

LAPORAN KERJA PRAKTEK

PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN TRANSFORMATOR DAYA

**PT. PLN (PERSERO) UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP)
SIANTAR KOTA**

DI SUSUN OLEH :

HELVI PETER WARUWU

188120007



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MEDAN AREA

2021

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 29/11/22

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area Access From (repository.uma.ac.id)29/11/22

LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN AKHIR PELAKSANAAN KERJA PRAKTEK
PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN TRANSFORMATOR DAYA

Disusun Oleh :

Nama : HELVI PETER WARUWU
NPM : 188120007
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Dosen Pembimbing Kerja Praktek

(Syarifah Muthia Putri, ST. MT)

Dosen Pembimbing Lapangan

(Yudhi Indrawan Harefa)



Ketua Program Studi Teknik Elektro



(Syarifah Muthia Putri, S.Pd, MT)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan yang maha Esa, karena atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas Kerja Praktek ini.

Laporan tugas Kerja Praktek ini berjudul “Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota” ini dimaksudkan untuk menyelesaikan Program Pendidikan Sarjana (S1) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Fakultas Teknik Universitas Medan Area.

Dalam proses penyusunan tugas Laporan Kerja Praktek ini, penulis telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan baik berupa material, informasi, dan segi administrasi. Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Keluarga yang telah memberi bantuan dan motivasi smpai kegiatan ini selesai.
2. Bapak Dr. Rahmad Syah, S.kom, M. kom, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
3. Bapak Habib Satria, S.Pd, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Medan Area.
4. Ibu Syarifah Muthia Putri, ST, MT, Selaku Dosen Pembimbing Kerja Praktek Program Studi Teknik Elektro Universitas Medan Area.
5. Bapak Tommy Martin L Saragih selaku Manager PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota
6. Bapak Yudhi Indrawan Harefa selaku Supervisor Teknik di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota.
7. Bapak Edi Sofian selaku Koordinator Lapangan Teknik di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota

8. Pihak-pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis.
9. Teman-teman kelompok Kerja Praktek yang telah berjuang Bersama-sama menyelesaikan Kerja Praktek di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota

Walaupun penulis sudah berusaha dengan maksimal, namun penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan dalam penyusunan laporan akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun.

Semoga penyusunan tugas Laporan Kerja Praktek ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis di kemudian hari, terutama mahasiswa Program Studi S-1 Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Medan Area. Akhir kata penulis mengucapkan banyak terimakasih.

Pematangsiantar, 25 September 2021
Penulis

Helvi Peter Waruwu
188120007

ABSTRAK

Tujuan utama pentanahan adalah menciptakan jalur yang low-impedance (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan transient voltage. Sistem pentanahan yang efektif akan meminimalkan efek tersebut. Sistem pentanahan memegang peranan yang sangat penting dalam sistem proteksi. Sistem pentanahan digunakan sebagai jalur pelepasan arus gangguan ke tanah. Menurut fungsinya pentanahan dibedakan menjadi 2, yaitu pentanahan titik netral sistem tenaga dan pentanahan peralatan. Pentanahan netral sistem tenaga berfungsi sebagai pengaman sistem atau jaringan, sedangkan pada pentanahan peralatan berfungsi sebagai pengaman terhadap tegangan sentuh. Pengukuran jenis elektroda pentanahan pada transformator distribusi 20 kV. PT.PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota menggunakan nilai tahanan pentanahan sebesar 200 Ohm.

Kata Kunci : Pentanahan, Transformator, Earth Tester



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang dan Obyektif	1
1.2 Ruang Lingkup	2
1.2.1 Sejarah Ringkas	2
1.2.2 Visi PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota	3
1.2.3 Misi PT.PLN (Persero) ULP Siantar kota	3
1.2.4 Motto PT PLN (Persero) ULP Siantar Kota	3
1.2.5 Lokasi Perusahaan	4
1.2.6 Struktur Organisasi PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota	4
1.2.7 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek	4
1.3 Metodologi	5
BAB II	6
STUDI KASUS	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik	6
2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik	6
2.1.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik	7
2.1.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	8
2.2 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik	10
2.2.1 Gardu Induk	10
2.3 Gardu Distribusi	12

2.3.1	Macam-Macam Gardu Distribusi	12
2.3	Transformator Distribusi	15
2.4	<i>Load Break Switch</i> (LBS).....	16
2.5	Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi	17
2.5.1	Alat Pengaman Celah.....	17
2.5.2	Alat Pengaman Tabung Pelindung (protector tube).....	21
2.5.3	Alat pengaman Lightning Arrester	21
2.5.4	Alat Pengaman Arus Lebih	31
2.5.5	Penempatan Alat Pada Jaringan	34
2.5.6	Arrester Multi Chamber	37
2.6	Sistem Pentanahan Jaringan Distribusi	39
2.6.1	Sistem Pentanahan Netral	40
2.6.2	Tahanan Jenis Tanah	43
2.6.3	Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah.....	45
2.6.4	Elektroda Pentanahan.....	46
2.6.5	Konduktor Pentanahan	49
2.6.6	Sistem Pentanahan Pada Jaringan Distribusi	49
BAB III	.....	51
PENGUMPULAN DATA	.....	51
3.1	Waktu dan Lokasi Studi Kasus.....	51
3.2	Metode Pengumpulan Data	51
3.3	Data Lapangan.....	52
3.4	Gangguan-gangguan yang Ditemui di Lapangan.....	52
3.5	Pelaksanaan Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya	53
3.6	Kendala yang Dihadapi Dilapangan.....	59
BAB IV	.....	60
ANALISA	.....	60
4.1	Data Hasil Pengukuran	60
BAB V	.....	61

KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
5.1 Kesimpulan.....	61
5.2 Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA	62
DAFTAR LEMBAR PENILAIAN KERJA PRAKTEK.....	66



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 1 Struktur Organisasi PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota	4
Gambar 2 1 Sistem pembangkit Tenaga Listrik.....	6
Gambar 2 2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik.....	7
Gambar 2 3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	8
Gambar 2 4 Kongfigurasi sistem radial	9
Gambar 2 5 Kongfigurasi sistem loop	10
Gambar 2 6 Kongfigurasi Sistem Spindel.....	10
Gambar 2 7 Gardu Induk.....	11
Gambar 2 8 Gardu Kios	13
Gambar 2 9 Gardu Portal	14
Gambar 2 10 Gardu Kontrol	14
Gambar 2 11 Gardu Mobil.....	15
Gambar 2 12 Load Break Switch (LBS).....	17
Gambar 2 13 Bentuk Pengaman Celah Batang (rod gap).....	18
Gambar 2 14 Pengaman Tanduk Api (arcing horn).....	19
Gambar 2 15 Alat Pengaman Tanduk (horn gap).....	21
Gambar 2 16 Arus melalui arrester.....	23
Gambar 2 17 Lightning Arrester Jenis Oksida Film (polymer).....	25
Gambar 2 18 Lightning Arrester Jenis Thyrite	26
Gambar 2 19 Lightning Arrester Jenis katub.....	27
Gambar 2 20 Lightning Arrester Jenis Expulsion.....	29
Gambar 2 21 Pengaman Fuse Cut Out.....	31
Gambar 2 22 pemrosesan penyambungan Fuse Cut Out	33
Gambar 2 23 Penempatan Fuse Cut Out dan Arrester pada Jaringan.....	34
Gambar 2 24 Penempatan Arrester pada Tiang Pengaman Jaringan.....	35
Gambar 2 25 Penempatan Arrester pada Tiang Opstik Kabel.....	35
Gambar 2 26 Penempatan Arrester pada Tiang Akhir Jaringan	36
Gambar 2 27 Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Trafo Double Pole.....	36
Gambar 2 28 Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Trafo Single Pole.....	37
Gambar 2 29 Arrester Multi Chamber	37
Gambar 2 30 Struktur Pemasangan Arrester Multi Chamber	38
Gambar 2 31 Sistem Netral Tidak Diketanahkan	40
Gambar 2 32 Pentanahan Netral Langsung diketanahkan	41
Gambar 2 33 Fasa Tegangan Tanah pada Pentanahan Netral dengan Tahanan ...	42
Gambar 2 34 Gangguan fasa T ke tanah pada pentanahan netral langsung.....	43

Gambar 2 35 Rangkaian Pengukuran tahanan Jenis Tanah dengan Metode Tiga Titik	45
Gambar 2 36 Rangkaian Pengukuran tahanan Jenis Tanah dengan Metode Empat Titik	46
Gambar 2 37 Elektroda Batang	47
Gambar 2 38 Elektroda Plat	48
Gambar 2 39 Elektroda Pita	49
Gambar 3 1 Lightning Arrester yang putus akibat sambaran petir	53
Gambar 3 2 Peralatan Standard Operasional Procedure	53
Gambar 3 3 Multitester	55
Gambar 3 4 Digital Earth Tester (Kyoritsu)	56
Gambar 3 5 hasil dari pemasangan kabel merah ke batang angkur	57
Gambar 3 6 Proses pemasangan Kabel Hijau ke Ground	58
Gambar 3 7 Proses penghitungan nilai tahanan pentanahan dengan 200 ohm	58



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Tegangan Sistem dan Panjang Celah	18
Tabel 2 Jenis Tahanan Tanah	44
Tabel 3 Hasil dari pengumpulan data	60



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang dan Obyektif

Listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat saat ini untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka sehari-hari. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu system yang dapat memberikan pasokan listrik yang baik agar dapat mendistribusikan energi listrik ke seluruh lapisan masyarakat.

PT. PLN (Persero) adalah perusahaan yang bertujuan untuk menyelenggarakan usaha penyedia tenaga listrik bagi kepentingan umum dalam jumlah dan mutu yang memadai serta memupuk keuntungan dan melaksanakan penugasan pemerintah di bidang ketenagalistrikan dalam rangka menunjang pembangunan. Kegiatan utama PT. PLN (Persero) adalah menjalankan usaha penyediaan tenaga listrik yang mencakup pembangkitan tenaga listrik, penyaluran tenaga listrik dan distribusi tenaga listrik. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 150 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2 R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangan diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan system tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi system tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Dengan ini jelas bahwa system distribusi merupakan bagian yang penting dalam system tenaga listrik secara keseluruhan. Sistem distribusi tenaga listrik adalah suatu jaringan tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan.

Transformator adalah peralatan yang paling penting dalam gardu distribusi. Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah yang kemudian disalurkan ke masyarakat agar dapat digunakan sesuai rating peralatan atau beban yang digunakan pada umumnya. Sistem pentanahan merupakan salah satu bagian penting yang harus diperhatikan untuk menjamin keamanan dan keandalan operasi system tenaga listrik. Dalam system pentanahan atau disebut Grounding System, jenis tanah sangat mempengaruhi baik atau buruk system tersebut. Hal ini dikarenakan tidak semua tanah memiliki nilai resistansi yang baik. Nilai resistansi pada tanah dipengaruhi oleh struktur dan kandungan dalam tanah tersebut. Selain itu, daerah dimana tanah itu berada juga mempengaruhi struktur dan kandungan tanah tersebut.

Setelah melaksanakan Kerja Praktek selama sebulan di PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota, penulis mengamati bahwa banyak transformator dengan nilai resistansi pentanahan yang sangat tinggi. Hal inilah yang mendorong penulis mengangkat permasalahan diatas menjadi Sebuah tugas Kerja Praktek dengan judul :

“Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan (ULP) Siantar Kota.”

1.2 Ruang Lingkup

1.2.1 Sejarah Ringkas

Sejarah keberadaan PT.PLN (Persero) Wilayah Sumatera Utara berawal saat dimulainya usaha a kelistrikan di Sumatera Utara tahun 1923, yakni ketika perusahaan swasta belanda bernama NV NIGEM / OGEM membangun senffal listrik ditanah pertapakan yang saat ini menjadi lokasi kantor PLN Cabang Medan di Jl. LisffiNo. 12 Medan. Kemudian menyusul pembangunan kelishikan ditanjung pura dan pangkalan brandan pada tahun 1924, di Tebing Tinggi tahun 1927, di Sibolga (oleh NV ANIWM) Berastagi dan Tarutung tahun 1929, di Tanjung Balai tahyn 1931, di Labuhan Bilik tahun 1936 Tanjung Tiram pada tahun 1937.

Setelah BPU PLN berdiri dengan SK Menteri PUT No. 16/1/20 tanggal 20 Mei 1961, maka organisasi kelistrikan pun berubah. Perusahaan listrik di Sumatera Utara, Aceh, Sumatera Barat dan Riau kemudian diubah namanya menjadi PLN Eksploitasi. PLN No. KPTS 009/DIRPLN/1966 tanggal 14 April 1966, PLN Wilayah I dibagi menjadi 4 cabang dan satu sektor, yakni Cabang Medan, cabang Binjai, cabang Sibolga, dan cabang Pematang Siantar (yang kedudukannya berada di Tebing Tinggi).

