



## **ANALISIS KEANDALAN PEMBEBANAN TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK PAYA GELI**

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

### **SKRIPSI**

**OLEH:**

**NAMA : ESRON SIMBOLON**  
**N P M : 1514210224**  
**PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO**  
**PERMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI**

**M E D A N**

**2 0 2 2**

**PENGESAHAN TUGAS AKHIR**

**JUDUL** : ANALISIS KEANDALAN PEMBEBANAN TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK PAYA GELI

**NAMA** : ESRON SIMBOLON  
**N.P.M** : 1514210224  
**FAKULTAS** : SAINS & TEKNOLOGI  
**PROGRAM STUDI** : Teknik Elektro  
**TANGGAL KELULUSAN** : 08 Desember 2022

**DEKAN**



Hamdani, ST., MT.



**KETUA PROGRAM STUDI**



Siti Anisah, S.T., M.T.

**DISETUJUI  
KOMISI PEMBIMBING**

**PEMBIMBING I**



Adisastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T.

**PEMBIMBING II**



Amani Darma Tarigan, S.T., M.T.

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademik Universitas Pembangunan Panca Budi, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

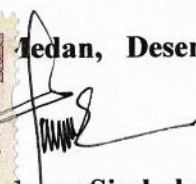
Nama : Esrion Simbolon  
NPM : 1514210224  
Program Studi : Teknik Elektro  
Fakultas : Sains Dan Teknologi  
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, meyetujui untuk memberikan kepada Universitas Pembangunan Panca Budi Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non exclusive Royalty-free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul: **“Analisis Keandalan Pembebanan Transformator Pada Gardu Induk Paya Geli”** Beserta prangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pembangunan Panca Budi berhak menyimpan, mengalih-media/alih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/ pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya



Medan, Desember 2022

  
Esrion Simbolon  
NPM. 1514210224

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar keserjanaan disuatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya dan pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam skripsi ini dan disebutkan dalam daftar pustaka



# ANALISIS KEANDALAN PEMBEBANAN TRANSFORMATOR PADA GARDU INDUK PAYA GELI

Esron Simbolon\*  
Adisastra P Tarigan\*\*  
Amani Darma Tarigan\*\*

Universitas Pembangunan Panca Budi

## ABSTRAK

Di dalam suatu pembebanan transformator diharapkan nilai pembebanannya tidak melebihi standard yang ditetapkan, yaitu 80%. Pada pembebanan transformator diharapkan nilai pembebanannya di masing-masing fasa (R,S,dan T) seimbang. Bila terjadi ketidak seimbangan beban maka nilainya tidak boleh melebihi 2%. Akibat adanya ketidak seimbangan beban maka timbullah arus di penghantar netral. Arus yang terdapat pada netral membuat terjadinya losses. Setelah melakukan analisis transformator di gardu induk Paya Geli persentase pembebanannya sebesar 99,66% (masih berada dalam standar) dan nilai ketidak seimbangan beban yang pada beban puncak sebesar 0,33 % (dibawah standart spln). Dapat disimpulkan bahwasanya sistem keandalan transformator pada pembangkit listrik paya geli masih berada dalam kondisi efisien.

**Kata Kunci :** Pembebanan Transformator, Rugi-Rugi Transformator

\* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: [esron\\_simbolon@yahoo.co.id](mailto:esron_simbolon@yahoo.co.id)

\*\* Dosen Program Studi Teknik Elektro

# **RELIABILITY ANALYSIS OF LOADING OF TRANSFORMERS AT THE PAYA GELI SUBSTATION**

**Esron Simbolon\***

**Adisastra P Tarigan\*\***

**Amani Darma Tarigan\*\***

*University Of Pembangunan Panca Budi*

## **ABSTRACT**

*In a transformer loading, it is expected that the loading value does not exceed the set standard, namely 80%. At transformer loading, it is expected that the loading values in each phase (R, S, and T) are balanced. If there is an unbalanced load, the value should not exceed 2%. As a result of the load imbalance, a current arises in the neutral conductor. The current in the neutral causes losses. After analyzing the transformer at the Paya Geli substation, the loading percentage was 99.66% (still within standard) and the load unbalance value at peak load was 0.33% (below SPLN standard). It can be concluded that the system reliability of the transformer in the Paya Geli power plant is still in an efficient condition.*

**Keyword:** *Transformer Loading, Transformer Losses*

\* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: [esron\\_simbolon@yahoo.co.id](mailto:esron_simbolon@yahoo.co.id)

\*\* Dosen Program Studi Teknik Elektro

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini berjudul “**Analisis Keandalan Pembebanan Transformator Pada Gardu Induk Paya Geli**”. Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk menyelesaikan studi jenjang sarjana (S1) Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan. Dalam proses pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah banyak mendapatkan bimbingan dan bantuan baik berupa material, spiritual, informasi maupun administrasi. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. H. Muhammad Isa Indarawan, SE., MM., selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
2. Bapak Hamdani, ST.,MT., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan.
3. Ibu Siti Anisah, ST.,MT selaku ketua progam studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi Pembangunan Panca Budi
4. Bapak Adi sastra Pengalaman Tarigan, ST.,MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah sabar dan banyak meluangkan waktu dan juga ilmu untuk penulisan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Amani Darma Tarigan Selaku Dosen Pembimbing II.
6. Kepada seluruh keluarga penulis, terutama untuk ayah dan ibu serta istri penulis yang telah banyak memberi dukungan moral, membantu semua kesulitan serta doa yang tiada henti kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

7. Kepada seluruh dosen studi Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi Medan yang telah memberikan ilmu untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

8. Kepada semua pihak yang terlibat dan yang ikut serta membantu demi kesuksesan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis merasakan bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun akan sangat diharapkan oleh penulis sebagai acuan dalam penyusunan Tugas Akhir yang akan dikerjakan.

Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kami semua dan bagi mahasiswa program studi Teknik Elektro Pembangunan Panca Budi Medan.

Medan, Desember 2022

**Esrion Simbolon**  
**NPM. 1514210224**



## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b>	
<b>ABSTRACK</b>	
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	4
1.3 Batasan masalah .....	4
1.4 Tujuan penelitian .....	5
1.5 Manfaat penelitian .....	5
1.6 Metode penelitian .....	5
1.7 Sistematika penulisan .....	6
<b>BAB 2 LANDASAN TEORI</b> .....	<b>7</b>
2.1 Sistem tenaga listrik .....	7
2.1.1 Sistem tranmisi tenaga listrik .....	8
2.1.2 Sistem distribusi tenaga listrik .....	9
2.2 Sistem pembumian atau pentanahan.....	12
2.2.1 Tujuan sistem pentanahan .....	14
2.2.2 Sistem pentanahan netral.....	15
2.2.3 Kontruksi dan prinsip kerja.....	22
2.3 Gardu induk .....	24
2.3.1 Fungsi gardu induk.....	24
2.3.2 Cara kerja gardu induk .....	25
2.3.3 Jenis-jenis gardu induk.....	26
2.4 Gardu induk Paya Geli .....	30
2.4.1 Pemutus tenaga (PMT).....	30
2.4.1.1 Jenis isolasi pemutus tenaga.....	31
2.4.1.2 Jenis penggerak pemutus tenaga .....	34
2.4.2 Pemisah (PMS) .....	35
2.4.2.1 Parameter PMS.....	35
2.4.2.2 Jenis-jenis pemisah.....	36

2.4.2.3 Tenaga Penggerak PMS .....	37
2.5 Transformator .....	38
2.5.1 Prinsip kerja transformator.....	39
2.5.2 Peralatan pengukuran .....	40
2.5.3 Indikasi unjuk kerja transformator .....	43
2.6 Pengaman sisi tegangan menengah .....	49
2.6.1 Alat pengaman <i>lightning arrester</i> .....	49
2.6.2 Alat pengaman arus lebih.....	51
2.7 Tahanan jenis tanah .....	52
2.7.1 Pengaruh keadaan stuktur tanah.....	53
2.7.2 Metode pengukuran tahanan jenis tanah .....	55
2.8 Elektroda pentahanan .....	56
2.8.1 Jenis-jenis elektroda pentahanan.....	58
2.8.2 Sifat-sifat dari sebuah sistem elektoda pentanahan.....	63
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN.....</b>	<b>65</b>
3.1 Waktu dan lokasi penelitian .....	65
3.2 Alur penelitian .....	65
3.3 Data penelitian.....	66
3.3.1 Transformator di GI Paya Geli.....	66
3.3.1.1 Transformator daya 1 (TD 1) .....	66
3.3.1.2 Transformator daya 3 (TD 3) .....	68
3.4 Data pembebanan transformator daya .....	69
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>71</b>
4.1 Pembebanan .....	71
4.1.1 Daya semu.....	71
4.1.2 Rugi-rugi inti ( $\omega$ ).....	72
4.1.3 Rugi tembaga ( $P_{CU}$ ).....	72
4.1.4 Pembebanan dan efisiensi TD 1 dan TD 3.....	74
4.1.4.1 Data pembebanan tertinggi siang .....	74
4.1.4.2 Data pembebanan tertinggi malam.....	75
4.1.4.3 Data pembebanan terendah siang .....	75
4.1.4.4 Data pembebanan terendah malam .....	77
4.2 Analisa.....	78
4.2.1 Perbandingan efisiensi terhadap daya .....	79
4.2.2 Perbandingan daya saat pembebanan terhadap rugi transformator .....	79
4.3 Nilai pentanahan transformator .....	80

4.4 Nilai pentanahan sistem <i>bay coupler</i> .....	81
4.5 Data hasil ukur KVA dan dimensi saluran distribusi primer yang disalurkan dari GI Paya Geli menuju PT.PLN .....	81
<b>BAB 5 PENUTUP</b> .....	<b>83</b>
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran .....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>85</b>



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Proses Listrik Disalurkan .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Sistem Transmisi Tenaga Listrik .....	9
<b>Gambar 2.3</b>	Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Konfigurasi Jaringan Radial.....	11
<b>Gambar 2.5</b>	Konfigurasi Jaringan <i>Loop</i> .....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Konfigurasi Jaringan Spindel.....	12
<b>Gambar 2.7</b>	System TT ( <i>Terra-Terra</i> ).....	19
<b>Gambar 2.8</b>	System TN-C 9 ( <i>Terra Neutral-Combined</i> ).....	19
<b>Gambar 2.9</b>	System TN-C-S ( <i>Terra Neutral Combined Separated</i> ) .....	20
<b>Gambar 2.10</b>	System TN-S ( <i>Terra Neutral Separated</i> ).....	21
<b>Gambar 2.11</b>	Gardu Induk dengan Sistem <i>Ring Busbar</i> .....	28
<b>Gambar 2.12</b>	Gardu Induk dengan Sistem <i>Single Busbar</i> .....	28
<b>Gambar 2.13</b>	Gardu Induk dengan Sistem <i>Double Busbar</i> .....	29
<b>Gambar 2.14</b>	Gardu Induk dengan Sistem <i>One Half Busbar</i> .....	29
<b>Gambar 2.15</b>	PMT dengan menggunakan <i>Bulk Oil</i> .....	33
<b>Gambar 2.16</b>	Transformator.....	38
<b>Gambar 2.17</b>	Rangkaian Pengganti Transformator.....	39
<b>Gambar 2.18</b>	Rangkaian Ekuivalen Transformator .....	40
<b>Gambar 2.19</b>	<i>Lighting Arrester</i> (LA).....	50
<b>Gambar 2.20</b>	Penempatan <i>Lighting Arrester</i> dan CO pada tiang transformator <i>Double Pole</i> .....	51
<b>Gambar 2.21</b>	<i>Fuse Cut Out</i> .....	52
<b>Gambar 2.22</b>	Metoda Tiga Titik .....	55
<b>Gambar 2.23</b>	Elektroda Batang.....	58
<b>Gambar 2.24</b>	Elektroda Pita .....	61
<b>Gambar 2.25</b>	Komponen-komponen Tahanan Elektroda Pentanahan .....	64
<b>Gambar 3.1</b>	Flowchart .....	65
<b>Gambar 3.2</b>	Transformator Daya 1 (TD 1) .....	67
<b>Gambar 3.3</b>	Transformator Daya 3 (TD 3) .....	69
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan Efisiensi dan Daya Pada Saat Pembebanan di TD 1 .....	78
<b>Gambar 4.2</b>	Perbandingan Efisiensi dan Daya Pada Saat Pembebanan di TD 3 .....	78
<b>Gambar 4.3</b>	Perbandingan Daya Saat Pembebanan Terhadap Rugi total TD 1 .....	79
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan Daya Saat Pembebanan Terhadap Rugi total TD 3 .....	79

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Indikasi Kerja Transformator.....	43
<b>Tabel 2.2</b>	Jenis Tanah dan Tahanan Pentanahan .....	53
<b>Tabel 2.3</b>	Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan .....	57
<b>Tabel 3.1</b>	Data Transformator Daya .....	69
<b>Tabel 4.1</b>	Pembebanan Tertinggi Pada Siang Hari TD 1.....	74
<b>Tabel 4.2</b>	Pembebanan Tertinggi Pada Siang Hari TD 3.....	74
<b>Tabel 4.3</b>	Pembebanan Tertinggi Pada Malam Hari TD 1.....	75
<b>Tabel 4.4</b>	Pembebanan Tertinggi Pada Malam Hari TD 3.....	75
<b>Tabel 4.5</b>	Pembebanan Terendah Pada Siang Hari TD 1.....	75
<b>Tabel 4.6</b>	Pembebanan Terendah Pada Siang Hari TD 3.....	76
<b>Tabel 4.7</b>	Pembebanan Terendah Pada Malam Hari TD 1 .....	77
<b>Tabel 4.8</b>	Pembebanan Terendah Pada Malam Hari TD 3 .....	77
<b>Tabel 4.9</b>	Konstanta Jaringan (SPLN 64 Tahun 1985) yang digunakan Pada Penyulangan GI Paya Geli .....	82
<b>Tabel 4.10</b>	Data Saluran GI Paya Geli.....	82
<b>Tabel 4.11</b>	Data Hasil Ukur Transformator Distribusi Pada Penyulangan GI Paya Geli.....	82

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Listrik merupakan kebutuhan utama bagi masyarakat saat ini untuk memenuhi kebutuhan hidup mereka sehari-hari. Pada periode tahun 1975 sampai sekarang kebutuhan akan energi terus meningkat. Energi listrik memegang peranan penting dalam kehidupan modern terutama untuk industri, rumah tangga, penerangan, komunikasi dan lain sebagainya. Dalam penyaluran energi listrik, sistem distribusi tenaga listrik dapat mengalami bermacam gangguan yang dapat mengakibatkan terhentinya penyaluran energi listrik rusaknya peralatan listrik.

