1.	Karakteristik Sistem Pembumian.	4.12
Tabel 5.1.	Jarak Aman (<i>savety distance</i>)	5.13
Tabel 6.1.	Jarak Kabel tanah.	6.2.
Tabel 6.2.	Jarak Kabel tanah dengan pondasi bangunan.	6.3.
Tabel 6.3.	Penggelaran Kabel tanah pada persilangan dengan saluran air.	6.4.
Tabel 7.1.	Spesifikasi Teknis PHB-TR.	7.5
Tabel 7.2.	Instalasi Pembumian pada Gardu Distribusi Beton.	7.6
Tabel 7.3.	Pemilihan Rated Current HRC fuse –TM.	7.7
Tabel 7.4.	Spesifikasi Pengaman Lebur (NH-Fuse) Tegangan Rendah.	7.11
Tabel 7.5.	Spesifikasi Fuse Cut-Out (FCO) dan Fuse Link (expulsion type) Tegangan Menengah (Publikasi IEC No. 282-2 – NEMA)	7.11
Tabel 8.1.	Jenis konstruksi pada tiang jaringan distribusi Tegangan Rendah.	8.4
Tabel 8.2.	Jarak Aman Saluran Udara Kabel Pilin terhadap Lingkungan.	8.6
Tabel 9.1.	Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah.	9.2
Tabel 11.1.	Faktor Kebersamaan.	11.1
Tabel 11.2.	Persentasi (%) impedansi Transformator fasa-3 dan fasa -1.	11.3
Tabel 11.3.	Jenis Pelebur Pembatas Arus Transformator Distribusi.	11.5
Tabel 11.4.	Arus Pengenal Pelebur Letupan.	11.6
Tabel 12.1	Contoh Lay –out diagram sistem SCADA PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah.	12.2
Tabel 12.2	Contoh Lay –out diagram sistem SCADA PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Saluran Udara Tegangan Menengah.	12.3

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1	Grafik kemampuan penyaluran SUTM fasa – 3 beban diujung Δ 5%, $\cos \varphi = 0,8$ $T=35^{\circ}\text{C}$ AAAC [IEC.2008].	2.7
Gambar 2-1	Grafik kemampuan penyaluran Kabel Pilin Tegangan Rendah (TR) beban diujung pada suhu (T)= 30°C dan $\cos \varphi = 0,8$.	2.8
Gambar 4-1	Pola Sistem Tenaga Listrik.	4.2
Gambar 4-2	Pola Jaringan Distribusi Dasar.	4.3
Gambar 4-3	Konfigurasi Tulang Ikan (<i>Fishbone</i>).	4.4
Gambar 4-4	Konfigurasi Kluster (<i>Leap Frog</i>).	4.4
Gambar 4-5	Konfigurasi Spindel (<i>Spindle Configuration</i>).	4.5
Gambar 4-6	Konfigurasi Fork.	4.5
Gambar 4-7	Konfigurasi Spotload (<i>Parallel Spot Configuration</i>).	4.6
Gambar 4-8	Konfigurasi Jala-jala (<i>Grid, Mesh</i>).	4.6
Gambar 4-9	Konfigurasi Struktur Garpu.	4.7
Gambar 4-10	Konfigurasi Struktur Bunga.	4.7
Gambar 4-11	Konfigurasi Struktur Rantai.	4.7
Gambar 4-12	Diagram Proteksi SUTM dengan nilai $Z = 40$ Ohm.	4.14
Gambar 4-13	Diagram Proteksi SUTM dengan nilai $Z = 500$ Ohm.	4.15
Gambar 4-14	Diagram Proteksi SUTM dengan Solid Ground (Pembumian Langsung).	4.16
Gambar 4-15	Diagram Proteksi SUTM dengan Sistem Mengambang (tanpa pembumian) pada PLTD Kecil.	4.17
Gambar 4-16	Monogram Saluran Udara Tegangan Menengah.	4.20
Gambar 4-17	Bagan satu garis Gardu Distribusi Portal.	4.24
Gambar 4-18	Bagan satu garis Gardu Distribusi Beton.	4.25
Gambar 4-19	Diagram sambungan Tegangan Menengah.	4.26
Gambar 4-20	Diagram Kondisi Awal GI SKTM.	4.26
Gambar 4-21	Diagram Kondisi Akhir GI SKTM.	4.27
Gambar 4-22	Diagram Kondisi Awal jaringan SUTM dengan model Klaster.	4.29
Gambar 4-23	Diagram Kondisi Akhir jaringan SUTM dengan model Klaster.	4.29
Gambar 5-1	Konstruksi Pemasangan Pole Support.	5.3
Gambar 5-2	Konstruksi Pemasangan Guy Wire.	5.3
Gambar 5-3	Konstruksi Pemasangan Tee-Off.	5.4
Gambar 5-4	Konstruksi PemasanganTiang Sudut Kecil.	5.4
Gambar 5-5	Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Sedang.	5.8
Gambar 5-6	Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Besar.	5.8
Gambar 5-7	Konstruksi Pemasangan Tiang Peregang.	5.10
Gambar 6	Kabel tanah berisolasi XLPE.	6.1
Gambar 7-1	Peletakan (<i>lay-out</i>) Perlengkapan Gardu Distribusi Beton.	7.3
Gambar 7-2a	Jenis-jenis Sambungan pada RMU.	7.12
Gambar 7-2b	Jenis-jenis Sambungan pada RMU.	7.13
Gambar 8-1	Monogram Jaringan Distribusi Tegangan Rendah saluran udara kabel pilin (<i>twisted cable</i>) fasa -3.	8.2
Gambar 8-2	Monogram saluran kabel Tegangan Rendah – SKTR.	8.8
Gambar 8-3	PHB-TR.	8.9

Gambar 9-1	Papan Hubung Bagi (PHB) Tegangan Rendah.	9.5
Gambar 9-2	Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah Sambungan Kabel tanah.	9.6
Gambar 9-3	Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah pada Rusun atau Ruko.	9.7
Gambar 9-4	Sambungan Tenaga Listrik Tengganan Menengah dengan Pembatas Relai.	9.8
Gambar 9-5	Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Pembatas Pengaman Lebur	9.8
Gambar 9-6	Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Spot Load.	9.9
Gambar 9-7	Papan Hubung Bagi (PHB)-Tegangan Menengah (TM) Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Spot Load.	9.9
Gambar 12-1	Pemasangan Lampu Fault Indikator.	12.5

KATA PENGANTAR

Dalam membangun instalasi sistem jaringan distribusi tenaga listrik di PT PLN(Persero) diperlukan Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Kriteria desain enjiniring dijabarkan secara detail ke dalam Standar Konstruksi Jaringan Tenaga Listrik, supaya dapat menjadi acuan dalam membangun instalasi. Selama ini konstruksi instalasi tenaga listrik di PT PLN (Persero), masih mengacu pada tiga macam Standar Konstruksi Distribusi yang dibuat oleh Konsultan dari manca negara.

Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi dan Standar Konstruksi Jaringan Tenaga Listrik yang dibuat oleh Konsultan Sofrelec dari Perancis, dengan pembumian system tahanan rendah (12Ω dan 40Ω) berlaku di Jaringan Distribusi DKI Jakarta, Jawa Barat, Bali dan sebagian Unit di luar Jawa. Konsultan Chas T Main dari Amerika Serikat, dengan pembumian system solid (langsung ke bumi) atau "multi grounded common neutral, low and medium voltage network" berlaku di Jawa Tengah & DIY dan sebagian Unit di luar Jawa. Sedangkan Konsultan New Jec dari Jepang, dengan pembumian sistem tahanan tinggi (500Ω) berlaku di Jawa Timur dan sebagian Unit di luar Jawa.

Disamping Standar Konstruksi yang masih berbeda-beda, ada hal-hal lain yang perlu diperhatikan, adalah ; pemanfaatan tiang listrik untuk telematika, semakin sulitnya memperoleh lokasi tanah gardu yang cukup dan tepat serta kemajuan teknologi material distribusi tenaga listrik.

Untuk mencapai efektifitas dan efisiensi dengan pertimbangan keamanan lingkungan, PT PLN (Persero) secara bertahap, perlu memperbarui Standar Konstruksi yang ada sekarang, sehingga menjadi acuan teknik yang sesuai perkembangan teknologi dan lingkungan.

Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi dan Standar Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, terdiri dari :

- Buku 1. Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.
- Buku 2. Standar Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik.
- Buku 3. Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik.
- Buku 4. Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik.
- Buku 5. Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik.

Dalam aplikasinya, Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik tidak boleh dirubah. Apabila ada kebutuhan yang bersifat lokal, Unit Induk setempat boleh membuat Standar Konstruksi khusus, sebagai modifikasi dari buku 2 sampai dengan buku 5, dengan catatan tidak menyimpang dari Kriteria Enjinering, yang ada pada buku 1 dan dilaporkan ke PLN Pusat.

Terima kasih.

Jakarta, Juli 2010.

TTD
Kelompok Kerja Standar Konstruksi
Jaringan Distribusi Tenaga Listrik.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

PT PLN (Persero) memandang perlu peningkatan kualitas sistim kelistrikan di semua wilayah pelayanannya, dengan tetap memberikan penekanan pada pelaksanaan empat program strategis PLN yaitu :

- a. Program peningkatan penjualan
- b. Program peningkatan pelayanan
- c. Program peningkatan Pendapatan
- d. Program penurunan Rugi-rugi (losses)

Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas sistim kelistrikan adalah kondisi dari konstruksi pada Jaringan distribusi tenaga listrik yang meliputi Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi, Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Tenaga Listrik (Rumah/Pelayanan).

Dalam pelaksanaan konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik, sebagian unit pelaksana pada PT PLN Persero telah mempunyai standar konstruksi Jaringan Tenaga Listrik yang disusun sendiri-sendiri, hal ini mengakibatkan timbulnya beberapa standar yang berbeda di beberapa tempat dikarenakan perbedaan sistim dan konsultan serta pelaksana konstruksi yang berbeda seperti pada PLN Distribusi Jakarta Raya; PLN Distribusi Jawa Barat dan dengan PLN Distribusi Jawa Tengah & Jogjakarta dan atau PLN Distribusi Jawa Timur. Standar konstruksi tersebut terdapat keberagaman baik dalam kriteria desain maupun model/struktur konstruksinya yang disesuaikan dengan kondisi sistim kelistrikan setempat, selain itu secara teknis ada yang tidak lengkap, tidak konsisten dalam penerapannya dan belum seluruhnya disesuaikan dengan perkembangan teknologi dan tuntutan pelayanan.

Saat ini dalam pelaksanaan pembangunan dan pengembangan sistim distribusi pada unit-unit PLN diseluruh wilayah indonesia mengacu pada salah satu standar enjiniring yang ada pada pengelolaan /standard PLN Distribusi Jawa Bali tersebut.

Oleh karena itu, perlu dibuat suatu standar konstruksi yang baik dengan kriteria desain yang sama dan mempertimbangkan perbedaan sistim, perkembangan teknologi serta tuntutan pelayanan. Dasar rujukan penyusunan standar konstruksi adalah standar konstruksi yang disusun konsultan PLN Distribusi/Wilayah setempat, standar-standar PLN terkait atau mencontoh dengan apa yang telah dilaksanakan didaerah lain, khususnya di pulau Jawa.

Kriteria disain standar konstruksi ini akan menjadi dasar Standar Konstruksi Jaringan Distribusi yang akan disusun direncanakan dapat ditetapkan untuk digunakan sebagai tipikal pedoman konstruksi atau acuan dalam melakukan perencanaan, pembangunan dan perbaikan Jaringan Distribusi tenaga listrik bagi PLN seluruh Indonesia sehingga diperoleh tingkat unjuk kerja, keandalan dan efisiensi pengelolaan asset sistim distribusi yang optimal.

Memperhatikan besarnya lingkup standarisasi kontruksi yang harus dilaksanakan, pembuatan standar konstruksi sistim distribusi tenaga listrik ini dilakukan secara bertahap dimana untuk tahap kajian ini dibatasi pada pembuatan standar Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi.

Penyusunan Detail Standar Konstruksi Jaringan Distribusi disusun dilaksanakan terpisah setelah penetapan prioritas detail Standar Konstruksi Jaringan Distribusi.

1.2 TUJUAN

Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk membuat suatu standar enjiniring konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik yang memenuhi kriteria :

Membuat

- Desain yang sama
- Mengikuti perkembangan teknologi teknik jaringan distribusi dan kelistrikan terakhir
- Selaras dengan tuntutan pelayanan
- Dapat dilaksanakan secara konsisten pada seluruh unit PLN Distribusi/Wilayah di seluruh Jawa Bali pada khususnya dan Indonesia pada umumnya.

Standar enjiniring konstruksi Jaringan Distribusi tenaga listrik adalah sebagai kriteria disain enjiniring pada konstruksi utama jaringan Distribusi meliputi pada konstruksi Saluran Udara, Kaluran Kabel bawah tanah, Saluran Tenaga Listrik pelanggan baik Tegangan Menengah maupun Tegangan Rendah serta Gardu Distribusi baik pasangan luar maupun pasangan dalam

Penyusunan detail standar konstruksi Jaringan distribusi akan dilaksanakan pada paket jasa konsultan berikutnya; sehingga pada waktunya diharapkan tersusun lengkap standar enjiniring dan detail konstruksi jaringan Distribusi yang baku dan diberlakukan se Jawa Bali/Indonesia.

BAB 2

PERHITUNGAN LISTRIK TERAPAN

2.1 JATUH TEGANGAN

- Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar.
- Jatuh tegangan atau jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar.
- Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam % atau dalam besaran Volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan.
- Perhitungan jatuh tegangan praktis pada batas-batas tertentu dengan hanya menghitung besarnya tahanan masih dapat dipertimbangkan, namun pada sistem jaringan khususnya pada sisitem tegangan menengah masalah indukstansi dan kapasitansinya diperhitungkan karena nilainya cukup berarti.

Perhitungan Praktis Jatuh Tegangan untuk kondisi Tanpa Beban Induktansi

Definisi simbol dan Satuan

P : beban dalam [Watt]

V : tegangan antara 2 saluran [Volt]

q : penampang saluran [mm²]

Δv : jatuh tegangan [volt]

Δu : jatuh tegangan [%]

L : panjang saluran (bukan panjang penghantar) [meter sirkuit]

I : arus beban [A]

σ : konduktivitas bahan penghantar Cu = 56; Alumunium = 32,7

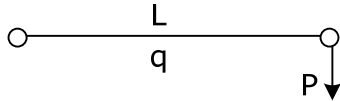
2.2 PERHITUNGAN JATUH TEGANGAN

2.2.1 Sistem Fasa Tunggal, $\text{COS } \varphi \approx 1$

Jatuh Tegangan (dalam %)

Untuk beban P, panjang L ; Δu [%]

Besarnya penampang saluran, q [mm^2]



$$q = \frac{2L \times I \times 100}{V \times \Delta u \times \sigma} \quad \text{atau} \quad q = \frac{2L \times P \times 100}{V^2 \times \Delta u \times \sigma} \left[\text{mm}^2 \right]$$

Jatuh Tegangan (dalam Volt)

$$q = \frac{L \times P \times 2}{V \times \Delta v \times \sigma} \quad \text{atau} \quad q = \frac{L \times I \times 2}{\Delta v \times \sigma} \left[\text{mm}^2 \right]$$

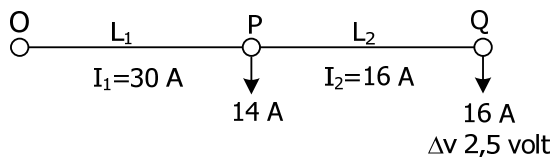
Contoh :

1. Beban P = 900 watt; $\Delta u = 2\%$; $V = 115$ volt ; $L = 400$ meter.

Maka :

$$q = \frac{2L \times P \times 100}{V^2 \times \Delta u \times \sigma} = \frac{2 \times 400 \times 900 \times 100}{115^2 \times 2 \times 56} = 48,6 \text{ mm}^2$$

2. Beban pada titik P = 14 A, pada titik Q = 16 A, Δv pada Q = 2,5 Volt, $L_1 = 20$ meter, $L_2 = 16$ meter (penghantar tembaga).



$$\Delta v = \Delta v_1 + \Delta v_2$$

$$2,5 = \frac{20 \times 30 \times 2}{56q} + \frac{16 \times 16 \times 2}{56q}$$

$$q = 12,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{diambil } q = 16 \text{ mm}^2$$

2.2.2 Sistem Fasa Tiga dengan $\cos \varphi$

Bila diketahui besarnya arus I , Δv [volt], maka :

$$q = \frac{1,73 \times L \times I \times \cos \varphi}{\Delta v \times \lambda} [mm^2]$$

$$\Delta v = \frac{1,73 \times L \times I \times \cos \varphi}{q \times \lambda} [volt]$$

Bila diketahui besarnya beban P dalam Watt, maka :

$$q = \frac{L \times P}{V \times \Delta v \times \lambda} [mm^2]$$

Contoh :

1. Saluran arus bolak balik fasa – 3 L = 80 meter, P = 2000 watt; V= 190 Volt; $\Delta v =$
3,8 volt; arus penghantar netral = 0 A

$$q = \frac{L \times P}{V \times \Delta v \times \lambda} = \frac{80 \times 2000}{190 \times 3,8 \times 56} = 3,96 mm^2$$

2. Berapa jatuh tegangan pada satu saluran L : 150 meter, I : 190 Ampere ; $q =$
95 mm², sistem fasa -2. $\cos \varphi = 0,88$

$$\Delta v = \frac{1,73 \times L \times I \times \cos \varphi}{q \times \lambda} = \frac{1,73 \times 150 \times 190 \times 0,88}{95 \times 56} = 8,15 Volt$$

2.3 PERHITUNGAN DENGAN MOMEN LISTRIK

Perhitungan momen listrik untuk sistem fasa 3 dengan terminologi sebagai berikut :

SIMBOL	KETERANGAN	TR	TM
P	daya aktif	kW	MW
V	tegangan kerja antar fasa	V	kV
R	tahanan penghantar	ohm/km	ohm/km
X	reaktansi penghantar	ohm/km	ohm/km
φ	beda fasa	derajat	derajat

Jatuh tegangan relatif (dalam %) dapat dianggap sama dengan rumus :

$$sistemTM = \frac{\Delta u}{u} = 10^2 \frac{R + X \tan \varphi}{u^2} PL [\%]$$

$$sistemTR = \frac{\Delta u}{u} = 10^5 \frac{R + X \tan \varphi}{u^2} PL [\%]$$

Hasil kali P x L dinamakan momen listrik dengan beban P pada jarak L dari sumbernya.

Jika jatuh tegangan dalam % sebesar 1 % maka momen listriknya disebut M_1 .

$$\text{Pada TM : } M_1 = \frac{1}{100} \times \frac{V^2}{R + X \tan \varphi}$$

$$\text{Pada TR : } M_1 = \frac{1}{10^5} \times \frac{V^2}{R + X \tan \varphi}$$

Tabel-tabel pada halaman berikut memberikan data momen listrik (M) untuk berbagai harga $\cos \varphi$, luas penampang yaitu :

M_1 adalah momen listrik untuk $\Delta u = 1 \%$

Dengan beberapa batasan :

1. Beban fasa 3 seimbang di ujung hantaran
2. Suhu kerja $30^{\circ}C$ untuk hantaran udara dan berisolasi dan $20^{\circ}C$ untuk kabel bawah tanah dan hantaran udara berisolasi.
3. Reaktansi $0,3 \text{ ohm/km}$ untuk hantaran udara tidak berisolasi dan $0,1 \text{ ohm/km}$ untuk kabel tanah dan hantaran udara berisolasi

Tabel 2.1 Momen listrik jaringan distribusi Tegangan Menengah Saluran Bawah Tanah dengan penghantar kabel berisolasi XLPE, M 1% [MW.km].

Penampang (mm ²)	cos φ						
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6
95	11,4	10,2	9,8	9,5	9,2	8,7	8
150	17,3	15,2	14,3	13,63	12,7	12	11
240	29	23,9	21,2	20	18,6	16,6	15

Tabel 2.2. Momen listrik jaringan distribusi Tegangan Menengah Saluran Udara dengan Penghantar AAAC, M 1% [MW.km].

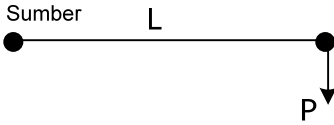
Penampang (mm ²)	cos φ						
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6
35	4	3,6	3,4	3,3	3,2	2,9	2,7
70	7,7	6,3	5,8	5,4	5,2	4,6	4,0
150	12,1	11,5	10	8,9	8	6,8	5,7
240	16,77	15	12,5	10,9	9,7	7,9	6,5

Tabel 2.3 Momen listrik jaringan distribusi Tegangan Rendah dengan Penghantar Kabel Pilin M1% [kW.km].

Penampang (mm ²)	cos φ						
	1	0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6
3 x 35 x N	1,46	1,44	1,38	1,34	1,34	1,31	1,29
3 x 50 x N	1,94	1,92	1,8 8	1,82	1,8	1,78	1,75
3 x 70 x N	7,96	2,67	2,6 4	2,61	2,59	1,56	1,52

2.4 FAKTOR DISTRIBUSI BEBAN

Distribusi beban pada jaringan dapat dinyatakan dalam bentuk matematis untuk beban di ujung penghantar, beban terbagi merata, beban terbagi berat diawal jaringan, beban terbagi berat di ujung. Dengan pengertian sederhana didapatkan angka faktor distribusi beban pada jarak antara titik berat beban dengan sumber/gardu.

Diagram distribusi beban	Faktor distribusi
<p>1. beban di ujung penghantar besar beban = kuat penghantar</p> 	$F_d = 1$
<p>2. beban merata sepanjang saluran besar beban = 2 x kuat penghantar</p>	$F_d = 0,5$

<p>3. beban memberat ke ujung</p>	$F_d = \frac{2}{3}$
<p>4. beban memberat kemuka</p>	$F_d = \frac{1}{3}$

Contoh :

Penghantar AAAC dengan beban I Ampere, panjang L kms, $\Delta u = 5\%$ beban merata sepanjang saluran $F_d = 0,5$ maka penghantar boleh dibebani $2 \times I$ (Ampere) atau saluran diizinkan sepanjang $2L$.

Catatan : Beban penghantar tidak boleh melampaui Kemampuan Hantar Arusnya (KHA)

2.5 JANGKAUAN PELAYANAN

Perhitungan jatuh tegangan dengan rumus konvensional adalah :

$$\Delta v = \frac{P}{\sqrt{3}V} (r + x \tan \phi). \text{ Volt/km.}$$

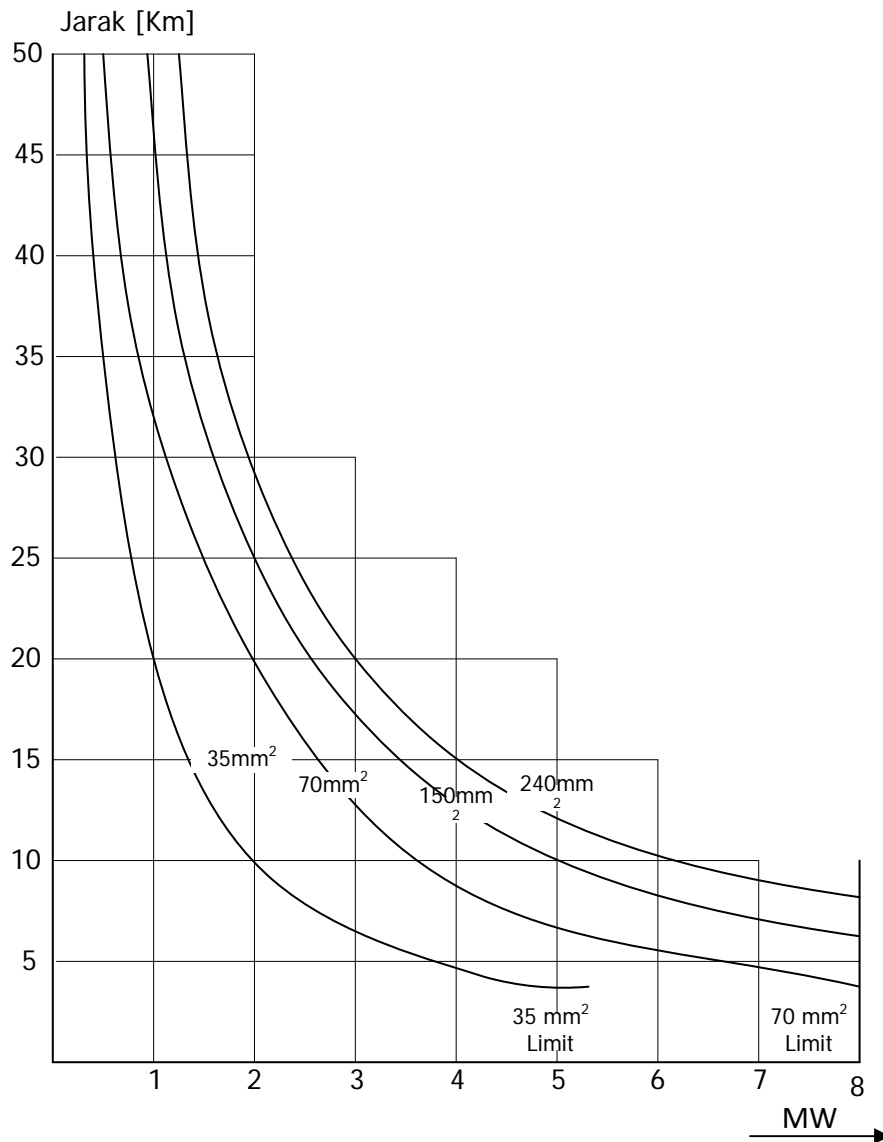
Rumus tersebut memberikan hubungan antara jatuh tegangan Δv , P dan panjang penghantar L, dengan kondisi beban berada pada ujung penghantar.

Grafik pada halaman berikut memberikan gambaran hubungan parameter-parameter tersebut.

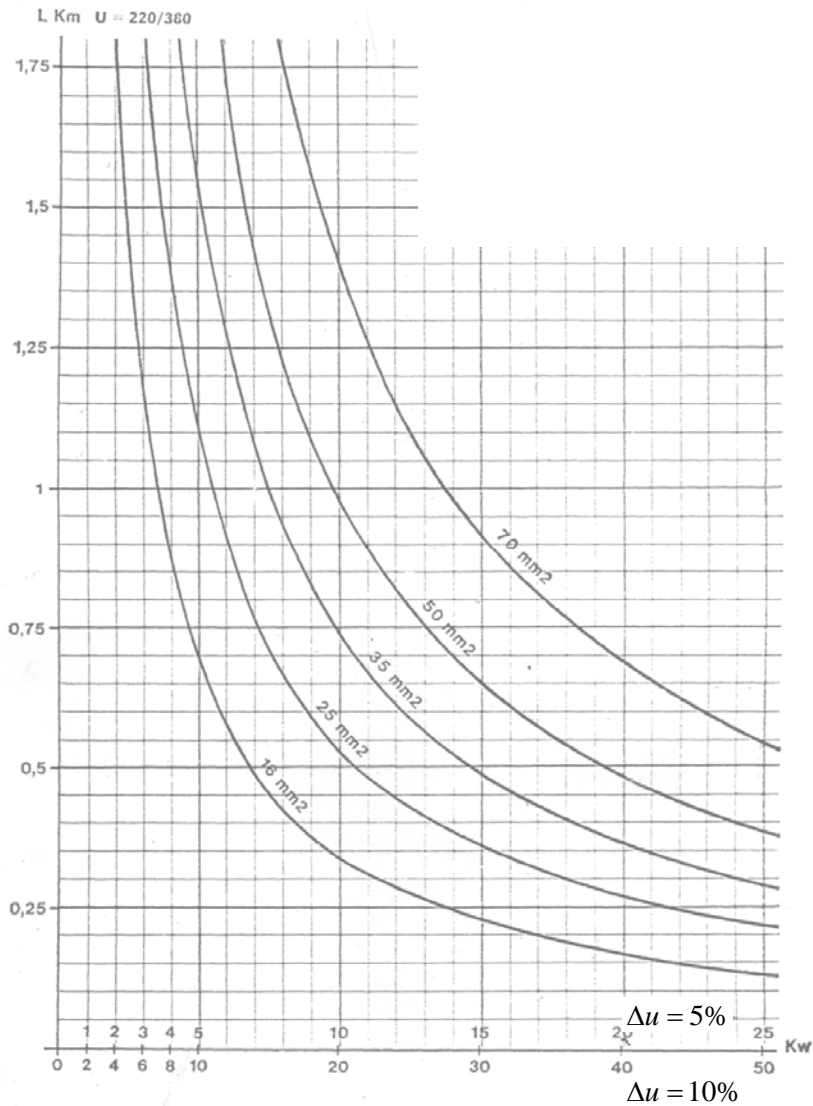
Grafik ini dapat digunakan secara sederhana sebagai berikut :

1. Jika faktor distribusi = 0,5 salah satu nilai-nilai Δu , P, L dapat dapat dikalikan dua.
2. Jika faktor distribusi = $\frac{1}{3}$ salah satu nilai-nilai Δu , P, L dapat dikalikan tiga.
3. jika faktor distribusi = $\frac{2}{3}$ salah satu nilai-nilai Δu , P, L dapat dikalikan satu setengah.

Catatan : Perlu diperhatikan Kemampuan Hantar Arus Penghantar yang dipergunakan.



Gambar 2-1. Grafik kemampuan penyaluran SUTM fasa – 3 beban diujung Δu 5%, $\cos \varphi = 0,8$ $T = 35^{\circ}\text{C}$ AAAC [IEC.2008].



Gambar 2-2. Grafik kemampuan penyaluran Kabel Pilin Tegangan Rendah (TR) bebandiujung pada suhu (T) = 30°C dan cos φ = 0,8.

Contoh penggunaannya :

1. Saluran udara 20 kV fasa 3, A3C 150 mm² cos φ : 0,95 daya 4 MW dengan panjang sirkuit 10 kms.

$$M = 4 \text{ MW} \times 10 \text{ kms} = 40 \text{ MW.kms}$$

Tabel memberikan M_1 : 11,5 MW.kms

$$\text{Jatuh tegangan } \Delta u = \frac{M}{M_1} \times 1\% = \frac{40}{11,5} \times 1\% = 3,47\% .$$

2. Saluran udara 20 kV fasa 3, A3C 150 mm², L : 20 kms dibebani 20 trafo dengan daya masing-masing 250 kVA, beban merata dan $\cos \varphi = 0,8$. Jatuh tegangan relatif pada transformator paling ujung adalah :

$$S = 20 \times 250 \text{ kVA} = 5000 \text{ kVA} ; \cos \varphi = 0.8$$

$$P = 5000 \times 0,8 = 4000 \text{ kW} = 4 \text{ MW}$$

$$\text{Beban terbagi rata : Beban Pengganti (P')} = \frac{1}{2} \times 4 \text{ MW} = 2 \text{ MW}$$

$$\text{Momen beban } M = P' \times L = 2 \times 20 = 40 \text{ MW.km}$$

$$\text{Momen } M_1 = 8 \text{ MW.km}$$

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta u) = \frac{M}{M_1} \times 1\% = \frac{40}{8} \times 1\% = 5\%$$

2.6 Kemampuan Hantar Arus / Kuat Hantar Arus

Kemampuan Hantar Arus (menurut SNI 04-0225-2000) atau Kuat Hantar Arus (menurut SPLN 70-4 : 1992) suatu penghantar dibatasi dan ditentukan berdasarkan batasan-batasan dari aspek lingkungan, teknis material serta batasan pada kontruksi penghantar tersebut yaitu :

- Temperatur lingkungan
- Jenis penghantar
- Temperatur lingkungan awal
- Temperatur penghantar akhir
- Batas kemampuan termis isolasi
- Faktor tiupan angin
- Faktor disipasi panas media lingkungan

Apabila terjadi penyimpangan pada ketentuan batasan tersebut diatas maka Kemampuan Hantar Arus/ Kuat Hantar Arus (KHA) penghantar harus dikoreksi

2.6.1 Kemampuan Hantar Arus Penghantar Saluran Udara

Jenis penghantar saluran udara, terdiri atas :

- a. Panghantar tidak terisolasi AAAC, AAC, ACSR. (ACSR tidak secara luas dipergunakan sebagai penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah)
- b. Penghantar berisolasi AAAC-S, NAAAXSEY. (Kabel Pilin Tegangan Menengah).
- c. Penghantar LVTC (Low Voltage Twisted Cable) NFAAX.

Ketentuan teknis kemampuan hantar arus penghantar pada ambient temperatur 30°C dalam keadaan tanpa angin. Tabel 2.4 s/d 2.10 memberikan kemampuan hantar arus jenis penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah dan jangkauan pada beban dan jatuh tegangan tertentu.





2.6.2 Kemampuan Hantar Arus Saluran Kabel Bawah Tanah

- Kemampuan hantar arus kabel baik jenis *multi core* maupun *single core* dibatasi oleh ketentuan sebagai berikut :
 - suhu tanah 30° C
 - resistance panas jenis tanah 100° C, cm/W.
 - digelar sendiri / hanya 1 kabel
 - suhu penghantar maksimum 90° C untuk kabel dengan isolasi XLPE dan 65° C untuk kabel tanah berisolasi PVC.
 - Kabel digelar sedalam 70 cm di bawah permukaan tanah.
- Apabila keadaan lingkungan menyimpang dari ketentuan di atas maka kuat hantar arus kabel harus dikoreksi dengan faktor tertentu.
- Tabel pada halaman berikut memberikan data kemampuan hantar arus kabel baik untuk pemakaian bawah tanah ataupun saluran udara.
- Untuk kabel yang dipakai pada saluran udara (contoh NFAAXSEY-T) ketentuannya mengikuti ketentuan untuk saluran udara.

Tabel 2.4 KHA penghantar tak berisolasi pada suhu keliling 35⁰C, kecepatan angin 0,6 m/detik, suhu maksimum 80⁰C (dalam keadaan tanpa angin faktor koreksi 0,7)

Luas Penampang Nominal (mm ²)	Cu	AAC	AAAC
16	125 A	110 A	105 A
25	175 A	145 A	135 A
35	200 A	180 A	170 A
50	250 A	225 A	210 A
70	310 A	270 A	155 A
95	390 A	340 A	320 A
150	510 A	455 A	425 A
240	700 A	625 A	585 A
300	800 A	710 A	670 A

Tabel 2.5 KHA kabel tanah inti tunggal isolasi XLPE, Copper Screen, berselubung PVC jenis kabel NAAXSJ.

Penampang nominal (mm ²)	Susunan/Konfigurasi Penggelaran kabel			
	Di tanah 20 ⁰ C		Di udara 30 ⁰ C	
				
1 x 50	165 A	145 A	180 A	155 A
1 x 70	237 A	211 A	240 A	229 A
1 x 95	282 A	252 A	328 A	278 A
1 x 120	320 A	787 A	378 A	320 A
1 x 150	353 A	320 A	425 A	363 A
1 x 240	457 A	421 A	573 A	483 A

Tabel 2.6 KHA kabel tanah dengan isolasi XLPE, copper screen, berselubung PVC pada tegangan 12/20 kV/ 24 kV. pada suhu keliling 30°C atau suhu tanah 30°C

Jenis kabel	Penampang nominal	Di udara	Di dalam tanah
NAAXSEY Multicore	95 mm ²	242 A	214 A
	150 mm ²	319 A	272 A
	240 mm ²	425 A	358 A
	300 mm ²	481 A	348 A
NFAAXSEY-T Twisted Cable	3 x 50 + N	134 A	
	3 x 70 + N	163 A	
	3 x 95 + N	203 A	
	3 x 120 + N	234 A	

Tabel 2.7 Faktor reduksi kabel multi core/single core dengan konfigurasi berjajar didalam tanah.

Jumlah kabel Jarak	Jumlah kabel						
	2	3	4	5	6	8	10
a. Bersentuhan	0,79	0,69	0,63	0,58	0,55	0,50	0,46
b. 7 cm	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53
c. 25 cm	0,87	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66	0,64

Tabel 2.8 Faktor koreksi KHA kabel XLPE untuk beberapa macam temperatur udara

Temperatur Udara (°C)	10 ⁰	15 ⁰	20 ⁰	25 ⁰	30 ⁰	35 ⁰	40 ⁰	45 ⁰	50 ⁰
XLPE Cable	1,15	1,12	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82

Tabel 2.9 KHA Kabel Pilin Tegangan Rendah berinti Alumunium berisolasi XLPE atau PVC pada suhu keliling 30°C.

Jenis kabel	Penampang nominal	KHA terus menerus	Penggunaan
1	2	3	4
NFA2X	3 x 25 + 25	103	Saluran Tegangan Rendah
	3 x 35 + 25	125	
	3 x 50 + 35	154	
	3 x 70 + 50	196	
	3 x 95 + 70	242	
	2 x 10 re	54	
	2 x 10 rm	54	
	2 x 16 rm	72	
	4 x 10 re	54	
	4 x 10 rm	54	
	4 x 16 rm	72	
NFAY	2 x 10 re	42	Saluran Tenaga Listrik
	2 x 10 rm	42	
	2 x 16 rm	58	
	4 x 10 re	42	
	4 x 10 rm	42	
	4 x 16 rm	58	
	4 x 25 rm	75	

Tabel 2.10 KHA terus menerus untuk kabel tanah berinti tunggal penghantar Tembaga, berisolasi dan berselubung PVC, dipasang pada sistem Arus Searah dengan tegangan kerja maksimum 1,8 kV; serta untuk kabel tanah berinti dua, tiga dan empat penghantar tembaga, berisolasi dan dengan berselubung PVC yang dipasang pada sistem Arus Bolak-balik tiga fasa dan tegangan pengenal 0,6/1 kV (1,2 kV), pada suhu keliling 30°C.

Jenis kabel	Luas Penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Berinti tunggal		Berinti dua		Berinti tiga dan empat	
		di tanah [A]	di udara [A]	di tanah [A]	di udara [A]	di tanah [A]	di udara [A]
1	2	3	4	5	6	7	8
NYY NYBY NYFGbY NYCY NYCWY NYSY NYCEY NYSEY NYHSY NYKY NYKBY NYKFGBY NYKRGbY	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
	10	122	79	92	66	75	60
	16	160	105	121	89	98	80
	25	206	140	153	118	128	106
	35	249	174	187	145	157	131
	50	296	212	222	176	185	159
	70	365	269	272	224	228	202
	95	438	331	328	271	275	244
	120	499	386	375	314	313	282
	150	561	442	419	361	353	324
	185	637	511	475	412	399	371
	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

BAB 3

PERHITUNGAN MEKANIKA TERAPAN

3.1 GAYA-GAYA MEKANIS PADA TIANG

Tiang pada jaringan distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai tumpuan penghantar, menerima gaya-gaya mekanis akibat :

1. Berat penghantar dan peralatan
2. Gaya tarik dari penghantar (*tensile strength*)
3. Tiupan angin
4. Akibat penghantar lain

Besarnya gaya-gaya tersebut berbeda sesuai dengan fungsi tiang (tiang awal/ujung, tiang tengah, tiang sudut) dan luas penghantar.

