



**EFISIENSI BIAYA PENTANAHAN TRANSFORMATOR 60  
MVA- 150 KV DI PT PLN (PERSERO) P3B SUMATERA  
UTARA GARDU INDUK SIBOLGA**

**Disusun dan Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Ujian Akhir  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik dari Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Pembangunan Panca budi**

**SKRIPSI**

**OLEH**

**NAMA : AMES JAMUDA SIMANJUNTAK**  
**NPM : 2124210336**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO**  
**KONSENTRASI : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCABUDI  
MEDAN  
2022**

**PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

JUDUL : EFISIENSI BIAYA PENTANAHAN TRANSFORMATOR 60 MVA-150 KV DI  
PT.PLN (PERSERO) P3B GARDU INDUK SIBOLGA SUMATERA UTARA

NAMA : AMES JAMUDA SIMANJUNTAK  
N.P.M : 2124210336  
FAKULTAS : SAINS & TEKNOLOGI  
PROGRAM STUDI : Teknik Elektro  
TANGGAL KELULUSAN : 03 Desember 2022



DISETUJUI  
KOMISI PEMBIMBING

PEMBIMBING I



Hj Zuraidah Tharo, S.T., M.T.

PEMBIMBING II



Hamdani, S.T., M.T

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Saya mahasiswa Universitas Pembangunan Panca Budi yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : AMES JAMUDA SIMANJUNTAK

NPM : 2124210336

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Sains dan Teknologi

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan Menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul "Efisiensi Biaya Pentanahan Transformator 60 MVA- 150 KV di PT PLN(PERSERO) P3B Sumatera Utara Gardu Induk Sibolga". Dengan Hak bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Panca Budi berhak menyimpan, alih media/format, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai Hak Cipta.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, Oktober 2022

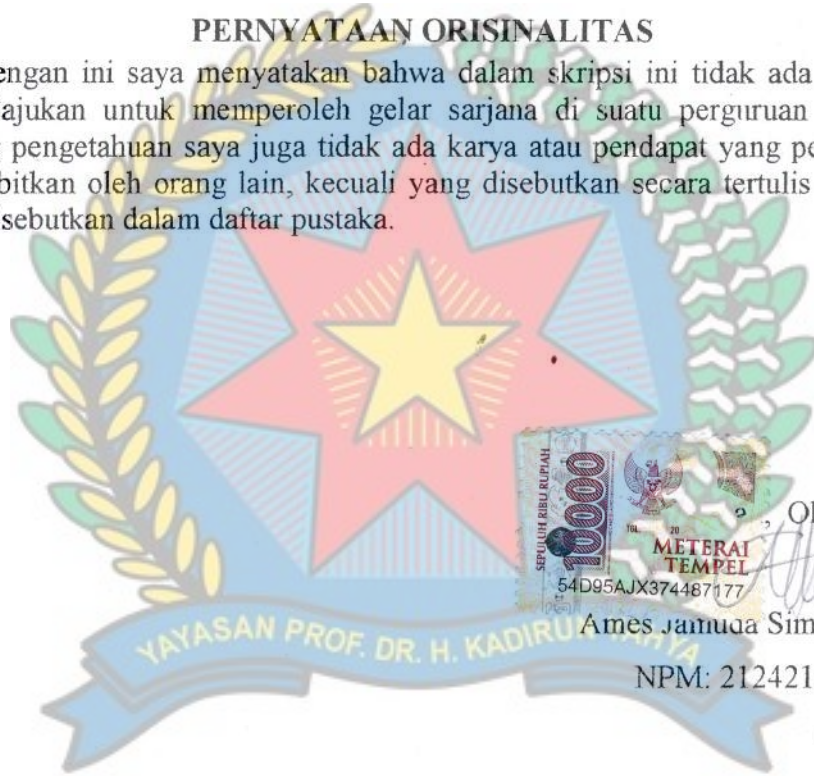


Ames Jamuda Simanjuntak

NPM: 2124210336

### PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak ada karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak ada karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang disebutkan secara tertulis dalam tesis ini, dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Oktober 2022

Ames Jamuqa Simanjuntak

NPM: 2124210336

# EFISIENSI BIAYA PENTANAHAN TRANSFORMATOR 60 MVA- 150 KV DI PT PLN (PERSERO) P3B SUMATERA UTARA GARDU INDUK SIBOLGA

Ames Jamuda Simanjuntak\*  
Hj. Zuraidah Tharo S.T., M.T.\*\*  
Hamdani S.T., M.T.\*\*

## ABSTRAK

Efisiensi biaya pentanahan adalah sangat vital dilakukan, guna sebagai proteksi petir yang dapat merusak peralatan pada Gardu Induk. Sistem pentanahan merupakan suatu tindakan pengamanan pada instalasi listrik dimana rangkaianannya ditanamkan dengan cara mengalirkan arus yang lebih atau arus gangguan ketanah, pentanahan atau grounding menggunakan elektroda pentanahan yang ditanam dalam tanah. Untuk menyesuaikan dengan penggunaan peralatan pada sistem pentanahan dan perkembangan teknologi sistem pentanahan yang ada pada saat ini. Dilakukan pengambilan data guna referensi dan perhitungan biaya pentanahan. Dari data dan perhitungan tersebut ditentukan nilai tahanan jenis tanah dan komponen sistem pentanahan yang sesuai dan diperlukan. Tahapan yang dilakukan antara lain; pengumpulan data curah hujan, data gedung, dan data pentanahan. Selanjutnya dilakukan perhitungan biaya guna mengetahui tingkat kebutuhan sistem pentanahan, sistem pentanahan yang sesuai, serta penentuan komponen sistem pentanahan yang akan digunakan. Diperhitungkan juga biaya dari komponen-komponen sistem pentanahan yang akan dipasang.

**Kata Kunci :** Efisiensi sistem peralatan pentanahan Gardu Induk Sibolga.

\* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: [amesjamudasimanjuntak96@gmail.com](mailto:amesjamudasimanjuntak96@gmail.com)

\*\* Dosen Program Studi Teknik Elektro

# ***COST EFFICIENCY OF 60 MVA- 150 KV TRANSFORMERS FARTH AT PT PLN (PERSERO) P3B NORTH SUMATRA SIBOLGA SUBSTANCES***

*Ames Jamuda Simanjuntak\**  
*Hj. Zuraidah Tharo S.T., M.T.\*\**  
*Hamdani S.T., M.T.\*\**

## ***ABSTRAK***

*Efficiency of grounding costs is very vital to do, as lightning protection that can damage equipment at the substation. The grounding system is a security measure in electrical installations where the circuit is implanted by flowing more current or fault current to the ground, grounding or grounding using a grounding electrode embedded in the ground. To adapt to the use of equipment in the grounding system and the current technological development of the grounding system. Collecting data for reference and calculation of grounding costs. From the data and calculations determined the value of soil resistivity and the appropriate and necessary components of the grounding system. The steps taken include; collection of rainfall data, building data, and grounding data. Furthermore, a cost calculation is carried out to determine the level of need for a grounding system, an appropriate grounding system, and the determination of the components of the grounding system to be used. The cost of the grounding system components to be installed is also taken into account.*

***Keywords :*** *Efficiency of the Sibolga substation Grounding equipment system.*

***\* Student of Electrical Engineering Study Program:***

***[amesjamudasimanjuntak96@gmail.com](mailto:amesjamudasimanjuntak96@gmail.com)***

***\*\* Lecturer of Electrical Engineering Program***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan yang Maha Esa atas segala Kasih dan KaruniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tugas Akhir sebagaimana mestinya. Penulis tugas akhir ini merupakan salah satu syarat bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Pancabudi dalam menyelesaikan program study starta satu (S1). Dalam penulisan tugas akhir ini penulis mengangkat judul yaitu :

**“EFISIENSI BIAYA PENTANAHAN TRANSFORMATOR 60MVA-150 KV DI PT PLN (PERSERO) P3B SUMATERA GARDU INDUK SIBOLGA”**

Penulis menyadari bahwa baik dalam perjalanan studi maupun dalam penyelesaian Skripsi ini, penulis banyak menerima bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, Sehingga dengan rasa syukur dan rendah hati penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indrawan, S.E., M.M, Selaku Rektor yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyelesaikan perkuliahan.
2. Bapak Hamdani S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Pembangunan Pancabudi .
3. Ibu Siti Anisah ST. MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Pancabudi .
4. Ibu Hj. Zuraidah Tharo ST. MT, Selaku Dosen pembimbing I yang dengan sabar dan tulus dalam meluangkan waktu dan pikiran untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Hamdani S.T., M.T, selaku Dosen pembimbing II yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran didalam mengarahkan penulis dalam menyusun Tugas Akhir ini.
6. Seluruh staff pengajar yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis dan seluruh pegawai Fakultas Sains dan Teknologi atas bantuan dan administrasinya
7. Kepada kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan moril maupun material kepada penulis.
8. Kepada semua pihak yang telah membantu penulis Tugas Akhir ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Untuk itu segala kerendahan hati, penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kelengkapan dan kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Penulis menyadari bahwa penulisan masih jauh dari kata sempurna dikarenakan keterbatasan pengetahuan penulis.

Medan, Juni 2022

Penulis

AMES JAMUDA SIMANJUNTAK





## DAFTAR ISI

Abstrak	
Kata pengantar .....	i
Daftar isi.....	iii
Daftar gambar .....	vi
Daftar tabel.....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Rumusan Masalah.....	3
1.4. Mamfaat Penelitian .....	3
1.5. Batasan Masalah .....	4
1.6. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b>	
2.1 Defenisi Gardu Induk.....	5
2.2 Klasifikasi Gardu Induk .....	6
2.2.1 Klasifikasi Menurut Penempatan .....	6
2.2.2 Klasifikasi Gardu Induk Berdasarkan 10 Kaki & Fungsinya .....	7
2.3 Peralatan & Fasilitas Gardu Induk .....	7
2.4 Komponen Yang Ada Pada Switch Yard Gardu Induk & Fungsinya ..	8
2.4.1 Transformator Daya .....	8
2.4.2 Lighting Arrester (LA).....	17
2.4.3 Transformator Tegangan ( <i>Potential Transformer / PT</i> ) .....	20
2.4.4 Transformator Arus ( <i>Current Transformer / CT</i> ).....	22
2.4.5 Pemutus Tegangan (PMT) / Circuit Breaker (CB) .....	27
2.4.6 Saklar Pemisah (PMS) .....	33
2.4.7 Power Line Carrier .....	38
2.4.8 Line Traf (Wave Trap).....	39
2.4.9 Busbar (Rel Daya).....	39
2.4.10 Isolator .....	42

2.4.11 Baterai .....	44
2.4.12 Panel Kontrol .....	45
2.4.13 Sistem Pentanahan Titik Netral .....	47
2.5 Sistem Pentanahan .....	48
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	56
3.2 Alat dan Bahan .....	56
3.3 Flow Chart .....	57
3.4 Mekanisme Pelaksanaan Penelitian .....	58
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Perhitungan biaya dan pembahasan .....	59
4.2 Perhitungan Biaya Bahan Pentanahan Transformator Pada Gardu Induk Sibolga .....	64
4.3 Bahan dan material pentanahan peralatan Transformstor Gardu induk Sibolga .....	65
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan .....	66
5.2 Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Transformator Daya 1 (TD-1) di GI Sibolga .....	9
Gambar 2.2 Transformator Daya 2 (TD-20) di GI Sibolga .....	11
Gambar 2.3 Inti Besi dan Laminasi yang diikat dengan Fiber Glass.....	12
Gambar 2.4 Kumparan Transformator Daya .....	13
Gambar 2.5 Minyak Trafo .....	13
Gambar 2.6 Bushing .....	14
Gambar 2.7 Bushing dan Tangki Konservator pada Trafo Daya.....	14
Gambar 2.8 Lighting Arrester Gardu Induk Sibolga .....	18
Gambar 2.9 Arrester Eksplus .....	19
Gambar 2.10 Arrester Type Walve .....	20
Gambar 2.11 Transformator Tegangan pada GI Sibolga.....	22
Gambar 2.12 Diagram Fasor Aruss dan Tegangan pada Trafo Arus.....	23
Gambar 2.13 Tipe Cincin.....	23
Gambar 2.14 Tipe Cor-Coran Cast Resin .....	24
Gambar 1.15 Tangki Minyak .....	24
Gambar 2.16 Hubungan Arus Trafo Biasa .....	25
Gambar 2.17 Hubungan Arus Trafo dengan 2 buah lilitan Sekunder.....	26
Gambar 2.18 Hubungan Trafo dengan 2 buah lilitan Primer dan Sekunder.....	27
Gambar 2.19 PMT dengan Menggunakan banyak Minyak .....	28
Gambar 2.20 PMT dengan media hembus.....	30
Gambar 2.21 Pmutus dari PMT hampa udara.....	31
Gambar 2.22 Pemutus Tenaga (PMT) Circuit Breaker (CB) .....	32

Gambar 2.23 Pemisah Engsel .....	34
Gambar 2.24 Pemisah Siku.....	35
Gambar 2.25 Pemisah Putar.....	35
Gambar 2.26 Pemisah Luncur.....	36
Gambar 2.27 Pemisah Pantograph.....	36
Gambar 2.28 Saklar Pemisah (PMS) Gardu Induk Sibolga.....	37
Gambar 2.29 Wave Trap atau Line Trap .....	39
Gambar 2.30 Busbar (Rel Daya) Gardu Induk Sibolga .....	42
Gambar 2.31 Isolator Piring.....	43
Gambar 2.32 Isolator Tonggak Saluran Vertikal.....	43
Gambar 2.33 Rangkain Baterai Gardu Induk.....	45
Gambar 2.34 Panel Instrumen dan Panel Operasi 150 KV Gardu Induk Sibolga .....	46
Gambar 2.35 Panel Rele Gardu Induk Sibolga.....	47
Gambar 2.36 Elektroda Pita.....	49
Gambar 2.37 Elektroda Batang.....	49
Gambar 2.38 Elektroda Pelat .....	50
Gambar Kantor PT.PLN (PERSERO) Gardu Induk Sibolga.....	66

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Macam-macam sistem Pendingin .....	15
Tabel 4.2 Bahan sistem pentanahan dan perkiraan efisiensi biaya .....	64
Tabel 4.3 Bahan material pentanahan peralatan Transformator Gardu Induk Sibolga .....	65



## LAMPIRAN

Lampiran ..... 68



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Sebuah gedung atau Dalam sebuah bangunan atau gedung terdapat berbagai macam peralatan dan perlengkapan bangunan yang menggunakan energi listrik yang memiliki spesifikasi teknis, kapasitas dan kebutuhan energi listrik yang berbeda-beda. Apabila energy listrik yang diberikan kepada peralatan atau perlengkapan tersebut tidak sesuai dengan spesifikasi teknis, kapasitas atau kebutuhan peralatan, maka peralatan atau perlengkapan tersebut tidak dapat bekerja atau digunakan secara maksimal bahkan dapat merusak peralatan atau perlengkapan tersebut. Ketidaksesuaian ini diantaranya dapat diakibatkan karena adanya korsleting instalasi listrik, sambaran petir atau kesalahan lainya baik dari internal maupun eksternal.

kantor harus memiliki sistem pentanahan yang handal dan memenuhi standar keamanan bagi manusia dan peralatan. Sistem pentanahan yang digunakan harus benar-benar dapat mencegah bahaya ketika terjadi gangguan. Dimana pada saat terjadi gangguan, arus yang mengalir kebagian pralatan dan kepiranti pentanahan dapat diketahui sehingga gradien tegangan disekitar area pentanahan menjadi merata sehingga tidak menimbulkan beda potensial antara titik-titik disekitar terjadinya gangguan.