Untuk menghindari gangguan tersebut diperlukan suatu pengamanan dan perlindungan bagi peralatan listrik dan pekerja, salah satunya dengan menghubungkan peralatan tersebut dengan sistem pentanahan. Sistem pentanahan adalah sistem hubungan penghantar yang menghubungkan sistem, badan peralatan dan instalasi dengan bumi atau tanah sehingga dapat mengamankan manusia dari sengatan listrik dan mengamankan komponen-komponen instalasi dari bahaya tegangan atau arus abnormal dan juga suatu sistem pengamanan peralatan instalasi yang ditanahkan sehingga bila terjadi kegagalan isolasi maka akan terhambat atau bertahannya sistem tegangan karena terputusnya arus oleh alat-alat pengaman. Oleh karena itu, sistem pentanahan menjadi bagian essential dari sistem ketenagalistrikan (Sumardjati, 2005:159). Pengukuran tahanan pentanahan transformator pada gardu distribusi bisa dilakukan pada saat transformator dalam keadaan beroperasi dan dalam

keadaan tidak beroperasi sama yaitu dengan menggunakan alat ukur *earth tester*. Pengukuran dilakukan dengan cara menghubungkan terminal utama alat ukur ke elektroda yang diukur dan terminal kedua dan ketiga pada alat ukur dihubungkan ke elektroda bantu.

Untuk menjamin keamanan dan keselamatan manusia terhadap bahaya tegangan lebih pada gardu induk diperlukan sistem pentanahan yang baik, yaitu sistem pentanahan yang dirancang melalui suatu perhitungan yang teliti baik menggunakan alat bantu perangkat lunak maupun perhitungan langsung di lapangan seperti halnya penelitian yang sedang kami lakukan ini. Salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah tahanan jenis tanah (*soil resistance*) di area gardu induk tersebut. Apabila manusia berada di dalam areal gardu induk pada saat terjadinya gangguan, arus listrik dapat mengalir pada tubuh manusia yang apabila melewati nilai tertentu dapat menyebabkan luka bahkan kematian pada manusia, hal ini disebabkan adanya perbedaan potensial tegangan pada permukaan tanah. Pada gardu yang mengalami gangguan ke tanah, arus akan mengalir dalam tanah, sehingga akan menimbulkan tegangan pada permukaan tanah di area pentanahan gardu induk tersebut. Untuk mengurangi resiko keselamatan, maka diperlukan sistem pentanahan yang baik. Sistem pentanahan yang baik sangat penting untuk mencegah terjadinya kerusakan-kerusakan pada peralatan yang ada di dalam gardu induk yang diakibatkan adanya perbedaan potensial tegangan pada tanah. Juga untuk mencegah terjadinya kecelakaan bagi manusia yang sedang berada dalam areal gardu induk, maka diperlukan perhitungan dan perencanaan yang seteliti mungkin.

Sistem pentanahan biasanya menggunakan konduktor yang ditanam secara vertikal maupun horizontal (rod) atau dalam bentuk kisi-kisi (grid). Konduktor pentanahan biasanya terbuat dari batang tembaga dan memiliki konduktivitas tinggi, kekuatan mekanis, tahan terhadap pelepasan dari keburukan sambungan listrik, dan tahan terhadap korosi. Pentanahan dengan menggunakan sistem gabungan grid-rod sangat umum diterapkan pada gardu induk. Pada sistem grid-rod, jarak antara konduktor paralelnya sama (grid simetris). Kelemahan sistem ini adalah bahwa untuk memperoleh tegangan permukaan yang masih memenuhi syarat keamanan, dibutuhkan konduktor pentanahan yang lebih panjang.

Melalui pengukuran, maka untuk mendapatkan hasil sistem pentanahan yang baik diperlukan suatu elektroda yang baik karena elektroda yang baik dapat mempengaruhi efektifitas hantaran arus bocor dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi sehingga peralatan akan lebih terjamin. Sehingga sistem pentanahan yang akan digunakan dapat mengalirkan gangguan yang terjadi akibat arus bocor ataupun hubung singkat ke terminal pentanahan kemudian dihantarkan lagi ke terminal pentanahan kemudian dihantarkan lagi ke hantaran penghubung atau konduktor dan kemudian dihantarkan ke kutub pentanahan atau elektroda yang akan langsung menetralkan ke tanah.

Sistem pentanahan di transformator pada gardu distribusi menggunakan batang elektroda. Suatu sistem pentanahan yang sudah terpasang harus dapat perawatan yang baik. Dalam dunia industri, transformator sangat besar perannya. Transformator digunakan sebagai alat penurun tegangan (Transformator *step down*) dan sebagai alat penaik tegangan (Transformator *step up*). Pada transformator terdapat rugi-rugi, baik



rugi-rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga, rugi-rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi yang mengakibatkan berkurangnya efisiensi tranformator.

Berdasarkan tempatnya, sistem pentanahan dapat mempengaruhi nilai tahanan suatu sistem pentanahan, sedangkan faktor yang menjadi ukuran baik atau tidaknya suatu pentanahan adalah tahanan elektroda dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan, tahanan kontak antara elektroda dengan tanah dan nilai dari tahanan pentanahannya.

Mengingat pentingnya suatu sistem pentanahan, maka pada skripsi ini mengambil judul “Analisis Keandalan Pembebanan Transformator Pada Gardu Induk Paya Geli”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Apa saja yang mempengaruhi efisiensi pada Transformator.
2. Bagaimana perbandingan daya saat pembebanan terhadap rugi Transformator

## **1.3 Batasan Masalah**

Mengingat luasnya pembahasan tentang sistem pentanahan transformator, maka untuk itu permasalahan yang diangkat pada penelitian memiliki batasan masalah yaitu:

1. Penelitian dilakukan di TD 1 dan TD 3 Gardu Induk Paya Geli

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui apa saja yang mempengaruhi efisiensi pada Transformator
2. Bagaimana perbandingan daya saat pembebanan terhadap rugi Transformator

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Untuk menambah wawasan mengenai apa saja yang mempengaruhi efisiensi pada Transformator.
2. Sebagai referensi dalam penulisan ilmiah yang relevan

#### 1.6 Metode Penelitian

Dalam melakukan analisis ini, penulis mendapatkan data dan masukan dengan cara:

##### 1. *Studi Literatur*

Yaitu dengan mempelajari buku-buku referensi yang tersedia dari media cetak maupun internet dan juga buku ataupun catatan kuliah yang mendukung untuk penulisan.

##### 2. *Pengambilan Data*

Adapun pengambilan data dilakukan dengan mengambil data-data transformator dari gardu induk PT.PLN (Persero).

##### 3. *Studi Bimbingan*

Yaitu dengan diskusi atau konsultasi dengan dosen pembimbing.

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Susunan penulisan laporan Skripsi adalah sebagai berikut:

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **BAB 2 LANDASAN TEORI**

Berisikan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan pengertian sistem pentanahan transformator, rugi-rugi transformator dan dasar-dasar perhitungan efisiensi transformator.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Pada bab ini berisi tentang menerangkan keadaan umum transformator di gardu induk dan data-data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi transformator.

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas tentang perhitungan efisiensi transformator dan analisis dari sistem pentanahan.

### **BAB 5 PENUTUP**

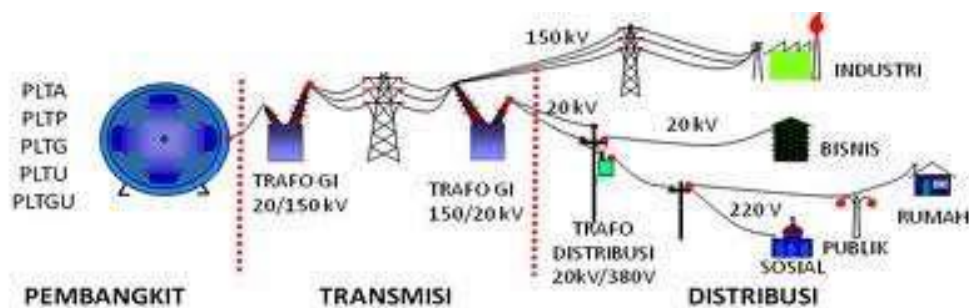
Bab ini berisi mengenai kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang disampaikan berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian.

## BAB 2

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik adalah sekumpulan dari Pusat Listrik dan Gardu Induk yang saling terhubung oleh jaringan Transmisi dan membentuk sebuah kesatuan sistem. Pada dasarnya, sistem tenaga listrik terdiri dari 3 komponen yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi tenaga listrik. Sistem pembangkitan adalah salah satu bagian utama dalam struktur sistem tenaga listrik dan juga produsen energi. Pembangkit pada sistem tenaga listrik berperan untuk menghasilkan energi listrik. Sumber energi utama pada pembangkit berasal dari sumber energi primer yang tersedia dari alam dan kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Sistem pembangkitan adalah tempat dimana proses Pembangkit Tenaga Listrik.



Gambar 2.1 Proses Listrik disalurkan

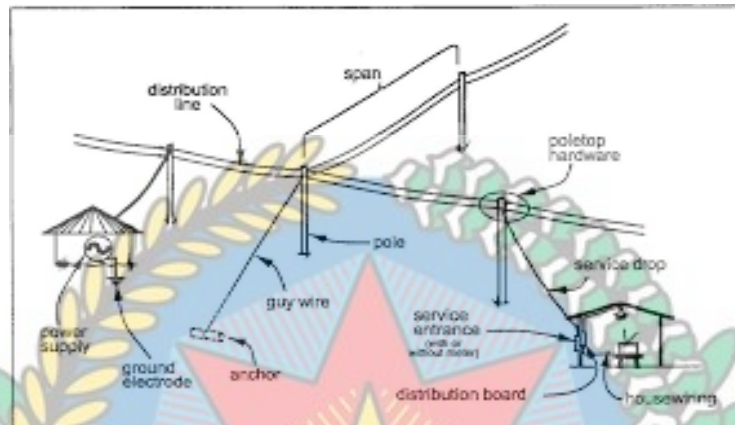
Secara konvensional, proses Pembangkitan Tenaga Listrik merupakan proses konversi energi primer (bahan bakar ataupun potensi tenaga listrik) yang menjadi

energi mekanik penggerak generator. Selanjutnya energi mekanik ini diubah menjadi energi listrik generator dan tegangan keluaran dinaikkan menjadi tegangan transmisi yaitu TT (tegangan tinggi) ataupun TET (tegangan ekstra tinggi). Bagian yang paling penting pada sistem pembangkitan adalah generator. Untuk memperkecil rugi-rugi daya, sistem Pembangkitan menggunakan transformator *step* up dan setelah tegangannya sampai ke Gardu Induk kemudian diturunkan menjadi TM (tegangan menengah) menggunakan transformator *step* down.. Secara umum pembangkit tenaga listrik ditunjang oleh beberapa fasilitas yang terpadu dan saling berinteraksi yaitu instalasi listrik, sistem mekanik, bangunan sipil, fasilitas pelengkap, peralatan kontrol dan komponen bantu lainnya.

### **2.1.1 Sistem Transmisi Tenaga Listrik**

Pada umumnya sistem Pembangkitan jauh dari tempat yang dimana energi listrik tersebut digunakan. Karenanya energi listrik yang dibangkitkan itu harus disalurkan melalui saluran transmisi. Standarisasi tegangan transmisi listrik di Indonesia adalah untuk saluran ekstra tinggi 500 kV dan 150 kV untuk saluran tegangan tinggi. Saluran transmisi dengan menggunakan sistem arus bolak-balik tiga fasa merupakan sistem yang banyak digunakan dan kelebihanannya sebagai berikut:

- a) Mudah pembangkitannya
- b) Mudah perubahan tegangannya
- c) Dapat menghasilkan medan magnet putar
- d) Dengan sistem tiga fasa, daya yang disalurkan lebih besar dan nilai sesaatnya konstan
- e)



**Gambar 2.2 Sistem Transmisi Tenaga Listrik**

### 2.1.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi adalah suatu bagian dari sistem tenaga listrik. Pada dasarnya, jaringan Distribusi mirip dengan jaringan Transmisi yaitu jaringan sistem tenaga listrik yang sama sama berfungsi menyalurkan energi ke konsumen yang meliputi industri ataupun perumahan. Tegangan yang telah diturunkan oleh transformator *step down* hingga mencapai tegangan menengah pada jaringan transmisi tegangannya cenderung sangat tinggi sampai batas-batas ekstrim (*extra high voltage*).



**Gambar 2.3 Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Jaringan Distribusi primer merupakan awal dari penyaluran tenaga listrik dari Gardu Induk (GI) ke konsumen untuk sistem pendistribusian langsung dan pendistribusian tak langsung. Tahap berikutnya, dari jaringan Transmisi untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Jaringan distribusi tegangan menengah memiliki tegangan sistem sebesar 20 kV. Untuk wilayah kota tegangan diatas 20 kV tidak diperkenankan mengingat pada tegangan 30 kV akan terjadi gejala yaitu penghantar tanpa isolasi apabila dalam satu penghantar terdiri dari loncatan elektron yang dapat menimbulkan suara desis pada jaringan tegangan menengah yang dapat mengganggu frekuensi radio, TV, telekomunikasi, dan telepon.