Tiang baik tiang besi atau tiang beton mempunyai kekuatan tarik (*working load*) sesuai standard yang berlaku saat ini yaitu 160 daN, 200 daN, 350 daN, 500 daN, 800 daN, 1200 daN dimana daN adalah deka Newton atau setara dengan 1,01 kg gaya (massa x gravitasi).

3.1.1 Jarak Antar Tiang (Jarak gawang)

Tiang didirikan mengikuti jalur saluran distribusi. Jarak antar tiang disebut gawang (span). Terdapat beberapa uraian mengenai pengertian dari span :

- a. Jarak gawang maksimum adalah jarak gawang terpanjang pada suatu saluran.
- b. Jarak gawang rata-rata adalah jarak gawang rata-rata aritmatik

$$a_{rata-rata} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{\text{jumlah gawang}}$$

- c. Jarak gawang ekivalen (*Ruling span*) adalah jarak gawang yang diukur berdasarkan rumus

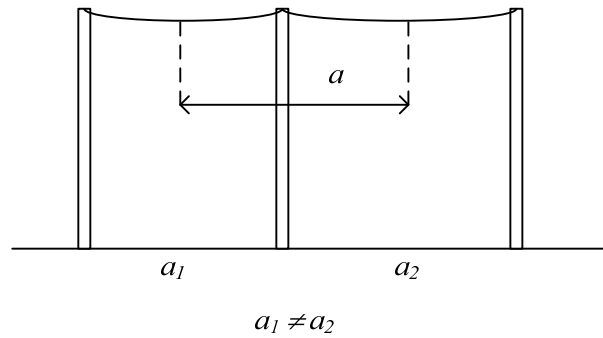
$$a_{eq} = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + a_3^3 + a_4^3 + \dots}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots}}$$

$a_1, a_2, a_3 \dots a_n$ = jarak masing-masing gawang

atau

$$a_{eq} = \frac{1}{3}(a_{rata-rata}) + \frac{2}{3} \text{ jarak gawang terpanjang}$$

- d. Jarak gawang pemberatan (*weighted span*) adalah jarak gawang antara dua titik terendah dari penghantar pada 2 jarak gawang berurutan.



3.1.2 Berat Penghantar dan Gaya Berat Penghantar

Berat penghantar adalah massa penghantar tiap-tiap km (kg/km)

Gaya berat penghantar = $m \times g$

dimana : m = massa penghantar [kg]

g = gravitasi [m/s^2]

Sag atau andongan adalah jarak antara garis lurus horizontal dengan titik terendah penghantar. Berat penghantar dihitung berdasarkan panjang penghantar sebenarnya sebagai fungsi dari jarak andongan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

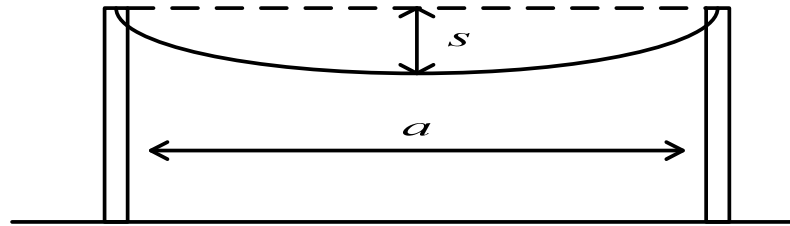
$$L = a + \frac{8s^2}{3a}$$

dimana :

L = panjang total penghantar [m]

a = jarak gawang [m]

s = panjang andongan/sag [m]



3.1.3 Gaya Tarik Pada Tiang

Panjang penghantar pada dua tiang (gawang) berubah-ubah sebagai akibat :

- Perubahan temperatur lingkungan
- Pengaruh panas akibat beban listrik (I^2R)

Sesuai dengan sifat logamnya, panjang penghantar akan mengalami penyusutan pada temperatur rendah dan memanjang pada temperatur tinggi (panas) menurut rumus :

$$L_t = L_0 (1 + \alpha \cdot \Delta t) \text{ dimana : } L_0 = \text{panjang awal}$$

L_t = panjang pada $t^\circ \text{C}$

α = koefisien muai panjang

Δt = beda temperatur

Pada temperatur rendah panjang penghantar menyusut, memberikan gaya regangan (tensile stress) pada penghantar tersebut, gaya ini akan diteruskan ke tiang tumpunya. Jika gaya tersebut melampaui titik batas beban kerja penghantar (*ultimate tensile stress*) penghantar akan putus atau tiang penyanggah patah jika beban kerja tiang terlampaui (working load). Perhitungan batas kekuatan tiang dihitung pada temperatur terendah 20°C (malam hari) dan suhu rata-rata-rata di siang hari 30°C .

Besarnya gaya regangan adalah sebesar

$$F = Y \frac{A}{L_0} \Delta L \text{ Newton}$$

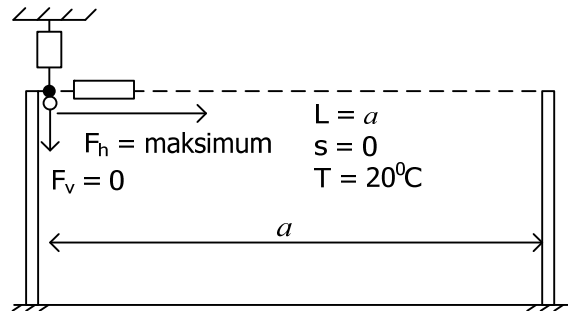
dimana : Y = Modulus Young (elastisitas) [hbar]

A = Luas Penampang [m^2]

ΔL = Deformasi panjang penghantar, $\Delta L = (L_t - L_0)$ [m]

L_0 = Panjang Awal [m]

Jika F pada $t = 20^{\circ}\text{C}$ adalah nol. Pada keadaan tersebut, panjang penghantar sama dengan jarak gawang sehingga gaya-gaya yang terjadi pada tiang adalah $F_v = 0$, $F_h =$ gaya berat penghantar. Dengan kata lain tiang hanya mengalami regangan akibat gaya berat penghantar sendiri yang pada kondisi ini sama dengan gaya berat penghantar pada titik sag terendah pada suhu rata-rata siang hari.



Contoh :

1. Gaya F horizontal pada tiang untuk $a = 40$ meter.

Penghantar kabel twisted ($3 \times 70 \text{ mm}^2 + \text{N}$) meter. massa $1,01 \text{ kg/m}$

$$F_H = m \times g \text{ daN}$$

$$= 1,01 \text{ kg} \times 40 \text{ m} \times 9,8 = 396. \text{ daN}$$

2. Gaya F Horizontal pada tiang jika $s = 1$ meter

$$L = a + \frac{8,1s}{3,1} = 40 + \frac{8,1}{3,1} = 42,3 \text{ meter}$$

$$F = 42,3 \times 1,01 \text{ kg/m} \times 9,8 = 418,7 \text{ daN}$$

$$F_H = F \sin \alpha \rightarrow \alpha = \text{sudut andongan} \approx 30^{\circ}.$$

$$= 418 \sin 30^{\circ} = 345 \text{ daN}.$$

3.1.4 Pengaruh Angin

Pengaruh kekuatan hembus angin di Indonesia diukur sebesar 80 daN/m^2 oleh karena tiang/penghantar bulat dihitung 50% nya atau 40 daN/m^2 .

Gaya akibat hembusan angin ini terarah mendatar (*transversal*) sebesar

$$F_{\text{angin}} = 40 \text{ daN/m}^2 \times [(\text{diameter} \times L) + \text{Luas penampang tiang}]$$

Dalam beberapa hal faktor luas penampang tiang diabaikan

Tabel-tabel berikut memberikan data karakteristik mekanis untuk berbagai jenis penghantar dan luas penghantarnya :

Tabel 3.1 Karakteristik penghantar Kabel Pilin inti Alumunium Tegangan Rendah (NFAAX-T) dengan penggantung jenis Almelec (*breaking capacity* 1755 daN).

Penampang Penghantar Nominal [mm ²]	Penampang Penggantung [mm ²]	Diameter total [mm]	Berat (Isolasi XLPE) [kg/km]	Tahanan pada 20°C/fasa [ohm/km]
3 x 25	54,6	26	574	1,2
3 x 35	54,6	30,00	696	0,867
3 x 50	54,6	33,1	819	0,641
3 x 70	54,6	38,5	1059	0,443

Tabel 3.2 Karakteristik penghantar All Alumunium Alloy Conductor (AAAC)

Penampang Penghantar [mm ²]	Diameter Nominal [mm]	Berat [kg/km]	Minimum Breaking Load [daN]	Tahanan pada 20°C/fasa [ohm/km]
35	7,5	94	710	1,50
50	8,75	126	1755	0,603
120	13,75	310	3000	0,357
150	15,75	406	4763	0,224
240	20,25	670	6775	0,142
300	22,50	827	8370	0,115

Modulus Young (elastisitas) = 6000 [hbar]

Koefisien ekspansi = 23×10^{-4} per °C

Koefisien tahanan = 0.0036 per °C

Tabel 3.3 Karakteristik panghantar kabel Pilin inti Aluminium Tegangan Menengah (NAFFXSEY-I)

Luas penampang [mm ²]	Diameter Nominal [mm]	Berat (Isolasi XLPE) [kg/km]	Tahanan pada 20°C / fasa [ohm/km]	Kapasitansi [µF/km]
3 x 50	54,7	2870	0,645	0,18
3 x 45	87,2	4340	0,437	0,22

Jenis penggantung : kawat baja 50 mm²

Rated voltage : 24 kV

3.1.5 Gaya Mekanis Pada Tiang Awal/Ujung

Jika pada temperature minimal ($t = 20^{\circ}$ C) masih terdapat Sag, maka gaya regangan (*tensile stress*) sama dengan nol.

Pada kondisi demikian tiang mendapat gaya mekanis F :

- Akibat massa penghantar x ½ panjang jarak gawang = F_m
- Akibat angin pada penghantar x ½ panjang jarak gawang = F_a

maka $F = \sqrt{F_m^2 + F_a^2}$ [daN], (pengaruh tiupan angin pada tiang diabaikan).

3.1.6 Gaya Mekanis Pada Tiang Tengah

Tiang tengah dengan deviasi sudut lintasan 0° tidak menerima gaya mekanis akibat massa penghantar, karena gaya tersebut saling menghilangkan pada jarak gawang/span yang berdampingan. Namun tetap menerima gaya mekanis sebagai akibat tiupan angin. Besarnya kekuatan angin adalah 40 daN/m^2 .

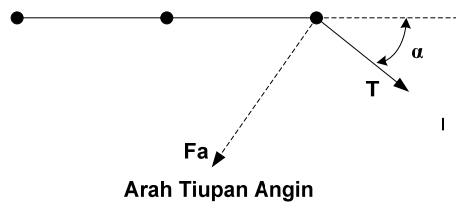
$F = F_a \times \text{diameter kabel} \times \text{panjang penghantar antara titik andongan dua gawang yang berdampingan (weighted span)}$

$F_a = \text{kekuatan angin } 40 \text{ daN/m}^2$

$F = \text{gaya mekanis akibat tiupan angin}$

3.1.7 Gaya Mekanis Pada Tiang Sudut

Tiang sudut adalah tiang dimana deviasi lintasan penghantar sampai dengan 90° . Jika tiang awal/ujung memikul gaya sebesar F kg gaya (daN), maka tiang sudut memikul gaya mekanis F akibat berat/massa penghantar dan tiupan angin maksimum sebesar.



dimana $\alpha = \text{sudut deviasi lintasan jaringan}$

$F = \text{gaya mekanis tiang awal/ujung}$

Rumus gaya mekanis Tiang Sudut secara matematis adalah :

$$F = F_a \times d \times a \times \cos \frac{\alpha}{2} + 2T \sin \frac{\alpha}{2}$$

dimana :

F_a = tekanan angin pada arah bisection [daN/m^2]

T = tegangan tarik maksimum penghantar pada tiang [daN]

d = diameter penghantar [m]

a = panjang rata-rata aritmatik dari dua gawang yang membentuk sudut

α = sudut deviasi lintasan (derajat)

Apabila F_1 adalah gaya mekanis maksimum pada tiang awal/ujung, dimana

$F_1 = F$ akibat massa penghantar + F akibat hembusan angin,

Maka tiang sudut menerima gaya maksimum sebesar

$$F_{\text{maks}} = 2 F_1 \sin \frac{\alpha}{2} \text{ [daN]}$$

3.1.8 Aplikasi Perhitungan Gaya Mekanis

Tabel berikut memberikan hasil hitungan gaya mekanik pada tiang untuk berbagai luas dan jenis penghantar dan pada dua posisi tiang, tiang awal/akhir dan tiang sudut.

Kekuatan tiang (*working load*) mengikuti standarisasi yang sudah ada yaitu 160 daN, 200 daN, 350 daN, 500 daN, 800 daN. Untuk panjang 9 m, 11 m, 12 m, 13 m, 14 m, dan 15 m baik tiang besi atau tiang beton.

Tiang mempunyai tingkat keamanan 2, yaitu baru akan gagal fungsi jika gaya mekanis melebihi 2 x working load (*breaking load = 2 x working load*).

Kekuatan tarik mekanis dihitung pada ikatan penghantar 15 cm di bawah puncak tiang. Tidak diperhitungkan perbedaan momen tarik untuk berbagai titik ikatan penghantar pada tiang (contoh *underbuilt*). Jika konstruksi *underbuilt*, maka gaya mekanis yang diterima tiang adalah jumlah aljabar gaya mekanis akibat sirkit penunjang tunggal.

Tabel 3.4 Tabel Gaya mekanis pada Tiang Awal/Ujung.

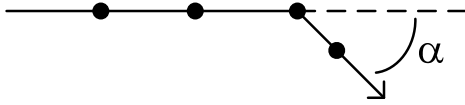
No.	Penampang Penghantar [mm ²]	Massa [kg/m]	Diameter d [m]	F ₁ massa x g [daN]	F ₂ Resultan [Kg/m]	$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ [daN]
I	JTR					
	▪ 3 x 35 + N	0,67	0,031	148	28	150
	▪ 3 x 50 + N	0,78	0,034	172	31	175
	▪ 3 x 70 + N	1,01	0,041	223	37	224
II	JTM AAAC					
	▪ 3 x 35	0,28	0,008	62	21,6	65
	▪ 3 x 70	0,63	0,011	139	29,7	142
	▪ 3 x 150	1,22	0,016	269	45	273
	▪ 3 x 240	1,88	0,019	414	243	480
III	JTM AAAC-S					
	▪ 3 x 150	1,54	0,017	340	46	343
IV	JTM AAAC-T					
	▪ 3 x 150	3,23	0,066	712	59	715

- Temperatur 30⁰C
- Jarak gawang L = 45 meter, panjang andongan 1 meter
- Koefisien muai panjang 23×10^{-16} per ⁰C
- Tekanan angin 40 daN/m²
- Gravitasi g = 9.8
- $F_1 = \text{massa} \times g \times \frac{L}{2}$; $F_2 = \text{tekanan angin} \times d \times \frac{L}{2}$

Tabel 3.5 Gaya maksimum pada Tiang Sudut jaringan distribusi tenaga listrik.

No.	Penampang Penghantar [mm ²]	Gaya Mekanis Resultan Maksimum F [daN]			
		$\alpha = 30^0$	$\alpha = 45^0$	$\alpha = 60^0$	$\alpha = 90^0$
I	JTR				
	▪ 3 x 35 + N	78	115	150	212
	▪ 3 x 50 + N	91	134	175	248
	▪ 3 x 70 + N	116	171	224	317
II	JTM AAAC				
	▪ 3 x 35	34	50	65	92
	▪ 3 x 70	64	109	142	200
	▪ 3 x 150	141	208	273	384
	▪ 3 x 240	248	367	480	678
III	JTM AAAC-S				
	▪ 3 x 150	172	262	348	485
IV	JTM AAAC-T				
	▪ 3 x 150	368	545	712	1006

- $F = 2 F_1 \sin \frac{1}{2} \alpha$
- Jarak gawang 45 meter, panjang sag 1 meter



3.1.9 Penggunaan Hasil Perhitungan Dalam Konsep Perencanaan

Mengingat perkembangan beban pelanggan dan lain-lain, kekuatan hasil perhitungan dikalikan 2, untuk mengantisipasi penambahan jalur jaringan distribusi dari tiang awal yang sama.

Tabel pada halaman berikut memberikan angka kekuatan tiang berdasarkan jenis penghantar dan sudut lintasan. Khusus untuk Tiang Akhir atau Tiang Sudut sejauh memungkinkan, dipergunakan tiang dengan kekuatan tarik lebih kecil, namun ditambah konstruksi Topang Tarik (*guy wire/trekskur*).

Tabel 3.6 Kekuatan tarik Tiang Awal/Ujung (*working load*) JTR.

No	Penghantar Twisted Cable	Kekuatan tiang 9 m [daN]					Alternatif pilihan
		200	350	500	800	1200	
1.	3x35+N mm ²	X					200 daN + GW 200 daN +GW untuk tiang ujung
2.	3x50+N mm ²		X				
3.	3x70+N mm ²			X			

GW = Guy Wire. Kekuatan angin 40 daN/m² jarak gawang 45 meter, t = 20⁰C, dengan panjang tiang 9 meter. Sag = 0 meter

Tabel 3.7 Kekuatan Tarik Tiang Awal/Ujung (*working load*) JTM.

No	Penghantar	Kekuatan tiang [daN]					Alternatif Pilihan
		200	350	500	800	1200	
1.	AAAC 3x35 mm ²	x					+ GW
2.	AAAC 3x50 mm ²	x					200 daN+GW
3.	AAAC 3x70 mm ²		x				200 daN+GW
4.	AAAC 3x150 mm ²			x			350 daN+GW
5.	AAAC 3x240 mm ²		2x				350 daN+GW
6.	AAAC 2x(3x150)mm ²		2x				350 daN+GW
7.	AAAC 2x(3x240)mm ²		2x				350 daN+GW
8.	AAAC 3x150mm ² + LVTC 3x70+N mm ²			2x			350 daN+GW
9.	AAAC 3x240 mm ² + LVTC 3x70+N mm ²				2x		350 daN+GW

Kekuatan angin 40 daN/ m² jarak gawang 45 meter, t = 20⁰C, panjang tiang 11, 12, 13, dan 14 meter, sag 0 meter

Tabel 3.8 Kekuatan Tiang Sudut (*working load*) saluran fasa-3 konstruksi underbuilt JTM/JTR.

No.	Jarak Gawang	Penghantar	Sudut Deviasi	Kekuatan tiang [daN]					Alternatif pilihan
				200	350	500	800	1200	
1.	50 meter	AAAC.35 mm ² +LVTC 3x70/N mm ²	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰	X	X	X			200daN + GW 200daN + GW 200daN + GW 200daN + GW
2.	50 meter	AAAC.70 mm ² +LVTC 3x70/N mm ²	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰	X	X				+ GW 200daN + GW 200daN + GW 200daN + GW
3.	50 meter	AAAC.150 mm ² +LVTC 3x70/N mm ²	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X	X			+ GW + GW 350daN + GW 350daN + GW
4.	50 meter	AAAC.240 mm ² +LVTC 3x70/Nmm ²	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW + GW 350daN + GW 350daN + GW
5.	50 meter	AAAC.150 mm ² GANDA	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW + GW 350daN + GW 350daN + GW
6.	50 meter	AAAC.240 mm ² GANDA	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW + GW 350daN + GW 350daN + GW
7.	90 meter	AAAC.240 mm ²	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW 350daN + GW 350daN + GW 350daN + GW
8.	90 meter	AAAC.150 mm ² GANDA	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW 350daN + GW 350daN + GW 350daN + GW
9.	90 meter	AAAC.240 mm ²	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW 350daN + GW 350daN + GW 350daN + GW
10.	90 meter	AAAC.240 mm ² GANDA	0 ⁰ - 15 ⁰ 15 ⁰ - 30 ⁰ 30 - 60 ⁰ 60 ⁰ - 90 ⁰		X				+ GW 350daN + GW 350daN + GW 350daN + GW

GW = Guy Wire ; 2x = tiang ganda. Tiang besi/beton panjang 11, 12, 13, dan 14 meter, tiupan angin 40 daN/m² t : 20⁰C, sag = 0 meter

Catatan : Apabila menggunakan AAAC berisolasi maka berat penghantar akan bertambah 35 %, sehingga kekuatan Tiang Sudut harus ditambah dengan pemasangan *guy wire*.

3.1.10 Metode Grafis Untuk Tiang Sudut

Perhitungan – perhitungan yang dilakukan untuk menentukan kekuatan mekanik Tiang Sudut kerap kurang aplikatif. Model grafis dapat membantu tanpa harus menghitung besarnya sudut deviasi lintasan jaringan.

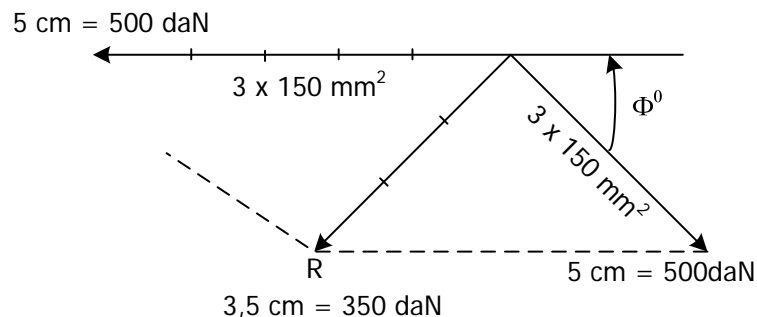
Asumsi :Gaya mekanis pada tiang sudut adalah resultan gaya tarik tiang ujung/awal untuk berbagai penghantar yang berbeda.

Contoh :

Penghantar Fasa –3 AAAC 150 mm² sudut deviasi ϕ° . Berapa *working load* tiang yang dipilih.

Kekuatan tiang ujung AAAC 3 x 150 = 500 daN. Kemudian buat gambar dengan skala 1 cm = 100 daN. Ukur panjang resultan gaya misalnya diperoleh hasil 3,5 cm \approx 3,5 x 100 = 350 daN

Maka besarnya kuat tarik tiang sudut tersebut adalah 350 daN



3.1.11 Beban Mekanik pada Palang (*cross arm / travers*)

Palang (*Cross Arm*) adalah tempat dudukan isolator. Beban mekanis pada palang arah horizontal akibat dari gaya regangan penghantar dan beban vertikal akibat berat penghantar. Umumnya beban vertikal diabaikan. Bahan palang adalah besi (ST.38) profil UNP galvanis dengan panjang berbeda.

Tabel 3.9. Karakteristik Palang.

Profil	Panjang	Penyusunan pada	Deviasi
UNP 8	1,6 meter	Tiang Tumpu	$0^{\circ} - 15^{\circ}$
UNP 10	1,8 meter	Tiang Tumpu. Tiang awal/akhir	$15^{\circ} - 30^{\circ}$
UNP 10	2 meter	Tiang Tumpu, Tiang Sudut*)	$30 - 60^{\circ}$
UNP 15	2,4 meter	Tiang Tumpu*), Tiang Sudut, Awal/Akhir	$60^{\circ} - 90^{\circ}$
UNP 15	2,8 meter	Tiang Tumpu, Tiang Sudut*) Awal/Akhir	

Catatan *) dapat memakai cross arus ganda untuk tiang awal

3.1.12 Beban Mekanis Isolator

Terdapat 2 jenis isolator yang dipakai sesuai dengan fungsinya :

1. Isolator Tumpu (*line insulator*), terdapat berbagai istilah : *line post insulator, post insulator, insulator pin*.
2. Isolator Regang (*Suspension Insulator*), terdapat 2 macam yaitu : isolator payung (*umbrella insulator*) dan *long rod insulator*.

Isolator Tumpu (*line insulator*)

Isolator tumpu digunakan untuk tumpuan penghantar gaya mekanis pada isolator ini adalah gaya akibat berat beban penghantar pada tiang tumpu atau pada tiang sudut.

Tabel 3.10. Karakteristik Isolator.

No.	Karakteristik	Jenis Isolator		
		Line Post	Pin Post	Pin
1.	Tegangan kerja maksimal	24 KV	24 KV	22 KV
2.	Withstand voltage (basah)	65 KV	65 KV	75 KV
3.	Impulse withstand voltage	125 KV	125 KV	125 KV
4.	Mechanical Strength	1250 daN	1250 daN	850 daN
5.	Creepage distance	480 mm	534 mm	583 mm
6.	Berat	8,34 kg	10 kg	6,4 kg

Isolator tumpu dapat dipakai untuk konstruksi pada:

Sudut Lintasan	Material
$0^{\circ} - 15^{\circ}$	Isolator tumpu tunggal
$15^{\circ} - 30^{\circ}$	Isolator tumpu ganda

Kekuatan mekanis terbesar untuk sudut 45° dengan penghantar AAAC 3 x 240 mm² adalah sebesar 678 daN, kekuatan mekanis isolator 1250 daN.

Pada sudut $15^{\circ} - 30^{\circ}$ sebesar 790 daN pada 2 isolator

Isolator regang (*suspension insulator*)

Isolator peregang dipakai pada kontruksi tiang awal/tiang sudut apabila sudut elevasi lebih besar dari 30° .

Terdapat 2 jenis isolator yang dipakai, yaitu isolator payung dan *long rod* dengan karakteristik sebagai berikut :

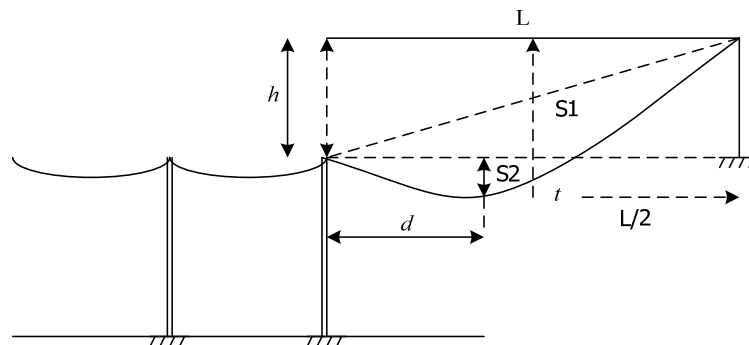
Tabel 3.11. Karakteristik teknis Isolator Payung dan *Long Rod*.

No.	Karakteristik	Jenis Isolator	
		Payung	Long Rod
1.	Tegangan kerja maksimal	24 KV	24 KV
2.	Withstand voltage	65 KV	67 KV
3.	Impulse withstand voltage	110 KV	170 KV
4.	Creepage distance	295 mm ²	546 mm ²
5.	Mechanical Strength	7000 daN	7500 daN
6.	Berat	4,7 kg	7 kg

Untuk tiap 1 set isolator jenis suspension terdiri atas 2 buah/2 piring sedangkan jenis long rod 1 buah. Beban mekanis isolator ini adalah beban mekanis sebagaimana pada isolator tiang ujung/awal.

3.1.13 Andongan pada Permukaan Miring

Pada permukaan miring beban mekanis pada tiang tumpu/tengah menjadi berbeda dengan beban mekanis pada bidang mendatar. Rumus terapan parabolik memberikan hubungan antara jarak tiang, tension, andongan jarak aman sebagai berikut :



$$S_2 = \frac{h}{2} + \left(1 + \frac{h}{8S}\right) - S_1 - h \dots [\text{meter}]$$

$$d = (l^2 w - 2hT) / 2.l.w \quad [\text{meter}]$$

dimana :

l : jarak horizontal [m]

h : perbedaan tinggi [m]

S_1 : jarak andongan pada $\frac{1}{2}$ gawang [m]

S_2 : panjang andongan pada garis horizontal [m]

S : Jarak gawang [m]

T : regangan penghantar (daN)

w : berat penghantar (kg/m)

Pada dasarnya rumus diatas kurang aplikatif sehingga untuk menentukan titik andongan sebaiknya dilakukan dengan memakai template.

3.1.14 Pondasi Tiang dan Struktur Tanah

Pondasi pada dasarnya digunakan pada semua tiang, baik tiang tumpu, tiang awal/akhir atau tiang sudut. Jenis dari konstruksi pondasi disesuaikan dengan kondisi tanah dimana tiang tersebut akan didirikan.

Tabel 3.12. Data Klasifikasi kondisi tanah untuk membuat berbagai macam pondasi tiang.

Kelas tanah	Tipe Tanah	Kondisi Tanah	Maksimum daya dukung Tanah	Parameter (C) dan sudut gesek Φ^0
1	Cohesive granular	Sangat lunak tanpa pasir	1000 daN/m ²	C : 1500-2500 daN/m ² Φ : 25 ⁰ - 30 ⁰
2	Cohesive Granular	Tanah lunak, endapan lumpur sedikit pasir	2500-7500 daN/m ²	C : 2500-5000 daN/m ² Φ : 30 ⁰ - 35 ⁰
3	Cohesive Granular	Tanah keras berpasir coarsif berpasir gravel (tanah liat)	7500-1500 daN/m ²	C : 5000-8000 daN/m ² Φ : 35 ⁰ - 40 ⁰
4	Cohesive Granular	Lumpur keras, endapan keras	15.000-30.000 daN/m ²	C : 8000-11000 daN/m ² Φ : 40 ⁰ - 45 ⁰
5	Cohesive Granular	Lumpur sangat keras, tanah liat keras berpasir	30.000-60.000 daN/m ²	C : 11000-14000 daN/m ² Φ : 45 ⁰ - 50 ⁰
6	Rock	Batu cadas	3.000 daN/m ²	C : 20000-28000 daN/m ² Φ : 90 ⁰ - 100 ⁰

Sumber : CAC proyek kelistrikan RE-II PT PLN (Persero)

Dimensi pondasi dibuat berdasarkan data diatas.

3.1.15 Jarak antar Penghantar (conductor spacing)

Jarak antar penghantar harus diperhitungkan berdasarkan 2 pertimbangan, yaitu

- Pengaruh elektris akibat hubung singkat
- Kemungkinan Persinggungan antar penghantar

Jarak antar penghantar pada titik tengah gawang merupakan fungsi dari:

1. Jarak Gawang
2. Tinggi Sag

Beberapa rumus empiris untuk jarak antar penghantar:

$$1. D = 0,75 \sqrt{s} + \frac{V^2}{20000}$$

$$2. D = \sqrt{s} + \frac{V}{150}$$

dimana : s : Tinggi Sag

V : Tegangan Kerja (kV)

PanjangPalang (*Cross-Arm*) yang diperlukan adalah :

$L = 2 \times \text{jarak antar penghantar} + 2 \times \text{jarak antara titik luar lubang pin isolator dengan ujung Palang } (\pm 10 \text{ cm})$

Contoh :

Span = 1 meter V = 20 kV

$$d = 0,75 \sqrt{1} + \frac{20^2}{20000} = 0,77 \text{ meter}$$

Panjang Palang :

$2 \times 0,77 + 2 \times 10 = 1,74 \text{ meter, atau minimal panjang } \textit{Cross-Arm} \text{ 1,8 meter.}$

3.2 BEBAN MEKANIS TAMBAHAN JARINGAN NON ELEKTRIKAL

Pada beberapa kasus terdapat adanya kabel-kabel telematika yang terpasang pada jaringan listrik PLN. Saluran kabel ini memberikan tambahan beban mekanis pada tiang awal/ujung dan tiang sudut jaringan listrik PLN, saluran kabel tambahan ini adalah :

1. Saluran kabel telematika (fiber optik , kabel telekomunikasi, kabel vision, kabel untuk internet dan lain-lain).
2. Saluran udara kabel kontrol dari unit pengatur distribusi PLN.

Pengaruh beban mekanis dan perhitungannya sama dengan saluran jaring distribusi tenaga listrik PLN, yaitu memberikan gaya mekanis akibat regangan penghantar (*tensile stress*), berat kabel dan tiupan angin. Komponen gaya mekanis yang paling berbahaya adalah tensile stress, panjang kabel telekomunikasi pada saat temperatur udara terendah 20⁰C dan hembusan angin 40 daN/M² tidak melebihi jarak antar tiang (gawang) atau masih terhitung adanya sag/andogan. Tabel berikut memberikan hasil hitungan pengaruh kabel tersebut

Gaya Mekanis pada tiang awal/ujung saluran kabel fiber optik

- Saluran kabel fiber optik
- Temperatur 20⁰C
- Jarak gawang L=45 meter, Panjang andongan 1 meter
- Tekanan angin 40 daN/m²
- Gravitasi g = 9.8
- $F_1 = \text{massa} \times g \times \frac{L}{2}$; $F_2 = \text{tekanan angin} \times d \times \frac{L}{2}$
- $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$

Tabel 3.13. Gaya Mekanis pada Tiang Awal/Ujung saluran kabel fiber optic.

No	Jenis Penghantar	Massa [Kg/m]	Diameter [m]	F ₁ [daN]	F ₂ [daN]	$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ [daN]
1	6/1T	0.239	12.6 x 22.7	53	40	66
2	12/2T	0.252	13.2 x 23.3	57	42	71
3	24/2T	0.276	14.4 x 24.5	62	44	76
4	48/4T	0.283	14.4 x 24.5	63	44	77
5	96/8T	0.359	16.3 x 26.4	73	48	87

Gaya mekanis maksimum pada tiang sudut

- Keterangan teknis sama dengan Tabel 3.12



- $$F = 2F_1 \sin \alpha / 2$$

Tabel 3.14. Gaya mekanis maksimum pada Tiang Sudut.

No	Jenis Penghantar	Gaya Mekanis Tiang Sudut F [daN]			
		$\alpha = 30^0$	$\alpha = 45^0$	$\alpha = 60^0$	$\alpha = 90^0$
1	6/1T	34	50	66	9
2	12/2T	36	54	72	101
3	24/2T	40	58	76	108
4	48/4T	42	60	78	110
5	96/8T	46	68	88	112

3.3 CONTOH APLIKASI PERHITUNGAN

1. Jaringan tiang 9 meter, dengan penghantar (3 x 70 + N mm²), jarak gawang 45 meter sag 1 meter working load tiang awal/ujung 500 daN.

- Beban mekanik total : 224 daN

- *Working load* tiang : 500 daN

Sisa beban mekanis yang diizinkan 226 daN

Jika ditambah saluran Telematika (fiber optik 96/8T) dengan beban mekanis pada tiang ujung 87 daN, sehingga dengan sisa beban mekanis sebesar 226 daN, maka maksimum hanya 2 saluran kabel fiber optik ($2 \times 87 \text{ daN} = 174 \text{ daN}$) yang dapat ditambah pada tiang tersebut

Sisa akibat beban mekanis sebesar $(226 - 174 \text{ daN}) = 52 \text{ daN}$ di perkirakan dapat menahan beban mekanis akibat sambungan pelanggan.

2. Jika jaringan kabel Pilin (*twisted*) ganda $2(3 \times 70 + N) \text{ mm}^2$

- Beban mekanis akibat kabel Pilin $2 \times 224 \text{ daN} = 448 \text{ daN}$
- Beban akibat fiber optik 1 saluran = 87 daN
- Total beban mekanis = $(448 \text{ daN} + 87 \text{ daN}) = 535 \text{ daN}$, kelebihan beban mekanis sebesar $(535 - 500) \text{ daN} = 35 \text{ daN}$, dan akibat beban mekanis sambungan pelanggan
- Tiang tersebut harus ditambah *Guy Wire*

3. Sistem under built AAAC $3 \times 150 \text{ mm}^2$ dan kabel *twisted* $(3 \times 70 + N) \text{ mm}^2$

- *Working load* tiang ujung : 500 daN
- Beban mekanis AAAC $3 \times 150 \text{ mm}^2$: 273 daN
- Beban mekanis kabel *twisted* $(3 \times 70 + N)$: 274 daN
- Sisa kekuatan akibat beban mekanis : 0 daN

4. Pembebanan pada tiang sudut

Sudut lintasan $\alpha = 90^\circ$

- Beban mekanis JTR $(3 \times 70 + N)$: 317 daN
- Beban mekanis kabel fiber optik 96/8T : 112 daN
- Total : 429 daN
- *Working load* tiang sudut : 350 daN

Dengan adanya beban mekanis tambahan tiang sudut tersebut harus ditambah topang tarik (*Guy Wire*)

3.4 PERTIMBANGAN-PERTIMBANGAN AKIBAT PENGARUH GAYA MEKANIS AKIBAT SALURAN NON ELEKTRIKAL PLN

Adanya beban tambahan saluran non elektrik akibat kebijaksanaan setempat mungkin tidak dapat dihindari. Namun tiang mempunyai fungsi utama sebagai penyangga jaringan listrik PLN sendiri, sehingga harus dipertimbangkan kemungkinan adanya tambahan jaringan listrik PLN sendiri pada tiang tersebut.

Penambahan beban mekanis harus dihitung, namun hendaknya tidak melebihi *working load* tiang itu sendiri. Jika ternyata melebihi sebaiknya diberi tambahan *Guy Wire*/topang tarik.

Berdasarkan pertimbangan tersebut dan contoh hasil perhitungan penambahan beban mekanis kabel fiber optik atau lainnya, maka penambahan saluran non PLN pada tiang :

1. Harus dihitung akibat beban mekanisnya antara lain pondasi tiang
2. Tidak diperbolehkan pada sistem SUTM - JTR (under built)
3. Tidak diperbolehkan pada saluran ganda JTR
4. Sebaiknya ditambahkan topang tarik pada tiang sudut dan tiang ujung
5. Sebaiknya hanya ada satu jalur tambahan kabel non PLN

BAB 4

KONSEP DASAR KONSTRUKSI

JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

4.1 KONSEP DASAR SISTEM TENAGA LISTRIK

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas :

- a. Sistem Pembangkit
- b. Sistem Transmisi dan Gardu Induk
- c. Sistem Distribusi
- d. Sistem Sambungan Pelayanan

Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik.

Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pemanfaat.

