

**LAPORAN AKHIR**  
**PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN TRANSFORMATOR DAYA**  
**PT. PLN (PERSERO) RAYON SIAU**



Oleh  
**ADRIANUS DARSO MALENDES**  
NIM : 12 021 020

**DOSEN PEMBIMBING**  
**VENTJE TIRAJOH. ST**  
NIP. 19581112 198903 1 001

**KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI**  
**POLITEKNIK NEGERI MANADO**  
**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**2015**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN TRANSFORMATOR DAYA**  
**PT. PLN (PERSERO) RAYON SIAU**

Oleh

Adrianus Darso Malendes

12 021 020

*Laporan Akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai persyaratan untuk*

*Menyelesaikan Pendidikan Diploma III Teknik Elektro*

*Program Studi Teknik Listrik*

*Politeknik Negeri Manado*

**Manado, 2 Agustus 2015**

**Menyetujui :**

**Ketua Panitia Laporan Akhir,**

**Dosen Pembimbing,**

**Fanny J. Doringin, ST.MT**

**Ventje Tirajoh, ST**

**NIP. 19670430 199203 1 003**

**NIP. 19581112 198903 1 003**

**Ketua Jurusan Teknik Elektro**

**Ir. Jusuf Luther Mappadang, MT**

**NIP. 19610601 199003 1 001**

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Laporan tugas akhir ini berjudul “Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya PT. PLN (Persero) Rayon Siau” ini dimaksudkan untuk menyelesaikan program pendidikan Diploma III Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado.

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

1. Bapak Ir. Jemmy Rangan, MT. Selaku Direktur Politeknik Negeri Manado;
2. Bapak Ir. Jusuf Luther Mappadang, MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Manado;
3. Bapak Marson Budiman, SST.MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik DIII Politeknik Negeri Manado;
4. Bapak Ventje E.Tirajoh, ST. Selaku Dosen Pembimbing penulis yang telah membimbing, meluangkan waktu dan pikiran untuk membantu penulis menyelesaikan laporan akhir ini;
5. Seluruh Dosen Teknik Listrik Politeknik Negeri Manado yang telah memberikan saran dan masukan yang berharga kepada penulis dalam penyusunan laporan akhir;
6. Bapak Robby Mandagi, ST. Selaku Manager PT. PLN (Persero) Rayon Siau;
7. Bapak D. Haryono, Selaku supervisor Teknik PT. PLN (Persero) Rayon Siau;
8. Bapak Dimas Kahindage. Selaku Supervisor TEL PT. PLN (Persero) Rayon Siau;

9. Semua pegawai dan outsourcing PT. PLN (Persero) Rayon Siau atas pengalaman serta pengetahuan yang penulis dapatkan selama mengikuti kegiatan Praktek Kerja Lapangan;
10. Keluarga Tumbel-Assa (Om Ongki dan Tanta Vera) serta Wicklif, Imelda dan Cry yang selalu memberikan motivasi dan dorongan kepada penulis serta selalu mendoakan penulis dalam setiap tugas dan kegiatan dalam menyelesaikan laporan akhir ini.
11. Keluarga Nainggolan-Marpaung yang dengan senang hati menerima penulis untuk tinggal di rumah selama penulis melaksanakan kegiatan Praktek Kerja Lapangan.
12. Seluruh teman-teman sekelas Teknik Listrik DIII yang selalu membantu penulis dalam mendapatkan berbagai informasi dalam penyusunan laporan akhir ini;

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

Semogah hasil laporan akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis dikemudian hari. Akhir kata penulis mengucapkan bayak terimakasih.

Manado, Juni 2015

Penulis

Adrianus Malendes

NIM : 12021020

## DAFTAR ISI

|                                                       |        |
|-------------------------------------------------------|--------|
| LEMBAR PENGESAHAN .....                               | ii     |
| KATA PENGANTAR .....                                  | iii-iv |
| DAFTAR ISI .....                                      | v-viii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                   | ix-x   |
| DAFTAR TABEL .....                                    | xi     |
| BAB 1 PENDAHULUAN .....                               | 1      |
| 1.1 Latar Belakang .....                              | 1-2    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                             | 2-3    |
| 1.3 Batasan Masalah .....                             | 3      |
| 1.4 Tujuan .....                                      | 3      |
| 1.5 Manfaat .....                                     | 3      |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....                       | 4      |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....                          | 5      |
| 2.1 Sistem Tenaga Listrik .....                       | 5      |
| 2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik .....          | 5-6    |
| 2.1.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik .....           | 6      |
| 2.1.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik .....          | 7      |
| 2.2 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik ..... | 7      |
| 2.2.1 Gardu Induk .....                               | 7-8    |
| 2.2.1.1 Fungsi Gardu Induk .....                      | 8      |
| 2.2.1.2 Jenis-Jenis Gardu Induk .....                 | 8-9    |
| 2.2.1.2.1 Berdasarkan Besaran Tegangannya .....       | 9      |
| 2.2.1.2.2 Berdasarkan Pemasangan Peralatan ....       | 9-10   |
| 2.2.1.2.3 Berdasarkan Fungsinya .....                 | 10-11  |
| 2.2.1.2.4 Berdasarkan Isolasi Yang Digunakan .....    | 11     |
| 2.2.1.2.5 Berdasarkan Rel (Busbar) .....              | 11-12  |
| 2.2.2 Jaringan Distribusi Primer .....                | 12-13  |
| 2.2.2.1 Sistem Radial .....                           | 13-14  |
| 2.2.2.2 Sistem Loop .....                             | 14     |
| 2.2.2.3 Sistem Spindel .....                          | 14     |

|             |                                                       |       |
|-------------|-------------------------------------------------------|-------|
| 2.3         | Gardu Distribusi .....                                | 15    |
| 2.3.1       | Macam-Macam Gardu Distribusi .....                    | 15    |
| 2.3.1.1     | Gardu Hubung .....                                    | 15    |
| 2.3.1.2     | Gardu Trafo .....                                     | 15    |
| 2.3.1.3     | Gardu Open Type (Gardu Sel) .....                     | 15    |
| 2.3.1.4     | Gardu Closed Type (Gardu Kubikel) .....               | 15-16 |
| 2.3.1.5     | Gardu Tembok (Gardu Beton) .....                      | 16    |
| 2.3.1.6     | Gardu Kios (Gardu Besi) .....                         | 16    |
| 2.3.1.7     | Gardu Portal .....                                    | 16    |
| 2.3.1.8     | Gardu Kontrol .....                                   | 17    |
| 2.3.2       | Transformator Distribusi .....                        | 17    |
| 2.3.2.1     | Macam-Macam Transformator Distribusi .....            | 18    |
| 2.3.2.1.1   | Jenis Overhead .....                                  | 18    |
| 2.3.2.1.1.1 | Tipe Konvensional .....                               | 18    |
| 2.3.2.1.1.2 | Tipe CSP .....                                        | 19    |
| 2.3.2.1.2   | Jenis Underground .....                               | 19    |
| 2.3.2.1.2.1 | Tipe Subway .....                                     | 19-20 |
| 2.3.2.1.2.2 | Tipe Network .....                                    | 20-21 |
| 2.3.2.1.3   | Tipe Padmounted .....                                 | 22    |
| 2.4         | Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi .....          | 23    |
| 2.4.1       | Alat Pengaman Celah .....                             | 23    |
| 2.4.1.1     | Alat Pengaman Celah Batang (rod gap) .....            | 23-24 |
| 2.4.1.2     | Alat Pengaman Tanduk Api (arcing horn) .....          | 24    |
| 2.4.1.3     | Alat Pengaman Celah Sekring (fuse rod gap) ...        | 24-25 |
| 2.4.1.4     | Alat Pengaman Celah Kontrol (control gap) .....       | 25    |
| 2.4.1.5     | Alat Pengaman Celah Tanduk (horn gap) .....           | 25-26 |
| 2.4.2       | Alat Pengaman Tabung Pelindung (protector tube) ..... | 26    |
| 2.4.3       | Alat Pengaman Lightning Arrester .....                | 26-29 |
| 2.4.3.1     | Lightning Arrester Jenis Oksida Film .....            | 29-30 |

|         |                                                     |       |
|---------|-----------------------------------------------------|-------|
| 2.4.3.2 | Lightning Arrester Jenis Thyrite .....              | 30-31 |
| 2.4.3.3 | Lightning Arrester Jenis Katup (valve) .....        | 31-33 |
| 2.4.3.4 | Lightning Arrester Jenis Expulsion .....            | 34-35 |
| 2.4.3.5 | Karakteristik Arrester.....                         | 35-36 |
| 2.4.4   | Alat Pengaman Arus Lebih .....                      | 36    |
| 2.4.4.1 | Fuse Cut Out .....                                  | 36-38 |
| 2.4.5   | Penempatan Alat Pada Jaringan .....                 | 38-39 |
| 2.4.5.1 | Penempatan Arrester Pada Tiang Penyangga .....      | 39    |
| 2.4.5.2 | Penempatan Arrester pada Tiang Opstik Kabel .....   | 40    |
| 2.4.5.3 | Penempatan Arrester Pada Tiang Akhir Jaringan ..... | 40    |
| 2.4.5.4 | Penempatan arrester Pada Tiang trafo Double Pole .. | 41    |
| 2.4.5.5 | Penempatan Arrester Pada Tiang Trafo Single Pole .. | 41    |
| 2.5     | Sistem Pentanahan Jaringan Distribusi .....         | 42-43 |
| 2.5.1   | Sistem Pentanahan Netral .....                      | 43    |
| 2.5.1.1 | Sistem Netral Tidak Diketanahkan .....              | 43-44 |
| 2.5.1.2 | Pentanahan Netral Langsung .....                    | 44    |
| 2.5.1.3 | Pentanahan Titik Netral Dengan Tahanan .....        | 44-45 |
| 2.5.1.4 | Pentanahan Netral Dengan Reaktansi .....            | 45-46 |
| 2.5.2   | Tahanan Jenis Tanah .....                           | 46    |
| 2.5.2.1 | Pengaruh Keadaan Struktur Tanah .....               | 46-47 |
| 2.5.2.2 | Pengaruh Unsur Kimia .....                          | 47    |
| 2.5.2.3 | Pengaruh Iklim .....                                | 47-48 |
| 2.5.2.4 | Pengaruh Temperatur Tanah .....                     | 48    |
| 2.5.3   | Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah .....         | 49    |
| 2.5.3.1 | Metode Tiga Titik (three point methode) .....       | 49    |
| 2.5.3.2 | Metode Empat Titik (four electode methode) .....    | 50    |
| 2.5.4   | Elektroda Pentanahan .....                          | 50-51 |
| 2.5.4.1 | Elektroda Batang .....                              | 51-52 |
| 2.5.4.2 | Elektroda Bentuk Pelat .....                        | 52-53 |

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.5.4.3 Elektroda Bentuk Pita ..                                                                     | 53-54     |
| 2.5.4.4 Elektroda Lain .....                                                                         | 54        |
| 2.5.5 Konduktor Pentanahan .....                                                                     | 54-55     |
| 2.5.6 Sistem Pentanahan Pada Jaringan Distribusi .....                                               | 55        |
| <b>BAB 3 PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN TRANSFORMATOR<br/>DAYA PT. PLN (PERESRO) RAYON SIAU .....</b> | <b>56</b> |
| 3.1 Peralatan Pengukuran Pentanahan .....                                                            | 56-64     |
| 3.2 Pelaksanaan Pengukuran Pentanahan ....                                                           | 64-66     |
| 3.3 Masalah Yang Dihadapi Dilapangan .....                                                           | 66        |
| <b>BAB 4 HASIL PENELITIAN .....</b>                                                                  | <b>67</b> |
| 4.1 Data Hasil Pengukuran .....                                                                      | 67-70     |
| 4.2 Pengujian Sistem Pentanahan .....                                                                | 71        |
| 4.2.1 Pengukuran Tegangan Tembus Body Trafo Terhadap Tanah .                                         | 71        |
| 4.2.2 Pengukuran Arus Netral Terhadap Elektroda Pentanahan .....                                     | 71        |
| 4.2.3 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah .....                                                           | 71        |
| 4.3 Tanggapan Pihak PLN Rayon Siau .....                                                             | 72        |
| <b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                                              | <b>73</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                                                 | 73        |
| 5.2 Saran .....                                                                                      | 73        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                                          | <b>74</b> |