Setelah berlakunya undang-undang No. 15 pada tahun 1985 tentang Ketenagalistrikan, Perusahaan Umum atau yang disingkat dengan PERUM Listrik Negara kemudian ditetapkan sebagai Pemegang Kuasa Usaha Ketenagalistrikan (PKUK). Dalam rangka untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam usaha penyediaan tenaga daya listrik, maka pada tanggal 16 Juni tahun 1994 diterbitkan Peraturan Pemerintah No.23 tahun 1994 yang berisi tentang penetapan status PLN yang berubah yakni dari Perusahaan Umum (PERUM) Listrik Negara menjadi Perusahaan Perseroan (PERSERO). Mulai saat itu PLN telah menjadi Perusahaan Listrik Negara yang berupa Perseroan.

1.2.2 Visi PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota

Diakui sebagai Perusahaan Kelas Dunia yang Bertumbuh kembang, Unggul dan terpercaya dengan bertumpu pada potensi insani

1.2.3 Misi PT.PLN (Persero) ULP Siantar kota

1. Menjalankan bisnis kelistrikan dan bidang lain yang terkait, berorientasi pada kepuasan pelanggan, anggota perusahaan dan pemegang saham.
2. Menjadikan tenaga listrik sebagai media untuk meningkatkan kualitas kehidupan masyarakat.
3. Mengupayakan agar tenaga listrik menjadi pendorong kegiatan ekonomi.
4. Menjalankan kegiatan usaha yang berwawasan lingkungan.

1.2.4 Motto PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota

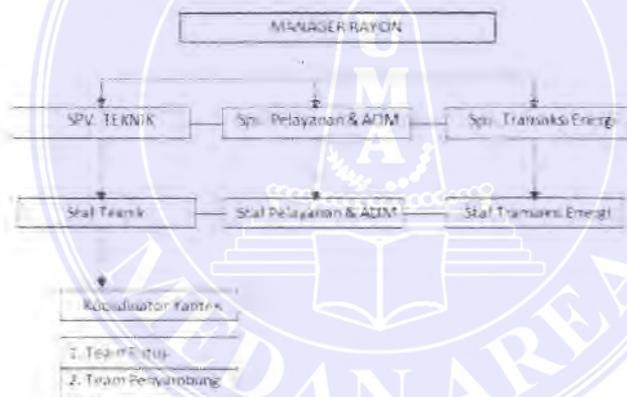
"Listrik Untuk Kehidupan yang Lebih Baik".

1.2.5 Lokasi Perusahaan

Jl Kapten M.H Sitorus No. 1, Proklamasi, Kecamatan Siantar Bar., Kota Pematangsiantar, Sumatera Utara.

1.2.6 Struktur Organisasi PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota

Struktur organisasi bertujuan untuk membedakan batas wewenang dan tanggung jawab secara ekivalen atau sistematis yang menunjukkan adanya hubungan/keterkaitan di antara tiap-tiap bagian dalam perusahaan untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Melalui struktur organisasi yang baik, pengaturan pelaksanaan dapat ditetapkan sehingga segala pekerjaan dan tanggung jawab bisa berjalan dan dilakukan sesuai fungsinya masing-masing. Berikut dibawah ini merupakan struktur organisasi yang terdapat pada PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota dapat dilihat pada gambar 1.1 dibawah ini.



Gambar 1.1 Struktur Organisasi PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota
Sumber : <https://web.pln.co.id>

1.2.7 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek

Waktu dan tempat pelaksanaan kerja praktek adalah sebagai berikut:

- Waktu : 23 Agustus s/d 23 September 2021
- Hari dan jam Kerja : Senin s/d Jumat (08.00-17.00)
- Tempat : PT.PLN (persero) ULP Siantar Kota

1.3 Metodologi

Penelitian yang dilakukan penulis dalam penyusunan laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Data-data studi yang penulis dapatkan dari sumber tertulis lainnya baik dari dalam perusahaan, e-book, laporan atau jurnal online penulisan yang pernah dibuat maupun dari media internet yang terkait dengan topik penulisan laporan kerja praktek ini.
2. Pengamatan secara langsung yang didampingi oleh pembimbing lapangan di PT. PLN (Persero) ULP Siantar Kota.



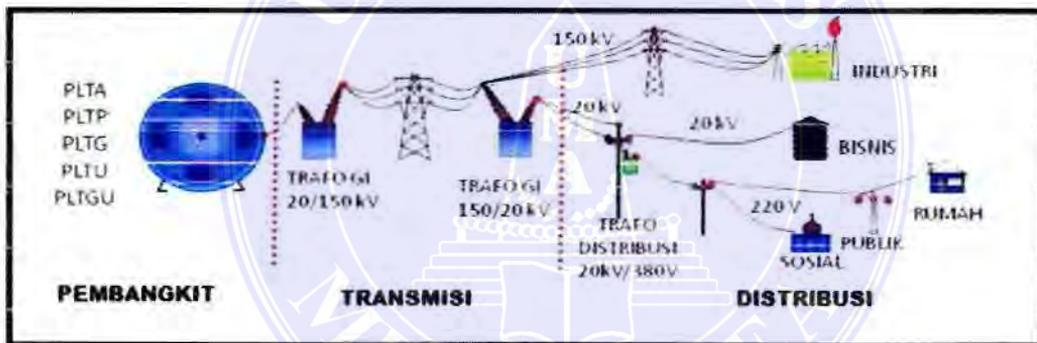
BAB II

STUDI KASUS

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Secara umum pengertian Sistem Tenaga Listrik adalah sekumpulan pusat Listrik dan Gardu Induk (Pusat Beban) yang satu sama lain dihubungkan oleh jaringan Transmisi sehingga merupakan sebuah kesatuan system. Pada dasarnya sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa komponen yaitu Sistem Pembangkitan, Sistem Transmisi, dan sistem Distribusi Tenaga Listrik.

2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik



Gambar 2 1 Sistem pembangkit Tenaga Listrik
Sumber : <https://www.ruangenergi.com>

Sistem Pembangkitan adalah salah satu bagian utama dalam struktur sistem tenaga listrik, pembangkit pada sistem tenaga listrik berperan untuk menghasilkan energi. Sumber energi utama pada pembangkit berasal dari sumber energi primer yang tersedia dari alam, kemudian di konversikan menjadi energi listrik. Sistem Pembangkitan adalah tempat dimana proses Pembangkitan Tenaga Listrik. Secara konvensional proses Pembangkitan Tenaga Listrik merupakan proses konversi energi primer (bahan bakar atau potensi tenaga air) menjadi energi mekanik penggerak generator, yang selanjutnya energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik generator. Bagian yang paling penting pada sistem pembangkitan adalah generator, pada generator akan mengkonversikan energi

primer menjadi energi listrik melalui poros. Secara umum pembangkit tenaga listrik ditunjang oleh beberapa fasilitas yang terpadu dan saling berinteraksi, yaitu instalasi listrik, sistem mekanik, bangunan sipil, fasilitas pelengkap, peralatan kontrol, dan komponen bantu lainnya.

2.1.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik



Gambar 2 2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik

sumber : <https://elektro.uma.ac.id/2021/03/21/saluran-transmisi-listrik>

Pada umumnya sistem pembangkitan jauh dari tempat dimana energi listrik tersebut digunakan. Karena energi listrik yang dibangkitkan itu harus disalurkan melalui saluran transmisi. Karena tegangan generator umumnya rendah, antara 6 kV sampai 24 Kv, maka tegangan tersebut harus dinaikkan oleh transformator daya yang ada (*step up transformator*) dengan pertimbangan ekonomis.

2.1.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2 3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik
sumber : <https://awsimages.detik.net.id>

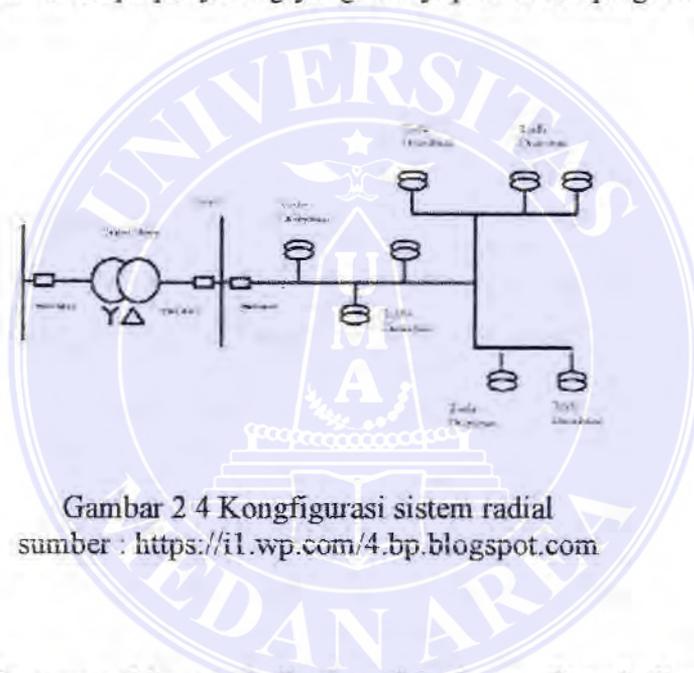
Jaringan Distribusi merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Pada dasarnya jaringan distribusi mirip dengan jaringan transmisi, yaitu jaringan sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik melalui konduktor-konduktor, yang membedakan hanyalah bahwa jaringan distribusi adalah jaringan transmisi energi listrik yang lebih ke hilir (konsumen), dimana tegangannya telah diturunkan oleh transformator penurun tegangan hingga mencapai tegangan menengah, pada jaringan transmisi tegangannya cenderung sangat tinggi sekali sampai batas-batas ekstrim (*Extra High Voltage*). Jaringan distribusi primer atau jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan, mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala-gejala korona yaitu penghantar tanpa isolasi apabila dalam satu penghantar tersisi dari tujuh belitan, apabila terjadi putus pada salah satu belitan maka menyebabkan loncatan-loncatan electron yang bisa menimbulkan suara desis di jaringan tegangan menengah yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

Sifat pelayanan sistem distribusi sangat luas dan kompleks, karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda. Sistem distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan konsumen di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya, terdapat konsumen perumahan dan konsumen dunia industri.

Sistem konstruksi saluran distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen. Pada jatahan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu:

a) Sistem radial

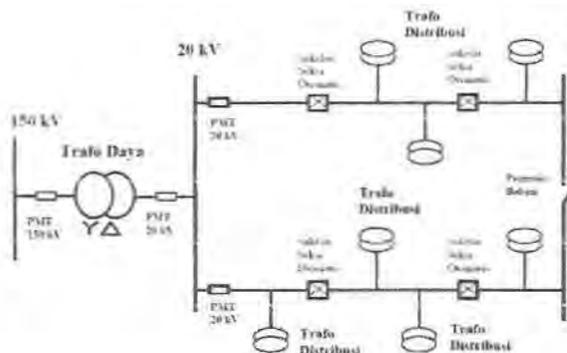
Sistem Radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.



Gambar 2 4 Konfigurasi sistem radial
sumber : <https://i1.wp.com/4.bp.blogspot.com>

b) Sistem loop

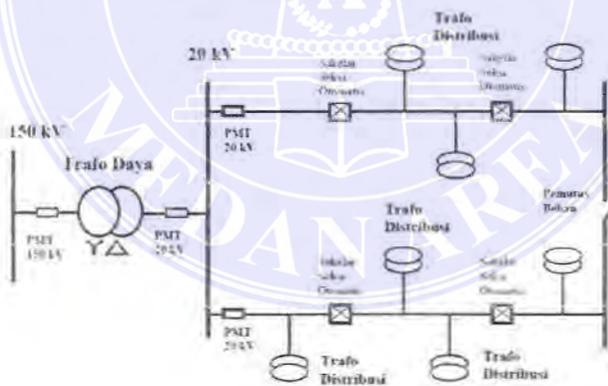
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) dimungkinkan pemasoknya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relative lebih baik.



Gambar 2 5 Konfigurasi sistem loop
sumber : <https://i1.wp.com/4.bp.blogspot.com>

c) Sistem spindel

Sistem Spindel adalah suatu pola kombinasi jaringan dari pola radial dan ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



Gambar 2 6 Konfigurasi Sistem Spindel
sumber : <https://i1.wp.com/4.bp.blogspot.com>

2.2 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

2.2.1 Gardu Induk

Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Berarti gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik, sebagai sub sistem dari sistem penyulang (*transmisi*) gardu induk mempunyai peran

penting dalam pengoprasiannya, tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.



Gambar 2.7 Gardu Induk
sumber : <https://static.republika.co.id>

2.2.1.1 Fungsi Gardu Induk

1. Mentransformasikan daya listrik:
 - o Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV)
 - o Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV, 70 kV/20 kV)
 - o Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV/70 kV)
 - o Dengan Frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hz)
2. Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (feeder-feeder) tegangan mencegah yang ada di gardu induk.
4. Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

2.2.1.2 Jenis-Jenis Gardu Induk

Jenis gardu induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu:

- o Berdasarkan besaran tegangannya
- o Berdasarkan pemasangan peralatan

- Berdasarkan fungsinya
- Berdasarkan isolasi yang digunakan
- Berdasarkan rel (busbar)

Dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum antara GITET dengan GI mempunyai banyak kesamaan, perbedaan mendasar adalah:

- Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah transformator, daya masing-masing 1 phasa (bank transformator) dan dilengkapi peralatan reactor yang berfungsi mengkompensasikan daya reaktif jaringan.
- Sedangkan pada GI (150 kV, 70 kV) menggunakan transformator daya 3 phasa dan tidak ada peralatan reactor.