Sistem distribusi terbagi 2 bagian :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah
- b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

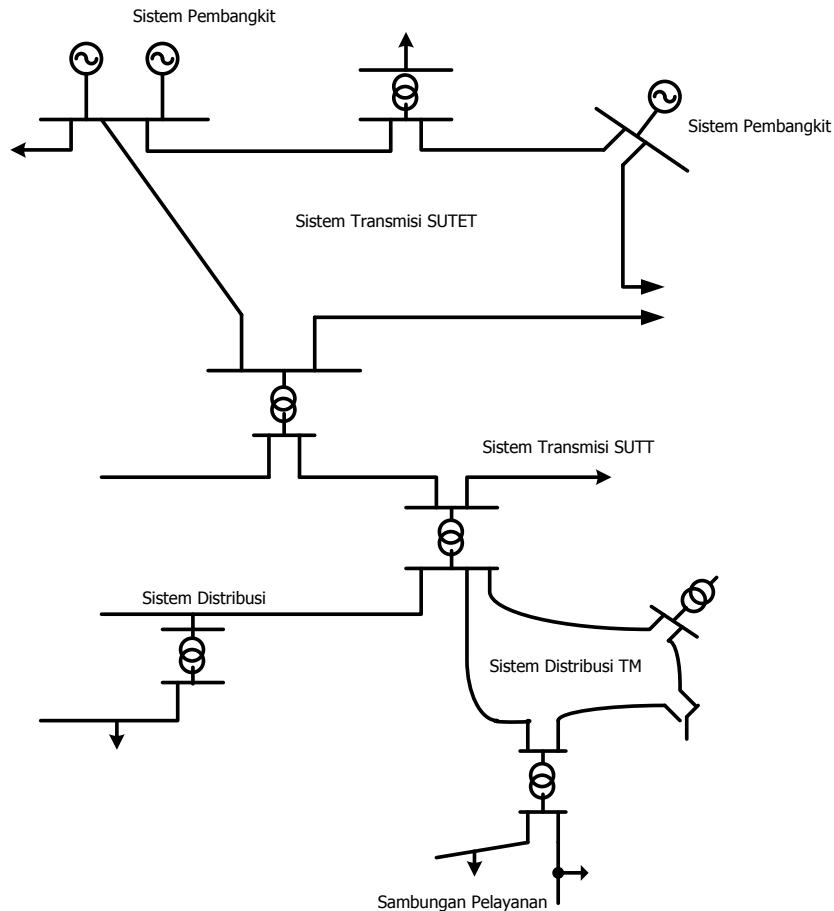
Sistem Distribusi Tegangan Menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 35 kV. Sistem Distribusi Tegangan Rendah mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya 1 kV.

Jaringan distribusi Tegangan Menengah berawal dari Gardu Induk/Pusat Listrik pada sistem terpisah/isolated. Pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (*radial open loop*).

Jaringan distribusi Tegangan Rendah berbentuk radial murni.

Sambungan Tenaga Listrik adalah bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik. Pada Sambungan Tenaga Listrik tersambung Alat Pembatas dan Pengukur (APP) yang selanjutnya menyalurkan tenaga listrik kepada pemanfaat.

Konstruksi keempat sistem tersebut dapat berupa Saluran Udara atau Saluran Bawah Tanah disesuaikan dengan kebijakan manajemen, masalah kontinuitas pelayanan, jenis pelanggan, pada beban atas permintaan khusus dan masalah biaya investasi.



Gambar 4.1 Pola Sistem Tenaga Listrik.

Aspek Perencanaan Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran udara dipakai umumnya untuk daerah dengan jangkauan luas, daerah padat beban rendah atau daerah-daerah penyangga antara kota dan desa.

Biaya investasi Saluran Udara relatif murah, mudah dalam pembangunannya, mudah pada aspek pengoperasian, akan tetapi padat pemeliharaan. Tingkat kontinuitas rendah dengan konfigurasi sistem umumnya radial (*Fishbone*).

Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran bawah tanah dipakai umumnya untuk daerah padat beban tinggi (beban puncak lebih dari 2,5 MVA/km² dengan luas minimal 10 km²) dengan jangkauan terbatas. Biaya investasi mahal, sulit dalam pembangunan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, tingkat kontinuitas tinggi.

Pada jaringan dengan saluran bawah tanah selalu direncanakan dalam bentuk "loop" guna menghindari pemadaman (*black – out*) akibat gangguan.

Pada sistem distribusi Tegangan Rendah dan Sambungan Tenaga Listrik digunakan konfigurasi sistem radial murni. Hanya pada pelanggan-pelanggan tertentu diberikan pasokan alternatif jika terjadi pemadaman. Konstruksi jaringan umumnya saluran udara. Pemakaian saluran bawah tanah umumnya untuk kabel daya (kabel naik, optik kabel), pada daerah-daerah eksklusif atas permintaan khusus, pada daerah-daerah bisnis khusus serta atas dasar kebijakan perencanaan otoritas setempat.

4.2 KONFIGURASI SISTEM DISTRIBUSI

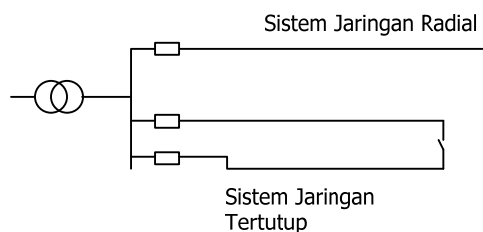
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi :

1. Jaringan radial

yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “*black-out*” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

2. Jaringan bentuk tertutup

yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (*black-out*) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.

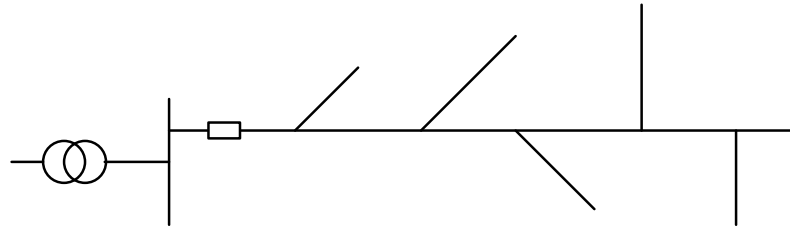


Gambar 4.2 Pola Jaringan Distribusi Dasar.

Berdasarkan kedua pola dasar tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut :

a. Konfigurasi Tulang Ikan (*Fish-Bone*)

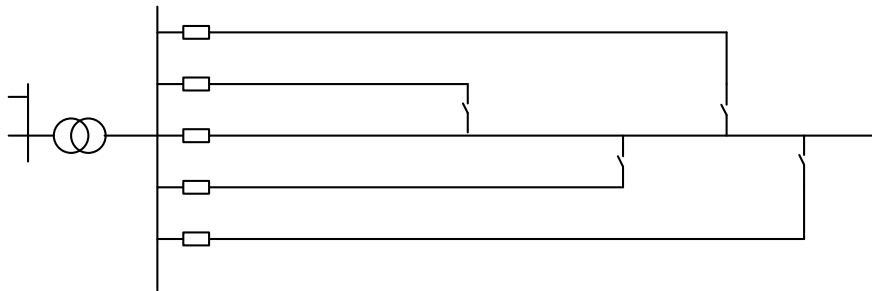
Konfigurasi fishbone ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan system SCADA. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*) dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.



Gambar 4.3 Konfigurasi Tulang Ikan (*Fishbone*).

b. Konfigurasi Kluster (*Cluster / Leap Frog*)

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.



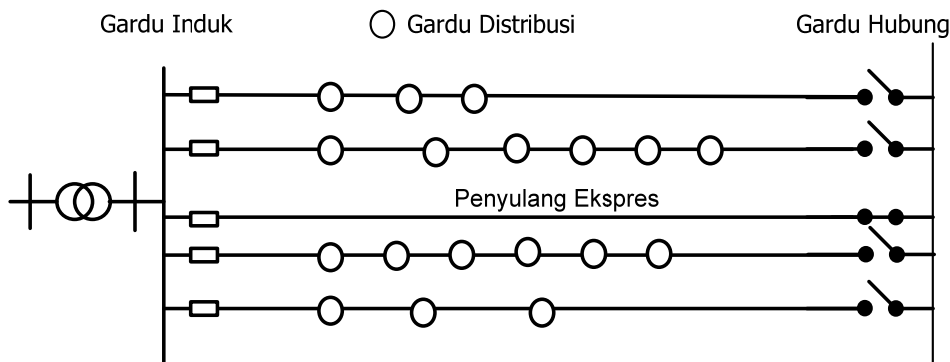
Gambar 4.4 Konfigurasi Kluster (*Leap Frog*).

c. Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*)

Konfigurasi spindel umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi.

Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep *Spindel* jumlah penyulang pada 1 spindel adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindel penuh adalah 85 %. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung

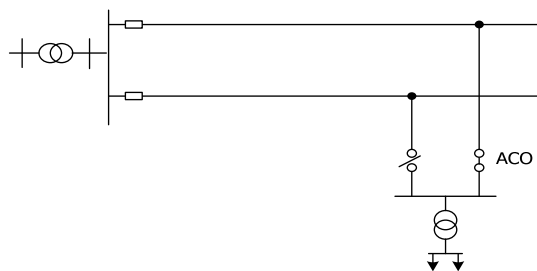
dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 4.5 Konfigurasi Spindel (*Spindle Configuration*).

d. Konfigurasi Fork

Konfigurasi ini memungkinkan 1(satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch (ACOS)*. Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan *Tee- Off (TO)* dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.



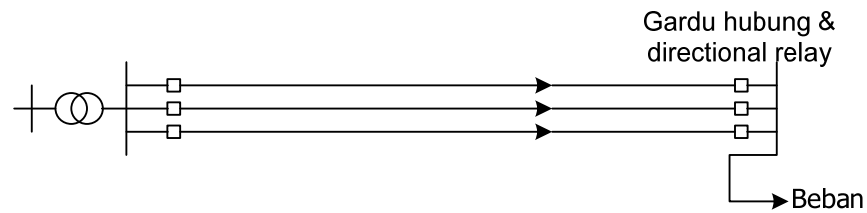
Gambar 4.6 Konfigurasi Fork.

e. Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*)

Konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi.

Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna

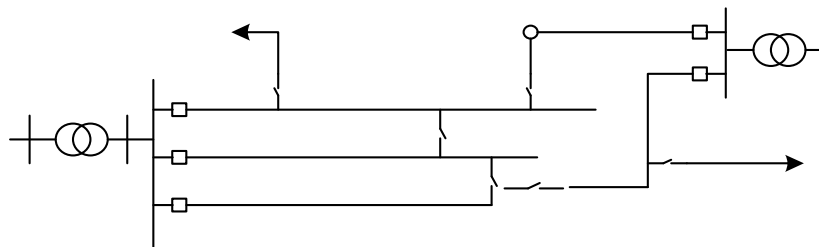
mempertahankan kontinuitas penyaluran. Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (*Directional Relay*) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 4.7 Konfigurasi Spotload (*Parallel Spot Configuration*).

f. Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus.



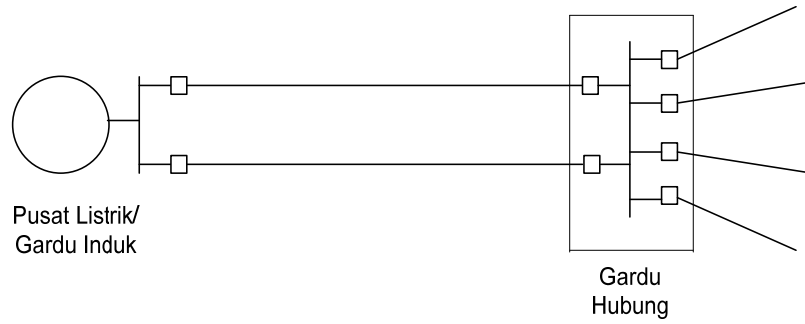
Gambar 4.8 Konfigurasi Jala-jala (*Grid, Mesh*).

g. Konfigurasi lain-lain

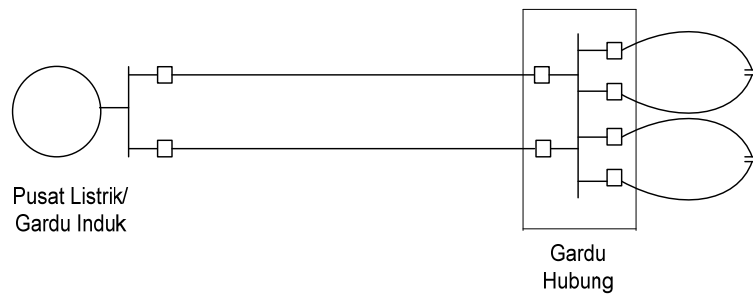
Selain dari model konfigurasi jaringan yang umum dikenal sebagaimana diatas, terdapat beberapa model struktur jaringan yang dapat dipergunakan sebagai alternatif model model struktur jaringan.

Struktur Garpu dan Bunga

Struktur ini dipakai jika pusat beban berada jauh dari pusat listrik/Gardu Induk. Jaringan Tegangan Menengah (JTM) berfungsi sebagai pemasok, Gardu Hubung sebagai Gardu Pembagi, Pemutus Tenaga sebagai pengaman dengan rele proteksi gangguan fasa-fasa dan fasa-tanah pada JTM yang berawal dari Gardu Hubung.



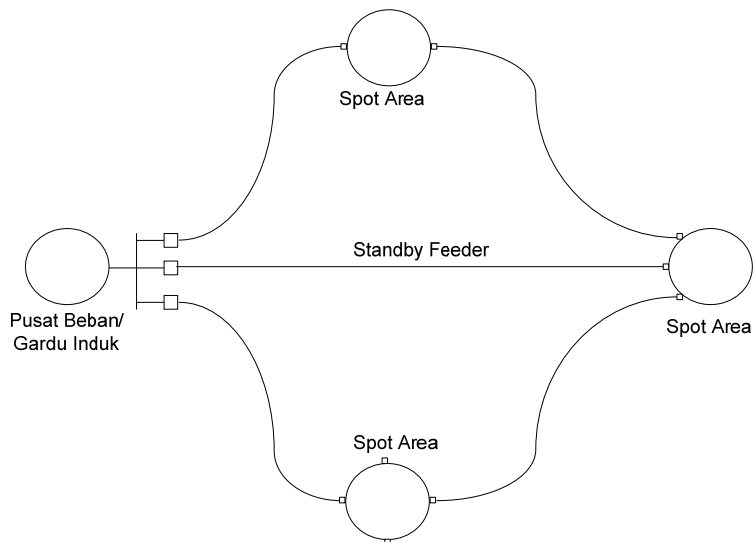
Gambar 4.9 Konfigurasi Struktur Garpu.



Gambar 4.10 Konfigurasi Struktur Bunga.

Struktur Rantai

Struktur ini dipakai pada suatu kawasan yang luas dengan pusat-pusat beban yang berjauhan satu sama lain.



Gambar 4.11 Konfigurasi Struktur Rantai.

4.3 KEANDALAN KONTINUITAS PENYALURAN

Tingkat Keandalan kontinuitas penyaluran bagi pemanfaat tenaga listrik adalah berapa lama padam yang terjadi dan berapa banyak waktu yang diperlukan untuk memulihkan penyaluran kembali tenaga listrik. Secara ideal tingkat keandalan kontinuitas penyaluran dibagi atas 5 tingkat :

Tingkat - 1 : Pemadaman dalam orde beberapa jam. Umumnya terjadi pada sistem saluran udara dengan konfigurasi radial.

Tingkat - 2 : Pemadaman dalam orde kurang dari 1 jam. Mengisolasi penyebab gangguan dan pemulihan penyaluran kurang dari 1 jam. Umumnya pada sistem dengan pasokan penyulang cadangan atau sistem loop.

Tingkat - 3 : Pemadaman dalam orde beberapa menit. Umumnya pada sistem yang mempunyai sistem SCADA.

Tingkat - 4 : Pemadaman dalam orde detik. Umumnya pada sistem dengan fasilitas automatic switching pada sistem fork.

Tingkat - 5 : Sistem tanpa pemadaman. Keadaan dimana selalu ada pasokan tenaga listrik, misalnya pada sistem spotload, transformator yang bekerja parallel.

Keputusan untuk mendesain sistem jaringan berdasarkan tingkat keandalan penyaluran tersebut adalah faktor utama yang mendasari memilih suatu bentuk konfigurasi sistem jaringan distribusi dengan memperhatikan aspek pelayanan teknis, jenis pelanggan dan biaya. Pada prinsipnya dengan tidak memperhatikan bentuk konfigurasi jaringan, desain suatu sistem jaringan adalah sisi hulu mempunyai tingkat kontinuitas yang lebih tinggi dari sisi hilir.

Lama waktu pemulihan penyaluran dapat dipersingkat dengan mengurangi akibat dari penyebab gangguan, misalnya pemakaian PBO, SSO, penghantar berisolasi, tree guard atau menambahkan sistem SCADA

4.4 SISTEM PEMBUMIHAN

Terdapat perbedaan sistem pembumihan pada transformator utama di Gardu Induk / sumber pembangkit, namun tidak ada perbedaan sistem pembumihan pada Transformator Distribusi dan Jaringan Tegangan Rendah.

4.4.1 Pembumian Transformator Daya Gardu Induk pada Sisi Tegangan Menengah

Lilitan sekunder/sisi Tegangan Menengah transformator daya pada Gardu Induk dihubungkan secara bintang (Y). Titik netral lilitan dibumikan melalui :

- a. Pembumian dengan tahanan 12 Ohm untuk sistem SKTM. Untuk kawasan industri yang peka terhadap kedip, nilai R_n dapat lebih besar dari pada 12 Ohm untuk memperkecil kedalaman kedip tegangan.
- b. Pembumian dengan tahanan 40 Ohm untuk sistem SUTM, atau campuran antara SKTM dan SUTM.
- c. Pembumian dengan tahanan 500 Ohm untuk sistem SUTM.
- d. Pembumian langsung /solid grounded
- e. Tanpa pembumian/ sistem mengambang

Karakteristik sistem pembumian tersebut diatas dapat dilihat pada Tabel 4.1

Sistem yang menggunakan pembumian dengan nilai tahanan mendekati nol (solid ground) menyebabkan arus gangguan tanah sangat besar. Kabel tanah yang memakai pita tembaga (*copper shield*) hanya mampu menahan arus gangguan 1000 Ampere selama satu detik sehingga tidak dapat dipergunakan.

Sistem SUTM tanpa pembumian pada transformatornya hanya di pakai pada sistem kelistrikan listrik desa yang kecil.

Nilai tahanan pembumian transformator pada Gardu Induk membatasi arus hubung singkat ke tanah menjadi 1000 A untuk $R = 12$ Ohm, 300 A untuk $R = 40$ Ohm dan 25 A untuk $R = 500$ Ohm. Kriterianya adalah kapasitas penyulang atau pusat listrik dibatasi sebesar 10 MVA, sehingga arus perfasa sebesar 300 A. Besar arus gangguan tanah dibatasi 300 A pada SUTM atau campuran SUTM dan SKTM; sebesar 1000 A pada SKTM; dan sebesar 25 A pada tahanan pentanahan 500 Ohm. Pertimbangan memilih sistem pembumian tersebut merupakan pertimbangan manajemen perancangan dengan memperhatikan aspek :

- a. Aman terhadap manusia
- b. Cepatnya pemeliharaan gangguan/selektifitas penyulang yang mengalami gangguan.
- c. Kerusakan akibat hubungan pendek

- d. Pengaruh terhadap sistem telekomunikasi
- e. Pertimbangan teknis kepadatan beban.

Faktor a, c, d menghendaki arus gangguan rendah, sedangkan faktor b menghendaki arus gangguan besar. Untuk faktor e, bila kepadatan beban tinggi maka sebaiknya digunakan SKTM dengan tahanan pembumian minimal 12 Ohm.

4.4.2 Pembumian Transformator Distribusi pada Sisi Tegangan Rendah.

Bagian – bagian tranformator sisi Tegangan Rendah yang perlu dibumikan adalah titik netral lilitan sekunder, bagian konduktif terbuka, badan trafo dan bagian konduktif ekstra instalasi gardu. Pembumian dilakukan secara langsung (*solid grounded*) dengan nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.

4.4.3 Pembumian Lightning Arrester.

Lightning Arrester (LA) pada sisi Tegangan Menengah Gardu Distribusi pasangan luar mempunyai elektroda pembumian tersendiri. Ikatan penyama potensial dilakukan dengan menghubungkan pembumian LA, pembumian titik netral transformator, pembumian Bagian Konduktif Terbuka/Ekstra. Konstruksi ikatan penyamaan potensial dilakukan dibawah tanah.

Pada transformator jenis CSP fasa-1, penghantar pembumian LA disatukan dengan badan transformator.

4.5 SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

4.5.1 Konsep Perencanaan

Jaringan distribusi tenaga listrik saluran udara ini, terutama untuk distribusi tenaga listrik yang beroperasi secara radial, dengan jangkauan luas, biaya murah, dengan keandalan kontunuitas penyaluran minimal tingkat-2 (lihat sub-Bab 4.3).

Untuk mengurangi luasnya dampak pemadaman akibat gangguan dipasang fasilitas-fasilitas Pole Top Switch / Air Break Switch, PBO, SSO, FCO pada posisi tertentu.

Pemakaian Saluran Udara sebagai sistem distribusi daerah perkotaan dapat dilakukan dengan memperpendek panjang saluran dan didesain menjadi struktur "*Radial Open Loop*".

Pemakaian penghantar berisolasi guna mengurangi akibat gangguan tidak menetap dan pemasangan kawat petir dapat meningkatkan tingkat kontinuitas penyaluran.

Untuk perencanaan di suatu daerah baru, pemilihan PBO, SSO, FCO merupakan satu kesatuan yang memperhatikan koordinasi proteksi dan optimasi operasi distribusi dan sistem pembumian transformator Gardu Induk pada jaringan tersebut.

Pada penyulang utama sistem radial, disisi pangkal harus dipasang PBO dengan setiap percabangan dipasang pemutus FCO khusus untuk sistem dengan pembumian langsung. Untuk sistem pembumian dengan tahanan tidak direkomendasikan penggunaan FCO.

Pada sistem jaringan tertutup (*loop*) dengan instalasi gardu phi-section, seluruh pemutus menggunakan SSO.

4.5.2 Proteksi Jaringan

Tujuan daripada suatu sistem proteksi pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah mengurangi sejauh mungkin pengaruh gangguan pada penyaluran tenaga listrik serta memberikan perlindungan yang maksimal bagi operator, lingkungan dan peralatan dalam hal terjadinya gangguan yang menetap (permanen).

Sistem proteksi pada SUTM memakai :

- A. Relai hubung tanah dan relai hubung singkat fasa-fasa untuk kemungkinan gangguan penghantar dengan bumi dan antar penghantar.
- B. Pemutus Balik Otomatis PBO (*Automatic Recloser*), Saklar Seksi Otomatis SSO (*Automatic Sectionaizer*). PBO dipasang pada saluran utama, sementara SSO dipasang pada saluran pencabangan, sedangkan di Gardu Induk dilengkapi dengan auto reclosing relay.
- C. *Lightning Arrester* (LA) sebagai pelindung kenaikan tegangan peralatan akibat surja petir. *Lightning Arrester* dipasang pada tiang awal/tiang akhir, kabel *Tee-Off* (TO) pada jaringan dan gardu transformator serta pada isolator tumpu.
- D. Pembumian bagian konduktif terbuka dan bagian konduktif extra pada tiap-tiap 4 tiang atau pertimbangan lain dengan nilai pentanahan tidak melebihi 10 Ohm.

- E. Kawat tanah (*shield wire*) untuk mengurangi gangguan akibat sambaran petir langsung. Instalasi kawat tanah dapat dipasang pada SUTM di daerah padat petir yang terbuka.
- F. Penggunaan *Fused Cut-Out* (FCO) pada jaringan pencabangan.
- G. Penggunaan Sela Tanduk (*Arcing Horn*)

Pemasangan Pemutus Balik Otomatis (PBO), Saklar Seksi Otomatis (SSO), Pengaman Lebur dan Pemutus Tenaga (PMT) pada SUTM di pengaruhi oleh nilai tahanan pembumian sisi 20 kV transformator tenaga di Gardu Induk.

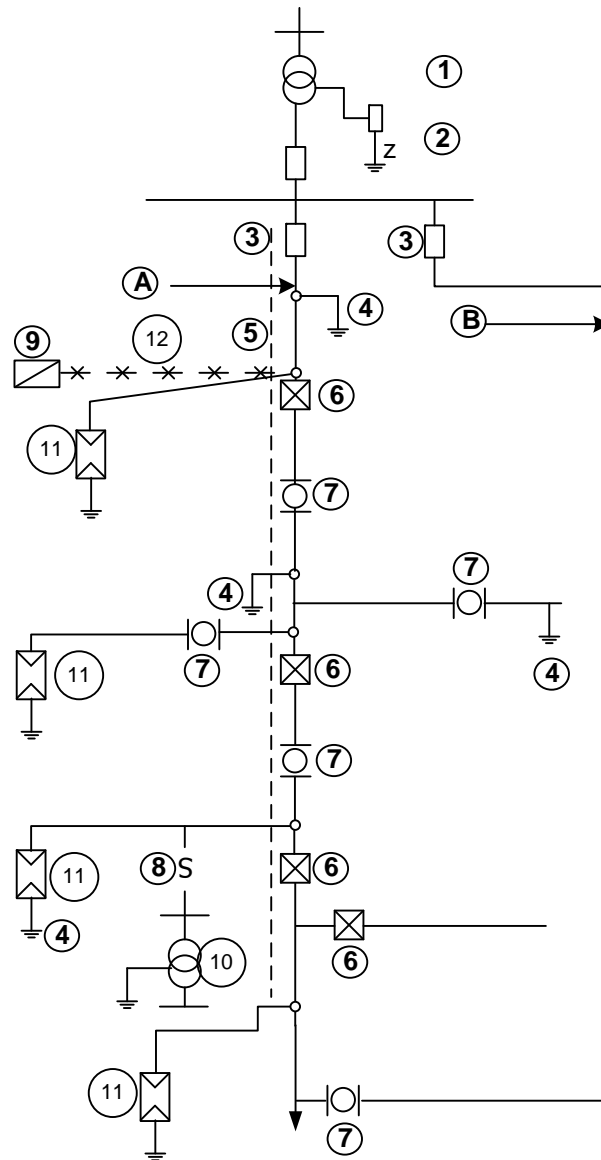
Tabel 4.1 Karakteristik Sistem Pembumian

Tahanan pembumian	Sisi 20 kV-hulu Gardu Induk	Pada jaringan SUTM- hilir
1. Nilai tahanan tinggi 500 Ohm	Pemutus tenaga yang di lengkapi: <ul style="list-style-type: none"> • relai arus lebih fasa-fasa • relai gangguan tanah terarah • reclosing relay untuk pengaman gangguan sesaat. 	<ul style="list-style-type: none"> • Saklar seksi otomatis -SSO pada tiap - tiap zona perlindungan yang di pilih. Jenis SSO yang di pakai adalah dengan pengindera tegangan dan penyetelan waktu. Koordinasi Operasi antar SSO dilakukan dengan koordinasi waktu. • Pengaman lebur pada titik percabangan jaringan di lengkapi dengan SSO dan pengaman transformator distribusi.
2. Nilai tahanan rendah 40 Ohm.	Pemutus tenaga pada Gardu Induk di lengkapi : <ul style="list-style-type: none"> • relai arus lebih fasa-fasa • relai gangguan tanah • reclosing relay untuk gangguan sesaat 	<ul style="list-style-type: none"> • Saklar seksi otomatis -SSO pada jaringan dari jenis pengindera arus gangguan. Koordinasi antar SSO dilakukan dengan koordinasi waktu.. • Pengaman lebur – PL. Sebagai pengaman pada percabangan jaringan untuk gangguan fasa-fasa dengan elemen lebur yang tahan surja (tergantung ukuran/KHA Konduktor) dan sebagai pengaman transformator distribusi.

3. Penumian langsung	Pemutus tenaga pada Gardu Induk di lengkapi : <ul style="list-style-type: none"> • relai arus lebih fasa-fasa • relai gangguan tanah • reclosing relay untuk gangguan sesaat 	<ul style="list-style-type: none"> • Pemutus balik otomatis - PBO dipasang pada jaringan utama. Jarak antar PBO di sesuaikan dengan kemampuan penginderaan PBO, biasanya tidak kurang dari 20 km. • Saklar seksi otomatis –SSO pada saluran utama atau percabangan digunakan untuk pembagian zona yang lebih kecil. SSO yang dipergunakan adalah dari jenis pengindera arus gangguan dan di pasang sesudah PBO • Pengaman lebur digunakan sebagai pengaman percabangan jaringan.
4. Jaringan tanpa penumian (Pembangkit listrik pedesaan)	OVR (over voltage relay)	<ul style="list-style-type: none"> • Pada jaringan 20 kV mengambang dengan besar kapasitas pembangkit tertentu sebaiknya di pasang pengaman hubung tanah dan antar fasa.

Catatan : Istilah PBO sesuai standar PLN adalah recloser yang terpasang di jaringan; sedangkan di gardu induk/pusat listrik lebih tepat dipakai istilah rele penutup balik (reclosing relay). Hal ini agar tidak membingungkan.

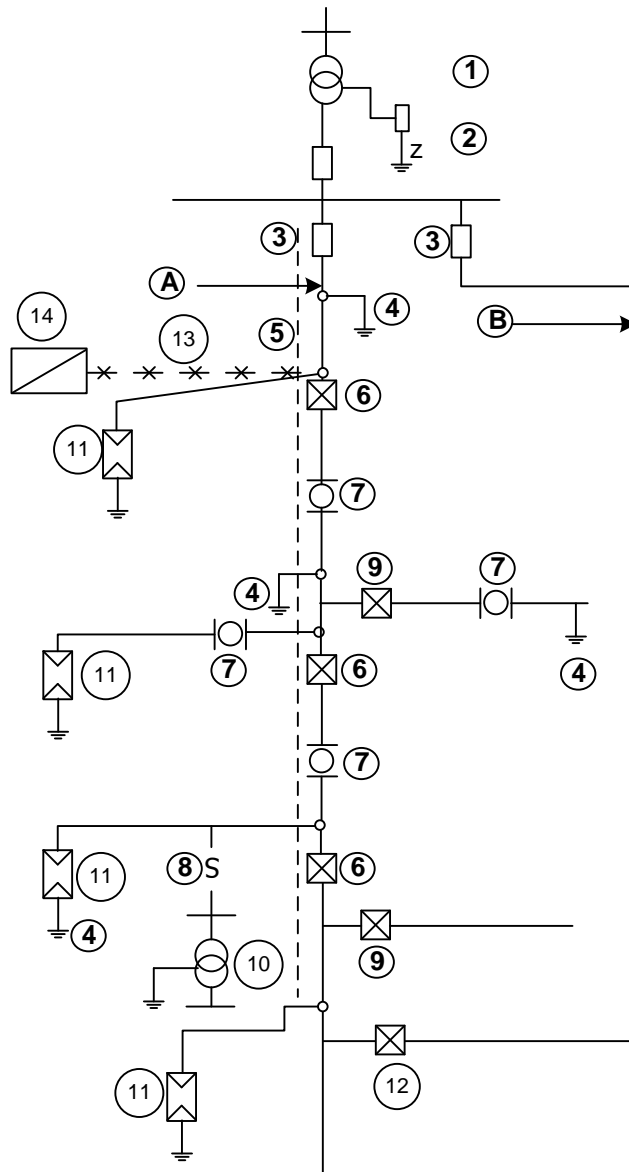
Monogram sistem proteksi dapat dilihat pada gambar berikut :



Keterangan

- A : SUTM Penyulang –A
- B : SUTM Penyulang –B
- 1 = Transformator gardu induk
- 2 = Impedansi-Z (NGR) sisi 20 kV transformator
Z =40 Ohm
- 3 = Pemutus tenaga
 - Rele arus lebih
 - Rele gangguan tanah
 - Rele Pemutus Balik Otomatis
- 4 = Pembumian bagian konduktif terbuka
- 5 = Penghantar tanah (*shield wire*) : optional
- 6 = Pengaman jaringan utama
 - Saklar Seksi Otomatis (SSO)
- 7 = Saklar tiang
 - Pemisah (*pole top switch*)
 - Pemutus beban (*load break switch*)
- 8 = Pengaman Gardu tipe Tiang
 - *Fused Cut – Out (FCO)*
- 9 = Gardu Distribusi Tipe Beton
- 10 = Gardu Distribusi Tipe Tiang
- 11 = *Lightning arrester*
 - 5 kA pada tiang tengah
 - 10 kA pada tiang ujung
- 12 = Kabel TM bawah tanah

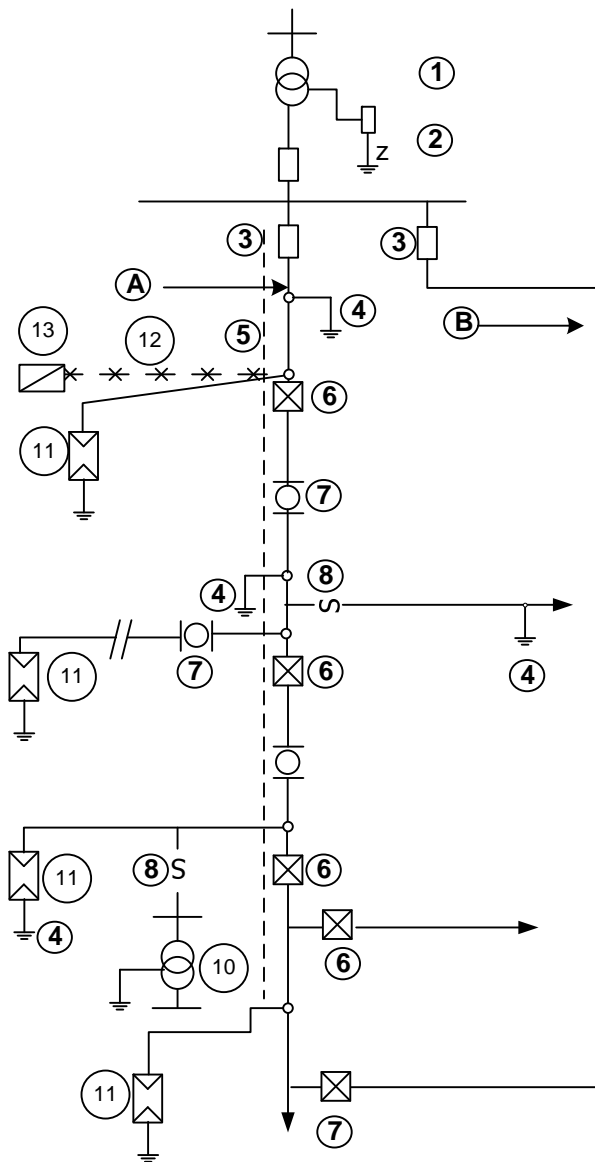
Gambar 4.12 Diagram Proteksi SUTM dengan nilai Z = 40 Ohm.



Keterangan

- A : SUTM Penyulang –A
- B : SUTM Penyulang –B
- 1 = Transformator gardu induk
- 2 = Impedansi-Z (NGR) sisi 20 kV transformator
Z =500 Ohm
- 3 = Pemutus tenaga
 - Rele arus lebih
 - Rele gangguan tanah
 - Rele Pemutus Balik Otomatis
- 4 = Pembumian bagian konduktif terbuka
- 5 = Penghantar tanah (*shield wire*) : optional
- 6 = Pengaman jaringan utama
 - Saklar Seksi Otomatis (SSO)
- 7 = Saklar tiang
 - Pemisah (*pole top switch*)
 - Pemutus beban (*load break switch*)
- 8 = *Fused Cut- Out* (FCO)
- 9 = Pengaman Jaringan Pencabangan
 - Saklar seksi otomatis
- 10 = Gardu Distribusi Tipe Tiang
- 11 = *Lightning arrester*
 - 5 kA pada tiang tengah
 - 10 kA pada tiang ujung
- 12 = Pemutus dengan fasilitas *interloop* penyulang A dan B
- 13 = Kabel TM bawah tanah
- 14 = Gardu Distribusi Tipe Beton

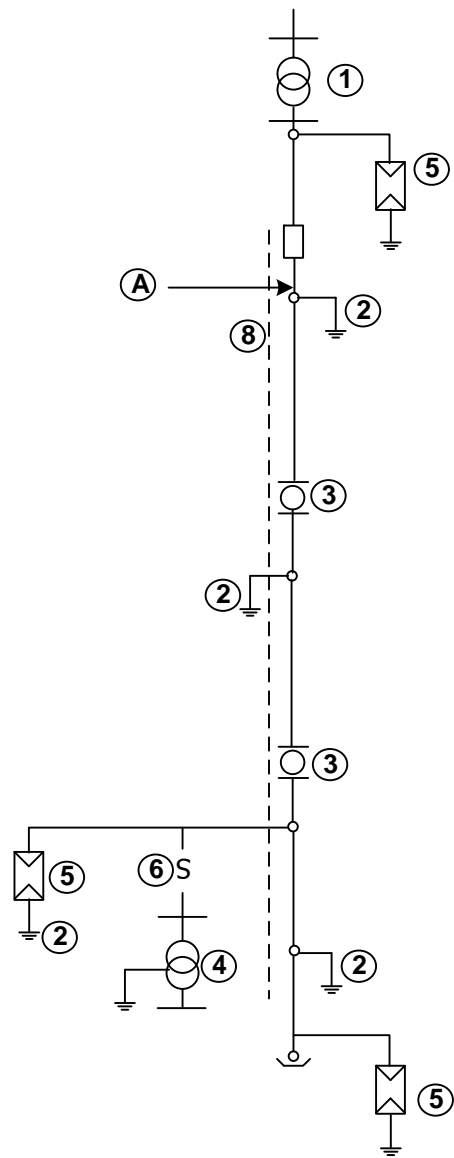
Gambar 4.13 Diagram Proteksi SUTM dengan nilai Z = 500 Ohm.



Keterangan

- A : SUTM Penyulang –A
- B : SUTM Penyulang –B
- 1 = Transformator gardu induk
- 2 = Impedansi-Z = 0 Ohm sisi 20 kV transformator
- 3 = Pemutus tenaga
 - Rele arus lebih
 - Rele gangguan tanah
 - Rele Pemutus Balik Otomatis
- 4 = Pembumian bagian konduktif terbuka
- 5 = Penghantar tanah (sheild wire)
- 6 = Pengaman jaringan utama
 - Pemutus Balik Otomatis – PBO
- 7 = Saklar tiang
 - Pemisah (*pole top switch*)
 - Pemutus beban (*load break switch*)
- 8 = Pengaman Jaringan Sekunder
 - *Fused Cut – Out (FCO)*
- 9 = Pengaman Jaringan Percabangan
 - Saklar Seksi Otomatis
- 10 = Gardu Distribusi Tipe Tiang
- 11 = *Lightning arrester*
 - 5 kA pada tiang tengah
 - 10 kA pada tiang ujung
- 12 = Kabel TM bawah tanah
- 13 = Gardu Distribusi Tipe Beton

Gambar 4.14 Diagram Proteksi SUTM dengan Solid Ground (Pembumian Langsung).