## **Daftar Gambar**

| <b>Gambar</b> |                                        | <b>Halaman</b> |
|---------------|----------------------------------------|----------------|
| Gambar 2.1    | Sistem Pembangkit Tenaga Listrik ..... | 5              |
| Gambar 2.2    | Sistem Transmisi Tenaga Listrik .....  | 6              |
| Gambar 2.3    | Sistem Distribusi Tenaga Listrik ..... | 7              |
| Gambar 2.4    | Gardu Induk .....                      | 7              |
| Gambar 2.5    | Konfigurasi Jaringan Radial .....      | 13             |
| Gambar 2.6    | Konfigurasi Jaringan Loop .....        | 14             |
| Gambar 2.7    | Konfigurasi Jaringan Spindel .....     | 14             |
| Gambar 2.8    | Konstruksi Gardu Kios .....            | 16             |
| Gambar 2.9    | Konstruksi Gardu Portal .....          | 16             |
| Gambar 2.10   | Konstruksi Gardu Kontrol .....         | 17             |
| Gambar 2.11   | Trafo Tipe Konvensional .....          | 18             |
| Gambar 2.12   | Trafo Tipe CSP .....                   | 19             |
| Gambar 2.13   | Trafo Tipe Subway .....                | 20             |
| Gambar 2.14   | Trafo Tipe Network .....               | 21             |
| Gambar 2.15   | Trafo Tipe Padmounted .....            | 22             |
| Gambar 2.16   | Pengaman Celah Batang .....            | 23             |
| Gambar 2.17   | Pengaman Tanduk Api .....              | 24             |
| Gambar 2.18   | Pengaman Celah Tanduk .....            | 26             |
| Gambar 2.19   | Arus Melalui Arrester .....            | 28             |
| Gambar 2.20   | Arrester Jenis Thyrite .....           | 31             |

|             |                                                                 |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.21 | Karakteristik Arrester Jenis Katup .....                        | 32 |
| Gambar 2.22 | Arrester Jenis Katup .....                                      | 32 |
| Gambar 2.23 | Arrester Katup Jenis Saluran .....                              | 33 |
| Gambar 2.24 | Arrester Jenis Expulsion .....                                  | 34 |
| Gambar 2.25 | Pengaman Fuse Cut Out .....                                     | 37 |
| Gambar 2.26 | Penempatan CO dan Arrester Pada Jaringan .....                  | 38 |
| Gambar 2.27 | Penempatan Arrester Pada Tiang Pengaman Jaringan .....          | 39 |
| Gambar 2.28 | Penempatan Arrester Pada Tiang Opstik Kabel .....               | 40 |
| Gambar 2.29 | Penempatan Arrester Pada Tiang Akhir Jaringan .....             | 40 |
| Gambar 2.30 | Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Double Pole .....         | 41 |
| Gambar 2.31 | Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Single Pole .....         | 41 |
| Gambar 2.32 | Sistem Netral Tidak Diketahui .....                             | 43 |
| Gambar 2.33 | Pentanahan Netral Langsung .....                                | 44 |
| Gambar 2.34 | Fasa Tegangan Tanah Pada Pentanahan Netral Dengan Tahanan ..... | 45 |
| Gambar 2.35 | Gangguan Fasa T ke Tanah Pada Pentanahan Netral Langsung .....  | 46 |
| Gambar 2.36 | Rangkaian Pengukuran Tahanan Jenis Tanah Metode Empat Titik ... | 50 |
| Gambar 2.37 | Elektroda Batang dan lapisan Tanah disekeliling .....           | 52 |
| Gambar 2.38 | Pentanahan Dua Batang Konduktor Hubungan Paralel .....          | 52 |
| Gambar 2.39 | Elektroda Pelat Dipasang Vertikal .....                         | 53 |
| Gambar 3.1  | Peralatan Pengukuran Tahanan Pentanahan .....                   | 56 |
| Gambar 3.2  | Earth tester digital merk kyoritsu .....                        | 65 |
| Gambar 3.3  | Pengukuran Pentanahan Trafo Beali 2 .....                       | 66 |

## **Daftar Tabel**

| <b>Tabel</b> |                                                                                                     | <b>Halaman</b> |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Tabel 2.1    | Tegangan Sistem dan Panjang Celah .....                                                             | 23             |
| Tabel 2.2    | Tahanan Jenis Tanah .....                                                                           | 47             |
| Tabel 3.1    | Rekapitulasi Nama-nama Trafo PLN Rayon Siau .....                                                   | 57-64          |
| Tabel 4.1    | Data Hasil Pengukuran Nilai Resistansi Pembumian Transformator<br>PT.PLN (Persero) Rayon Siau ..... | 67-69          |

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat saat ini untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka sehari-hari. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem 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, 150kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ( $I^2 R$ ). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam

sistem tenaga listrik secara keseluruhan. 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. Sampai kira-kira tahun 1910, sistem-sistem tenaga listrik pada gardu tidak diketanahkan. Hal ini dapat dimengerti karena pada saat itu sistem-sistem tenaga listrik masih kecil jadi bila ada gangguan fasa ke tanah arus gangguan masih kecil dan biasanya masih kurang dari 5 ampere. Pada umumnya bila arus gangguan itu sebesar 5 ampere atau lebih kecil, busur listrik yang timbul pada kontak-kontak antara kawat yang terganggu dan tanah masih dapat padam sendiri. Tetapi sistem-sistem tenaga itu makin lama makin besar, baik panjangnya maupun tegangannya. Dengan demikian arus yang timbul bila terjadi gangguan tanah makin besar, sehingga dibutuhkan pembumian yang baik pada transformator dengan nilai resistansi sekecil mungkin.

Setelah melaksanakan praktek selama tiga bulan di PT. PLN (PERSERO) Rayon Siau, penulis mengamati bahwa banyak transformator dengan nilai resistansi pembumian yang sangat tinggi. Hal inilah yang mendorong penulis untuk mengangkat permasalahan diatas menjadi sebuah laporan akhir dengan judul :

“Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya PT. PLN (Persero) Rayon Siau.”

## **1.2 Rumusan Masalah**

Sistem pembumian pada gardu distribusi merupakan suatu bagian yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik dari gardu distribusi ke konsumen. Masalah-masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Dampak yang timbul akibat buruknya sistem pembumian pada transformator?
2. Mengapa perlu dilakukan perbaikan nilai resistansi pembumian?

3. Bagaimana cara yang dapat dilakukan untuk memperbaiki nilai resistansi pbumian?

### **1.3 Batasan Masalah**

Laporan akhir ini membahas tentang Pengukuran Tahanan Pentanahan Transformator Daya PT. PLN (Persero) Rayon Siau. Dalam pembahasan dan penulisan laporan akhir ini, penulis membatasi permasalahan pada ruang lingkup :

1. Data pengukuran nilai resistansi pbumian

### **1.4 Tujuan**

Adapun tujuan dari penulisan laporan akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pentingnya nilai resistansi yang rendah dan sesuai dengan standar pada transformator distribusi
2. Menjaga kestabilan dan kontinuitas penyaluran tenaga listrik ke pelanggan

### **1.5 Manfaat**

Laporan tugas akhir diharapkan bermanfaat untuk :

1. Mahasiswa maupun pihak lain yang akan membahas tentang sistem pbumian pada gardu distribusi.
2. Pegawai dan petugas yang berada di lingkungan PT. PLN yang bertugas melaksanakan pendataan dan pemeliharaan pada gardu-gardu distribusi agar kuantitas pemadaman listrik yang disebabkan transformator kontak dapat diminimalisir.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara garis besar isi setiap bab pada laporan tugas akhir ini.

#### **BAB 1. PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan dari laporan akhir.

#### **BAB 2. LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi uraian teori-teori yang mendukung untuk pengerjaan tugas akhir ini.

### **BAB 3. PEMBAHASAN**

Bab ini berisi data-data hasil pengukuran pentanahan trafo dan juga data-data penunjang lainnya yang berkaitan dengan judul.

### **BAB 4. KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari seluruh pembahasan

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **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 sistem. 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*

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 dikonversikan 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*

Pada umumnya sistem pembangkitan jauh dari tempat-tempat dimana energi listrik tersebut digunakan. Karenanya 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 dinaikan oleh transformator daya yang ada (*step up transformer*) dengan pertimbangan ekonomis

### 2.1.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik



*Gambar 2.3*  
*Sistem Distribusi Tenaga Listrik*

Pada dasarnya jaringan distribusi mirip dengan jaringan transmisi, yaitu jaringan sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik melalui konduktor-konduktor (kawat), 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 akstrim (*extra high voltage*)

## 2.2 Komponen Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

### 2.2.1 Gardu Induk



*Gambar 2.4 Gardu Induk*

Gardu induk merupakan sub system dari system penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari system penyaluran (transmisi). Berarti gardu induk merupakan sub-sub system dari system tenaga listrik, sebagai sub system dari system penyulang (transmisi) gardu induk mempunyai peran penting dalam pengoprasiannya, tidak dapat dipisahkan dari system penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

#### **2.2.1.1 FUNGSI GARDU INDUK**

1. Mentransformasikan daya listrik :
  - Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500KV/150 KV)
  - Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/70 KV)
  - Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/20 KV, 70 KV/20 KV)
  - Dengan Frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hz)
2. Untuk pengukuran, pengawasan oprasi serta pengaman dari system 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 menengah 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 :

- Berdasarkan besaran tegangannya.
- 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.

#### **2.2.1.2.1 Berdasarkan besaran tegangannya, terdiri dari :**

- Gardu induk tegangan ekstra tinggi (GITET) 275 KV, 500 KV.
- Gardu induk tegangan tinggi (GI) 150 KV dan 70 KV.

#### **2.2.1.2.2 Berdasarkan pemasangan peralatan :**

- Gardu induk pasangan luar :
  - Adalah gardu induk yang sebagian luar komponennya di tempatkan di luar gedung, kecuali komponen control, sitem proteksi dan system kendaki serta komponen bantu lainnya ada di dalam gedung.
  - Gardu induk semacam ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional.
  - Sebagian besar gardu induk di Indonesia adalah gardu induk konvensional.
- Gardu induk pasangan dalam :
  - Adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (switchgear, busbar, isolator, komponen control, komponen kendali, cubicle, dan lain-lain) dipasang dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang di luar gedung.
  - Gardu induk semacam ini biasa disebut gas insutaled substation (GIS)
  - GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mrndapatkan lahan.
- Gardu indik kombinasi pasangan luar dan pasangan dalam :
  - Adalah gardu induk yang komponennya switch gear-nya ditempatkan di dalam gedung dan sebagian komponen switchgear ditempatkan di luar gedung, misalnya ganty (tie line) dan saluran udara teganggan tinggi ( SUTT) sebelum masuk ke dalam switchgear. Transformator daya juga ditempatkan di luar gedung.

#### **2.2.1.2.3 Berdasarkan fungsinya :**

1. Gardu induk penaik tegangan
  - Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan system.
  - Gardu induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik.
  - Karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi, tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.
2. Gardu induk penurun tegangan :
  - Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan tinggi, dan tegangan tinggi menjadi tegangan rendah (menengah) atau tegangan distribusi.
  - Gardu induk terletak di daerah pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.
  - Gardu induk pengatur tegangan :
  - Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik.
  - Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (voltage drop) transmisi yang cukup besar.
  - Oleh karena itu dibutuhkan alat penaik tegangan seperti bank kapasitor, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.
4. Gardu induk pengatur beban :
  - Berfungsi untuk mengatur beban.
  - Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban. Dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.
5. Gardu distribusi :
  - Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan system ke tegangan distribusi.
  - Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

#### **2.2.1.2.4 Berdasarkan isolasi yang digunakan :**

- Gardu induk yang menggunakan isolasi udara :
  - Adalah gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya.
  - Gardu induk ini berupa gardu induk konvensional, dan gardu induk ini memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.
- Gardu induk yang menggunakan isolasi gas SF<sub>6</sub> :
  - Gardu induk yang menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.
  - Gardu induk ini disebut gas Insulated Substation atau gas Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat yang tidak luas (sempit).

#### **2.2.1.2.5 Berdasarkan system Rel ( Busbar) :**

Rel (Busbar) merupakan titik hubungan pertemuan (connecting) antara transformator daya, SUTT/SKTT dengan komponen listrik lainnya, untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik. berdasarkan system rel (busbar) gardu induk dibagi menjadi beberapa jenis, sebagaimana tersebut di bawah ini :

- Gardu induk system rel busbar :
  - Adalah gardu induk yang busbarnya berbentuk ring.
  - Pada gardu induk ini, semua busbar yang ada tersambung satu dengan lainnya dan berbentuk ring (cincin)
- Gardu induk system single busbar :
  - Adalah gardu induk yang mempunyai satu (single) busbar.
  - umumnya gardu system ini adalah gardu induk yang berada pada ujung (akhir) dari suatu sistem transmisi.
  - Single line diagram gardu system single busbar.
- Gardu induk system double busbar :
  - Adalah gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar.
  - Gardu induk system double busbar sangat efektif untuk mengurangi terjadinya pemadaman beban, khususnya pada saat melakukan perubahan sistem (maneuver system).

- Jenis gardu induk ini pada umumnya yang banyak digunakan
- Single line diagram gardu induk system double busbar.
- Gardu induk system satu setengah (on half) busbar :
- Adalah gardu induk yang mempunyai dua (double) busbar.
- Pada umumnya gardu induk jenis ini dipasang pada gardu induk di pembangkit tenaga listrik atau gardu induk yang berkapasitas besar.
- Dalam segi operasional, gardu induk ini sangat efektif, karena dapat mengurangi pemadaman beban pada saat dilakukan perubahan system (maneuver system).
- Sistem ini menggunakan 3 buah PMT dalam satu diagonal yang terpasang secara deret (seri).

### **2.2.2 Jaringan Distribusi Primer**

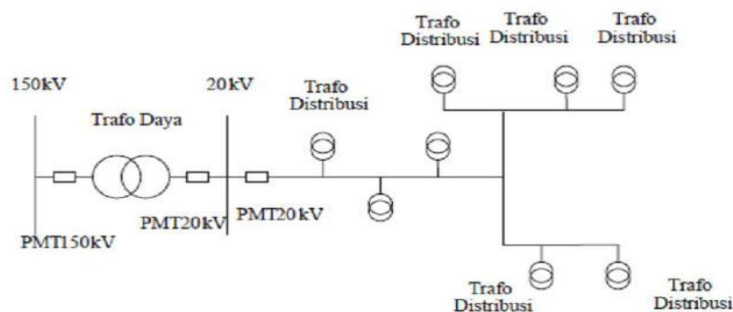
Jaringan distribusi primer merupakan awal penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk ( GI ) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung. Sedangkan untuk sistem pendistribusian tak langsung merupakan tahap berikutnya dari jaringan transmisi dalam upaya menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan 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 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 sebagai berikut: alasan teknis yaitu berupa persyaratan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen. Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu :

1. Sistem radial
2. Sistem hantaran penghubung (*tie line*)
3. Sistem loop
4. Sistem spindel

#### 2.2.2.1 Sistem Radial

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



**Konfigurasi Jaringan Radial**

*Gambar 2.5  
Konfigurasi Jaringan Radial*

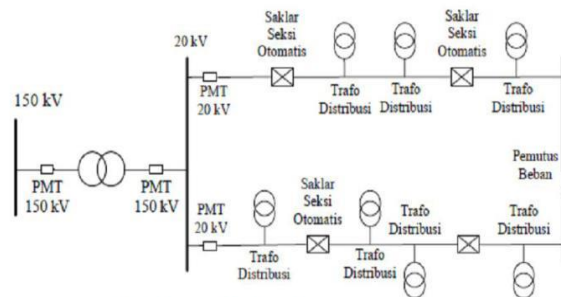
Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Bisa dalam bangunan beton atau diletakan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding dengan sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran.