Sifat pelayanan sistem Distribusi sangat luas dan kompleks karena konsumen yang harus dilayani mempunyai lokasi dan karakteristik yang berbeda-beda. Jadi sistem Distribusi harus dapat melayani konsumen yang terkonsentrasi di kota, pinggiran kota dan di daerah terpencil. Sedangkan dari karakteristiknya, terdapat konsumen perumahan dan konsumen dunia industri. Sistem konstruksi saluran Distribusi terdiri dari saluran udara dan saluran bawah tanah. Pemilihan konstruksi tersebut didasarkan pada pertimbangan. Pertimbangannya adalah alasan teknis, alasan ekonomis, alasan estetika dan alasan pelayanan yaitu kontinuitas pelayanan sesuai jenis konsumen. Pada jaringan distribusi primer terdapat 4 jenis dasar yaitu:

### **1. Sistem Radial**

Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial. Dalam penyulang tersebut dipasang gardu-gardu distribusi untuk konsumen. Gardu distribusi adalah

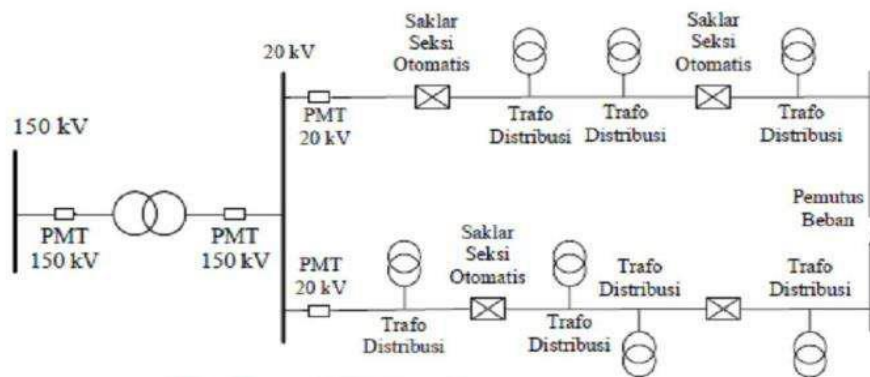
tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang. Jika dalam bangunan beton, gardu distribusi diletakkan diatas tiang. Keuntungan dari sistem ini adalah tidak rumit dan juga lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.



**Gambar 2.4 Konfigurasi Jaringan Radial**

## 2. Sistem Loop

Pada jaringan tegangan menengah struktur lingkaran (Loop), dimungkinkan pemasokannya dari beberapa Gardu Induk sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif baik. Keuntungan dari sistem Loop adalah dari segi keandalan.



**Gambar 2.5 Konfigurasi Jaringan Loop**

## 3. Sistem Spindel

Sistem spindel adalah gabungan pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (*feeder*) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk.



Tegangan tersebut berakhir pada sebuah gardu hubung (GH). Keuntungan dari sistem ini adalah *drop* tegangan dan rugi-rugi daya relatif kecil.



**Gambar 2.6 Konfigurasi Jaringan Spindel**

## 2.2 Sistem Pembumian atau Pentanahan

Sistem pembumian atau pentanahan mulai dikenal pada tahun 1900. Sebelumnya sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahan karena ukurannya kecil dan tidak membahayakan. Namun setelah sistem tenaga listrik berkembang semakin besar dengan tegangan yang semakin tinggi dan juga jarak jangkauan yang semakin jauh maka barulah diperlukan sistem pentanahan. Kalau tidak, hal-hal berbahaya dapat menimbulkan potensi bahaya listrik yang sangat tinggi. Berbahaya bagi manusia, peralatan dan sistem pelayanannya itu sendiri.

Sistem pembumian atau pentanahan adalah suatu tindakan pengamanan mentanahkan badan peralatan instalasi yang diamankan sehingga terjadi kegagalan isolasi (bertahannya tegangan sistem) karena terputusnya arus oleh alat-alat pengaman tersebut. Sistem jaringan tegangan menengah 20 kV sampai dengan 29 kV harus selalu diketanahkan karena kemungkinan terjadi kegagalan yang sangat besar

oleh tegangan lebih transien yang dikaitkan oleh busur tanah (*arcing grounds*). Ketentuan tahanan pembumian langsung ke tanah dan juga peralatan jaringan tegangan rendah secara menyeluruh maksimum 5 Ohm. Untuk trafo 50 kVA fasa tunggal atau 150 kVA fasa tiga, nilai tahanan pembumian maksimal 10 Ohm. Pembumian tidak membatasi arus gangguan tanah, karena itu diperlukan suatu pengamanan yang cepat.

Perilaku tahanan sistem pentanahan sangat tergantung pada frekuensi dari arus yang mengalir ke sistem pentanahan tersebut. Beberapa jenis kontur tanah mempengaruhi pemilihan jenis alat pentanahan dan perencanaan *grounding* sistemnya. Tanah liat, tanah sawah, tanah uruk tambak masing-masing memiliki nilai penangkal petir atau pentanahan netral sistem tenaga adalah berapa besar impedansi sistem pentanahan tersebut. Besar impedansi pentanahan tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor.

### **1. Faktor Internal**

- a. Dimensi konduktor pentanahan.
- b. *Resistivitas* (nilai tahanan) *relative* tanah.
- c. Konfigurasi sistem pentanahan.

### **2. Faktor Eksternal**

- a. Bentuk arusnya (*pulsa, sinusoidal, searah*).
- b. Frekuensi yang mengalir ke dalam sistem pentanahan.

Tindakan pengamanan harus dilakukan sebaik mungkin agar tegangan sentuh yang terlalu tinggi akibat dari kegagalan isolasi tidak terjadi dan dapat membahayakan manusia serta peralatan itu sendiri.

Sebagaimana dijelaskan dalam PUIL 200 (3.5.1.1) bahwasanya “tegangan sentuh tidak langsung dalam tegangan sentuh pada bagian konduktor terbuka (BKT) perlengkapan atau instalasi listrik yang menjadi bertegangan akibat kegagalan isolasi”. Untuk mengetahui nilai-nilai hambatan jenis tanah yang akurat harus dilakukan pengukuran secara langsung karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sederhana yang diperkirakan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik dilaksanakan maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan baik dan benar. Agar sistem pembumihan atau pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

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

### **2.2.1 Tujuan Sistem Pentanahan**

Secara umum, tujuan dari sistem pentanahan sebagai berikut:

- a) Menjamin keselamatan orang dari sengatan, baik dalam keadaan normal maupun tidak dari tegangan sentuh dan tegangan langkah.
- b) Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.

- c) Menyediakan jalur bagi aliran arus yang dapat memberikan deteksi terjadinya hubungan yang tidak dikehendaki antara konduktor sistem dan bumi.
- d) Menjamin kerja peralatan-peralatan listrik.
- e) Mencegah kerusakan peralatan-peralatan listrik.
- f) Menyalurkan energi serangan petir ke tanah.
- g) Menstabilkan tegangan saat terjadi gangguan.

### 2.2.2 Sistem Pentanahan Netral

Semakin berkembangnya sistem tenaga listrik dalam ukuran jarak (panjang) ataupun tegangan, maka bila terjadi gangguan fasa ke tanah arus gangguan yang timbul akan besar dan juga busur listrik tidak dapat padam dengan sendirinya. Timbulnya gejala busur listrik ke tanah (*arching ground*) sangat berbahaya karena menimbulkan tegangan lebih *transient* yang dapat merusak peralatan. Pentanahan netral dari sistem tenaga merupakan suatu keharusan pada saat ini, karena sistem sudah demikian besar dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pentanahan netral sistem tenaga ini dilakukan pada pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi. Oleh karena itu, pada saat sistem-sistem tenaga relatif mulai besar dan sistem-sistem itu diketanahkan melalui tahanan reaktansi. Pengetanahan itu umumnya dilakukan dengan menghubungkan netral transformator daya ke tanah. Tujuan dari sistem pentanahan titik netral adalah:

- a) Menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem.
- b) Membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu.

- c) Meningkatkan keandalan (*realibity*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik.
- d) Mengurangi/membatasi tegangan lebih *transient* disebabkan oleh penyalan bunga api yang berulang-ulang (*restrike ground fault*).
- e) Memudahkan dalam menentukan sistem proteksi serta memudahkan dalam menentukan lokasi gangguan.

Metode-metode pengetanahan netral dari sistem-sistem tenaga adalah:

### **1. Pengetanahan Melalui Reaktor (*Reactor Grounding*)**

Pengetanahan melalui reaktor digunakan apabila trafo daya tidak cukup membatasi arus gangguan tanah. Reaktor ini digunakan untuk memenuhi persyaratan dari sistem yang diketanahkan dengan reaktor dimana besar arus gangguan diatas 25% dari arus gangguan 3 phasa.

### **2. Pengetanahan Melalui Tahanan (*Resistance Grounding*)**

Pengetanahan melauai tahanan adalah suatu sistem yang mempunyai titik netral dihubungkan dengan tanah melalui tahanan. Maksud pengetanahan ini adalah membatasi arus gangguan ke tanah antara 10% sampai 25% dri arus gangguan 3 phasa batas yang paling bawah adalah batas minimum untuk dapat bekerjanya rele gangguan tanah sedangkan batas atas adalah untuk membatasi bayaknya panas yang hilang pada waktu terjadinya gangguan. Pada umumnya nilai pentanahan lebih tinggi dari pada reaktansi sistem pada tempat dimana tahanan itu dipasang. Sebagai akibatnya, arus gangguan fasa ke tanah pertama-tama dibatasi oleh tahanan itu sendiri.

Memilih harga tahanan yang tepat maka arus gangguan ketanah dapat dibatasi sehingga harganya hampir sama bila gangguan terjadi disegala tempat dalam sistem bila tidak terdapat titik pentanahan lainnya. Dalam menentukan nilai tahanan pentanahan akan menentukan besarnya arus gangguan tanah.

Keuntungan:

- a. Besar arus gangguan tanah dapat diperkecil.
- b. Bahaya *gradient voltage* lebih kecil karena arus gangguan tanah kecil.
- c. Mengurangi kerusakan peralatan listrik akibat arus gangguan yang melaluinya.

Kerugian:

- a. Timbulnya rugi-rugi daya pada tanahan pentanahan selama terjadinya gangguan fasa ke tanah.
- b. Karena arus gangguan ke tanah relatif kecil maka kepekaan rele pengaman menjadi berkurang dan lokasi gangguan tidak cepat diketahui.

### 3. Pengetanahan Tanpa Impedansi (*Solid Grounding*)

Sistem pentanahan langsung adalah dimana titik netral sistem dihubungkan langsung dengan tanah tanpa memasukkan harga suatu impedansi. Pada sistem-sistem yang diketanahan tanpa impedansi, bila terjadi gangguan tanah selalu mengakibatkan terganggunya saluran (*line outage*) yaitu gangguan itu harus diisolir dengan membuka pemutus daya. Salah satu tujuannya adalah untuk membatasi tegangan dari fasa-fasa yang tidak terganggu bila terjadi gangguan fasa ke tanah.

Keuntungan:

- a. Tegangan lebih dari fasa-fasa yang tidak terganggu relatif kecil.
- b. Kerja pemutus daya untuk melokalisir lokasi gangguan dapat dipermudah sehingga letak gangguan cepat diketahui.
- c. Sederhana dan murah dari segi pemasangan.

Kerugian:

- a. Setiap gangguan fasa ke tanah selalu mengakibatkan terputusnya daya.
- b. Arus gangguan ke tanah besar sehingga akan dapat membahayakan makhluk hidup didekatnya dan juga peralatan listrik yang dilaluinya.

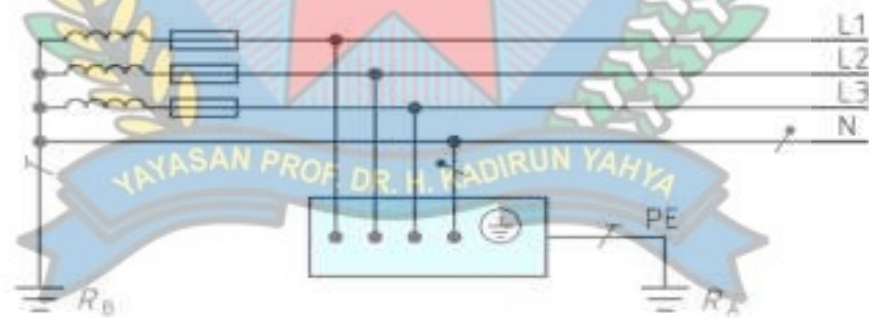
#### 4. Pengetanahan dengan Kumbaran Petersen (*Resonant Grounding*)

Pengetanahan dengan kumbaran Petersen ialah untuk menghubungkan titik netral trafo daya dengan suatu tahanan yang nilainya dapat berubah-ubah.

Kumbaran Petersen berfungsi untuk memberi arus induksi (IL) yang mengkompensir arus gangguan sehingga arus gangguan itu kecil sekali dan tidak membahayakan peralatan listrik yang dilaluinya. Arus gangguan ke tanah yang mengalir pada sistem sedemikian Pada saat ini pemasangan pembumian pada titik netral dari sistem tenaga listrik merupakan suatu keharusan, karena sistem dengan jangkauan yang luas dan tegangan yang tinggi. Pembumian titik netral dilakukan pada alternator pembangkit listrik dan transformator daya pada gardu-gardu induk dan gardu-gardu distribusi. Jenis-jenis skema pembumian (*Grounding*) netral sistem daya. Berikut jenis-jenis sistem pembumian netral:

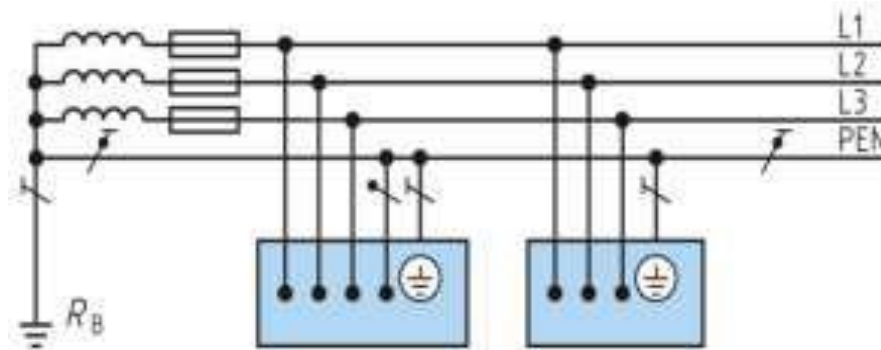
a. TT (*Terra-Terra*) System: Saluran (kabel) Tanah

Untuk sistem ini, bagian titik netral disambungkan langsung ke tanah namun bagian-bagian pada instalasi yang konduktif disambungkan ke elektroda pbumian (*Ground*) yang berbeda. Pada gambar dibawah, dapat terlihat bahwa pbumian peralatan dilakukan melalui sistem pbumian yang berbeda dengan pbumian titik netral. Sistem ini juga untuk konsumen harus menyediakan koneksi ke bumi yaitu dengan memasang elektroda bumi yang cocok.