Keterangan

- A : Penyulang SUTM
- 1 = Transformator Step-Up 380 V/20kV
- 2 = Pembumian bagian konduktif terbuka
- 3 = Saklar tiang
 - Pemisah (*pole top switch*)
- 4 = Gardu Distribusi Tipe Tiang
- 5 = *Lightning arrester*
 - 5 kA pada tiang tengah
 - 10 kA pada tiang ujung
- 6 = Fused Cut-Off (FCO)
- 7 = Gardu Distribusi
- 8 = Penghantar Tanah (Shield Wire)

Gambar 4.15 Diagram Proteksi SUTM dengan Sistem Mengambang (tanpa pembumian) pada PLTD Kecil.

4.5.3 Melokalisir Titik Gangguan

Mengingat saluran utama TM mempunyai jangkauan yang luas, usaha-usaha mengurangi lama padam pada bagian-bagian/zona-zona pelayanan SUTM dilakukan dengan cara penempatan peralatan pengaman dan pemutus pada titik tertentu di jaringan.

Pada saluran utama dapat dipasang jenis-jenis peralatan pemisah (PMS) atau pemutus beban (LBS) atau peralatan pemutus balik otomatis (PBO). Pada jaringan SUTM yang dapat dimungkinkan pasokan cadangan dari penyulang lain atau konfigurasi kluster dapat di pasang PBO antar penyulang. Perlu dilakukan analisa tersendiri secara lengkap untuk koordinasi kerjanya.

Pada saluran percabangan dapat dipasang peralatan pemisah (PMS), pengaman lebur (FCO) atau Automatic Sectionalizer.

Fault Indicator perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat di pulihkan lebih cepat.

4.5.4 Konstruksi SUTM

Konstruksi jaringan dimulai dari sumber tenaga listrik / Gardu Induk dengan kabel tanah Tegangan Menengah kearah tiang pertama saluran udara. Tiang pertama disebut tiang awal, tiang tengah disebut tiang penumpu (*line pole*) atau tiang penegang (*suspension pole*), jika jalur SUTM membelok disebut tiang sudut dan berakhir pada tiang ujung (*end pole*).

Untuk saluran yang sangat panjang dan lurus pada titik-titik tertentu dipasang tiang peregang. Fungsi tiang peregang adalah untuk mengurangi besarnya tekanan mekanis pada tiang awal / ujung serta untuk memudahkan operasional dan pemeliharaan jaringan.

Topang tarik (*guy wire*) dapat dipakai pada tiang sudut dan tiang ujung tetapi tidak dipasang pada tiang awal. Pada tempat-tempat tertentu jika sulit memasang guy

wire pada tiang akhir atau tiang sudut, dapat dipakai tiang dengan kekuatan tarik besar.

Isolator digunakan sebagai penumpu dan pemegang penghantar pada tiang, hanya dipakai 2 jenis isolator yaitu isolator peregang (*hang isolator/suspension isolator*) dan isolator penumpu (*line-post/pin-post/pin-insulator*). Isolator peregang dipasang pada tiang awal / akhir / sudut. Isolator penumpu dipasang pada tiang penumpu dan sudut.

Konfigurasi konstruksi (*Pole Top Construction*) dapat berbentuk vertikal, horizontal atau delta. Konstruksi sistem pembumian dengan tahanan ($R = 12 \text{ Ohm}$, 40 Ohm dan 500 Ohm) atau dengan multi grounded common netral (*solid grounded*) yaitu dengan adanya penghantar netral bersama TM, TR (Jawa Timur menggunakan system pembumian 500 Ohm , dengan tambahan konstruksi penghantar pembumian diatas penghantar fasa).

Isolator dipasang pada palang (*cross arm / bracket / travers*) tahan karat (*Galvanized Steel Profile*).

Penghantar Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) ini dapat berupa:

1. A3C (All Alumunium Alloy Conductor)
2. A3C – S (Half insulated A3C, HIC) ; atau full insulated (FIC).
3. Full insulated A3C twisted (A3C-TC)

Luas penampang penghantar 35 mm^2 , 50 mm^2 , 70 mm^2 , 150 mm^2 , 240 mm^2 .

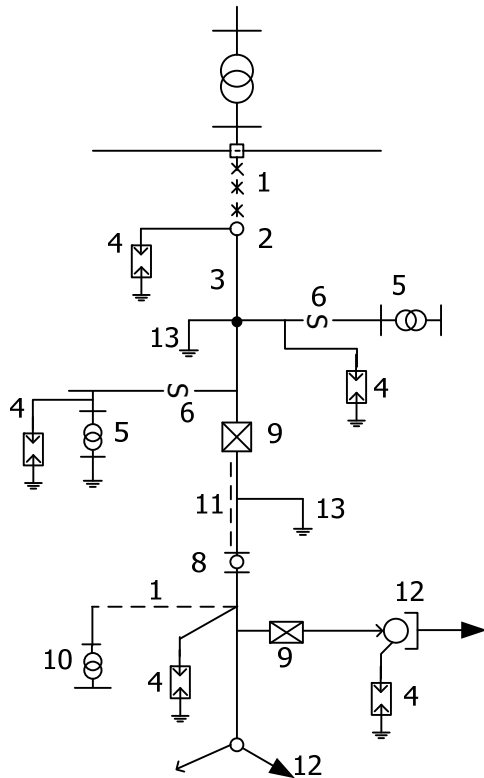
4.5.5 Penggunaan Tiang

Saluran udara Tegangan Menengah memakai tiang dengan beban kerja (*working load*) 200 daN, 350 daN dan 500 daN, dengan panjang tiang 11 meter, 12 meter, 13 meter dan 14 meter.

Penggunaan tiang dengan beban kerja tertentu disesuaikan dengan banyaknya sirkit perjalur saluran udara, besar penampang penghantar dan posisi/fungsi tiang (tiang awal, tiang tengah, tiang sudut).

4.5.6 Area Jangkauan Pelayanan SUTM

Mengingat sifat perencanaannya, jangkauan SUTM dibatasi atas besarnya jatuh tegangan yaitu pada besaran sadapan / tap changer transformator distribusi. Dalam hal ini optimalisasi susut energi tidak diperhitungkan.



Gardu Induk PLTD

1. Saluran Kabel bawah tanah
2. Tiang Pertama
3. Saluran Udara
4. *Lightning Arrester* (LA)
5. Gardu Distribusi portal + FCO + LA
6. *Fused Cut Out* (FCO)
7. PBO (*automatic recloser*)
8. PoleTopSwitch / ABSW
9. SSO (*Sectionalizer*)
10. Gardu Distribusi beton
11. Kawat tanah
12. *Guy-Wire*
13. Pembumian bagian konduktif terbuka

Gambar 4.16 Monogram Saluran Udara Tegangan Menengah.

4.6 SALURAN KABEL TANAH TEGANGAN MENENGAH

4.6.1 Konsep Perencanaan

Mengingat biaya investasi yang mahal dan keunggulannya dibandingkan dengan saluran udara Tegangan Menengah, Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah (SKTM) dipakai pada hal-hal khusus:

1. Daerah padat beban tinggi
2. Segi estetika
3. Jenis Pelanggan Kritis
4. Permintaan khusus

Pada tingkat keadaan kontinuitas sedikitnya tingkat-3, Kabel tanah digunakan untuk pemakaian :

1. Kabel Keluar (Opstik kabel dari pembangkit / GI ke tiang SUTM)
2. Kabel Tee-Off dari SUTM ke gardu beton
3. Penyeberangan sungai, jalur kereta api

Konfigurasi jaringan kabel tanah didesain dalam bentuk loop (*Radial Open Loop*), sebaiknya dengan sesama kabel tanah. Apabila "Loop" dengan hanya 1(satu) penyulang, maka pembebanan kabel hanya 50 %. Jika sistem memakai penyulang cadangan (*Express Feeder*) dapat dibebani 100 % kapasitas kabel.

Bentuk konfigurasi yang umum adalah :

1. Struktur spindel, minimal 2 penyulang berbeban dan 1 penyulang cadangan / tanpa beban.
2. Struktur Kluster
3. Spotload untuk pelanggan dengan beban lebih besar daripada kapasitas kabel
4. "Loop" antara 2 penyulang baik dari 1 sumber pembangkit atau dari sumber yang berbeda (*Fork system*).

Adanya masalah faktor perletakan (*laying factor*) akan mengurangi Kemampuan Hantar Arus kabel, sehingga penampang kabel sepanjang 300 meter (1 haspel) dari Gardu Induk dipilih setingkat lebih besar dari penampang kabel penyulang operasi.

4.6.2 Proteksi Jaringan

Proteksi jaringan kabel tanah hanya dilindungi dari 2 penyebab gangguan, gangguan fasa-fasa dan gangguan fasa-tanah.

Relai terpasang pada kubikel 20 kV di Gardu Induk, relai tipe arus lebih, fase-fase dan arus lebih hubung tanah dengan karakteristik sesuai kebutuhan (IDMT atau Inverse Relay). Jenis kabel yang dipakai adalah multicore atau single core belted cable dengan copper screen. Cooper screen pada terminal Gardu Induk dan atau Gardu Distribusi dapat dibumikan atau tidak, sesuai dengan konsep proteksinya dengan kemampuan dialiri arus listrik 1000 Ampere selama 1 detik.

Sambungan kabel dengan saluran udara Tegangan Menengah dipasang *Lightning Arrester* untuk melindungi kabel akibat surja petir dengan nilai arus pengenal 10 KA

pada tiang pertama dan ujung serta 5 KA pada tiang tengah. Tambahan pemakaian fused cut out dapat dipertimbangkan sesuai kebutuhan.

Untuk sambungan sistem spot load ditambahkan rele diferensial atau directional pada Gardu Hubung sisi pelanggan *Spotload*.

4.6.3 Konstruksi SKTM

Sesuai standar pabrik, kabel tanah pada kondisi tanah (*specific thermal resistivity of soil*) 100°C cm/w dengan kedalaman 70 cm, untuk penggelaran 1 kabel mempunyai Kemampuan Hantar Arus (KHA) 100 %. Kemampuan hantar arus kabel harus dikoreksi jika persyaratan tersebut berubah.

Penggunaan kabel dengan penampang yang lebih besar pada jalur keluar dari Gardu Induk atau sumber tenaga listrik harus dipertimbangkan.

Kabel harus dilindungi terhadap kemungkinan gangguan mekanis dengan pasir, pipa pelindung, buis beton atau pelat beton.

Jalur jaringan kabel, titik belok dan sambungan kabel harus diberi tanda guna memudahkan inspeksi, pemeliharaan dll.

4.6.4 Konsep Isolir Gangguan

Gangguan pada saluran kabel diisolir dengan cara membuka pemutus beban (*Load Break Switch*) pada Gardu Distribusi. Bagian kabel yang tidak terganggu dipasok dari penyulang cadangan melalui Gardu Hubung.

Jika terjadi gangguan bersamaan pada beberapa titik saluran kabel, maka ada bagian yang tidak terselamatkan (*black-out*).

Penggunaan sistem SCADA dengan salah satu perangkat yaitu *Ground Fault Detector* (GFD) pada pintu Gardu Distribusi guna mempercepat pencarian dan pengisolasian bagian saluran kabel yang mengalami gangguan, sehingga lama padam bagian yang tidak mengalami gangguan dapat di persingkat.

4.6.5 Area Jangkauan Pelayanan

Pada sistem Spindel, berdasarkan data statistik, laju kegagalan dan tingkat kontinuitas pelayanan, panjang kabel SKTM hendaknya tidak lebih dari 8 kms. Pada sistem Radial, jangkauan pelayanan dibatasi oleh persyaratan tegangan pelayanan.

4.7 GARDU DISTRIBUSI

Gardu Distribusi adalah bangunan gardu transformator yang memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pemanfaat baik dengan Tegangan Menengah maupun Tegangan Rendah.

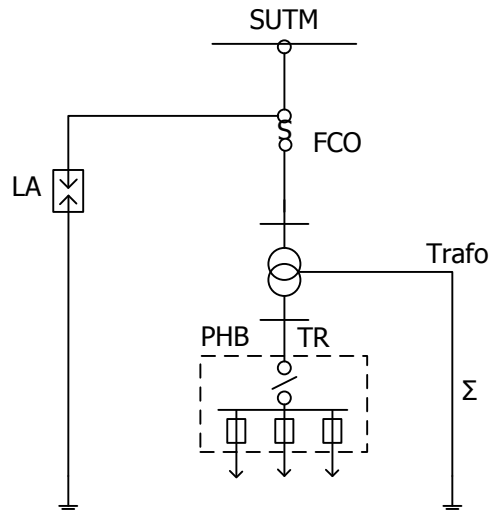
Gardu Distribusi merupakan kumpulan / gabungan dari perlengkapan hubung bagi baik Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah. Jenis perlengkapan hubung bagi Tegangan Menengah pada Gardu Distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi gardunya.

Jenis konstruksi gardu dibedakan atas 2 jenis :

- a. Gardu Distribusi konstruksi pasangan luar. Umumnya disebut Gardu Portal (Konstruksi 2 tiang), Gardu Cantol (Konstruksi 1 tiang) dengan kapasitas transformator terbatas.
- b. Gardu Distribusi pasangan dalam. Umumnya disebut gardu beton (*Masonry Wall Distribution Substation*) dengan kapasitas transformator besar.

4.7.1 Gardu Distribusi Pasangan Luar

Konstruksi Gardu Distribusi pasangan luar tipe Portal terdiri atas *Fused Cut Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat trafo dengan elemen pelebur/ *fuse link type expulsion* dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Elektroda pembumian dipasang pada masing-masing lightning arrester dan pembumian titik netral transformator sisi Tegangan Rendah. Kedua elektroda pembumian tersebut dihubungkan dengan penghantar yang berfungsi sebagai ikatan penyama potensial yang digelar di bawah tanah.

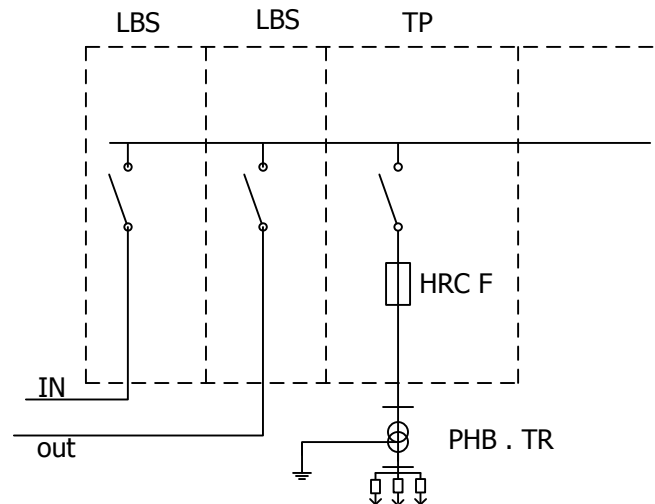


Gambar 4.17 Bagan satu garis Gardu Distribusi Portal.

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah jenis *Completely Self Protected Transformer (CSP)*. Perlengkapan perlindungan transformator tambahan adalah lightning arrester. Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian arrester dihubungkan langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah. Nilai pengenal LA 5 kA untuk posisi di tengah jaringan dan 10 kA untuk posisi pada akhir jaringan. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm

4.7.2 Gardu Distribusi Pasangan Dalam

Gardu Distribusi pasangan dalam adalah gardu konstruksi beton dengan kapasitas transformator besar, dipakai untuk daerah padat beban tinggi dengan konstruksi instalasi yang berbeda dengan gardu pasangan luar. Gardu beton dipasang dari baik jaringan saluran udara ataupun saluran kabel tanah.



Gambar 4.18 Bagan satu garis Gardu Distribusi Beton.

4.7.2.1 Sambungan Tee – Off (TO) dari Saluran Udara

Instalasi gardu dilindungi oleh *lightning arrester*, untuk fungsi pemutus dilengkapi kubikel *Load Break Switch* (LBS). Transformator dilindungi dengan kubikel LBS yang dilengkapi dengan pengaman lebur (*HRC fuse*). *Tee-Off* (TO) dari saluran udara dapat dilengkapi dengan *Fused Cut-Out* (FCO). Kemampuan elektrik dan mekanis/spesifikasi teknis kubikel sesuai dengan spesifikasi teknis Gardu Induk dan kapasitas transformator terpasang.

Perlengkapan hubung bagi sisi Tegangan Rendah dengan pemisah pada sisi masuk sebelum rel dan pengaman lebur (tipe NH, NT) pada tiap-tiap jurusan keluar, maksimum 6 jurusan jaringan Tegangan Rendah. Kemampuan elektrik dan mekanis PHB-TR ini sesuai dengan kapasitas transformatornya.

Pada instalasi gardu, titik netral sisi sekunder transformator Bagian Konduktif Terbuka dan Bagian Konduktif Ekstra dibumikan. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.

4.7.2.2 Sambungan Saluran Kabel Tanah

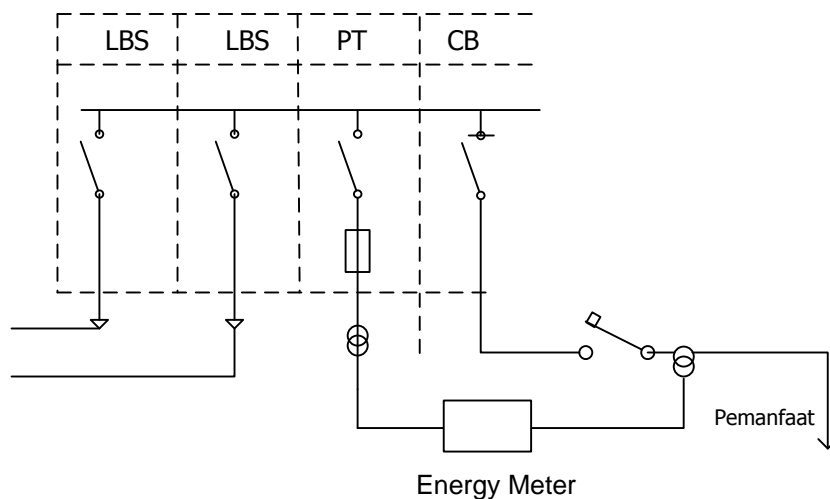
Perlengkapan hubung bagi TM dilengkapi dengan satu buah kubikel *load break switch* pada sisi masuk dan satu buah kubikel *Load Break Switch* (LBS) pada sisi keluar, satu buah kubikel pengaman transformator dengan saklar LBS yang dilengkapi pengaman lebur jenis HRC – Fuse.

Perlengkapan Hubung Bagi sisi Tegangan Rendah sama dengan instalasi gardu pada butir-a diatas. Konstruksi instalasi pembumian pada gardu beton dapat berupa elektroda grid (kawat BC digelar dibawah pondasi) atau elektroda batang atau kombinasi keduanya.

4.7.2.3 Sambungan untuk Pemanfaat Tegangan Menengah

Untuk pemanfaat dengan sambungan Tegangan Menengah tanpa transformator. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Menengah dilengkapi dengan kubikel trafo tegangan dan kubikel pembatas beban (*Circuit Breaker = CB*).

Seluruh konstruksi pembumian sama dengan instalasi pembumian gardu butir a dan butir-b. Pada pelanggan spot load dengan pasokan SKTM lebih dari 1 kabel yang dioperasikan paralel dapat ditambahkan rele differential atau relearah (*directional relay*)



Gambar 4.19 Diagram sambungan Tegangan Menengah.

4.8 AREA PELAYANAN GARDU

Radius pelayanan suatu gardu adalah jangkauan daerah pelayanan gardu di antara dua gardu. Radius pelayanan didasarkan atas :

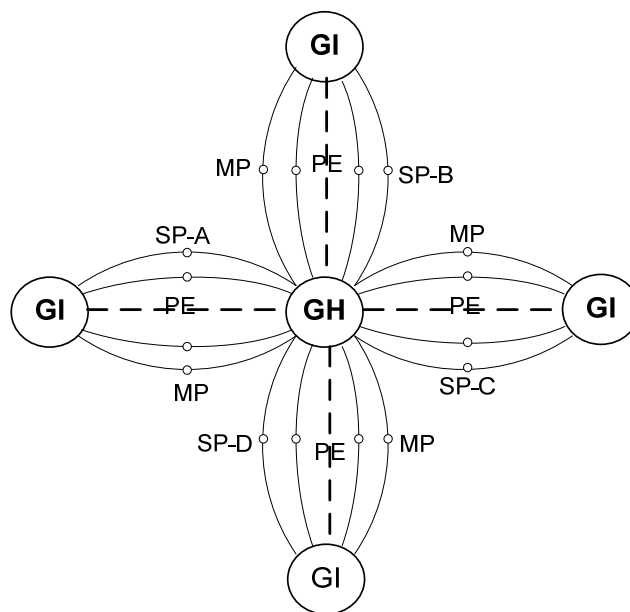
1. Batas geografis antar dua gardu
2. Kepadatan beban antar dua Gardu Induk
3. Jatuh tegangan
4. Besar penghantar (maksimum Aluminium 240 mm²)

Konsep titik awal dari suatu jaringan distribusi adalah berawal dari pusat listrik/Gardu Induk terdekat. Jika dengan adanya penambahan pusat listrik/Gardu Induk baru, maka jaringan-jaringan yang berawal dari pusat listrik/Gardu Induk yang telah beroperasi dan melewati pusat listrik/Gardu Induk baru, harus dipasok dari pusat listrik/Gardu Induk baru. Pembagian beban dengan Gardu Induk lama dengan memperhatikan perataan beban dan jatuh tegangan yang sama.

4.8.1 Area Pelayanan Gardu Induk (*Service Area*)

4.8.1.1 Gardu Induk Dengan Pelayanan Murni SKTM

Pada diagram **kondisi awal** sistem SKTM dengan spindel, konsep Gardu Hubung 4 spindel menjadi Gardu Induk (GI) baru jika keadaannya telah memungkinkan. Titik tengah beban SKTM (*middle point*) menjadi Gardu Hubung (GH) dengan type 2 spindel, sementara jangkauan operasi kabel di batasi 8 kms.

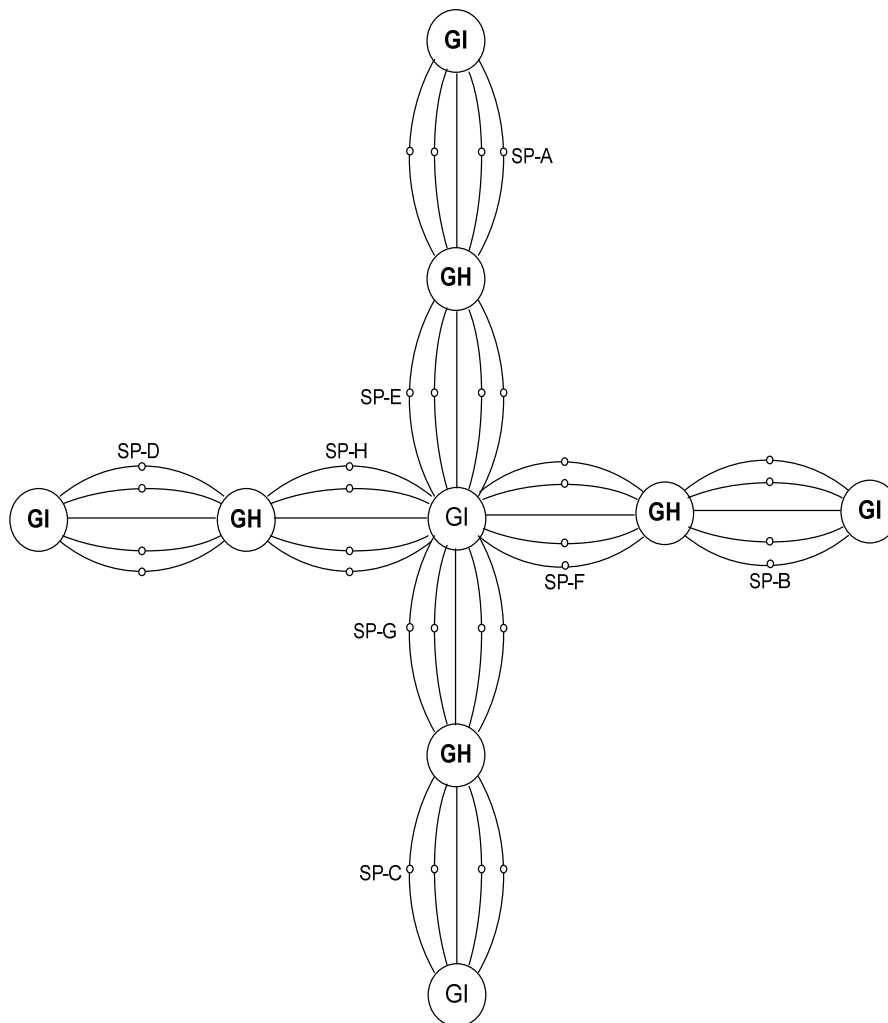


Gambar 4.20 Diagram Kondisi Awal GI SKTM.

Catatan :

- GI = Gardu Induk
- GH = Gardu Hubung 4 spindel
- SP = Spindel
- MP = gardu tengah(*middle point*)
- PE = Penyulang Ekspres(*Standby Feeder*)

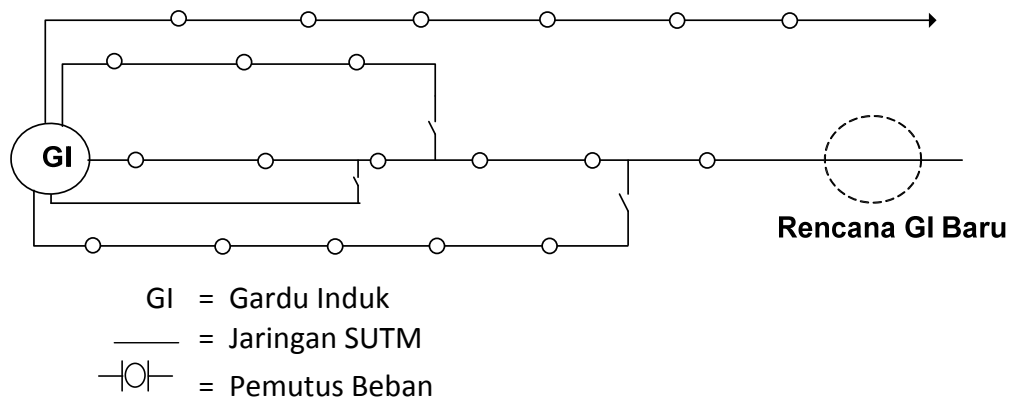
Pada diagram **kondisi akhir** Gardu Hubung type 4 spindle berubah menjadi Gardu Induk. Masing-masing spindle (A-B-C-D) di potong 2 pada titik tengah (*middle point*) menjadi GH 2 Spindel. Dengan demikian kapasitas penyaluran pada masing-masing penyulang naik menjadi dua kali lipat, selanjutnya spindle baru (E-F-G-H) di tata ulang titik MPnya.



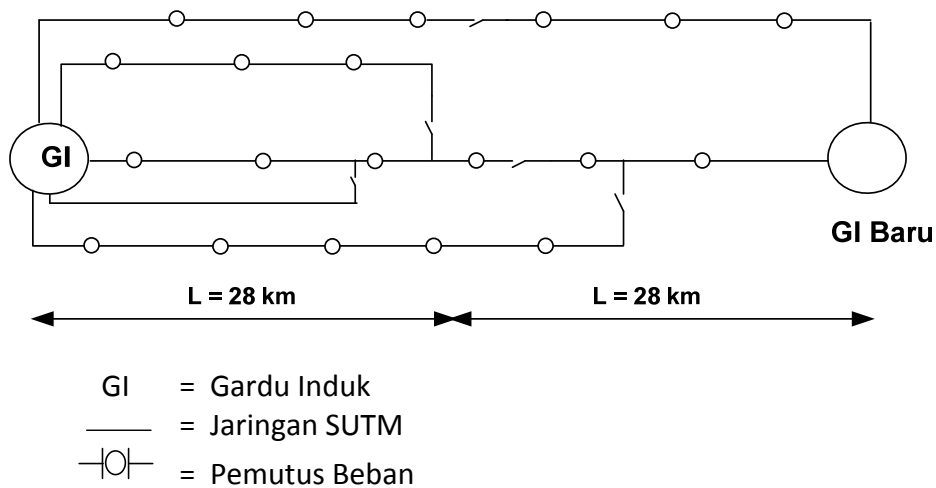
Gambar 4.21 Diagram Kondisi Akhir GI SKTM.

4.8.1.2 Gardu Induk dengan pelayanan SUTM

Jangkauan pelayanan SUTM jauh lebih luas dari SKTM dibatasi oleh tegangan pelayanannya ($\Delta U = + 5\%$, -10%). Sebagai contoh penampang saluran AAAC 150 mm² dengan beban merata radial maka jangkauan SUTM adalah sejauh 28 kms ($\Delta U = \pm 5\%$, *coincidence factor* 0,5 dan $\cos \phi = 0,8$).



Gambar 4.22 Diagram Kondisi Awal jaringan SUTM dengan model Klaster.



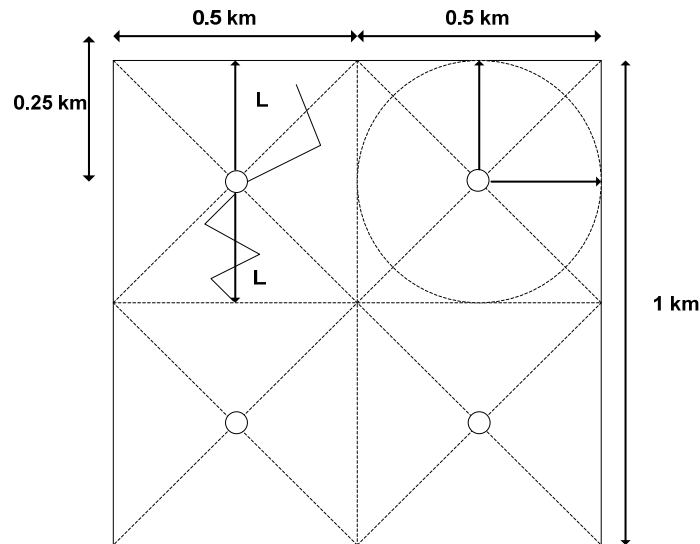
Gambar 4.23 Diagram Kondis Akhir jaringan SUTM dengan model Klaster.

4.8.2 Area Pelayanan Gardu Distribusi

4.8.2.1 Gardu Distribusi tipe Beton daerah Padat Beban Tinggi

Pada Gardu Distribusi penghantar yang di pakai untuk jaringan pelayanan adalah kabel jenis Kabel Pilin inti Alumunium dengan penampang terbesar 70 mm².

Jalur pelayanan sebesar 0,30 kms ($\Delta U = 10\%$, $\cos \phi = 0,8$, *coincidence factor* = 0,8) sehingga untuk daerah pelayanan 1 km² terdapat 4 buah Gardu Distribusi.



4.8.2.2 Gardu Distribusi daerah Padat Beban Rendah

Untuk daerah padat beban rendah khususnya daerah pedesaan, panjang jalur pelayanan dibatasi oleh tingkat tegangan pelayanan (+ 5%, -10%).

Contoh :

Penghantar kabel berpilin $3 \times 50 \text{ mm}^2 + N$, daya 50 kW terdistribusi merata pada jaringan dengan $\Delta U = -10 \%$, maka jangkauan pelayanan (L) = 2×380 meter = 760 meter (merujuk pada grafik Bab 2.5).

4.9 JARINGAN TEGANGAN RENDAH

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

4.9.1 Konstruksi Saluran Udara

Penghantar jaringan secara umum memakai kabel yang dikenal sebagai LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*), IBC (*Insulated Bundled Conductor*), TIC (*Twisted Insulated Conductor*) atau kabel jenis NYY / NYFGbY untuk saluran kabel bawah tanah. Jangkauan operasi dibatasi oleh batas-batas tegangan +5% -10%, dengan pembebanan yang maksimal. Konstruksi jaringan dengan tiang sendiri panjang 9 meter atau dibawah saluran udara TM (*underbuilt*) tidak kurang dari 1 meter dibawah penghantar SUTM.

4.9.2 Konstruksi Saluran Bawah Tanah

Konstruksi saluran bawah tanah dipakai pada :

- a. Kabel naik (*Riser Cable – opstik kabel*) antara PHB – TR di Gardu Distribusi dan tiang awal jaringan Tegangan Rendah.
- b. Sebagai jaringan distribusi Tegangan Rendah pada daerah-daerah tertentu yang memerlukan atau sesuai permintaan pelanggan.

Jenis kabel yang dipakai adalah jenis kabel dengan isolasi ganda atau dengan pelindung mekanis (contoh NYFGbY). Kabel jenis NYY dapat dipakai dengan persyaratan harus dimasukkan dalam pipa pelindung sebagai penahan tekanan mekanis. Persyaratan konstruksi kabel bawah tanah sama dengan persyaratan konstruksi kabel bawah tanah jaringan Tegangan Menengah, hanya kedalaman penggelaran adalah ± 60 cm

4.9.3 Proteksi Jaringan dan Pembumian

Jaringan Tegangan Rendah dimulai dari perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah di Gardu Distribusi, dengan pengaman lebur (NT / NH Fuse) sebagai pengaman hubungan singkat.

Sistem pembumian pada jaringan Tegangan Rendah memakai sistem TN–C, titik netral dibumikan pada tiap-tiap 200 meter/tiap 5 tiang atau pada tiap 5 PHB pada SKTR, dengan nilai tahanan pembumian tidak melebihi 10 Ohm. Titik pembumian pertama satu tiang sesudah tiang awal dan paling akhir satu tiang sebelum tiang akhir. Nilai pembumian total pada satu Gardu Distribusi sebesar-besarnya 5 Ohm

4.10 SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK

Sambungan tenaga listrik atau service line adalah bagian yang paling akhir dari sistem tenaga listrik. Dibedakan 2 jenis sambungan, untuk pelanggan Tegangan Menengah dan untuk pelanggan Tegangan Rendah dengan konstruksi saluran udara dan saluran bawah tanah.

4.10.1 Konstruksi Saluran Udara

Sambungan pelayanan Tegangan Rendah dengan menggunakan konstruksi saluran udara baik untuk sambungan fasa tunggal atau sambungan fasa – 3 menyambung dari jaringan Tegangan Rendah langsung ke papan bagi OK / papan meter APP.

Terdapat 3 jenis konstruksi Sambungan Pelayanan yaitu :

1. Konstruksi sambungan langsung tanpa tiang atap (*Dakstandard, Roof Pole, Mirstang*).
2. Konstruksi sambungan langsung dengan menggunakan tiang atap.
3. Konstruksi sambungan langsung tanpa tiang atap, dengan melalui saluran bawah tanah.

Panjang maksimum penghantar saluran udara sampai dengan kotak APP adalah 30 meter dan 60 meter (*untuk listrik pedesaan*) dengan jatuh tegangan tidak melebihi 1%. Untuk sambungan pelanggan pada listrik pedesaan jatuh tegangan maksimum 2%.

Pencabangan / sambungan seri dibatasi 5 sambungan pelayanan. Jumlah sambungan pelayanan dari atas tiang tidak melebihi 5 sambungan dan untuk listrik pedesaan tidak melebihi 7 sambungan.

Jenis kabel yang dipakai Kabel Pilin (*Twisted Cable*) dengan penghantar Alumunium (NFAAX).

Untuk saluran bawah tanah memakai kabel dengan pelindung mekanis (jenis NYFGbY). Untuk sambungan antara konduktor yang berbeda jenis (Tembaga = Cu dan Alumunium = Al) harus menggunakan Sambungan Bimetal.

4.10.2 Konstruksi Sambungan Pelayanan Tegangan Rendah Bawah Tanah

Persyaratan konstruksi saluran bawah tanah sama dengan persyaratan konstruksi jaringan distribusi bawah tanah.

Penghantar yang dipakai adalah jenis kabel tanah dengan pelindung metal (NYFGbY). Jika memakai penghantar dengan inti alumunium, terminasi PHB harus memakai sepatu kabel bimetal.

Fungsi tiang diganti dengan Perlengkapan Hubung Bagi distribusi (PHB) dari PHB sambungan pelayanan ditarik langsung ke kotak APP pelanggan.

Satu PHB dapat melayani 6 sambungan keluar baik untuk sambungan pelayanan atau pencabangan PHB distribusi lainnya. Pengamanan sambungan keluar jurusan memakai pengaman lebur jenis current limiting. Penghantar sisi masuk dan keluar PHB memakai saklar beban.

Pada tempat-tempat tertentu konstruksi saluran dapat ditempatkan pada dinding bangunan, demikian pula dengan kontak PHB distribusi.

Semua Bagian Konduktif Terbuka (Panel PHB) harus dibumikan dengan memakai sistem TN – C.

4.10.3 Sambungan Pelayanan Pelanggan Tegangan Menengah

Untuk sambungan pelayanan Tegangan Menengah ada penambahan perlengkapan pada Gardu Distribusi tipe beton :

- a. Kubikel trafo tegangan – PT
- b. Kubikel sambungan pelanggan yang terdiri atas :
 - Trafo arus (CT)
 - Pembatas daya / Relai Pembatas daya
 - Pemutus tenaga (*circuit breaker*)

Dalam hal khusus instalasi sambungan pelanggan Tegangan Menengah dapat dilakukan melalui Gardu Distribusi tipe Portal dengan PT – CT tipe pasangan luar. Pengaman trafo atau pembatas daya pelanggan dengan pengaman lebur Jenis current limiting.

4.10.4 Instalasi Alat Pembatas dan Pengukur (APP)

Instalasi APP ditempatkan pada tempat yang mudah didatangi, terlindung dari panas dan hujan atau gangguan mekanis, atau terlindung dalam lemari panel jika ditempatkan di luar rumah. APP ditempatkan pada papan OK pada masing-masing rumah pelanggan. Untuk sekelompok pelanggan (rumah susun, pertokoan) ditempatkan pada lemari APP bersama.

Semua penghantar / kabel sambungan pelayanan secara fisik terlindungi dengan alat pelindung yang tidak mudah rusak secara mekanis atau dirusak dan tidak melewati bagian / ruang yang tidak terlihat mata kecuali untuk sambungan pelayanan dengan menggunakan tiang atap.

Jenis penghantar yang mempergunakan kabel twisted dengan inti aluminium, Sambungan pada kabel APP menggunakan sambungan bimetal dan dilindungi dengan pembungkus isolasi ciut panas (*heat shrink*) pada papan OK.