Kontinuitas pelayanan yang baik dapat diperoleh bila mana semua komponen sistem tenaga senantiasa bekerja pada semua kondisi, normal maupun abnormal. Kemungkinan gangguan kebumi sau fasa dapat berkembang kefasa lain,atau mengganggu pralatan lain tergantung pada besar arus gangguan dan waktu yang diperlukan untuk menghilangkan gangguan kesistem pentanahan tersebut. Tiap jenis gangguan tersebut akan mempunyai pengaruh yang berbeda terhadap metode pentanahan yang digunakan. Skema sistem pentanahan yang digunakan harus cocok dan sesuai dengan peralatan yang terpasang pada sistem tersebut.

Untuk menghindari bahaya kontak/sambaran petir, berbagai bangunan tinggi dan fasilitas penting lainnya senantiasa diberi pengamanan berupa penangkal petir.

Pemasangan penangkal petir ini diharapkan dapat memperkecil resiko rambatan petir yang dapat merusak peralatan atau perangkat elektronik. Rangkaian jalur difungsikan sebagai jalan arus lebih yang ditimbulkan petir menuju permukaan ketanah, tanpa merusak benda-benda yang dilewatinya. Mekanisme distribusi petir menuju bumi, sangat bergantung pada kemampuan material yang akan menerima dan menyalurkan dalam waktu yang singkat.

Perkembangan dan kemajuan dalam memproteksi selalu mengalami perubahan baik dari kualitas dan kuantitas, menyesuaikan dari perkembangan teknologi dan kebutuhan untuk memaksimalkan kinerja dan hasil yang terbaik. Gardu induk sebagai tempat penyalur beban dari pembangkit pengembangan infrastruktur meliputi pengembangan beserta peralatan pendukung lainnya. Pengembangan sistem meliputi pengembangan sistem informasi strategis yang diperlukan oleh Gardu Induk.

Dari hal diatas, maka penulis dalam menyusun skripsi ini mengambil judul “Efisiensi Biaya Pentanahan Transformator 60 MVA – 150 KV di Gardu Induk Sibolga”. Pada akhirnya penulis berharap hasil penelitian ini tidak hanya bermamfaat bagi Mahasiswa Teknik Elektro namun dapat juga menjadi salah satu acuan untuk perencanaan pembangunan sistem pembumian di tempat lain.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

- a. Menentukan Biaya pentanahan tempat pemasangan sistem pentanahan pada transformator Gardu Induk.
- b. Menentukan sistem pentanahan yang sesuai dengan tahanan pentanahan dalam aliran energi listrik yang diketanahkan.

## **1.3 Rumusan Masalah**

Dalam penelitian ini dirumuskan beberapa masalah diantaranya :

- a. Bagaimana menentukan tingkat kebutuhan sistem pentanahan pada peralatan di Gardu Induk.



- b. Bagaimana menentukan tahanan pentanahan tempat pemasangan sistem pentanahan.
- c. Bagaimana menentukan sistem pentanahan yang sesuai dengan tahanan pentanahan aliran energy listrik yang diketanahkan.

#### **1.4 Mamfaat penelitian**

Dalam penelitian ini diharapkan memiliki mamfaat diantaranya :

- a. Dapat mengetahui tingkat kebutuhan sistem pentanahan pada Gardu Induk.
- b. Dapat mengetahui nilai tahanan pentanahan suatu sistem pentanahan.
- c. Dapat mengetahui sistem pentanahan yang sesuai dengan tahanan pentanahan dan aliran listrik yang diketanahkan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan-batasan masalah dilingkupi dengan penelitian ini antara lain :

- a. Perhitungan tahanan pentanahan tempat pemasangan sistem pembumian.
- b. Perhitungan dan penentuan sistem pembumiaan berdasarkan :
  - Perhitungan tahanan pentanahan.
  - Aliran energi listrik yang mungkin diketanahkan.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut :

##### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, mamfaat, tujuan, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

##### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi tentang gambaran umum pentanahan, teori dasar tentang tahanan pentanahan dan sistem pentanahan.

##### **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang waktu penelitian, jenis penelitian, alat dan bahan penelitian, dan jalanya penelitian.

**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini berisi pembahasan dan hasil penelitian tahanan pentanahan, dan sistem pentanahan.

**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi tentang rangkuman hasil penelitian dan saran-saran kedepan terkait hasil penelitian yang telah diperoleh.



## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Defenisi Gardu Induk

Tegangan yang di bangkitkan generator terbatas dalam belasan kilo volt, sementara itu pusat pembangkit umumnya berada dilokas yang jauh dari pusat-pusat beban sehingga untuk menyalurkan energy listrik dalam daya yng sangat besar pada tegangan yang rendah jelas akan menimbulkan rugi-rugi saluran yang sangat besar maka penyaluran daya menjadi tidak efisien .Disamping rugi-rugi listrik harus jug di pertimbangkan teknik pembuatan saluran transmisi dan sisi ekonomisnya. Untuk itu dalam penyaluran energy listrik dilakukan dalam tegangan tinggi dengan demikian arus pada saluran jelas lebih kecil dan penghantar yang digunakan dapat dibuat dalam ukuran yang lebih kecilpula.Maka tegangan tersebut dinaikkan terlebih dahulu dengan menggunakan Transformator daya Step up.Sementra itu di pusat-pusat beban, peralatan listrik konsumen umumnya menggunakan tegangan menengah dan rendah .Pada sisi ini digunakanlah Transformator Step down untuk menurunkan tegangan. Kedua macam Transformator yang di sebut diatas bersama dengan peralatan –peralatan penunjang lainnya terdapat di Gardu Induk. Gardu induk terdapat diseluruh sistem tenaga listrik, dimulai pada saat pembangkitan tenaga listri dipusat pemangkitan yang kemudian dialirkan melalui trasmisi sampai kepada tranformator gardu induk. Pada tranformator gardu induk diturunkan hingga beberapa puluh KV yang kemudian didistribusikan kepada konsumen.

Gardu Induk adalah suatu sran untuk mendistribusikan aliran daya dari pusat pembangkit kepusat beban. Gardu induk memiliki fungsi sebagai berikut :

- a. Trasforasi tenaga listrik tegangan tinggi ke tengangan menengah .
- b. Pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengaman dari sistem tenaga listrik.
- c. Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

## 2.2. Klasifikasi Gardu Induk (GI)

Gardu induk diklasifikasikan menjadi beberapa bagian, yaitu:

- a. Klasifikasi menurut penempatan peralatan.
- b. Klasifikasi menurut lokasi dan fungsinya / perannya.

### 2.2.1. Klasifikasi Menurut Penempatan Peralatan

- Gardu induk pemasangan dalam (*Indoor, Substation*)

Gardu induk dimana semua peralatannya (Switch gear, isolator dll) dipasang didalam gedung / ruang tertutup.

- Gardu induk pemasangan luar (*Outdoor Substation*)

Gardu induk dimana semua peralatannya (switch gear, isolator dll) dipasang diantara terbuka.

- Gardu induk pasang dalam bawah tanah (*Under Ground Substation*)

Gardu induk ini biasanya berada didaerah perkotaan, dimana lahan yang tidak memungkinkan lagi untuk pemasangan gardu induk.

- Gardu induk pasangan sebagai bawah tanah (*Semi Under Ground*)

Gardu induk ini biasanya dipasang dibawah tanah, dimana sebagian peralatannya biasanya tranformator daya, bus dan lainnya dipasang diatas tanah.

- Gardu induk Mobil (*Mobile Substation*)

Peralatan gardu induk berada diatas mobil trailer sehingga bisa dipindahkan ketempat yang dibutuhkan, biasanya di pakai untuk keadaan darurat dan bersifat sementara waktu.

- Gardu Satuan (*Unit Substation*)

Merupakan gardu pasangan luar yang dipakai sebagian ganti transformer 3 fasa dan lemari gardu distribusi.

- Gardu jenis peti (*Box Type Substation*)

Merpakan gardu induk distribusi untuk tegangan dan kapasitas relative rendah dan sama sekali tidak dijaga. Misalnya didaerah pertanian atau desa

nelayan yang kebutuhan kecil dan merupakan beban yang tidak begitu penting.

### **2.2.2. Klasifikasi Gardu Induk Berdasarkan Lokasi dan Fungsinya**

Menurut lokasinya didalam sistem tenaga listrik, fungsi dan tensinganya (tinggi, menengah dan rendah) maka gardu induk dibagi lagi menjadi:

- **Gardu Induk**

Adalah suatu gardu yang mendapat daya dari saluran transmisi atau sub-transmisi suatu sistem tenaga listrik untuk kemudian untuk menyalurkan ke daerah beban (industry, kota dll) melalui suatu distribusi primer.

- **Gardu Distribusi**

Adalah gardu listrik yang mendapatkan daya dari saluran distribusi primer yang menyalurkan tenaga listrik ke pemakaian dengan tegangan rendah.

### **2.3. Peralatan dan Fasilitas Gardu Induk**

Perlengkapan dan peralatan yang terdapat pada suatu gardu induk dalam hal ini adalah Gardu Induk pada umumnya sebagai berikut:

- Instalasi transformator tenaga dan peralatan penyaluran tenaga listrik yang terdiri dari:
  - a. Transformator daya
  - b. Peralatan sisi tegangan tinggi (sisi primer), diantaranya sebagai berikut:
    - ❖ Lighting arrester
    - ❖ Pemutus tenaga (PMT)
    - ❖ Saklar pemisah (PMS)
    - ❖ Trafo arus (CT)
    - ❖ Trafo tegangan (PT)
    - ❖ Bus bar (rel daya)
  - c. Peralatan sisi tegangan menengah (sisi sekunder)  
Peralatan untuk tegangan menengah sisi sekunder) ragamnya hampir sama dengan peralatan sisi tegangan tinggi (sisi primer).

d. Peralatan Kontrol

Digunakan untuk mengontrol pelayan gardu induk dari suatu tempat dari dalam gedung control dimana terdiri dari :

- ❖ Panel control
- ❖ Panel rele
- ❖ Meter-meter pengukuran
- ❖ Peralatan telekomunikasi
- ❖ Batere dan rectifier
- ❖ Dll.

e. Peralatan Lainnya

Kecuali peralatan-peralatan yang telah disebutkan di atas masih ada lagi peralatan-peralatan lainnya seperti :

- ❖ Petersen coil
- ❖ Reaktor
- ❖ Static capasitor
- ❖ Resistor (tanahan)
- ❖ Dll.

• Fasilitas gardu induk yang terdiri dari :

- a. Gedung control
- b. Ruangan batere
- c. Bangunan –bangunan lainnya.

## 2.4 Komponen-komponen yang ada pada switchyard Gardu Induk dan Fungsinya

Gardu induk dilengkapi dengan fasilitas dan peralatan yang diperlukan sesuai dengan tujuannya yakni :

### 2.4.1 Transformator Daya

Transformator adalah alat listrik yang berfungsi menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya berdasarkan prinsip induksi magnet (listrik statis). Dalam operasi umumnya. Transformator-transformator tenaga ditanahkan pada titik netralnya sesuai dengan kebutuhan untuk sistem proteks, contoh

transformator 150/70 KV ditanahkan langsung di titik netral 150 KV, sedangkan transformator 70/20 KV di tanahkan langsung pada titik 20 KV.

Pada gardu induk sibolga terdapat 2 buah trafo daya yang digunakan untuk menyalurkan daya dari tegangan 150 KV ke tegangan distribusi 20 KV dengan ranting daya 60 MVA. Bentuk dan data – data transformator daya pada GI Sibolga dapat dilihat seperti berikut.

a. Transformator Daya-1 (TD 1)



**Gambar 2.1 transformator daya 1 (TD-1) di sibolga**

Sumber : Ames,2020

Data – data pada transformator daya (TD-1) pada gardu induk sibolga

Merk	:	Unindo
Serial Number	:	P060LEC595
Year of manufactured	:	2010
Standart	:	IEC 76 /1976
Frequency	:	50 Hz
Phase	:	3
Insulation	:	L1-650 AC 275/L1-125

		AC 50/L1-AC 38/L1-AC/50
Tap Changer	:	MR-VVVIII 400Y-76-10193W LOAD
Vacum PROOF	:	100%
Type Oil	:	IEC 296
Mass	:	Total 93
		Oil 23
		Untanking 52,6

*Completely self-protecting (CSP) transformer* memiliki peralatan proteksi terintegrasi terhadap petir, dan hubung singkat. *Lightning-arrester* terpasang langsung pada tangki trafo sebagai proteksi terhadap petir. Untuk proteksi terhadap beban lebih, digunakan fuse yang dipasang dalam tangki. Fuse ini disebut weak link. Proteksi trafo terhadap gangguan internal menggunakan hubungan proteksi trafo terhadap gangguan internal menggunakan hubungan proteksi internal yang dipasang antara belitan primer dengan *bushing* primer.

*Completely self-protecting for secondary banking (CSPB) transformers* mirip dengan *CSP transformers*, tetapi pada trafo jenis ini terdapat circuit breaker pada sisi sekunder, *circuit breaker* ini akan mmbuka sebelum *weak link* melebur. Kumpanan ini terdiri dari lilitan konduktor berisolasi sehingga kedua kumpanan tersbut terisolasi secara elektrik antara yang satu dengan yang lain.



b. Transformator daya 2 (TD-2)



**Gambar 2.2. Transformator Daya 2 (TD-2) di Sibolga**

Sumber: Ames, 2020

Data-data pada transformator daya (TD-2) pada gardu induk sibolga

Merk	:	B&D
Serial Number	:	H19E000254
Yar of manufactured	:	2020
Standart	:	IEC 60076
Rated powe	:	60 MVA
Cooling	:	ONAN / ONAF
Frequency	:	50 Hz
Phase	:	3
Insulation levels	:	LI-650 AC 275/LI-95 AC 38/LI-125/AC 50/LI-125 AC 50
Tap Changer	:	MR VVS III 400Y 76 KV 10193 W + ED 100 S
Vacum PROOF	:	100%
Type Oil	:	IEC 296
Mass	:	Total 93 Oil 23 Untanking 52,6

Transformator terdiri dari :

- Bagian utama
  - a. Inti Besi

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Bagian dari inti besi tersebut dari lempengan-lempengan besi yang tipis dan berisolasi, tujuannya untuk mengurangi panas (rugi-rugi inti besi) yang ditimbulkan oleh arus Edy. Bentuk inti besi dan laminasi yang diikat dengan *fiber glass* dapat dilihat pada gambar 2.c :

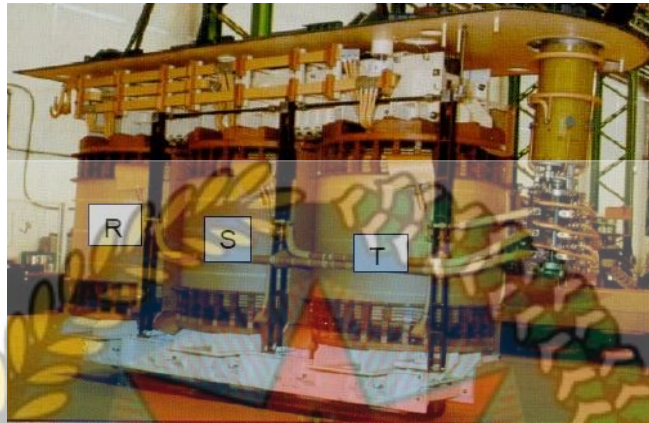


**Gambar 2.3. Inti besi dan Laminasi yang diikat Dengan *Fiber Glass***  
*Sumber: Lumbanraja Teddy, 2012*

- b. Kumparan Transformator

Beberapa lilitan kawat berisolasi membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut diisolasi baik terhadap inti besi maupun terhadap kumparan lain, dengan isolasi padat seperti karton, pertinax dan lain-lain. Jika pada kumparan primer dihubungkan pada tegangan atau Arus bolak-balik maka pada kumparan akan timbul fluksi yang menginduksikan tegangan.