**Gambar 2.7 System TT (*Terra-Terra*)**

b. TN-C (*Terra Neutral-Combined*): Kabel *Ground* (tanah) dan Netral Disatukan



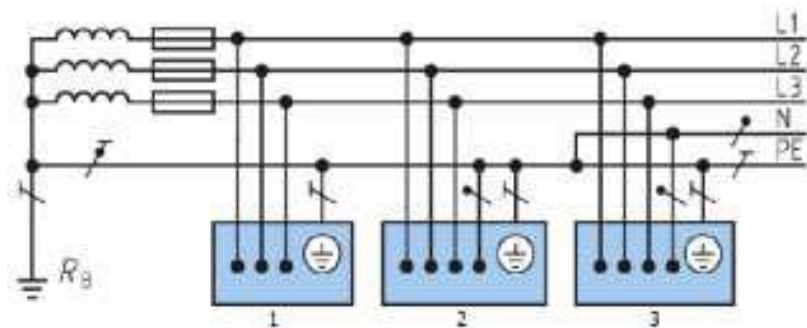
**Gambar 2.8 System TN-C (*Terra Neutral-Combined*)**



Pada sistem ini, bagian netral dan bagian saluran pengaman disatukan secara keseluruhan. Bagian netral ini digunakan sebagai konduktor pelindung dan juga gabungan antara netral dengan konduktor PEN. Untuk mengurangi dampak terhadap peralatan dan makhluk hidup, maka konduktor PEN harus terhubung kesejumlah batang elektroda untuk pentanahan.

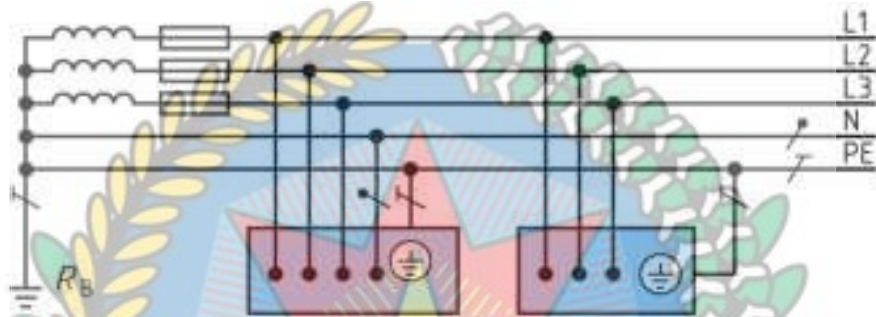
c. TN-C S (*Terra Neutral-Combined-Separated*): Kabel Tanah dan Netral Dapat Disatukan Juga ada yang Dipisahkan

Pada sistem ini, saluran netral dan saluran pengaman dijadikan menjadi satu saluran pada sebagian sistem dan terpisah pada sebagian sistem lainnya dan saluran netral dari perlatan distribusi utama yang terhubung ke pentanahan pada jarak tertentu yang menuju konsumen. Sistem ini juga, konduktor netral berfungsi juga untuk mengembalikan arus gangguan pentanahan kembali ke sumber listrik. Pada gambar dibawah, bahwa bagian sistem 1 dan 2 mempunyai satu hantaran PEN (*combined*) sedangkan sistem 3 menggunakan dua kabel hantaran yaitu Netral dan PE secara terpisah.



**Gambar 2.9** System TN-C S (*Terra Neutral-Combined-Separated*)

- d. TN-S (*Terra Neutral-Separated*): Saluran (Kabel) Tanah dan Netral Dipisahkan



**Gambar 2.10 System TN-S (*Terra Neutral Seperated*)**

Pada sistem ini, saluran netral dan saluran pengaman terdapat pada sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, semua sistem mempunyai dua saluran N dan PE secara sendiri (*separated*). Tipe ini cocok pada instalsi yang dekat dengan sumber energi listrik seperti pada konsumen besar. Sistem pentanahan dengan Kumparan Petersen ini mempunyai kelemahan yaitu sulit mengalokalisir gangguan satu fasa ke tanah yang bersifat permanen bagian memakan waktu yang lama. Gangguan hubung singkat yang permanen itu dapat mengganggu bagian sistem yang lainnya.

Keuntungan:

- Arus gangguan dapat dibuat sehingga tidak berbahaya bagi makhluk hidup.
- Kerusakan peralatan sistem dimana arus gangguan mengalir dapat dihindari.
- Sistem dapat terus beroperasi meskipun terjadi gangguan fasa ke tanah.

Kerugian:

- a. Rele gangguan tanah (*ground fault relay*) susah dilaksanakan karena arus tanah relatif kecil.
- b. Tidak dapat menghilangkan gangguan fasa ke tanah yang menetap (permanen) pada sistem.
- c. Operasi Kumputan Petersen harus selalu diawasi bila ada perubahan pada Kumputan Petersen harus disetel (*turning*) kembali.

### 2.2.3 Konstruksi dan Prinsip Kerja

Prinsip kerja sistem pentanahan, bisa dijelaskan sebagai berikut:

- a) Bila terjadi sambaran petir, dapat mengurangi terjadinya kerusakan.
- b) Bisa menjaga lonjakan terjadinya lonjakan listrik.
- c) Membatasi besarnya tegangan terhadap bumi agar berada dalam batasan yang diperbolehkan.

Konstruksi sistem pentanahan secara garis besar terdiri dari 2 bagian yaitu, hantaran penghubung dan elektroda pentanahan.

#### 1. Hantaran Penghubung

Hantaran penghubung adalah suatu saluran penghantar (*conductor*) yang menghubungkan titik kontak pada badan atau kerangka peralatan listrik dengan elektroda bumi. Fungsi hantaran penghubung adalah untuk menyalurkan arus gangguan ke elektroda pada sistem pentanahan. Penghantar yang digunakan dapat berupa isolasi atau kabel dan juga yang tidak berisolasi seperti BC (*Bare Conductor*), ACSR (*Aluminium Conductor*

*Steel Reinforced*). Bahan yang digunakan kebanyakan terbuat dari aluminium dan tembaga. Dalam hal pentanahan, peralatan sering digunakan penghantar dengan tembaga atau BC.

## 2. Elektroda Pentanahan

Yang dimaksud dengan elektroda pentanahan adalah sebuah atau sekelompok penghantar yang ditanam dalam bumi dan mempunyai kontak yang erat dengan bumi dan menyertai hubungan listrik dengan bumi. Elektroda pentanahan tertentu sedemikian rupa dalam tanah berupa elektroda pita, logam, batang konduktor, pipa, air minum dari tulang besi beton pada tiang pancang. Untuk mendapatkan harga resistansi pentanahan yang serendah mungkin harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain:

- a) Resistansi elektroda pentanahan harus lebih kecil dari pada harga yang direkomendasi dalam PUIL 2000 Pasal 3.13.2.10, dijelaskan bahwa standar nilai resistansi pembumian yang baik adalah tidak melebihi 5 Ohm (nilai resistansi total seluruh sistem).
- b) Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat mekanis yang baik.
- c) Elektroda pentanahan harus mampu dialiri arus hubung singkat tersebar.
- d) Elektroda pentanahan harus mempunyai sifat kimia yang baik sehingga tidak mudah mengalami korosi.

Antara hantaran penghubung dan elektroda pentanahan harus dipasang sambungan yang dapat dilepas untuk keperluan pengujian resistansi pembumian sehingga penempatan sambungan tersebut harus pada tempat yang mudah dicapai.

Sambungan hantaran penghubung ini dengan elektroda harus kuat secara mekanis dan menjamin hubungan listrik dengan menggunakan penyambungan las, klem atau baut kunci yang mudah lepas. Klem pada elektroda harus menggunakan baut dengan diameter minimal 10 mm<sup>2</sup>. Selain faktor diatas yang perlu diperhatikan juga harus dilindungi dari korosi sehingga daya tahan untuk sistem pentanahannya bisa terjamin.

### **2.3 Gardu Induk**

Gardu Induk adalah stasiun sistem Tranmisi atau penyaluran tenaga listrik. Gardu Induk ini tidak dapat dipisahkan dari sistem Tranmisi. Gardu Induk juga dapat diibaratkan sebagai terminal atau stasiun Transmisi, dimana tegangan listrik dapat diatur apabila tegangan turun.

#### **2.3.1 Fungsi Gardu Induk**

Gardu Induk memang memegang peranan penting dalam sistem Tranmisi dari pembangkit ke konsumen. Berikut beberapa fungsi yang dimiliki oleh Gardu Induk:

- a) Mentransformasikan tegangan, dimana Gardu Induk bisa menaikkan dan juga menurunkan tegangan.
- b) Sarana telekomunikasi.
- c) Mengatur aliran listrik dari satu Tranmisi ke Transmisi lain, dan kemudian didistribusikan kepada konsumen.
- d) Mengatur pelayanan beban ke Gardu Induk lain sekaligus ke Gardu Distribusi.
- e) Media untuk menurunkan dan mengubah tegangan tranmisi menjadi tegangan distribusi.

Dari beberapa fungsi diatas, fungsi utama dari Gardu Induk adalah untuk mentransformasikan tegangan dari pembangkitan. Hal ini karena transmisi daya membutuhkan tenaga yang besar sedangkan pembangkit hanya dapat membangkitkan listrik sekitar 6 – 20 kV. Tegangan yang ditransfomasikan oleh Gardu Induk adalah sebagai berikut:

- a) Tegangan ekstra ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV).
- b) Tegangan tinggi ke tegangan rendah (150 kV/70 kV).
- c) Tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV atau 70 kV /20 kV).
- d) Frekuensi tetap, di Indonesia sekitar 50 Hz.

Jadi agar tidak mengalami rugi-rugi daya atau *drop*, maka tegangan harus dinaikkan. Setelah menggunakan tegangan tinggi saat tranmisi, tegangan tersebut akan kembali dibuat standar saat didistribusikan kepada konsumen.

### 2.3.2 Cara Kerja Gardu Induk

Jaringan listrik adalah elemen penting dalam pembangkitkan listrik, sistem Tranmisi serta sistem distribusi. Proses tenaga listrik dinaikkan dan diturunkan memerlukan Gardu Induk sedangkan untuk proses penurunan tegangan dari distribusi ke konsumen memerlukan Gardu Distribusi. Dengan mengubah tingkat frekuensi, tegangan dan jumlah listrik yang diperlukan dapat diubah di Gardu Induk untuk memasok listrik ke pelanggan. Sebuah Gardu Induk dikategorikan menjadi berbagai jenis seperti: terpasang ditiang, dalam ruangan, luar ruangan, konverter, distribusi, tranmisi dan gardu *switching*.

Dari jaringan tegangan tinggi yang diterima *Arrester* pada sisi input disetiap phasa akan melewati alat pengaman yang harus dipasang seperti tabung pengaman. CB (*Circuit Breaker*) kemudian masuk ke DS dan ke dalam Bus Bar dan melewati ke satu DS lagi. Kemudian melewati CB lagi dan diterima *Arrester* kemudian masuk ke transformator *step down*. Setelah keluar dari transformator yang menuju ke tabung pelindung atau sela batang dan juga melewati *Arrester*, kemudian ke CB dan disisi output dilanjutkan ke jaringan tegangan menengah. Dalam beberapa kasus seperti pembangkit listrik tenaga panas, beberapa pembangkit listrik tenaga air dan sistem pembangkit listrik angin dapat melihat gardu kolektro (pengumpul) yang dapat berguna untuk transfer daya dan beberapa turbin di satu-satunya unit tranmisi.

### 2.3.3 Jenis-jenis Gardu Induk

#### 1. Berdasarkan Tegangan

##### a. Gardu Induk Tranmisi

Gardu Induk ini adalah gardu induk yang daya dari saluran tranmisi dan kemudian disalurkan ke daerah beban. Gardu induk ini meliputi tegangan tinggi 150 kV dan tegangan tinggi 30 kV.

##### b. Gardu Induk Distribusi

Gardu Induk ini adalah gardu induk yang menerima tenaga dari Gardu Induk transmisi untuk kemudian diturunkan menjadi tegangan rendah yang sesuai kebutuhan.

#### 2. Berdasarkan Pemasangan Peralatan

##### a. Gardu Induk Pasang Luar

Jenis ini disebut juga dengan Gardu Induk Konvensional dimana seluruh komponen diletakkan diluar gedung kecuali sistem proteksi, komponen kontrol, sistem kendali dan komponen bantu lainnya (Suryana 2010).

b. Gardu Induk Pasang Dalam

Jenis ini disebut juga dengan Gas Insulated Substation dimana seluruh komponen berada di dalam gedung kecuali transformator daya.

c. Gardu Induk Kombinasi

Gardu induk gabungan adalah gardu induk di mana komponen-komponen tertentu dari *switchgear* terletak di dalam dan di luar gedung, dan transformator terletak di luar gedung.

d. Gardu Induk Pasang Bawah Tanah

Tipe ini biasanya terletak di pusat kota. Karena tanah tidak cukup, semua peralatan dipasang di struktur bawah tanah kecuali pendingin. Biasanya, trafo dipasang di bawah tanah, dan peralatan lainnya dipasang di atas tanah.