2.3 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 yang lebih rendah.

2.3.1 Macam-Macam Gardu Distribusi

Gardu distribusi dapat dibedakan dari beberapa hal yang diantaranya:

2.3.1.1 Gardu Hubung

Gardu hubung adalah gardu yang berfungsi untuk membagi beban pada sejumlah gardu atau untuk menghubungkan satu feeder TM dengan feeder TM yang lain. Dengan demikian pada gardu ini hanya dilengkapi peralatan hubung dan bila perlu misalnya untuk melayani konsumen TM dilengkapi dengan alat pembatas dan pengukur.

2.3.1.2 Gardu Open Type (Gardu Sel)

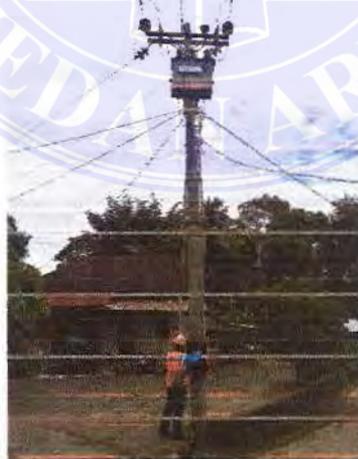
Gardu open type adalah gardu distribusi yang mempunyai peralatan hubung terbuka. Dimana dalam bekerjanya pisau-pisau dalam peralatan hubung, dapat dengan mudah dilihat mata biasa (dapat diawasi) baik pada saat masuk



Gambar 2 9 Gardu Portal
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

2.3.1.7 Gardu Kontrol

Gardu kontrol adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada satu tiang.



Gambar 2 10 Gardu Kontrol
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

2.3.1.8 Gardu Mobil

Pemakaian gardu mobil ini berdifat sementara, hanya untuk mengatasi adanya pemadaman listrik karena adanya kerusakan pada gardu distribusi (trafo tenaga, cubicle dll). Pasokan listriknya mempergunakan tegangan rendah 230-400V.



Gambar 2 11 Gardu Mobil
Sumber : Siantar, 2021 (dokumen pribadi)

2.3 Transformator Distribusi

Transformator distribusi digunakan untuk membagi/menyalurkan arus atau energi listrik dengan tegangan distribusi supaya jumlah energi yang tercecer dan hilang pada saluran tidak terlalu banyak.

Untuk mengurangi panas akibat pembebanan pada transformator, maka diperlukan pendinginan. Menurut jenis pendinginnya, transformator distribusi dibedakan menjadu 3 macam, yaitu :

1. Transformator Konvensional
2. Transformator lengkap dengan pengaman sendiri
3. Transformator lengkap dengan pengaman pada sisi sekunder

Transformator konvensional, peralatan sistem pengamannya terdapat diluar transformator, sedangkan transformator dengan pengaman sendiri terdapat di

dalam transformator itu sehingga dikenal juga dengan Transformator Berpengaman Sendiri (BPS).

Untuk maksud penyesuaian dengan tegangan beban, pada belitan sisi tegangan tinggi sering diberi sadapan (*tapping*), sehingga dapat dipilih sampai 5% diatas atau 10% dibawah tegangan nominalnya.

2.3.2.1 Macam-macam transformator distribusi

Trafo yang umum dipakai distribusi yaitu trafo 3 fasa dan trafo satu fasa.

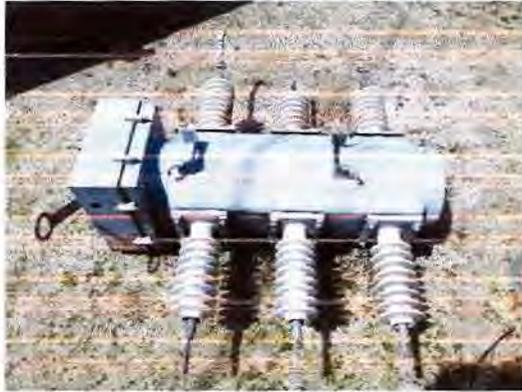
Trafo tiga fasa paling banyak pemakainnya karena:

- Tidak memerlukan ruangan yang besar
- Lebih murah
- Pemeliharaan persatuan barang lebih mudah dan lebih murah

2.4 Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch (LBS) merupakan suatu alat pemutus atau penyambung sirkuit pada sistem distribusi listrik dalam keadaan berbeban. LBS mirip dengan alat pemutus tenaga (PMT) atau *Circuit Breaker* (CB) dan biasanya dipasang dalam saluran distribusi listrik.

LBS digunakan untuk pemutusan lokal apabila terjadi gangguan atau ingin dilakukan perawatan jaringan distribusi pada daerah tertentu sehingga daerah yang tidak mengalami gangguan atau perawatan tidak mengalami pemadaman listrik. Pada saat terjadi bencana atau gangguan listrik, seperti gempa, angin ribut, pohon tumbang, dan lain-lain sering terjadi gangguan pada jaringan distribusi seperti kabel tumbang. Pada kasus seperti itu diperlukan tindakan yang cepat dalam memutuskan saluran listrik untuk menghindari bahaya yang dapat ditimbulkan.



Gambar 2 12 Load Break Switch (LBS)
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

LBS yang biasa dipakai PT.PLN (Persero) yaitu LBS tipe SF6 yaitu Tegangan Line Maksimum pada Switthgear Ratings antara 12kV atau 24kV dengan arus kontinyu 630 A RMS. Media Isolasi Gas SF6 dengan tekanan operasional gas SF6 pada suhu 20 C adalah 200kPa Gauge. Pengoperasian secara manual dapat dilakukan secara independent oleh operator. Tekanan untuk mengoperasikan tuas Max 20 kg. Switch pemutus beban dilengkapi dengan bushing boots elastomeric untuk ruang terbuka. Boots tersebut dapat menampung kabel berisolasi dengan ukuran diameter antara 16 – 32 mm dan akan menghasilkan sistem yang terisolir penuh. Kabel pre-cut yang telah diberi terminal dapat digunakan langsung untuk bushing switch Pemutus Beban dan telah memenuhi persyaratan yang sesuai dengan peralatan tersebut. Namun demikian, untuk kabel, dapat menggunakan yang telah disediakan oleh peralatan tersebut sepanjang masih memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2.5 Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi

2.5.1 Alat Pengaman Celah

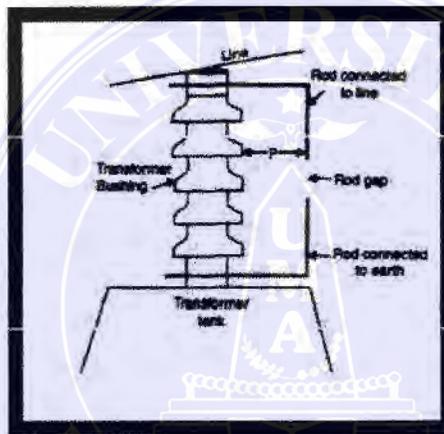
2.5.1.1 Alat Pengaman Celah Batang (Rod Gap)

Alat pengaman celah batang (rod gap) merupakan alat pengaman paling sederhana, yang terdiri dari dua batang logam dengan penampang tertentu. Batang logam bagian atas diletakkan di punvak isolator jenis pos (*post type insulator*) dihubungkan dengan kawat penghantar jaringan distribusi, sedangkan batang logam bagian bawah diletakkan pada bagian dasar isolator jenis pos yang

langsung berhubungandengan ground. Jarak celah kedua batang logam tersebut disesuaikan dengan tegangan percikan untuk suatu bentuk gelombang tegangan tertentu. Berikut table dibawah ini memperlihatkan Panjang celah yang diizinkan pada suatu tegangan sistem.

Tegangan Sistem (kV)	12	33	66	132	275	400
Panjang Celah (m)	0,032	0,23	0,35	0,66	1,25	1,70

Tabel 1 Tegangan Sistem dan Panjang Celah



Gambar 2 13 Bentuk Pengaman Celah Batang (rod gap)
 Sumber: <https://ezkhelenergy.blogspot.com>

Keuntungan alat pengaman celah batang ini selain bentuknya sederhana, juga mudah dibuat dan kuat konstruksinya, sedangkan dari celah batang ini, bila terjadi percikan bunga api akibat tegangan lebih maka bunga api yang ditimbulkan pada celah akan tetap ada walaupun tegangan lebih sudah tidak ada lagi. Untukmemadamkan percikan bunga api yang ditimbulkan, dapat dilakukan dengan memutus jaringan tersebut dengan menggunakan saklar pemutus udara (*air break switch*). Saat gelombang pendek, tegangan gagalnya akan naik lebih tinggi daripada isolasi yang akan dilindunginnya, sehingga diperlukan celah yang sempit untuk gelombang yang curam.

2.5.1.2 Alat Pengaman Randuk Api (arcing horn)

Seperti halnya alat pengaman celah batang, alat pengaman tanduk api ini diletakkan di kedua ujung isolator gantung (*suspension insulator*) atau isolator batang Panjang (*long rod insulator*). Tanduk api dipasang pada ujung kawat penghantar dan ujung isolator yang berhubungan langsung dengan ground (tanah) yang dibentuk sedemikian rupa, sehingga busur api tidak akan mengenai isolator saat terjadi loncatan api. Jarak antara tanduk atas dan bawah diatur sekitar 75-85% dari Panjang isolator keseluruhan. Tegangan loncatan api untuk isolator gandingan dengan tanduk api ditentukan oleh jarak tanduk tersebut. Untuk jelasnya lihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.14 Pengaman Tanduk Api (arcing horn)
Sumber: <https://ezkhelenergy.blogspot.com>

2.5.1.3 Alat Pengaman Celah Sekring (fuse rod gap)

Alat pengaman celah sekring ini merupakan gabungan antara celah batang (*rod gap*) dengan sekring yang dihubungkan secara seri. Penggabungan ini digunakan untuk menginterupkan arus susulan (*power follow current*) yang diakibatkan oleh percikan api. Oleh sebab itu celah sekring mempunyai karakteristik yang sama dengan celah batang, dan alat ini dapat menghindarkan adanya pemutusan jaringan sebagai akibat percikan, serta memerlukan penggantian dan perawatan sekring yang telah dipakai. Kecuali itu agar supaya penggunaannya efektif harus diperhatikan juga koordinasi antara waktu leleh sekring dengan waktu kerja rel pengaman.

2.5.1.4 Alat Pengaman Celah Kontrol (control gap)

Alat pengaman celah kontrol terdiri dari dua buah celah yang diatur sedemikian rupa, sehingga karakteristiknya mendekati celah bola ditinjau dari segi lengkung volt-waktunya yang mempunyai karakteristik lebih baik dari celah batang. Celah kontrol ini dapat dipakai Bersama atau tanpa sekring, mekipun alat ini dapat dipakai sebagai perlindungan cadangan atau sekunder, dan dianggap sekelas dengan celah batang.

2.5.1.5 Alat Pengaman Celah Tanduk (horn gap)

Alat pengaman ini terbuat dari dua buah batang besi yang masing-masing diletakkan diatas isolator. Celah yang dibuat oleh kedua batang besi itu, satu batang dihubungkan langsung dengan kawat penghantar jaringan sedangkan yang lainnya dihubungkan dengan sebuah resistor yang langsung terhubung ke ground (tanah). Celah tanduk ini biasanya bekerja pada saat terjadi tegangan loncatan api pada celahnya, Ketika tegangan surja menjapai 150-200 % dari tegangan nominal jaringan, maka akan terjadi pelepasan langsung pada celah dan langsung diteruskan ke ground melalui resistor. Fungsi dari celah tanduk ini untuk pemutus busur api yang terjadi pada tegangan lebih. Busur api cenderung naik akibat panas yang terlalu tinggi, juga disebabkan peristiwa arus loop sebesar mungkin pada sisi lain membuat tembus rangkaian magnet maksimum. Hanya celah tanduk sebagai arrester jauh dari memuaskan yang seringkali busur api yang tek perlu. Pengaman ini tidak cukup karena dapat dibandingkan dari nilai pelepasan yang rendah resistor. Dan ini tidak selalu menahan secara dinamis busur api yang mengikuti pelepasan peralihan (transient discharge). Akibatnya salah satu pada keadaan tetap tanduk ground atau dibinasakan oleh celah. Oleh sebab itu celah tanduk arrester sekarang hamper tidak dipakai lagi sebagai alat pengaman petir.