Jika ada rangkaian berbeban dan rangkaian sekundernya ditutup maka pada kumparan akan dihasilkan arus. Bentuk kumparan transformator daya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.4. Kumparan Transformator Daya**

*Sumber: Lumbanraja Teddy, 2012*

c. Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi untuk merendam kumparan di inti transformator daya terutama yang berkapasitas besar. Karena minyak trafo berfungsi sebagai media pendingin yang bersifat disirkulasi atau pemindah panas sedangkan sebagai isolasi adalah untuk mengisolasi daya tembus tegangan tinggi.

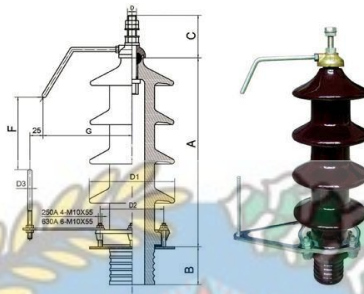


**Gambar 2.5. Minyak Trasformator**

*Sumber: Lumbanraja Teddy, 2012*

d. Bushing

Hubungan antara kumparan trafo ke jaringan dirancang melalui sebuah konduktor yang diselubungi isolator yang berfungsi sebagai penyekat antara bagian yang bertegangan dengan tangki.



**Gambar 2.6. Bushing**

*Sumber: Lumbanraja Teddy, 2012*

e. Tangki Konservator

Akibat perubahan suhu pada minyak transformator maka minyak akan memuai, untuk menampung hasil pemuaiian tersebut maka transformator dilengkapi dengan konservator yang terdiri dari gelas penduga yang dapat menentukan level dari minyak (level maksimum dan minimum).Tangki konservator dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.7.Tangki Konservator Pada Trafo Daya**

*Sumber: Lumbanraja Teddy, 2012*

- Peralatan Bantu

- a. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas akibat rugi-rugi tembaga.Bila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi didalam trafo, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan trafo tersebut perlu dilengkapi dengan alat /sistem pendingin untuk

menyalurkan panas keluar trafo. Media yang digunakan pada sistem pendingin dapat berupa udara/gas, minyak, air dan lain sebagainya sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara :alamiah (natural) dan tekanan/paksaan.

Pada cara alamiah (natural), pengaliran media sebagai akibat adanya perbedaan suhu media untuk mempercepat perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak-udara/gas, dengan cara melengkapi trafo dengan sirip-sirip radiator).

Bila dikehendaki/diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural/alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air, dan cara ini disebut pendingin paksa (forced).

Macam-macam sistem pendingin transformator berdasarkan media dan cara pengalirannya diperlihatkan dalam tabel 2.1. berikut :

**Tabel 2.1. Macam-Macam Sistem Pendingin.**

No	Macam sistem pendingin *)	Media			
		Di Dalam Trafo		Di Luar Trafo	
		Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Sumber: Lumbanraja Teddy, 2012

- Tap Changer

Adalah alat sebuah perubahan perbandingan transformasi untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik dari tegangan jaringan/primer yang berubah-ubah. Tap charger hanya dapat beroperasi untuk memindahkan tap trafo dalam keadaan trafo tak berban disebut “OFF Load Tap Charge” dan hanya dapat dioperasikan secara manual. Tap changer yang dapat beroperasi untuk memindahkan tap transformator dalam keadaan transformator beban disebut “ON Load Tap Charge” dan dapat dioperasikan secara manual dan otomatis.

- Alat Pernapasan

Karena pengaruh naik turunnya beban trafo maupun suhu udara luar, maka suhu minyak pun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar masuk kedalam tangki.

Kedua proses diatas disebut pernapasan trafo. Akibat pernapasan trafo tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak trafo, maka untuk mencegah hal tersebut pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernafasan, berupa tabung brisi Kristal zat hygroskopis.

- Indikator

Untuk mengawasi selama trafo beroperasi, maka perlunya indicator pada trafo sebagai berikut:

- a. Indikator suhu.
- b. Indikator permukaan minyak.
- c. Indikator system pendingin.
- d. Indikator kedudukan tab.

#### 2.4.2. Lighting Aresster (LA)

*Lighting Arester* (LA) merupakan alat proteksi bagi peralatan sistem tenaga listrik terhadap arus yang disebabkan oleh sambaran petir atau surja hubung (*switching Surge*). Alat ini bersifat sebagai *by pass* disekitar isolasi yang membentuk jalan yang mudah dilalui arus kilat kesistem pentanahan sehinggatidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi dan tidak merusak isolasi peralatan listrik. *By pass* itu sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran arus sistem frekuwensi 50 Hz. Jadi dalam keadaan normal aresster berfungsi sebagai isolator dan apabila terjadi tegangan surja maka alat ini akan berfungsi sebagai konduktor yang tahanan relative rendah sehingga dapat mengalirkan arus yang tinggi menuju tanah. Setelah surja hilang, arrester harus dapat dengan cepat kembali menjadi isolasi.

Sesuai dengan fungsinya, yaitu arrester melindungi peralatan listrik pada jaringan terhadap lebih yang disebabkan petir, maka pada umumnya arrester dipasang pada setiap ujung SUTT yang memasuki gardu induk. Digardu induk besar ada kalanya pada transformator dipasang juga arrester untuk menjamin terlindungnya transformator dan peralatan lainya dari tegangan lebih tersebut.

Bagian-bagian penting lighting Arrester diantaranya adalah :

a. Elektroda

Elektroda-elektroda ini adalah terminal aresster yang dihubungkan dengan bagian atas dan bawah elektroda dihubungkan dengan tanah.

b. Sela percikan (*spark-gap*)

Apabila terjadi tegangan lebih oleh sambaran petir atau surja hubung pada arrester yang terpasang, maka pada sela percikan (*spark-gap*) akan terjadi lonjakan busur api. Pada dasarnya type arrester busur api yang terjadi tersebut ditiup keluar oleh tekanan gas yang ditimbulkan oleh tabung fiber yang terbakar.

c. Tahanan katub (*valve resistor*)

Tahanan yang digunakan oleh arrester ini adalah satu jenis material yang sifat tahanannya dapat berubah bila mendapatkan perubahan tegangan bentuk *lighting arrester* dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.8. Lighting Arrester GI**

*Sumber: Alief Rakhman, 2018*

- Prinsip Kerja lighting Arrester

Prinsip kerja *Lighting Arrester* (LA) adalah dengan cara memotong tegangan lebih yang sampai pada terminal pelindung arrester untuk melindungi peralatan. Misalkan surja petir merambat menuju transformator, jika surja petir tiba pada terminal pelindung LA, naik mengikuti kenaikan tegangan.

Surja pada saat tegangan LA mencapai tegangan perciknya ( $V_a$ ), LA terpercik sehingga terjadi hubung singkat fasa ketanah. Akibatnya diterminal pelindung LA menjadi nol dan arus surja mengalir ke tanah. Sedangkan sisa pemotongan tegangan lebih tersebut akan di teruskan ke tegangan transformator.

- Tipe-Tipe Lighting Arrester

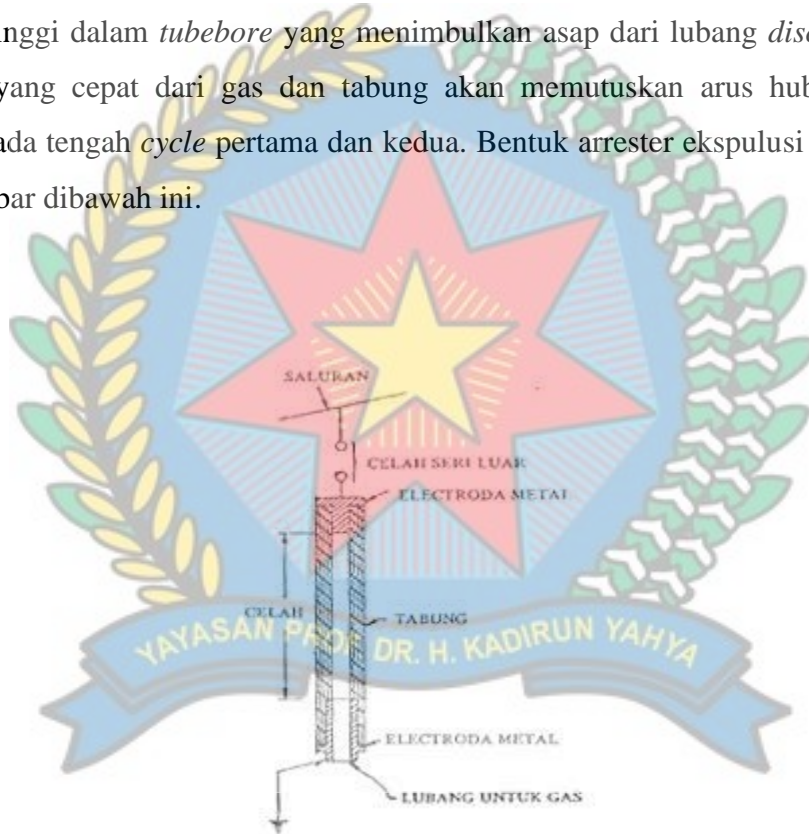
Lighting Arrester banyak dipergunakan pada gardu-gardu distribusi, yaitu untuk memproteksi gardu tersebut dari *over voltage*. Lighting arrester ini mempunyai 2 jenis yaitu:

- a. *Expulsion Type* (jenis Ekspulsi)

Arrester tipe ekspulsi terdiri dari tabung isolasi yang mempunyai elektroda disetiap ujung dan discharge pada ujung bawah. Panjang tabung sedemikian rupa sehingga *park over* terjadi pada gap antara dua elektroda dalam tabung. Untuk rating tegangan yang tinggi dan arus yang tinggi kemungkinan dalam tabung terhubung dua atau lebih gap dengan lubang discharge pada bagian atas bawah dan tengah-tengah ini merupakan seri gap yang dipasang diantara elektroda dengan penghantar, yang



mencegah pemakaian tegangan sistem yang terus menerus pada tabung. *Discharge* pada gap dua dan terakhir pada interal bore dari tabung pencegah flash over petir pada isolasi paralel dari penghantar. Daya dari arus susulan membantu tekanan menjadi tinggi dalam *tube bore* yang menimbulkan asap dari lubang *discharge*. Aksi ekspulsi yang cepat dari gas dan tabung akan memutuskan arus hubung singkat susulan pada tengah *cycle* pertama dan kedua. Bentuk arrester ekspulsi dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

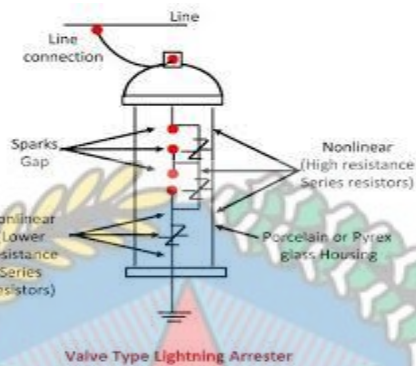


**Gambar 2.9. Arrester Eksplusi.**

*Sumber: Add Comment, 2020*

#### b. Lighting Arrester Type Valve

*Valve Arrester* terdiri dari dua elemen yaitu series gap dan valve elemen. Valve elemen merupakan sebuah tahanan yang tidak linier. Tahanan ini mempunyai sifat khusus yaitu tahanan berubah dengan berubahnya arus dan proses perubahan ini berlangsung dengan cepat. Bila sebuah surja hubung sampai pada kawa transmisi dan dilewatkan pada series gap, tahanan valve elemen berubah terus dengan cepat sehingga tegangan turun di batasi meskipun arusnya besar. Bentuk skematis pemasangan arrester dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 2.10. Arrester Type Valve.**

*Sumber: Add Comment, 2012*

*Arrester* ditempatkan sedekat mungkin dengan peralatan yang dilindungi. Tetapi untuk memperoleh kawasan perlindungan yang lebih baik, maka ada kalanya arrester di tempatkan dengan jarak tertentu dengan jarak peralatan yang dilindungi. Jarak arrester dengan peralatan yang dilindungi berpengaruh terhadap besarnya tegangan yang tiba pada peralatan. Jika jarak arrester terlalu jauh, maka tegangan yang tiba pada peralatan dapat melebihi tegangan yang dapat dipikulnya.

Dalam prakteknya, tegangan mungkin lebih tinggi dari perkiraan karena terjadinya isolasi akibat adanya induktansi penghantar yang menghubungkan arrester dengan trafo dan adanya kapasitansi dari trafo itu sendiri. Disamping itu, saat arrester bekerja mengalirkan arus surja ke bumi, maka terjadi jatuh tegangan pada tahanan penghantar penghubung arrester dengan jaringan dan penghubung arrester dengan elektroda pembumian. Jatuh tegangan ini dipengaruhi oleh kenaikan arus surja dan akan mengakibatkan kenaikan tegangan antara terminal arrester arrester dengan bumi.

#### **2.4.3. Transformator Tegangan (*Potential Transformer / PT*)**

Transformator tegangan adalah transformator satu fasa step down yang mentransformasikan tegangan sistem kesuatu tegangan rendah yang yang layak untuk keperluan indicator, alat ukur, rele dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi bagi operator. Tegangan perlengkapan seperti indicator, meter dan rele dirancang sesuai dengan tegangan sekunder transformator tegangan.

Klasifikasi transformator tegangan dibagi berdasarkan type konstruksinya dan letak pemasangannya.

- Type Kontruksi Trafo Tegangan

- a. Trafo Tegangan Induktif (*Inductive Voltage Transformer*)

Transformator adalah alat listrik berfungsi menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya sesuai induksi magnet (listrik statis). Terdiri dari lilitan primer dan lilitan sekunder dan tegangan pada lilitan primernya akan menginduksikannya kelilitan sekunder.

- b. Transformator Tegangan Kapasitif (*Capacitor Voltage Transformer*)

Terdiri dari rangkaian kondensator yang berfungsi sebagai pembagi tegangan pada sisi tegangan tinggi dan trafo pada tegangan menengah yang menginduksikan tegangan kelilitan sekunder.

- Bagian-Bagian trafo Tegangan :

Bagian-bagian utama dari trafo tegangan umumnya adalah :

- a. Kumparan (lilitan)

Berfungsi untuk mentransformasikan besaran-besaran ukur tegangan listrik dari sisi tinggi kesisi yang rendah.

- b. Isolasi

Umumnya terdiri dari jat cair (minyak) yang berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau mengisolasi bagian bertegangan yang berlainan fasanya.

- c. Porselen

Berfungsi sebagai isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan atau antara bagian bertegangan dengan bagian bertegangan tang berlainan fasanya.

- d. Dehydrating Breather

Adalah suatu peralatan pernafasan trafo yang berfungsi untuk menyerap udara lembab yang timbul dalam ruang trafo, sehingga akan mencegah rusaknya minyak (isolasi) trafo.

e. Terminal

Adalah tempat penghubung dari sisi primer ataupun sekunder ke bagaian-bagian peralatan listrik yang membutuhkan.

- Hubungan Rangkaian Primer dan Sekunder Trafo Tegangan

Umumnya rangkaian dari trafo tegangan terdiri dari 2 hubungan yaitu :

a. Hubungan transformator tegangan biasa

Hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan sebuah lilitan sekunder umumnya tegangan sekundernya adalah  $100 / \sqrt{3}$  V atau  $110 / \sqrt{3}$  V.

b. Hubungan fasa ke tanah

Hubungan ini digunakan untuk jaringan tegangan menengah dan tegangan tinggi dengan menghubungkan ketanah sehingga tegangan sekundernya adalah tegangan Fasa ke tanah.