### 3. Berdasarkan Rel (*Busbar*)

Rel (bus bar) merupakan titik pertemuan dimana trafo, SUTT, SKTT dan peralatan listrik lainnya dapat menerima dan menyalurkan listrik. Dibagi menjadi , yaitu:

a. Gardu Induk dengan sistem *ring busbar*

Ini adalah gardu induk dengan ring busbar, yaitu semua busbar (batang) yang ada terhubung satu sama lain dan membentuk ring/loop.

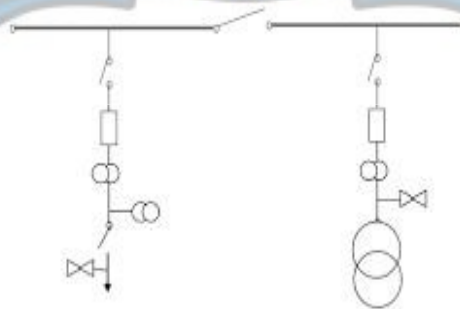




**Gambar 2.11 Gardu Induk dengan Sistem *Ring Busbar***

b. Gardu Induk dengan sistem *single busbar*

Gardu Induk dengan hanya satu busbar (sederhana). Pada umumnya gardu induk dengan sistem ini adalah gardu induk di ujung atau ujung saluran transmisi.



**Gambar 2.12 Gardu Induk dengan Sistem *Single Busbar***

c. Gardu Induk dengan sistem *double busbar*

Sebagai gardu induk dengan dua busbar (ganda) Sistem ini sangat umum dan hampir semua gardu induk menggunakan sistem ini karena sangat

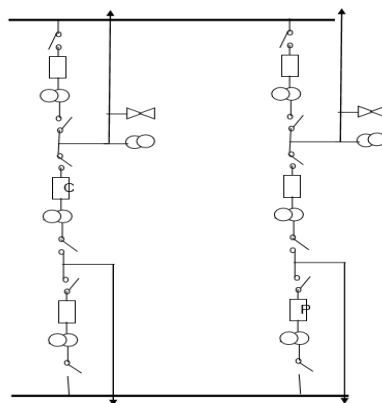
efektif dalam mengurangi penurunan tekanan saat mengganti sistem (sistem manajemen).



**Gambar 2.13 Gardu Induk dengan Sistem *Double Busbar***

d. Gardu Induk dengan satu setengah busbar (*one half busbar*)

Sebagai gardu induk juga terdapat dua busbar (ganda). Pembuatan gardu induk dan gardu induk yang sangat besar menggunakan sistem ini karena sangat efisien dalam hal pengoperasian dan dapat mengurangi beban pada saat modifikasi sistem (manuver sistem). Sistem ini menggunakan 3 PMT pada diagonal yang dihubungkan secara seri.



**Gambar 2.14 Gardu Induk dengan Sistem *One Half Busbar***

## 2.4 Gardu Induk Paya Geli

Gardu Induk Paya Geli ini salah satu kompleks PLN. Di Gardu Induk Paya Geli terdapat:

- a. Pemutus Tenaga (PMT)
- b. Pemisah (PMS)
- c. Transformator
- d. *Netral Grounding Resistor* (NGR)

Yaitu alat bantu untuk pengamanan peralatan trafo tenaga bila terjadi hubung singkat pada sistem sekunder.

- e. *Vektor Group*

Yaitu hubungan kumparan tiga fasa sisi primer, sekunder dan tertier.

### 2.4.1 Pemutus Tenaga (PMT)

Pemutus tenaga (circuit breaker) adalah suatu alat yang dipasang pada suatu gardu induk yang mempunyai fungsi menghubungkan dan memutuskan arus beban atau arus gangguan. Pemutus sirkuit (PMT) ini juga merupakan pemutus sirkuit listrik yang mampu membuka dan menutup suatu sirkuit listrik dalam kondisi tertentu. “Peralatan PMT ini sudah dilengkapi dengan rele proteksi arus lebih (*Over Current Relay*) dan dapat difungsikan sebagai alat pembatas beban” (PT PLN, 2010:08). Pada waktu menghubungkan atau memutus beban akan terjadi tegangan *recovery* yaitu suatu fenomena tegangan lebih dan busur api.

### 2.4.1.1 Jenis Isolasi Pemutus Tenaga

Pemadaman busur api listrik saat pemutusan atau penghubung arus beban atau gangguan dapat dilakukan oleh beberapa macam bahan yaitu diantaranya:

#### 1. Gas

Medium gas yang digunakan dalam PMT ini adalah SF<sub>6</sub> (Sulfur hexafluoride). Karakteristik gas SF<sub>6</sub> murni adalah tidak berwarna, tidak berbau, tidak beracun dan tidak mudah terbakar. Pada suhu di atas 150 °C, gas SF<sub>6</sub> memiliki sifat non-destruktif untuk logam, plastik dan berbagai material yang biasa digunakan pada pemutus sirkuit tegangan tinggi. Sebagai isolator, gas SF<sub>6</sub> memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi (2,35 kali lipat dari udara) dan kekuatan dielektrik ini meningkat dengan meningkatnya tekanan. Sifat lain dari gas SF<sub>6</sub> adalah dapat mengembalikan kekuatan dielektrik. PMT dengan fungsi interupsi menggunakan SF<sub>6</sub> ada dua jenis, yaitu:

- a) Jenis tekanan ganda, gas sistem tekanan tinggi mengalir melalui nosel ke gas sistem tekanan rendah selama penghentian busur.
- b) Tipe tekanan tunggal, gas SF<sub>6</sub> dengan tekanan sekitar 5 kg/cm<sup>2</sup>. Gas SF<sub>6</sub> dipaksa masuk ke dalam silinder. Setelah pemutusan, gas SF<sub>6</sub> dipaksa melalui nozzle dan trik ini membunuh busur.

#### 2. Udara

PMT ini menggunakan udara sebagai pemecah api dengan cara meniupkan udara ke dalam ruang pemutus arus. PMT ini disebut Air Blast PMT (*Air Jet Cutter*) dan juga dikenal sebagai Pneumatic Rock Breaker. Udara bertekanan

tinggi dihembuskan ke busur melalui nosel di atas kontak pemisah ion di tengah antara kontak yang ditutup oleh aliran udara yang ditiup. Setelah fungsi pencegahan membatasi tegangan (ke tegangan). Kontak PMT terletak di dalam isolator serta katup udara *blow-off*.

### 3. *Vacuum Circuit Breaker* (Hampa Udara)

Kontak pemutus dari PMT ini terdiri dari kontak tetap dan kontak bergerak yang ditempatkan dalam ruang hampa. Vakum ini memiliki kekuatan dielektrik yang tinggi dan merupakan cara yang baik untuk pemadaman busur. PMT tanpa beban terutama digunakan untuk tegangan menengah dan masih dalam pengembangan hingga tegangan 36 kV. Celah antara kedua katoda adalah 1 cm untuk 15 kV dan untuk setiap kenaikan 3 kV, beda potensial meningkat sebesar 0,2 cm. Untuk pemutus sirkuit vakum tekanan tinggi, jenis PMT ini digunakan secara seri. Ruang kontak utama (*cutting chamber*) terbuat dari bahan seperti porselen, kaca atau pelat baja kedap udara. Ruang kontak utama tidak dapat dipertahankan, dan umur kontak utama adalah sekitar 20 tahun. Karena tegangan dielektrik yang tinggi, bentuk fisik dari PMT jenis ini relatif kecil.

### 4. Minyak

Pemutus sirkuit minyak adalah pemutus sirkuit atau pemutus sirkuit yang menggunakan minyak sebagai agen pemadam busur listrik yang dihasilkan ketika arus terputus. Pemutus sirkuit oli digunakan dari tegangan menengah 20 kV sampai tegangan tinggi 25 kV dengan arus nominal 00 A sampai 1250 A dengan arus putus simetris 12 kA sampai 50 kA. Dalam PMT ini, oli

berfungsi sebagai pengatur percikan api selama pemutusan kontak dan sebagai bahan isolasi antara bagian aktif dan bodi.

a. PMT dengan menggunakan Banyak Minyak (*Bulk Oil*)

PMT tipe ini ada yang mempunyai alat pembatas busur api listrik dan ada pula yang tidak memakainya.



**Gambar 2.15** PMT dengan menggunakan *Bulk Oil*

b. PMT dengan menggunakan Sedikit Minyak (*Low Oil Content Circuit*

*Breaker*). PMT ini hanya boleh digunakan sebagai alat penyalaan bunga api saat isolasi dengan bagian yang berlawanan, porselen atau bahan isolasi organik yang digunakan. Pada jaringan P3B PLN (Persero) terdapat beberapa merk dan tipe oil breaker yaitu :

- a) *Alsthom*
- b) *Margini Galileo*
- c) *Merlin Gerin*
- d) *Westinghouse*

Pada prinsipnya pemutus sirkuit oli sama, tetapi dispesifikasikan bahwa pemutus sirkuit merek ASEA tipe HLR masih banyak dioperasikan di wilayah kerja PLN P3B.

#### 2.4.1.2 Jenis Penggerak Pemutus Tenaga

Mekanis penggerak PMT dengan menggunakan pegas (*spring*) terdiri dari 2 macam:

- a) Pegas pilin (*helical spring*)
- b) Pegas gulung (*scroll spring*)

Untuk proses pembebanan pegas (*spring loader*) biasanya dilengkapi dengan motor penggerak. Motor akan menggerakkan roda bantu ke batang pegas melalui roda perantara yang dihubungkan oleh 2 rantai. Rotasi roda bantu menyebabkan pengisian (peregangan) pegas penutup. Ketika pegas tutup diisi (diregangkan) hingga batas maksimum, mesin akan berhenti.

#### 1. Proses Penutup PMT (*Closing of Breaker*)

Dengan menerapkan arus boost pada koil penutup atau menekan tombol tekan, sambungan antara lengan pengunci dan pin pengunci dilepaskan sehingga batang pegas juga akan terlepas dan pegas tutup akan terlepas. Tautan pada batang pegas menggerakkan giroskop sehingga berputar sepanjang batang penopang pada sudut  $120^\circ$  dan menutup PMT melalui batang pemecah dan pada saat yang sama pegas pelatuk terisi. Motor kemudian secara otomatis menggerakkan roda umpan kembali untuk input listrik berikutnya.

## 2. Proses Pembukaan PMT (*Tripping of Breaker*)

Dengan menerapkan arus boost ke koil perjalanan atau dengan menggunakan dasar dorong, ia melepaskan koneksi antara tuas pengunci dan zona bantalan dan akhirnya memasuki jalur alur berhenti. Girooskop didorong oleh area pendukung dan menyebabkan pegas pemicu terlepas, menggerakkan batang PMT sehingga PMT dipicu dan area pendukung kembali ke posisi semula.

### 2.4.2 Pemisah (PMS)

Pemisah (PMS) adalah suatu alat untuk memisahkan tegangan pada peralatan instalasi tegangan tinggi. “Pemisah hanya dapat dioperasikan dalam keadaan tidak berbeban” (PT PLN, 2010:08). Pemisah (PMS) ini dapat dibuka ataupun ditutup dengan rangkaian yang tidak berbeban. Ada 2 macam fungsi PMS yaitu:

#### a. Pemisah Tanah (Pisau Pentanahan)

Berfungsi untuk menghilangkan atau mentanahkan tegangan yang timbul sesudah saluran tegangan tinggi diputuskan atau induksi. Hal ini perlu untuk keamanan bagi orang-orang yang bekerja pada instalasi.

#### b. Pemisah Peralatan

Berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban.

#### 2.4.2.1 Parameter PMS

Amplitudo parameter dapat dibaca pada papan nama yang terkait dengan PMS. Parameter yang terkait dengan mekanik aktuator juga tekanan



pneumatik (ketika penggerak pneumatik digunakan) dan tekanan oli hidrolik (ketika gaya dorong hidrolik digunakan).

### **1. Kemampuan Mengalirkan Arus (Arus Nominal = Ampere)**

Daya dukung arus ditentukan oleh dimensi penampang kedua batang, sehingga bidang kontak kedua batang sangat besar.

### **2. Kemampuan Tegangan (Rating Tegangan = kV)**

Tegangan operasi PMS dapat dilihat dari resistansi isolasi. Semakin besar panjang atau tinggi isolator penyangga yang dibutuhkan.

### **3. Kemampuan Menahan Arus Hubung Singkat (KA : Kilo Ampere)**

Dalam hal terjadi hubung singkat, dimana arus hubung singkat dua kali arus pengenal dan untuk waktu singkat (detik), PMS harus mampu bertahan dalam batas yang diijinkan.

#### **2.4.2.2 Jenis-Jenis Pemisah**

##### **1. Pemisah Engsel**

Pemisah ini gerakannya seperti engsel. PMS ini biasa dipakai untuk tegangan menengah (6 kV – 20 kV).

##### **2. Pemisah Putar**

Dalam hal terjadi hubung singkat, dimana arus hubung singkat dua kali arus pengenal dan untuk waktu singkat (detik), PMS harus mampu bertahan dalam batas yang diijinkan.

### 3. Pemisah Siku

Pemisah ini tidak mempunyai kontak diam dan hanya terdapat 2 kontak gerak yang gerakannya sudut  $90^\circ$ . Model saklar pemisah ini biasanya di letakkan di luar Gardu Induk.

### 4. Pemisah Luncur

PMS ini gerakan kontakanya *vertical* atau mendatar dan banyak dioperasikan pada instalasi 20 kV. Model saklar pemisah ini biasanya berada di dalam kubikel dengan peralatan-peralatan yang lain di letakkan di dalam Gardu Induk.

### 5. Pemisah *Pantograph*

PMS ini memiliki kontak tetap yang terletak di rel dan kontak bergerak yang terletak di ujung lengan pantograf. Tipe ini tersedia pada sistem tegangan 500 kV.

#### 2.4.2.3 Tenaga Penggerak PMS

##### 1. Secara Manual

Operasi PMS ini mendorong atau memasukkan secara manual dengan memutar atau menggerakkan lengan yang terpasang secara permanen.