#### 2.2.2.2 Sistem Loop

Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan

demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.

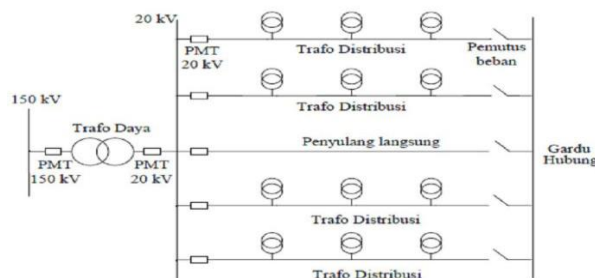


Konfigurasi Jaringan Loop

Gambar 2.6  
Konfigurasi Jaringan Loop

### 2.2.2.3 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).



Konfigurasi Jaringan Spindel

Gambar 2.7  
Konfigurasi Jaringan Spindel

## 2.3 Gardu Distribusi

### 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 Trafo**

Gardu Trafo adalah gardu yang akan berfungsi untuk membagikan energi listrik pada konsumen yang memerlukan tegangan rendah. Dengan demikian pada gardu trafo dipasang/ditempatkan satu atau dua trafodistribusi yang dipergunakan untuk merubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah selain dari peralatan hubungannya untuk melayani konsumen tegangan rendah.

#### **2.3.1.3 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 (menutup) atau saat keluar (membuka). Biasanya tempat pemasangan peralatan hubung semacam ini diberi sekat antara satu dengan yang lainnya yang terbuat dari tembok dan karena hal ini, gardu tembok open type sering disebut gardu sel

#### **2.3.1.4 Gardu Closed Type (Gardu Kubikel)**

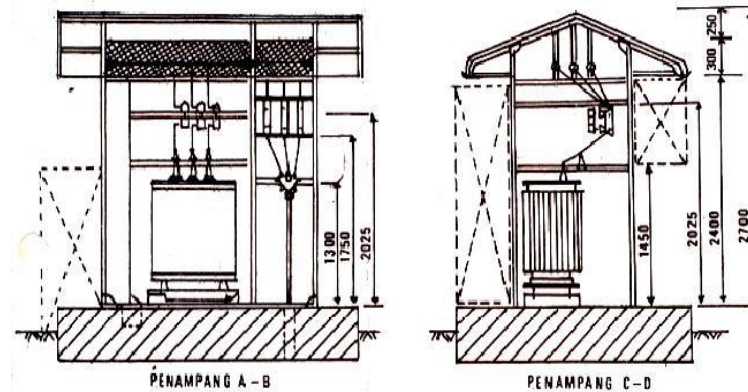
Gardu closed type adalah gardu distribusi baik gardu trafo atau gardu hubung yang memiliki peralatan hubung tertutup. Dimana peralatan hubung baik untuk incoming, aut going, pengamatan trafo dan sebagainya ditempatkan dalam suatu lemari khusus yang tertutup sehingga bekerjanya pisau-pisau peralatan hubung tidak dapat dilihat yang disebut kubikel, untuk ini gardu dengan type ini sering disebut sebagai gardu kubikel.

#### **2.3.1.5 Gardu Tembok (Gardu Beton)**

Gardu tembok adalah gardu trafo /hubung yang secara keseluruhan konstruksinya tersebut dari tembok/beton.

### 2.3.1.6 Gardu Kios (Gardu Besi)

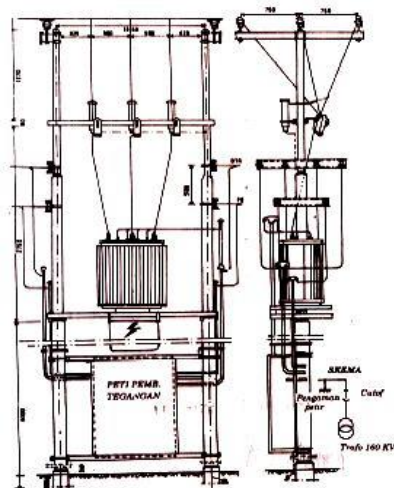
Gardu kios adalah gardu yang bangunan keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios.



Gambar 2.8  
Konstruksi Gardu Kios

### 2.3.1.7 Gardu Portal

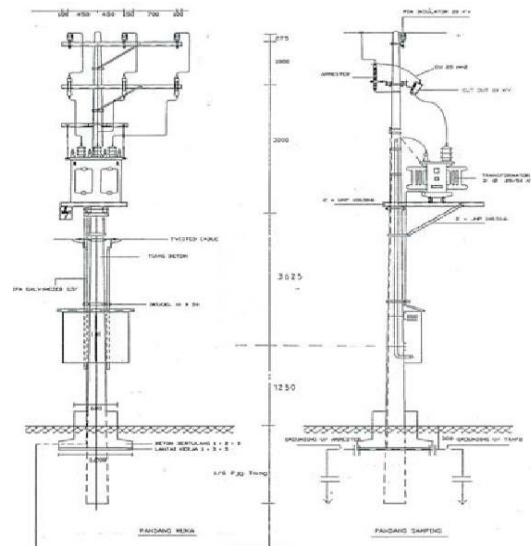
Gardu portal adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada 2 buah tiang atau lebih.



Gambar 2.9  
Konstruksi Gardu Portal

### 2.3.1.8 Gardu Kontrol

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



*Gambar 2.10*  
*Konstruksi Gardu Kontrol*

### 2.3.2 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 pendinginannya, transformator distribusi dibedakan menjadi 3 macam, yaitu :

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

Transformator konvensional, peralatan sistem pengamanannya 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 pemakaiannya karena:

- Tidak memerlukan ruangan yang besar
  - Lebih murah
  - Pemeliharaan persatuan barang lebih mudah dan lebih murah.
- Menurut jenisnya trafo distribusi dibedakan menjadi :

##### 2.3.2.1.1 Jenis overhead

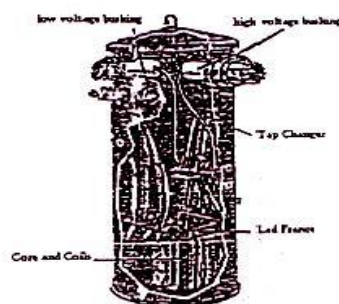
Jenis ini bisa dibedakan menjadi :

##### 2.3.2.1.1.1 Tipe Konvensional :

Tipe ini tidak memiliki alat pengaman seperti arester, pengaman beban lebih sebagai satu kesatuan unit trafo. Jadi alat-alat pengaman tersebut didapat dan dipasang secara terpisah.

Untuk rating yang tidak terlalu besar, tipe ini adalah dalam bentuk pasangan tiang. Sedang untuk rating yang besar, ditempatkan pada gardu distribusi.

Pada gambar terlihat trafo distribusi tipe konvensional yang dilengkapi dengan terminal-terminalnya.

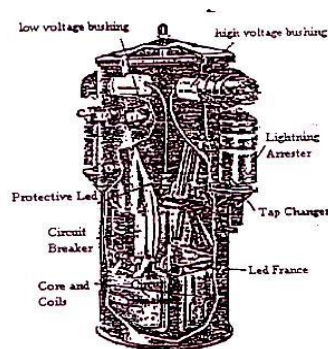


Gambar- . Trafo Konvensional

*Gambar 2.11*  
*Trafo tipe konvensional*

#### 2.3.2.1.1.2 Tipe CSP (Completely Selp Protected)

Trafo distribusi tipe ini memiliki pengaman sebagai kesatuan unit trafo. Pengaman yang lain adalah pengaman terhadap gangguan surya petir dan surya hubung, pengaman beban lebih dan pengaman hubung singkat.



Gambar 2.12

#### *Konstruksi Transformator Distribusi Tipe CSP*

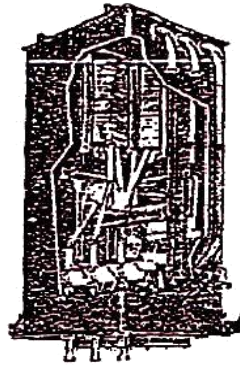
Selain itu trafo jenis ini juga dilengkapi dengan lampu merah peringatan yang akan menyala bila temperatur gulungan melebihi batas yang diijinkan untuk isolasinya. Apabila tidak diambil tindakan dan temperatur mencapai batas bahaya, maka circuit breaker akan membuka. Apabila diperlukan, circuit breaker bisa diset pada posisi darurat untuk melakukan beban lebih sementara. Dalam gambar terlihat bentuk trafo tipe CSP satu fasa dan alat-alat proteksinya.

#### 2.3.2.1.2 Jenis underground :

Jenis ini bisa dibedakan lagi menjadi :

##### 2.3.2.1.2.1 Tipe Subway :

Trafo distribusi tipe ini dipasang pada ruangan bawah tanah untuk sistem distribusi bawah tanah. Tipe ini bisa berbentuk trafo konvensional, maupun trafo berproteksi arus. Trafo berproteksi arus mempunyai perlengkapan pengaman yang sama seperti trafo CSP hanya saja tidak memiliki pengaman gangguan surya petir yang memang tidak diperlukan untuk sistem distribusi bawah tanah.



*Gambar 2.13*

*Konstruksi Transformator Distribusi Tipe Subway*

#### **2.3.2.1.2.1.2 Tipe network**

Trafo network dirancang untuk melayani sistem distribusi jaringan tegangan rendah (LV network). Trafo distribusi ini didiklasifikasikan menjadi 3, berdasarkan pendinginannya yang masing-masing :

##### **a. Berisi Minyak :**

Merupakan jenis yang biasa digunakan, sebagai minyak pengisi pada umumnya dipakai askarel yang mempunyai sifat tidak bisa terbakar (non flamcable). Meskipun demikian trafo jenis ini belum terhindar dari kemungkinan meledaknya tangki, karena kegagalan gulungan dengan dengan kekuatan tertentu akan menghasilkan tekanan besar, yang biasa menyebabkan 5tangki meledak. Oleh sebab itu sering ditambahkan peralatan mekanis pelepas tekanan.

##### **b. Tipe kering berventilasi :**

Digunakan bila ada tempat kering pada lantai dasar sebuah bangunan, dimana udara cukup bersih. Adanya lubang-lubang hawa pada rumah trafo yang terbuat dari metal memungkinkan udara mengalir ke koil dan inti trafo. Tipe ini memberikan keamanan maksimum dengan biaya pemasangan dan perawatan minimum.

##### **c. Tipe kering tertutup :**

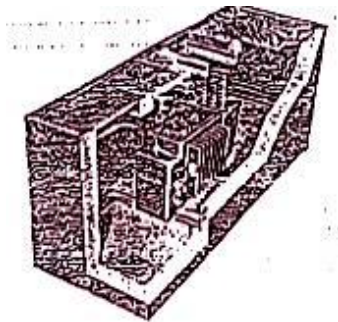
Pada tipe ini trafo ditempatkan pada tangki yang tertutup rapat, dengan sedikit tekanan positif dari gas nitrogen. Trafo tipe ini menghilangkan sama sekali kemungkinan terbakar ataupun meledak juga biaya pemeliharaan minyak karena isolasi utamanya adalah udara, tipe kering tertutup ini ukurannya lebih lebih besar

dari trafo network yang berisi minyak.

Trafo tipe ini juga dilengkapi dengan network protector pada sisi sekundernya dimana network protector ini sudah merupakan satu unit dengan trafonya. Network protector ini adalah alat pengaman jaringan distribusi tipe LV network, dimana bisa timbul kemungkinan pembalikan arus dari sekunder ke primer atau pada trafo distribusi yang menyebabkan membukanya circuit breaker saluran saluran primer. Network protector (pengaman jaringan) ditempatkan pada bagian sekunder trafo distribusi merupakan jenis air circuit breaker dengan relay-relay dan peralatan pembantu dan mempunyai fungsi:

- a. Mengerjakan pemutus bila terjadi gangguan pada kabel primer atau trafo distribusi.
- b. Mengerjakan pemutus bila terjadi pembalikan daya.
- c. Menutup kembali rangkaian jika tegangan pada bagian primer dan sudut fasanya sudah sesuai dengan tegangan jaringan, sehingga setelah penutupan, daya akan mengalir dari feeder ke jaringan.

Pada gambar terlihat trafo tipe network dan terletak di dalam ruangan bawah tanah. Dalam gambar berikutnya adalah bentuk dari network protector.



*Gambar 2.14*  
*Transformator distribusi tipe network*

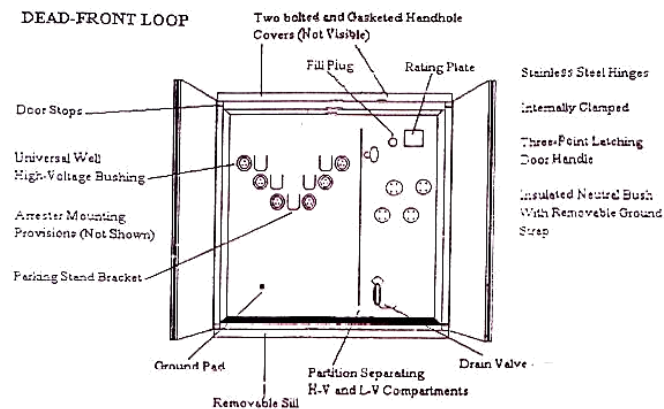
#### **2.3.2.1.3 Tipe padmounted**

Trafo ini pada mulanya digunakan untuk didistribusi daerah rumah tinggal dengan sistem jaringan bawah tanah. Dengan diadakannya pengembangan trafo ini dapat dipakai untuk beban-beban yang besar sampai 2500KVA per unitnya.trafo ini merupakan satu kesatuan dengan rumah trafo yang

terbuat dari metal dan dilengkapi dengan pengaman-pengaman untuk tegangan rendah yang terdiri dari sekring, pemutusan switch.