4.11 PARAMETER-PARAMETER RANCANGAN KONSTRUKSI

Dalam merancang konstruksi jaringan distribusi tenaga listrik perlu diperhatikan sejumlah parameter-parameter teknis listrik, mekanik dan parameter lingkungan yang harus dipenuhi baik untuk rancangan teknis maupun pemilihan komponen.

Besarnya nilai parameter tersebut harus dihitung dan berdasarkan kondisi sistem tenaga listrik (kapasitas transformator, tegangan, impedansi, dll).

4.11.1 Parameter Listrik

Persyaratan teknis / parameter listrik yang harus diperhatikan dalam memilih komponen-komponen konstruksi adalah:

1. Kemampuan hantar arus.
2. Tegangan maksimal yang diizinkan (rated Voltage) – kV.
3. Basic Impulse Insulation Level – Tingkat Isolasi Dasar – BIL / TID dalam – kV.
4. Tegangan maksimum (U_c) *Lighting Arrester* [kV]
5. *Insulator Creepage Distance*
6. Prosedur / test uji, impulse dan power frekwensi test
7. Tegangan pelepasan pada *Lighting Arrester* (LA)
8. *Withstand Making Current*
9. *Nominal Breaking Capacity*.
10. *With stand short circuit current*

Selanjutnya perlu diketahui juga sistem pembumian pada transformator utama di sumber atau pembangkit atau Gardu Induk, memakai 12 Ohm, 40 Ohm, 500 Ohm, dan *solid grounded* atau mengambang (*floating*).

4.11.2 Parameter Lingkungan

Parameter lingkungan yang harus dipenuhi oleh komponen adalah :

- a. Kondisi iklim
- b. Suhu keliling
- c. Besarnya curah hujan
- d. Kelembaban relatif
- e. Ketinggian dari permukaan laut

4.11.3 Parameter Material

Parameter konstruksi komponen harus diperhatikan agar tidak terjadi kegagalan konstruksi :

- Beban kerja (*Working load*)
- Ukuran / dimensi peralatan
- Penggunaan indoor / outdoor
- Prosedur / tata cara konstruksi
- Spesifikasi teknis konstruksi
- Kemudahan pemakaian alat kerja
- Proteksi terhadap kontaminasi

Parameter desain tersebut ditentukan pada saat akan membeli material atau melaksanakan konstruksi yang disesuaikan dengan kondisi system kelistrikan setempat.

Sebagai gambaran diberikan contoh persyaratan teknis listrik komponen jaring distribusi di PT PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang.

Sistem Tegangan Tinggi dianggap dengan kapasitas pembangkit dengan daya tak berhingga :

Kapasitas transformator di Gardu Induk 60 MVA, 12,5%

Tegangan operasi 20 kV

Basic impuls 125 kV

Tegangan kontinyu maksimum lightning Arrester 24 kV (NGR 40 Ohm)

Insulation creepage distance 350 mm

Withstand Making Current 31,5 kA

Nominal Breaking Current 12,5 kA selama 1 detik

DC voltage 57 kV selama 1 menit

Power frekuensi test selama 15 menit

Arus hubung tanah 1000 Ampere pada SKTM dengan sistem NGR 12 Ohm dan arus hubung tanah 300 Ampere pada SKTM dengan sistem NGR 40 Ohm.

BAB 5

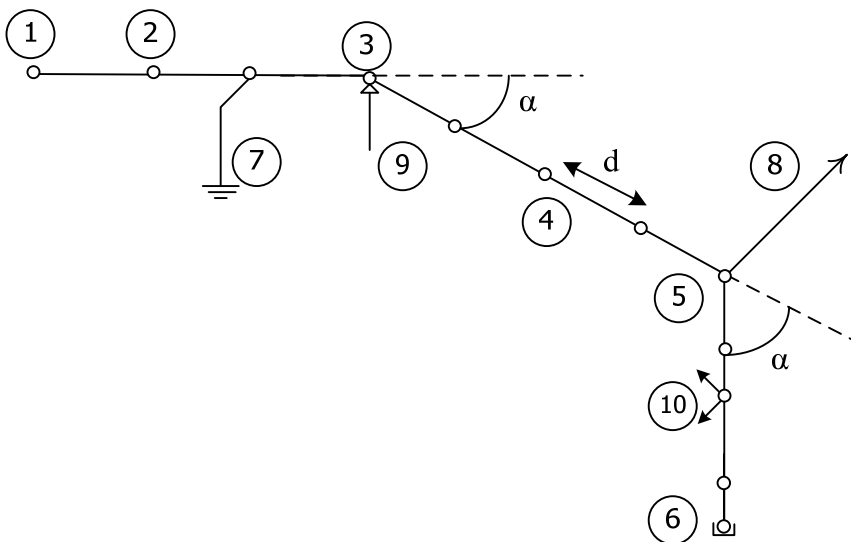
KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI

SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH

Kriteria desain konstruksi SUTM ini berlaku secara umum, baik untuk konfigurasi horozontal, vertical dan delta dengan penghantar AAAC atau MV-TC

5.1 TERMINOLOGI

Terminologi pada Saluran Udara Tegangan Menengah dalah sebagai berikut :



- 1 : Tiang awal
- 2,4 : Tiang Penumpu
- 3 : Tiang sudut kecil = 0° - 15°
- 5 : Tiang sudut besar = 15° - 90°
- 6 : Tiang akhir
- 7 : Sistem Pembumian
- 8 : Topang Tarik
- 9 : Topang Tekan
- 10 : Tiang Peregang
- d : Jarak Gawang

5.2 KONSTRUKSI DAN JARAK ANTAR TIANG

Penggunaan tiang disesuaikan dengan fungsi tiang (tiang awal/akhir, tiang sudut, tiang penyanggah, tiang peregang, tiang seksi). Tiang ditanam $\frac{1}{6}$ kali panjang tiang, dengan sudut kemiringan tidak melebihi 5° . Fondasi tiang dipakai untuk tiang awal, tiang akhir, Gardu Portal/Cantol, tiang sudut. Ukuran fondasi disesuaikan dengan besar/ kuat tarik tiang (daN) dan daya dukung jenis tanah.

Konstruksi pada tiang (*Pole Top Construction*) dilakukan minimal 15 cm dibawah ujung tiang bagian atas. Jarak pendirian tiang (*pole staking*) atau antar-gawang diatur sebagai berikut:

- dalam kota : maksimum 40 meter
- luar kota : maksimum 50 meter
- listrik desa : maksimum 60 meter

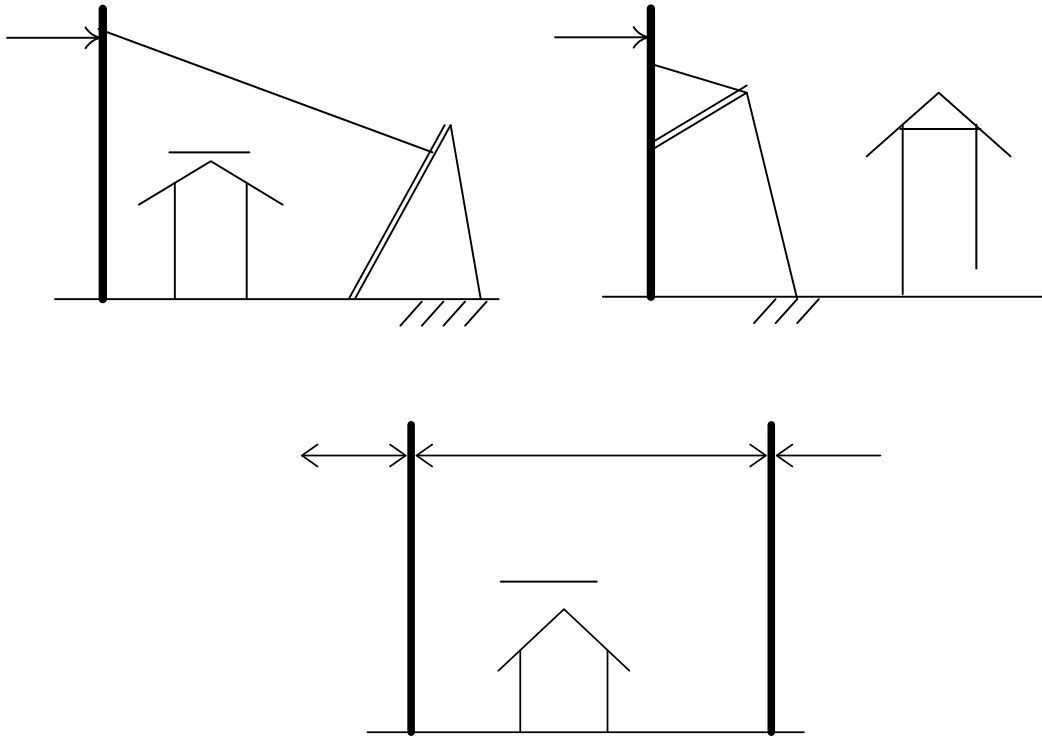
Pemakaian panjang tiang adalah 11, 12, 13 dan 14 meter untuk Jaringan Tegangan Menengah dengan kekuatan beban kerja (*working load*) 200 daN, 350 daN, 500 daN dan 800 daN.

5.2.1 Pole Support (Topang Tarik, Topang Tekan) dan Pondasi Tiang

(*Guywire, Stakepole, Fondation*)

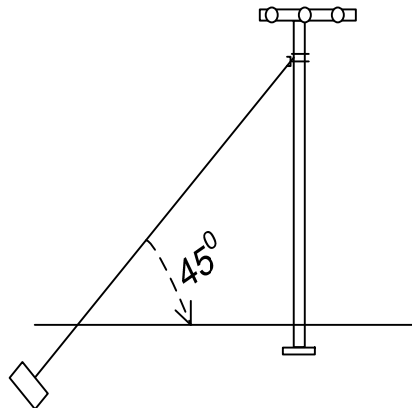
Penggunaan topang tarik (*guywire*) digunakan untuk memperkecil pemakaian tiang dengan beban kerja besar, misalnya pada tiang sudut ujung tetapi tidak pada tiang awal, tiang akhir yang terdapat kabel naik (*cable rise*) tiang untuk gardu, *pole top swich* dan untuk konstruksi khusus (kapasitor, PBO).

Terdapat beberapa jenis konstruksi Pole Support : *span-wire, horizontal guy-wire* (*span guy wire*) yang digunakan jika tidak mungkin memakai *guy wire* atau *span wire* antar tiang ujung.



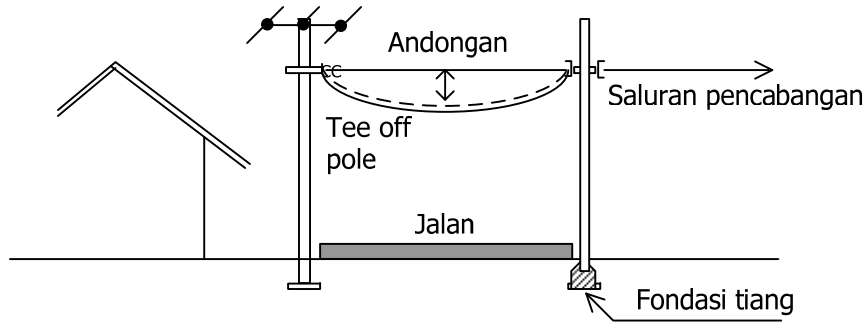
Gambar 5.1 Konstruksi Pemasangan Pole Support.

Guy Wire sebaiknya tidak digunakan pada daerah-daerah padat lalu lintas atau penduduk. Sudut kemiringan *guy wire* tidak melebihi sudut 60° .



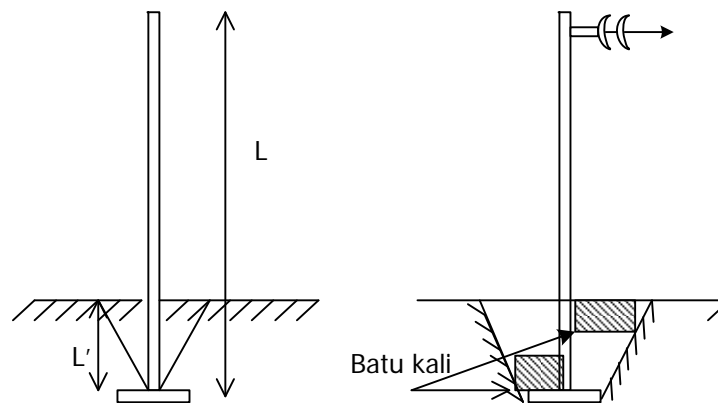
Gambar 5.2 Konstruksi Pemasangan Guy Wire.

Pada konstruksi Tee-Off (pencabangan) jika tidak memungkinkan memakai guywire, tiang pertama dari saluran pencabangan adalah sebagai tiang awal. Jarak tiang Tee-Off dengan tiang awal sebaiknya sedekat mungkin dengan sag yang cukup



Gambar 5.3 Konstruksi Pemasangan Tee-Off.

Untuk konstruksi tiang sudut kecil tidak diperlukan *guy-wire*, dapat dilakukan dengan cara menambah kedalaman tiang $\pm 10\%$ (setara dengan penambahan tahanan mekanis tanah $\pm 30\%$) atau menambah batu penahan tiang kearah sudut tarikan.



Gambar 5.4 Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Kecil.

$$L' = \frac{1}{6} L + 10 \text{ cm}$$

Pemakaian topang tekan (*stakepole*) sebaiknya dihindari, khususnya pemakaian tiang beton sebagai tiang penopang mengingat masalah berat tiang.

5.2.2 Fondasi Tiang

Fondasi tiang sangat bergantung atas kondisi tanahnya. Jenis dimensi pondasi diperlukan konsultasi para ahli teknik sipil.

5.2.3 Konstruksi Tiang (*Pole Top Construction*)

A. Konstruksi Tiang Awal

Pada jaring distribusi tegangan menengah tiang awal adalah tiang yang memikul kekuatan tarik penuh. Tiang awal merupakan tiang dimana penghantar kabel dari gardu induk atau dari sumber tempat listrik memasok distribusi tenaga listrik melalui saluran udara. Tiang awal dilengkapi dengan lightning arrester dengan rating arus pengenalan minimal 10 kA.

Penghantar jenis AAAC dan AAAC-S diikat pada tiang dengan isolator jenis isolator peregang (tarik strain, suspensi) baik jenis payung atau long rod. Penghantar jenis twisted cable diterminasi langsung pada kabel daya dari Gardu Induk/Pembangkit. Penggantung kabel ini diterminasi pada klem gantung (strain clamp). End termination harus dilengkapi dengan lightning arrester. Kabel naik pada tiang dilindungi dengan pipa galvanis dengan diameter 4 inchi. Lightning arrester dibumikan dengan penghantar pbumian BC 50 mm².

Elektroda pbumian ditanam 20 cm dibawah permukaan tanah dengan nilai tahanan pbumian sebesar-besarnya 1 Ohm. Tiang awal minimal memakai jenis tiang dengan working load 500 da N.

B. Konstruksi Tiang Penumpu (*line pole*)

Tiang penumpu adalah tiang ditengah saluran dengan sudut kemiringan sebesar 0⁰ – 30⁰. Adapun Isolator penumpu yang digunakan memakai jenis *pin-post*, *line-post*, dan *pin*, dengan 3 buah isolator untuk sistem fasa -3 dan 1 buah untuk sistem fasa -1. Untuk sudut lintasan 0°-15° memakai 1 buah isolator, dan sudut lintasan 15°-30° memakai 2 buah isolator pada tiap fasa dengan jarak gawang rata-rata 45 meter.

Isolator *pin-post* mempunyai bentuk jarak rambat (*crepage distance*) tidak merata dengan sebagian permukaan terlindung dari siraman hujan dan kontaminasi polutan, mempunyai jarak tembus (*puncture distance*).

Penggunaan isolator ini disesuaikan dengan kondisi tingkat intensitas polusi dimana isolator itu dipasang. [refer ke SPLN-10-3B-1993 dan SPLN-10-4A-1994]

Penggunaan isolator *pin-post* SUTM 20 kV berdasarkan tingkat polusi :

Tingkat polusi ringan dan sedang :

P 8 ET 125 N

P 12,5 ET 125 N

P 12,5 ET 150 L

Tingkat polusi berat :

P 12,5 ET 150 L

Polusi sangat berat :

P 12,5 ET 200 L

Isolator *line-post* mempunyai bentuk jarak rambat (*creepage distance*) bergelombang merata. Tidak ada bagian yang terlindungi dari siraman air hujan. Jarak tembus (*puncture distance*) panjang. Penggunaan isolator ini disesuaikan dengan kondisi tingkat intensitas polusi dimana isolator itu dipasang. [refer ke SPLN-10-3B-1993 dan SPLN-10-4B-1995]

Penggunaan isolator *line-post* SUTM 20 kV berdasarkan tingkat polusi :

Tingkat polusi ringan dan sedang :

R 8 ET 125 L (jenis ikat-atas)

R 12,5 ET 125 L (jenis ikat-atas)

R 12,5 ET 150 L (jenis klem-atas utk pemasangan vertikal)

R 12,5 ET 125 L (jenis klem-atas utk pemasangan horizontal)

Tingkat polusi berat :

R 8 ET 170 L (jenis ikat-atas)

R 12,5 ET 170 L (jenis ikat-atas)

R 12,5 ET 200 N (jenis ikat-atas)

R 12,5 EC 170 L (jenis klem-atas utk pemasangan vertikal)

R 12,5 EH 170 L (jenis klem-atas utk pemasangan horizontal)

R 12,5 EC 200 N (jenis klem-atas utk pemasangan vertikal)

R 12,5 EH 200 N (jenis klem-atas utk pemasangan horizontal)

RS 12,5 ET 150 L (jenis ikat-atas)

Polusi sangat berat :

R	12,5	ET	200 L (jenis ikat-atas)
R	12,5	ET	250 N (jenis ikat-atas)
R	12,5	EC	200 L (jenis klem-atas utk pemasangan vertikal)
R	12,5	EH	200 L (jenis klem-atas utk pemasangan horizontal)
R	12,5	EC	250 N (jenis klem-atas utk pemasangan vertikal)
R	12,5	EH	250 N (jenis klem-atas utk pemasangan horizontal)

Isalator payung (*pin insulator*) mempunyai bentuk jarak rambat (*creepage distance*) merata pada permukaan dan sebagian besar bergelombang di bawah. Permukaan isolator yang terhindar dari siraman air hujan dan kontaminasi polutan. Namun isolator ini mempunyai jarak tembus (*puncture distance*) pendek yang kerap menyulitkan jika terjadi kegagalan isolasi pada dudukan penghantar. Penggunaan isolator ini disesuaikan dengan kondisi tingkat intensitas polusi dimana isolator itu dipasang. [refer ke SPLN-10-3B-1993 dan SPLN-10-4C-1997]

Penggunaan isolator *pin* SUTM 20 kV berdasarkan tingkat polusi :

Tingkat polusi ringan dan sedang :

T 12,5 T 125

Tingkat polusi ringan sedang :

T 12,5 T 150

Tingkat polusi berat :

T 12,5 T 170

Polusi sangat berat :

T 12,5 T 200

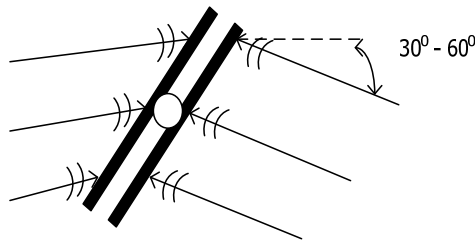
Untuk daerah dengan kontaminasi polutan tinggi pada jarak rambat (*creepage distance*) yang sama isolator jenis payung (*isolator pin*) lebih cocok di pergunakan.

Pedoman untuk pemilihan jarak rambat isolator pada zonifikasi polusi sesuai IEC 60 815:

- Polusi sangat Berat : 31 mm per kV
- Polusi Berat : 25 mm per kV
- Polusi sedang : 20 mm per kV
- Polusi Ringan : 16 mm per kV

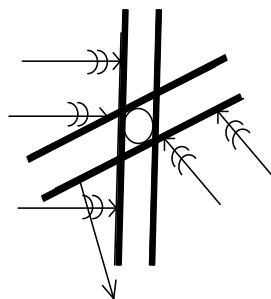
Terdapat 3 jenis tiang sudut :

- Tiang sudut kecil, 15° - 30° jenis *line-post*, *pin-post*, *pin insulator* dengan 2 buah Palang (*double arming cross-arm*). Tiap fasa memakai 2 buah isolator.
- Tiang sudut sedang, 30° – 60° , konstruksi isolator 2 set jenis *suspension* atau *long rod* dan 1 buah isolator tumpu, untuk penghantar ditengah Palang memakai 2 buah Palang (*cross-arm*).



Gambar 5.5 Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Sedang.

- Tiang sudut besar, 60° - 90°
Konstruksi pada tiang sudut besar ini memakai 4 buah *double arming cross-arm*. Sebagaimana pada konstruksi tiang awal, dengan 2 set isolator jenis *suspension* tiap fasa dan minimal 1 buah isolator *line post* penghantar pada saluran tengah.



Gambar 5.6 Konstruksi Pemasangan Tiang Sudut Besar.

Tiang-tiang sudut memakai tiang dengan *working load* besar atau memakai *guy wire*.

C. Konstruksi Tiang Akhir

Konstruksi tiang akhir sama dengan konstruksi tiang awal, dilengkapi dengan *lighting arrester* dengan nilai arus pengenal 10 kA, jika tidak ada saluran kabel TM naik/turun, tiang akhir cukup dilengkapi dengan *guy-wire*.

D. Konstruksi Tiang Pencabangan (*Tee-Off*)

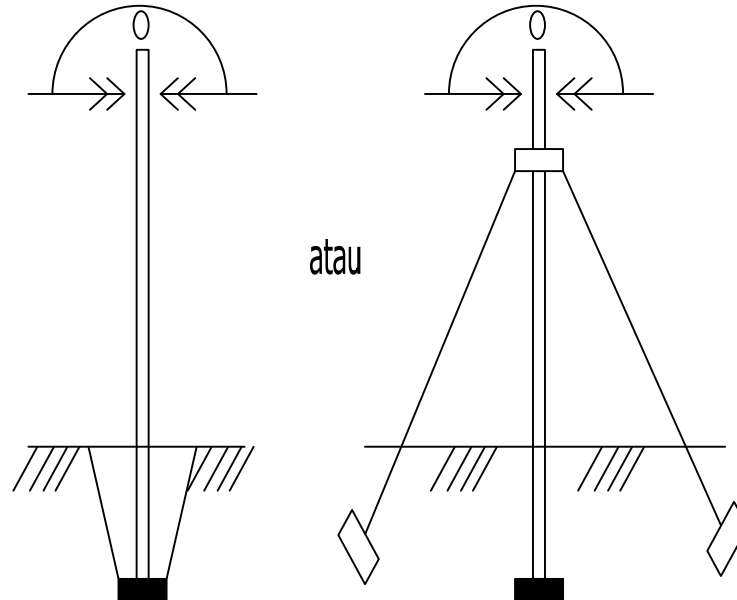
Konstruksi pencabangan jaringan umumnya terjadi pada tiang penumpu. Pencabangan memakai jenis konstruksi tiang awal dengan dua buah isolator suspension pada tiap fasa dan 1 buah isolator tumpu (*line post*) untuk penghantar yang ditengah. Jika ruang tersedia cukup, tiang sudut tersebut dilengkapi dengan *guy-wire*. Penyambungan pada penghantar memakai *compression parralel groove* bukan *bolt paralle groove*. Penambahan satu atau lebih isolator tumpu dapat dipertimbangkan jika diperlukan.

Pencabangan pada saluran utama tidak memakai *parallel groove* jenis *live line parallel groove*, kecuali pada jaringan pencabangan. Untuk penghantar SUTM jenis AAAC-S(*half insulated AAAC*) *parallel groove* harus dari jenis yang terisolasi guna menghindari masuknya air ke dalam kabel AAAC-S

E. Konstruksi Tiang Peregang (*tension pole*)

Tiang peregang adalah konstruksi tiang yang dipasang pada tiap-tiap 10 gawang saluran lurus. Konstruksi tiang ini dimaksudkan untuk membantu kekuatan mekanis saluran yang panjang dan lurus dari kemungkinan gangguan mekanis akibat ditabrak kendaraan atau pohon roboh yang menimpah saluran SUTM. Konstruksi tiang adalah jenis konstruksi tiang awal dengan dua isolator suspension pada tiap fasa dan 1 buah isolator tumpu pada penghantar tengah. Tiang yang dipergunakan adalah tiang

dengan *working load* minimal 500 daN atau tiang tengah (*line pole*) yang dilengkapi *guy-wire* pada kiri kanan tiang arus saluran SUTM.



Gambar 5.7 Konstruksi Pemasangan Tiang Peregang.

F. Tiang-tiang dengan Konstruksi Khusus

Konstruksi tiang khusus adalah memakai tiang dengan *working load* besar 350 da N, 500 da N atau 2x200 daN dipergunakan untuk instalasi :

- *Pole Top Switch /Air Break Switch (PTS/ABS)*
- Bank kapasitor
- Pemutus Balik Otomatis (PBO)

G. Konfigurasi Konstruksi Tiang (*Pole Top Construction*)

Secara umum saat ini terdapat 3 jenis konfigurasi konstruksi atas tiang (*pole top construction*).

- 1) Kontruksi Mendatar
- 2) Kontruksi Vertikal
- 3) Kontruksi Delta

5.3 KONSTRUKSI PEMBUMIAN

Konstruksi pembumian SUTM dilaksanakan pada :

- Pembumian lightning arrester
- Bagian konduktif terbuka :
 - Palang (*cross-arm*) pada tiap-tiap 3 gawang
 - *Pole Top Switch /Air Break Switch (PTS/ABS)*
 - Kapasitor
 - Pemutus Balik Otomatis (PBO)

Apabila saluran udara SUTM *underbuilt* dengan saluran tegangan rendah, pembumian palang (*cross-arm*) dilaksanakan pada tiap-tiap 2 gawang dan di jadikan satu dengan pembumian Netral JTR.

Penghantar pembumian memakai penghantar BC 50 mm² dan elektroda pembumian jenis batang dengan panjang 3 meter. Penghantar pembumian yang tidak menjadi satu dengan tiang beton, harus dilindungi dengan pipa galvanis ukuran $\frac{3}{4}$ Inchi sepanjang 3 meter dari permukaan tanah. Ikatan pembumian dilakukan 20 cm dibawah tanah dengan ikatan klem yang memenuhi syarat. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 10 Ohm.

5.4 Konstruksi *Fused Cut Out (FCO)*

Pada jaringan yang memungkinkan memakai FCO sebagai pengaman jaringan dipasang pada tiap-tiap fasa aktif (bukan penghantar netral)

5.5 Konstruksi Penghantar Pembumian (*shield wire*)

Untuk saluran udara yang memakai penghantar bumi (*shield wire*), posisi palang (*cross-arm*) diturunkan 80 cm. Penghantar pembumian dihubung langsung disetiap tiang. Pemasangan penghantar pembumian pada daerah padat petir yang terbuka dapat mengurangi gangguan akibat petir sebanyak 37%.

5.6 Konstruksi Penghantar Netral Tegangan Menengah

Pada sistem multigrounded common netral, saluran TM mempunyai penghantar netral. Penghantar dihubungkan pada tiap-tiap tiang dan badan tiang. Selanjutnya pada tiap-tiap tiang dihubungkan dengan elektroda pembumian. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 10 Ohm. Penghantar Netral dipasang dibawah penghantar Tegangan Menengah dan diatas penghantar Tegangan Rendah dan berfungsi juga sebagai Penghantar Netral Tegangan Rendah

5.7 Kelengkapan Penghantar (*kabel schoon, Tap Connector, Joint Sleeve*)

Sambungan penghantar antara penghantar harus memakai sambungan dengan logam sejenis, yang tidak sejenis harus memakai bimetal. Semua sambungan harus dari jenis *compression joint* dan memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi pabrik, tidak direkomendasikan memakai *parallel groove jenis bolt*.

Sambungan/klem pada elektroda pembumian harus dilakukan dengan penambahan lapisan timah guna menghindari oksidasi. Ikatan penghantar pada isolator tumpu menggunakan *top-tie/side-tie/bending-wire*. Pada isolator suspensi memakai End-Tie Preformed. Sebelumnya penghantar dilapisi dulu dengan conductor shield berupa pita alumunium atau AAC yang dibelitkan tepat di titik ikatan pada isolator.

5.8 Jarak Aman (*savety distance*)

Jarak aman adalah jarak antara bagian aktif/netral dari jaringan terhadap benda-benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektromagnetis yang tidak memberikan pengaruh membahayakan.

Jarak aman minimal adalah 60 cm kecuali terhadap jaringan telekomunikasi. Namun ketentuan-ketentuan daerah, kebijaksanaan perusahaan listrik setempat

menentukan lebih dari 60 cm. Jarak aman terhadap saluran telekomunikasi minimal 2,5 meter dan tidak berjajar lebih dari 2 km.

Tabel 5.1 Jarak Aman (*savety distance*)

No.	Uraian	Jarak aman
1.	Terhadap permukaan jalan raya	≥ 6 meter
2.	Balkon rumah	$\geq 2,5$ meter
3.	Atap rumah	≥ 2 meter
4.	Dinding Bangunan	$\geq 2,5$ meter
5.	Antena TV/ radio, menara	$\geq 2,5$ meter
6.	Pohon	$\geq 2,5$ meter
7.	Lintasan kereta api	≥ 2 meter dari atap kereta
8.	Lintasan jaringan listrik sangat rendah	Kabel tanah
9.	Under Build TM – TM	≥ 1 meter
10.	Under build TM – TR	≥ 1 meter

5.9 KONSTRUKSI PROTEKSI PETIR

Pada beberapa konstruksi saluran udara terdapat pemasangan penangkal petir pada tiang dan gardu pasangan luar. Demikian pula pemasangan lightning arrester pada tiap-tiap isolator tumpu SUTM. Pengkajian ulang diperlukan atas kebutuhan pemakaian penangkal petir dan lightning arrester jenis tersebut. Khususnya yang berhubungan dengan tingkat IKL dan kepadatan petir suatu daerah.

Sudut perlindungan elektroda penangkap petir adalah sebesar 30°.

5.10 KONSTRUKSI KABEL PILIN TEGANGAN MENENGAH

Kabel Tegangan Menengah jenis Pilin (*twisted cable*), dipakai pada daerah-daerah dimana sulit melakukan penggalian tanah, dimana otoritas setempat tidak membolehkan saluran tak berisolasi dan masalah lingkungan.

Persyaratan konstruksi kabel pilin mengenai *ROW*, *safety distance* sama dengan saluran udara tak berisolasi.

Jenis kabel yang dipakai adalah kabel *full insulated* dengan *cooper shield* dan *semi magnetic layer* dengan kabel baja sebagai penggantung. Mengingat titik paling rawan adalah pada sambungan, maka penyambungan kabel sejauh mungkin dilakukan pada tiang, sehingga sambungan terhindar dari ayunan akibat tiupan angin.

Sambungan antar kabel dengan penghantar tak berisolasi harus dilengkapi dengan lightning arrester 5 kA demikian pula instalasi kabel dengan Gardu Distribusi, jika gardu pada posisi diujung penghantar nilai arus pengenal lightning arrester adalah 10 kA

5.11 SAMBUNGAN KABEL DENGAN SALURAN UDARA

Sambungan kabel utama dari Gardu Induk atau Sumber tenaga listrik harus dilakukan dengan *full insulated termination* dan dilengkapi dengan *Lightning Arrester* 10 kA. Demikian juga sambungan kabel *Tee-Off* dengan saluran udara namun dilengkapi dengan *Lightning Arrester* 5 kA.

Pelaksanaan penyembungan hanya boleh dilakukan oleh teknisi yang mempunyai sertifikat kompetensi teknologi sambungan/terminasi terkait Sambungan kabel *Tee-Off* / pencabangan pada saluran utama tidak memakai *live line parallel groove* namun dengan *compression parallel groove*.

5.12 SAMBUNGAN KAWAT KONDUKTOR

Seluruh instalasi sambungan langsung kawat konduktor Saluran Udara Tegangan Menengah harus menggunakan sambungan permanen *tipe press – Joint sleeve compression type high/low tension*, dengan pilihan tipe tekanan tinggi bilamana sambungan dilaksanakan pada bentangan antar tiang atau tipe tekanan rendah untuk sambungan jumper.

Penyambungan dengan Klem sambungan tidak *permanent – parallel groove* hanya dapat diterapkan untuk instalasi pencabangan

5.13 KOMPONEN KONSTRUKSI JARINGAN

Komponen konstruksi jaringan harus memenuhi 2 kriteria :

- Persyaratan elektris
- Persyaratan mekanis

Persyaratan Elektris

Persyaratan elektris yang harus dipenuhi dipengaruhi oleh karakteristik sistem tenaga listrik dan faktor lingkungan (kepadatan petir, kontaminasi). Namun sejumlah parameter harus disyaratkan dan dipenuhi dalam spesifikasi teknis material.

Contoh :

Sistem Jawa dengan kemampuan pembangkit dianggap sangat besar (*infinite system*) kapasitas transformator 60 MVA , $X = 13 \%$

Tahanan pembumian 12 Ohm atau 40 Ohm

1. Tegangan maksimum	24 kV
2. Tingkat isolasi dasar (<i>Bil – Basic impulse insulation level</i>)	125 kV
3. Short making current	31,5 kA
4. Nominal <i>with stand current</i>	12,5 kA
5. Arus Hubung Tanah (rms)	14,7 KA
6. Surge Arrester <i>discharge voltage</i> at 10 KA	87 KV (kering)
7. Surge Arrester voltage (Rms), U_c	24 kV
8. Surge Arrester BIL	100 kV
9. One minute DC voltage	57 kV
10. 15 minute power frekuensi test	20 kV
11. Insulation <i>creepage</i>	360 mm
12. Minimum power frekuensi flashover	50 kV (kering)

(insulator suspension)

40 kV (basa)

Komponen-komponen tegangan menengah yang dipakai harus mampu menahan akibat hubung singkat 3 fasa dan 1 fasa selama 1 detik.

Persyaratan Mekanis

Yang dimaksud dengan Persyaratan mekanis adalah kemampuan komponen menahan gaya mekanis dan ketahanan akibat kontaminasi sebagai berikut :

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. Standar | SII |
| 2. Jenis Baja | ST -38 atau lainnya |
| 3. Jenis profil minimal | UNP 8 untuk cross arm |
| 4. HOTDIP Galvanized | 40 mikro |
| 5. Breaking Load | |
| • Strain Calmp | 1000 daN |
| • AAAC | 1783 daN |

Perlu diperhatikan untuk sistem tenaga listrik dengan pembumian langsung (*solid grounded*). Spesifikasi teknis kabel yang dipakai harus disesuaikan dengan perhitungan-perhitungan dan akibat hubung singkat. Mengingat jenis kabel yang umum dipakai saat ini adalah dari jenis dengan kemampuan arus pada *copper shield* sebesar 1000 Ampere selama 1 detik

BAB 6

KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI

SALURAN KABEL BAWAH TANAH TEGANGAN MENENGAH

Saluran kabel bawah tanah adalah jaringan distribusi tegangan menengah yang ditanam didalam tanah pada kedalaman tertentu. Jenis kabel yang dipasang bermacam-macam, namun saat ini dari jenis yang berisolasi XLPE berpelindung mekanis, berbalut pita tembaga dan bahan semi konduktif dengan inti penghantar jenis aluminium.

Terdapat dua jenis kabel bawah tanah yaitu berinti tunggal (*single-core*) dan berinti banyak (*multi-core*) dengan luas penampang 150 mm^2 , 240 mm^2 dan 300 mm^2

Pada konstruksi Saluran Kabel Bawah Tanah sangat tidak dianjurkan penggunaan jenis kabel Tegangan Menengah tanpa berpelindung mekanis plat/pita/kawat besi atau Aluminium



Gambar 6. Kabel tanah berisolasi XLPE

6.1 KONSTRUKSI PENGGELARAN KABEL

6.1.1 Kedalaman galian dan perlindungan mekanis kabel

Menurut standar pabrik untuk mendapatkan kemampuan hantar arus 100 % kabel ditanam 70 cm dibawah tanah dengan lebar galian minimum 40 cm. Untuk melindungi terhadap tekanan mekanis, permukaan kabel ditutup pasir dengan tebal tidak kurang dari 5 cm (total 20 cm) selanjutnya ditutup dengan batu pelindung. Batu pelindung menutupi seluruh jalur galian dan berfungsi juga sebagai tanda perlindungan adanya kabel tergelar ditempat tersebut.

Batu peringatan terbuat dari beton tipis atau sejenisnya dengan tebal 6 cm. Lubang galian kemudian ditutup dengan tanah dan batu yang dikeraskan.

Khusus di daerah metropolitan dengan kepadatan beban lebih dari 5 MVA/km², direkomendasikan menggunakan pipa fleksibel (*corrugated pipe*). Kabel dimasukan ke dalam pipa sepanjang jalur, dengan catatan untuk daerah lama (intensifikasi), penggunaan pipa fleksibel harus memperhatikan konstruksi eksisting kabel sebelumnya.

6.1.2 Penggelaran lebih dari 1 (satu) kabel

Pada satu parit/galian bisa lebih dari 1 (satu) kabel digelar. Penggelaran lebih dari 1 (satu) kabel berjarak 2 x diameter luar kabel. Agar kabel tidak bersinggungan maka disisipi dengan batubata. Untuk kabel jenis *single-core*, digabung jadi satu menjadi bentuk *treepoid*.

6.1.3 Jarak kabel tanah dengan utilitas lain

Kabel tanah TM dipasang dibawah kabel tanah tegangan rendah. Kabel tanah tegangan rendah dipasang dibawah kabel telekomunikasi. Pada persilangan antar jalur kabel tanah harus dilindungi dengan pelindung dari beton, kecuali jika salah satu darinya sudah terlindung didalam beton.

Jalur kabel tanah yang berada dibawah harus dilindungi/ ditutup dengan lempengan atau pipa belah beton atau sekurang-kurangnya dari bahan tahan mekanis yang sederajat.

Tutup perlindungan harus dilebihkan 0,5 meter kearah keluar dengan dimensi minimal 1 x1 1 meter. Jarak kabel tanah dengan unutilitas lain dipersyaratkan sebagaimana pada tabel 6.1 dihalaman berikut:

Tabel 6.1 Jarak Kabel tanah

Persilangan dengan	Jarak tidak kurang dari
1. Kabel TR	> 30 cm
2. Kabel Telkom	> 50 cm
3. Pipa Gas	> 50 cm
6. Pipa Air	> 10 Cm

Jika kondisi diatas tidak terpenuhi maka salah satu kabel yang dibawah harus dilindungi dengan pelindung mekanis (plat beton/ beton slab 0,05 x 1 x 1 m atau pipa beton belah dengan diameter 4 inchi (10 cm).