##### 2. Dengan Motor

Motor penggerak ini dipasang pada kotak mekanis di mana kotak harus bersih. Perawatan rutin dilakukan untuk kebersihan terminal, kontak dan pelumasan poros (roda gigi).

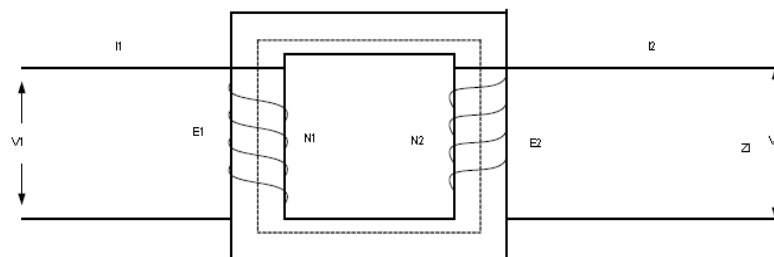
### 3. *Pneumatik* (Tekanan Udara)

Tekanan udara dapat diperoleh dari kompresor udara sentral yang terpasang dalam rumah kompresor.

#### 2.5 Transformator

Transformator adalah perangkat yang dapat mentransmisikan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya melalui kopling magnetik. Transformator banyak digunakan, baik dalam bidang kelistrikan maupun elektronik. Transformator satu fasa memiliki satu masukan dan satu keluaran. Sisi input disebut sisi primer dan sisi output disebut sisi sekunder. Trafo tiga fasa memiliki tiga sisi masukan dan tiga sisi keluaran. Transformator tiga fasa dapat dibangun dari tiga transformator fasa tunggal atau dari transformator tiga fasa konduktor tunggal.

Pada umumnya transformator memiliki dua sisi belitan yaitu sisi primer ( $N_1$ ) dan sisi sekunder ( $N_2$ ), seperti terlihat pada gambar 2.16 di bawah ini, dimana jika tegangan pada sisi primer lebih besar dari pada sisi sekunder, ini adalah disebut transformator langkah. Sebaliknya, jika tegangan pada sisi sekunder lebih besar dari pada sisi primer, disebut transformator step-up.



**Gambar 2.16 Transformator**

Keterangan gambar:

$N_1$  = Jumlah lilitan sisi primer

$N_2$  = Jumlah lilitan sisi sekunder

$V_1$  = Tegangan input (volt)

$V_2$  = Tegangan output (volt)

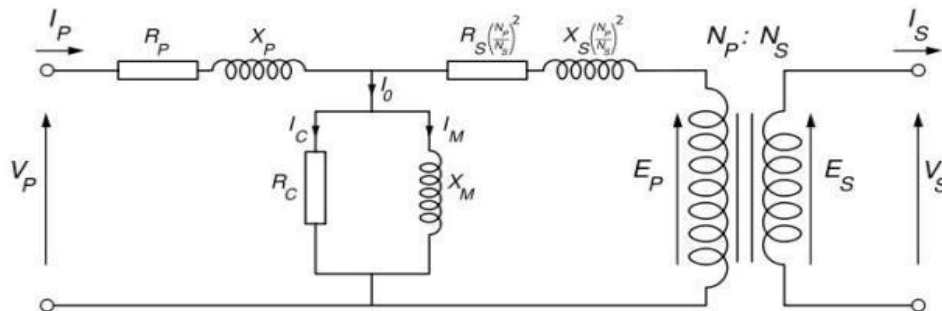
$E_1$  = GGL efektif sisi primer (volt)

$E_2$  = GGL efektif sisi sekunder (volt)

$\phi$  = Fluksi magnet.

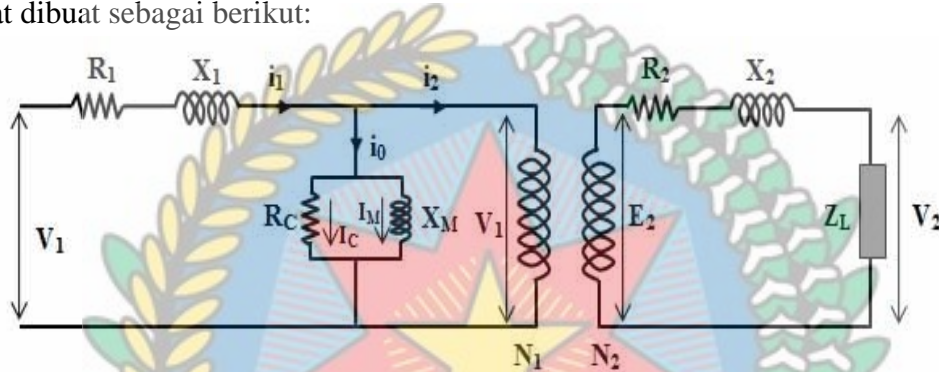
### 2.5.1 Prinsip Kerja Transformator

Pada umumnya transformator memiliki dua sisi belitan yaitu sisi primer ( $N_1$ ) dan sisi sekunder ( $N_2$ ), seperti terlihat pada gambar 2.17 di bawah ini, dimana jika tegangan pada sisi primer lebih besar dari pada sisi sekunder, ini adalah disebut transformator Langkah (Dedi Kongah 2014). Sebaliknya, jika tegangan pada sisi sekunder lebih besar dari pada sisi primer, disebut transformator step-up. Secara umum, rangkaian pengganti sebuah transformator adalah sebagai berikut:



**Gambar 2.17 Rangkaian Pengganti Transformator**

Ketika semua parameter sekunder dinyatakan dalam harga jaringan primer, harga harus dikalikan dengan faktor  $a^2$  di mana  $a = E_1 / E_2$ . Rangkaian trafo ekivalen dapat dibuat sebagai berikut:



**Gambar 2.18 Rangkaian Ekivalen Transformator**

## 2.5.2 Peralatan Pengukur

Adapun peralatan pengukur terdiri dari:

### 1. Transformator Tegangan (*Potential Transformator/PT*)

Fungsinya untuk mengubah besaran tegangan tinggi menjadi tegangan rendah untuk pengukuran atau proteksi dan isolasi antara sisi tegangan yang akan diukur atau untuk melindungi alat ukur atau proteksi. Beban tersebut merupakan beban dari trafo tegangan (PT). Untuk pemasangan internal pair, biasanya dipasang trafo tegangan di dalam lemari pengukuran. Ada 2 jenis trafo tegangan, yaitu:

#### a. Trafo tegangan magnetik

Prinsip kerjanya seperti trafo daya. Meskipun demikian rancangannya berbeda didalam beberapa hal seperti:

- Kapasitasnya kecil (10 VA – 150 VA).
- Faktor ratio dan sudut fasa trafo tegangan sisi primer dan tegangan sekunder dirancang sedemikian rupa agar faktor kesalahan menjadi kecil.
- Salah satu ujung kumparan tegangan tinggi selalu diketanahkan.
- Trafo tegangan kutub tunggal yang dipasang pada jaringan tiga fasa disamping belitan pengukuran. Biasanya dilengkapi lagi dengan belitan tambahan yang digunakan untuk mendeteksi arus gangguan tanah.

b. Trafo tegangan kapasitif

Untuk alasan ekonomi, transformator tegangan menggunakan pembagi kapasitor daripada transformator tegangan induktif. Kerugian utama dari transformator kapasitif adalah variasi tegangan induktor tidak linier, sehingga menghasilkan osilasi resonansi yang menyebabkan pembangkitan tegangan dan panas yang cukup besar yang akan mempengaruhi hasil indikasi tegangan.

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

Fungsinya untuk mengubah arus tinggi menjadi arus rendah untuk pengukuran dalam batas-batas alat ukur dan juga untuk melindungi dan mengisolasi rangkaian sekunder dari sisi primer. Faktor yang harus diperhitungkan saat memasang trafo arus adalah tingkat akurasi dan nilai

pengenal CT. Konstruksinya sama dengan transformator tegangan. Trafo arus pasangan eksternal memiliki konstruksi yang lebih besar atau lebih kokoh daripada konstruksi pasangan internal yang biasanya telah dirakit sebelumnya (digandengkan) di lemari pengukuran. Trafo arus juga diperlukan untuk pengukuran daya dan energi, relai proteksi, dan telemetri.

### 3. Transformator Bantu (*Auxiliary*)

Trafo bantu adalah trafo yang digunakan untuk membantu pengoperasian seluruh gardu induk. Oleh karena itu, sumber suplai utama untuk alat bantu seperti motor tiga fasa digunakan sebagai pompa sirkulasi oli transformator dan motor kipas pendingin. Yang terpenting adalah menyediakan daya cadangan seperti daya DC sebagai sumber utama jika terjadi gangguan dan sebagai daya proteksi agar proteksi tetap beroperasi meskipun daya AC tidak tersedia.

Trafo bantu sering juga disebut sebagai trafo yang berdiri sendiri, karena selain fungsi utama menyuplai peralatan bantu dan menyuplai/menyimpan arus searah (baterai), juga digunakan untuk penerangan, power supply hingga sistem pemanas resirkulasi. di ruang baterai dan merupakan sumber untuk mengontrol pendingin (AC). Perlindungan menggunakan peralatan elektronik (digital) membutuhkan suhu lingkungan antara  $20^{\circ}\text{C}$  dan  $28^{\circ}\text{C}$ . Untuk mengoptimalkan distribusi daya transformator bantu, beban harus didistribusikan, masing-masing dengan proteksi dayanya masing-masing. (M.Srinivasan 2012).

Ada juga pentanahan peralatan. Pentanahan peralatan adalah pentanahan bagian dari peralatan yang pada kerja normalnya tidak dilalui arus. yang dimaksud peralatan disini adalah bagian-bagian yang bersifat konduktif yang pada keadaan normal tidak bertegangan seperti bodi transformator, bodi PMT, bodi PMS, bodi motor listrik, dudukan baterai dan sebagainya. Pentanahan peralatan hal yang sangat penting baik pada pembangunan Gardu Induk, pusat-pusat listrik, industri-industri dan juga rumah tinggal. Tujuan pentanahan peralatan yaitu:

- a). Untuk mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia.
- b). Untuk memungkinkan timbulnya arus tertentu baik besarnya maupun lamanya dalam keadaan gangguan tanah tanpa menimbulkan kebakaran atau ledakan pada bagungan atau isinya.
- c). Untuk memperbaiki penampilan (*performance*) dari sistem.

### 2.5.3 Indaksi Unjuk Kerja Transformator

**Tabel 2.1 Indikasi Kerja Transformator**

Indikasi		Keterangan
VTBO	<i>Voltage Transformer Breaker Open</i>	Indikasi ini menunjukkan bahwa saklar tegangan dari <i>Voltage Transformer</i> tripdan kontak bantunya mengirim sinyal ke panel



		kontrol VTBO dan menjadikan bel berbunyi.
MCB VT <i>Failure</i>		Indikasi ini menunjukkan bahwa saklar tegangan dari <i>Voltage Transformer trip</i> dan kontak bantuannya mengirim sinyal ke panel kontrol MCB VT ( <i>Miniature Circuit Breaker Voltage Transformer</i> ) <i>Failure</i> dan menjadikan bel berbunyi.
Keteraturan <i>Stranded</i> Konduktor atau Kawat terpasang		<p>Rusaknya uliran <i>stranded</i> konduktor menimbulkan korona dan ketidakraturan distribusi arus listrik yang mengalir di lokasi itu. Efek korona akan menyebabkan ionisasi udarasekitar yang menghasilkan gas yang bersifat elektrolis.</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap kondisi keteraturan <i>stranded</i> konduktornya adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung dengan mata telanjang atau dengan teropong.</p>
Ketahanan Tegangan <i>String Set</i> atau <i>Post Insulator</i> Pemegang Konduktor		Pada kondisi tertentu, polutan akan menyebabkan <i>flash over</i> dipermukaan insulator dan konduktor (semi

	<p>konduktor).</p> <p>Pada polutan jenisini terkadang secara fisik terlihat nyata atau kotor. Akan tetapi pengaruhnya terhadap ketahanan tegangan insulator hanya bersifat signifikan atau sementara pada kondisi basah maupun hujan dan permukaan polutan pun membentuk sebuah alur air atau embun yang tidak terputus.</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap pengaruh polutan yang menempel di permukaan insulator dalah dengan cara melakukan pengamatan visual dan pengamatan secara pendengaran.</p> <p>Pada kondisi malam, terjadi bunyi <i>hizing</i> yang keras akibat korona dan sesekali sudah terjadi <i>partial discharge</i> (loncatan) bunga api secara bergantian merata di seluruh permukaan keping(sirip) insulator yang terpasang, maka <i>Busbar</i> secara teknis tidak baik untuk dioperasikan dan harus sesegera mungkin dilaksanakannya</p>
--	---

	pembersihan di permukaan insulator.
Kesiapan Peralatan yang Tersambung Langsung dengan Busbar	Deteksi unjuk kerja kesiapan peralatan yang tersambung langsung dengan <i>Busbar</i> adalah sesuai dengan deteksi unjuk kerja masing-masing peralatan yang terpasang (PMS <i>Bus Bay Pht/trf</i> , PMS/PMT/CT <i>Bay Couple</i> dan CVT/PT).
Kekuatan Sistem Isolasi Busbar GIS	Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap kondisi isolasinya pada GIS adalah dengan pembacaan tekanan Gas SF6 pada <i>density</i> monitor yang terpasang pada masing-masing kompartemen (dibandingkan dengan <i>acuan standart manual</i> operasinya).
Kekuatan Mekanik & Elektrik Clamp-Clamp Konduktor dan Peralatan	Pemuaian <i>clamp</i> konduktor atau <i>clamp</i> dengan terminal peralatan akibat pembebanan lebih sesaat/ arus gangguan sesaat pada kondisi tertentu akan terjadi menurunnya ataupun menghilangkan kekuatan elektriknya. Pada kegagalan selanjutnya akan terjadi kegagalan di kekuatan mekaniknya (PG