Trafo-trafo padmounted ini dapat diletakkan langsung diatas tanah untuk daerah perumahan atau gedung. Dengan perlengkapan penyambung tertutup dari bahan sintesis trafo padmounted bias berkemampuan:

- a. Tahan banjir
- b. Dapat dipegang (dead front), aman terhadap tegangan
- c. Dapat dengan cepat dipasang dan dilepas tanpa memutuskan circuit primer, dengan menggunakan hot stick, sehingga aliran daya keunit lain tetap terjaga. Karena merupakan trafo yang self contained, sehingga tak dibutuhkan klagi gardu-gardu distribusi. Juga ukurannya jauh lebih kecil dari pada trafo distribusi yang menggunakan gardu-gardu. Dalam gambar berikut diperlihatkan unit gadu transformator padmounted dan daftar perlengkapannya. Daya sampai 500KVA fasa, 125kv. Dalam gambar, selanjutnya diperlihatkan dimensi gardu transformator 3 fasa, sampai dengan 500 KVA, 20KV, lengkap dengan load break elbow connector.



*Gambar 2.15 Kontruksi Transformator tipe padmounted*

## 2.4 Peralatan Pengaman Jaringan Distribusi

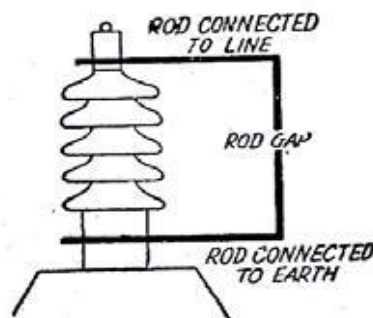
### 2.4.1 Alat Pengaman Celah

#### 2.4.1.1 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 puncak 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 berhubungan dengan ground. Jarak celah kedua batang logam tersebut disesuaikan dengan tegangan percikan untuk suatu bentuk gelombang tegangan tertentu. Pada tabel di bawah ini memperlihatkan panjang celah yang diizinkan pada suatu tegangan sistem.

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

Tabel 2.1 Tegangan Sistem dan Panjang Celah



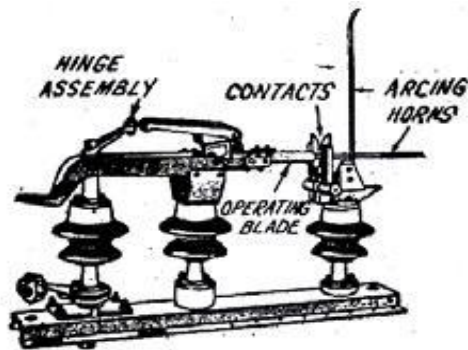
Gambar 2.16 Bentuk Pengaman Celah Batang (*rod gap*)

Keuntungan alat pengaman celah batang ini selain bentuknya sederhana, juga mudah dibuat dan kuat konstruksinya. Sedangkan kelemahan 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. Untuk memadamkan 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 dari pada isolasi yang akan dilindunginya, sehingga diperlukan celah yang sempit untuk gelombang yang curam.

#### 2.4.1.2 Alat Pengaman Tanduk 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 gandengan dengan tanduk api ditentukan oleh jarak tanduk tersebut. Untuk jelasnya lihat gambar di bawah ini.



Gambar 2.17 Pengaman Tanduk Api (*arcing horn*)

#### 2.4.1.3 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 menginterupsi 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 rele pengaman.

#### **2.4.1.4 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; meskipun alat ini dapat dipakai sebagai perlindungan cadangan atau sekunder, dan dianggap sekelas dengan celah batang.

#### **2.4.1.5 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 mencapai 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 saat tegangan lebih. Busur api cenderung naik akibat panas yang terlalu tinggi, juga disebabkan peristiwa arus loop sebesar mungkin pada sisi lain membuat tembus rangkaian magnit maksimum. Hanya celah tanduk sebagai arrester jauh dari memuaskan yang seringkali busur api yang tak 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 hampir tidak dipakai lagi sebagai alat pengaman petir.



*Gambar 2.18 Alat Pengaman Celah Tanduk (horn gap)*

#### **2.4.2 Alat Pengaman Tabung Pelindung (protector tube)**

Alat pengaman tabung pelindung ini terdiri dari : (1) tanduk api (arcing horn) yang dipasang di bawah kawat penghantar, yang terhubung dengan tabung fiber. (2) Tabung fiber yang terdiri dari elektroda atas yang berhubungan 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 switches, ril bus dan sebagainya.

#### **2.4.3 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 surja hubung (*switching surge*) di suatu jaringan. Lightning arrester ini memberi kesempatan yang lebih besar terhadap tegangan lebih abnormal untuk dilewatkan ke tanah sebelum alat pengaman ini merusak peralatan jaringan seperti tansformator 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 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 ke tanah.

Disebabkan oleh fungsinya, Arrester harus dapat menahan tegangan system 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewatkan 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.

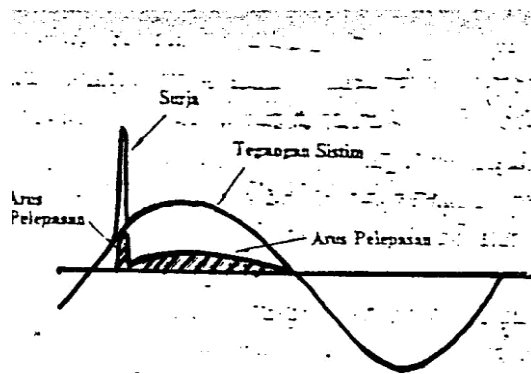
Selain melindungi peralatan dari tegangan lebih yang diakibatkan oleh tegangan lebih external, arrester juga melindungi peralatan yang diakibatkan oleh tegangan lebih internal seperti surja hubung, selain itu arrester juga merupakan kunci dalam koordinasi isolasi suatu system tenaga listrik. Bila surja datang ke gardu induk arrester bekerja melepaskan muatan listrik serta mengurangi tegangan abnormal yang akan mengenai peralatan dalam gardu induk. Persyaratan yang harus dipenuhi 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 system di mana arus susulan ini masih mungkin, disebut tegangan dasar (rated voltage) dari arrester.



*Gambar 2.19 Arus melalui arrester*

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 system maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Untuk penggunaan yang lebih khusus arrester mempunyai satu bahagian lagi yang disebut dengan Tahanan katup dan system pengaturan atau pembagian tegangan (grading system).

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, tahananannya 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 %.

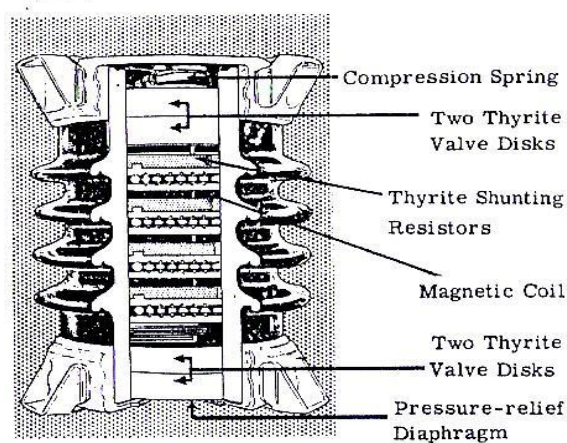
#### **2.4.3.1 Lightning Arrester Jenis Oksida Film**

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.

#### 2.4.3.2 Lightning Arrester Jenis Thyrite

Elemen kran (*valve*) untuk arrester jenis thyrite ini terbuat dari bahan lempengan keramik yang berkualitas baik, yang bertindak sebahai penghantar tegangan tinggi surja dan memperli-hatkan 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.



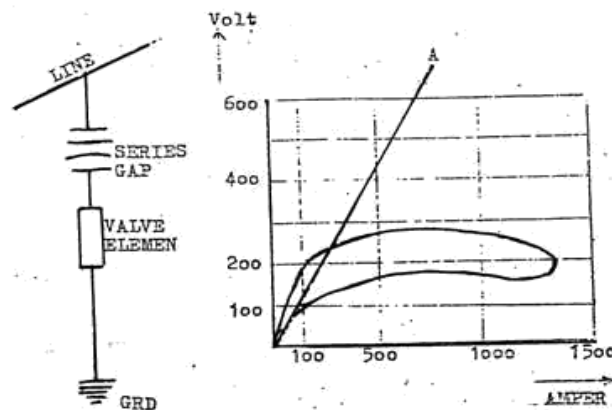
Gambar 2.20. Lightning Arrester Jenis Thyrite

Thyrite adalah bahan campuran padat tak organik dari keramik alam, yang mempunyai resistansi lebih cepat untuk mengurangi.

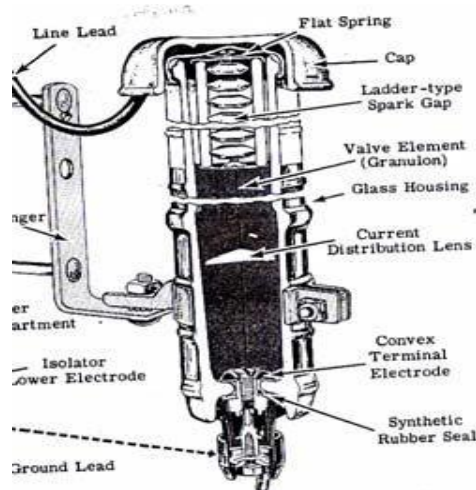
### 2.4.3.3 Lightning Arrester Jenis Katup

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 2.21. Rangkaian dan Karakteristik Pengaman Arrester Jenis Katup (Valve)



Gambar 2.22. Pengaman Arrester Jenis Katup (valve)

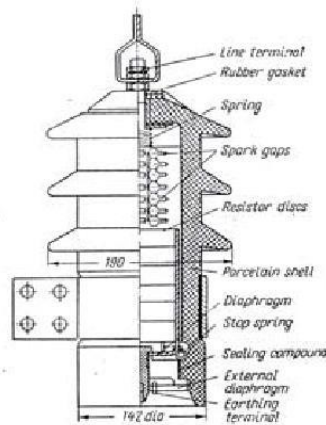
Arrester jenis katup ini terdiri dari sela pecik terbagi atau sela seri yang terhubung dengan elemen tahanan yang mempunyai karakteristik tidak linier. Tegangan frekwensi dasar tidak dapat menimbulkan tembus pada sela seri. Apabila sela seri tembus pada saat tibanya suatu surja yang cukup tinggi, alat 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 amper. 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.



Gambar 2.23. Pengaman Arrester Katup (Valve) Jenis Saluran

3. Arrester katup jenis gardu untuk mesin–mesin

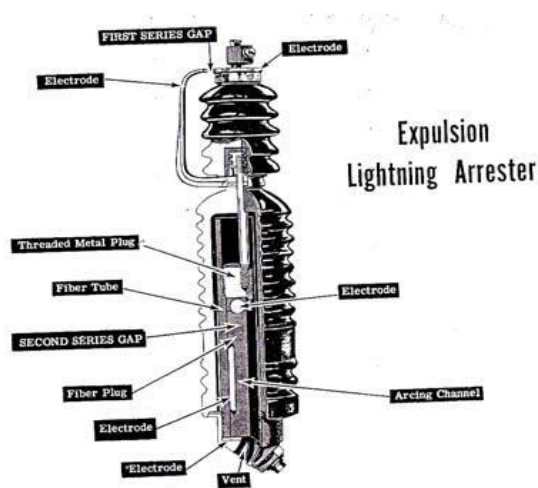
Arrester jenis gardu ini khusus untuk melindungi mesin– mesin berputar. Pemakaiannya untuk tegangan 2,4 kV sampai 15 kV.

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.

#### 2.4.3.4 Lightning Arrester Jenis Expulsion

Lightning arrester jenis expulsion ini mempunyai dua celah api, yang satu berada diluar dan satu lagi berada dalam. Ketika terjadi tegangan lebih pada jaringan maka pada elektroda batang sebagai celah api 1 akan terjadi loncatan busur api (*flshover*). Loncatan busur api ini akan turun ke dalam tabung fiber (*fiber tube*) diantara elektroda atas dan bawah yang merupakan celah api. Temperatur pelepasan dari busur api akan menimbulkan tekanan dalam tabung fiber, sehingga tabung fiber akan menghasilkan uap gas. Makin tinggi temperatur busur api makin banyak uap gas yang dihasilkan. Uap gas yang dihasilkan oleh tabung fiber akan bercampur dengan busur api, sehingga akan mem-binasakan busur api dan mengusir uap gas yang tak berpenghantar ke luar tabung gas (*vent*). Dengan demikian daya busur api akan cenderung mengikuti pelepasan peralihan (*transient discharge*) ke ground tanpa ada kekuatan selama gelombang tegangan lebih terakhir.



Gambar 2.24. *Lightning Arrester Jenis Expulsion*

Pada prinsipnya terdiri dari sela percik yang berada dalam tabung serat dan sela percik yang berada di udara atau disebut juga sela seri. Bila ada tegangan surja yang tinggi sampai pada jepitan arrester kedua sela percik, yang diluar dan yang berada didalam tabung serat, tembus seketika dan membentuk jalan penghantar dalam bentuk busur api. Jadi arrester menjadi konduktor dengan 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.