Jika kabel dipasang sejajar dengan kabel telekomunikasi harus di usahakan sejauh mungkin dengan menempatkan pada sisi jalan yang berlainan.

6.1.4 Persilangan dengan bangunan diatas tanah

Guna menghindari pengaruh getaran mekanis, jarak kabel dengan pondasi bangunan harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

Tabel 6.2 Jarak Kabel tanah dengan pondasi bangunan

No.	Utilitas	Jarak sekurangnya
1.	Menara baja	> 80 cm
2.	Pondasi bangunan jembatan	> 80 cm
3.	Tiang TM	> 30 cm

Jika kondisi tersebut diatas tidak dapat dipenuhi, kabel harus dilindungi dengan pipa pelindung beton, ditambah 0,5 meter kiri kanan dari kaki bangunan.

6.1.5 Persilangan dengan rel kereta api

Persilangan dengan jalur kereta api harus dilakukan dengan pipa baja sekurang-kurangnya 2 meter dibawah jalur kereta dan sekurang-kurangnya 2 meter keluar dari sisi luar rel kereta.

6.1.6 Persilangan dengan saluran air dan bangunan air

Pada persilangan dengan saluran air, harus diletakkan paling sedikit 1 meter dibawah datar saluran air jika saluran air terlalu lebar (sungai) harus dengan jembatan kabel.

Tabel 6.3 Penggelaran Kabel tanah pada persilangan dengan saluran air

No	Lebar saluran	Fasilitas perlindungan
1.	1 meter	Pipa dibawah dasar saluran
2.	Kurang dari 6 meter	Double UNP-15 diatas saluran dengan pondasi
3.	Lebih dari 6 meter	Dengen jembatan kabel
4.	Lebih dari 40 meter	Dengan saluran udara dan perindung lighting arrester pada masing-masing tiang.

Pada saluran air laut, kabel tanah dilakukan sedapat mungkin 2 meter di bawah dasar laut, jika tidak memungkinkan harus dibebani (diberi jarak untuk tidak terseret air laut pada kiri kanan saluran harus diberi tanda “kabel marine” untuk kabel tanah yang dipasang dekat/dibawah bangunan pengairan harus dari jenis dengan pelindung metal dan ditutup dengan pipa baja. Sebaiknya mengikuti ketentuan lembaga Perhubungan Laut terkait.

6.1.7 Persilangan dengan jalan umum

Kabel harus diletakkan sekurang-kurangnya 1 meter dibawah badan jalan, dimasukan dalam pipa PVC atau *buis beton* ditambah 0,5 m kiri kanan jalan. Pelaksanaan dapat dilakukan dengan sistem bor atau *crossing*.

6.1.8 Terminasi Kabel

Terminasi kabel pada gardu harus ditopang tegak lurus. Bagian pelindung atau pita tembaga harus dibumikan. Apabila terminasi dilakukan diatas tiang sepanjang 3 meter harus dilindungi dengan pipa metal ϕ 3 inchi yang digalvanis.

Saat instalasi harus dihindari terjadinya terpuntirnya kabel phasa terminal kabel.

6.1.9 Radius belokan kabel

Kabel tidak boleh dibelokan 90^0 . Radius belokan harus tidak kurang dari 15 x diameter kabel.

6.1.10 Kabel Rak (*Cable Duct*)

Penggelaran kabel pada rak kabel harus tetap menjaga jarak 2 x diameter kabel. Kabel harus diikat atau diklem dengan klem yang terbuat dari bahan non mekanik. Bagian logam dari rak kabel harus dibumikan.

6.2 TRANSPORTASI DAN PENANGANAN (*HANDLING*) KABEL

Kabel tanah tegangan menengah harus ditransportasi dan dilaksanakan penggelarannya dengan hati-hati. Bentuk isolasi kabel harus dijaga tetap bulat tidak ada cacat atau deformasi yang dapat ditolerir.

6.2.1 Pengangkutan kabel

Kabel harus ditransportasikan sejauh mungkin dengan haspelnya digelindingkan dengan tangan dan diangkat dengan forlift tidak boleh dibanting atau dijatuhkan. Jika pengangkutan kabel dalam volume terbatas dapat dilakukan menggulung kabel membentuk angka 8 dengan radius $R = 15$ kali diameter kabel.

6.2.2 Penggelaran kabel

Kabel tidak boleh ditarik dengan mesin *winch* atau mesin tarik. Haspel kabel ditunjang dengan dongkrak diputar dengan tangan . selanjutnya di seling lebih dulu baru ditarik dengan tangan. Kabel tidak boleh ditarik menggeser tanah, namun harus diatas rol tarik / rol lurus, untuk belokan harus dipakai rol sudut. Jarak antar rol ± 5 meter dan tiap antaranya 1 (satu) petugas penarik. Selama penggelaran kabel dilarang terlindas kendaraan.

Dalam proses penarikan ujung kabel harus diikat dengn pullinggrip dan dikombinasikan dengan swivel untuk mencegah kabel terpuntir.

Setelah selesai penarikan 1 haspel pertama kabel dilebihkan 1 meter untuk sambungan kabel dan ujung kabel harus ditutup (*dop*) agar bebas air masuk. Keselamatan lingkungan perlu diperhatikan selama pelaksanaan penggelaran termasuk penggunaan atas utilitas lain yang ada didalam tanah.

6.2.3 Penutupan jalan dan penandaan jalur

Sebelum digelar bagian dasar galian dilapisi pasir halus yang tidak mengandung batu tajam setebal 5 cm. Kemudian kabel baru digelar setelah diberi tanda label nama kabel. Penimbunan pasir setebal 20 cm kemudian ditutup dengan batu peringatan/ beton slab. Ukuran 0,06 x 0,45 x 0,3 cm bagian berwarna merah menghadap keatas. Batu peringatan menutupi penuh lebar galian dan dipasang sepanjang jalur kabel, kecuali pada pelintasan jalan raya.

Bagian atas batu peringatan kemudian dipadatkan (tidak boleh dipakai stamper) setinggi permukaan galian baru direkondisi (aspal, hotmik, floor dan lain-lain).

Untuk menandai jalur kabel dipasang patok pilot kabel dengan jarak tidak melebihi 30 meter satu sama lain. Patok-patok pilot dipasang juga pada titik belok kabel, titik masuk dan keluar crossing jalan, titik masuk ke gardu distribusi dan titik ke tiang listrik.

Pada titik sambung dipasang blok tanda MOF kabel/ sambungan kabel.

6.3 MATERIAL SALURAN KABEL TANAH

Sejumlah komponen atau material saluran kabel tanah harus disiapkan sebelum penggelaran. Komponen-komponen ini harus memenuhi persyaratan teknis elektrik dan mekanis.

6.3.1 Kabel tanah

Kabel yang dipakai harus memenuhi persyaratan teknis yang sesuai dengan kondisi sistem tenaga listrik dan sistem proteksinya.

Contoh :

Spesifikasi teknis Kabel tanah di wilayah PLN Distribusi DKI dan Tangerang.

Gardu Induk dengan transformator 60 mVA, X=12,5 %

Pembumian *low resistance* pada netral sisi 20 kV, 12 Ohm, jenis kabel NA2XSEY dan NA2XSY.

- Rated Voltage 24 kV
- Insulation Withstand Voltage (BIL-TID) 125 kV
- Short Circuit making current 31,5 kA

- Short circuit with stand current selama 1 detik 12,5 kA
- Rated short circuit current 13,7 kA
- Impulse test DC voltage 1 menit 57 kV
- Power frekwensi test voltage 15 menit 20 kV

6.3.2 Batu Peringatan

Batu terbuat dari beton atau setara dengan ukuran (relatif) 0,06 x 0,45 x 0,3 m. Bagian atas tercetak tanda kilat + tulisan **“Awas Kabel Listrik 20.000 Volt”** dan diberi warna cat merah. Lempengan batu (Slab) harus mampu menahan beban mekanis sebesar 50 kg/cm².

6.3.3 Patok pilot kabel dan MOF kabel

Patok pilot ini berukuran tinggi 60 cm, panjang dan lebar 10 cm (60 + 10 + 10 cm). patok pilot terbuat dari bahan beton cor (1:2:3) dengan tulang besi ϕ 8 mm² berbentuk slop. Dibedakan 2 jenis patok pilot yaitu untuk penempatan di pinggir jalan berdiri diatas tanah dan untuk penempatan pada trotoar pejalan kaki dibentuk rata dengan permukaan trotoar. Pada patok terekam tanda “kabel PLN” demikian juga patok tanda MOF PLN terekam “MOF PLN”.

6.3.4 Timah Label

Timah label dipasang pada kabel sebelum jalur galian ditimbun terbuat dari timah hitam dengan tebal 1 mm, lebar 6 cm, panjang 15 cm. Timah label dipasang dengan jarak setiap 6 meter, dimana setiap label terekam data :

- Nama Kabel/nama penyulang
- Ukuran penghantar, jenis logam penghantar
- Jenis isolasi
- Nama pelaksana
- Nomor SPK dan tanggal pelaksanaan

6.3.5 Pasir Urug

Pasir urug adalah dari jenis pasir halus tanpa batu kerikil, kotoran-kotoran lain dan bukan pasir laut.

BAB 7

KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI GARDU DISTRIBUSI

Gardu distribusi merupakan suatu bangunan yang di dalamnya terdapat instalasi Transformator, Instalasi Perlengkapan Hubung Bagi (PHB) tegangan menengah ataupun tegangan rendah dan instalasi pembumian. Fungsi gardu distribusi menurunkan tegangan pelayanan yang lebih tinggi menjadi tegangan pelayanan yang lebih rendah. Penempatan/letak gardu distribusi dilokasi yang mudah dijangkau secara operasional.

Pada gardu terdapat komponen-komponen saklar, pengaman transformator dan perlengkapan hubung bagi, instalasi pembumian. Komponen-komponen tersebut harus memenuhi persyaratan/spesifikasi teknis yang sesuai dengan kapasitas dan sistem tenaga listrik dimana gardu tersebut beroperasi serta situasi-kondisi lingkungan. Penyimpangan dari pemenuhan ketentuan tersebut dapat menyebabkan penurunan kinerja komponen. Pemasangan papan awas-awas (tanda bahaya) pada gardu distribusi disesuaikan dengan kondisi lingkungan.

Dilihat dari jenis konstruksinya terdapat 2 jenis gardu distribusi yaitu gardu untuk konstruksi dalam dan untuk konstruksi luar. Kedua jenis konstruksi dipengaruhi oleh konstruksi jaringan distribusi, kepadatan beban dan kebijakan setempat.

Gardu distribusi konstruksi dalam contohnya adalah bentuk gardu beton dengan semua komponen instalasinya berada dalam ruang tertutup. Termasuk diantaranya konstruksi metalclad atau sejenis. Gardu distribusi konstruksi luar contohnya dalam bentuk gardu pasangan luar, gardu tiang baik gardu cantol, gardu portal ataupun garpor (GP6)

Seluruh instalasi gardu harus dilengkapi dengan papan peringatan tentang instalasi bertegangan & berbahaya yang terpasang jelas pada pintu gardu atau tiang gardu.

7.1 KONSTRUKSI GARDU BETON (*MASONRY WALL DISTRIBUTION SUBSTATION*)

Gardu beton harus mempunyai persyaratan fisik yang cukup guna memudahkan konstruksi instalasi, operasi dan pemeliharaan.

1. Pintu minimal dengan lebar 120 cm.
2. Ventilasi yang cukup dengan luas jendela ventilasi tidak kurang dari 20 % luas dinding.
3. Cukup tersedia akses untuk keluar masuk gardu.
4. Tinggi ruang minimal 3 meter.
5. Elevasi dasar lantai gardu tidak kurang dari 20 cm dari resiko tinggi permukaan kemungkinan banjir

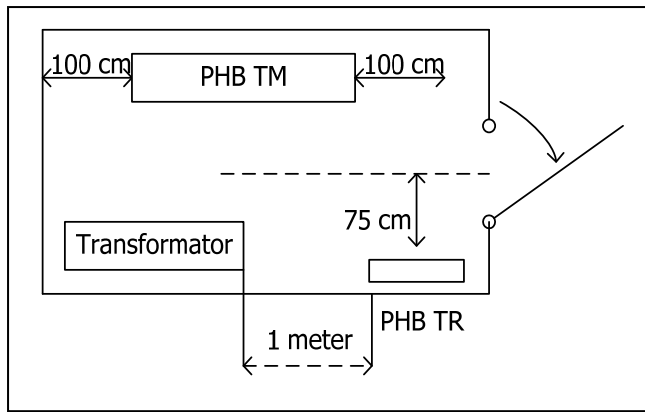
Ruang gardu harus memberikan cukup ventilasi untuk menjaga *ambient temperature* rata-rata 40⁰ C. Terdapat 2 penggunaan gardu, yaitu sebagai Gardu Distribusi (GD) untuk pelayanan umum dan sebagai Gardu Hubung (GH).

7.1.1 Susunan Tata Ruang

Mengingat tidak terdapatnya ruangan khusus untuk tegangan rendah, maka penempatan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM) dalam gardu disusun dengan memperhatikan perilaku dan sifat kerja para operator, keamanan dan keselamatan operator.

PHB-TR ditempatkan pada sisi masuk sebelah kiri atau sebelah kanan. Selanjutnya susunan PHB-TM dan transformator pada dinding di muka pintu masuk. Ruang antara PHB-TM dengan dinding sebelah kiri kanan tidak kurang lebar 1 meter dan jarak bagian belakang PHB dengan dinding minimal 60 cm. Cukup tersedia ruang antara petugas berdiri dengan PHB-TR minimal dari 75 cm (lihat gambar 7.1).

Ruang gardu harus dilengkapi *man-hole* dan tersedia tempat untuk cadangan tambahan kubikel PHB-TM sekurang-kurangnya 1(satu) buah.



Gambar 7.1. Peletakan (*lay-out*) Perlengkapan Gardu Distribusi Beton.

7.1.2 Instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM)

Perlengkapan hubung bagi tegangan menengah (PHB-TM) pada Gardu Distribusi (GD) terdiri atas dua jenis yaitu untuk instalasi dalam dan instalasi/konstruksi luar. Instalasi PHB-TM konstruksi dalam ruang adalah dari jenis tipe tertutup atau kubikel. Terdapat beberapa jenis kubikel yang dipakai yaitu :

- Kubikel pemutus beban (*load break switch*) dipakai pada sisi masuk atau keluar kabel.
- Kubikel pemutus tenaga/pembatas beban untuk sambungan pelanggan Tegangan Menengah.
- Kubikel pengaman transformator
- Kubikel trafo tegangan
- Kubikel pemisah dipakai pada sisi kabel masuk

Parameter persyaratan teknis yang harus dipenuhi oleh kubikel tersebut adalah :

- Rated voltage (kV)
- Rated normal current (A)
- Impulse withstand voltage (kV)
- Short making current (kA)
- Short breaking current (kA/s)
- Impulse DC test (kV/min)
- Power frekwensi test (kV/min)

Contoh :

- Sistem Jakarta kapasitas sistem pembangkit dianggap tak terhingga.
- Power transformer 60 MVA, 12,5 %
- Spesifikasi teknis kubikel
 - Rated voltage : 24 kV
 - Nominal voltage : 20 kV
 - Impulse withstand Voltage (BIL) : 150 kV
 - Short making current : 31,5 kA
 - Short with stand current : 12,5 kA/detik
 - Impulse DC test : 57 kV/menit
 - Power frekwensi test : 20 kV/ 15 menit
 - Rated current : 400 A / 630 A

Terdapat 2 jenis konstruksi kubikel, yaitu separated compact cubicle/ kubikel yang berdiri sendiri tiap-tiap fungsi dan jenis *Ring Main Unit* (RMU compact).

Jenis yang pertama ada yang dilengkapi fasilitas motor listrik untuk membuka-tutup sakelar PHB.

Jenis yang terpisah mudah dalam pemeliharaan, bentuk agak lebar sehingga membutuhkan ruang lebih besar. Jenis RMU terdiri atas 2 kubikel LBS dan 1 kubikel TP menjadi satu bentuk kecil, namun apabila 1 bagian rusak harus diganti seluruhnya. Kubikel RMU sebaiknya tidak dipakai pada tempat berkelembaban tinggi (pabrik es).

Pada gardu hubung semua kubikel memakai jenis load break dimana semua kabel yang bermuara pada gardu tersebut pada posisi "NO" (Normally Open) kecuali 1 kabel (kabel standby/express feeder) dalam posisi "NC" (Normally Close), baik dari jenis tanpa motor atau dengan fasilitas motor.

Semua bagian konduktif terbuka kubikel harus dibumikan dengan penghantar tembaga solid berukuran penampang minimal 16 mm². Sistem interlock pada kubikel memberikan jaminan pintu kubikel tidak akan terbuka jika pisau pembumian belum "masuk" (IN) dan saklar LBS belum terbuka. Demikian sebaliknya untuk menutup kubikel.

7.1.3 Instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB –TR)

Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah dilengkapi sekurang-kurangnya dengan :

- Satu pemisah pada sisi penghantar masuk (Ohm saklar)
- Rel pembagi
- Pengaman lebur jenis HRC pada sisi penghantar keluar
- Rel atau terminal pembumian

PHB-TR terpasang magun pada dinding dan jarak antara rel ke dinding tidak kurang dari 30 cm. Pemisah adalah pemisah 3 pisau dimana penghantar netral tidak diputus (sistem proteksi TN-C). Tabel 7.1. berikut ini memberikan nilai minimal spesifikasi teknis PHB-TR

Tabel 7.1. 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.	Short with stand current (Rms)	Fungsi dari kapasitas Transformator dan tegangan impendasinya
5.	Short making current (peak)	Tidak melebihi 2,5 x <i>short breaking current</i>
6.	Impulse voltage	20 kV
7.	Indeks proteksi – IP (International Protection) untuk PHB pasangan luar	Disesuaikan dengan kebutuhan, namun sekurang-kurangnya IP-45

I_N = I nominal sisi sekunder transformator

7.1.4 Instalasi Pembumian

Bagian-bagian yang harus dibumikan pada Gardu Distribusi Beton adalah :

1. Titik netral sisi sekunder Transformator
2. Bagian konduktif terbuka instalasi gardu
3. Bagian konduktif ekstra (pintu, pagar)
4. Lightning arrester jika gardu dipasok dari saluran udara.

Sebelum dihubungkan ke elektroda pembumian, penghantar pembumian masing-masing (butir-2 dan butir-3) harus dihubungkan ke rel ikatan ekipotential. Selanjutnya ikatan ekipotential dihubungkan ke elektroda pembumian.

Butir-1, dapat dibumikan pada Jaringan Tegangan Rendah pada posisi yang paling dekat dengan Gardu Distribusinya.

Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 ohm. Tabel 7.2 berikut ini memberikan bagian-bagian yang perlu dibumikan pada gardu distribusi.

Tabel 7.2 Instalasi Pembumian pada Gardu Distribusi Beton.

No.	Uraian	Ukuran minimal penghantar pembumian
1.	Panel PHB TM (kubikel)	BC.solid 16 mm ²
2.	Rak kabel TM-TR	BC.solid 16 mm ²
3.	Pintu gardu/pintu besi/pagar besi	BC.pita 16 mm ² (NYAF)
4.	Rak PHB.TR	BC 35 mm ²
5.	Badan trafo	BC 35 mm ²
6.	Titik netral sekunder transformator	BC 35 mm ²
7.	Ikatan ekipotential pada gardu konstruksi dalam	Pelat tembaga 2 mm x 20 mm
8.	Elektroda pembumian gardu beton	BC 35 mm ² di bawah pondasi
9.	Elektroda pembumian gardu portal	Elektroda batang 3 meter

7.1.5 Transformator

Transformator adalah bagian/komponen yang paling mahal dari instalasi gardu dan ditempatkan pada posisi yang paling jauh dari pintu gardu. Pada gardu kontruksi dalam, transformator dilindungi dengan HRC Fuse (*current limiting type*) pada kubikel transformer protection. Tabel 7.3. berikut memberikan data spesifikasi teknis HRC fuse – TM jenis NF.

Tabel 7.3. Pemilihan Rated Current HRC fuse –TM.

KVA Trafo	I _R
250 KVA	16 A
315 KVA	16 A
400 KVA	16 A
500 KVA	32 A

Spesifikasi pengamananan lebur TM

- Breaking capacity 25 kA
- Maksimum over voltage 75 kV

KVA Trafo	I _R
630 KVA	32 A
800 KVA	32 A
1000 KVA	43 A

Transformator didudukkan pada tempat khusus. Roda transformator diletakkan pada besi UNP 15. Dinding pada bagian bawah transformator harus diberikan jendela. Jendela ini harus diberi kisi – kisi baja tahan karat untuk mencegah masuknya binatang kecil atau melata. Jarak antara badan transformator (bagian luar dari sirip pendingin) minimal 60 cm dari dinding bangunan.

Satu buah gardu beton dapat dimuati 2 buah transformator @ 630 kVA.

Gardu jenis *metalclad* sanggup dilengkapi 1 buah transformator 400 kVA.

Transformator berfungsi optimal pada suhu maksimum 65° C dan pada suhu ambient rata – rata 40° C (Sesuai IEC ambient 20 C, IEEE 30 C. Bila 40 C maka ada

derating kapasitas dan ageing, serta temperature rise harus urun). Oleh karena itu ruang dalam gardu harus diberikan ventilasi yang cukup memadai.

7.1.6 Instalasi Kabel Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah

Pada gardu beton hubungan antara kubikel pengaman transformator dan terminal TM transformator memakai penghantar tegangan menengah full insulated kabel inti tunggal dengan warna kabel merah (N2XSY).

Hubungan antara terminal tegangan rendah transformator dengan PHB-TR memakai kabel inti tunggal NYY. Untuk maksud-maksud keandalan tiap fasa memakai 2 kabel sedangkan penghantar netral 1 (satu) kabel.

Kabel TM inti tunggal dan kabel TR inti tunggal masing-masing dipasang sejajar satu sama lain dengan jarak sekurang-kurangnya 2 kali diameter. Penempatan pada rak kabel, ketiga kabel masing – masing harus pada satu lubang kisi-kisi rak kabel dengan radius lengkungan tidak kurang dari 15 kali diameter luar.

Kemampuan hantar arus (KHA) kabel sekurang-kurangnya 115 % dari arus maksimal transformator. Semua terminasi kabel harus memakai sepatu kabel. Khusus kabel TM harus memakai balutan polymer. Pemasangan terminasi harus dilakukan oleh petugas yang bersertifikat.

Sambungan pada terminal isolator atau bushing harus pada posisi lurus (*straight through joint*) dengan menggunakan sepatu kabel yang sesuai dan telah dilapisi bahan anti oksidasi.

7.2 GARDU KIOS (METALCLAD)

Konstruksi gardu metalclad sama dengan gardu beton, namun dengan dimensi yang lebih *compact*, termasuk sistem pembumiannya. Pada gardu jenis ini kubikel yang dipakai adalah jenis *Ring Main Unit* (RMU), dengan kapasitas transformator tidak lebih dari 400 kVA dan dengan 4 buah jurusan (*outlet*) tegangan rendah.

7.3 GARDU PORTAL DAN CANTOL

Terdapat 2 jenis gardu pasangan luar, yaitu :

- Gardu Konstruksi Portal
- Gardu Konstruksi Cantol

Gardu portal adalah gardu listrik dengan konstruksi pada dua tiang atau lebih. Transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel/PHB-TR pada bagian bawah.

Gardu Cantol (*Single Pole Mounted distribution substation*), dimana transformator dan panel Tegangan Rendah menjadi satu yang dicantolkan pada tiang dan umumnya adalah transformator jenis *Completely Self Protected (CSP)*, Jaringan Sambungan pada Jaringan Tegangan Menengah bisa dari saluran udara atau kabel tanah.

Gardu Portal RMU adalah gardu listrik dengan konstruksi sama dengan gardu portal, dengan penempatan kubikel jenis RMU dalam lemari panel (metalclad) yang terhindar dari air hujan dan debu, digunakan pada jaringan SKTM.

7.3.1 Konstruksi Gardu Portal

7.3.1.1 Konstruksi Penopang

Penopang gardu adalah tiang besi/beton yang mampu menahan gaya mekanis :

- Akibat tarikan mekanis penghantar jika garu ada pada ujung jaringan (☞ 507 daN)
- Akibat tekanan angin baik pada tiang ataupun badab transformator (☞ 105 daN)

Total gaya mekanis yang harus ditahan oleh tiang penopang tidak kurang dari 612 daN, sehingga kekuatan tiang yang dipakai minimal 2 x 500 daN. Tiang ditanam dengan kedalaman sekurang-kurangnya $\frac{1}{6}$ kali panjang tiang dan dilengkapi pondasi beton.

7.3.1.2 Konstruksi PHB-TR

PHB tegangan rendah 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 4 jurusan keluar jaringan tegangan rendah dengan proteksi pengaman lebur jenis HRC, (NH, NT Fuse)

NFB yang dipakai adalah dari jenis 3 pisau dengan penghantar netral tanpa pisau (sistem pengaman TN–C).

Arus pengenalan 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 hitungan teoritis sesuai dengan karakteristik transformatornya atau sekurang–kurangnya 16 kA selama 0,5 detik (*short time withstand current*).

PHB TR ini dipasang sekurang–kurangnya 1,2 meter dari permukaan tanah atau bebas terkena banjir. Penghantar antara PHB-TR dengan jaringan tegangan rendah dapat memakai kabel NYY yang dimasukkan ke dalam 1 pipa pelindung galvanis, namun bukan jenis kabel pilin (*twisted cable*) untuk Saluran Udara Tegangan Rendah.

7.3.1.3 Konstruksi PHB-TM

Untuk gardu portal dengan sambungan dan saluran udara, konstruksi PHB–TM berupa pemisah/*Disconnecting Switch* (DS) yang dilengkapi dengan elemen pelebur / *Fuse link – fused cut out* (FCO). Jenis elemen pelebur sesuai dengan kapasitas transformator dan sadapan *lightning arrester*. Jika lightning arrester dipasang sesudah FCO, sebaiknya memilih elemen tipe-H, sekurang-kurangnya dengan arus pengenalan 16 A.

Tabel 7.4. Spesifikasi Pengaman Lebur (NH-Fuse) Tegangan Rendah.

Jenis Penghantar	Ukuran Penampang Penghantar (mm ²)	KHA Penghantar	Arus Pengenal Maksimum
		(A)	NH-fuse (A)
Kabel Pilin Udara	35 (Al)	125	125
	50 (Al)	154	150
	70 (Al)	196	200
Pengantar Telanjang	25 (Cu)	175	160
	35 (Cu)	200	200
	50 (Cu)	250	250
	70 (Cu)	310	315
	35 (Al)	180	160
	50 (Al)	225	200
	70 (Al)	270	250

Tabel 7.5. Spesifikasi Fuse Cut-Out (FCO) dan Fuse Link (expulsion type) Tegangan Menengah (Publikasi IEC No. 282-2 – NEMA).

Daya Trafo Distribusi (KVA)	Arus Nominal (A)	Arus pengenal fuse link (A)	
		Min	Maks
Fuse – tunggal			
25	2,2	3,13 H	3,13 H
50	4,3	5 H	6,3 T
Fasa- tiga			
50	1,44	2 H	2 H
100	2,89	5 H	6,3 K, T
160	4,6	6,3 H	8 K, T
200	5,78	6,3 H	10 K, T
250	7,22	8 T	12,5 K, T
315	9,09	10 T	12,5 K, T
400	11,55	12,5 T	16 K, T
500	14,43	20 T	25 K, T
630	18,18	25 T	31,5 K, T

Catatan : K : Pelebur tipe cepat
T : Pelebur tipe lambat
H : Pelebur tahan surja petir

Penghantar antara FCO dengan saluran udara adalah jenis AAAC. Sambungan terminasi harus memakai sepatu kabel jenis bimetal, demikian juga dengan lightning arrester.

Untuk PHB – TM dengan sambungan dari saluran kabel tanah, dipergunakan 2 konstruksi sambungan dengan menggunakan FCO dan menggunakan kubikel RMU.

a. Sambungan dengan menggunakan Fuse Cut–Out (FCO)

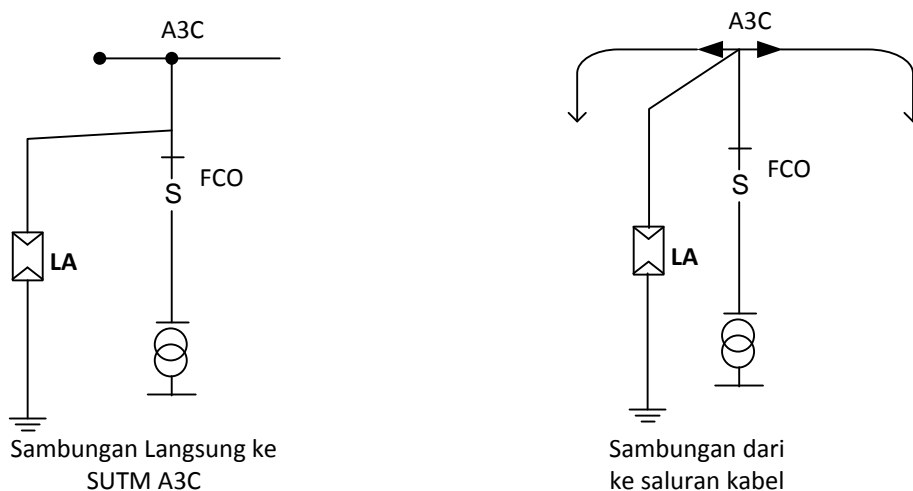
Konstruksi sambungan sama dengan sambungan pada saluran udara. Sambungan dengan sistem–T menggunakan 1 set *lightning arrester*, jika menggunakan rel menggunakan 2 set lightning arrester.

b. Sambungan dengan menggunakan kubikel *Ring Main Unit* (RMU)

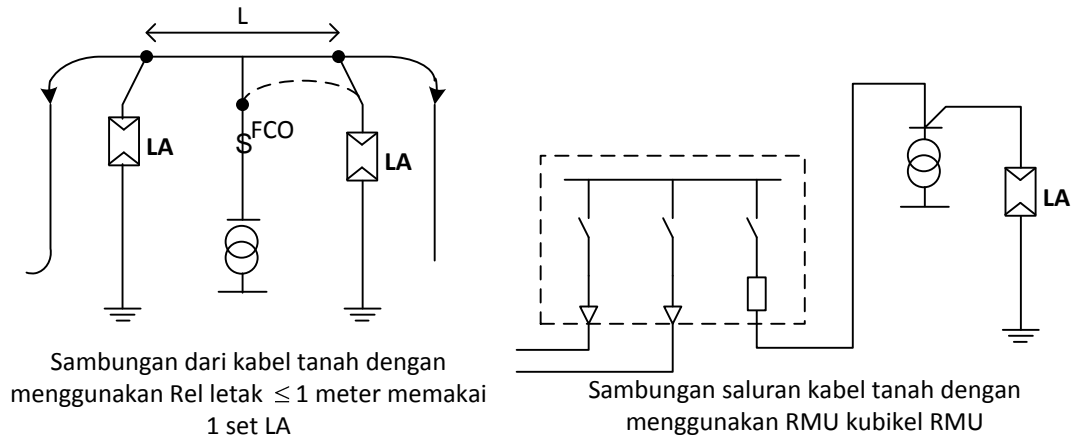
Konstruksi sambungan sama dengan konstruksi pada gardu beton. Sambungan penghantar ke transformator menggunakan kabel TM single core (N2XSY) dengan tambahan lightning arrester pada terminal TM transformator.

Proteksi transformator menggunakan pengaman lebur HRC sama dengan uraian pada gardu konstruksi beton.

Kubikel dipasang di dalam panel logam galvanis dan di atas pondasi beton yang terhindar dari banjir.



Gambar 7.2a. Jenis-jenis Sambungan pada RMU.



Gambar 7.2b. Jenis-jenis Sambungan pada RMU.

7.3.1.4 Proteksi Surja Petir

Gardu portal dan gardu cantol dilindungi dari surja petir dengan menggunakan lightning arrester. *Lightning Arrester* mempunyai karakteristik dengan parameter sebagai berikut :

- Rated Voltage : 24 kV (sistem pembumian dengan NGR) dan
16,8 - 24 kV (sistem pembumian langsung)
- Rated Current : 5 kA, 10 kA, 15 kA
- Discharge Voltage :
 - Positive polarity : 59 kV rms maksimum
 - Negative polarity : 60 kV rms maksimum

Lightning Arrester 5 kA dipergunakan jika transformator berlokasi di tengah jaringan SUTM. Jika berlokasi di ujung jaringan memakai rating 10 kA.

Lightning arrester dibumikan dengan menggunakan penghantar BC berukuran luas penampang sekurang-kurangnya 35 mm² dan memakai elektroda pembumian tersendiri dengan nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 ohm.

Lightning arrester ditempatkan sedekat mungkin pada peralatan yang dilindungi.

Lightning arrester dipergunakan pada gardu konstruksi luar (gardu portal dan cantol) untuk menghindari over voltage akibat adanya surja petir.

Sadapan penghantar *Lightning Arrester* dengan penghantar transformator dapat sebelum atau sesudah pemasangan *fuse cut-out* (FCO) Berikut ini diberikan beberapa pertimbangan keuntungan dan kerugian masing-masing cara di atas.

Pemasangan LA sebelum FCO

Keuntungannya : Pengamanan terhadap surja petir tidak dipengaruhi oleh kemungkinan FCO putus.

Kerugiannya : - Kegagalan LA memadamkan sistem penyulang
- Penghantar LA lebih panjang

Pemasangan LA setelah FCO

Keuntungan : Jika LA rusak atau gagal, FCO putus tidak memadamkan sistem SUTM

Kerugiannya : *fuse link* rentan terhadap surja petir

Untuk saluran udara sangat panjang, pemasangan LA sesudah FCO dapat dipertimbangkan dengan menggunakan *fuse link type – H*.

Untuk saluran udara pendek, pemasangan LA sebelum FCO lebih baik sebagai pilihan.

7.3.1.5 Konstruksi Gardu Cantol

Gardu Cantol adalah Gardu Distribusi dengan konstruksi transformator dicantolkan pada tiang tunggal. Kapasitas transformator sebesar–besarnya 50 kVA dengan jenis CSP (*Completely Self Protected*) transformator. Namun transformator tetap harus dilengkapi dengan *Lightning Arrester*.

Terdapat 2 macam transformator cantol :

- Transformator fasa dua
- Transformator fasa satu

a. Transformator Fasa Dua

Transformator ini adalah transformator fasa–2, dengan lilitan primer fasa – fasa terpisah dari lilitan sekunder. Lilitan sekunder mempunyai 2 penghantar fasa dan 1 penghantar netral.

b. Transformator Fasa Satu

Transformator fasa–1 dipakai pada sistem multi grounded common neutral, dimana penghantar tegangan menengah mempunyai penghantar netral yang disatukan dengan penghantar netral jaringan tegangan rendahnya.

Pembumian *Lightning Arrester* (LA) dijadikan satu dengan pembumian badan transformator. Pembumian penghantar netral tidak dijadikan satu dengan pembumian arrester pada penghantar netral.

7.3.1.6 Konstruksi Pembumian

Bagian – bagian yang dibumikan pada gardu portal dan cantol adalah :

- Terminal netral sekunder transformator
- *Lightning Arrester* (LA)
- Bagian konduktif terbuka / massa transformator panel PHB-TR

Penghantar pembumian lightning arrester dihubung secara metalik dengan penghantar pembumian terminal netral transformator di bawah permukaan tanah. Pembumian bagian – bagian konduktif terbuka dijadikan satu dengan pembumian titik netral transformator. Elektroda pembumian LA terpisah dengan elektroda pembumian titik netral transformator.

Untuk menghindari kerusakan dan atau pencurian, penghantar pembumian harus dilindungi dengan pipa galvanis $\frac{3}{4}$ inch, setinggi 3 meter dari permukaan tanah (dan diisi adukan cor beton).

Penghantar pembumian menggunakan kawat tembaga (BC) berukuran 50 mm². Elektroda pembumian memakai elektroda batang sepanjang minimal 3 meter. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm.

BAB 8

KRITERIA DISAIN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH

Jaringan distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian dari sistem distribusi tenaga listrik yang paling dekat dengan pemanfaat.

Terdapat 2(dua) macam konstruksi jaringan distribusi Tegangan Rendah :

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)
2. Saluran Kabel Bawah Tanah Tegangan Rendah (SKTR)

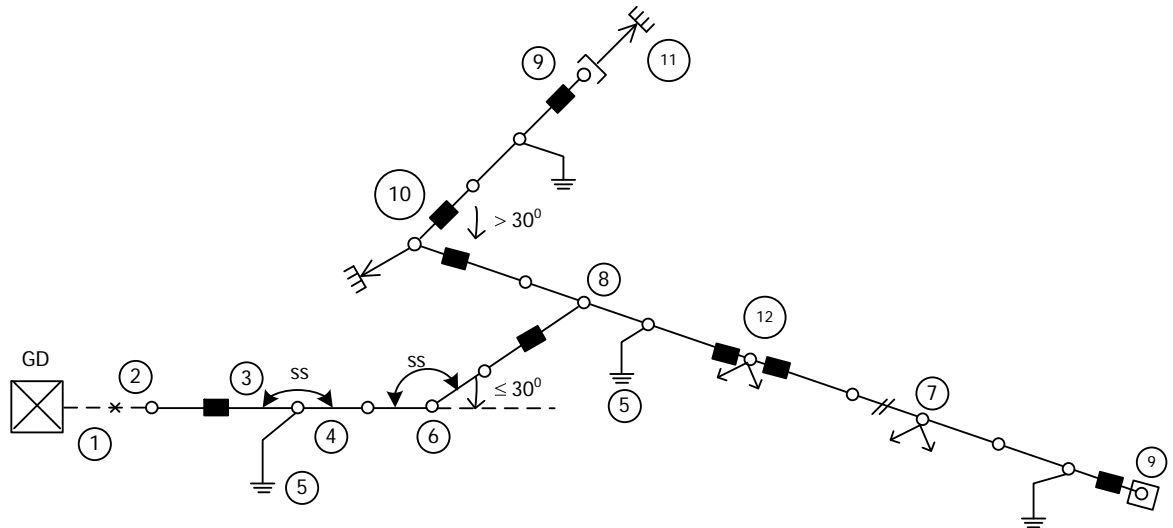
Konfigurasi jaringan secara umum adalah radial, hanya pada kasus khusus dipergunakan sistem tertutup (*loop*). Saluran Udara Tegangan Rendah memakai penghantar jenis kabel pilin (NFAAX-T) dengan penampang berukuran luas penampang 35 mm², 50 mm² dan 70 mm² serta penghantar tak berisolasi AAC, AAAC, BCC dengan penampang 25 mm², 35 mm² dan 50 mm².