	<p><i>Clamp/T Clamp</i> sambungan <i>Busbar</i> ke PMS melorot atau lepas dan lain-lain).</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap kondisi kekuatan elektrik <i>clamp-camp</i> konduktor dan peralatannya adalah dengan pemeriksaan secara visual atau secara langsung pada malam hari (lampu penerangan <i>switch yard</i> dipadamkan) berdasarkan hasil dari deteksi dengan peralatan <i>thermovision</i>.</p> <p>Sedangkan kondisi kekuatan mekanik <i>clamp-clamp</i> dapat diperiksa secara visualmaupun secara langsung pada siang hari dengan memakai teropong atau mata telanjang.</p>
<p>Kekuatan Mekanik &amp; Elektrik <i>Clamp Grounding Serandang Busbar</i></p>	<p>Hilangnya kekuatan elektrik danmekanik<i>clamp grounding</i> serandang <i>busbar</i> (akibat korosi atau kawat terlepas dari sepatunya dan lain-lain) akan sangat berbahaya bagi keselamatan personil.</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap kondisi kekuatan elektrik dan</p>

	<p>kekuatan mekanik <i>clamp grounding</i> serandang <i>busbar</i> adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung.</p>
<p>Kekuatan Kawat Tanah dan <i>Clamp</i> Pengikatnya</p>	<p>Menurunnya kekuatan kawat tanah dan <i>clamp</i>nya biasanya disebabkan oleh korosi. Kondisi ini sangatlah rawan putus baik akibat terpaan angin maupun pada saat kawat tersebut teraliri oleh rambatan gelombang atau arus petir.</p> <p>Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap kondisi kekuatan kawat tanah dan <i>clamp</i> pengikatnya adalah dengan pemeriksaan visual secara langsung dengan mata telanjang ataupun dengan teropong.</p>
<p>Area <i>Busbar</i> Terbebas dari Benda-Benda Asing</p>	<p>Area <i>Busbar</i> harus terbebas dari benda-benda asing baik yang bersifat konduktor (layang-layang dengan benang yang terbuat dari kawat tembaga dan lain-lain) atau yang bersifat isolator (layang-layang dengan benang yang terbuat dari nylon/plastik/katun/terpal plastik dan lain-lain).</p>

	<p>Pada kondisi normal kemungkinan benda asing yang bersifat konduktor tidak membahayakan (hanya menempel di ujung serandang <i>post</i>).</p>
	<p>Deteksi unjuk kerja kesiapan <i>Busbar</i> terhadap terbebasnya dari benda-benda asing adalah dengan pengamatan visual secara langsung dengan menggunakan mata telanjang.</p>

## 2.6 Pengaman Sisi Tegangan Menengah

### 2.6.1 Alat Pengaman *Lightning Arrester*

*Lightning Arrester* adalah perangkat keamanan yang melindungi jaringan dan perangkatnya dari anomali lain yang disebabkan oleh (terlalu cepat) sambaran petir dan lonjakan switching dalam jaringan. *Arrester* surja juga merupakan perangkat yang melindungi perangkat sistem kelistrikan terhadap petir matahari. Perangkat pelindung yang digunakan untuk memberikan perlindungan dengan membatasi lonjakan. *Arrester* surja menawarkan kemungkinan lebih besar bahwa surja abnormal akan ditransmisikan ke bumi sebelum merusak peralatan jaringan seperti transformator dan isolator. Karena fungsinya, *arrester* surja harus mampu menahan tegangan sistem 50 Hz untuk waktu yang terbatas dan mampu mentransmisikan tegangan ke bumi tanpa kerusakan.

Arrester membentuk jalur yang mudah dilalui arus petir agar tidak menimbulkan tegangan lebih pada peralatan akibat tegangan lebih internal seperti rangkaian tegangan lebih. Selain itu, Arrester juga merupakan elemen kunci dalam koordinasi sistem catu daya.



**Gambar 2.19 Lightning Arrester (LA)**

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh arrester adalah sebagai berikut:

- a) Tegangan luahan dan tegangan luahan, yaitu tegangan pada terminal pada saat pengosongan, harus cukup rendah untuk menjamin isolasi peralatan. Tegangan percikan juga dikenal sebagai tegangan celah sedangkan tegangan pelepasan dikenal sebagai tegangan sisa atau penurunan tegangan.
- b) Arrester harus dapat memutus arus dinamis dan dapat terus beroperasi seperti semula. Batas tegangan sistem di mana arus lebih dipanggil adalah tegangan nominal arrester surja. Tegangan dasar (tegangan nominal) yang digunakan pada arrester surja adalah tegangan sistem maksimum, yang harus memiliki tegangan basis maksimum yang tidak melebihi tegangan basis maksimum sistem, disebut juga tegangan basis penuh.

Jika surja disebabkan oleh sambaran petir atau pemutusan yang masuk, surja akan merusak insulasi peralatan. Oleh karena itu, tindakan perlindungan diperlukan. Pelindung ini biasanya bersifat isolasi dan jika terjadi tegangan lebih, pelindung ini berubah menjadi konduktor dan mentransmisikan tegangan lebih ke bumi. Jenis arester surja yang umum digunakan adalah:

- a) *Lightning arrester* jenis oksida film
- b) *Lightning arrester* jenis thyrite
- c) *Lightning arrester* jenis katup



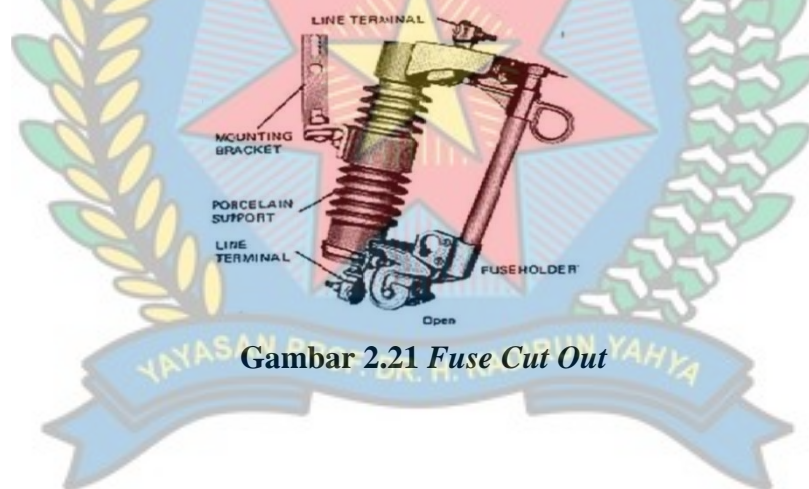
**Gambar 2.20 Penempatan *Lightning Arrester* dan CO pada tiang trafo *Double Pole***

### 2.6.2 Alat Pengaman Arus Lebih

Pengaman lebur untuk gardu distribusi pasangan luar dipasang pada *Fused Cut Out* (FCO) dalam bentuk *Fuse Link*. Terdapat 3 jenis karakteristik *Fuse Link*, tipe K (cepat), tipe T (lambat) dan tipe H yang tahan terhadap arus surja. Kontruksi dari *Fuse Cut Out* jauh lebih sederhana bila dibandingkan dengan pemutus beban (*circuit*



*breaker*) yang terdapat di Gardu Induk (*sub-station*). Akan tetapi *Fuse Cut Out* mempunyai kemampuan yang sama dengan pemutus beban (*circuit breaker*). Pemilihan kawat yang digunakan pada *Fuse Cut Out* didasarkan pada faktor lumer yang rendah dan memiliki daya hantar (*conductivity*) yang tinggi. Biasanya bahan-bahan yang digunakan untuk *Fuse Cut Out* adalah kawat perak, kawat tembaga, kawat seng, kawat timbel atau kawat paduan dari bahan-bahan tersebut.



Gambar 2.21 *Fuse Cut Out*

Jika arus pengisian melebihi batas yang diizinkan, kabel perak dalam tabung keramik akan putus dan dapat menghentikan arus berbahaya. Ketika kawat putus, busur terjadi, yang segera padam oleh pasir di tabung porselen. Oleh karena itu, pemasangan *Fuse Cut Out* pada jaringan distribusi membutuhkan kapasitas yang lebih besar dari kualitas tegangan jaringan. Sekering biasanya ditempatkan untuk keamanan trafo distribusi dan keamanan saluran suplai yang menuju ke jaringan distribusi sekunder.

## 2.7 Tahanan Jenis Tanah

Ohm (simbol :  $\Omega$ ) adalah satuan SI untuk resistansi dan juga menyandang nama Georg Ohm. Jenis pembumian sangat menentukan tahanan pembumian dari elektroda

pembumian. Tahanan tanah dihitung menggunakan ohmmeter. Yang menentukan ketahanan suatu jenis tanah tidak hanya tergantung pada tanah tersebut tetapi juga dipengaruhi oleh kadar air, terutama kandungan mineral yang dimilikinya (suhu tidak berpengaruh jika berada di atas titik beku air). Koefisien kesetimbangan antara tahanan bumi dan kapasitansi sekitarnya adalah tahanan bumi ( $\rho$ ). Harga tahanan jenis selalu bervariasi sesuai dengan keadaan pada saat pengukuran. Makin tinggi suhu makin tinggi tahanan jenisnya. Sebaliknya makin lembab tanah maka makin rendah tahanan jenisnya. Harga resistivitas tanah di daerah dengan kedalaman terbatas tidak sama.

**Tabel 2.2 Jenis Tanah dan Tahanan Pentanahan**

Macam Tanah	Tahanan Pentanahan ( $\Omega$ )					
	Kedalaman Batang Pentanahan (m)			Panjang Pita Pentanahan (m)		
	3	6	10	5	10	20
1.Humus lembab	10	5	3	12	6	3
2.Tanah pertanian (tanah liat)	33	17	10	40	20	10
3.Tanah liat berpasir	50	25	15	60	30	15
4.Pasir lembab	66	33	20	80	40	20
5.Pasir kering	330	165	100	400	200	100
6.Beton 1:5	-	-	-	160	80	40
7.Kerikil lembab	160	80	48	200	100	50
8.Kerikil kering	330	165	100	400	200	100
9.Tanah berbatu	1.000	500	300	1.200	600	300
10.Batu karang	-	-	-	-	-	-

Beberapa faktor yang mempengaruhi tahanan jenis tanah yaitu:

### 2.7.1 Pengaruh Keadaan Struktur Tanah

Kesulitan umum dalam mengukur tanah adalah bahwa komposisi tanah tidak seragam di seluruh massa tanah dan dapat bervariasi baik secara vertikal maupun

horizontal. Jadi, pada suatu lapisan tertentu, dapat terdapat dua atau lebih tanah dengan resistivitas yang berbeda. Berdasarkan persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 3.18.31 halaman 80) mengenai tahanan jenis tanah dari berbagai jenis tanah sebagai berikut:

### **1. Pengaruh Unsur Kimia**

Perlu diperhatikan kandungan bahan kimia dalam tanah, terutama beberapa zat organik dan anorganik terlarut, daerah dengan curah hujan tinggi seringkali memiliki ketahanan tanah yang tinggi karena kandungan garam yang tinggi pada lapisan tersebut. Di area seperti itu, untuk pembumian yang efektif dengan menempatkan elektroda di lokasi yang lebih dalam di mana larutan garam tetap ada

### **2. Pengaruh Iklim**

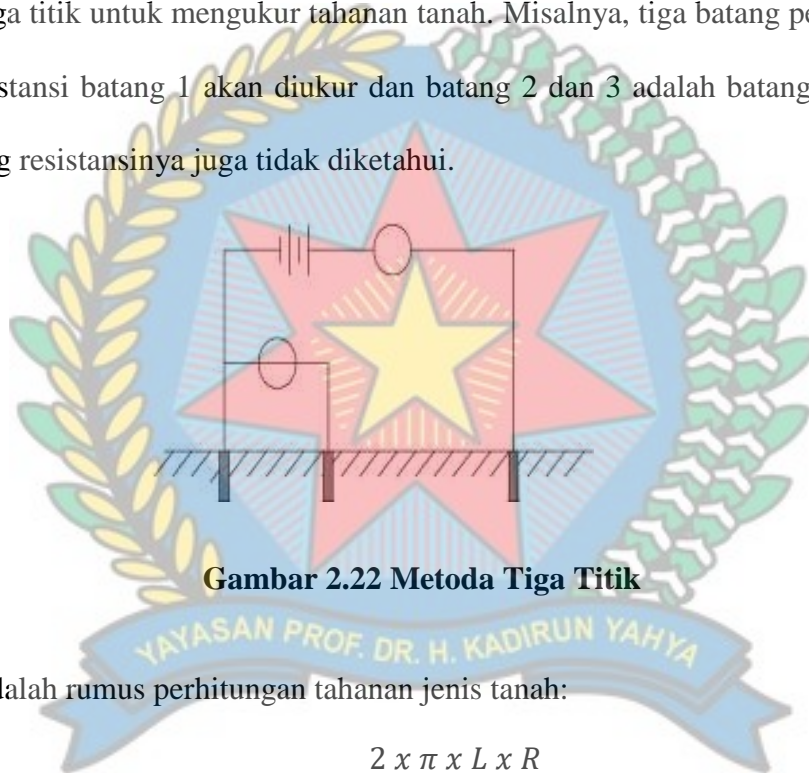
Untuk mengurangi perubahan resistivitas tanah karena pengaruh musim, pembumian dapat dicapai dengan menempatkan elektroda pembumian pada kedalaman konstan dari sirkuit air tanah. Aliran arus di dalam tanah sebagian besar disebabkan oleh proses elektroda.

### **3. Pengaruh Temperatur Tanah**

Temperatur tanah di sekitar elektroda bumi juga mempengaruhi besarnya resistivitas tanah. Hal ini dapat dilihat dari pengaruhnya terhadap suhu di bawah titik beku air ( $0^{\circ}\text{C}$ ) dan di bawah nilai tersebut sedikit penurunan suhu akan dengan cepat meningkatkan resistivitas tanah.