#### 2.4.3.5 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.

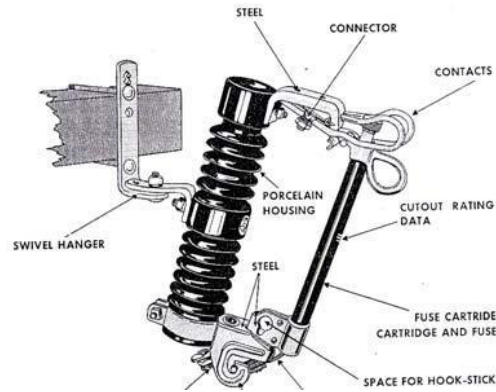
Sebagaimana diketahui bahwa arrester adalah suatu peralatan tegangan yang mempunyai tegangan ratingnya. Maka jelaslah bahwa arrester tidak boleh dikenakan tegangan yang melebihi rating ini, baik pada keadaan normal maupun dalam keadaan abnormal. Oleh karena itu menjalankan fungsinya ia menanggung tegangan system normal dan tegangan lebih transiens 50 c/s. Karakteristik pembatasan tegangan impuls dari arrester adalah harga yang dapat ditahan oleh terminal ketika melakukan 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 menaikkan suhunya. Meskipun kemampuan arrester untuk menyalurkan arus sudah mencapai 65000 – 100.000 ampere, tetapi kemampuannya untuk melakukan 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.

#### 2.4.4 Alat Pengaman Arus Lebih

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. Untuk lebih jelasnya lihat gambar di bawah ini.

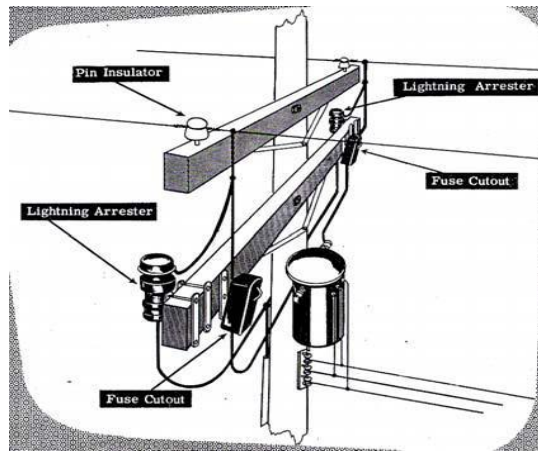


*Gambar 2.25. Pengaman Fuse Cut Out*

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 initergantung 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 tansformator distribusi, dan pengaman pada cabang-cabang saluran feeder yang menuju ke jaringan distribusi sekunder.

#### **2.4.5 Penempatan Alat Pada Jaringan**

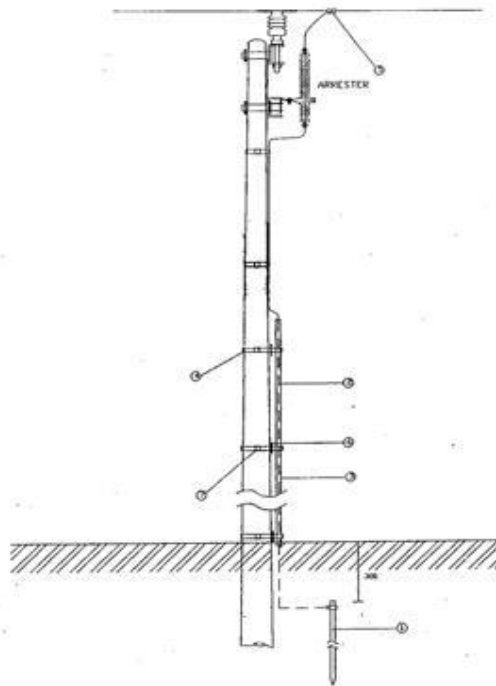
Arrester petir atau disingkat arrester adalah suatu alat pelindung bagi peralatan system tenaga listrik terhadap surya petir. Alat pelindung terhadap gangguan surya ini berfungsi melindungi peralatan system tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan lebih yang datang dan mengalirkannya ketanah.



*Gambar 2.26. Penempatan Fuse Cut Out dan Arrester Pada Jaringan*

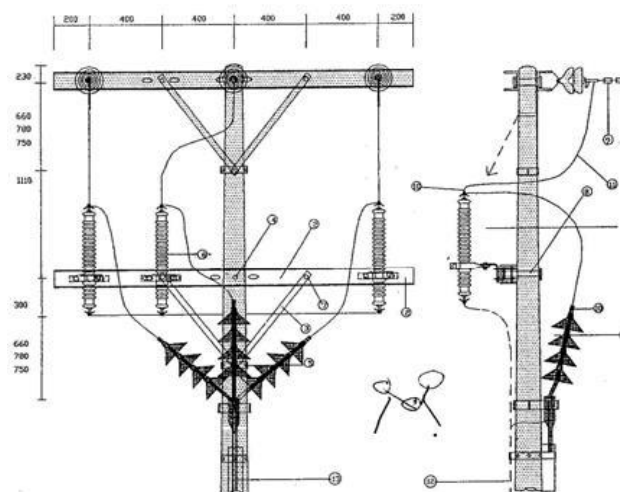
Disebabkan oleh fungsinya, Arrester harus dapat menahan tegangan system 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan harus dapat melewati surja arus ke tanah tanpa mengalami kerusakan. Arrester berlaku sebagai jalan pintas sekitar isolasi. Arrester membentuk jalan yang mudah untuk dilalui oleh arus kilat atau 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 Arrestor Pada Tiang Penyangga Jaringan



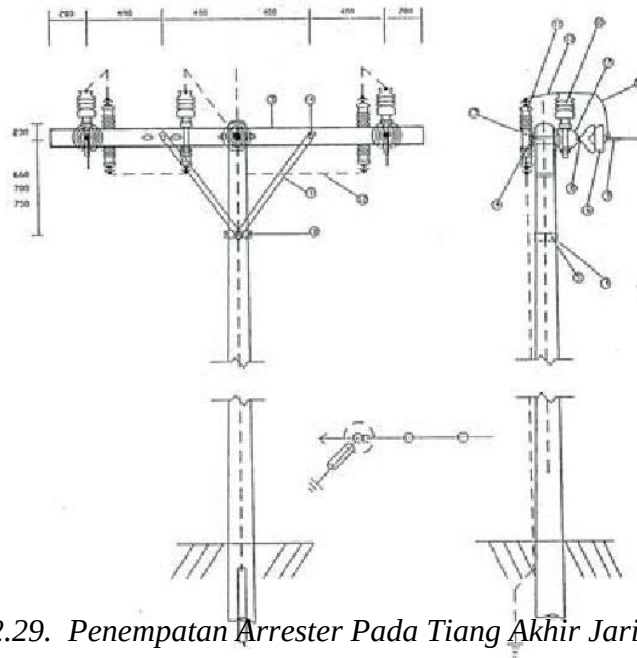
Gambar 2.27. Penempatan Arrestor Pada Tiang Pengaman Jaringan

#### 2.4.5.2 Penempatan Arrestor Pada Tiang Opstik Kabel



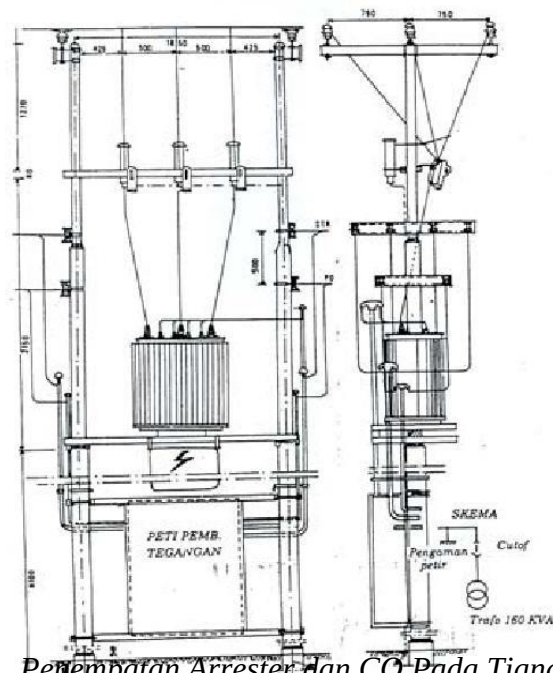
Gambar 2.28. Penempatan Arrestor Pada Tiang Opstik Kabel

#### 2.4.5.3 Penempatan Arrester Pada Tiang Akhir Jaringan



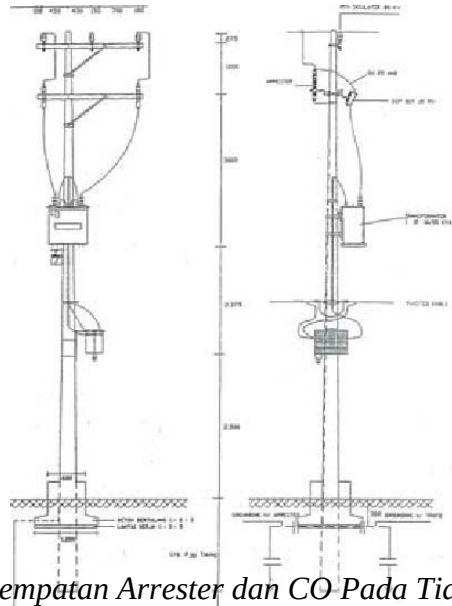
Gambar 2.29. Penempatan Arrester Pada Tiang Akhir Jaringan

#### 2.4.5.4 Penempatan Arrester Pada Tiang Trafo Double Pole



Gambar 2.30. Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Double Pole

#### 2.4.5.5 Penempatan Arrester Pada Tiang Trafo Single Pole



Gambar 2.31. Penempatan Arrester dan CO Pada Tiang Trafo Single Pole

### 2.5 Sistem Pentanahan Jaringan Distribusi

Sistem pentanahan pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan 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 kontinuitas 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 :

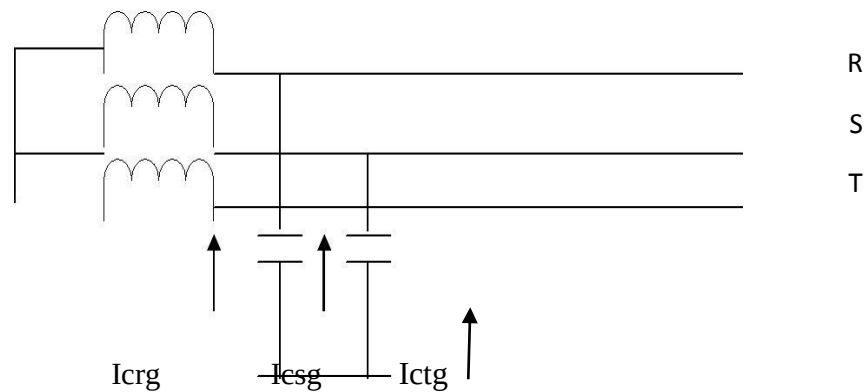
1. Mencegah terjadinya perbedaan potensial antara bagian tertentu dari instalasi secara aman.
2. Mengalirkan arus gangguan ke tanah sehingga aman bagi manusia dan peralatan.
3. Mencegah timbul bahaya sentuh tidak langsung yang menyebabkan tegangan kejut.

Sistem pentanahan dapat dibagi dua :

1. Pentanahan sistem ( pentanahan netral )
  2. Pentanahan umum ( pentanahan peralatan )
1. Pentanahan Sistem (netral) berfungsi :
    - Melindungi peralatan / saluran dari bahaya kerusakan yang diakibatkan oleh adanya gangguan fasa ke tanah
    - Melindungi peralatan / saluran dari bahaya kerusakan isolasi yang diakibatkan oleh tegangan lebih
    - Untuk keperluan proteksi jaringan
    - Melindungi makhluk hidup terhadap tegangan langkah (step voltage)
  2. Pentanahan Umum Berfungsi :
    - Melindungi makhluk hidup dari tegangan sentuh
    - Melindungi peralatan dari tegangan lebih

## 2.5.1 Sistem Pentanahan Netral

### 2.5.1.1 Sistem Pentanahan Netral Tidak Diketanahkan

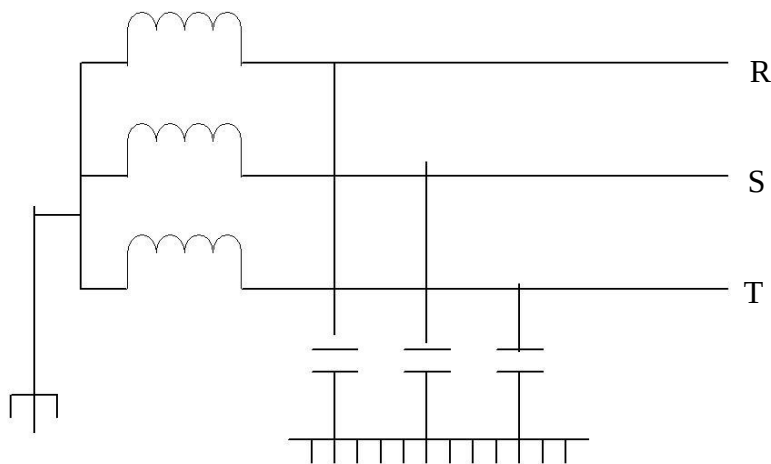


Gambar 2.32. Sistem Netral Tidak Diketanahkan

Arus  $I_{ctg}$  yang mengalir dari fasa yang terganggu ketanah, yang mana mendahului tegangan fasa aslinya kenetral dengan sudut  $90^\circ$ . Akan terjadi busur api (arcing) pada titik gangguan karena induktansi dan kapasitansi dari system. Tegangan fasa yang sehat akan naik menjadi tegangan line (fasa-fasa) atau 3 kali tegangan fasa, bahkan sampai 3 kali tegangan fasa.