Penghantar tak berisolasi secara umum tidak dikembangkan lagi.

Saluran kabel bawah tanah memakai kabel tanah dengan pelindung metal, berisolasi PVC, berinti Tembaga atau Alumunium NYFGbY atau NYAFGbY dengan penampang berukuran luas 25 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm² dan 95 mm².

8.1 SALURAN UDARA TEGANGAN RENDAH (SUTR)

Monogram jaringan distribusi Tegangan Rendah saluran udara kabel twisted fasa -3 dapat dilihat pada Gambar 8.1 dibawah ini.



Gambar 8.1 Monogram Jaringan Distribusi Tegangan Rendah saluran udara kabel pilin (*twisted cable*) fasa -3.

Keterangan Gambar :

- | | | | |
|----|---|--|--|
| GD | = Gardu Distribusi | | = Konstruksi FDE (Fixed Dead End) atau ADE (Adjustable Dead End) |
| | = Penghantar | | = Konstruksi Suspension (SS) |
| ① | = Kabel bawah tanah | | = Konstruksi Tiang Seksi (<i>section pole</i>) untuk sambungan 2 (dua) penghantar yang berbeda ukurannya |
| ② | = Tiang Awal | | = Titik pembumian |
| ③ | = Penghantar | | |
| ④ | = Tiang Penumpu | | |
| ⑤ | = Pembumian | | |
| ⑥ | = Tiang Sudut kecil ($\leq 30^\circ$) | | |
| ⑦ | = Tiang peregang | | |
| ⑧ | = Tiang Tee-Off | | |
| ⑨ | = Tiang Ujung | | |
| ⑩ | = Tiang Sudut besar ($>30^\circ$) | | |
| ⑪ | = Guy Wire | | |
| ⑫ | = Tiang Seksi | | |

Terdapat 2 jenis konstruksi jaringan distribusi Tegangan Rendah sesuai dengan sistemnya.

1. Konfigurasi fasa-3 menggunakan kabel Pilin (*twisted cable*) dengan 3 penghantar fasa + 1 netral.

2. Konfigurasi fasa-2 menggunakan kabel Pilin (*twisted cable*) dengan 2 penghantar fasa + 1 netral atau penghantar BC atau AAAC.

Kedua sistem tersebut berdiri pada tiang sendiri atau di bawah Saluran Udara Tegangan menengah (*underbuilt*).

Radius pelayanan jaringan lebih kurang 300 meter dan tingkat tegangan pelayanan dibatasi + 5 % dan – 10 %.

Jenis tiang yang digunakan adalah tiang beton berukuran panjang 9 m dengan kedalaman penanaman $\frac{1}{6}$ 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)

8.1.1 Desain Konstruksi Fasa-3 dengan kabel Pilin (*twisted cable*)

Penghantar kabel *twisted* ditumpu pada tiang dengan konstruksi *dead end* (DE), *Adjustable Dead End* (ADE) dan *suspension* (SS) yang penggunaannya disesuaikan dengan bentuk lintasan jaringan. Kedua konstruksi tersebut dipasang di atas tiang, dikenal dengan istilah konstruksi atas tiang (*pole top construction*).

Bentuk lintasan jaringan adalah lurus, sudut, dan akhir, sehingga tiang pada lintasan tersebut diberi nama sesuai fungsinya :

- Tiang awal / akhir
- Tiang tengah / penumpu
- Tiang sudut dengan sudut kecil ($\alpha < 30^0$) dan sudut besar $\alpha > 30^0$.
- Tiang Peregang
- Tiang seksi

Pemakaian DE dan SS disesuaikan dengan fungsi tiang pada jaringan tersebut.

8.1.2 Fungsi Konstruksi *Fixed Dead End* (FDE) dan *Adjustable adead end* (ADE)

Konstruksi *Fixed Dead End* mengikat penghantar netral. Kabel Pilin dengan komponen pokok klem jepit (*strain clamp*) dan klem tarik (*tension bracket*). Beban

Kerja (*Working load*) untuk *strain clamp* tidak kurang dari 1500 daN dan untuk *tension bracket* tidak kurang dari 2200 daN gaya horizontal.

8.1.3 Fungsi Konstruksi *Suspension* (SS)

Konstruksi *suspension* dipakai untuk menggantung penghantar netral kabel twisted dan dengan kemampuan sudut lintasan $\leq 30^0$. Komponen utama konstruksi *suspension* adalah *suspension bracket* dengan sanggup memikul Beban Kerja (*working load*) tidak kurang dari 800 daN gaya vertical dan *suspension clamp* sebagai penggantung atau penjepit kabel penggantung (*messenger*).

8.1.4 Jenis Penghantar

Penghantar yang dipergunakan adalah jenis penghantar kabel pilin (NFAAX-T) dengan penghantar inti/fasa Alumunium murni dan Almelec sebagai penghantar netral yang sekaligus sebagai penggantung (*messenger*).

Ukuran kabel untuk kabel Fasa : 35 mm², 50 mm², 70 mm² (Alumunium murni), dan untuk Netral : 54,6 mm² (Almelec = Allumunium Alloy)

Penghantar netral mempunyai *breaking load* maksimal 1755 daN.

Tabel 8.1 Jenis konstruksi pada tiang jaringan distribusi Tegangan Rendah.

No.	Fungsi tiang	Sudut Lintasan	Jenis Konstruksi		Komponen tambahan
			FDE	SS	
1.	Tiang Awal	-	X	-	Pipa PVC 3 inci untuk pelindung ujung kabel <i>Turn buckle</i>
2.	Tiang Penumpu/Tiang Tengah	0 ⁰ - 30 ⁰	-	X	
3.	Tiang Sudut besar	30 ⁰ - 90 ⁰	2X		
4.	Tiang Ujung	-	X		
5.	Tiang Pencabangan (Tee-Off)		X	X	
6.	Tiang seksi		2X		

8.1.5 Pembumian Penghantar Netral dan Titik Netral Transformator

Penghantar Netral dibumikan pada tiap-tiap 200 meter atau 5 gawang (jarak antar gawang rata-rata 40 meter). Titik Pembumian dapat berupa :

- Pembumian pertama pada tiang kedua setelah tiang awal (pada gardu portal & gardu cantol).
- Pembumian pertama pada tiang pertama pada gardu tembok/beton (dapat berfungsi sebagai pembumian titik netral transformator).
- Pembumian terakhir pada 1(satu) tiang sebelum tiang ujung.

Ikatan atau sadapan penghantar pembumian memakai tap konektor jenis kompresi, penghantar pembumian ini adalah penghantar Aluminium. Untuk ikatan dengan terminal pembumian harus memakai sepatu kabel jenis bimetal.

Penghantar diberi lapisan timah sebelum pengencangan sepatu kabel dengan terminal pembumian pada tiang.

Jika fasilitas konstruksi pembumian tidak terdapat pada tiang, maka dipakai penghantar pembumian tersendiri dari tembaga ukuran 35 mm², 3 meter di atas tanah dilindungi dengan pipa galvanis 3/4 inchi. Ikatan dengan penghantar netral harus menggunakan ikatan bimetal.

Elektroda pembumian ditanam minimal 20 cm di bawah tanah dan berjarak 30 cm dari tiang. Ikatan penghantar pembumian dengan elektroda pembumian wajib memakai sepatu kabel dan dilapisi bahan anti karat. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 10 Ohm, jika tidak terpenuhi harus dilakukan penggandaan elektroda pembumian dengan jarak antar elektroda minimal 2,5 meter.

8.1.6 Sambungan dan Sadapan

Sambungan antar penghantar harus dilakukan dengan hydraulic press joint sleeve. Sambungan tidak boleh menahan beban mekanis. Sadapan atau pencabangan memakai Konektor jenis *hydraulic press* yang kokoh atau jenis piercing.

Sambungan langsung penghantar harus dilakukan dengan hydraulic press joint sleeve berisolasi. .

Semua pembungkus sadapan dan sambungan di lapisi greese (gemuk) dan kedap air.

8.1.7 Jarak antar Tiang atau Gawang (*span*) dan Andongan (*sag*)

Jarak Gawang (*span*) rata-rata adalah 40 meter, atau tidak melebihi 50 meter

Tinggi Andongan atau lenduran (*sag*) minimal 60 cm pada suhu 20⁰C tanpa angin, atau 1(satu) meter pada suhu penghantar 90⁰.

Perhitungan harus dilakukan agar pada suhu rendah (20⁰C) tiang tidak menerima beban horizontal lain kecuali akibat berat beban penghantar itu sendiri.

Dalam kondisi khusus (listrik desa) jarak gawang dapat mencapai 60 meter.

8.1.8 Jarak Aman (Safety Distance)

Jarak aman saluran udara adalah jarak dimana saluran tersebut aman terhadap lingkungan dan terhadap manusia. Tabel 8.2 berikut memberikan jarak aman saluran kabel pilin terhadap lingkungan.

Tabel 8.2. Jarak Aman Saluran Udara Kabel Pilin terhadap Lingkungan.

Uraian		Batas Jarak Aman
1.	Permukaan jalan raya	Tidak kurang dari 6 meter
2.	Terhadap atap rumah	Tidak kurang dari 1 meter bagi atap yang tidak dinaiki manusia
3.	Terhadap balkon	Tidak kurang dari 2,5 meter (di luar jangkauan tangan)
4.	Terhadap saluran telekomunikasi	Tidak kurang dari 2,5 meter
5.	Terhadap saluran udara tegangan menengah (under build)	Tidak kurang dari 1,0 meter
6.	Terhadap bangunan /tower /papan reklame	Tidak kurang dari 3,5 meter
7.	Lintasan kereta api	Tidak dianjurkan, diperlukan konstruksi khusus (kabel tanah)

8.1.9 Jaring distribusi Tegangan Rendah Sistem Fasa -2

Sistem fasa-2 pada jaring distribusi Tegangan Rendah bersumber pada transformator :

1. Transformator fasa -2 dipakai pada sistem jaringan fasa -2

2. Transformator fasa -1 dipakai pada sistem jaringan fasa-3, 4 kawat (hanya dipakai di PLN Jawa Tengah dengan *multi ground Common Neutral*).

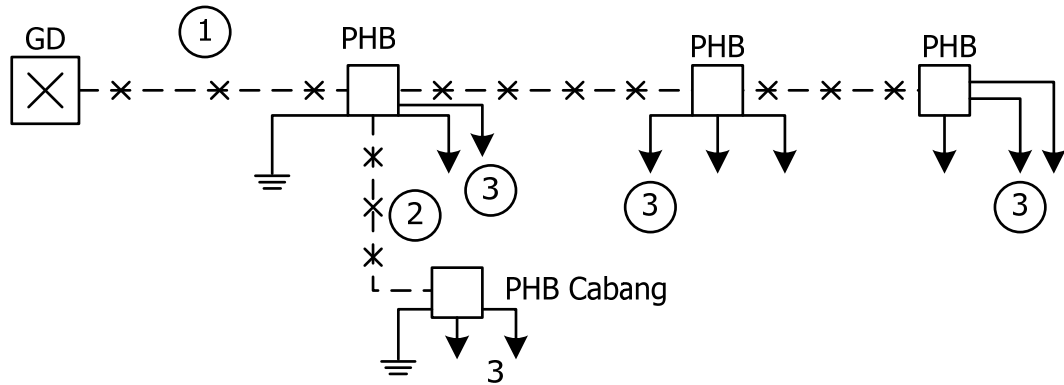
Kedua macam transformator tersebut adalah dari jenis transformator *Completely Self Protected* (CSP). Kriteria konstruksi jaringan Tegangan Rendah untuk transformator fasa-2 sama dengan sistem fasa-3. Demikian pula pada transformator fasa-1 dengan jaringan Tegangan Rendah memakai kabel pilin. Untuk pemakaian penghantar BC, maka penghantar Netral berada diatas penghantar Fasa namun berada dibawah penghantar TM. Penghantar netral dihubungkan pada massa tiang, selanjutnya dibumikan.

8.2 SALURAN KABEL TANAH TEGANGAN RENDAH

Saluran Kabel tanah Tegangan Rendah (SKTR) secara umum tidak banyak dipakai sebagai jaringan distribusi Tegangan Rendah, kecuali hanya dipakai dalam hal :

1. Kabel utama dari Gardu ke jaringan Tegangan Rendah (*Opstik kabel/kabel naik*)
2. Pada lintasan yang tidak dapat memakai Saluran Udara
3. Pada daerah-daerah eksklusif atas dasar permintaan, seperti :
 - Perumahan real estate
 - Daerah komersil khusus

Kriteria konstruksi pada SKTR ini sama dengan kriteria konstruksi saluran kabel TM.



Gambar 8.2. Monogram saluran kabel Tegangan Rendah – SKTR.

Keterangan Gambar :

PHB = Perlengkapan Hubung Bagi

GD = Gardu Distribusi

① = SKTR sirkuit utama

② = SKTR pencabangan – sirkuit cabang

③ = Sambungan pelayanan

⏚ = Pembumian

8.2.1 Jenis Kabel

Saluran kabel tanah memakai jenis kabel dengan pelindung metal, berisolasi PVC berinti tembaga atau alumunium, misalnya NYFGbY / NAYFGbY.

Pelindung metal (*metal shield*) dipergunakan sebagai penghantar-penghantar pembumian dengan karakteristik sebagai berikut :

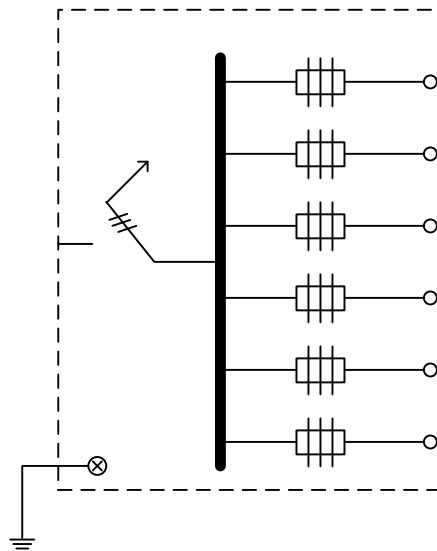
- *Rated Voltage* : 1 kV
- *Short Withstand Current 0,5 detik* : 16 kA
- *Basic Impulse* : 6 KV
- *Insulation Withstand Voltage* : sekurang- kurangnya 1 Mega Ohm / KV.

8.2.2 Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah – PHB TR

Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) adalah PHB dengan pemisah/saklar pada sisi masuk dan pengaman lebur pada sisi luar.

PHB-TR mempunyai karakteristik :

- | | |
|--|----------------------------|
| ▪ Jenis pemasangan | : Pasangan Luar |
| ▪ Impulse withstand Voltage | : 20 kV selama 1 menit |
| ▪ Short withstand current 0,5 detik | : 8 kA, 16 kA, 32 kA |
| ▪ Voltage phase to phase | : 3 kV selama 1 menit |
| ▪ Maksimum Outlet | : 6 jurusan |
| ▪ Incoming switch jenis No Fused Breaker | : 3 Pole switch |
| ▪ Outgoing | : NH-fuse |
| ▪ Indeks IP | : Sekurang-kurangnya IP 44 |



Gambar 8.3. PHB-TR.

PHB-TR dipasang pada tempat yang terlindung dari gangguan mekanis dan banjir dan dipasang pada pondasi atau dudukan khusus yang kokoh.

Semua terminasi kabel pada PHB-TR harus memakai sepatu kabel yang dilapisi bahan anti karat (timah).

8.2.3 Penggelaran Kabel

Kabel digelar minimal sedalam 60 cm, dilindungi terhadap tekanan mekanis dengan :

- Pasir halus selebar 20 cm (5cm di sekeliling kabel)

- Dimasukkan dalam pipa beton atau PVC, jika melintasi jalan raya atau dekat pondasi bangunan.

Sebagai tanda, di atas kabel dilapisi/ditutup dengan plat beton. Selanjutnya jalur kabel diberi tanda patok pilot kabel sepanjang jalur galian dan titik belok.

Pencabangan kabel dilakukan pada PHB. Tidak diperbolehkan pencabangan pada kabel dengan menggunakan sambungan T (T-joint).

Apabila terdapat lebih dari 1 kabel dalam 1 parit galian, maka jarak antar kabel adalah $2D$, dimana D adalah diameter kabel.

Radius belokan kabel minimal adalah $15 \times D$.

Semua bagian konduktif terbuka dari PHB dibumikan, disatukan dengan pelindung mekanis kabel (*metal shield*). Pada PHB utama dilengkapi dengan elektroda pembumian dengan nilai tahanan pembumian tidak lebih dari 10 Ohm.

Selanjutnya tiap 200 meter pada PHB dibumikan dengan nilai tahanan pembumian tidak lebih dari 10 Ohm.

Kabel TR harus berjarak minimal 20 cm dari utilitas lain dan 50 cm terhadap pipa gas kota. Jika jarak tidak memenuhi, harus diberi pelindung atau dimasukkan kedalam pipa beton, minimal sepanjang 1 meter pada titik persilangan atau sepanjang garis paralel.

8.2.4 Kabel Utama Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

Kabel Utama JTR atau *kabel optik* atau kabel jurusan dari Gardu Distribusi menggunakan :

1. Jenis kabel NYFGbY dari Gardu Beton atau Kios
2. Jenis kabel NYY atau NYFGbY dari Gardu Portal
3. Langsung dengan kabel Pilin (*twisted cable*) pada Gardu Cantol

Penggunaan kabel Pilin langsung ke rak PHB-TR sebaiknya harus dihindari, mengingat kabel Pilin adalah dari jenis kabel udara dan hanya berisolasi satu lapis, demi faktor keamanan maka tidak dianjurkan untuk konstruksi yang bersinggungan dengan bangunan (sesuai SNI 04-0225-2000)

BAB 9

KRITERIA DESAIN KONSTRUKSI

SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK

Sambungan Tenaga Listrik pelanggan merupakan bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik, yaitu penghantar baik diatas maupun dibawah tanah termasuk peralatannya sebagai bagian Instalasi PLN yang merupakan sambungan antara jaringan tenaga listrik milik PLN dengan Instalasi milik Pelanggan untuk menyalurkan Tenaga Listrik. Konstruksi sambungannya langsung pada titik pemanfaat.

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

Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah adalah sambungan sistem fasa-3; untuk Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah adalah sistem fasa-1 dan fasa-3.

PT PLN (Persero) mengatur batas beban sambungan Tegangan Menengah dan Tegangan Rendah.

9.1 SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK TEGANGAN RENDAH

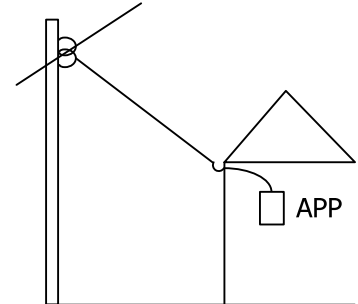
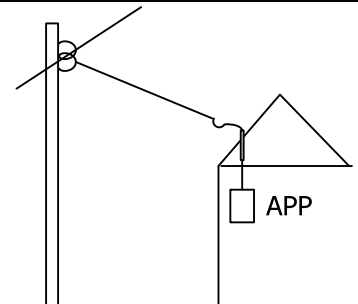
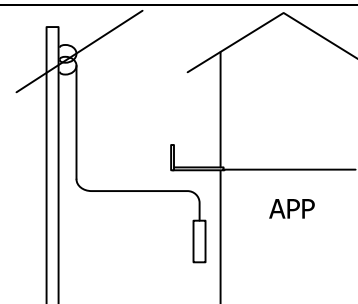
Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah dimulai dari titik sambung di Jaringan Tegangan Rendah sampai dengan Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pada bangunan pelanggan baik melalui Saluran Udara maupun Bawah Tanah.

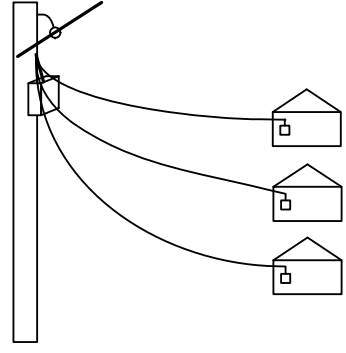
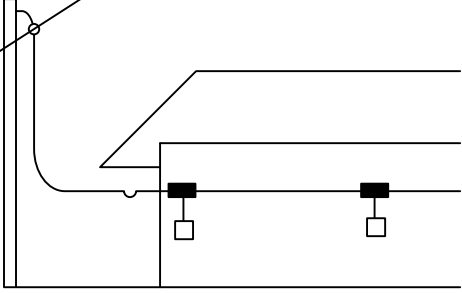
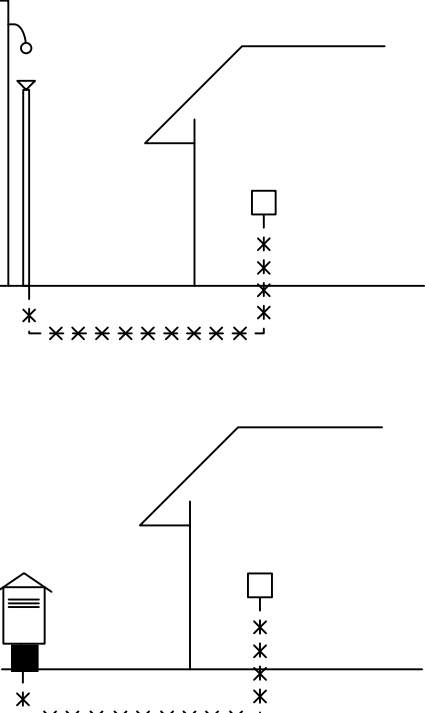
Batas tingkat mutu pelayanan adalah + 5 % sampai - 10 % dari tegangan pelayanan secara keseluruhan. Jatuh tegangan pada Sambungan Tenaga Listrik dibatasi 1 % dan untuk listrik pedesaan 2% .

9.1.1 Jenis Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah

Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah secara umum dibatasi atas 2 bentuk konstruksi sambungan sebagaimana pada tabel 9.1 berikut ini :

Tabel 9.1 Konstruksi Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah

No.	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
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		<ul style="list-style-type: none"> • Daerah-daerah khusus • Perumahan-perumahan eksklusif

9.1.2 Jenis Kabel

Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah pasangan luar memakai jenis kabel pilin (NFAAX-T) dengan inti Alumunium. Pada bagian yang memasuki rumah pelanggan, kabel harus dilindungi dengan pipa PVC atau *flexibel conduit*. Luas penampang penghantar yang dipakai 10mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm².

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

9.1.3 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 dengan 60 meter. Kabel untuk pelayanan ini tidak dibenarkan menyebrang (crossing) jalan raya.

9.1.4 Jarak Aman

Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah tidak boleh terjangkau oleh tangan, menghalangi lalu lalang kendaraan, kabel tidak boleh menyentuh bangunan dan pohon.

9.1.5 Konstruksi Sambungan Kabel Udara

Sambungan/sadapan langsung pada jaringan sebaiknya menggunakan *Hydraulic Compression Connector* atau *Piercing Connector* dengan catatan harus dipilih kualitas produk konektor yang baik.

Tiap-tiap penghantar Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah tersambung tidak digabung dengan penghantar sambungan pelayanan lainnya.

Ikatan/sadapan pada penghantar netral harus berdiri sendiri. Tidak boleh ada sambungan pada kabel sambungan pelayanan. Penggunaan belalai/kumis untuk tempat sadapan sebaiknya dihindari. Terminasi pada papan APP dilakukan dengan bimetal joint sleeve yang kemudian dibungkus dengan *heatshrink cover*.

Kabel Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah harus diikat sedekat mungkin dengan titik sadapan pada jaringan Tegangan Rendah. Klem jepit dipakai sebagai tegangan kabel pada tiang dan anjungan rumah. Kabel harus dilindungi dengan pipa atau sejenis pada bagian yang ada di bangunan rumah sebelum APP. Bentuk kabel diatur sehingga tidak ada air yang dapat masuk ke APP.

9.1.6 Konstruksi Sambungan Kabel Tanah

Untuk Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah dengan Kabel tanah, diberlakukan ketentuan – ketentuan konstruksi saluran kabel tanah Tegangan Rendah.

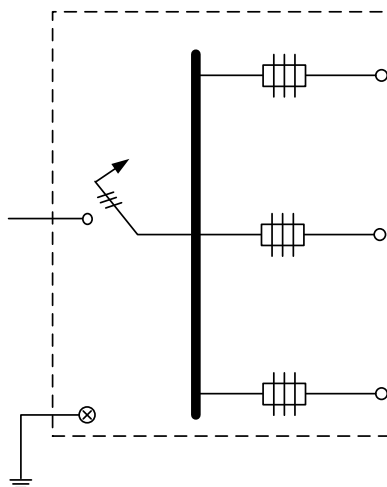
Sambungan dengan beban kecil fasa -1 tidak boleh disambung langsung pada PHB sistem fasa -3 pada saluran utama.

Besarnya beban penghantar, sebesar - besarnya sama dengan arus pengenal gawai proteksinya, namun tidak boleh melebihi Kemampuan Hantar Arus penghantarnya.

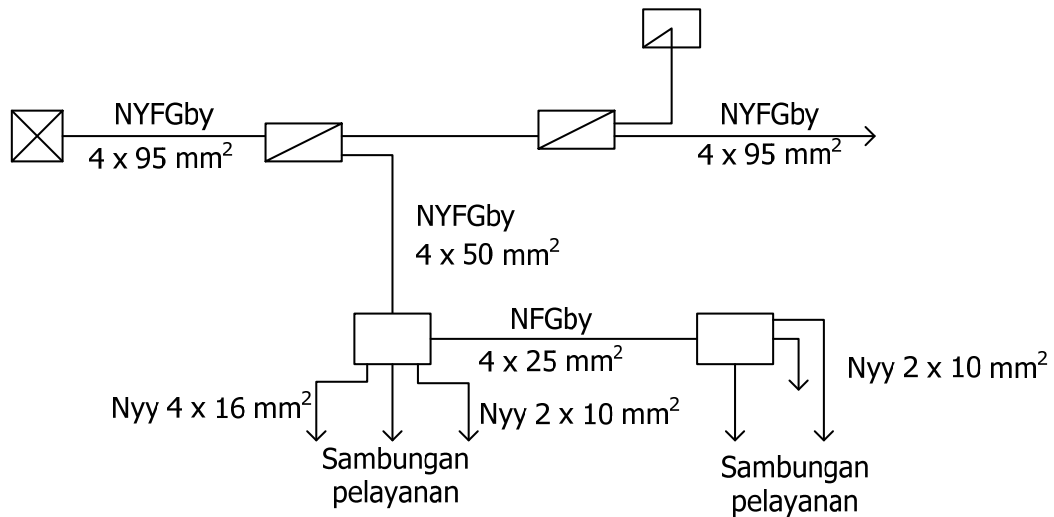
Penyambungan pelanggan kecil harus dilakukan pada PHB cabang

- Sambungan fasa -1 dari PHB khusus untuk sambungan fasa -1
- Sambungan fasa -3 dari PHB khusus untuk sambungan fasa -3
- Sambungan beban motor-motor listrik dari PHB khusus untuk sambungan instalasi tenaga.




Penampang penghantar Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah (STLTR) sekurang-kurangnya 10 mm^2 , dan sedapat mungkin tidak menyebrang jalan raya. Penggunaan penghantar dengan ukuran yang seimbang sesuai dengan besarnya beban pelanggan. Pelanggan dengan daya kecil dipasok dari PHB cabang. Penghantar sirkit masuk dilengkapi saklar sekurang-kurangnya jenis *No Fused Breaker* (NFB) Penghantar keluar dari PHB cabang ke pelanggan diproteksi dengan pengaman lebur.



Gambar 9.1 Papan Hubung Bagi (PHB) Tegangan Rendah.



Gambar 9.2. Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah Sambungan Kabel tanah.

-  : Gardu distribusi
-  : PHB utama
-  : PHB cabang

Jaringan utama memakai kabel NYFGbY $4 \times 95 \text{ mm}^2$, sirkit cabang memakai kabel NYFGbY $4 \times 50 \text{ mm}^2$ dan $4 \times 25 \text{ mm}^2$, sirkit akhir memakai kabel NYY yang dilindungi dengan plastik conduit atau NYFGbY.

Instalasi distribusi Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah pada ruko memakai kabel NYY atau NYFGby, sementara pada kompleks perumahan memakai kabel NYFGbY.

Setiap PHB-TR maksimum 6 sirkit keluar.

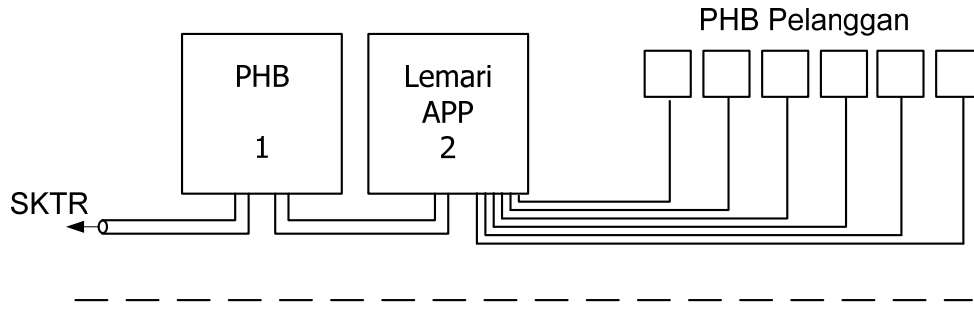
9.1.7 Pemasangan kotak APP dan lemari APP

Kotak APP yang dipasang di luar bangunan adalah dari jenis pasangan luar dengan indeks proteksi keamanan sekurang-kurangnya IP 45 dan dipasang di tempat yang mudah dijangkau untuk pencatatan meter serta berjarak tidak lebih dari 7 meter dari rumah pemanfaat.

Lemari APP dipergunakan untuk sejumlah APP pada rumah susun, pertokoan.

1(satu) lemari APP dipergunakan untuk tidak lebih dari 16 APP.

Lemari APP terpisah dari PHB nya. Semua lemari panel APP dan PHB harus dibumikan



Gambar 9.3. Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Rendah pada Rusun atau Ruko.

9.1.8 Instalasi APP

Instalasi APP di sisi pelanggan terpasang dengan cara:

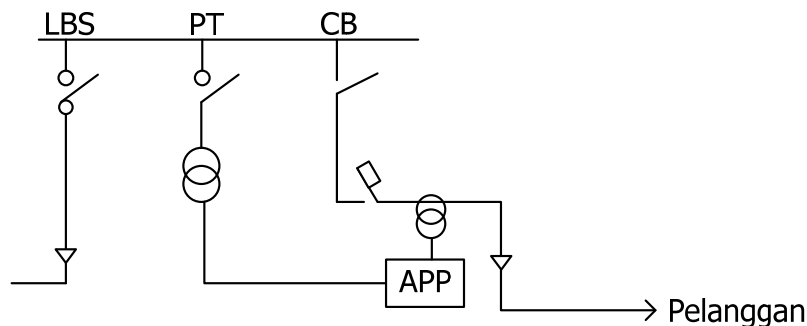
1. Dipasang per pelanggan secara terpisah sesuai ketentuan SPLN 55 *Alat ukur, Pembatas dan Perlengkapannya* dan 57-1 *Meter kWh Arus Bola-balik kelas 0,5, 1 dan 2 Bagian-1: Pasangan Dalam*;
2. Dipasang per pelanggan dengan menggabungkan meter dan alat pembatas secara terpadu (diatur dalam SPLN D3.003 *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 Fase Tunggal*)
4. Khusus pelanggan dengan daya mulai 33 kVA keatas , instalasi APP sebaiknya menggunakan meter elektronik dengan sekurang-kurangnya kelas 0,5.
5. Dan harus dipastikan aman dan tersegel sesuai ketentuan perusahaan

9.2 SAMBUNGAN TENAGA LISTRIK TEGANGAN MENENGAH

Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah (STLTM) adalah sambungan pelayanan dengan tegangan operasi sebesar 20 kV, khususnya untuk pelanggan listrik yang lebih besar dari 197 kVA. Ada sejumlah cara penyambungan (STLTM) pelanggan Tegangan Menengah.

9.2.1 Sambungan dengan Pembatas Relai

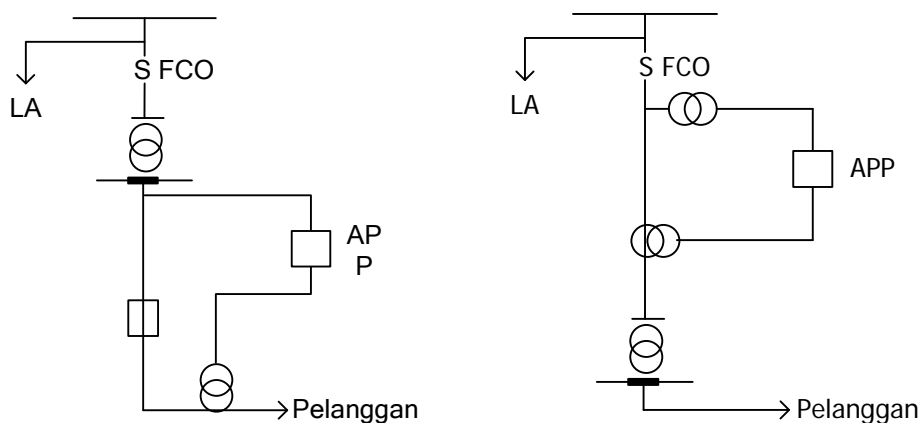
Penyambungan murni Tegangan Menengah dengan relai beban lebih. Sistem ini menggunakan gardu beton



Gambar 9.4 Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Pembatas Relai.

9.2.2. Sambungan dengan Pembatas Pengaman Lebur

Sistem ini memakai penganaman lebur FCO sebagai pembatas beban, umumnya dipakai pada gardu portal.

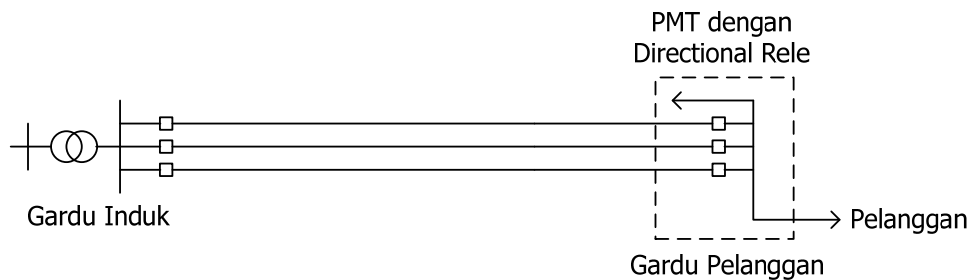


Gambar 9.5 Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Pembatas Pengaman Lebur

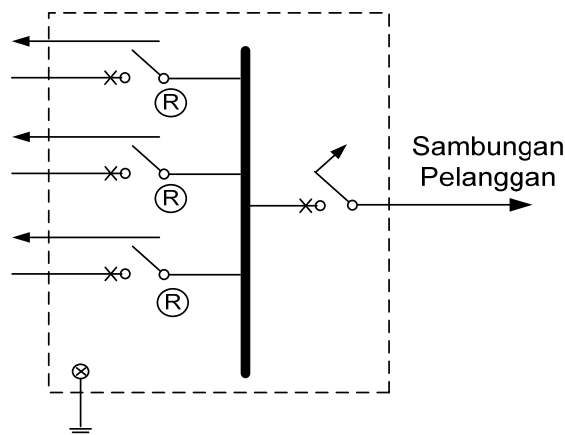
Untuk sambungan murni Tegangan Menengah, jika antara Sambungan Tenaga Listrik sampai ke gardu PLN memakai Kabel tanah lebih dari 100 m, maka harus dilengkapi dengan relai hubung tanah (*under ground relay*)

9.2.3 Sambungan dengan *Spot Load*

Pelanggan yang berlangganan dengan daya lebih besar dari KHA kabel yang dipakai maka pelanggan harus dipasok dengan jumlah kabel sebanyak $n+1$. Pada sisi masuk ke gardu hubung, ditambahkan relai arah (*directional relay*).



Gambar 9.6 Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Spot Load.



Gambar 9.7 Papan Hubung Bagi (PHB)-Tegangan Menengah (TM) Sambungan Tenaga Listrik Tegangan Menengah dengan Spot Load.

Penambahan kabel satu jalur sebagai kabel cadangan (*express feeder*).

9.2.4. Instalasi meter kWh

Instalasi kWh meter Pelanggan Tegangan Menengah harus terpasang pada Gardu Distribusi PLN, dimasukkan dalam panel PHB serta dikunci-disegel dengan baik.

BAB 10

PEMBUMIAN PADA KONSTRUKSI JARINGAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

10.1 KONSEP DASAR PEMBUMIAN

Tujuan pembumian pada suatu sistem tenaga listrik secara umum adalah :

1. Memberikan perlindungan terhadap bahaya listrik bagi pemanfaat listrik dan lingkungannya
2. Mendapatkan keandalan penyaluran pada sistem baik dari segi kualitas, keandalan ataupun kontinuitas penyaluran tenaga listrik
3. Membatasi kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terhubung tanah dan nilai tegangan kerja minimal.

Pada jaringan distribusi tenaga listrik terdapat sejumlah titik pembumian baik pada sisi tegangan menengah maupun pada sisi Tegangan Rendah yaitu:

1. Pembumian pada konstruksi jaringan distribusi
 - a. Pembumian titik netral transformator Gardu Induk
 - b. Pembumian titik netral transformator sisi Tegangan Rendah (sekunder) pada Gardu Distribusi
 - c. Pembumian penghantar netral sisi tegangan menengah dan Tegangan Rendah
 - d. Pembumian penghantar tanah (*shield wire*) sisi Tegangan Rendah
 - e. Pembumian pelindung lapisan tembaga, baja pada kabel bawah tanah
2. Pembumian alat proteksi dan alat ukur
 - a. Pembumian *Lightning Arrester*
 - b. Pembumian CT/PT
3. Pembumian Bagian Konduktif Terbuka dan Ekstra (BKT dan BKE)
 - a. Pembumian badan (panel) PHB-TM, PHB-TR, Kabel Tray/Rak Kabel
 - b. Pembumian Palang (*cross arm/travers*)

- c. Pembumian bagian logam yang bukan merupakan bagian dari instalasi misalnya pintu gardu, pagar besi

10.2 PEMBUMIAN TITIK NETRAL SISI SEKUNDER TRANSFORMATOR TENAGA PADA GARDU INDUK ATAU PEMBANGKIT

Lilitan Transformator tenaga pada Gardu Induk atau Pembangkit pada sisi sekunder (20 kV) mempunyai bentuk hubung bintang. Titik bintang tersebut dibumikan dengan cara :

1. Melalui tahanan :
 - a. Tahanan rendah 12 Ohm, 40 Ohm
 - b. Tahanan sangat rendah (pembumian langsung / solid grounded)
 - c. Tahanan tinggi 500 Ohm
2. Tidak dibumikan (pembumian mengambang), misalnya pada jaringan tegangan menengah di PLTD kecil

Nilai pembumian ini antara lain memberikan variasi jenis konstruksi jaringan, sistem proteksinya dan jangkauan pelayanan jaring distribusinya.