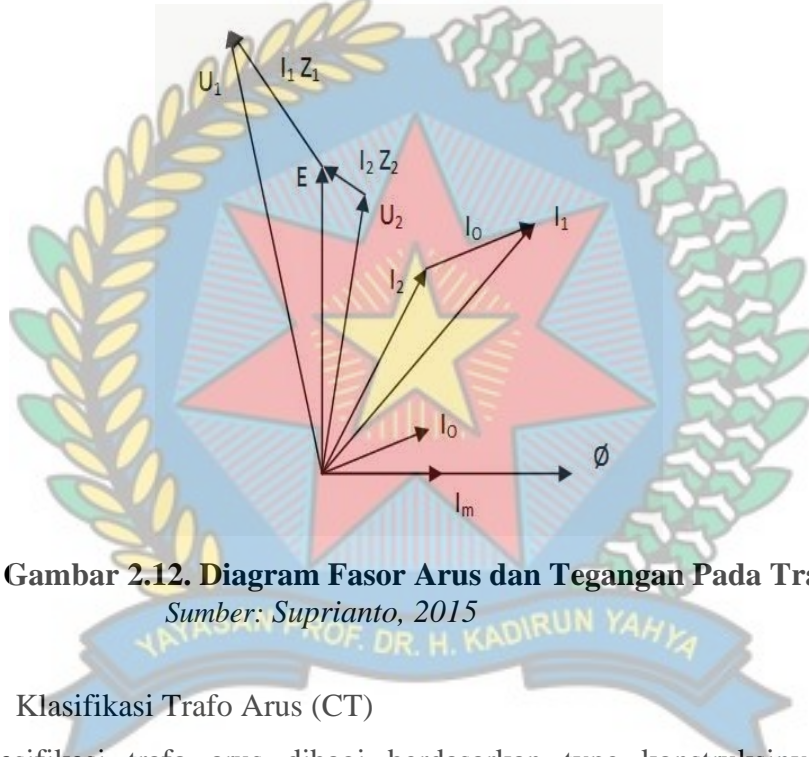
**Gambar 2.11. Transformator Tegangan pada GI Sibolga.**

*Sumber: Ames, 2020*

#### **2.4.4. Transformator Arus (*Current Transformer / CT*)**

Transformasi arus (CT) digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan amper dan arus kecil yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Disamping untuk pengukuran arus, transformator arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi.

Prinsip kerjanya sama dengan transformator daya 1 fasa, jika pada kumparan primer mengalir arus  $I_1$ , maka pada kumparan primer timbul gaya gerak magnetic sebesar  $N_1 I_1$ , dan diagram fasornya dapat dilihat pada gambar 2.i.



**Gambar 2.12. Diagram Fasor Arus dan Tegangan Pada Trafo Arus.**

*Sumber: Suprianto, 2015*

- Klasifikasi Trafo Arus (CT)

Klasifikasi trafo arus dibagi berdasarkan type konstruksinya dan letak pemasangannya.

a. Tipe Kontruksi

- ❖ Tipe cincin (*ring / window type*)

Bentuk cincin dapat dilihat pada gambar 2.13.



**Gambar 2.13. Tipe Cincin.**

*Sumber: Epoxy Resin, 2010*

❖ Tipe cor-coran cast resin

Bentuk cor-coran resin dapat dilihat pada gambar 2.14.



**Gambar 2.14. Tipe Cor-coran Cast Resin.**

*Sumber: Epoxy Resin, 2010*

❖ Tipe tangki minyak (*oil tank type*)

Bentuk tangki minyak dapat dilihat pada gambar 2.15.



**Gambar 2.15. Tipe Tangki Minyak**

*Sumber: Alief Rakhman, 2018*

- Letak pemasangan
  - a. Pemasangan didalam (*indoor*)
  - b. Pemasangan diluar (*outdoor*)
- Bagian-Bagian Utama Trafo Arus (CT)

Bagian-bagian utama dari trafo arus umumnya adalah :

- a. Kumparan

Berfungsi untuk mengtrasformasikan besaran-besaran ukur listrik dari sis yang tinggi kesisi yang rendah.

b. Isolasi

Umumnya terdiri dari zat cair (minyak) yang berfungsi untuk mengisolasi bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan atau mengisolasi bagian bertegangan yang berlainan fasanya.

c. Porselen

Berfungsi sebagai isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dengan badan atau antara bagian bertegangan dengan bagian bertegangan yang berlainan fasanya.

d. Dehydrating Breather

Adalah suatu peralatan pernafasan trafo yang berfungsi untuk menyerap udara lembab yang timbul dalam ruang trafo, sehingga akan mencegah rusaknya minyak (isolasi) trafo.

e. Terminal

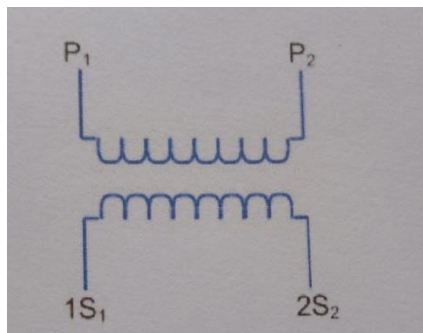
Adalah tempat penghubung dari sisi primer ataupun sekunder ke bagai-bagian peralatan listrik yang membutuhkan.

- Hubungan dari Trafo Arus (CT)

Umunya hubungan belitan trafo arus terdiri dari 3 bagian yaitu :

- ❖ Hubungan trafo arus biasa

Hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan sebuah lilitan sekunder yang mempunyai ratio, misalnya : 50/5 A, 100/5, 150/5. Bentuk hubungannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

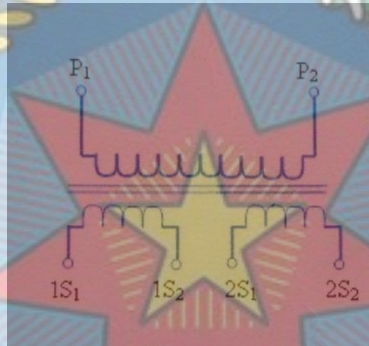


**Gambar 2.16. Hubungan Arus Trafo Biasa**

*Sumber: UkuranDanSatuan.Com, 2018*

- ❖ Hubungan trafo arus dengan dua buah lilitan sekunder

Hubungan ini terdiri dari sebuah lilitan primer dan dua buah lilitan sekunder yang bekerja masing-masing pada lilitannya dengan lilitan ganda (double core). Satu lilitan sekundernya untuk alat pengaman dan satu lagi untuk alat-alat pengukuran. Ratio misalnya :50/5-5 A, 100/5-5 A, 150/5-5A. bentuk gambar hubungannya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



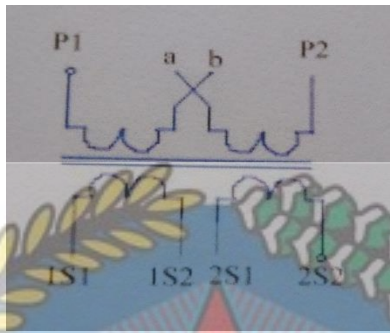
**Gambar 2.17. Hubungan Transformator Arus dengan 2 buah lilitan sekunder.**

*Sumber: UkuranDanSatuan.Com, 2018*

- ❖ Hubungan trafo dengan dua buah lilitan primer dan dua buah lilitan sekunder.

Hubungan ini terdiri dari dua buah lilitan primer yang sama dan dapat dihubungkan secara seri maupun secara paralel sedangkan pada sekundernya dihubungkan secara terpisah. Bila lilitan primer dihubungkan seri maka diperoleh batas ukur yang lebih rendah dan apabila sisi primer dihubungkan paralel maka diperoleh batas ukur yang lebih besar. Sistem ini sangat menguntungkan, karena jika diadakan perluasan elektrifikasi maka tidak perlu mengantitrafo arus lagi, misalnya trafo arus dengan ratio 150-300/55 A, 250-500/5-5 A. bentuk hubungan dapat dilihat pada gambar 2.16 dibawah ini.





**Gambar 2.18. Hubungan Transformator Dengan Dua Buah Lilitan Primer dan Sekunder.**

*Sumber: UkuranDanSatuan.Com, 2018*

#### **2.4.5. Pemutus Tegangan (PMT) / Circuit Breaker CB)**

Pemutus tenaga (PMT) adalah sakelar yang dapat digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus / daya listrik sesuai ratingnya. Pada waktu pemutusan menghubungkan arus ataupun daya listrik akan terjadi busur api, oleh karena itu pada pemadaman busur api pada waktu pemutusan dapat dilakukan dengan beberapa macam diantaranya :

- Minyak
- Udara
- Gas
- Vacum

Sebuah PMT harus mempunyai syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Rating tegangan PMT harus lebih besar dari pada tegangan sistem yang diadakannya.
- b. Dapat memutuskan arus hubung singkat dengan cepat tinggi agar arus hubung singkat tidak sampai merusak peralatan sistem. Membuat sistem kehilangan kestabilan dan merusak pemutus daya itu sendiri'
- c. Mampu memutuskan dan menutup jaringan dalam keadaan berbeban maupun terhubung singkat tanpa menimbulkan kerusakan pada pemutus daya itu sendiri.
- d. Harus tahan terhadap busur api.

e. Mempunyai jaminan kerja dan pelayanan yang dapat di percaya serta kehandalan terhadap semua gangguan.

f. Mampu menyalurkan arus maksimum sistem secara *continuiue*.

Menurut tegangan kerja PMT, dapat dibedakan atas 2 bagian :

❖ PMT tegangan rendah.

a. Untuk tegangan arus bolak-balik hingga mencapai 1500 V.

b. Untuk tegangan arus searah lebih kecil dari 3000 V.

❖ PMT tegangan menengah

Melayani tegangan diatas 1500 V untuk pelayanan dalam ruangan (*indoor service*), yang bertegangan 1,5-30 KV dan rating interruptingnya.

❖ PMT tegangan tinggi

Digunakan untuk tegangan diatas 30 KV.

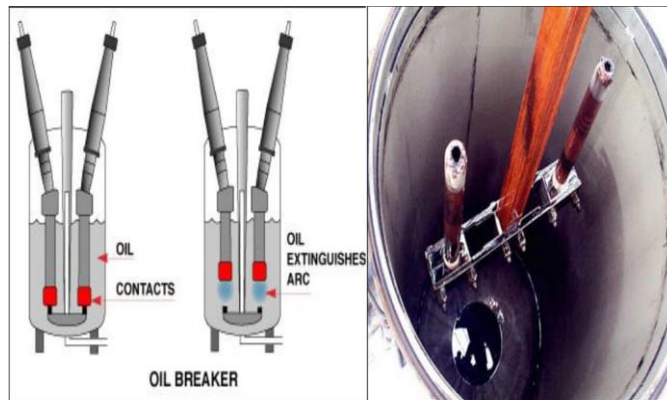
- Jenis-jenis PMT Berdasarkan Peredam Busur Api

a. PMT dengan Media Minyak

PMT dengan media minyak dapat dibagi menjadi 2 macam diantaranya :

❖ PMT dengan menggunakan minyak (Bulk Oil Circuit Breaker)

Pada PMT ini minyak berfungsi sebagai isolasi antara bagian-bagian yang bertegangan dengan beban dan juga berfungsi sebagai peredam loncatan bunga api. Bentuk PMT menggunakan banyak minyak dapat dilihat pada gambar 2.17.



**Gambar 2.19. PMT Dengan Menggunakan Banyak Minyak**

*Sumber: Add Comment, 2020*

- Bagian-bagian utama dari PMT dengan menggunakan banyak minyak
  - a. Tangki (tank)
  - b. Kontak=kontak (contact)
  - c. Pengatur busur api (arc control device)
  - d. Mekanis penggerak (operating mechanis)
  - e. Bushing
- Prinsip kerja PMT dengan menggunakan banyak minyak untuk membuka dari PMT jenis ini dengan menggerakkan batang penggerak turun untuk membuka kotak-kontak dan naik untuk membuka kotak-kontak, batang penggerak di gerakkan oleh mekanisme penggerak, hal ini dapat dilakukan sistem mekanik, elektrik, pneumatic, hidrolis.
  - ❖ PMT dengan menggunakan sedikit minyak (Low oil circuit Breaker) pada PMT ini banyak berfungsi sebagai perdam loncatan bunga api saja.
    - Bagian-bagian utama dari PMT dengan menggunakan sedikit minyak adalah :
      - a. Bagian/ruang pemutus tenaga ( circuit breaker compartment)
      - b. Kontak-kontak (contast)
      - c. Pengatur busur api (arc control device)
      - d. Mekanis penggerak (operating mechanisme)
      - e. Bagian penyangga (supporting compartment)
      - f. Bagian ruang atas (top chamber)
    - Prinsip kerja PMT dengan menggunakan sedikit minyak.
 

Untuk membuka dan menutup PMT adalah dengan menaikkan dan menurunkan posisi dari kontak bergerak (moving contact) yang terhubung dengan batang penggerak (operating rod) yang digerakkan oleh mekanis penggerak, hal ini dapat dilakukan sistem mekanik, elektrik, pneumatik, hidrolis.

a. Pada proses penutupan

Batang kontak penggerak yang berhubungan dengan kontak bawah bergerak kerah kontak tetap atas sehingga kontak tetap dan kontak bergerak akan terhubung yang merupakan penghubung dari arus terminal atas ke terminal bawah.

b. Pada proses pelepasan

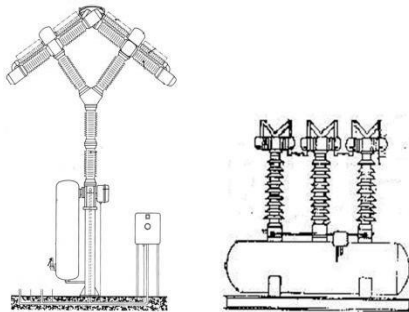
Batang kontak bergerak yang berhubungan dengan kontak tetap bawah, meninggalkan kontak tetap atas sehingga kontak tetap dan kontak bergerak akan terlepas yang merupakan terputusnya terminal atas dengan terminal bawah.

- PMT Dengan Media Udara

PMT dengan media udara dibagi atas 2 macam diantaranya:

a. PMT Udara Hembus (Air Blast Circuit Breaker)

Pada PMT udara hembus, udara tekanan tinggi di hembuskan ke busur api melalui nozzle pada kontak pemisah ionisasi media diantara kontak di padamkan oleh udara. Setelah pemadam busur api dengan udara tekanan tinggi, udara ini juga berfungsi mencegah restriking voltage, kontak PMT di tempatkan didalam isolator dan juga katup hembusan udara. Pada PMT kapasitas kecil isolator ini merupakan satu kesatuan dengan PMT nya, tetapi untuk kapasitas besar tidak demikian halnya.



**Gambar 2.20. PMT Dengan Media Udara Hembus.**

*Sumber: Blogger, 2017*

Ruang hampa udara mempunyai kekuatan dielektrik (dielektrik strength) yang tinggi sebagai media pemadam busur yang baik. Saat ini, PMT jenis vacuum umumnya digunakan untuk tegangan menengah (24kv).