Gambar 2.15 Alat Pengaman Tanduk (horn gap)
Sumber: <https://ezkhelenergy.blogspot.com>

2.5.2 Alat Pengaman Tabung Pelindung (protector tube)

Alat pengaman tabung pelindung ini terdiri dari : (1) tanduk api (arcing horn) yang dipasang dibawah kawat penghantar, yang terhubung dengan tabung fiber. (2) Tabung fiber yang terdiri dari elektroda atas yang berhubunga dengan tanduk api dan elektroda bawah yang berhubungan langsung dengan tanah (ground). Apabila tegangan petir mengalir ke kawat penghantar, maka akan terjadi percikan api antara kawat penghantar dengan tanduk api. Percikan api akan mengalir dari elektroda atas ke elektroda bawah, karena panas tabung fiber akan menguap disekitar dindingnya sehingga gas yang ditimbulkan akan menyembur ke percikan api dan memadamkannya. Alat pengaman tabung pelindung ini digunakan pada saluran transmisi untuk melindungi isolator dan mengurangi besarnya tegangan surya yang mengalir pada kawat penghantar. Selain itu digunakan juga pada gardu induk untuk melindungi peralatan disconnect switcher, ril bus dan sebagainya.

2.5.3 Alat pengaman Lightning Arrester

Lightning arrester adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan dan peralatannya terhadap tegangan lebih abnormal yang terjadi karena sambaran petir (*flash over*) dan karena surya hubung (*switching surge*) di suatu jaringan. Lighming arrester ini memberi kesempatan yang lebih besar terhadap tegangan

lebih abnormal untuk dilewatkan ke tanah sebelum alat pengaman ini merusak peralatan jaringan seperti transformator dan isolator. Oleh karena itu lightning arrester merupakan alat yang peka terhadap tegangan, maka pemakaiannya harus disesuaikan dengan tegangan sistem.

Arrester petir atau disingkat arrester adalah suatu alat pelindung bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap surya petir. Alat pelindung terhadap gangguan surya berfungsi melindungi peralatan sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surya tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ke tanah.

Disebabkan oleh fungsinya, arrester harus dapat menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan surya arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Arrester berlaku sebagai jalan pintas sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan.

Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih eksternal, arrester juga melindungi peralatan yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surya hubung, selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surya datang ke gardu induk arrester bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang akan mengenai peralatan dalam gardu induk. Persyaratan yang harus di penuhi oleh arrester adalah sebagai berikut :

- a. Tegangan percikan (sparkover voltage) dan tegangan pelepasannya (discharge voltage), yaitu tegangan pada terminalnya pada waktu pelepasan, harus cukup rendah, sehingga dapat mengamankan isolasi peralatan. Tegangan percikan disebut juga tegangan gagal sela (gap breakdown voltage) sedangkan tegangan pelepasan disebut juga tegangan sisa (residual voltage) atau jatuh tegangan (voltage drop).

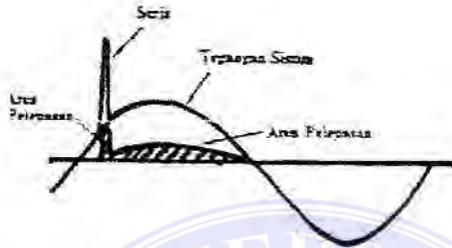
Jatuh tegangan pada arrester = $I \times R$

dimana :

I = arus arrester maksimum (A)

$R =$ tahanan arrester (Ohm)

- b. Arrester harus mampu memutuskan arus dinamik dan dapat bekerja terus seperti semula. Batas dari tegangan sistem dimana arus susulan ini masih mungkin, disebut tegangan dasar (rated voltage) dari arrester.



Gambar 2 16 Arus melalui arrester Sumber:
<https://ezkhelenergy.blogspot.com>

Pada prinsipnya arrester membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Pada kondisi normal arrester berlaku sebagai isolasi tetapi bila timbul surja arrester berlaku sebagai konduktor yang berfungsi melewatkan aliran arus yang tinggi ke tanah. Setelah arus hilang, arrester harus dengan cepat kembali menjadi isolator. Pada dasar arrester terdiri dari dua bagian yaitu: Sela api (spark gap) dan tahanan kran (valve resistor). Keduanya dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Untuk penggunaan yang lebih khusus arrester mempunyai satu bahagian yang disebut dengan Tahanan katup dengan sistem pengaturan atau pembagian tegangan (grading sistem).

Jika hanya melindungi isolasi terhadap bahaya kerusakan karena gangguan dengan tidak memperdulikan akibatnya terhadap pelayanan, maka cukup dipakai sela batang yang memungkinkan terjadinya percikan pada waktu tegangan mencapai keadaan bahaya. Dalam hal ini, tegangan system bolak – balik akan tetap mempertahankan busur api sampai pemutus bebannya dibuka. Dengan menyambung sela api ini dengan

sebuah tahanan, maka kemungkinan api dapat dipadamkan. Tetapi bila tahanannya mempunyai harga tetap, maka jatuh tegangannya menjadi besar sekali sehingga maksud untuk meniadakan tegangan lebih tidak terlaksana, dengan akibat bahwa maksud melindungi isolasi pun gagal. Oleh sebab itu disarankan memakai tahanan kran (valve resistor), yang mempunyai sifat khusus, yaitu tahanannya kecil sekali bila tegangannya dan arusnya besar. Proses pengecilan tahanan berlangsung cepat yaitu selama tegangan lebih mencapai harga puncak. Tegangan lebih dalam hal ini mengakibatkan penurunan drastis pada tahanan sehingga jatuh tegangannya dibatasi meskipun arusnya besar.

Bila tegangan lebih habis dan tinggal tegangan normal, tahanannya naik lagi sehingga arus susulannya dibatasi kira – kira 50 ampere. Arus susulan ini akhirnya dimatikan oleh sela api pada waktu tegangan sistemnya mencapai titik nol yang pertama sehingga alat ini bertindak sebagai sebuah kran yang menutup arus, dari sini didapatkan nama tahanan kran. Pada arrester modern pemadaman arus susulan yang cukup besar (200–300 A) dilakukan dengan bantuan medan magnet. Dalam hal ini, baik amplitude maupun lamanya arus susulan dapat dikurangi dan pemadaman dapat dilakukan sebelum tegangan system mencapai harga nol.

Tegangan dasar (rated voltage) yang dipakai pada lightning arrester adalah tegangan maksimum sistem, dimana lightning arrester ini harus mampu-nyai tegangan dasar maksimum tak melebihi tegangan dasar maksimum dari sis-tem, yang disebut dengan tegangan dasar penuh atau lightning arrester 100 %.

2.5.3.1 Lightning Arrester Jenis Oksida Film

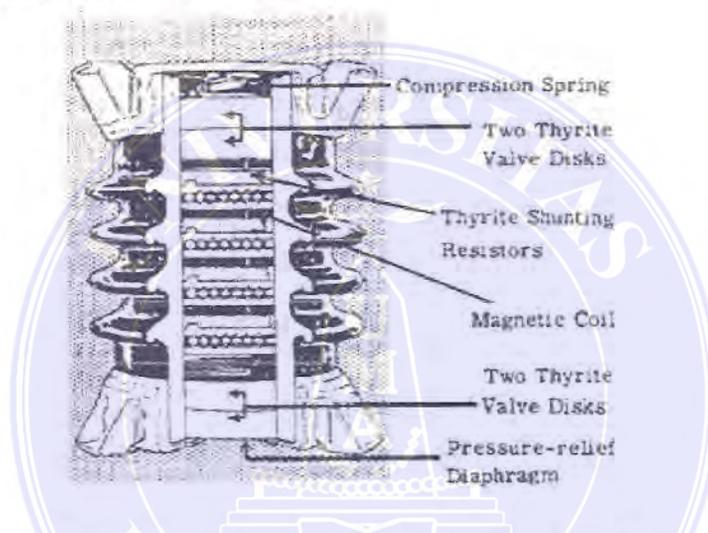


Gambar 2 17 Lightning Arrester Jenis Oksida Film (polymer)
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

Dalam tabung porselin dari alat pengaman lightning arrester tipe oksida film ini memiliki 2 ruang, yaitu : (1) ruang celah (gap chamber) dan (2) ruang butiran oksida timah hitam. Ruang celah terbuat dari porselin annulus yang berbentuk silinder, yang berisi sebuah pegas, lempengan cakram dan celah elektroda. Lempengan cakram terdiri dari dua lempeng yang disatukan (crimped), yang masing memiliki diameter sebesar 19 cm dan tebal 1,59 cm. Permukaan lempengan cakram dilapisi dengan film yang diisolasi dengan vernis. Kekuatan tembus untuk setiap lempeng cakram tersebut terjadi pada tegangan 300 V. Jumlah unit lempeng cakram ditentukan oleh tegangan jaringan dan kondisi petir agar dapat menahan tegangan maksimum sistem. Pada ruang celah ini ditempatkan juga sebuah pegas pada bagian atas dan celah elektroda (gap electrode) pada bagian bawah. Sedangkan ruang butiran oksida timah hitam (lead peroxida) berisi dengan butiran-butiran oksida timah hitam. Dimana panjang ruangan kira-kira 5,1 cm (2 inchi) per kV dari tegangan dasar. Satu tabung dapat digunakan untuk tegangan diatas 25 kV ketika titik netral diketanahkan dengan induktansi coil. Butiran-butiran oksida timah hitam mempunyai diameter 2,38 mm dengan kulit berlubang tipis dari litharge. Ketika tegangan pelepasan (discharge voltage) mengalir ke ruang celah melalui pegas, maka tegangan pelepasan akan

menembus film yang berlapis vernis diatas lempeng cakram. Apabila tegangan melebihi dari batas kekuatan lempeng cakram per unit, loncatan busur api akan diteruskan ke celah elektroda. Dan mengalir langsung ke ruang butiran oksida timah hitam. Panas yang berkembang akibat busur api menyebabkan oksida timah hitam berubah menjadi merah. Sehingga busur api akan padam dan energi yang tersisa akan mengalir ke ground.

2.5.3.2 Lightning Arrester Jenis Thyrite



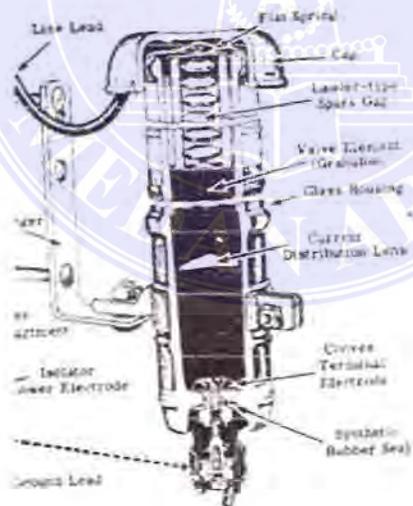
Gambar 2 18 Lightning Arrester Jenis Thyrite
 Sumber: <https://ezkhelenergy.blogspot.com>

Thyrite adalah bahan campuran padat tak organik dari keramik alam, yang mempunyai resistansi lebih cepat untuk mengurangi. Elemen kran (valve) untuk arrester jenis thyrite ini terbuat dari bahan lempengan keramik yang berkualitas baik, yang bertindak sebahai penghantar tegangan tinggi surja dan memperlihatkan tahanan tinggi untuk tenaga jaringan (line energy). Pada arrester "thyriet magne-valve" memperlihatkan arus petir lewat langsung celah by-pass seri ke celah utama, dan oleh elemen thyrite ke ground. Jika energi jaringan berusaha mengikuti energi petir, maka energi jaringan dibuat untuk mengalirkan langsung ke lilitan seri, dan menciptakan medan magnit cukup kuat untuk memadamkan busur api dari pelepasan arus petir. Pemadaman ini bereaksi dengan cepat dan mengambil kedudukan kurang lebih setengah gelombang energi jaringan.

2.5.3.3 Lightning Arrester Jenis Katup

Alat pengaman arrester jenis katup (valve) ini terdiri dari sebuah celah api (spark gap) yang dihubungkan secara seri dengan sebuah tahanan non linier atau tahanan katup (valve resistor). Dimana ujung dari celah api dihubungkan dengan kawat fasa, sedangkan ujung dari tahanan katup dihubungkan ke ground (tanah).

Saat terjadi tegangan lebih maka pada celah api akan terjadi percikan yang akan menyebabkan timbulnya bunga api (arc). Api percikan ini akan timbul terus menerus walaupun tegangan lebihnya sudah tidak ada. Untuk menghentikan percikan bunga api pada celah api tersebut, maka resistor non linier akan memadamkan percikan bunga api tersebut. Nilai tahanan non linier ini akan turun saat tegangan lebih menjadi besar. Tegangan lebih akan mengakibatkan penurunan secara drastis nilai tahanan katup, sehingga tegangan jatuh-nya dibatasi walaupun arusnya besar.



Gambar 2 19 Lightning Arrester Jenis katub

Sumber: <https://ezkhelenergy.blogspot.com>

Arrester jenis katup ini terdiri dari sela pecik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier.

Tegangan frekwensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat tersebut menjadi pengahantar. Sela seri itu tidak dapat memutus arus susulan. Dalam hal ini dibantu oleh arrester tak linier yang mempunyai karakteristik tahanan kecil untuk arus besar dan tahanan besar untuk arus susulan dari frekwensi dasar terlihat pada karakteristik volt ampere. Arrester jenis katup ini dibagi dalam empat jenis yaitu :

1. Arrester katup jenis gardu

Arrester katup jenis gardu ini adalah jenis yang paling efisien dan juga paling mahal. Perkataan “gardu“ di sini berhubungan dengan pemakaiannya secara umum pada gardu induk besar. Umumnya dipakai untuk melindungi alat – alat yang mahal pada rangkaian – rangkaian mulai dari 2400 volt sampai 287 kV dan tinggi.