10.2.1 Pembumian dengan nilai tahanan rendah 12 Ohm dan 40 Ohm

Pembumian dengan nilai tahanan rendah ini dipakai di Gardu Induk pada sistem :

1. Tahanan 12 Ohm untuk transformator yang melayani saluran kabel tanah. Nilai arus hubung tanah maksimum sebesar 1000 Ampere.
2. Tahanan 40 Ohm untuk transformator yang melayani khususnya Saluran Udara Tegangan Menengah. Nilai arus hubung tanah maksimum pada sistem tegangan 20 kV sebesar 300 Ampere.

Nilai arus hubung tanah yang besar memudahkan kerja relai proteksi dan memungkinkan memakai relai dengan harga relatif murah. Nilai arus hubung tanah yang kecil tidak cukup besar untuk memutuskan fuse cut out jika terjadi hubung singkat ke tanah pada bagian yang dilindungi.

Pembumian dengan nilai tahanan 12 Ohm dipakai khususnya pada transformator tenaga yang memasok tenaga listrik untuk jaringan kabel tanah di daerah PLN

Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang dan kota Bandung. Lapisan tembaga (*Copper Shield*) kabel dapat menahan arus 1.000 ampere tersebut selama 1 detik. Pembedaan dengan nilai tahanan 40 Ohm dipakai pada transformator untuk jaringan distribusi Saluran Udara di Jawa Barat, Jakarta Raya dan Luar Jawa. Apabila jaringan Tegangan Menengah (Saluran Udara) putus dan mengenai Jaringan Tegangan Rendah, besarnya tegangan naik di Jaringan Tegangan Rendah sebesar 1.500 Volt.

10.2.2 Pembedaan dengan nilai tahanan sangat rendah (*solid grounded*)

Pada sistem ini nilai pembedaan sisi 20 kV transformator Gardu Induk dihubungkan langsung ke bumi. Sistem ini memberikan keuntungan pada jaringan distribusi yaitu :

1. Arus gangguan sangat besar, sehingga memudahkan koordinasi relay.
Fuse cut-out (FCO) digunakan sebagai pembedaan jaringan fasa-tanah dapat bekerja efektif.
2. Jangkauan jaringan distribusi luas.
3. Dengan sistem *multigrounded common netral* pada jaringan TM, memungkinkan sistem fasa-1 pada jaringan TM untuk melistriki daerah-daerah terpencil dengan biaya investasi murah.

Sistem pembedaan ini dipakai pada daerah di PT. PLN Persero Distribusi Jawa Tengah dan Jogjakarta. Oleh karena memakai sistem *multi grounded common netral*, konstruksi jaringan dalam beberapa segi sedikit berbeda dengan sistem konstruksi di daerah lain khususnya pada Saluran Udara Tegangan Menengah, spesifikasi transformator serta sistem Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR).

Arus gangguan tanah yang terjadi sangat besar, sesuai dengan kecilnya impedansi gangguan. Semua tiang dan bagian konduktif terbuka pada jaringan dihubungkan dengan penghantar netral bersama yang pada tiap-tiap tiang dihubungkan tanahkan. Besarnya nilai pembedaan sebesar-besarnya 5 Ohm.

10.2.3 Pembedaan dengan nilai tahanan tinggi

Pada sistem ini nilai tahanan pembedaan (NGR) sisi 20 kV transformator tenaga di Gardu Induk atau pembangkit sebesar 500 Ohm.

Dengan nilai pembumian yang tinggi ini maka arus gangguan ke tanah relatif kecil, yaitu sebesar 25 Ampere. Nilai arus sebesar ini akan memberikan tegangan sebesar 125 Volt jika terjadi saluran udara TM putus dan terkena Jaringan TR sehingga keamanan umum lebih terjamin.

Sistem pembumian pada titik-titik di jaringan sama dengan sistem pembumian di PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang

10.2.4 Pembumian Mengambang

Pembumian Mengambang saat ini di PLN hanya ada pada sistem kelistrikan pedesaan dengan pembangkit kecil sebagai sumber pembangkit listrik, dan tidak ada pembumian pada sisi transformator 20 kV, namun ada pembumian pada *lightning arrester* (LA) sisi sekunder transformator dan bagian konduktif terbuka jaringan.

Pembumian pada Jaringan Tegangan Rendahnya memakai sistem TN-C, namun hanya ada pada 1(satu) tiang sebelum tiang akhir penyulang utama atau penghantar paling besar.

10.3 PEMBUMIAN TITIK NETRAL TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

- Titik netral transformator sisi Tegangan Rendah dibumikan dengan penghantar tembaga yang berukuran sama dengan penghantar netral kabel transformator ke PHB-TR. Apabila terjadi hubung tanah satu fasa, tidak menaikkan tegangan fasa yang lain terhadap.
- Nilai tahanan elektroda pembumian tidak melebihi 1 Ohm

Pembumian titik netral pada Gardu Distribusi Beton dapat dilakukan melalui 2 cara:

- a. Penghantar titik netral transformator dibumikan di luar instalasi pembumian gardu yaitu pada tiang pertama saluran udara Tegangan Rendah atau pada PHB pertama Saluran Kabel tanah Tegangan Rendah pada penghantar netralnya. Massa trafo dan kubikel PHB di bumikan tersendiri.

- b. Penghantar titik netral transformator di bumikan pada perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendahnya. Pembumian memakai penghantar tembaga dengan penampang sekurang-kurangnya 50 mm^2 dan di hubungkan ikatan pembumian bersama bagian konduktif terbuka (massa trafo, kubikel dll)

10.4 PEMBUMIAN PADA JARING 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 1 (satu) tiang sebelum tiang akhir.
2. Besar nilai pembumian satu elektroda maksimal 10 Ohm. Tahanan total pada gardu dan JTR maksimal 5 Ohm
3. Pada sistem *multi grounded common neutral*, penghantar netral sistem Tegangan Rendah juga menjadi penghantar netral sistem Tegangan Menengahnya. Ketentuan pada standar konstruksi di PLN Distribusi Jawa Tengah pada setiap tiang, penghantar tersebut dihubungkan dengan terminal pembumian tiang, namun hubungan dengan elektroda pembumian dilakukan pada tiap 5 (lima) tiang.

10.5 PEMBUMIAN PADA GARDU DISTRIBUSI

Bagian-bagian yang dibumikan pada gardu distribusi adalah :

1. Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE) misalnya pintu gardu, panel kubikel.
2. Terminal netral sisi Tegangan Rendah transformator distribusi
3. Lapisan pelindung elektris kabel tegangan menengah pada kubikel
4. *Lightning Arrester* pada Gardu Portal

Tidak boleh membumikan bagian-bagian tersebut sendiri-sendiri, kecuali pembumian lightning arrester. Penghantar pembumian bagian-bagian tersebut dihubungkan pada suatu ikatan ekipotensial, selanjutnya ikatan ekipotensial tersebut dibumikan, sehingga gradien kenaikan tegangan terhadap bumi akibat

gangguan ke tanah pada semua bagian instalasi sama besarnya. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm (1,7 Ohm pada buku standar konstruksi DJBB).

10.6 PEMBUMIAN PENGHANTAR TANAH (*SHIELD WIRE/EARTH WIRE*)

Secara umum penghantar tanah atau *earth wire/shield wire* tidak dipergunakan. Penghantar ini dipasang diatas jaringan SUTM pada daerah padat petir yang terbuka dan dihubungkan langsung dengan tiang dan dibumikan. Penggunaan penghantar tanah ini hendaknya di kaji secara baik antara lain tingkat Ik yang ada. Pemasangan pada daerah-daerah yang terdapat bangunan/pohon yang lebih tinggi dari tinggi dari jaringan dinilai kurang efektif.

10.7 PEMBUMIAN LIGHTNING ARRESTER

Lightning Arrester (LA) dibumikan dengan elektroda tersendiri. Pada gardu distribusi tipe portal, elektroda pembumian titik netral transformator terpisah dengan elektroda pembumian *Lightning Arrester*.

Untuk mendapatkan gradien tegangan yang sama terhadap bumi, penghantar pembumian *lightning arrester* dengan titik netral sisi Tegangan Rendah transformator distribusi dihubungkan secara mekanis (di bonding) di bawah tanah. Pada pada gardu portal dan gardu cantol, penghantar pembumian *lightning arrester* disatukan dengan badan transformator dan selanjutnya dibumikan.

BAB 11

PERHITUNGAN TERAPAN

BEBAN TERSAMBUNG TRANSFORMATOR

11.1 BEBAN TERSAMBUNG TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

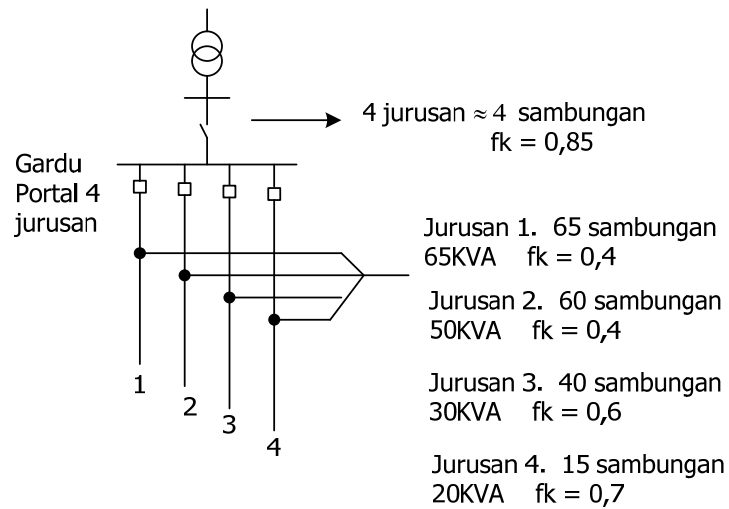
Kapasitas daya transformator adalah sesuai dengan data teknis transformator pada nameplate-nya. Transformator dapat dibebani terus-menerus sesuai kapasitas dayanya dan dapat dibebani lebih besar dari kapasitas transformator dengan merujuk pada standard PLN yang berlaku.

Daya tersambung pada transformator adalah total daya tersambung pada suatu transformator.

Untuk menghitung besarnya beban pada transformator perlu diperhatikan faktor kebersamaan pelanggan sebagai berikut :

Tabel 11.1. Faktor Kebersamaan.

Jumlah sambungan jenis pelanggan Heterogen	Faktor Kebersamaan (<i>coincidence factor</i>) fk
2 – 4	0,85
6 – 10	0,80
11 – 20	0,7
21 – 40	0,6
> 40	0,4

Contoh 1 :

Total daya tersambung (65 + 50 + 30 + 20) = 165 kVA

Beban maksimum gardu : $(0,4 \times 65 + 0,4 \times 50 + 0,6 \times 30 + 0,7 \times 20) \times 0,85 = 66,3$
KVA

Pilih kapasitas transformator 100 KVA

Metoda faktor kebersamaan ini efektif untuk variasi pelanggan yang heterogen (pertokoan, perumahan, dll). Untuk pelanggan dengan karakteristik yang sama misalnya pelanggan pada perumahan BTN/Perumnas/Rusun harus diambil angka kebersamaan yang lebih tinggi (sekitar 0,8 – 0,9).

Contoh 2 :

- Gardu transformator listrik desa
- Jumlah tiang JTR total : 110
- Jumlah jurusan PHB TR 4 jurusan
- Rata-rata sambungan per tiang $\frac{3}{4}$ sambungan (data statistik)
- Rata-rata KVA per pelanggan 0,45 KVA
- Karakteristik pelanggan homogen dengan faktor kebersamaan 0,8
- Beban trafo

$$\{(110 \times 0,45 \times \frac{3}{4}) \times 0,8\} 0,8 = 23,76 \text{ KVA}$$

Dipilih tranformator 25 KVA

11.2 KAPASITAS TRANSFORMATOR

Didalam sistem distribusi terdapat dua jenis transformator yang dipakai :

- Jenis pasangan luar pada gardu portal, cantol
- Jenis pasangan dalam, pada gardu beton, kios atau pasangan dalam ruang.

Untuk pemakaian pasangan dalam ruang diperkirakan faktor temperatur ruang (*ambient temperature*) sebesar 30°C dengan pendinginan alami (ONAN).

Data persentasi (%) impedansi transformator fasa-3 dan fasa-1, lihat tabel 11.2

Tabel 11.2. Persentasi (%) impedansi Transformator fasa-3 dan fasa -1.

No.	Kapasitas	Sistem	% Impedansi
1.	25 KVA	Fasa -2 Fasa -1	4 %
2.	50 KVA	Fasa -3 Fasa -2 Fasa -1	4 %
3.	100 KVA	Fasa -3	4 %
4.	160 KVA	Fasa -3	4 %
11.	250 KVA	Fasa -3	4 %
6.	315 KVA	Fasa -3	4 %
7.	400 KVA	Fasa -3	4 %
8.	630 KVA	Fasa -3	4 %
9.	1000 KVA	Fasa -3	4,5 - 5 %

Untuk pemakaian transformator 1000 KVA perlu dipertimbangkan kemampuan hubung singkat perlengkapan hubung bagi pada sisi tegangan rendah.

11.3 PROTEKSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI

Transformator distribusi dilindungi dengan gawai-gawai proteksi :

- Pengaman lebur, untuk proteksi hubung singkat
- Relai beban lebih, untuk proteksi beban lebih
- Lightning Arrester* dan sela batang untuk memproteksi terhadap tegangan lebih akibat surja petir.

11.3.1 Proteksi Hubung Singkat dan Beban Lebih

Transformator distribusi dilindungi dengan pengaman lebur jenis HRC (*High Rupturing Capacity*) pada sisi primer. Untuk gardu distribusi pasangan dalam digunakan pengaman lebur jenis pembatas arus sedangkan untuk gardu distribusi pasangan luar digunakan jenis letupan.

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out* (FCO) dalam bentuk *Fuse Link*.

Terdapat 3 jenis karakteristik *Fuse Link* yaitu, tipe-K (cepat), tipe-T (lambat) dan tipe-H yang tahan terhadap arus surja.

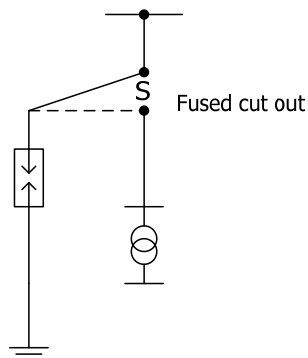
Proteksi beban lebih dipakai pada transformator-transformator dengan kapasitas besar (diatas 1 MVA) dengan memakai relai arus lebih dan pada pengaman lebur di PHB-TR.

Tabel 11.3 memberikan data aplikasi pengaman lebur dan kapasitas transformatornya. Apabila tidak terdapat petunjuk yang lengkap, nilai arus pengenalan pengaman lebur sisi primer tidak melebihi 2,5 kali arus nominal primer transformator. Jika sadapan *Lightning Arrester* (LA) sesudah *Fused Cut Out*, dipilih *Fuse Link* tipe-H. jika sebelum *Fused Cut Out* (FCO) dipilih fuse titik tipe-K.

11.3.2 *Lightning Arrester* (LA) dan Sela Batang

Transformator distribusi, khususnya pada pasangan luar dilindungi dari tegangan lebih akibat surja petir. LA dapat dipasang sebelum atau sesudah *Fused Cut Out*, tergantung atas kebijaksanaan atau keputusan dari PT PLN Wilayah atau dari PT PLN Distribusi setempat.

Rekomendasi pemasangan dalam hal ini adalah *Lightning Arrester* (LA) dipasang sebelum *Fused Cut Out* (FCO)



Untuk pengaman transformator distribusi terdapat nilai arus pengenalan LA :

5 KA – 10 KA – 15 KA

Untuk tingkat IKL diatas 110, sebaiknya tipe 15 KA. Transformator yang dipasang pada tengah-tengah jaringan memakai LA 5 KA, untuk yang terpasang di ujung jaringan dipasang LA – 10 KA.

Tabel 11.3 Jenis Pelebur Pembatas Arus Transformator Distribusi.

(Publikasi IEC 282-2 (1970)/NEMA) di sisi primer berikut pelebur jenis pembatas arus. Publikasi IEC 269-2 (1973) di sisi Sekunder (230/400 V) yang merupakan pasangan yang diselaraskan sebagai pengaman trafo distribusi

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 parallel

**)Tipe H = pelebur tahan surja kilat

Tipe T = pelebur tipe lambat

Tipe K = pelebur tipe cepat

Arus pengenal pelebur jenis letupan (expulsion) tipe-H (tahan surja kilat) tipe-T (lambat) dan tipe-K (cepat) menurut publikasi IEC No. 282-2 (1974) – NEMA untuk pengaman berbagai daya pengenal trafo, dengan atau tanpa koordinasi dengan pengamanan sisi sekunder dapat dilihat pada Table 11.4

Tabel 11.4. Arus Pengenal Pelebur Letupan.

Trafo distribusi		Pelebur / tipe **) Arus pengenal (A)		Ratio pelebur I_{nom} pelebur
Daya Pengenal (kVA)	Arus pengenal (A)	Minimum	Maksimum	I_{nom} trafo
Fasa tunggal, $\frac{20kV}{\sqrt{3}}$				
16	1,3856	2 H	2 H	1,44
25	2,1651	3,15 H	3,15 H	1,45
50	4,3301	5 H	6,3 T	1,45, 1,45
Fasa tiga, 20 kV				
50	1,4434	2 H	2 H	1,38
100	2,8867	5 H	6,3 K ; 6,3 T	1,73 ; 2,18
160	4,6188	6,3 H	8 K ; 8 T	1,36 ; 1,73
200	5,7735	6,3 H	10 K ; 10 T	1,091 ; 1,73
250	7,2169	8 T	12,5 K ; 12,5 T	1,10 ; 1,73
315	9,0933	10 T	12,5 K ; 12,5 T	1,09 ; 1,37
400	11,5470	12,5 T	16 K ; 16 T	1,08 ; 1,38
500	14,4337	16 T	20 K ; 20 T	1,10 ; 1,38
630	18,1765	20 T	25 K ; 25 T	1,09 ; 1,37
800	23,0940	25 T	31,5 K ; 31,5 T	1,08 ; 1,36
1000	28,8675	31,5 T	40 K ; 40 T	1,09 ; 1,38

Catatan : *) Bila pada sisi sekunder dipasang pelebur/pengaman yang dikoordinasikan dengan kerja pelebur sisi primer, maka arus nominal pelebur pada tabel diatas bergeser naik.

**) Tipe H = pelebur tahan surja kilat
Tipe T = pelebur tipe lambat
Tipe K = pelebur tipe cepat

11.3.3 Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR)

Daya terpasang transformator di distribusikan melalui PHB-TR dengan jumlah maksimum 6 jurusan. Konstruksi dan dimensi busbar/rel PHB-TR harus mampu menahan akibat hubung singkat pada rel tersebut dan mampu memikul beban nominalnya.

Beban nominal PHB-TR sama dengan arus nominal transformator sisi sekunder. Kemampuan Hantar Arus (KHA) maksimum rel tidak kurang dari 125 % arus nominal penghantar kabel TR antara transformator dan PHB-TR.

Kemampuan hubung singkat Konstruksi rel PHB-TR dipilih sekurang-kurangnya 125 % dari kemampuan hubung singkat berdasarkan hasil perhitungan.

Saklar utama pada sisi masuk mempunyai arus pengenal tidak kurang dari Kemampuan Hantar Arus kabel TR antara transformator dan PHB-TR.

Penghantar kabel antara transformator dan PHB-TR mempunyai Kemampuan Hantar Arus sekurang-kurangnya 115 % dari Arus Nominal transformator pada sisi sekunder.

Contoh 1 :

- Transformator 630 kVA, 4%, 20kV/380 Volt
- $I_s = \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 380} = 957 \text{ Ampere}$
- Kemampuan Hantar Arus penghantar transformator-PHB TR sekurang-kurangnya

$$\text{KHA} = 115 \% \times 957 \text{ A} = 1100 \text{ Ampere}$$

- Arus pengenal saklar utama PHB-TR sekurang-kurangnya 1100 A
- Kemampuan Hantar Arus rel PHB-TR = 125% x 957 A = 1196 ≈ 1200 A
- Kemampuan arus hubung singkat konstruksi rel PHB-TR (*short time withstand current*)

$$125 \% \times \frac{957}{4\%} = 29900 \text{ Ampere} \approx 30 \text{ kA}$$

Atau dipilih 25 kA untuk lama 0,5 detik.

Contoh 2 :

Gardu portal dengan transformator distribusi 200 kVA, PHB-TR 4 jurusan dengan pengaman jenis NH, beban terbagi rata pada tiap penyulang Tegangan Rendah, fFaktor Kebersamaan FK = 0,85

Lightning Arrester (LA) dipasang sebelum *Fused Cut Out (FCO)*

Sisi Primer, Ip

- $I_p = \frac{S}{\sqrt{3}.V} = \frac{200kVA}{\sqrt{3}.20kV} = 5,7$ Ampere
- I pengaman lebur sisi primer = $5,7 \times 2 = 11,4$ Ampere
- Dipilih *fuse-link* tipe-T 12,5 Ampere

Sisi Sekunder

- $I_s = \frac{S}{\sqrt{3}.V} = \frac{200kVA}{\sqrt{3}.380V} = 304$ Ampere
- Arus tiap jurusan = $\frac{304}{4.fk} = \frac{304}{4.0,85} = 89$ Ampere
- Dipilih NH-Fuse dengan rating dibawah kemampuan hantar arus kabel TR.
- Untuk kabel Pilin 3 x 70 (mm²) + N ≈ 170 A dipilih NH-Fuse 160 A

BAB 12

PENGUNAAN SCADA

(Supervisory Control and Data Acquisition)

Sistem SCADA dipakai terutama untuk meningkatkan pelayanan kepada para pelanggan listrik dengan cara mengurangi lama waktu padam dan kemudahan dalam mendapatkan data-data operasional serta posisi/ kedudukan gawai-gawai kendali pada instalasi listrik.

Terdapat tiga kontrol jarak jauh untuk maksud tersebut diatas :

1. Tele metering
2. Tele signal
3. Tele control

Tele Metering – TM

Tele metering adalah melakukan pengukuran besaran-besaran operasi melalui pengamatan jarak jauh secara real time meliputi arus beban, tegangan kerja, frekwensi, KVA/KVAr, PF dll

Tele Signal

Tele signal mendapatkan data posisi gawai-gawai kendali dalam posisi terbuka-tertutup misalnya, posisi saklar pada pemutus tenaga, pemisah penyulang, pemutus beban pada Gardu Distribusi/ key point dan Gardu Hubung.

Tele Control – TC

Tele control memberikan fasilitas membuka–menutup saklar pemutus tenaga dan pemutus beban pada Gardu Induk, Gardu Distribusi (*middle point*) dan Gardu Hubung serta *Key-Point*.

Fasilitas-fasilitas tersebut tersimpan dan ditempatkan pada peralatan yang disebut *Remoted Terminal Unit* (RTU). RTU ditempatkan pada lokasi-lokasi yang memerlukan fasilitas tele metering, tele kontrol dan tele signal.

Tabel 12.1 Contoh Lay –out diagram sistem SCADA PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Saluran Kabel tanah Tegangan Menengah

Lokasi	Bagan Satu Garis	Posisi	Fasilitas
Gardu Induk		1. PMT-income trafo Gardu Induk dan pemisah incoming rel I-II	Tele mekanis Tele Mekanis Tele-signal Tele-Control
Penyulang TM		2. PMT-dan pemisah <i>outgoing</i> penyulang	Tele Signal Tele control
Gardu Distribusi		3. <i>Load Break Swicth</i> Gardu Tengah/ <i>middle point</i>	Tele Signal Tele control
Gardu Hubung		4. <i>Load Break Swicth</i> Gardu Hubung	Tele Signal Tele control
		5. <i>Load Break Swicth</i> Gardu pelanggan khusus/VVIP	Tele signal Tele Control

Tabel 12.2 Contoh Lay –out diagram sistem SCADA PLN Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Saluran Udara Tegangan Menengah

Lokasi	Bagan Satu Garis	Posisi	Fasilitas
Gardu Induk		1. PMT dan pemisah incoming Rel 1-2	Telemetering
Saluran Udara		2. PMT dan pemisah outgoing penyulang	Tele metering Tele control Tele signal
Key-Point		3,4 Key point <i>Load Break Swicth</i> pada Gardu Beton atau <i>Pole mounted Load Break Swicth</i>	Tele control Tele signal

Gardu Tengah (Middle Point) dan Key Point

Middle Point

Pada penyulang saluran kabel tanah, *Middle Point* ditempatkan dengan konsep 50% , yaitu 50 % sebelum dan sesudah titik/Gardu Tengah dengan beban sama besar.

Key Point

Key Point lebih banyak ditempatkan pada Saluran Udara Tegangan Menengah. Posisi penempatannya berdasarkan pembagian kerja tegangan dan panjang jaringan. *Key Point* ditempatkan pada Saluran Udara Tegangan Menengah pada Saluran Udara.

Fasilitas telekomunikasi

Fasilitas telekomunikasi menggunakan :

1. Kabel telepon, namun saat ini mulai diganti dengan fasilitas kabel fiber optik
2. frekwensi radio, khususnya untuk telekomunikasi key pont dengan pusat pengendali.

Fasilitas SCADA pada *Middle Point*

Titik middle point atau Gardu tengah memberikan fasilitas telekontrol dan telesignal dilengkapi dengan :

1. *Remote Terminal Unit* (RTU)
2. Kubikel *Load Break Swich* dengan kemampuan motorized 24 Volt atau 48 Volt DC
3. *DC Power Supply* dan UPS
4. Fault indicator lamp
5. Ring-O transformator arus

Perlengkapan berdasarkan dengan sistem dan teknologi yang dianut PLN

Fasilitas pada Gardu Hubung dan *Key-Point*

Pada Gardu Hubung tidak tersedia *fault indicator lamp*, sehingga hanya ada :

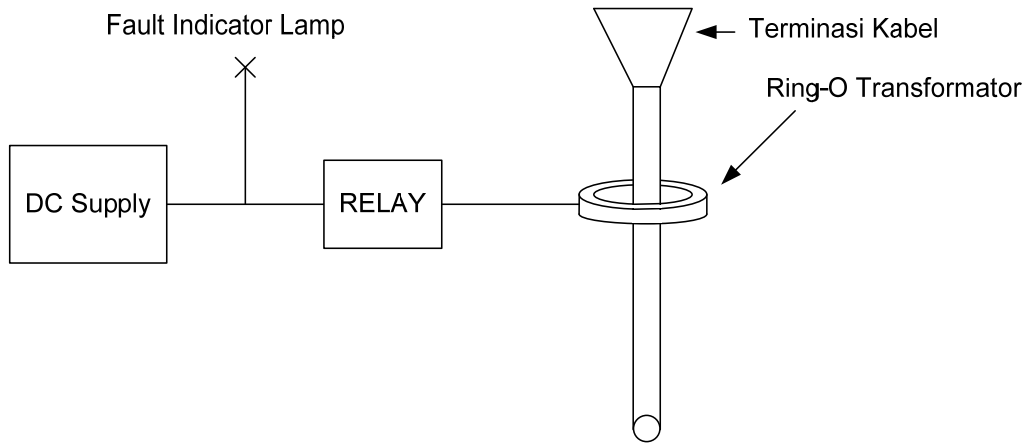
1. *Remote Terminal Unit* (RTU)
2. Kubikel *Load Break Swich* (LBS) yang dilengkapi motor listrik
3. *DC Power supply* dengan UPS

Fasilitas pada Gardu Distribusi dan *Key Point*

Pada Gardu Distribusi tersedia perlengkapan

1. Fault indicator lamp
2. Ring-O transformator pada terminal
3. *DC Power supply* dengan UPS

Lampu fault indicator terpasang pada pintu Gardu, akan menyala jika dilewati arus gangguan tanah (*homopolar current*). Lampu harus direset untuk penormalan jika lokasi gangguan telah ditemukan.



Gambar 12.1. Pemasangan Lampu fault Indikator.

Pada *Key Point* dengan pemasangan pada tiang, fault indicator terpasang pada tiang untuk Gardu Tiang.

GLOSARI

ISTILAH	URAIAN	ISTILAH LAIN
AAC	All Alumunium Conductor Penghantar Alumunium murni	
AAAC	All Alumunium Alloy Conductor (Almelec)	Alumunium Alloy
ABSW	Air Break Switch : Pemutus beban Pasangan luar	PTS. Pole Top switch
ACSR	Alumunium Conductor Steel Reinforced Penghantar alumunium dengan penguat baja pada inti penghantar	
Alumunium Alloy	All Alumunium Alloy Conductor (Almelec)	AAAC
Arde	Sistem pembumian, semua komponen yang ada pada sistem pembumian, penghantar, elektroda, klem konektor yang digunakan sebagai instalasi pembumian	Earthing Sistem
As Built Drawing	Gambar dokumentasi hasil pelaksanaan	
Breaking Capacity	Kemampuan pemutusan	
Breaking load	Ultimate Tension Strength batas maksimum kekuatan mekanis penghantar	UTS
Bimetal Joint	Sambungan berupa dua metal berbeda yang digabungkan (contoh : Al-Cu)	Sambungan Bimetal
BKE	Bagian Konduktif Extra. (Extraneous conducting part). Bukan bagian dari sistem , dapat bertegangan jika terjadi kegagalan isolasi atau beban tidak seimbang.	
BKT	Bagian Konduktif Terbuka (Exposed Conducting Parts) tidak bertegangan. Bisa bertegangan jika terjadi kegagalan isolasi	
Circuit	Sirkuit, rangkaian	
Connector	Konektor	Sambungan Tee-off

ISTILAH	URAIAN	ISTILAH LAIN
Clearence	Jarak aman, jarak minimum antar penghantar dengan benda/bangunan/pohon dengan permukaan tanah.	Safety Clearence
CSP	Compeletely Self Protected transformator dengan proteksi tegangan rendah, terpasang lengkap pada transformator.	
Deadend Clamp	Klem jepit	
DS	Disconnecting Switch Pemisah	Pemisah
Earthing Knife	Pisau tanah. Saklar tanah untuk pembumian menyalurkan muatan elektrik ke bumi.	
Earthing Sistem	Sistem pembumian, semua komponen yang ada pada sistem pembumian, penghantar, elektroda, klem konektor yang digunakan sebagai instalasi pembumian	Arde
Earth Wire	Kawat tanah yang dipasang diatas penghantar aktif berfungsi mengamankan jaringan dari sambaran petir langsung	Ground Wire
Elektroda Bumi	Bagian penghantar pembumian dan elektroda bumi yang tertanam dalam tanah.	
FCO	Fused Cut-Out. Pemisah beban yang dilengkapi dengan Pengaman lebur dipasang pada jaringan saluran udara dan gardu distribusi portal.	
Fixing Collar	Klem berbentuk bulat penjepit tiang	Sengkang, Collar
Fuse	Pengaman lebur	Sekering
Fuselink	Elemen lebur pada Pengaman Lebur, akan putus jika terjadi hubung pendek pada bagian yang dilindungi	
Fuse Rating	Nilai arus pengenal dari pengaman lebur	
Gawang	Jarak antar tiang	Span

ISTILAH	URAIAN	ISTILAH LAIN
Ground Wire	Kawat tanah yang dipasang diatas penghantar aktif berfungsi mengamankan jaringan dari sambaran petir langsung	Earth Wire
Guy Wire	Topang tarik konstruksi yang terdiri atas kawat baja, anker isolator, klem, sengkang untuk membantu kekuatan tiang	Trekskur
HRC Fuse	High Rupturing Capacity. Pengaman lebur dengan kemampuan pemutusan tinggi.	NH, NT, NF
IBC	Insulated Bundled Conductor Kabel twisted/kabel berpilin	Kabel Twisted
Invoering	Tutup lubang di atas	Protective Cup
ITC	Insulated Twisted Conductor, Kabel Twisted	Kabel Twisted
Jepitan buaya	Pemegang penghantar pada tiang awal/akhir.	Strain clamp, Tension clamp
Kabel Twisted	Insulated Bundled Conductor Kabel twisted/kabel berpilin	IBC
Kabel Utama	Kabel sirkuit utama dari APP KE PHB pelanggan	Toevoer, Kabel U
Kabel U	Kabel sirkuit utama dari APP KE PHB pelanggan	Toevoer, Kabel Utama
Klem jepit	Klem yang mengikat penghantar dan kemudian digantung pada tiang	Wedge Clamp
Kontramast-horizontal guy wire	Guy wire antar tiang	Span Guy Wire
LBS	Load Break Switch Pemutus dalam keadaan berbeban	Pemutus beban
Lemari panel, lemari hubung bagi box panel.	Perlengkapan Hubung Bagi dengan atau tanpa kendali, membagi dan mengendalikan sirkuit listrik	PHB
LVTC	Low Voltage Twisted Cable. Kabel twisted tegangan rendah	Kabel Twisted
MCB	Mini Circuit Breaker	
NH, NT, NF	High Rupturing Capacity. Pengaman lebur dengan kemampuan pemutusan tinggi.	HRC Fuse
Overload Current	Arus beban lebih, arus lebih yang terjadi bukan oleh sebab gangguan	

ISTILAH	URAIAN	ISTILAH LAIN
Pemisah	Disconnecting Switch Pemisah	DS
Pemutus beban	Load Break Switch Pemutus dalam keadaan berbeban	LBS
PHB	Perlengkapan Hubung Bagi dengan atau tanpa kendali, membagi dan mengendalikan sirkit listrik	Lemari panel, lemari hubung bagi box panel.
Preformed Tie	Pengikat penghantar pada isolator yang telah dibentuk.	
Protective Cup	Tutup lubang di atas	Invoering
PTS. Pole Top switch	Air Break Switch : Pemutus beban Pasangan luar	ABSW
PVC	Poly-Vinyl Chloride	
Rated Current	Arus pengenal yang mendasari pembuatan suatu alat listrik	
Right of Way	Ruang bebas lintasan saluran/jaringan tenaga listrik pada suatu lintasan.	
Safety Clearence	Jarak aman, jarak minimum antar penghantar dengan benda/bangunan/pohon dengan permukaan tanah.	Clearence
Safety Distance	Jarak aman antara penghantar aktif dengan bagian lain yang terhubung dengan bumi.	
Sag	Jarak antara titik terendah penghantar dihitung dari garis horizontal antar tiang	Lendutan, Andongan
Sambungan Bimetal	Sambungan berupa dua metal berbeda yang digabungkan (contoh : Al-Cu)	Bimetal Joint
Sambungan langsung	Selubung sambungan kabel	Sleeve – Joint sleeve
Sambungan rumah – SR	Sambungan pelayanan	Service Entrance
Sambungan Tee-off	Konektor	Connector
Sengkang	Klem berbentuk bulat penjepit tiang	Fixing Collar, Collar
Sekering	Pengaman lebur	Fuse
Service Entrance	Sambungan pelayanan	Sambungan rumah – SR
Sleeve – Joint sleeve	Selubung sambungan kabel	Sambungan langsung
Span	Jarak antar tiang	Gawang

ISTILAH	URAIAN	ISTILAH LAIN
Span Guy Wire	Guy wire antar tiang	Kontramast- horizontal guy wire
Short Circuit Current	Arus hubung pendek yang terjadi akibat gangguan atau kegagalan operasi	
Side Tie	Ikatan penghantar pada leher isolator tumpu.	
Strain clamp	Pemegang penghantar pada tiang awal/akhir.	Tension clamp, Jepitan buaya
Strain hook	Pengait wedge cable clamp yang digantung pada bangunan rumah	Klem tarik, Jangkar sekerup
Suspension clamp	Gantungan penjepit penghantar pada tiang tumpu.	Klem gantung
Tension clamp	Pemegang penghantar pada tiang awal/akhir.	Strain clamp, Jepitan buaya
Toevoer	Kabel sirkuit utama dari APP KE PHB pelanggan	Kabel Utama, Kabel U
Top Tie	Ikatan penghantar pada bagian atas isoator tumpu.	
Trekskur	Topang tarik konstruksi yang terdiri atas kawat baja, anker isolator, klem, seng kang untuk membantu kekuatan tiang	Guy Wire
TN-C	Sistem pembumian dimana penghantar netral juga berfungsi sebagai penghantar pembumian.	
TN-S	Sistem pembumian dimana penghantar netral dan penghantar pembumian berdiri sendiri	
TN-C-S	Gabungan antara TN-C dan TN-S.	PNP pembumian netral pengaman
UTS	Ultimate Tension Strength batas maksimum kekuatan mekanis penghantar	Breaking load
Wedge Clamp	Klem yang mengikat penghantar dan kemudian digantung pada tiang	Klem jepit
XLPE	Cross Linked PoliEthylene	

DAFTAR PUSTAKA

1. Standar Nasional Indonesia
2. SNI No. 04-0225-2000 : Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)
3. Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN)
4. Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PT. PLN Persero Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang Buku I, II, III, IV, V, VI , Jakarta 1994
5. Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PT. PLN Persero Distribusi Jawa Tengah dan Jogjakarta, 2008
6. Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PT PLN Persero Distribusi Jawa Timur
7. Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PT. PLN Persero Distribusi Bali, FITCHNER+
8. CACREI, Pilot Projek PT PLN Persero Wilayah VIII, 1988
9. Alluminium Conductor Francais 1984
10. Modul Pelatihan PDKB, Perhitungan Mekanika Terapan, PT PLN Jasa Diklat Semarang, 1992
11. Agenda PLN 1984, Perhitungan Listrik Terapan
12. Dokumen SOFRELEC – CHASS.T.MAIN tahun 1975
13. Acuan P3B tentang Telekomunikasi Data
14. Haliday Resnick, Fisika Mekanika, Erlangga, Jakarta, 1997