Jarak gap antara kedua katoda adalah 1 cm untuk 15 kv dan bertambah 0,2 cm setiap kenaikan tegangan 3 kv. Untuk memutus vacuum tegangan tinggi, digunakan PMT jenis ini dihubungkan secara seri.

b. PMT Dengan Hampa Udara (Vacuum Circuit Breaker)

PMT jenis hampa udara (vacuum circuit breaker) belum banyak digunakan. Kontak-kontak pemutus dari PMT terdiri dari kontak tetap dan kontak bergerak yang ditetapkan dalam ruang hampa udara. Ruang hampa ini mempunyai kekuatan dielektrik yang tinggi dan media pemadam busur api yang baik. Bentuk dari PMT hampa udara dapat di lihat pada gambar 2.21.



**Gambar 2.21. Pemutus Dari PMT Hampa Udara**

*Sumber: Blogger, 2017*

- PMT Dengan Dedia Gas

Pemadam busur api dengan gas Sulfur Hexa Fluorida (SF<sub>6</sub>) menggunakan gas SF<sub>6</sub> sebagai pemadam busur api yang timbul pada waktu memutus arus listrik. Sebagai isolasi, gas SF<sub>6</sub> mempunyai kekuatan dielektrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan udara dan kekuatan dielektrik ini bertambah seiring dengan pertambahan tekanan.

PMT SF<sub>6</sub> ada dua tipe yaitu :

- a. Tipe tekanan tunggal (single pressure type)
- b. Tipe tekanan ganda (double pressure type) tidak di produksi lagi.

Pada PMT tipe tekanan tunggal, PMT diisi gas SF<sub>6</sub> dengan tekanan kira-kira 5 kg/cm<sup>2</sup>. Selama pemisahan kontak-kontak, gas SF<sub>6</sub> ditekan kedalam suatu tabung silinder yang menempel pada kontak-kontak yang bergerak. Pada waktu pemutusan gas SF<sub>6</sub> ditekan pada nozzle dan tiupan ini akan mematikan busur api.

Pada tipe tekanan ganda, gas dari sistem tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api. Pada sistem gas tekanan tinggi dialirkan melalui nozzle ke gas sistem tekanan rendah selama pemutusan busur api. Pada sistem gas tekanan tinggi tekanan gas kurang lebih 12 kg/cm<sup>2</sup> dan pada sistem tekanan gas rendah kemudian dipompakan kembali kesistem tekanan tinggi.

- a. Fungsi PMT dengan media gas SF<sub>6</sub>
  - Pemadaman loncatan bunga api.
  - Isolasi antar bagian-bagian yang bertegangan dan bagian yang bertegangan dengan beban.
- b. Bagian-bagian utama PMT dengan media gas SF<sub>6</sub>
  - Ruang pemutus tenaga (*circuit breaker compartment*)
  - Kontak-kontak (*contacts*)
  - Pengatur busur api (*arc control device*)
  - Bagian penyangga (*supporting compartment*)
  - Mekanis penggerak (*operating mechanism*)



**Gambar 2.22. Pemutus Tenaga (PMT) Circuit Breaker (CB)**

*Sumber: Blogger, 2017*

#### 2.4.6. Sakelar Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) adalah alat yang dipergunakan untuk menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan listrik sudah bebas dari tegangan kerja. Oleh karena itu pemisah tidak diperbolehkan dimasukkan ataupun dilepskan dalam keadaan berbeban. Untuk tujuan tertentu pemisah penghantar atau kabel dilengkapi dengan pemisah tanah. Umumnya antara pemisah penghantar atau kabel dan pemisah tanah terdapat alat yang disebut dengan interlock ini maka kesalahan operasi dapat dihindarkan.

- **Macam-Macam Pemisah**

Sesuai dengan fungsinya pemisah dapat dibagi antara lain :

- a. Pemisah tanah (pisau pentanahan)

Berfungsi untuk mengamankan peralatan dari sisa tegangan yang timbul sesudah SUTT diputuskan atau induksi tegangan dari penghantar atau kabel lain.

- b. Pemisah Peralatan

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi yang bertegangan. Pemisah ini harus dimasukkan atau dibuka tanpa beban

- **Penetapan Pemisah**

Sesuai dengan penempatannya didaerah mana pemisah tersebut dipasang, maka pemisah dapat dibagi menjadi :

- a. Pemisah penghantar

Pemisah yang terpasang disisi penghantar.

- b. Pemisah rel

Pemisah yang terpasang disisi rel.

- c. Pemisah kabel

Pemisah yang terpasang disisi kabel.

- d. Pemisah seksi

Pemisah yang terpasang pada suatu rel sehingga rel tersebut dapat terpisah menjadi dua seksi (unit).

#### e. Pemisah tanah

Pemisah yang terpasang pada penghantar atau kabel untuk menghubungkan ketanah.

- Gerakan Lengan-Lengan pemisah

Sistem gerakan lengan-lengan pemisah terbagi menjadi :

- a. Pemisah engsel

Saklar pemisah pemisah engsel ini memiliki satu kontak diam dan satu engsel yang dapat membuka ke atas dengan sudut 90 derajat. Saklar pemisah ini gerakanya dari engsel yang biasanya digunakan untuk tegangan menengah 20 kv-6 kv. Model saklar pemisah ini biasanya diletakkan diluar gardu induk. Dimana gerakanya seperti engsel, bentuk pemisah engsel dapat dilihat pada gambar 2.23.



**Gambar 2.23 Pemisah Engsel**

*Sumber: Dunia Elektro, 2014*

- b. Pemisah siku

Saklar pemisah siku ini tidak memiliki kontak diam tetapi hanya terdapat dua buah kontak gerak yang gerakanya hanya mempunyai besar sudut 90 derajat. Model sakelar ini biasanya diletakkan diluar Gardu Induk.





**Gambar 2.24. Pemisah Siku**  
*Sumber: Dunia Elektro, 2014*

c. Pemisah Putar

Saklar pemisah kontak memiliki dua buah kontak diam dan dua buah kontak gerak yang dapat berputar pada sumbunya. Model saklar ini biasanya terletak diluar Gardu Induk.



**Gambar 2.25. Pemisah putar**  
*Sumber: Dunia Elektro, 2014*

d. Pemisah Luncur

Saklar pemisah luncur ini gerakan kontaknya hanya bergerak keatas dan kebawah saja. Model sakelar pemisah ini biasanya berada didalam kubikel dengan peralatan-peralatan yang lain dan diletakkan di dalam Gardu Induk.



**Gambar 2.26. Pemisah Luncur**

*Sumber: Dunia Elektro, 2014*

e. Pemisah pantograph

Saklar pemisah pantograph ini mempunyai kontak diam yang terletak pada rel dan kontak gerak yang terpasang pada ujung lengan-lengan pantograph. Model saklar pemisah ini biasanya diletakkan diluar Gardu Induk. Pemisah pantograph biasanya digunakan di jaringan 500 kv.



**Gambar 2.27. Pemisah Pantograph.**

*Sumber: Dunia Elektro, 2014*

- Tenaga Penggerak

Tenaga penggerak pemisah dapat dibagi atas penggunaanya

- a. Secara manual (tenaga manusia)
- b. Dengan motor
- c. Dengan pnumatic
- d. Dengan hidrolik

- Pemasangan Pemisah

Menurut letak pemasangannya, maka pemisah dapat dipasang :

- a. Didalam ruangan disebut pasangan dalam (in door)
- b. Diluar ruangan disebut pasangan luar (out door)

Bentuk saklar pemisah (PMS) Gardu Induk Sibolga dapat dilihat pada gambar 2.26.dibawah ini.



**Gambar 2.28. Saklar Pemisah (PMS) Gardu Induk Sibolga.**

*Sumber: Ames, 2020*

#### 2.4.7. Power Line Carrier

PLC (Power Line Carrier) adalah suatu saluran telekomunikasi yang hanya dipergunakan PLN dimana saluran udara tegangan tinggi adalah sebagai sarana pembawa dari suatu carrier frekwensi tinggi, dengan kata lain bahwa carrier frekwensi tinggi ditumpangkan pada penghantar yang bertegangan tinggi seolah-olah penghantar tersebut berfungsi sebagai antena disamping tugasnya yang pokok untuk mentransfer daya / tenaga listrik dari suatu tempat ketempat lain.

PLC merupakan salah satu propagai pada saluran tegangan tinggi 3 fasa dapat juga melalui konduktor 2 kawat (misalnya pada saluran distribusi) tetapi pada SUTT biasanya konduktor lebih besar, jarak antara konduktor lebih jauh maka PLC pada SUTT lebih dapat di andalkan. Gelombang PLC ini merambat pada SUTT ratusan kilometer tanpa diperlukan repater sebagai penguat sinyal. PLC bekerja pada frekwensi 50 KHz – 500 KHz, dimana pada daerah ini cukup tinggi untuk dapat terganggu erhadap frekwensi 50 Hz (frekwensi jala-jala), dan pula redaman yang dialami belum terlalu tinggi. Dengan frekwensi ini maka akan didapat 30-50 kanal PLC dengan lebar band 4000 Hz, sesuai standart manusia.

Untuk mentransmisikan signal pembawa dari PLC ke SUUT maka diperlukan sistem pengkopelan, dimana ada yang membawa tugas pokok / meredam frekwensi pembawa agar tidak masuk ke peralatan gardu dan ada yang bertugas melewatkan frekuensi pembawa. Untuk keperluan ini dipergunakan teori-teori tentang rangkain isolasi yang terdiri dari rangakian resonansi seri dan resonansi pararel.

Selain keuntungan dari PLC terdapat juga kerugian PLC diantaranya :

- Terpengaruh oleh noise dari power line
- Frekwensi spectrum terbatas

Oleh karena adanya kerugian diatas maka PIC memerlukan beberapa peralatan yang menunjang kinerja agar dapat beroperasi dengan baik, adapun peralatan tersebut adalah :

- a. *Coupling Capacitor*
- b. *Wave Trap*

#### 2.4.8. Line Wafe (Wave Trap)

Wave trap disebut juga dengan line trap atau Blocking coil. Wave trap dipasang secara seri dengan saluran transmisi.

Adapun fungsi utamanya adalah untuk memblok sedemikian rupa frekuensi tinggi baik yang dipancarkan oleh PLC terminal maupun frekuensi yang datang dari frekuensi lawannya, agar tidak mengalir ke peralatan gardu induk atau pembangkit seperti transformator, alat-alat pengukur ke panel kontrol yang dihubungkan ketanah. Oleh sebab itu, Wave trap harus memiliki sifat berimpedansi tinggi terhadap sinyal frekwensi 50 Hz dan berimpedansi tinggi terhadap sinyal pembawa yang mengandung sinyal informasi.

Wave trap terbuat dari suatu kumparan yang mampu menahan energi pada High Frekwensi Frekuensi (HF), tetapi harus mampu dilewati oleh Low Frekuensi (LF) yang mana dapat membentuk resonansi pararel yang akan dapat mempunyai impedansi maksimum pada frekwensi resonansinya, maka dipasang kapasitor secara pararel dengan kumparan utama. Bentuk wave trap dapat dilihat pada gambar 2. 27.



**Gambar 2.29. Wave Trap atau Line Trap.**

*Sumber: Electrical4u, 2017*

#### 2.4.9. Busbar (Rel Daya)

Energi listrik yang dihasilkan generator ke suatu rel daya yang dinamakan busbar, dari sisi daya tersebut didistribusikan dan di salurkan kesetiap beban melalui rel pembagi dengan kata lain busbar merupakan tempat penghubung dari pembangkit kesaluran transmisi atau beban. Jenis dan rel daya yang digunakan Gardu Induk Sibolga adalah *single busbar* sistem dan *double busbar* sistem.

Beberapa tipe busbar dalam sistem tenaga listrik adalah :

- single busbar system (sistem busbar tunggal)

pada sistem ini semua transformator, generator dan feeder yang ada didalam sistem pembangkit dihubungkan pada busbar rel daya tunggal adalah sistem rel daya yang paling sederhana, karena menggunakan satu rel saja. Semua rangkaian baik saluran masuk maupun saluran keluar disambung melalui rel daya tersebut melalui pemutus daya dan sakelar pemisah. Pada gardu induk Sibolga memakai single busbar dimana keuntungannya adalah:

Keuntungan rel daya tunggal adalah:

- a. Bentuk sederhana
- b. Kebutuhan peralatan dan ruang sederhana
- c. Harganya murah

Kelemahan rel daya tunggal adalah :

- Pada saat pemeliharaan dan perbaikan rel daya akan mengakibatkan terjadinya pemutusan total seluruh rangkaian yang terhubung pada rel daya tersebut.
- Pada saat pemeliharaan dan perbaikan pemutus daya akan terjadi pemutus daya bersangkutan.
- Ketika terjadi gangguan (hubung singkat) pada rel daya atau sakelar pemisah maka akan terjadi pemutusan total.

- Double Busbar Sistem (Sistem Rel Daya Ganda)

Rel daya gandan terdiri dari dua rel, tetapi yang terpakai terdiri dari satu sel daya saja, yaitu rel daya pertama sbagai rel utama dan rel daya kedua sebagai cadangan, dimana masing-masing saluran masuk dan saluran keluar dihubungkan pada kedua rel melalui daya pemutus saklar pemisah. Sistem rel daya ganda mempunyai susunan peralatan hubung sedemikian rupa sehingga diperoleh beberapa variasi operasi saklar dalam rangka pengalihan daya listrik. Pada operasi normal hanya satu rel saja yang digunakan atau kedua rel beroperasi pada saat yang terpisah.

Keuntungan rel daya ganda :

- Pada saat pemeliharaan, perbaikan atau perluasan salah satu rel tidak terjadi pemutusan pelayanan.
- Mempunyai beberapa variabel operasi.
- Pemulihan pelayanan makin cepat bila terjadi gangguan pada rel daya.

Kelemahan rel daya ganda :

- Adanya kemungkinan salah operasi
- Kebutuhan peralatan dan ruang yang banyak
- Membutuhkan biaya yang lebih banyak

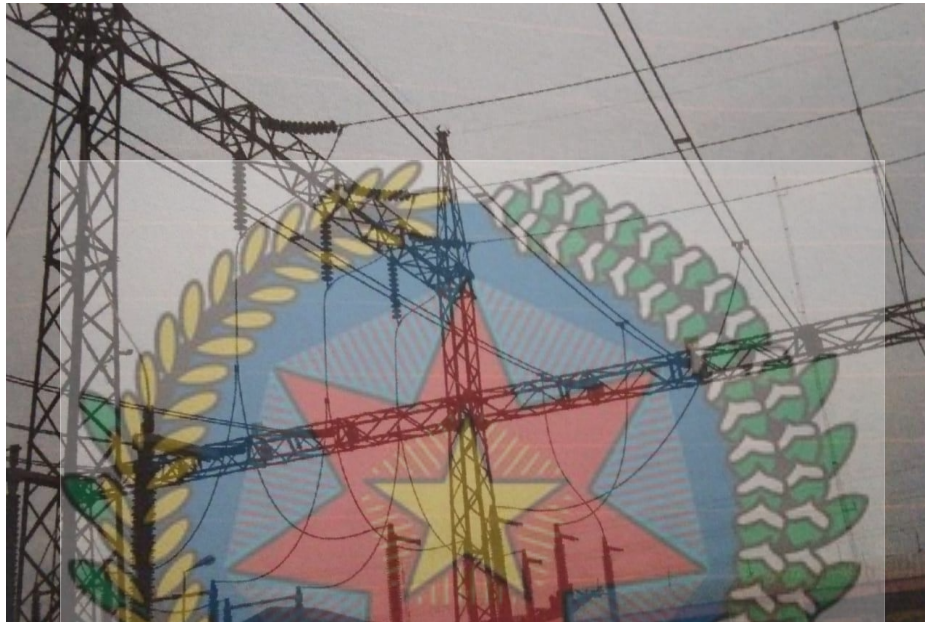
- Rel daya ring

Instalasi daya ring mempunyai rel yang ujung-ujungnya bersambung, sehingga membentuk ring dan kedua rangkaian dihubungkan dengan pemutus daya.