### 2.5.1.2 Pentanahan Netral Langsung

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



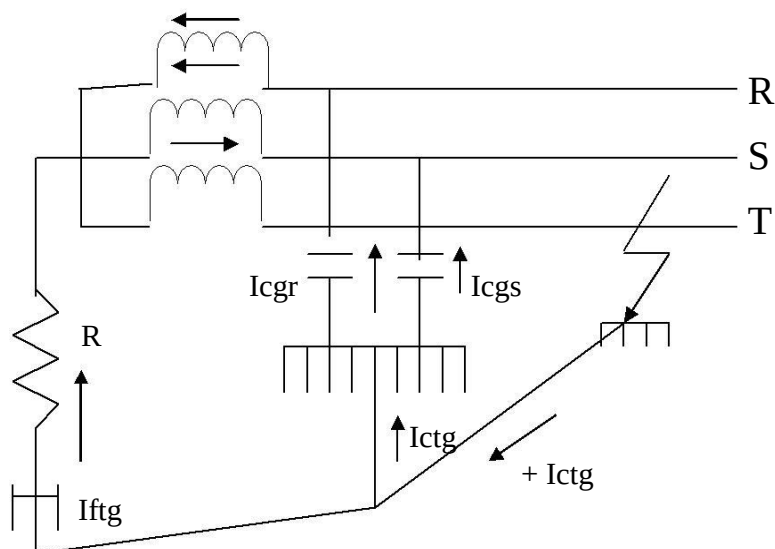
Gambar 2.33. Pentanahan Netral Langsung

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

### 2.5.1.3 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 Iftg 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 tegangan ke netral dari fasa terganggu yang lain ketinggalan  $90^\circ$ .

Komponen yang ketinggalan dari arus gangguan Iftg dalam, fasanya akan berlawanan arah dengan arus kapasitip Ictg pada lokasi gangguan. Dengan pemelihan harga tahanan pentanahan yang sesuai, komponen yang logging dari arus gangguan dapat dibuat sama atau lebih besar dari arus kapasitif sehingga tidak ada osilasi transien karena dapat terjadi busur api.



Gambar 2.34. Fasa Tegangan Tanah pada Pentanahan Netral dengan Tahanan.

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.

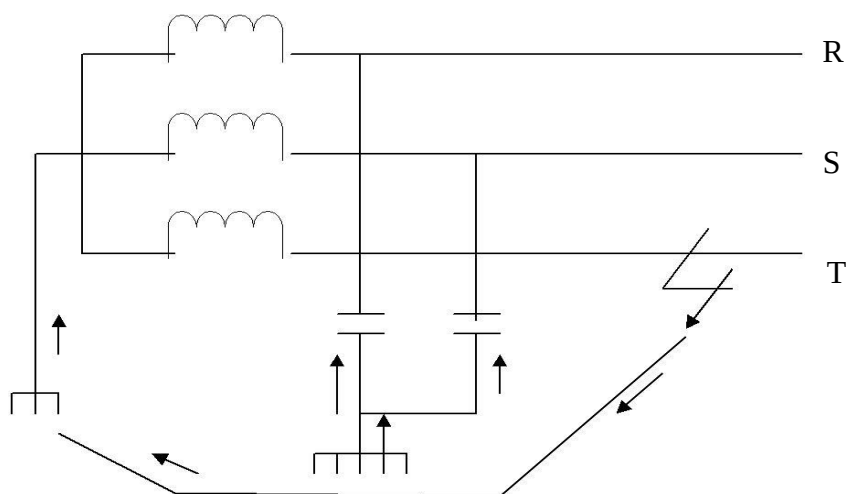
#### 2.5.1.4 Pentanahan Netral Dengan Reaktansi

Suatu sistem dapat dikatakan ditanahkan reaktansi bila suatu impedansi yang lebih induktif, disisipkan dalam titik netral trapo (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 masing-masing impedansi akan menjadi sama dan saling berbeda fasa  $120^0$  satu sama lainnya. Secara konsekuen tidak ada perbedaan pontensial antara titik netral dari suplai trafo tenaga.



Gambar 2.35. Gangguan fasa T ke tanah pada pentanahan netral langsung

#### 2.5.2 Tahanan Jenis Tanah

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

##### 2.5.2.1 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.

Tabel. 2.2. Tahanan Jenis Tanah

| Tahanan<br>Jenis Tanah          | Tanah<br>rawa | Tanah<br>Liat dan<br>Ladang | Pasir<br>Basah | Kerikil<br>Basah | Pasir<br>Kerikil<br>Kering | Tanah<br>Berkatu |
|---------------------------------|---------------|-----------------------------|----------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Tahanan<br>Jenis Tanah<br>(ohm) | 30            | 100                         | 200            | 500              | 1000                       | 3000             |

#### 2.5.2.2 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.

### 2.5.2.3 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.

### 2.5.2.4 Pengaruh temperature Tanah

Temperatur tanah sekitar elektroda pembedaan juga berpengaruh pada besarnya tahanan jenis tanah. Hal ini terlihat sekali pengaruhnya pada temperatur di bawah titik beku air ( $0^{\circ}\text{C}$ ), dibawah harga ini penurunan temperature yang sedikit saja akan menyebabkan kenaikan harga tahanan jenis tanah dengan cepat.

Gejala diatas dapat dijelaskan sebagai berikut ; pada temperatur di bawah titik beku air ( $0^{\circ}\text{C}$ ) , air di dalam tanah akan membeku, molekul-molekul air dalam tanah sulit untuk bergerak, sehingga daya hantar listrik tanah menjadi rendah sekali. Bila temperatur tanah 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. Pengaruh temperatur terhadap tahanan jenis tanah dapat dihitung dengan rumus dibawah ini :

$$\rho_t = \rho_0 (1 + \alpha_0 t) \quad (1)$$

dimana:

$\rho_t$  = tahanan jenis tanah pada  $t^{\circ}\text{C}$ .  $\rho_0$

= tahanan jenis tanah pada  $0^{\circ}\text{C}$

$\alpha_0$  = koefisien temperatur tahanan per  $^{\circ}\text{C}$  pada  $0^{\circ}$

$t$  = temperatur yang timbul ( $^{\circ}\text{C}$ )

### 2.5.3 Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan cara:

#### 2.5.3.1 Metode Tiga Titik

Metode tiga titik (*three-point methode*) dimaksudkan untuk mengukur tahanan pentanahan. Misalkan tiga buah batang pentanahan dimana batang 1 yang tahananannya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengentanahan pembantu yang juga belum diketahui tahananannya. Bila tahanan diantara tiap-tiap batang pengetanahan diukur dengan arus konstan, tiap pengukuran dapat ditulis sebagai berikut :

$$R_{1-2} = \frac{V_{1-2}}{I} = R_{11} + R_{22} - 2R_{12}$$

$$R_{1-3} = \frac{V_{1-3}}{I} = R_{11} + R_{33} - 2R_{13}$$

$$R_{2-3} = \frac{V_{2-3}}{I} = R_{22} + R_{33} - 2R_{23}$$

$$V_{1-2} + V_{1-3} - V_{2-3} = 2R_{11} - 2R_{12} - 2R_{13} + 2R_{23}$$

$$\text{Tetapi, } V_{1-3} = V_{1-2} + V_{2-3}$$

$$V_{1-2}$$

$$2$$

$$\text{Jadi: } R = \frac{\quad}{I} = R_{11} - R_{12} - R_{13} + R_{23}$$

$$1$$

$$11$$

$$2 \ 13$$

$$23$$

$$I$$

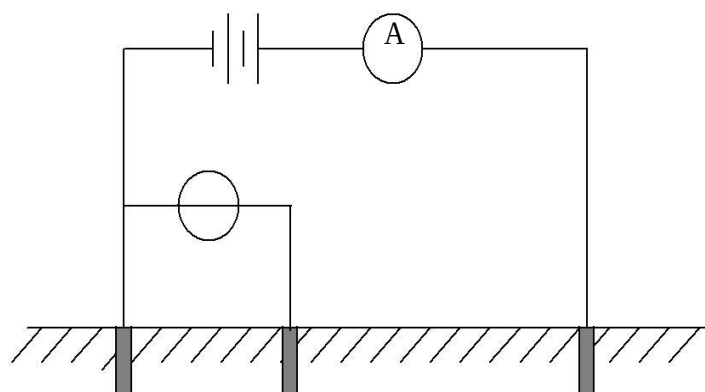
Akhirnya

$$R_{11} = R + R_{12} + R_{13} - R_{23} \quad \dots\dots (2)$$

$$E$$

$$-$$

$$+$$



### 2.5.3.2 Metode Empat Titik

Metoda pengukuran yang dipergunakan adalah metoda empat titik seperti gambar 131.

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, misalkan arah arus dalam tanah dari elektroda 1 ke elektroda 2 berbentuk permukaan bola dengan jari-jari  $r$ , luas permukaan tersebut Adalah  $2\pi r^2$ , dan rapat arus adalah :

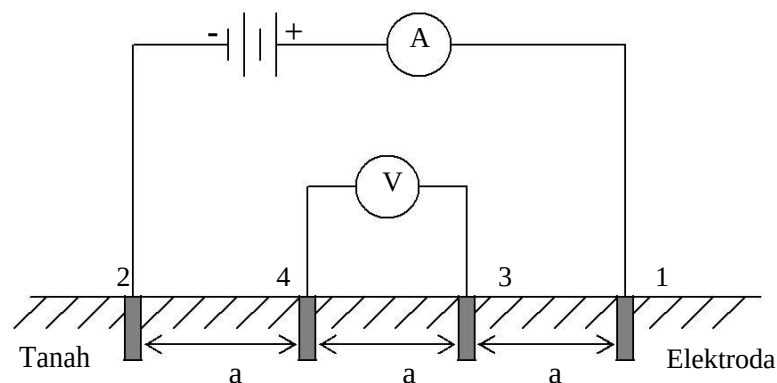
$$J = \frac{I}{2\pi \cdot r^2}$$

dimana:

$J$  = kerapatan arus [  $A/m^2$  ]

$r$  = jari-jari [  $m$  ]

$I$  = arus yang mengalir dalam tanah [  $A$  ]



Gambar 2.36. Rangkaian Pengukuran tahanan Jenis tanah dengan Metode Empat titik.

### 2.5.4 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

ditanamkan 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 yang digunakan dalam pentanahan adalah sebagai berikut:

1. Elektroda Batang
2. Elektroda Bentuk Pelat
3. Elektroda bentuk Pita
4. Elektroda Lain

#### 2.5.4.1 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.

Untuk menentukan besarnya tahanan pembedaan dengan satu buah elektroda batang dipergunakan rumus sebagai berikut (Pabla.1994:159):

$$R = \frac{\rho}{b} \ln \frac{4L}{t} \quad (5)$$

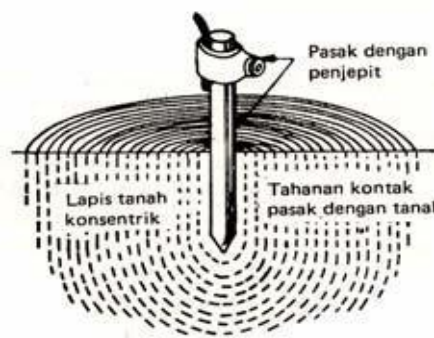
Dimana:

$R_{bt}$  = tahanan pembedaan elektroda batang [ $\Omega$  ]

$\rho$  = tahanan jenis tanah [ $\Omega.m$  ]

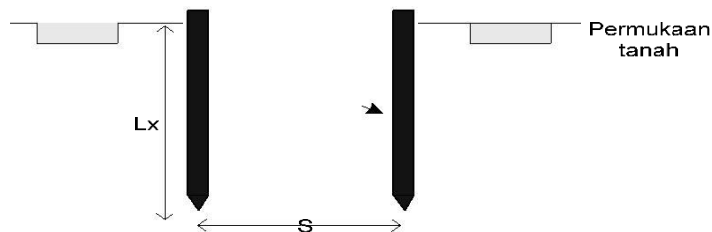
$L$  = panjang batang yang tertanam [  $m$  ]

$d$  = diameter elektroda batang [  $m$  ]



*Gambar 2.37 Elektroda Batang dan Lapisan-lapisan Tanah di sekeliling Elektroda*

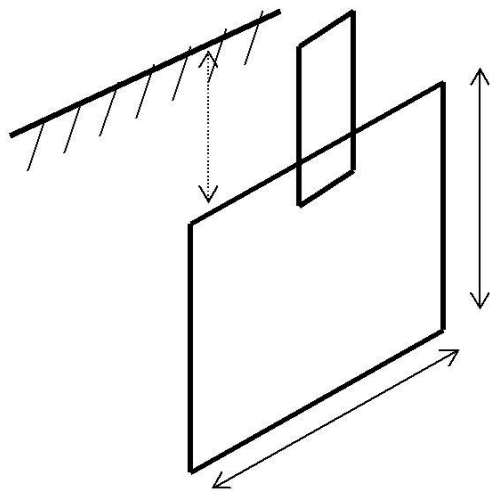
Setelah didapatkan nilai tahanan pentanahan dengan satu buah elektroda batang, dimana belum didapatkan nilai tahanan yang diinginkan, maka tahanan pentanahan dapat diperkecil dengan memperbanyak elektroda yang ditanahkan dan dihubungkan paralel.



*Gambar 2.38. pentanahan dengan Dua Batang Konduktor (Hubungan Paralel)*

#### **2.5.4.2 Elektroda Bentuk Pelat**

Elektroda plat adalah elektroda dari plat logam. 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.



Keterangan Gambar :

L = panjang pelat

t = kedalaman tertanam

b = lebar pelat

Gambar 2.39. Elektroda Pelat Dipasang Vertikal

Untuk menghitung besar tahanan pembumian elektroda dipergunakan rumus sebagai berikut :

$$R_{pl} = \frac{\rho}{4,1L} + 1,84 \frac{b}{t} \dots\dots\dots$$

dimana

$R_{pl}$  = tahanan pembumian elektroda plat [  $\Omega$  ]

$\rho$  = tahanan jenis tanah [ $\Omega.m$  ] L = panjang elektroda plat [ m ] b = lebar plat [ m ]<sup>2</sup>

t = kedalaman plat tertanam dari permukaan tanah [ m ]

#### 2.5.4.3 Elektroda Bentuk Pita

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.