2. Arrester katup jenis saluran

Arrester jenis saluran ini lebih murah dari arrester jenis gardu . kata “saluran” disini bukanlah berarti untuk saluran transmisi. Seperti arrester jenis gardu, arrester jenis saluran ini dipakai untuk melindungi transformator dan pemutus daya serta dipakai pada system tegangan 15 kV sampai 69 kV.

3. Arrester katup jenis gardu untuk mesin–mesin

Arrester jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin– mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.

4. Arrester katup jenis distribusi untuk mesin–mesin

Arrester jenis distribusi ini khusus melindungi mesin– mesin berputar seperti di atas dan juga melindungi transformator dengan pendingin udara tanpa minyak. Arrester jenis ini dipakai pada peralatan dengan tegangan 120 volt sampai 750 volt.

Setelah anda mengklik “OK” akan menuju kehalaman ubah, seperti berikut ini:



Gambar 3.13 Tampilan Halaman Ubah Pegawai Sistem Informasi ATK Dinas Sosial Berbasis Web

f. Tambah Data Pegawai

Untuk menambah data pegawai anda dapat menekan link tambah yang berada di bawah data pegawai sebelumnya. akan muncul tampilan seperti berikut ini:



Gambar 3.14 Tampilan Tambah Pegawai Sistem Informasi ATK Dinas Sosial Berbasis Web

impedansi rendah dan melalukan surya arus dan arus daya system bersama-sama. Panas yang timbul karena mengalirnya arus petir menguapkan sedikit bahan tabung serat, sehingga gas yang timbul akan menyembur pada api. Arus susulan dalam arrester jenis ini dapat mencapai harga yang tinggi sekali tetapi lamanya tidak lebih dari 1 (satu) atau 2 (dua) gelombang, dan biasanya kurang dari setengah gelombang. Jadi tidak menimbulkan gangguan. Arrester jenis ekspulsi ini mempunyai karakteristik volt – waktu yang lebih baik dari sela batang dan dapat memutuskan arus susulan. Tetapi tegangan percik impulsnya lebih tinggi dari arrester jenis katup. Tambahan lagi kemampuan untuk memutuskan arus susulan tergantung dari tingkat arus hubung singkat dari system pada titik di mana arrester itu dipasang. Dengan demikian perlindungan dengan arrester jenis ini dipandang tidak memadai untuk perlindungan transformator daya, kecuali untuk system distribusi. Arrester jenis ini banyak juga digunakan pada saluran transmisi untuk membatasi besar surja yang memasuki gardu induk. Dalam penggunaan yang terakhir ini arrester jenis ini sering disebut sebagai tabung pelindung.

2.5.3.5 Karakteristik Arrester

Oleh karena arrester dipakai untuk melindungi peralatan system tenaga listrik maka perlu diketahui karakteristiknya sehingga arrester dapat digunakan dengan baik dalam pemakaiannya. Arrester mempunyai tiga karakteristik dasar yang penting dalam pemakaiannya yaitu :

- Tegangan rated 50 c/s yang tidak boleh dilampaui
- Mempunyai karakteristik yang dibatasi oleh tegangan (voltage limiting) bila dilalui oleh berbagai macam arus petir.

Sebagaimana diketahui bahwa arrester adalah suatu peralatan tegangan yang mempunyai tegangan ratingnya. Maka jelaslah bahwa arrester tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini, baik pada keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal. Oleh karena itu menjalankan fungsinya ia menanggung tegangan system normal dan tegangan lebih transiens 50 c/s. Karakteristik pembatasan tegangan impuls dari arrester adalah harga yang dapat

ditahan oleh terminal ketika melalukan arus – arus tertentu dan harga ini berubah dengan singkat baik sebelum arus mengalir maupun mulai bekerja. Batas termis ialah kemampuan untuk mengalirkan arus surya dalam waktu yang lama atau terjadi berulang-ulang tanpa menaikan suhunya. Meskipun kemampuan arrester untuk menyalurkan arus sudah mencapai 65000 – 100.000 ampere, tetapi kemampuannya untuk melalukan surja hubung terutama bila saluran menjadi panjang dan berisi tenaga besar masih rendah. Maka agar supaya tekanan stress pada isolasi dapat dibuat serendah mungkin, suatu system perlindungan tegangan lebih perlu memenuhi persyaratan sebagai berikut :

- Dapat melepas tegangan lebih ke tanah tanpa menyebabkan hubung singkat ke tanah (saturated ground fault)
- Dapat memutuskan arus susulan.
- Mempunyai tingkat perlindungan (protection leve l) yang rendah, artinya tegangan percikan sela dan tegangan pelepasannya rendah.

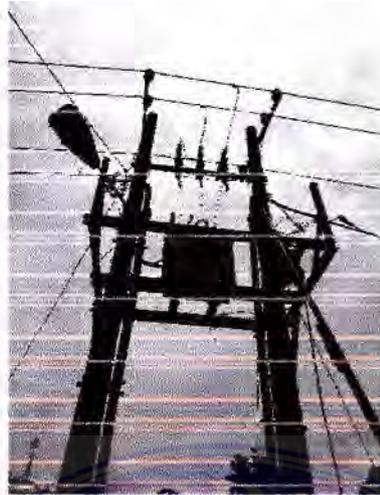
2.5.4 Alat Pengaman Arus Lebih



Gambar 2 21 Pengaman Fuse Cut Out
Sumber: <https://ezkhelenergy.blogspot.com>

Fuse Cut Out (sekring) adalah suatu alat pengaman yang melindungi jaringan terhadap arus beban lebih (*over load current*) yang mengalir melebihi dari batas maksimum, yang disebabkan karena hubung singkat (*short circuit*) atau beban lebih (*over load*). Konstruksi dari fuse cut out ini jauh lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemutus beban (*circuit breaker*) yang terdapat di Gardu

Induk (*sub-station*). Akan tetapi fuse cut out ini mempunyai kemampuan yang sama dengan pemutus beban tadi. Fuse cut out ini hanya dapat memutuskan satu saluran kawat jaringan di dalam satu alat. Apabila diperlukan pemutus saluran tiga fasa maka dibutuhkan fuse cut out sebanyak tiga buah. Penggunaan fuse cut out ini merupakan bagian yang terlemah di dalam jaringan distribusi. Sebab fuse cut out boleh dikatakan hanya berupa sehelai kawat yang memiliki penampang disesuaikan dengan besarnya arus maksimum yang diperkenankan mengalir di dalam kawat tersebut. Pemilihan kawat yang digunakan pada fuse cut out ini didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan harus memiliki daya hantar (*conductivity*) yang tinggi. Faktor lumer ini ditentukan oleh temperatur bahan tersebut. Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk fuse cut out ini adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan-bahan tersebut. Mengingat kawat perak memiliki konduktivitas 60,6 mho/cm lebih tinggi dari kawat tembaga, dan memiliki temperatur 960°C, maka pada jaringan distribusi banyak digunakan. Kawat perak ini dipasangkan di dalam tabung porselin yang diisi dengan pasir putih sebagai pemadam busur api, dan menghubungkan kawat tersebut pada kawat fasa, sehingga arus mengalir melaluinya. Jenis fuse cut out ini untuk jaringan distribusi digunakan dengan saklar pemisah. Pada ujung atas dihubungkan dengan kontak-kontak yang berupa pisau yang dapat dilepaskan. Sedangkan pada ujung bawah dihubungkan dengan sebuah engsel.

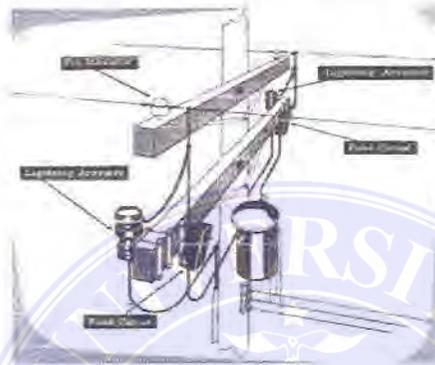


Gambar 2.22 pemrosesan penyambungan Fuse Cut Out
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

Kalau arus beban lebih melampaui batas yang diperkenankan, maka kawat perak di dalam tabung porselin akan putus dan arus yang membahayakan dapat dihentikan. Pada waktu kawat putus terjadi busur api, yang segera dipadamkan oleh pasir yang berada di dalam tabung porselin. Karena udara yang berada di dalam porselin itu kecil maka kemungkinan timbulnya ledakan akan berkurang karena diredam oleh pasir putih. Panas yang ditimbulkan sebagian besar akan diserap oleh pasir putih tersebut. Apabila kawat perak menjadi lumer karena tenaga arus yang melebihi maksimum, maka waktu itu kawat akan hancur. Karena adanya gaya hentakan, maka tabung porselin akan terlempar keluar dari kontakannya. Dengan terlepasnya tabung porselin ini yang berfungsi sebagai saklar pemisah, maka terhidarlah peralatan jaringan distribusi dari gangguan arus beban lebih atau arus hubung singkat. Umur dari fuse cut out inintergantung pada arus yang melaluinya. Bila arus yang melalui fuse cut out tersebut melebihi batas maksimum, maka umur fuse cut out lebih pendek. Oleh karena itu pemasangan fuse cut out pada jaringan distribusi hendaknya yang memiliki kemampuan lebih besar dari kualitas tegangan jaringan, lebih kurang tiga sampai lima kali arus nominal yang diperkenankan. Fuse cut out ini biasanya ditempatkan sebagai pengaman transformator distribusi, dan pengaman pada cabang-cabang saluran feeder yang menuju ke jaringan distribusi sekunder.

2.5.5 Penempatan Alat Pada Jaringan

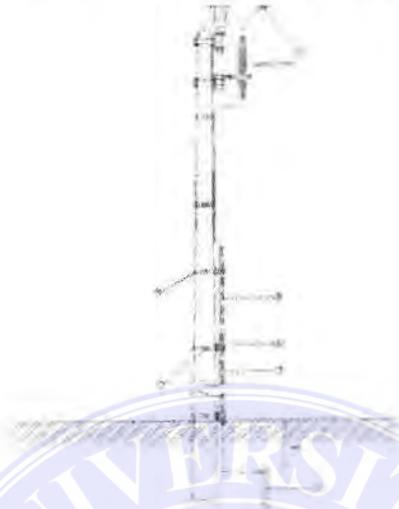
Arrester petir atau disingkat arrester adalah suatu alat pelindung bagi peralatan system tenaga listrik terhadap surya petir. Alat pelindung terhadap gangguan surya ini berfungsi melindungi peralatan system tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ketanah.



Gambar 2 23 Penempatan Fuse Cut Out dan Arrester pada Jaringan
Sumber: Adrianus Darso Malendes, 2015

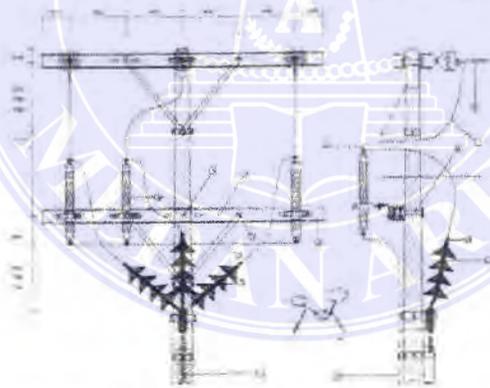
Disebabkan oleh fungsinya, Arrester harus dapat menahan tegangan system 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewati surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Arrester berlaku sebagai jalan pintas sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih external, arrester juga melindungi peralatan yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung, selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu system tenaga listrik. Bila surya datang ke gardu induk arrester bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang akan mengenai peralatan dalam gardu induk.