Keuntungan rel daya ring:

- Membutuhkan ruang yang lebih kecil dari rel daya ganda.
- Memiliki keandalan yang lebih tinggi dari rel daya ganda.
- Memiliki factor keamanan dan fleksibilitas yang lebih baik dari rel daya tunggal.
- Jika suatu bagian daya ring mengalami gangguan, maka kedua pemutus yang berdekatan akan membuka, sehingga bagian yang mengalami gangguan tersebut dapat disuplay melalui kopling bus.

Bentuk busbar (rel daya) Gardu Induk Sibolga dapat dilihat pada gambar 2.28. dibawah ini.



**Gambar 2.30. Busbar (Rel Daya) Gardu Induk Sibolga.**

*Sumber: Ames, 2020*

#### **2.4.10. Isolator**

Isolator saluran udara merupakan isolasi yang memisahkan konduktor daya dari bumi. Isolator dipasang atau digantung pada bim (traves cross arm) struktur pendukung sedangkan konduktor daya di pasang pada jepit isolator. Isolator pada umumnya dibuat dari porselen, glass dan plastik pada umumnya berfungsi sebagai isolasi tegangan titik antara kawat penghantar dengan tiang.

Pada isolator gantung umumnya dilengkapi dengan :

- Tanduk busbar  
Berfungsi untuk melindungi isolator dari tegangan surja
- Cincin prisai (Grading ring)  
Berfungsi untuk meratakan (mendistribusikan) medan listrik dan distribusi tegangan yang terjadi pada isolator.

Macam-macam isolator yang dipergunakan pada Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) adalah sebagai berikut :



- Isolator piring  
Dipergunakan untuk isolator penegang dan isolator gantung, dimana jumlah piring isolator disesuaikan dengan sistem pada saluran udara tegangan tinggi (SUTT) tersebut. Bentuk isolator piring dapat dilihat pada gambar 2.31.



**Gambar 2.31. Isolator Piring**  
*Sumber: Agung Tri Pamungkas, 2013*

- Isolator tonggak saluran vertikal
- Bentuk isolator tonggak saluran vertikal dilihat pada gambar 2.32.



**Gambar 2.32. Isolator Tonggak Saluran Vertikal**  
*Sumber: Agung Tri Pamungkas, 2013*

#### 2.4.11. Baterai

Penggunaan baterai pada gardu induk adalah untuk sistem control dan proteksi. Baterai adalah suatu alat yang menghasilkan energi listrik dengan proses kimia, dimana berupa susunan dari sel atau hanya satu sel saja. Tiap sel terdiri dari elektroda positif dan elektroda negative serta zat elektrolit.

Sumber arus searah digunakan untuk sistem control dan proteksi untuk menjamin komunitas dalam keadaan normal dan keadaan gangguan. Baterai yang digunakan digardu induk adalah :

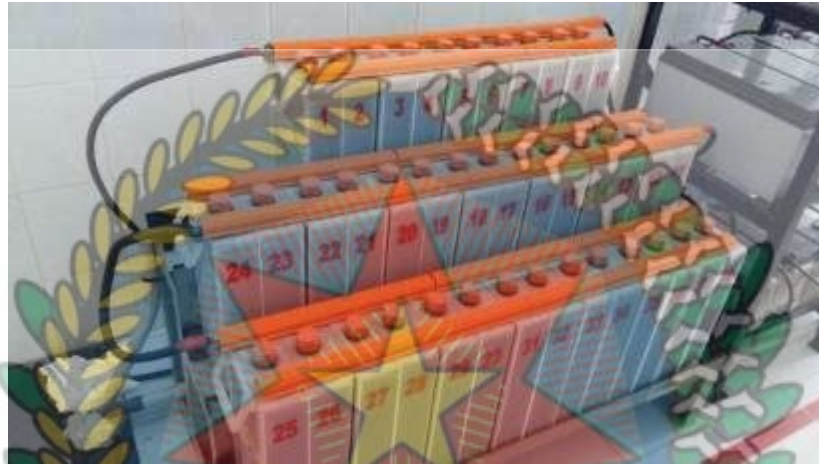
- Baterai timah hitam
- Baterai alkalin

Ada dua macam sumber tenaga untuk kontrol didalam gardu induk yaitu sumber arus searah dan sumber arus bolak – balik. Sumber tenaga yang untuk kontrol selalu harus mempunyai keandalan stabilitas yang tinggi. Karena persyaratan ilmiah dipakai baterai sebagai sumber searah. Pada saat ini baterai timah hitam yang banyak dipakai. Baterai alkalin mempunyai keuntungan – keuntungan misalnya karna membutuhkan ruang yang lebih kecil, perubahan kapasitas akibat arus pelepasan lebih kecil, arus sesaat dapat tinggi dan pemeliharaannya mudah. Tetapi baterai seperti ini jarang dipakai karena harganya mahal dan umumnya sukar diperkirakan.

Kapasitas baterai ditentukan dengan memperhitungkan semua faktor yang menyangkut penurunannya selama di pakai, perubahannya oleh perubahan suhu dan jatuh tegangan, keperluan kapasitas yang diperlukan dengan memperkirakan beban terputus – putus (continius intermitten load) yang harus dilayani selama terputusnya pelayanan normal, serta lamanya lamanya pelayanan (biasanya 1-3 jam).

Sebagai pengisi (charge) dapat digunakan penyearah air raksa, penyearah silicon dan sebagainya. Namun karena pertimbangan efisiensi, pemeliharaan dan karakteristiknya, yang banyak dipakai sekarang adalah selenium. Sistem pengisiannya ada dua macam, sistem pengisian terapung (floating) dan sistem pengisian periodik. Sistem yang pertama adalah banyak dipakai karena umur baterai lebih lama, kapasitasnya dapat dipergunakan serta perubahan tegangan kecil. Output dari pengisiannya dibuat sekitar 1,25 kali arus dasar 10 jam dari baterai itu, arus output

pengisi adalah arus beban terus – menerus ditambah dengan 0,5 kali arus dasar 10 jam dari baterai. Bentuk baterai gardu induk dapat dilihat pada gambar 2.31.



**Gambar 2.33. Rangkaian Baterai Gardu Induk**  
*Sumber: Sri Kusuma, 2018*

#### **2.4.12. Panel Kontrol**

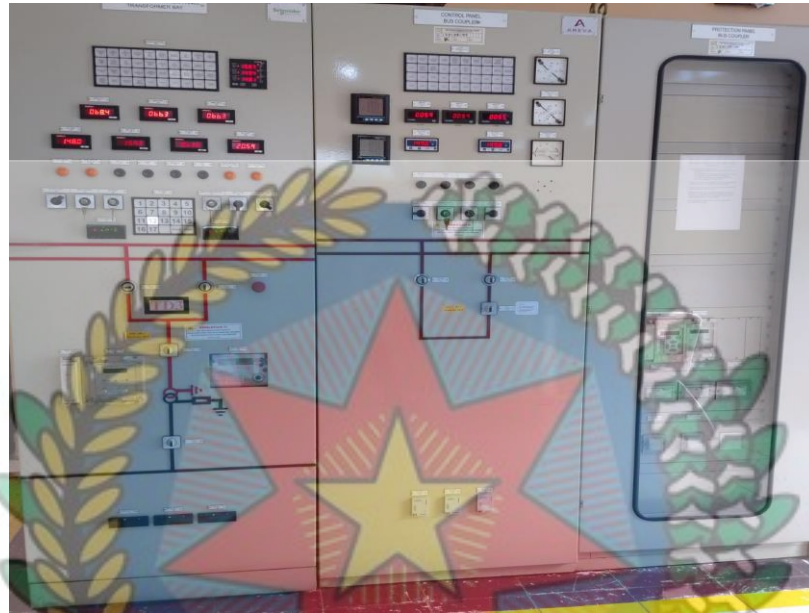
Panel kontrol terdiri dari panel instrument dan panel operasi, pada panel instrument terpasang alat – alat ukur dan indicator. Pada panel operasi terpasang sakelar operasi dari panel PMT dan PMS serta lampu – lampu indicator posisi sakelar dan diagram sel.

Jenis – jenis panel :

- **Panel Utama**

Terdiri dari panel instrument dan panel operasi. Pada panel instrument terpasang alat – alat ukur dan indicator gangguan, dari panel ini alat – alat tersebut dapat diawasi dalam keadaan beroperasi.

Pada panel operasi terpasang saklar operasi dari pemutus tenaga, pemisah serta lampu indicator posisi saklar dan diagram rail. Diagram rail (mimic bus), sakelar dan lampu indicator diatur letak dan hubungannya sesuai dengan rangkain sesungguhnya sehingga keadaanya dapat dilihat dengan mudah. Bentuk panel utama / panel operasi dapat doilihat pada gambar 2.34.

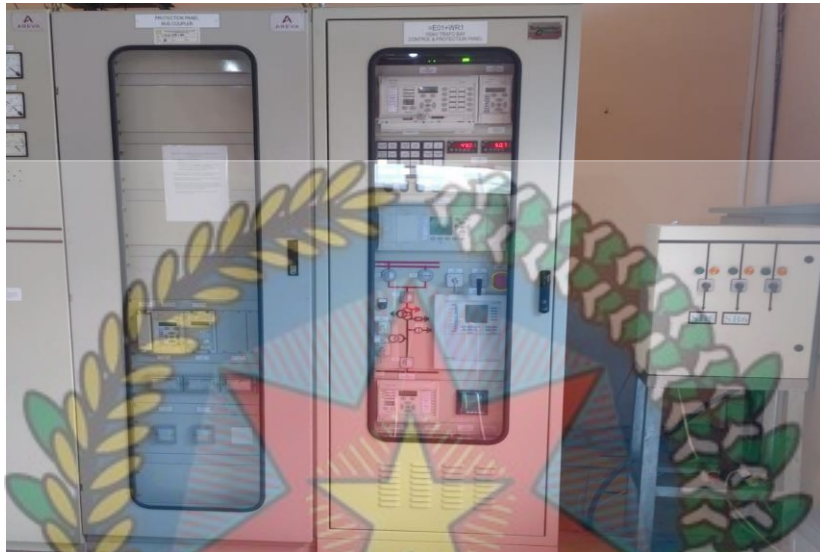


**Gambar 2.34. Panel Instrumen dan Panel Operasi 150 KV Gardu Induk Sibolga.**

*Sumber: Ames, 2020*

- **Panel Rele**

Panel – panel ini terpasang rele – rele untuk proteksi, indicator gardu induk transformator dan lain – lain. Bekerja rele dapat didefinisikan dari bendera rele dan indicator pada panel rele. Dengan mencatat rele yang bekerja dan indikasi yang muncul dapat diidentikasi gangguan yang terjadi. Bentuk panel rele dapat dilihat pada gambar 2.35.



**Gambar 2.35. Panel Relé Gardu Induk Sibolga**

*Sumber: Ames, 2020*

#### **2.4.13. Sistem Pentanahan Titik Netral**

Pentanahan titik netral suatu sistem dapat melalui kumparan petersen. Tahanan atau langsung yang berfungsi untuk menyalurkan arus gangguan fase ketanah pada sistem. Arus yang melalui pentanahan merupakan besaran ukur untuk alat proteksi. Pada trafo sisi primernya dapat ditanahkan dan sisi skundernya juga ditanahkan maka gangguan fase ketanah disisi primer selalau sirasakan dan begitu juga sebaliknya. Sistem yang digunakan digardu induk adalah sistem pentanahan titik netral. Adapun tujuan pentanahan titik netral sistem adalah sebagai brikut.

- a. Memberi tegangan – tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat).
- b. Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan Soleh penyalaan bunga api yang berulang – ulang (restrike ground fault).
- c. Menghilangkan gejala – gejala busur api pada suatu sistem.
- d. Meningkatkan keandalan (*realibility*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.

## 2.5. Sistem Pentanahan

Berdasarkan tujuan pentanahan, sistem pentanahan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

- Pentanahan sistem (pentanahan titik netral)

Pentanahan sistem yang dimaksud menghubungkan titik netral peralatan (trafo) ketanah, pentanahan sistem bertujuan :

- Melindungi peralatan / saluran terhadap bahaya kerusakan isolasi yang diakibatkan oleh tegangan lebih.
- Untuk keperluan proteksi jaringan.
- Melindungi makhluk hidup terhadap tegangan langkah (step voltage).
- Melindungi peralatan / saluran dari bahaya kerusakan isolasi yang diakibatkan oleh adanya gangguan fasa ketanah.

- Pentanahan statis (Pentanahan peralatan)

Pentanahan ini dilakukan dengan menghubungkan semua kerangka peralatan (*metal work*) yang dalam keadaan normal titik dialiri arus sistem kesistem pentanahan *switchyard* (mess atau rood). Pentanahan statis bertujuan :

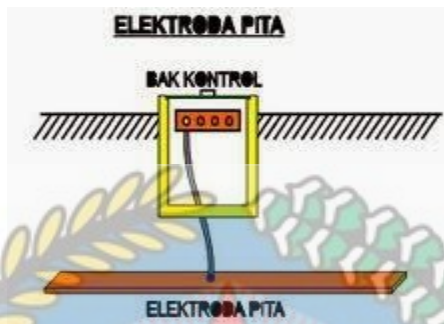
- Melindungi makhluk hidup terhadap tegangan sentuh
- Melindungi peralatan tegangan rendah terhadap tegangan lebih.

- Macam – macam Elektroda Pentanahan.

Pada dasarnya terdapat tiga macam elektroda pentanahan yaitu :

### a. Elektroda Pita

Berupa pita atau kawat berpenampang bulat yang ditanam didalam tanah umumnya penanamannya tidak terlalau dalam 0,5 - 1 meter) dan caranya bermacam – macam.



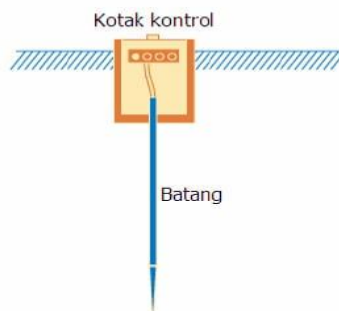
**Gambar 2.36. Elektroda Pita**

*Sumber: Wijdan Kelistrikan, 2021*

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BC yang ditanam didalam tanah secara horizontal sedalam  $\pm 2$  feet. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan. Hal ini cocok untuk daera – daerah pengunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.

b. Elektroda Batang

Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertikal didalam tanah, biasanya terbuat dari bahan tembaga, stainless steel atau galvanised steel. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari galvanic couple yang dapat menyebabkan korosi. Ukuran Elektroda : Diameter 3/4mm-5/8mm dan panjang 4m-8m. Elektroda batang ini mampu menyalurkan arus discharge petir ataupun pemakaian pentanahan yang lain.



**Gambar 2.37. Elektroda Batang.**

*Sumber: Wijdan Sidiq, 2021*

c. Elektroda Pelat

Elektroda pelat terbuat dari bahan pelat logam (utuh atau berlobang) atau dari kawat kasa. Elektroda ini ditanam tegak lurus dalam tanah pada kedalaman 0,5 – 1 m, ukuran elektroda ini 1 x 0,5 m. elektroda ini digunakan bila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan sulit diperoleh dengan menggunakan jenis – jenis elektroda yang lain.