Besar tahanan pembumian untuk elektroda pita dapat dihitung dengan rumus

$$R_{pt} = \frac{\rho}{\pi L} \ln \frac{2L}{d} \dots\dots\dots (9)$$

dimana :

$R_{pt}$  = tahanan pembumian elektroda pita [  $\Omega$  ]

$\rho$  = tahanan jenis tanah [ $\Omega.m$  ]

L = panjang elektroda pita yang tertanam [ m ]

$d$  = lebar pita/diameter elektroda pita kalau bulat [ m ]

#### 2.5.4.4 Elektroda Lain

Bila persyaratan dipenuhi jaringan air minum dari logam dan selubung logam kabel yang tidak diisolasi yang langsung ditanamkan kedalam tanah. Besi tulang beton atau konstruksi baja bawah tanah lainnya boleh dipakai untuk elektroda.

#### 2.5.5 Konduktor Pentanahan

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

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

Dari persamaan kapasitas arus untuk elektroda tembaga yang dianjurkan oleh IEEE Guide standar, menemukan suatu persamaan :

$$A = I \sqrt{\frac{33t}{\log_{10} \left( \frac{T_m - T_a}{234 + T_a} + 1 \right)}}$$

dimana :

A : penampang konduktor (circular mills)

I : arus gangguan (Ampere)

t : lama gangguan (detik)

$T_m$  : suhu maksimum konduktor yang diizinkan (  $^{\circ}$  C )

$T_a$  : suhu sekeliling tahunan maksimum (  $^{\circ}$  C )

Persamaan di atas dapat digunakan untuk menentukan ukuran penampang minimum dari konduktor tembaga yang dipakai sebagai kisi-kisi pentanahan.

#### 2.5.6 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 pengamanan 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**

#### **PENGUKURAN TAHANAN PENTANAHAN TRANSFORMATOR DAYA PT.PLN (PERSERO) RAYON SIAU**

##### **3.1 Peralatan Pengukuran Pentanahan**

Untuk Pengukuran pentanahan transformator daya khususnya di PT. PLN (PERSERO) Rayon Siau mempunyai Standind Operasinal Procedure (SOP) tetapi tidak dilaksanakan. Untuk petugas di lapangan dilengkapi dengan peralatan untuk pengukuran maupun untuk keselamatan seperti di bawah ini :

- Earth Tester Digital
- Helm
- Sepatu Booth
- Sarung Tangan Karet
- Pulpen
- Kertas berisi format pengukuran pentanahan



*Gambar 3.1 Peralatan Untuk Pengukuran Tahanan Pentanahan*

**Tabel 3.1 Rekapitulasi Nama-nama Trafo di PT. PLN (Persero) Rayon Siau**

| No                      | No Gardu | Nama Lokasi Merek/Nomor Pabrik | Jenis Gardu | Daya (KVA) | Phasa |
|-------------------------|----------|--------------------------------|-------------|------------|-------|
| <b>FEEDER MINE LINE</b> |          |                                |             |            |       |
| 1                       | HOAAO    | PANIKI 1/ PLTD                 | PORTAL      | 100        | 3     |
|                         |          |                                |             | 100        | 3     |
|                         |          |                                |             | 100        | 3     |
| 2                       |          | PANIKI 3                       | PORTAL      | 100        | 3     |
|                         |          |                                |             | 100        | 3     |
|                         |          |                                |             | 100        | 3     |
|                         |          |                                |             | 100        | 3     |
| 3                       | HO3AAO   | BOWONG AKE                     | CANTOL      | 25         | 3     |
|                         |          |                                |             | 25         | 3     |
| 4                       | HO3AAO   | LAI 1                          | CANTOL      | 25         | 1     |
|                         |          |                                |             | 25         | 1     |
|                         |          |                                |             | 25         | 1     |
| 5                       | HO3ABO   | LAI 2                          | CANTOL      | 50         | 3     |
|                         |          |                                |             | 50         | 3     |
| 6                       | HO3ADO   | BEONG                          | CANTOL      | 50         | 3     |
|                         |          |                                |             | 50         | 3     |
| 7                       | HO3AEO   | SALILI                         | CANTOL      | 50         | 3     |

|                    |        |                  |        |     |   |
|--------------------|--------|------------------|--------|-----|---|
|                    |        |                  |        | 50  | 3 |
| 8                  | HO3AFO | PELIANG          | CANTOL | 25  | 3 |
|                    |        |                  |        | 25  | 3 |
|                    |        |                  |        | 25  | 3 |
| 9                  | H03AGO | BARU             | CANTOL | 25  | 1 |
|                    |        |                  |        | 25  | 1 |
| 10                 |        | KORA-KORA        |        | 25  | 3 |
|                    |        |                  |        | 25  | 3 |
| 11                 | HO3AHO | BEBALI 1         | CANTOL | 50  | 3 |
|                    |        |                  |        | 50  | 3 |
| 12                 | HO3AIO | BEBALI 2 (PERUM) | CANTOL | 50  | 3 |
|                    |        |                  |        | 50  | 3 |
|                    |        |                  |        | 50  | 3 |
| 13                 | HO6ARO | KTR.DEWAN/BEBALI | CANTOL | 50  | 3 |
|                    |        |                  |        | 50  | 3 |
| 14                 | HO3AJO | TARORANE         | PORTAL | 160 | 3 |
|                    |        |                  |        | 160 | 3 |
|                    |        |                  |        | 160 | 3 |
|                    |        |                  |        | 160 | 3 |
| <b>FEEDER KOTA</b> |        |                  |        |     |   |
| 15                 | HO4AAO | TATAHADENG       | PORTAL | 160 | 3 |
|                    |        |                  |        | 160 | 3 |
|                    |        |                  |        | 160 | 3 |

|    |        |                   |        |     |   |
|----|--------|-------------------|--------|-----|---|
| 16 |        | TATAHADENG BARU   | CANTOL | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
| 17 | HO4AGO | TARORANE 2/ PASAR | PORTAL | 160 | 3 |
|    |        |                   |        | 160 | 3 |
|    |        |                   |        | 160 | 3 |
| 18 | HO2ADO | AKESEMBEKA        | CANTOL | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
| 19 | HO4AEO | TELKOM            | CANTOL | 50  | 3 |
|    |        |                   |        | 50  | 3 |
|    |        |                   |        | 50  | 3 |
|    |        |                   |        | 50  | 3 |
| 20 | HO4AFO | BAHU SONDANG      | CANTOL | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
| 21 | HO5AAO | TAMPUNA           | CANTOL | 50  | 3 |
|    |        |                   |        | 50  | 3 |
| 22 | HO4ABO | PAM               | PORTAL | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
|    |        |                   |        | 100 | 3 |
| 23 | HO4ACO | BUAO              | CANTOL | 25  | 1 |
|    |        |                   |        | 25  | 1 |

| FEEDER NAMENG |        |                    |        |     |   |
|---------------|--------|--------------------|--------|-----|---|
| 24            | HO6AAO | LANSI              | CANTOL | 50  | 3 |
|               |        |                    |        | 50  | 3 |
| 25            | HO6ABO | LUWAHA             | CANTOL | 25  | 3 |
|               |        |                    |        | 25  | 3 |
| 26            |        | BASAHA             | PORTAL | 100 | 3 |
|               |        |                    |        | 100 | 3 |
| 27            | HO6ACO | DAME KAMBUNO       | CANTOL | 50  | 3 |
|               |        |                    |        | 50  | 3 |
|               |        |                    |        | 50  | 3 |
| 28            | HO6ADO | DAME BULUDE        | CANTOL | 50  | 3 |
|               |        |                    |        | 50  | 3 |
|               |        |                    |        | 50  | 3 |
| 29            | H06AD1 | TELKOMSEL/KARALUNG | CANTOL | 25  | 3 |
|               |        |                    |        | 25  | 3 |
| 30            | HO6AEO | KARALUNG 1         | CANTOL | 50  | 3 |
|               |        |                    |        | 50  | 3 |
| 31            | HO6AFO | KARALUNG 2         | CANTOL | 100 | 3 |
|               |        |                    |        | 100 | 3 |
| 32            |        | BUISE LANAGE       | CANTOL | 25  | 1 |
|               |        |                    |        | 25  | 1 |
| 33            | HO6AHO | MANANGEHE          | CANTOL | 25  | 1 |
|               |        |                    |        | 25  | 1 |

|                    |        |                 |        |    |   |
|--------------------|--------|-----------------|--------|----|---|
| 34                 | HO6A1O | KANANG          | CANTOL | 50 | 3 |
|                    |        |                 |        | 50 | 3 |
| 35                 | HO6AJO | INGGE           | CANTOL | 50 | 3 |
|                    |        |                 |        | 50 | 3 |
| 36                 | HO6AKO | TUMBIRA         | CANTOL | 25 | 1 |
|                    |        |                 |        | 25 | 1 |
| 37                 | HOATO  | TELKOMSEL MOADE | CANTOL | 25 | 3 |
|                    |        |                 |        | 25 | 3 |
| 38                 | HO6ALO | MOADE           | CANTOL | 25 | 1 |
|                    |        |                 |        | 25 | 1 |
| 39                 | HO6AMO | LIA             | CANTOL | 50 | 3 |
|                    |        |                 |        | 50 | 3 |
| 40                 | HO6AOO | DEAHE           | CANTOL | 25 | 1 |
|                    |        |                 |        | 25 | 1 |
| 41                 | HO6ANO | LANTANG         | CANTOL | 25 | 1 |
|                    |        |                 |        | 25 | 1 |
| 42                 | HO6APO | APELAWO         | CANTOL | 50 | 3 |
|                    |        |                 |        | 50 | 3 |
| 43                 | HO6AQO | BUKIDE          | CANTOL | 50 | 3 |
|                    |        |                 |        | 50 | 3 |
| 44                 | HO6ARO | NAMENG          | CANTOL | 50 | 3 |
|                    |        |                 |        | 50 | 3 |
| <b>FEEDER BIAU</b> |        |                 |        |    |   |

|                       |        |                  |        |     |   |
|-----------------------|--------|------------------|--------|-----|---|
| 45                    | HO5ABO | NAMITUNG         | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
| 46                    | HO5ACO | LAHOPANG         | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
| 47                    | HO5ADO | MALA             | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
| 48                    | HO5ANO | RS. SAWANG       | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
| <b>FEEDER TALAWID</b> |        |                  |        |     |   |
| 49                    | HO2ARO | PASENG BARU      | CANTOL | 160 | 3 |
|                       |        |                  |        | 160 | 3 |
| 50                    | HO2ABO | PASENG           | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
| 51                    | HO2AOO | PATOLA           | CANTOL | 25  | 1 |
|                       |        |                  |        | 25  | 1 |
|                       |        |                  |        | 25  | 1 |
| 52                    | HO5AFO | PANGIROLONG      | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |
| 53                    |        | PANGIROLONG BARU | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                  |        | 50  | 3 |

|    |        |                |        |    |   |
|----|--------|----------------|--------|----|---|
| 54 | HO5AEO | LIMU           | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |                |        | 25 | 1 |
| 55 | HO5AGO | SAWANG 1       | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
| 56 | HO5AHO | SAWANG 2       | PORTAL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
| 57 |        | SAWANG 2 BARU  | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
| 58 | HO5AIO | SAWANG BANDIL  | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
| 59 |        | BIAU BARU      | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
| 60 | HO5AJO | BIAU           | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |
| 61 |        | TELKOMSEL BIAU | CANTOL | 25 | 3 |
|    |        |                |        | 25 | 3 |
| 62 | HO5AKO | KALAHANG       | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |                |        | 25 | 1 |
| 63 | HO5ALO | BALIRANGEN     | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                |        | 50 | 3 |

|    |        |                      |        |    |   |
|----|--------|----------------------|--------|----|---|
| 64 | HO5AMO | TELKOMSEL BALIRANGEN | CANTOL | 25 | 3 |
|    |        |                      |        | 25 | 3 |
| 65 | HO2APO | TELKOMSEL BUMBIHA    | CANTOL | 25 | 3 |
|    |        |                      |        | 25 | 3 |
| 66 | HO2ACO | BUMBIHA              | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                      | 1      | 50 | 3 |
| 67 | HO2ADO | PELING 1             | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                      | 1      | 50 | 3 |
| 68 | HO2AEO | PELING 2/ LEWAE      | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |                      |        | 25 | 1 |
| 69 | HO2ARO | PELING TELKOMSEL     | CANTOL | 25 | 3 |
|    |        |                      |        | 25 | 3 |
| 70 | HO2AFO | PELING SAWANG        | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                      |        | 50 | 3 |
| 71 | HO2AGO | SANUMPITO            | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |                      |        | 25 | 1 |
| 72 | HO2AHO | LAGHAENG             | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                      |        | 50 | 3 |
| 73 | HO2AIO | BATUSENGGO           | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |                      |        | 50 | 3 |
| 74 | HO2AJO | TALAWIT TUA          | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |                      |        | 25 | 1 |

|                       |        |                     |        |     |   |
|-----------------------|--------|---------------------|--------|-----|---|
| 75                    | HO2AQO | TELKOMSEL TALAWID   | CANTOL | 25  | 3 |
|                       |        |                     |        | 25  | 3 |
| 76                    | HO2AKO | TALAWIT MAHUNENI    | PORTAL | 100 | 3 |
|                       |        |                     |        | 100 | 3 |
|                       |        |                     |        | 100 | 3 |
|                       |        |                     |        | 100 | 3 |
| 77                    | HO2ALO | MEDANG              | CANTOL | 25  | 1 |
|                       |        |                     |        | 25  | 1 |
| 78                    | HO2AMO | KAPETA              | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                     |        | 50  | 3 |
| 79                    | HO2ANO | TANAKI              | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                     |        | 50  | 3 |
| 80                    |        | TELKOMSEL TANAKI    | CANTOL | 25  | 3 |
|                       |        |                     |        | 25  | 3 |
| 81                    |        | TANGANGA            | PORTAL | 100 | 3 |
|                       |        |                     |        | 100 | 3 |
|                       |        |                     |        | 100 | 3 |
|                       |        |                     |        | 100 | 3 |
| <b>FEEDER KIAWANG</b> |        |                     |        |     |   |
| 82                    | HO1AAO | PANIKI 2            | CANTOL | 50  | 3 |
|                       |        |                     |        | 50  | 3 |
| 83                    | HO1ANO | KTR. BUPATI/ ONDONG | PORTAL | 200 | 3 |
|                       |        |                     |        | 200 | 3 |