2.4.5.1 Penempatan Arrester pada Tiang Penyangga Jaringan



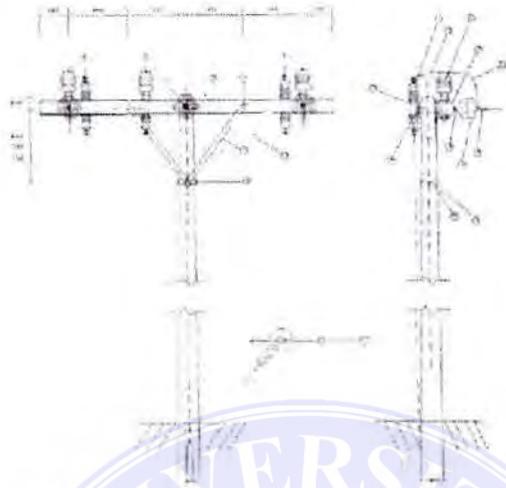
Gambar 2 24 Penempatan Arrester pada Tiang Pengaman Jaringan
Sumber: Adrianus Darso Malendes, 2015

2.5.5.2 Penempatan Arrester pada Tiang Opstik Kabel



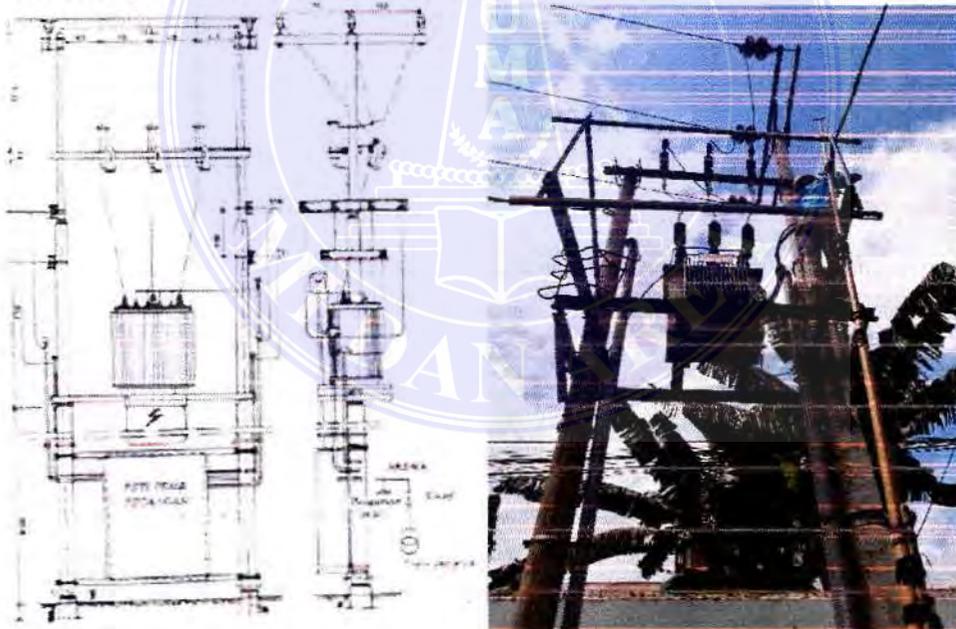
Gambar 2 25 Penempatan Arrester pada Tiang Opstik Kabel
Sumber: Adrianus Darso Malendes, 2015

2.5.5.3 Penempatan Arrester pada Tiang Akhir Jaringan



Gambar 2 26 Penempatan Arrester pada Tiang Akhir Jaringan
Sumber: Adrianus Darso Malendes, 2015

2.5.5.4 Penempatan Arrester Pada Tiang Trafo Double Pole



Gambar 2 27 Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Trafo Double Pole
Sumber : Adrianus Darso Malendes, 2015 dan Siantar, 2021 (dokumen pribadi)

2.5.5.5 Penempatan Arrestor Pada Tiang Trafo Single Pole



Gambar 2 28 Penempatan Arrestor dan CO Pada Tiang Trafo Single Pole
Sumber : Adrianus Darso Malendes, 2015 dan Siantar,2021 (dokumen pribadi)

2.5.6 Arrestor Multi Chamber



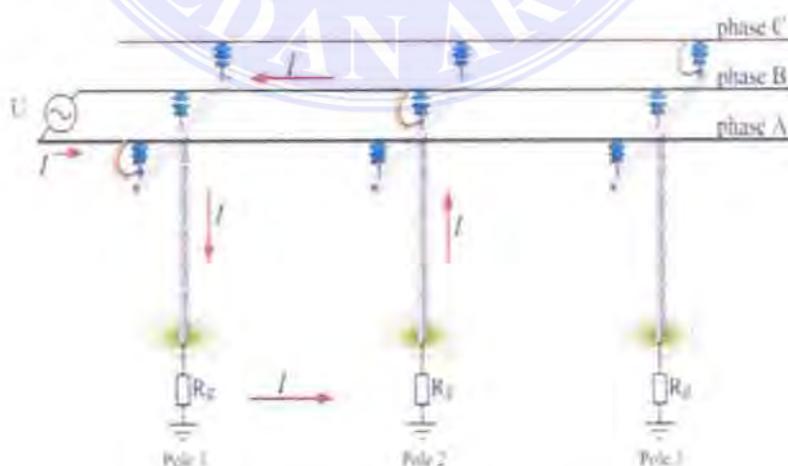
Gambar 2 29 Arrestor Multi Chamber
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

Arrester Multi Chamber merupakan Arrestor teknologi terbaru yang terdiri dari sejumlah besar elektroda dipasang di panjang karet silikon. Lubang dibor antar elektroda dan melalui langkah panjang dan bertindak sebagai ruang luhan

atau discharge gas miniatur. Ketika impuls petir tegangan diterapkan ke arrester, itu merusak kesenjangan antara elektroda.

Arrester Multi Chamber (MCA) 20 ditujukan untuk perlindungan dari tiga phase saluran udara transmisi listrik AC dari 24 kV tegangan operasi maksimum dengan terbuka dan ditutupi konduktor terhadap petir induksi lebih tegangan dan konsekuensinya dan dirancang untuk beroperasi di luar ruangan pada suhu kamar mulai dari suhu minus 60°C untuk positifnya 50°C. Kinerja dari pada Arrester Multi Chamber ini terdiri atas spesifikasi berupa tingkatan tegangannya, tipe arrester, kehandalan dalam menahan tegangannya, impuls yang dapat ditangkap ioleh arresternya, massa arrester, dan jangka hidup arrester serta waktu pemeliharaan arrester Pemasangan Arrester Multi Chamber ini dilakukan karena, supaya menstabilkan tegangan arus listrik saat terjadi lonjakan sehingga mampu melindungi berbagai peralatan elektronik dari kerusakan akibat lonjakan tengangan surja petir (surge atau tegangan kejut)

Pemasangan Arrester Multi Chamber ini dilakukan karena supaya menstabilkan tegangan arus listrik saat terjadi lonjakan sehingga mampu melindungi berbagai peralatan elektronik dari kerusakan akibat lonjakan tengangan surja petir (surge atau tegangan kejut).



Gambar 2 30 Struktur Pemasangan Arrester Multi Chamber
 Sumber: Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, Vol. 17, No. 2, Mei - Agustus 2018

Arrester yang terpasang merupakan Arrester induksi tegangan tinggi. Pemasangan pada arrester ini dimaksudkan menjadi salah satu bagian dalam satu kutub, pada fasa alternatif. Konfigurasi Arrester Multi Chamber ini terutama dimaksudkan untuk bekerja pada tiga pasang sambungan dengan saluran untuk arus dibentuk sebagai kesalan pada pada pembumian ganda atau hubungan arus singkat (*short circuit*) yang melalui tanah (*grounding*). Berkat pemasangan dan konfigurasi tersebut, maka tingkat kesalahan sangat berkurang, memungkinkan perangkat yang lebih kecil untuk digunakan

2.6 Sistem Pentanahan Jaringan Distribusi

Sistem pentanahan pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinyagangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi. Petir dapat menghasilkan arus gangguan dan juga tegangan lebih dimana gangguan tersebut dapat dialirkan ke tanah dengan menggunakan sistem pentanahan.

Sistem pentanahan adalah suatu tindakan pengamanan dalam jaringan distribusi yang langsung rangkaiannya ditanahkan dengan cara mentanahkan badan peralatan instalasi yang diamankan, sehingga bila terjadi kegagalan isolasi, terhambatlah atau bertahannya tegangan sistem karena terputusnya arus oleh alat-alat pengaman tersebut.

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

1. Membuat jalur impedansi rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian yang efektif.
2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (*surge current*)
3. Menggunakan bahan tahan terhadap korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah. Untuk meyakinkan kontiniutas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.

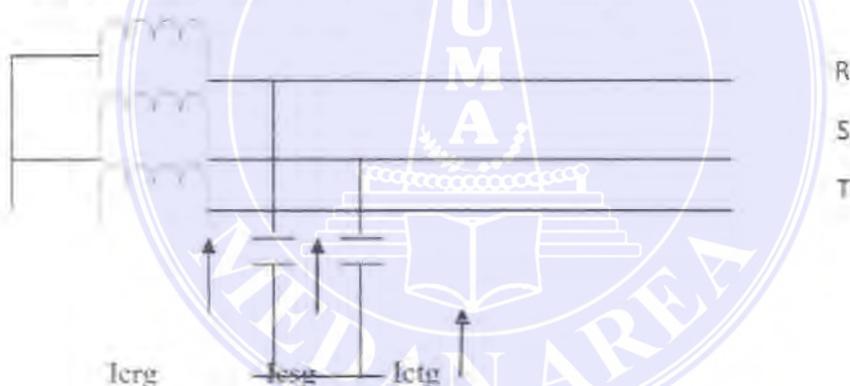
4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanannya.

Secara umum tujuan dari sistem pentanahan dan grounding pengaman adalah sebagai berikut :

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

2.6.1 Sistem Pentanahan Netral

2.6.1.1 Sistem Pentanahan Netral Tidak Diketanahkan



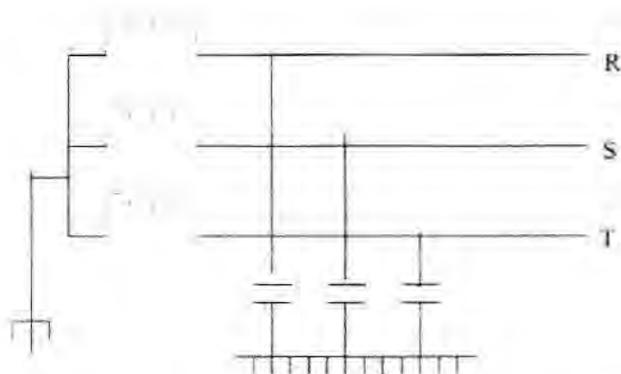
Gambar 2 31 Sistem Netral Tidak Diketanahkan

Sumber: <https://jaringandistribusitenagalistrik.wordpress.com>

Arus letg yang mengalir dari fasa yang terganggu ketanah, yang mana mendahului tegangan fasa aslinyakenetral dengan sudut 90° . Akan terjadi busur api (arcing) pada titik gangguan karena induktansi dan kapasitansi dari sistem. Tegangan fasa yang sehat akan naik menjadi tegangan line (fasa-fasa) atau 3 kali tegangan fasa, bahkan sampai 3 kali tegangan fasa.

2.6.1.2 Sistem Pentanahan Netral Langsung Diketanahkan

Pentanahan netral yang sederhana dimana hubungan langsung dibuat antara netral dengan tanah

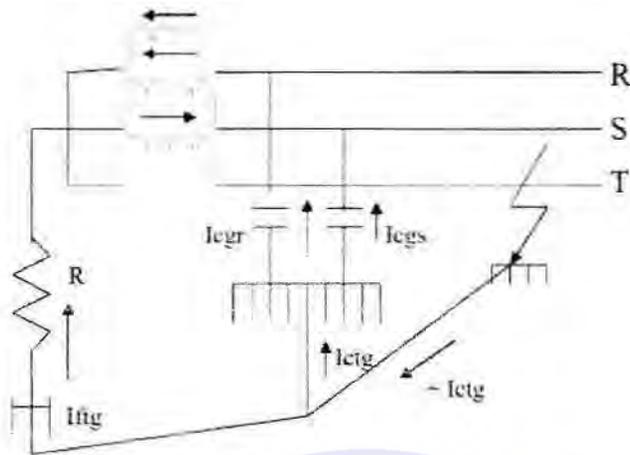


Gambar 2 32 Pentanahan Netral Langsung diketanahkan
 Sumber: <https://jaringandistribusitenagalistrik.wordpress.com>

Jika tegangan seimbang, juga kapasitasi fasa ke tanah sama, maka arus-arus kapasitasi fasa tanah akan menjadi sama dan saling berbeda fasa 120° satu sama lainnya. Titik netral dari impedansi adalah pada potensial tanah dan tidak ada arus yang mengalir antara netral impedansi terhadap netral trafo tenaga.

2.6.1.3 Pentanahan Netral Dengan Tahanan

Untuk membatasi arus gangguan tanah, alat pembatas arus dipasang antara titik netral dengan tanah. Salah satu dari pembatas arus ini adalah tahanan dan tahanan ada dua yaitu metalik dan cair (liquid). Besar dan hubungan fasa arus gangguan I_{fg} tergantung pada-pada harga reaktansi urutan nol dari sumber daya dan harga tahanan dan pentanahan. Arus gangguan dapat dipecah menjadi dua komponen yaitu yang sefasa dengan teggangan ke netral dari fasa terganggu yang lain ketinggalan 90° . Komponen yang ketinggalan dari arus gangguan I_{fg} dalam fasanya akan berlawanan arah dengan arus kapasitif I_{ctg} pada lokasi gangguan. Dengan pemelihan harga tahanan pentanahan yang sesuai, komponen yang logging dari arua gangguan dapat dibuat sama atau lebih besar dari arus kapasitif sehingga tidak ada oscilasi transien karena dapat terjadi busur api. Jika harga tahanan pentanahan tinggi sehingga komponen logging dari arus gangguan kurang dari arus kasitif, maka kondisi sistem akan mendekati sistem netral yang tidak ditanahkan dengan resiko terjadinya tegangan lebih.