**Gambar 2.38. Elektroda Pelat**

Sumber:IAEETA, 2017

Bagian – bagian yang ditanahkan dalam sebuah instalasi listrik ada empat bagian yang harus ditanahkan atau sering juga disebut dibumikan. Empat bagian dari instalasi listrik ini adalah :

- a. Semua bagian instalasi yang terbuat dari logam (menghantar listrik) dan dengan mudah bisa disentuh manusia. Hal ini perlu agar potensial dari logam yang mudah disentuh manusia selalu sama dengan potensial tanah (bumi) tempat manusia berpijak sehingga tidak berbahaya bagi manusia yang menyentuhnya.
- b. Bagian pembuangan muatan listrik (bagian bawah)dari lightning arrester. Hal ini diperlukan agar lightning arrester dapat berfungsi dengan baik, yaitu membuang muatan listrik yang diterimanya dari petir ketanah (bumi) dengan lancar.
- c. Kawat petir yang ada pada bagian atas saluran transmisi. Kawat petir ini sesungguhnya juga berfungsi sebagai *lighting arrester*.



Karna letaknya yang ada disepanjang saluran transmisi, maka semua kaki tiang transmisi harus ditanahkan agar petir yang menyambar kawat petir dapat disalurkan ketanah dengan lancar melalui kaki tiang saluran transmisi.

- d. Titik netral dari transformator atau titik netral dari generator. Hal ini diperlukan dalam kaitan dengan keperluan proteksi khususnya yang menyangkut gangguan hubung tanah.

Langkah-langkah perencanaan instalasi penangkal petir yang dilakukan adalah:

- ❖ Menentukan kepadatan sambaran petir.

Dalam perencanaan pengamanan terhadap sambaran petir, angka yang kepadatannya (frekuensi) harus ditinjau dulu, untuk menentukan mutu pengamanan yang akan dipasang. Hal tersebut dapat diketahui dengan mempergunakan peta hari guruh pertahun (Isokrounic Level/IKL). Kemudian mencari harga kolerasinya dengan kepadatan sambaran petir ketanah. Untuk menentukan kepadatan sambaran petir dapat di peroleh dari persamaan berikut.

$$F_t = 0,25 \cdot T \quad (\text{sambaran/km}^2/\text{tahun} \dots\dots\dots)[3.1]$$

Dimana :

$F_t$  = kepadatan sambaran petir (sambaran/km<sup>2</sup>/tahun)

$T$  = hari guruh pertahun (IKL)

- ❖ Menentukan jarak pukul petir

*Pilot leader* akan membawa muatan mengawali aliran ketanah sehingga saluran yang dibuat oleh *pilot leader* ini menjadi bermuatan dan kuat medan (*potensial gradient*) dari ujung *leader* ini sangat tinggi. Selama pusat muatan diawan mampu memberikan muatannya pada ujung *leader* lebih besar dari kuat medan udara maka *leader* (petir) akan tetap mampu melanjutkan perjalanannya. Pada saat *leader* mendekati tanah, kuat medan statis pada permukaan tanah akan naik cukup tinggi untuk menghasilkan aliran keatas yang pendek menyongsong *pilot leader*. Titik tempat bertemunya dua aliran yang berbeda muatan ini disebut “*striking point*” (titik pukul). Dimanan lebih lanjut jarak pukul petir (*striking distance*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$d=6,7 I^{0,8} \text{ meter} \dots\dots\dots[3.2]$$

Dimana:

d = Striking distance (m)

I = arus petir (kA)

Untuk menentukan besarnya jumlah sambaran petir per hari per km<sup>2</sup>, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$NE = (0,1+0,35 \sin \lambda)(0,4 \pm 0,2) \dots\dots\dots[3.3]$$

Dimana:

NE = Jumlah sambaran petir per hari per km<sup>2</sup>.

$\lambda$  = garis lintang geografis daerah

❖ Menentukan tingkat perkiraan bahaya Gardu Induk Sibolga

Untuk menentukan secara cepat dan akurat besarnya kebutuhan pengamanan terhadap sambaran petir merupakan hal yang sulit sekali. Pada umumnya, faktor utama yang menentukan kebutuhan pengamanan terhadap sambaran petir pada bangunan tergantung pada penggunaan konstruksi bangunan, tinggi bangunan, banyak hari guruh pertahun didaerah tersebut (IKL),serta situasi dan letak bangunan. Disamping itu masih ada faktor lain yang mempengaruhi, seperti besarnya arus petir, frekuensi petir, dan letak geografis bangunan. Semua faktor inilah yang dapat digunakan sebagai pedoman perencanaan instalasi penangkal petir. Secara praktis faktor – faktor diatas dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan pengamanan bangunan terhadap sambaran petir. Untuk menentukan tingkat kebutuhan pengamanan terhadap sambaran petir pada bangunan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$R = A + B + C + D + E \dots\dots\dots[3.4]$$

❖ Menentukan luas daerah yang menarik sambaran petir (Ca)

Besarnya arus petir pada satu daerah juga sangat mempengaruhi luas daerah disekitar bangunan tersebut yang menarik sambaran petir. Semakin besar arus petir semakin bersar pula luas daerah yang menarik sambaran petir tersebut, karena jarak terkaman petir semakin besar dan luas. Hal ini merupakan salah satu faktor dalam proses perancangan dan perencanaan sistem pentanahan petir suatu bangunan

bertingkat. Luas daerah bangunan yang menarik sambaran petir dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Ca = (L \times W) + (4L \times H) + (4W \times H) + 4 (\pi H^2) \dots \dots \dots [3.5]$$

Dimana :

Ca = Luas daerah yang menarik sambaran petir (m<sup>2</sup>)

L = Panjang bangunan (m)

W = Lebar bangunan (m)

$\pi$  = Koefisien (3,14)

H = Tinggi bangunan (m)

❖ Menentukan perkiraan kemungkinan gedung tersambar petir (Ps)

Dari persamaan menentukan luas daerah yang menarik sambaran petir (Ca) diatas dapat dihitung perkiraan kemungkinan bangunan tersambar petir yang diperoleh dari persaaan :

$$Ps = Ca \times NE \times IKL \times 10^{-6} \times C1 \dots \dots \dots [3.6]$$

Dimana :

Ps = kemungkinan bangunan tersambar petir (sambaran petir/km/hari)

NE = Jumlah sambaran petir per hari per km<sup>2</sup>

IKL = Banyaknya hari guruh per tahun

C1 = Faktor pengali untuk berbagai macam kondisi daerah.

❖ Menentukan tingkat kebutuhan pengaman terhadap sambaran petir

Berdasarkan persamaan menentukan perkiraan kemungkinan gedung tersambar petir (Ps) luas daerah yang menarik sambaran petir dan perkiraan kemungkinnan bangunan tersambar petir, maka tingkat kebutuhan pengamanan terhadap sambaran petir pada bangunan dapat dihitung melalui rumus :

$$Pr = Ps \times C2 \times C3 \times C4 \times C5 \dots \dots \dots [3.7]$$

Dimana :

Pr = Tingkat kebutuhan pengaman terhadap sambaran petir pada bangunan atau tingkat bahaya.

C2 = Faktor pengali untuk berbagai macam konruksi bangunan.

C3 = Faktor pengali untuk berbagai macam isi dan kandungan bangunan.

C4 = Faktor pengali untuk berbagai macam kondisi penghunian bangunan.

C5 = Faktor pengali untuk berbagai macam mamfaat dan pengaruh bangunan terhadap lingkungan.

- ❖ Menentukan radius perlindungan terhadap sambaran petir

$$R_p = h \sqrt{\pm \left(\frac{D}{h}\right) - 1} \dots\dots\dots[3.8]$$

R<sub>p</sub> = Radius Perlindungan (m)

D = Inisiasi Jarak Gedug (m)

h = Tinggi Finial (m)

- ❖ Menentukan luas daerah perlindungan terhadap sambaran petir

$$A_p = \pi \cdot R_p^2 \dots\dots\dots[3.9]$$

A<sub>p</sub> = Luas daerah perlindungan terhadap sambaran petir (m<sup>2</sup>)

π = Koefisien (3,14)

R<sub>p</sub> = Radius perlindungan terhadap sambaran petir (m).

- ❖ Menentukan luas penampang turun

Luas penampang penghantar turun (A) dari suatu instalasi penangkap petir tergantung pada besarnya arus petir maksimum yang berkisar antar 5 kA – 220 kA untuk itu persamaan yang dilakukan adalah :

$$A = I_o \sqrt{\frac{8,5 \times 10^{-6} S}{\log_{10}\left(\frac{1}{274} + 1\right)}} \text{ mm}^2 \dots\dots\dots[3.10]$$

Dimana :

A = luas penampang konduktor (mm<sup>2</sup>)

I<sub>o</sub> = Arus petir maksimum (A)

S = Lama gangguan (detik)

T = Temperatur konduktor yang diizinkan (0C)

- ❖ Menentukan besarnya tahanan pentahanan dari batang elektroda

Cara yang paling sederhana tapi masih sering dipakai dalam pentanahan sistem pengaman terhadap petir. Tahanan pentanahan dari suatu batang elektroda yang dipasang dipermukaan tanah dapat dihitung dengan persamaan :

$$R = \frac{1+x}{2} \text{ ohm}$$

$$X = \left( \frac{L}{\ln 48L / a - 1} \right) / d \dots \dots \dots [3.11]$$

Dimana :

R = Tahanan pentanahan (Ohm)

X = Tahanan spesifik tanah ( $\Omega\text{m}$ )

L = Panjang batang elektroda (m)

a = Jari – jari batang elektroda (m)

d = Jarak antar elektroda (m)



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan tempat penelitian**

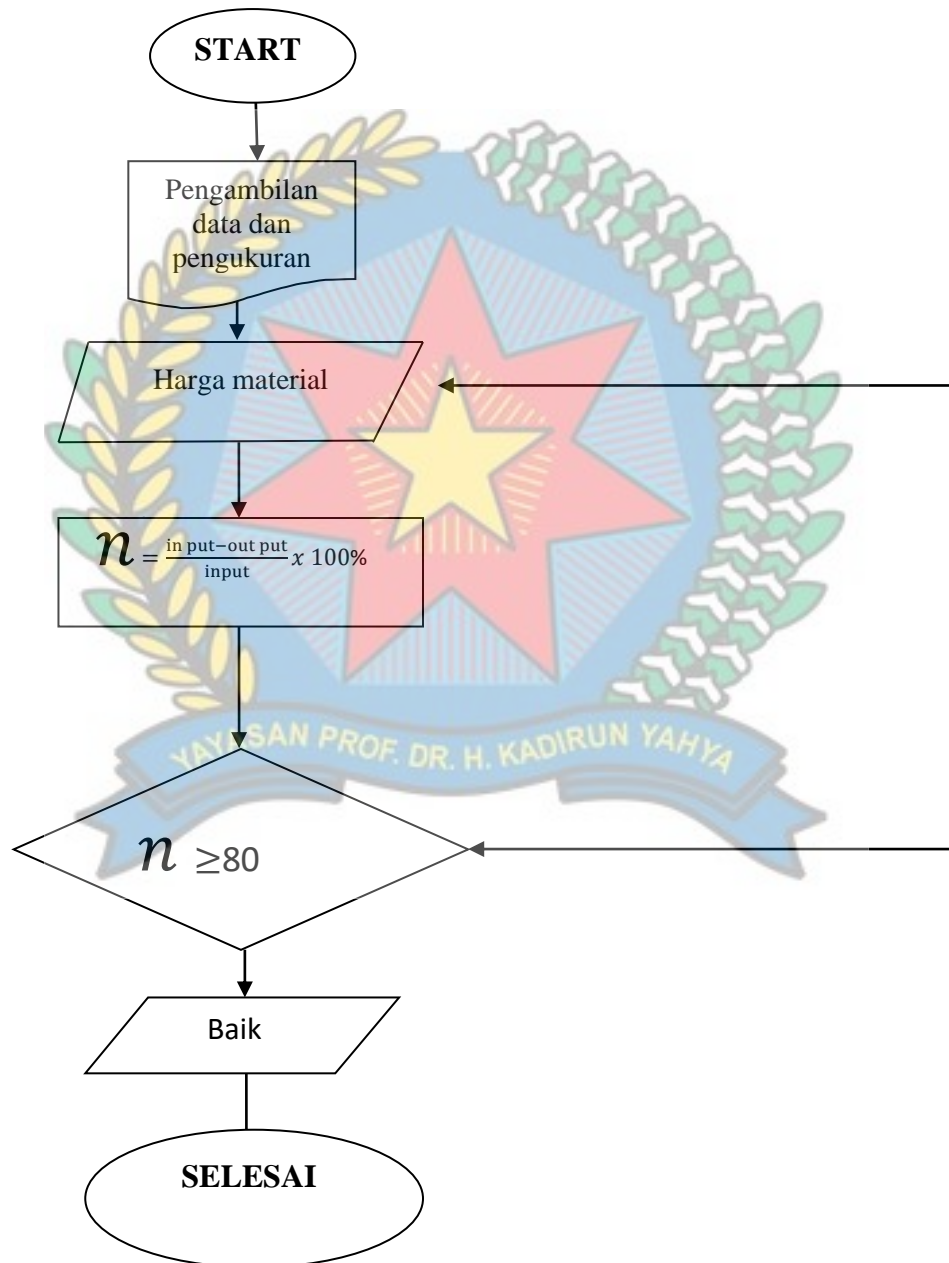
Tempat penelitian yang telah dilakukan adalah PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Sumatera Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Sibolga Transmisi, Gardu Induk Sibolga. Yang dilaksanakan mulai tanggal 24 November 2020 sampai dengan 27 November 2020.

#### **3.2. Alat dan bahan**

Alat yang digunakan untuk penelitian di PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Sumatera Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Sibolga Transmisi, Gardu Induk Sibolga. Adalah

- eart tester,
- voltmeter,
- amprometer,
- meteran dan alat bantu lainnya.

### 3.3. FLOW CHART



### **3.4. Mekanisme Pelaksanaan Penelitian**

Dalam melakukan pengumpulan data-data penulis melalui beberapa prosedur, diantaranya adalah melakukan observasi ke PT. PLN (Persero) Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (P3B) Sumatera Unit Pelayanan Transmisi (UPT) Sibolga Transmisi, Gardu Induk Sibolga. Data yang diperoleh diolah dan dianalisis.





## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Perhitungan Biaya dan Pembahasan

Dalam penelitian dilakukan perhitungan dan analisa mengenai pentanahan peralatan utama pada gardu induk Sibolga. Adapun kondisi, situasi dan lokasi dari gardu induk Sibolga tersebut adalah.

1. Gardu induk sibolga terletak di Kabuten Tapanuli Tengah dimana secara geografis Gardu induk Sibolga terletak pada  $1^{\circ} 42'10'' 46''$  Lintang Utara dan  $98^{\circ} 44' - 98^{\circ} 48'$  Bujur Timur.
2. Spesifikasi peralatan pada Gardu Induk Sibolga yang di proteksi:
  - Transformator daya
  - Lighting Arrester (LA)
  - Transformator Tegangan (*Potential Transformator* / PT)
  - Transformator Arus (*Current Transformator* / CT)
  - Pemutus Tenaga (PMT) / Circuit Breaker (CB)
  - Sakelar Pemisah (PMS)
  - Line Carrier
  - Line Trap (Wave Traf)
  - Busbar (Rel Daya )
  - Isolator
  - Baterai
  - Panel Kontrol
  - Sistem Pentanahan Titik Netral
3. Gedung berdiri didaerah dataran rendah dengan ketinggian 700 meter dari permukaan laut.
4. Curah hujan pertahun didarah Gardu induk memiliki rata-rata 149 hari pertahun.
5. Hari guruh per tahun (IKL) untuk daerah Sibolga : 260 hari pertahun.