|    |         |                  |        |     |   |
|----|---------|------------------|--------|-----|---|
| 84 | HO1ABO  | ONDONG           | PORTAL | 160 | 3 |
|    |         |                  |        | 160 | 3 |
|    |         |                  |        | 160 | 3 |
|    |         |                  |        | 160 | 3 |
| 85 | HO1AAO  | TELKOMSEL ONDONG | CANTOL | 25  | 3 |
|    |         |                  |        | 25  | 3 |
| 86 | HO1ACO  | PEHE             | CANTOL | 50  | 3 |
|    |         |                  | 1      | 50  | 3 |
|    |         |                  |        | 50  | 3 |
| 87 | HO1ADO  | KANAWONG         | CANTOL | 50  | 3 |
|    |         |                  | 1      | 50  | 3 |
|    |         |                  |        | 50  | 3 |
| 88 | HO1AEO  | LEHI             | CANTOL | 50  | 3 |
|    |         |                  |        | 50  | 3 |
|    |         |                  | 1      | 50  | 3 |
| 89 | HO1AFO  | MINI             | CANTOL | 25  | 1 |
|    |         |                  |        | 25  | 1 |
| 90 | HO1AFO1 | MINI 1           | CANTOL | 25  | 1 |
|    |         |                  |        | 25  | 1 |
| 91 | HO1AGO  | KINALI           | CANTOL | 50  | 3 |
|    |         |                  | 1      | 50  | 3 |
| 92 | HO1AMO  | WINANGUN         | CANTOL | 50  | 3 |
|    |         |                  | 1      | 50  | 3 |

|    |        |              |        |    |   |
|----|--------|--------------|--------|----|---|
| 93 | HO1AHO | HIUNG        | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |              |        | 50 | 3 |
|    |        |              | 1      | 50 | 3 |
| 94 |        | KIAWANG BARU | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |              |        | 50 | 3 |
|    |        |              | 1      | 50 | 3 |
| 95 | HO1AIO | KIAWANG      | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |              |        | 50 | 3 |
|    |        |              | 1      | 50 | 3 |
| 96 | HO1AJ0 | KAWAHANG     | CANTOL | 50 | 3 |
|    |        |              | 1      | 50 | 3 |
| 97 | HO1AKO | NIAMBANGENG  | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |              | 1      | 25 | 1 |
| 98 | HO1ALO | BATUBULAN    | CANTOL | 25 | 1 |
|    |        |              | 1      | 25 | 1 |
|    |        |              |        | 25 | 1 |

### 3.2 Pelaksanaan Pengukuran Pentanahan

Pelaksanaan pengukuran pentanahan yang penulis kerjakan sewaktu melakukan kegiatan PKL di PLN Rayon Siau adalah merupakan bagian dari kegiatan survei trafo dimana pada waktu survei tersebut pekerjaan yang dilakukan adalah :

- Mengukur nilai pentanahan
- Mengukur beban gardu (siang hari)
- Memeriksa kondisi tiang dan pondasi tiang trafo
- Memeriksa kondisi NH Fuse
- Memeriksa kondisi panel
- Memeriksa kondisi trafo (secara visual)
- Memeriksa kondisi jamper setiap kawat (secara visual)
- Memeriksa kondisi kabel opstik (secara visual)
- Memeriksa kondisi CO dan Arrester (secara visual)

Pengukuran nilai pentanahan dan beban gardu menggunakan alat ukur earth tester digital yang mempunyai seting untuk resistansi ( $\Omega$ ) dan arus (A).



Gambar 3.2 Earth tester digital merk kyoritsu

Cara pengukuran nilai pentanahan dengan menggunakan earth tester tampak seperti gambar dibawah ini :



*Gambar 3.3 Pengukuran pentanahan trafo Bebal 2*

### **3.3 Masalah Yang Dihadapi Dilapangan**

Permasalahan yang ditemui dalam pengerjaan pengukuran pentanahan adalah sebagai berikut :

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

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1 Data Hasil Pengukuran

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Nilai Resistansi Pembumian Transformator PT. PLN Rayon Siau

| No | Nama Gardu       | Trafo ( $\Omega$ ) | Arrester ( $\Omega$ ) | Netral ( $\Omega$ ) |
|----|------------------|--------------------|-----------------------|---------------------|
| 1  | Trafo Bahu       | 15                 | 15                    | 39,1                |
| 2  | Trafo Salili     | 142,8              | 142,8                 | 63,9                |
| 3  | Trafo Beong      | 78,7               | 54,8                  | 71,9                |
| 4  | Trafo Lai        | 16,76              | 16,76                 | 31,76               |
| 5  | Trafo DPRD       | 2,39               | 2,39                  | 0,15                |
| 6  | Trafo Bebali 2   | 124,1              | 124,1                 | 27,7                |
| 7  | Trafo Bebali 1   | 0,14               | 0,14                  | 52                  |
| 8  | Trafo Kora-Kora  | 8,46               | 8,46                  | 0,39                |
| 9  | Trafo Balirangen | 106,1              | 106,1                 | 24,2                |
| 10 | Trafo Kalahiang  | -                  | -                     | 23,8                |
| 11 | Trafo Tanganga   | 583                | 3,60                  | 8,81                |
| 12 | Trafo Tanaki     | 11,38              | 11,38                 | 30,2                |
| 13 | Trafo Kapeta     | 24,8               | 24,8                  | 42,1                |
| 14 | Trafo Bukide     | 167,5              | 167,5                 | 0,08                |
| 15 | Trafo Ape lawo   | 0,63               | 0,63                  | 21,3                |
| 16 | Trafo Deahe      | 59,6               | 59,6                  | 3,25                |
| 17 | Trafo Lantang    | 3,35               | 3,35                  | 238                 |
| 18 | Trafo Lia        | 36,2               | 36,2                  | 66,4                |
| 19 | Trafo Mananggehe | 370                | 370                   | 39,2                |
| 20 | Trafo Buao       | 92,4               | 84,2                  | 103,4               |

|    |                     |       |       |       |
|----|---------------------|-------|-------|-------|
| 21 | Trafo Tampuna       | 16,20 | 16,20 | 23,7  |
| 22 | Trafo Nameng        | 0,79  | 54,3  | 0,76  |
| 23 | Trafo Tumbira       | -     | -     | 357   |
| 24 | Trafo Moade         | 29,7  | 29,7  | 72    |
| 25 | Trafo Lansi         | -     | -     | 42,7  |
| 26 | Trafo Karalung 2    | 26,7  | 26,7  | 59,8  |
| 27 | Trafo Buise         | -     | -     | 24,2  |
| 28 | Trafo Kanang        | 31,5  | 48,2  | -     |
| 29 | Trafo Ingge         | 10,55 | -     | 26,5  |
| 30 | Trafo Dame 1        | -     | 89,3  | 71,8  |
| 31 | Trafo Baru Dame     | 0,10  | 0,77  | -     |
| 32 | Trafo Dame Bulude   | 37,1  | 52    | -     |
| 33 | Trafo Karalung 1    | 157,9 | 157,9 | 215   |
| 34 | Trafo Limu          | 14,32 | 14,32 | 17,01 |
| 35 | Trafo Pangirolong 2 | 0,21  | 23    | -     |
| 36 | Trafo Kawahang      | 122,6 | 122,6 | 265   |
| 37 | Trafo Niambangeng   | 5,84  | 5,84  | -     |
| 38 | Trafo Patola        | 31,5  | 31,5  | 61,6  |
| 39 | Trafo Pangirolong   | -     | 30,2  | 15,02 |
| 40 | Trafo Kiawang Lama  | 113,9 | 113,9 | 182,5 |
| 41 | Trafo Mini          | 90,8  | 64,8  | 15,8  |
| 42 | Trafo Kinali        | 0,55  | 0,55  | 0,11  |
| 43 | Trafo Hiung         | 34    | 34    | 32,3  |
| 44 | Trafo Baru Kiawang  | 0,11  | 0,13  | 173,7 |
| 45 | Trafo Lehi          | 1,25  | 1,25  | 30,3  |
| 46 | Trafo Pehe          | 30,1  | 30,1  | 47,8  |
| 47 | Trafo Ondong        | 112,4 | 53,5  | -     |
| 48 | Trafo Baru Paniki   | 0,35  | 2,27  | 0,35  |
| 49 | Trafo Paniki        | 9,50  | 6,66  | 7,17  |
| 50 | Trafo Paseng Baru   | -     | 6,07  | 0,19  |

|    |                     |       |       |       |
|----|---------------------|-------|-------|-------|
| 51 | Trafo Paseng Lama   | 43,4  | 43,4  | -     |
| 52 | Trafo Bumbiha       | 134,8 | 134,8 | 98,2  |
| 53 | Trafo Peling        | -     | 22,7  | 0,05  |
| 54 | Trafo Peling Lewa   | -     | 36,6  | -     |
| 55 | Trafo Sawang Tengah | -     | 10,24 | 15,71 |
| 56 | Trafo Sawang Baru   | -     | 33,5  | 24,4  |
| 57 | Trafo Sawang Bandil | 5,06  | -     | 42,4  |
| 58 | Trafo Bahu          | 0,75  | 133,5 | -     |
| 59 | Trafo Sawang Binalu | 22,2  | 22,2  | 15,61 |
| 60 | Trafo Mala          | 0,37  | 0,37  | 51,7  |
| 61 | Trafo Namitung      | 40,5  | 40,5  | 85,6  |
| 62 | Trafo Biau Seha     | 0,21  | 0,11  | 0,05  |
| 63 | Trafo Bowong Poso   | 154   | 154   | 116,1 |
| 64 | Trafo Biau 1        | 59,3  | 59,3  | 107,4 |

Adapun standar nilai resistansi pembumian yang dipakai oleh PT. PLN (Persero) Rayon Siau adalah 5 Ohm. Apabila dibandingkan dengan standar nilai resistansi pentanahan yang dipakai oleh PT. PLN (Persero) Rayon Siau, maka dari data diatas hanya ada empat buah trafo yang memenuhi standar dengan nilai resistansi di bawah 5 Ohm. Trafo-trafo tersebut adalah sebagai berikut :

1. Trafo DPRD, dengan nilai resistansi pembumian sebagai berikut :
  - Pentanahan Trafo = 2,39 ohm
  - Pentanahan Arrester = 2,39 ohm
  - Pentanahan Netral = 0,15 ohm
2. Trafo Kinali, dengan nilai resistansi pembumian sebagai berikut :
  - Pentanahan Trafo = 0,55 ohm
  - Pentanahan Arrester = 0,55 ohm
  - Pentanahan Netral = 0,11 ohm
3. Trafo Baru Paniki, dengan nilai resistansi pembumian sebagai berikut :

- Pentanahan Trafo = 0,35 ohm
  - Pentanahan Arrester = 2,27 ohm
  - Pentanahan anetral = 0,35 ohm
4. Trafo Biau Seha, dengan nilai resistansi sebagai berikut :
- Pentanahan Trafo = 0,21 ohm
  - Pentanahan Arrester = 0,11 ohm
  - Pentanahan Netral = 0,05 ohm

## **4.2 Pengujian Sistem Pentanahan**

### **4.2.1 Pengukuran Tegangan Tembus Body Trafo Terhadap Tanah.**

1. Trafo DPRD, Cantol 50 KVA  
Hasil pengukuran : Tidak ada tegangan;
2. Trafo Kinali, Cantol 50 KVA  
Hasil pengukuran : Tidak ada tegangan;
3. Trafo Biau Seha, Cantol 50 KVA  
Hasil pengukuran : Tidak ada tegangan.

### **4.2.2 Pengukuran Arus Netral Terhadap Elektroda Pentanahan.**

1. Trafo DPRD, Cantol 50 KVA  
Hasil pengukuran : Tidak ada arus;
2. Trafo Kinali, Cantol 50 KVA  
Hasil pengukuran : Tidak ada arus;
3. Trafo Biau Seha, Cantol 50 KVA  
Hasil pengukuran : Tidak ada arus.

### **4.2.3 Pengukuran Tahanan Jenis Tanah**

Saat ini PT. PLN (Persero) Rayon Siau belum memiliki alat untuk mengukur tahanan jenis tanah, sehingga penulis tidak bisa mengambil data nilai tahanan jenis tanah yang ada di PLN Rayon Siau.

#### **4.3 Tanggapan Pihak PLN Rayon Siau**

Dengan berpatokan pada data hasil pengukuran nilai resistansi pembumian trafo di PLN Rayon Siau, maka sebagai Manager Rayon Siau bapak Robby Mandagi. ST mengambil tindakan untuk perbaikan nilai resistansi pembumian sebagai berikut :

1. Semua hasil pengukuran resistansi pentanahan yang melebihi standar akan diperbaiki agar dapat mencapai nilai yang ditentukan.
2. Direncanakan setiap bulan dapat memperbaiki nilai tahanan 5-7 trafo.
3. Akhir tahun 2015 semua trafo sudah selesai perbaikan nilai tahanan pentanahan.

## **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 instalasi baik pelanggan juga pihak PLN.
2. Sebagian besar nilai resistansi pentanahan transformator di PLN Rayon siau belum memenuhi standar.

#### **5.2 Saran**

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.

## DAFTAR PUSTAKA

Wijaya, Mochtar, 2001, *Dasar-Dasar Mesin Listrik*, DJAMBATAN, Jakarta

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

Stevenson William, JD, 1980, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi III, Erlangga, Jakarta