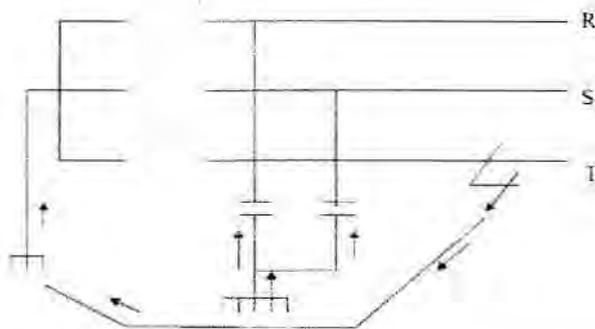
Gambar 2 33 Fasa Tegangan Tanah pada Pentanahan Netral dengan Tahanan
Sumber: <https://jaringandistribusitenagalistrik.wordpress.com>

2.6.1.4 Pentanahan Netral Dengan Reaktansi

Suatu sistem dapat dikatakan ditanahkan reaktansi bila suatu impedansi yang lebih induktif, disisipkan dalam titik netral trafo (generator) dengan tanah. Metode ini mempunyai keuntungan dari pentanahan tahanan :

- Untuk arus gangguan tanah maksimum peralatan reaktor lebih kecil dari resistor.
- Energi yang disisipkan dalam reaktor lebih kecil

Dengan ketiga tegangan fasa yang dipasang seimbang arus dari masingmasing impedansi akan menjadi sama dan saling berbeda fasa 120^o satu sama lainnya. Secara konsekuen tidak ada perbedaan pontensial antara titik netral dari suplai trafo tenaga



Gambar 2 34 Gangguan fasa T ke tanah pada pentanahan netral langsung
Sumber: <https://jaringandistribusitenagalistrik.wordpress.com>.

2.6.2 Tahanan Jenis Tanah

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah jenis tanah (ρ). Harga jenis tanah pada daerah kedalaman yang terbatas tidaklah sama. Beberapa factor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu:

2.6.2.1 Pengaruh Keadaan Struktur Tanah

Kesulitan yang biasa dijumpai dalam mengukur tahanan jenis tanah adalah bahwa dalam kenyataannya komposisi tanah tidaklah homogen pada seluruh volume tanah, dapat bervariasi secara vertikal maupun horizontal, sehingga pada lapisan tertentu mungkin terdapat dua atau lebih jenis tanah dengan tahanan jenis yang berbeda, oleh karena itu tahanan jenis tanah tidak dapat diberikan sebagai suatu nilai yang tetap. Untuk memperoleh harga sebenarnya dari tahanan jenis tanah, harus dilakukan pengukuran langsung ditempat dengan memperbanyak titik pengukuran.

Tahanan Jenis Tanah	Tanah Rawa	Tanah Liar dan Ladang	Pasir Basah	Kerikil Basah	Pasir Kerikil Kering	Tanah Berbatu
Tahanan Jenis Tanah (ohm)	30	100	200	500	1000	3000

Tabel 2 Jenis Tahanan Tanah

2.6.2.2 Pengaruh Unsur Kimia

Kandungan zat-zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula. Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat. Untuk mendapatkan tahanan jenis tanah yang lebih rendah, sering dicoba dengan mengubah komposisi kimia tanah dengan memberikan garam pada tanah dekat elektroda pembedaan ditanam. Cara ini hanya baik untuk sementara sebab proses penggaraman harus dilakukan secara periodik, sedikitnya 6 (enam) bulan sekali.

2.6.2.3 Pengaruh Iklim

Untuk mengurangi variasi tahanan jenis tanah akibat pengaruh musim, pembedaan dapat dilakukan dengan menanam elektroda pembedaan sampai mencapai kedalaman dimana terdapat air tanah yang konstan. Kadangkala pembedaan elektroda pembedaan memungkinkan kelembaban dan temperatur bervariasi sehingga harga tahanan jenis tanah harus diambil untuk keadaan yang paling buruk, yaitu tanah kering dan dingin.

Proses mengalirnya arus listrik di dalam tanah sebagian besar akibat dari proses elektrolisa, oleh karena itu air di dalam tanah akan mempengaruhi konduktivitas atau daya hantar listrik dalam tanah tersebut. Dengan demikian tahanan jenis tanah akan dipengaruhi pula oleh besar kecilnya konsentrasi air

tanah atau kelembaban tanah, maka konduktivitas daripada tanah akan semakin besar sehingga tahanan tanah semakin kecil.

2.6.2.4 Pengaruh Temperature Tanah

Temperatur tanah sekitar elektroda pbumian juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperature di bawah titik beku air (0°C), dibawah harga ini penurunan temperature yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat.

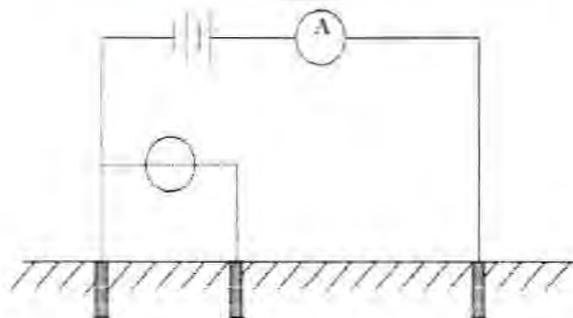
Gejala diatas dapat dijelaskan pada temperature dibawah titik beku air (0°C), air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi rendah sekali. Bila temperatur naik, air akan berubah menjadi fase cair, molekul-molekul dan ion-ion bebas bergerak sehingga daya hantar listrik tanah menjadi besar atau tahanan jenis tanah turun.

2.6.3 Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara:

2.6.3.1 Metode Tiga Titik

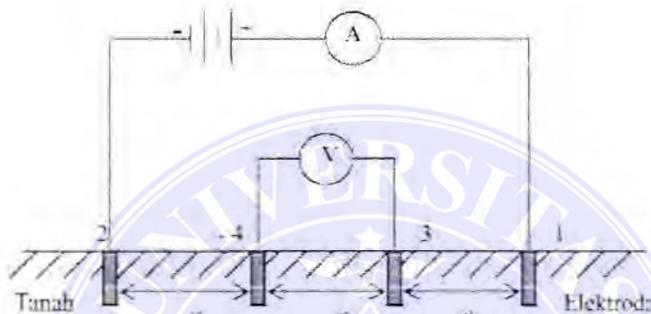
Metode tiga titik (*three-point methode*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahanannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahanannya.



Gambar 2 35 Rangkaian Pengukuran tahanan Jenis Tanah dengan Metode Tiga Titik Sumber: <https://jaringandistribusitenagalistrik.wordpress.com>

2.6.3.2 Metode Empat Titik

Metode pengukuran yang dipergunakan adalah metode empat titik. Bila arus I masuk ke dalam tanah melalui salah satu elektroda dan Kembali ke elektroda yang lain sehingga pengaruh diameter konduktor dapat diabaikan. Arus masuk ke tanah mengalir secara radial dari elektroda.



Gambar 2.36 Rangkaian Pengukuran tahanan Jenis Tanah dengan Metode Empat Titik Sumber: <https://jaringandistribusitenagalistrik.wordpress.com>

2.6.4 Elektroda Pentanahan

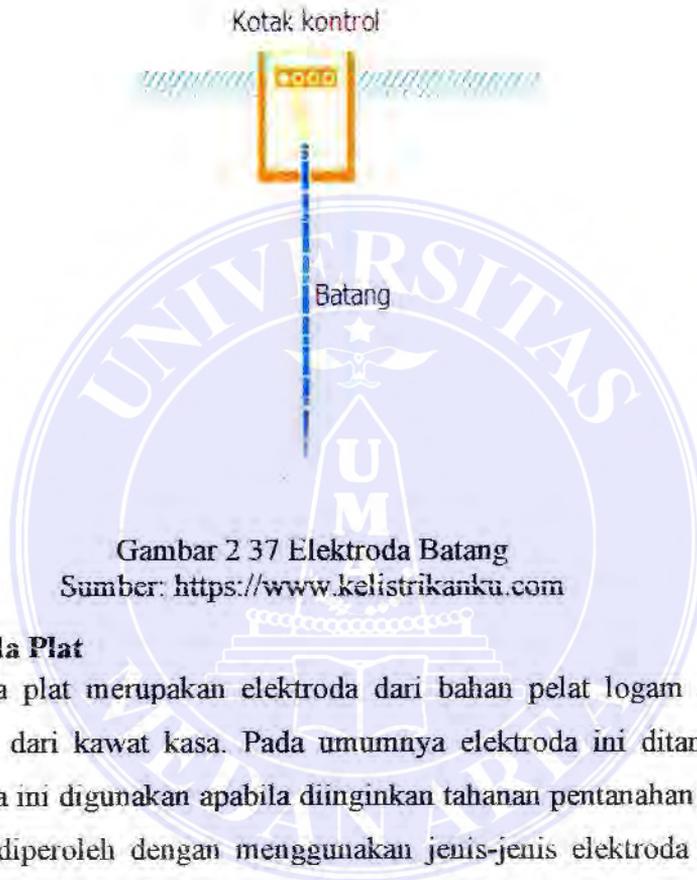
Elektroda pentanahan adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah. Adanya kontak langsung tersebut bertujuan agar diperoleh pelaluan arus yang sebaik-baiknya apabila terjadi gangguan sehingga arus tersebut disalurkan ketanah.

Menurut PUIL 2000 [3.18.11] elektroda adalah penghantar yang ditauamkan ke dalam tanah yang membuat kontak langsung dengan tanah. Untuk bahan elektroda pentanahan biasanya digunakan bahan tembaga, atau baja yang bergalvanis atau dilapisi tembaga sepanjang kondisi setempat tidak mengharuskan memakai bahan lain misalnya pada perusahaan kimia. Jenis-jenis elektroda digunakan dalam pentanahan adalah sebagai berikut.

2.6.4.1 Elektroda Batang

Elektroda batang adalah elektroda dari pipa besi baja profil atau batangan logam lainnya yang dipancangkan ke dalam tanah secara dalam. Panjang

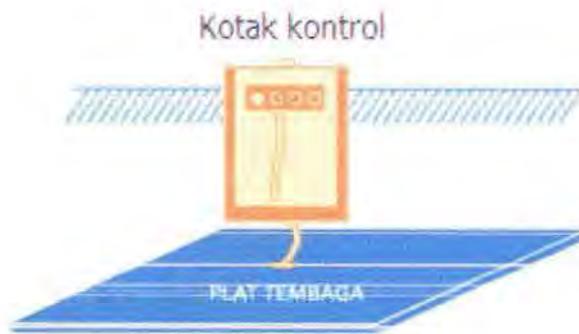
elektroda yang digunakan sesuai dengan pentanahan yang diperlukan. Elektroda rod atau elektroda batang merupakan elektroda yang pertama kali digunakan dan teori-teori berawal dari elektroda jenis rod (Suyamto, 2012). Elektroda rod banyak digunakan pada gardu induk.



Gambar 2 37 Elektroda Batang
Sumber: <https://www.kelistrikanku.com>

2.6.4.2 Elektroda Plat

Elektroda plat merupakan elektroda dari bahan pelat logam (tuh atau berlubang) atau dari kawat kasa. Pada umumnya elektroda ini ditanam cukup dalam. Elektroda ini digunakan apabila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan yang sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain. Pada pemasangannya elektroda ini dapat ditanam tegak lurus atau mendatar tergantung dari tujuan penggunaannya. Bila digunakan sebagai elektroda pembumian pengaman maka cara pemasangannya adalah tegak lurus dengan kedalaman kira-kira 1 meter di bawah permukaan tanah dihitung dari sisi plat sebelah atas. Bila digunakan sebagai elektroda pengatur yaitu mengatur kecuraman gradien tegangan guna menghindari tegangan langkah yang besar dan berbahaya, maka elektroda plat tersebut ditanam mendatar.



Gambar 2 38 Elektroda Plat Sumber:
<https://www.kelistrikanku.com>

2.6.4.3 Elektroda Pita

Elektroda pita merupakan elektroda yang terbuat dari hantaran berbentuk pita atau berpenampang bulat atau hantaran pilin yang pada umumnya ditanam secara dangkal. Pemancangan dilakukan secara vertikal dengan menanam batang hantaran secara horizontal (mendatar) dan dangkal. Elektroda ini merupakan logam yang mempunyai penampang yang berbentuk pita atau dapat juga berbentuk bulat, pita yang dipilin atau dapat juga berbentuk kawat yang dipilin. Elektroda ini dapat ditanam secara dangkal pada kedalaman antara 0,5 sampai 1 meter dari permukaan tanah, tergantung dari kondisi dan jenis tanah. Dalam pemasangannya elektroda pita ini dapat ditanam dalam bentuk memanjang, radial, melingkar atau kombinasi dari lingkaran dan radial.



Gambar 2.39 Elektroda Pita
Sumber: <https://www.kelistrikanku.com>

2.6.5 Konduktor Pentanahan

Konduktor yang digunakan untuk pentanahan harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain:

- a. Memiliki daya hantar jenis (conductivity) yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial local yang berbahaya.
- b. Memiliki kekuatan secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kerusakan fisik.
- c. Tahan terhadap peleburan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan terkena magnitude arus gangguan dalam waktu yang lama.
- d. Tahan terhadap korosi

2.6.6 Sistem Pentanahan Pada Jaringan Distribusi

Sistem jaringan tegangan menengah 20 kV sampai dengan 29 kV harus selalu diketanahkan karena kemungkinan gagal sangat besar oleh tegangan lebih transien yang dikaitkan oleh busur tanah (arcing grounds). Dibawah ini ditunjukkan konstruksi pentanahan langsung dan pentanahan peralatan jaringan.