Untuk merencanakan instalasi penangkal petir, sebelumnya ditentukan tingkat kebutuhan Gardu induk tersebut dengan cara :

1) Menentukan kepadatan sambaran petir ( $F_t$ )

$$F_t = 0,25 \cdot T \text{ sambaran /km}^2/\text{tahun}$$

$$F_t = 0,25 \times 260$$

$$= 65 \text{ sambaran/km}^2/\text{tahun.}$$

2) Menentukan tingkat perkiraan bahaya Gardu Induk Sibolga

Untuk mengetahui diperlukan atau tidaknya Gardu Induk Sibolga menggunakan instalasi penangkal petir dapat ditentukan berdasarkan nilai perkiraan bahaya

$$(R) = A + B + C + D + E$$

dengan indeks- indeks sebagai berikut :

a) Indeks A, penggunaan dan isi

b) Gardu Induk Sibolga merupakan salah satu gedung perkantoran tempat pusat komputer yang digunakan untuk menyimpan arsip dan dokumen penting lainnya, nilai = 2. Indeks B konstruksi bangunan Gardu Induk Sibolga termasuk bangunan dengan menggunakan konstruksi beton bertulang dan atap bukan logam, nilai = 2.

c) Indeks C, tinggi bangunan

Gardu Induk Sibolga mempunyai ketinggian 15 meter, nilai = 3

d) Indeks D, situasi bangunan

Gardu Induk Sibolga berdiri di daerah dataran tinggi dengan ketinggian 700 meter dari permukaan laut, nilai = 0

e) Indeks E, pengaruh kilat Hari guruh per tahun di daerah kota Sibolga adalah 240, nilai = 8

Jadi jumlah  $R = A + B + C + D + E = 2 + 2 + 3 + 0 + 8 = 15$ .

Karena nilai  $R = 15$  maka indeks perkiraan bahaya pada Gardu Induk Sibolga terhadap sambaran petir adalah besar.

3) Menentukan luas daerah bangunan yang menarik sambaran petir ( $C_a$ ).

Perhitungan luas daerah bangunan yang menarik sambaran petir dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C_a = (L \times W) + (4L \times H) + (4W \times H) + 4(\pi H^2)$$

Berdasarkan rumus tersebut dan data yang diperoleh mengenai Gardu Induk Sibolga dengan tinggi (H) 15 meter, panjang gedung (L) 13 meter, dan lebar gedung (W) 32 meter maka luas daerah yang menarik sambaran petir adalah:

$$Ca = 13m \times 32m + ((4 \times 13) \times 15m) + ((4 \times 32m) \times 15m) + 4(3,14 \times 15^2) m^2$$

$$Ca = (416 + 780 + 1,920 + 2,826) m^2$$

$$Ca = 1.200,74m^2$$

- 4) Menentukan perkiraan kemungkinan Gardu Induk Sibolga tersambar petir.

Dari luas daerah yang menarik sambaran petir tersebut (Ca), maka kemungkinan daerah Gardu Induk Sibolga tersambar petir dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$Ps = Ca \times NA \times IKL \times C1$$

Karena terkait dengan jumlah sambaran petir per hari per km<sup>2</sup> (NE) dengan I untuk kota Sibolga adalah 0,005<sup>0</sup>20' maka dari persamaan :

$$NE = (0,1 + 0,35 \sin I)(0,4 \pm 0,2)$$

$$= (0,1 + 0,35 \sin 5,2^0) (0,4 \pm 0,2)$$

$$= (0,1317) (0,4 \pm 0,2)$$

Sambaran petir/hari/km<sup>2</sup> untuk ini diambil nilai maksimum yaitu :

$$= (0,1317) (0,6) \text{ sambaran petir/hari/km}^2$$

$$= 0,079 \text{ sambaran petir/hari/km}^2$$

Sehingga:

$$Ps = 1.200,74 \cdot 10^{-6} \text{ km}^2 \times 0,079 \times 260 \times 2,0$$

$$= 0,4 \text{ sambaran/tahun}$$

Perhitungan tahun tersambar petir:

$$1/0,4 = 25 \text{ tahun/ sambaran petir.}$$

- 5) Menentukan tingkat kebutuhan pengamanan Gardu Induk Sibolga terhadap sambaran petir.

Berdasarkan perhitungan diatas maka tingkat kebutuhan pengamanan dari daerah Gardu Induk Sibolga adalah berdasarakan persamaa :

$$Pr = Ps \times C2 \times C3 \times C4 \times C5$$

$$Pr = 0,4 \times 1,4 \times 2 \times 1,5 \times 1,5$$

$$= 2,52$$

Sehingga tingkat proteksi dari daerah Gardu Induk Sibolga termasuk proteksi tingkat III dengan nilai jarak inisiasinya (D) =20 m.

Dalam perencanaan instalasi penangkal petir pada Gardu Induk Sibolga adalah penangkal petir sistem Franklin. Proses pemilihan penangkal petir sistem Franklin adalah :

Bangunan Gardu Induk Sibolga memiliki atap jurai dapat digunakan penangkal petir sistem Franklin dihubungkan dengan menggunakan kawat BC ± 50 mm<sup>2</sup>, dimulai dari ujung atap bangunan sampai dengan tengah atap bangunan. Radius perlindungan (Rp) pada sistem Franklin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R_p = h\sqrt{\pm(D/h)-1}$$

$$R_p = 0,3\sqrt{\pm(20/0,3)-1}$$

$$R_p = 1,7 \text{ meter}$$

Sehingga dapat dihitung luas era perlindungan :

$$A_p = \pi \cdot R_p^2$$

$$A_p = 3,14 \cdot 1,7^2$$

$$A_p = 9,0746 \text{ m}^2$$

Luas penghantar turun dari suatu instalasi penangkal petir dengan arus gangguan berlangsung selama 0,001 detik, arus petir maksimum 220 kA dan temperatur konduktor yang diizinkan 10000 C adalah adari persamaan :

$$A = I_0\sqrt{(8,5 \cdot 10^{-6} S / \log_{10}((T/274)+1))}$$

$$A = 220 \cdot 10^3 \sqrt{(8,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,001 / \log_{10}((10000/274)+1))}$$

$$A = 9,406 \text{ mm}^2$$

Karena hasil perhitungan didapatkan lebih kecil, maka dapat digunakan kawat atau kabel dengan luas penampang yang mendekati hasil perhitungan dan tidak diizinkan lebih kecil dari hasil perhitungan. Menurut diameeter dari penangkal petir yang digunakan maka luas penampang penghantar turun yang cocok untuk penangkal petir ini adalah 10mm<sup>2</sup>.

Untuk sistem pentanahan dilakukan beberapa pengukuran tahanan tanah di daerah sekitar Gardu Induk Sibolga yang menggunakan Earth Tester Type 3235. Dari hasil pengukuran resistansi pentanahan dapat dicari nilai besarnya tahanan pentanahan dari batang elektroda dengan persamaan:

$$X = ( L / (\ln 48L / a - 1) ) / d$$

$$X = ( L / (\ln 48L / a - 1) ) / d$$

$$X = ( 0,5 / (\ln 48 \cdot 0,5 / 0,012 - 10) ) / 7,81$$

$$X = ( 0,5 / (-1,959) ) / 7,81$$

$$X = -0,255 / 7,81$$

$$X = -0,0326$$

Dan ;

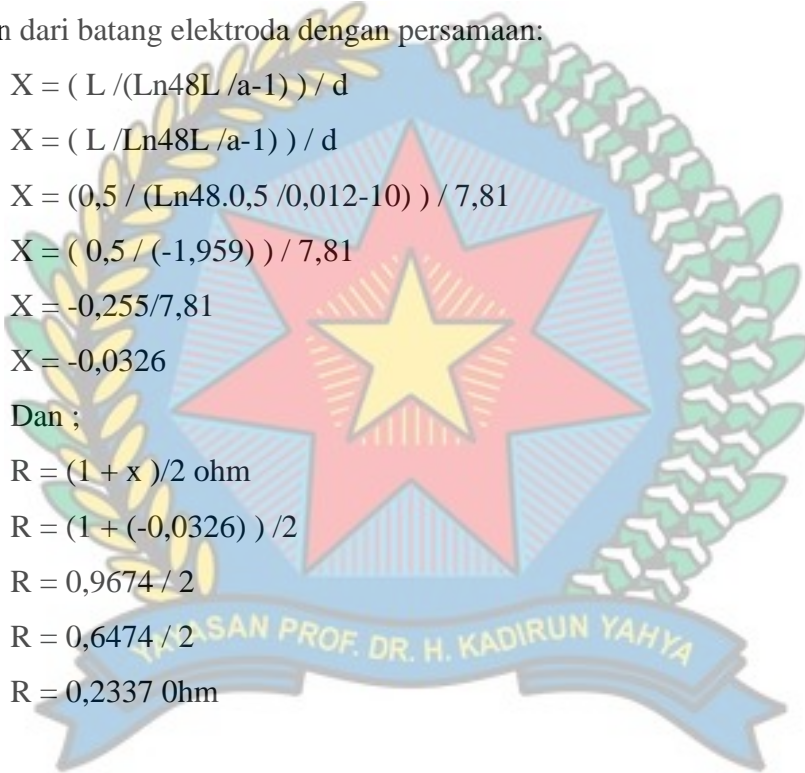
$$R = (1 + x) / 2 \text{ ohm}$$

$$R = (1 + (-0,0326) ) / 2$$

$$R = 0,9674 / 2$$

$$R = 0,6474 / 2$$

$$R = 0,2337 \text{ Ohm}$$



## 4.2 Perhitungan Biaya Bahan Pentanahan Transformator pada Gardu Induk Sibolga

Tabel 4.1. Bahan Sistem Pentanahan dan Perkiraan Efisiensi Biaya

No	Material	Speaifikasi	Satuan	Harga satuan @	Jumlah Biaya (Rp)
I	<b>Peralatan Gronding</b>				
	1.Batang Tanah Stainless	200	Btg	2.100.200	420.100.000
	2.Kabel Tembaga BC 50 mm	500	M	85.500	42.750.000
	3.Kepala Pengeboran Batang Tanah	200	Bh	48.750	9.750.000
	4.Penyambung Batang Tanah	200	Bh	55.000	11.000.000
	5.Kepala Batang Penggerak Tanah	200	Bh	45.750	9.150.500
	6.Bentoruit	50	Bh	750.000	37.500.000
	7.Konektor Penyambung Tembaga	100	Bh	28.700	2.780.000
	8.Klem BC	30	Bks	165.000	495.000
	9.Splitzer/Finial Franklin ¾ Inchi	40	Bh	10.660.000	426.420.000
	10.Pipa Galvanis 1 Inchi	100	Btg	425.500	42.550.000
	11.Klem Pipa Pvc 2 Inchi	30	Bks	30.000	900.000
	12.Terminal Busbar	100	Bh	86.000	8.600.000
				<b>JUMLAH</b>	<b>633.905.500</b>
II	<b>Biaya Upah Kerja</b>			<b>30%</b>	<b>190.171.650</b>
	<b>JUMLAH ( I+II)</b>				<b>824.077.150</b>
III	<b>PPn + PPh</b>			<b>11.5%</b>	<b>94.768.872</b>
	<b>JUMLAH TOTAL ( I+II+III)</b>				<b>918.846.022</b>

### 4.3 Bahan dan Material Pentanahan Pralatan Transformator Gardu Induk Sibolga

Tabel 4.2 Bahan Material Pentanahan Peralatan Transformator Gardu Induk Sibolga

N0	Material	Spesifikasi	Satuan	Harga Satuan @	Jumlah Biaya (Rp)
I	Peralatan Grounding				
	1.Batang Tanah Stainless	350	Btg	2.447.500	856.625.000
	2.Kabel Tembaga BC 50 mm	800	M	86.500	69.200.000
	3.Kepala Pengeboran Batang Tanah	350	Bh	50.750	17.762.500
	4.Penyambung Batang tanah	350	Bh	58.000	20.300.000
	5.Kepala Batang Penggerak Tanah	350	Bh	48.750	17.062.000
	6.Bentoruit	85	Bh	850.000	72.250.000
	7.Konektor Penyambung Tembaga	140	Bh	31.700	4.438.000
	8.Klem BC	65	Bks	185.000	12.025.000
	9.Plitizer/Finial Franklin	70	Bh	12.660.500	886.235.000
	10.Pipa Galvanis 1 Inchi	140	Btg	525.500	73.570.000
	11.Klem Pipa Pvc 2 Inchi	60	Bks	60.000	3.600.000
	12.Terminal Busbar	160	Bh	96.000	15.360.000
				<b>JUMLAH</b>	<b>2.048.427.500</b>
II	<b>Biaya Upah Kerja</b>			<b>30%</b>	<b>614.528.20</b>
	<b>JUMLAH (I+II)</b>				<b>2.689.955.750</b>
III	<b>PPn + PPh</b>			<b>11,5%</b>	<b>309.344.911</b>
	<b>JUMLAH TOTAL (I+II+III+IV)</b>				<b>2.999.300.661</b>

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1. Kesimpulan**

Hasil analisa dan pembahasan perbandingan instalasi pentanahan peralatan pada Gardu Induk Sibolga dapat disimpulkan sebagai berikut.

- a. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh besarnya indeks perkiraan bahaya sehingga mempunyai tingkat bahaya yang tergolong besar dan membutuhkan suatu instalasi penangkal petir yang baik yang handal.
- b. Dalam satu tahun kepadatan sambaran petir di Kota Sibolga sebesar 65 sambaran/km<sup>2</sup>/tahun.
- c. Luas daerah yang menarik sambaran petir sebesar 1.200,74m<sup>2</sup> dengan jumlah sambaran petir 0,079 /hari/km<sup>2</sup> dan kemungkinan gedung tersambar petir 0,4 sambaran/tahun.
- d. Jenis Konduktor yang ditanamkan secara Horizontal dan Grid, karena terbuat dari bahan tembaga.
- e. Total biaya pemasangan pentanahan pada Transformator Gardu Induk Sibolga adalah Rp.2.999.300.661-(Dua Miliar Sembilan Ratus Sembilan Puluh Sembilan Juta Tiga Ratus Ribu Enam Ratus Enam Puluh Satu Rupiah).

### **5.2. Saran**

Berdasarkan hasil perencanaan dan kesimpulan maka penulis mengemukakan beberapa saran yaitu :

- a. Sehubungan penggunaan alat elektronik di Gardu Induk Sibolga terbilang banyak untuk itu diperlukan keselamatan gedung dari bahaya sambaran petir, dengan memasang penangkal petir tiap-tiap bangunan.

Karena Gardu Induk Sibolga berada didaerah yang mempunyai hari guruh dan curah hujan yang cukup tinggi, sebaiknya dilakukan pemeliharaan dan pemeriksaan secara berkala untuk menjaga atau dalam mengamankan gedung dari bahaya sambaran peir yang sewaktu-waktu dapat terjadi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Sri kusuma, (2018, August, 20), Transformator Gardu Induk 150 KV Wirobrajan:  
<http://docplayer.go.id>
- Simon Patabang, (2016, June, 19) Sembilan Sistem Pentanahan:  
<https://www.slideshare.net>
- Siahaan, (2018) Tatacara pemeliharaan transformator dan pentanahan Transformator Gardu Induk (Buku pedoman Pt. PLN Gardu Induk sibolga).
- Libianko Sianturi, (2019) Studi Pembumian Grid Gardu Induk 150 KV Kapasitas 60 MVA Tanjung Morawa Medan: Fakultas Teknik UHN <http://uhn.ac.id>
- Power Elektronik, (2019) Sistem Pentanahan (Grounding) pada Gardu Induk  
<http://autopower15.blogspot.com>
- A.Aris Munandar, Dr, MSc. Dan Susumu Kwahara, Dr. Teknik Tenaga Listrik II Transmisi, Distribusi, Pradya Paramita, Jakarta.
- Hutauruk.T. S, Ir., 1987, Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan, Penerbit Erlangga.