Pentanahan ini tidak membatasi arus gangguan tanah, oleh karena itu diperlukan suatu pengaman yang cepat. Tindakan pengaman harus dilakukan sebaik-baiknya agar tegangan sentuh yang terlalu tinggi akibat dari kegagalan isolasi tidak terjadi dan membahayakan manusia serta peralatan itu sendiri. Pada

pentanahan peralatan tegangan sentuh yang sering adalah tegangan sentuh tidak langsung sebagaimana dijelaskan dalam PUIL 2000 (3.5.1.1) bahwa tegangan sentuh tidak langsung adalah tegangan sentuh pada bagian konduktor terbuka (BKT) perlengkapan atau instalasi listrik yang menjadi bertegangan akibat kegagalan isolasi.



BAB III

PENGUMPULAN DATA

3.1 Waktu dan Lokasi Studi Kasus

Proses pengumpulan data ini dilaksanakan pada tanggal 23 Agustus 2021 s/d 23 September 2021 pada hari kerja Senin s/d Jumat pukul 08.00-17.00 Wib dan lokasi studi kasus adalah di PT.PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Siantar Kota.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Metode yang digunakan dalam melaksanakan studi kasus ini adalah metode eksperimen dengan metode kuantitatif berupa metode:

- 1) Studi tanya jawab, diskusi dengan pembimbing lapangan, supervisor, dan orang-orang yang berkompeten didalam bidang tersebut.
- 2) Studi lapangan, merupakan metode untuk mengambil data dan mengumpulkan data secara langsung dari tempat objek, dimana data dilakukan dengan cara:
 - a. Observasi merupakan metode dengan cara mengamati secara langsung untuk mendapatkan data-data yang lebih akurat mengenai tugas kerja praktek ini.
 - b. Menanyakan secara langsung kepada pembimbing tempat melakukan kerja praktek.

Dalam pengumpulan data yang akan diperoleh penulis berkonsultasi dan melakukan pengkajian dan mengikuti pengarahan dari pembimbing Kerja Praktek di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota untuk mendapatkan data yang diperlukan dengan menanyakan hal-hal yang perlu diketahui meliputi pengambilan data yang digunakan dan melakukan pengamatan secara langsung pada pengukuran tahanan pentanahan transformator daya di PT.PLN (persero) ULP Siantar Kota

3.3 Data Lapangan

Data lapangan adalah berupa data pengukuran nilai pembumian, data tanah, dan data beberapa gangguan temuan dilapangan ketika dilaksanakannya pemeliharaan pembumian trafo distribusi.

3.4 Gangguan-gangguan yang Ditemui di Lapangan

Pada saat melaksanakan pemeliharaan gardu distribusi yaitu pengukuran tahanan pentanahan transformator Adapun permasalahan yang sering terjadi di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota adanya transformator rusak (kontak) yang disebabkan oleh surja petir dan pohon tumbang yang menimpa konstruksi tiang sehingga patah dan menyebabkan jatuh dan rusak. Saat melaksanakan Kerja Praktek penulis memperoleh data transformator kontak pada 23 Agustus sampai 23 September 2021 sebanyak 2 transformator rusak (kontak). Penyebab transformator kontak yang sering terjadi dilapangan pada umumnya indikasi penyebab kontaknya transformator di daerah kerja PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota adalah karena sambaran petir. Berikut beberapa temuan gangguan yang penulis temukan di lapangan Ketika melaksanakan Kerja Praktek, yaitu:

- 1) *Lightning Arrester* (LA) yang flash over. Pemasangan *Lightning Arrester* pada transformator masih belum maksimal salah satu penyebabnya adalah pada saat terjadi sambaran petir pada *Lightning Arrester*, petugas pemeliharaan tidak segera menggantinya dengan yang baru dan membiarkan putus begitu saja. Berikut Gambar *Lightning Arrester* (LA) yang putus akibat sambaran petir



Gambar 3 1 Lightning Arrester yang putus akibat sambaran petir
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

3.5 Pelaksanaan Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya
Untuk melaksanakan Pengukuran Pentanahan Transformator Daya khususnya di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota mempunyai Standard Operasional Procedure (SOP). Untuk petugas di lapangan dilengkapi dengan peralatan untuk pengukuran maupun keselamatan seperti di gambar bawah ini.



Gambar 3 2 Peralatan Standard Operasional Procedure
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

Pelaksanaan Pengukuran Pentanahan yang penulis kerjakan sewaktu melakukan kegiatan Kerja Praktek di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota adalah merupakan bagian dari kegiatan survey Trafo dimana waktu survei tersebut pekerjaan yang dilakukan adalah:

- Mengukur beban gardu
- Memeriksa kondisi tiang dan pondasi tiang trafo
- Memeriksa kondisi NT Fuse
- Memeriksa kondisi panel
- Memeriksa Trafo
- Memeriksa kondisi CO dan Lightning Arrester pada trafo
- Memeriksa kondisi jumper setiap kawat
- Memeriksa kondisi kabel optik
- Mengukur nilai Pentanahan

Untuk membantu melakukan pengambilan data, penulis memerlukan beberapa peralatan pengujian yang bisa mendukung pengambilan data yang diperlukan, peralatan-peralatan yang diperlukan peralatan yang diperlukan yaitu:

1) Multitester atau Multimeter

Alat ini merupakan pengukur listrik yang sering dikenal sebagai VOM (Volt Ohm Meter) yang bisa mengukur tegangan (Voltmeter), hantaran (ohm-meter) dan arus (amperemeter), alat ini juga bisa mengukur temperature, induktansi, dan frakuensi. Disini penulis menggunakan multitester digital, yaitu untuk mengukur tegangan dan arus yang ada pada elektroda pbumian.



Gambar 3.3 Multitester
Sumber : Siantar, 2021 (dokumen pribadi)

2) Earth Tester

Earth Tester adalah alat untuk mengukur nilai resistansi dari grounding. Besarnya tahanan tanah sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan pentanahan dalam sistem pengamanan dalam instalasi listrik. Perancangan alat ukur tahanan tanah digital ini menggunakan tiga batang elektroda yang ditanahkan yaitu elektroda E (Earth), elektroda P (Potensial) dan elektroda C (Current). Tujuan penggunaan tiga batang elektroda tersebut adalah untuk mengetahui sejauh mana tahanan dapat mengalirkan arus listrik. Alat ukur tahanan tanah ini terdiri dari beberapa blok diagram rangkaian, antara lain rangkaian osilator, rangkaian tegangan input, rangkaian arus input, mikrokontroler dan rangkaian penampil. Sebelum hasil pengukuran di tampilkan ke LCD, data diolah dirangkaian mikrokontroler. Keuntungan dengan menggunakan mikrokontroler ini yaitu keluaran dari rangkaian input ini sebelum masuk ke LCD bisa diatur. Sehingga, perancangan alat ukur tahanan tanah digital ini dapat mengukur tahanan tanah dengan teliti dan akurat. Hasil pengukuran tahanan tanah juga bergantung pada kondisi tanah itu sendiri. Disini penulis melakukan

pengukuran pembumian menggunakan Digital Earth Tester merek Kyoritsu.



Gambar 3 4 Digital Earth Tester (Kyoritsu)
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

Setelah melihat sejumlah transformator kontak dengan indikasi penyebab kontakannya adalah karena sambaran petir dan pohon tumbang, penulis melakukan pengukuran resistansi pembumian pada beberapa transformator yang kontak tersebut menggunakan Digital Earth Tester. Cara menggunakan earth tester adalah sebagai berikut:

- a) Periksa kondisi dan kelengkapan penunjang alat ukur digital earth tester berupa 1 buah digital earth tester, 2 batang angkur, dan 3 kabel dengan warna merah, kuning, dan hijau.
- b) Periksa kawat grounding pada gardu yang akan diukur. Bila kotor, bersihkan terlebih dahulu permukaan kabel tersebut agar jepitan kabel probe dapat menyentuh langsung permukaan kawat yang sudah bersih untuk mencegah terjadinya kesalahan pembacaan pada alat ukur.
- c) Lakukan pengukuran dengan cara bentangkan kabel warna merah sepanjang 20 meter. Ujung kabel yang menggunakan sepatu kabel adalah untuk dijepit ke batang angkur sedangkan ujung lainnya

dihubungkan ke alat ukur pada terminal C, kemudian batang ankur ke dalam tanah.



Gambar 3 5 hasil dari pemasangan kabel merah ke batang ankur
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

- d) Bentangkan kabel warna kuning sepanjang 10 meter. Sama seperti kabel merah, ujung kabel yang menggunakan sepatu kabel jepit ke batang ankur, sedangkan ujung lainnya dihubungkan ke alat ukur pada terminal P, kemudian tancapkan batang ankur ke dalam tanah. Jarak ankur antara kabel antara warna merah dan kuning adalah 5 sampai 10 meter. Hubungkan jepitan warna hijau ke kawat grounding yang akan diukur, ujung lainnya dihubungkan ke terminal E pada alat ukur.



Gambar 3 6 Proses pemasangan Kabel Hijau ke Ground
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

Untuk melakukan pengukuran tekan tombol orange lalu putar searah jarum jam. Putar rotateswitch sesuai dengan angka pengukuran yang diinginkan.

- e) Lakukan pembacaan pada alat ukur.



Gambar 3 7 Proses penghitungan nilai tahanan pentanahan dengan 200 ohm
Sumber : Siantar,2021 (dokumen pribadi)

3.6 Kendala yang Dihadapi Dilapangan

Kendala yang ditemui dalam pengerjaan pengukuran tahanan pentanahan adalah sebagai berikut:

- Nilai resistansi pembumian yang cukup besar
- Sebagian kawat pembumian (baik pentanahan arrester, trafo, dan netral) tidak bisa terbaca oleh alat ukur
- Tidak semua trafo di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota yang diukur nilai pentanahannya.



BAB IV

ANALISA

4.1 Data Hasil Pengukuran

Pada pelaksanaa Kerja Praktek yang berjudul “Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota” yang bertujuan untuk mengetahui perbandingan hasil dari jenis tanah dengan menggunakan Earth Tester Digital.

Tabel 4.1 hasil pengukuran tahanan pentanahan transformator daya di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota

No	Lokasi Gardu	Jenis Tanah	Hasil pengukuran nilai resistansi pentanahan		
			20Ω	200Ω	2000Ω
1	Jl. Medan-siantar	Kering	4	41,3	041,3
2	Jl. Patimura Ujung	Lembab	0	03,0	003,0
3	Jl. Jend Ahmad Yani	Lembab	0	00,6	000,6
4	Jl. Nenas	Lembab	0	05,6	005,6
5	Jl. Panombeian Panei	Lembab	0	06,3	006,3

Tabel 3 Hasil dari pengumpulan data

Menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIIL 2000) adalah penghubungan suatu titik sirkit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu dan Nilai tahanan pembumian yang dipersyaratkan adalah $\leq 5 \Omega$, dan dengan berpatokan data hasil pengukuran nilai resistansi pembumian trafo di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota, maka pembimbing lapangan memberi tanggapan untuk nilai pembumian sudah bagus dan akan melakukan pemeliharaan berlanjut guna untuk memaksimalkan nilai pembumian tersebut.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan dan data yang ada maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Memiliki nilai resistansi pentanahan yang sesuai dengan standar PLN adalah sangat penting untuk keamanan masyarakat dan petugas PLN serta, keamanan instansi baik pelanggan juga pihak PLN.
- 2) Sebagian besar nilai resistansi pentanahan transformator di PT.PLN (Persero) ULP Siantar Kota belum memenuhi standar

5.2 Saran

- 1) Mengingat pentingnya peran sistem pentanahan untuk menjaga keselamatan dan kelangsungan penyaluran tenaga listrik maka, penulis menyarankan agar sebaiknya segera dilakukan perbaikan nilai resistansi pentanahan yang belum memenuhi standar PLN.
- 2) Sebaiknya penelitian selanjutnya juga membandingkan nilai tahanan pembumian pada musim hujan dan musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

PT. PLN (Persero) ULP Siantar Kota, Profil Perusahaan

Zuhail, 1988, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Gramedia, Jakarta

Adrianus Darso Malendes, 2015, *Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya*, Manado

<https://electricdot.wordpress.com/2012/12/23/jenis-jenis-elektroda>

Mukhlis, 2019, *Studi Kasus Pentanahan Transformator Distribusi 20 kV*, Medan

Rahmawati, 2009, *Perancangan Sistem Pentanahan Netral Trafo Pada Gardu Trafo Tiang 20 kV dengan Menggunakan Tahanan Tinggi*, Malang

ISSN 1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372I Gede Gerry Julius Perdana :
Pemasangan Arrrester Multi Chamber Di Penyulang Pecatu

<https://ezkhelenergy.blogspot.com>