### 2.7.2 Metode Pengukuran Tahanan Jenis Tanah

Pengukuran tahanan jenis tanah biasanya dilakukan dengan menggunakan metode tiga titik untuk mengukur tahanan tanah. Misalnya, tiga batang pembedaan di mana resistansi batang 1 akan diukur dan batang 2 dan 3 adalah batang pembedaan bantu yang resistansinya juga tidak diketahui.



**Gambar 2.22 Metoda Tiga Titik**

Berikut adalah rumus perhitungan tahanan jenis tanah:

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

Dimana:

$\rho$  : Tahanan jenis tanah ( $\Omega$  m)

L : Panjang batang yang tertanam (cm)

R : Jari-jari batang (m)

d : Diameter batang yang tertanam (cm)

Dalam pembahasan, hal pertama yang harus dicari adalah menghitung nilai resistor tipe ground tempat elektroda ditanamkan. Setelah menghitung resistivitas tanah, cari nilai resistansi dari elektroda yang ditanam sedalam 10 cm dengan diameter 1,2 cm. Sedangkan untuk menghitung nilai tahanan elektroda yang ditanam

dengan semen konduktif, rumusnya sama dengan cara perhitungan untuk mencari nilai tahanan elektroda yang ditanam dengan 1 batang.

## 2.8 Elektroda Pentanahan

Sistem pentanahan ini akan melindungi perangkat-perangkat listrik dari berbagai jenis gangguan seperti lonjakan listrik akibat surja petir. Elektroda pembumian merupakan suatu penghantar yang ditempatkan di dalam bumi dan bersentuhan langsung dengan bumi, kontak langsung bertujuan untuk mendapatkan arus yang terbaik jika terjadi gangguan sehingga arus ditransmisikan ke bumi.

Berdasarkan PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2000 yang dimaksud yaitu “Suatu sistem pentanahan dikatakan bagus apabila nilai tahanan jenis tanahnya rendah atau tidak lebih dari  $5\Omega$ ”. Standar tersebut harus dipenuhi agar dapat memenuhi sistem pentanahan yang baik. Oleh karena itu diperlukan pemasangan pentanahan yang tepat misalnya saja menggunakan elektroda pita pada daerah yang basah. Maka dari itu perlu mengetahui saja mengetahui jenis-jenis elektroda pentanahan berdasarkan bentuk dan konstruksinya.

Konduktor yang digunakan untuk pembumian harus memenuhi sejumlah persyaratan, antara lain:

- a) Memiliki daya hantar jenis (*conductivity*) yang cukup besar sehingga tidak akan memperbesar beda potensial lokal yang berbahaya.
- b) Memiliki kekerasan (kekuatan) secara mekanis pada tingkat yang tinggi terutama bila digunakan pada daerah yang tidak terlindung terhadap kerusakan fisik.

- c) Tahan terhadap pelepasan dari keburukan sambungan listrik, walaupun konduktor tersebut akan magnitude arus gangguan dalam waktu yang lama.
- d) Tahan terhadap korosi.

Berikut ketentuan ukuran minimum elektrode pembedaan sesuai PUIL 200 yaitu:

**Tabel 2.3 Ukuran Minimum Elektroda Pentanahan**

No	Bahan jenis elektrode	Baja digalvanasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tembaga
1	Elektrode pita	Pita baja 100 mm <sup>2</sup> setebal minimum 3 mm	500 mm <sup>2</sup>	Pita tembaga 50 mm <sup>2</sup> tebal minimum 2 mm
		Penghantar pilin 95 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)		Penghantar pilin 35 mm <sup>2</sup> (bukan kawat halus)
2	Elektrode batang	Pipa baja 25 mm <sup>2</sup>	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga setebal 250 mm	
		Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3  Batang profil lain yang setaraf		
3	Elektrode pelat	Pelat besi tebal 3 mm luas 0,5 mm <sup>2</sup> sampai 1 mm <sup>2</sup>		Pelat tembaga tebal 2 mm luas 0,5 mm <sup>2</sup> sampai 1 mm <sup>2</sup>

## 2.8.1 Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan

### 1. Elektroda Batang



**Gambar 2.23 Elektroda Batang**

(Sumber: Prih Sumarjati, dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*)

Elektroda batang yaitu elektroda dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan ke dalam tanah. Elektroda ini banyak digunakan pada Gardu Induk. Secara teknis, elektroda jenis ini mudah pemasangannya dan tidak memerlukan lahan yang luas. Adapun panjang elektroda batang yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan/persyaratan pentanahan. Elektroda batang biasanya ditanam dengan kedalaman yang cukup dalam. Pemilihan bahan itu penting agar terhindar *galvanic couple* yang dapat menyebabkan korosi.

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

Dimana:

$R_{bt}$  : Tahanan pembumian elektroda batang ( $\Omega$ )

$\rho$  : Tahanan jenis tanah ( $\Omega \text{ m}$ )

L : Panjang batang yang tertanam (m)

d : Diameter elektroda batang (m)

Setelah didapatkan nilai tahanan pembumian dengan elektroda batang, maka disini dimungkinkan untuk menurunkan tahanan pembumian dengan cara menaikkan elektroda pembumian dan menghubungkannya secara paralel. Untuk menghitung tahanan tanah total ( $R_{pt}$ ) digunakan rumus:

$$R_{pt} = \frac{\rho x k}{2 x \pi x l} x f p \quad \text{Konfigurasi } \Omega$$

k : Faktor pengali elektroda batang tunggal (k)

Untuk faktor pengali konfigurasi elektroda batang *double straight* menggunakan rumus:

$$\frac{1 + m}{2}$$

Untuk *triple straight* menggunakan rumus:

$$\frac{1 - 2m^2 + 2}{3 - 4m + n}$$

Untuk *triple* menggunakan rumus:

$$\frac{1 + 2m}{3}$$

Untuk *square* menggunakan rumus:

$$\frac{1 + 2m + q}{4}$$

Untuk *cross circle* menggunakan rumus:

$$\frac{1 + 2q + n - 4m^2}{5 + 2q + n - 8m}$$



Dimana:

$$m = \frac{\ln x}{(\ln \frac{l}{r})} \quad y = \frac{l + 2L}{L} \quad n = \frac{\ln y}{(\ln \frac{l}{r})}$$

$$x = \frac{l + L}{L} \quad q = \frac{\ln z}{(\ln \frac{l}{r})} \quad n = \frac{\ln y}{(\ln \frac{l}{r})}$$

Untuk jumlah elektroda yang sedikit cenderung mengikuti rumus tahanan hubungan paralel yaitu:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_n}$$

## 2. Elektroda Pelat

Elektroda plat adalah elektrode lembaran (seluruh atau lembaran berlubang). Bentuk elektrode plat biasanya persegi atau persegi panjang terbuat dari plat tembaga, timah atau baja yang ditanam di dalam tanah, biasanya cara tanamnya vertikal, karena bila ditanam secara mendatar hasilnya tidak banyak berbeda dengan vertikal.

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

Dimana:

$R_{pl}$  : Tahanan pentahanan pelat ( $\Omega$ )

$\rho$  : Tahanan jenis tanah ( $\Omega$  m)

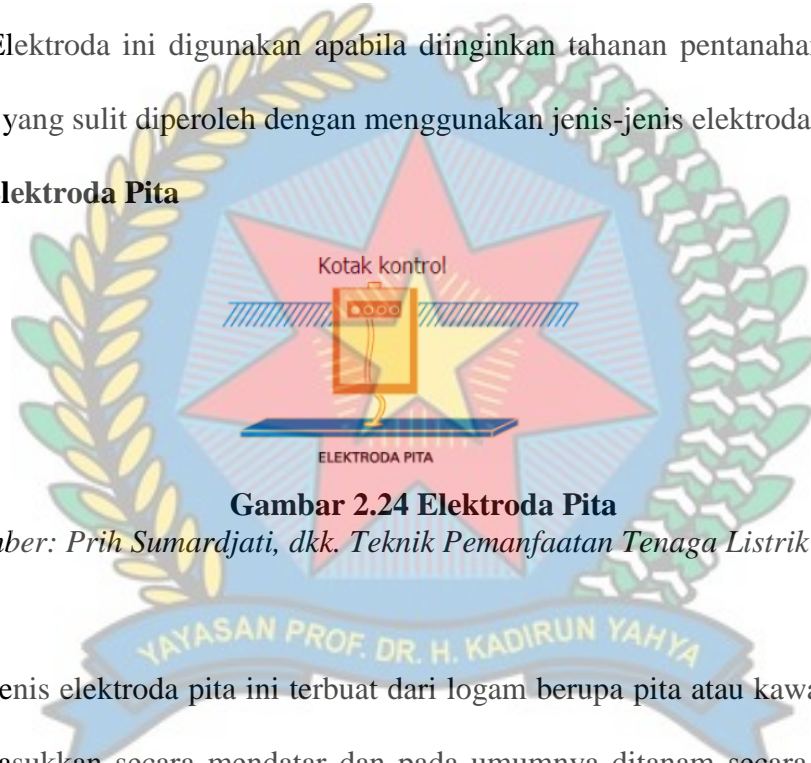
$L$  : Panjang elektroda pelat (m)

$b$  : Lebar pelat (m)

$t$  : Kedalaman pelat tertanam dari permukaan tanah (m)

Elektroda ini digunakan apabila diinginkan tahanan pentanahan yang kecil dan yang sulit diperoleh dengan menggunakan jenis-jenis elektroda yang lain.

### 3. Elektroda Pita



**Gambar 2.24 Elektroda Pita**

(Sumber: Prih Sumardjati, dkk. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*)

Jenis elektroda pita ini terbuat dari logam berupa pita atau kawat BCC yang dimasukkan secara mendatar dan pada umumnya ditanam secara dangkal (ke dalam tanah sedalam  $\pm 2$  meter). Pemacangan dilakukan secara vertikal dengan menanam batang hantaran secara horizontal. Elektroda strip ini dapat diregangkan di atas permukaan dan di area yang tidak kering. Ini cocok untuk daerah pegunungan di mana harga resistivitas tanah meningkat dengan kedalaman dan juga memperoleh rumus resistansi tanah dari elektroda strip, yaitu:

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

Dimana:

$R_{pt}$  : Tahanan pembumian elektroda pita ( $\Omega$ )

$\rho$  : Tahanan jenis tanah ( $\Omega$  m)

L : Panjang elektroda (m)

d : Lebar/Diameter elektroda pita kalau bulat (m)

Hal-hal yang mempengaruhi tahanan tanah adalah:

a) Panjang kedalaman elektroda pentanahan

b) Diameter elektroda pentanahan

c) Jumlah elektroda pentanahan

Tahanan pembumian yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh bentuk konfigurasi elektrodanya seperti bentuk melingkar, radar atau kombinasi antar keduanya berikut rumus dari perhitungannya:

$$R_G = R_W = \frac{\rho}{\pi L_W} \ln \left( \frac{2L_W}{\sqrt{d_W Z_W}} \right) + \frac{1,4L_W}{\sqrt{A_W}} - 5,6$$

Dimana:

$R_W$  : Tahanan dengan kisi-kisi (*grid*) kawat ( $\Omega$ )

$\rho$  : Tahanan jenis tanah ( $\Omega$  m)

$L_W$  : Panjang total *grid* kawat (m)

$d_W$  : Diameter kawat (m)

$Z_W$  : Kedalaman penanaman (m)

$A_W$  : Luasan yang dicakup oleh *grid* ( $m^2$ )

#### 4. Elektroda Pentanahan Jenis Batang Bulat Berlapis Tembaga

Elektroda pentanahan ini adalah penghantar yang terbuat dari batang logam bulat yang dilapisi tembaga yang ditanam atau dipancangkan ke dalam tanah dan membuat kontak langsung dengan tanah.

##### 2.8.2 Sifat-Sifat dari Sebuah Sistem Elektroda Pentanahan

Hambatan arus melewati sistem elektroda pentanahan mempunyai 3 komponen yaitu:

- a) Tahanan elektroda sendiri dan sambungan-sambungannya.
- b) Tahanan kontak antara elektroda dengan tanah sekitar.
- c) Tahanan tanah disekelilingnya.

Jika cat atau elektroda minyak bersih dan pembumian terpasang dengan kuat, resistansi kontak dapat diabaikan. Sebuah elektroda resistansi seragam yang tertanam di tanah menghantarkan arus ke semua lapisan tanah yang paling dekat dengan elektroda dengan permukaan tersempit dan dengan demikian memberikan resistansi terbesar. Lapisan berikutnya karena lebih lebar dan menawarkan resistensi terbesar. Begitu seterusnya agar pada jarak tertentu dari elektroda, lapisan tanah tidak menambah besaran tahanan tanah di sekitar elektroda. Jarak ini, yang dikenal sebagai daerah resistansi efektif, juga sangat bergantung pada kedalaman elektroda.

Pasak-pasak tanah, batang-batang logam, struktur dan peralatan lain biasa digunakan untuk elektroda tanah. Elektroda-elektroda ini umumnya besar dan penampangnya sedemikian sehingga tahanannya dapat diabaikan terhadap keseluruhan sistem pentanahan. Tahanan antara elektroda dan tanah jauh lebih kecil dari yang biasanya diduga. Apabila elektroda bersih dari minyak atau cat dan tanah

dapat dipasak dengan kuat, maka tahanan kontak dapat diabaikan. Pasak dengan tahanan seragam yang ditanam ke tanah akan menghantarkan arus ke semua jurusan.

Ditinjau dari suatu pasak yang ditanam di tanah yang terdiri atas lapisan-lapisan tanah dengan ketebalan yang sama. Lapisan tanah terdekat dengan pasak dengan sendirinya memiliki permukaan paling sempit sehingga memberikan tahanan terbesar. Lapisan berikutnya karena lebih luas serta memberikan tahanan yang lebih kecil. Demikian seterusnya sehingga pada suatu jarak tertentu dari pasak.



**Gambar 2.25 Komponen-komponen Tahanan Elektroda Pentanahan**  
 (Sumber: Pabla, As dan Hadi, Ir Abdul. Sistem Distribusi Daya Listrik)

## BAB 3

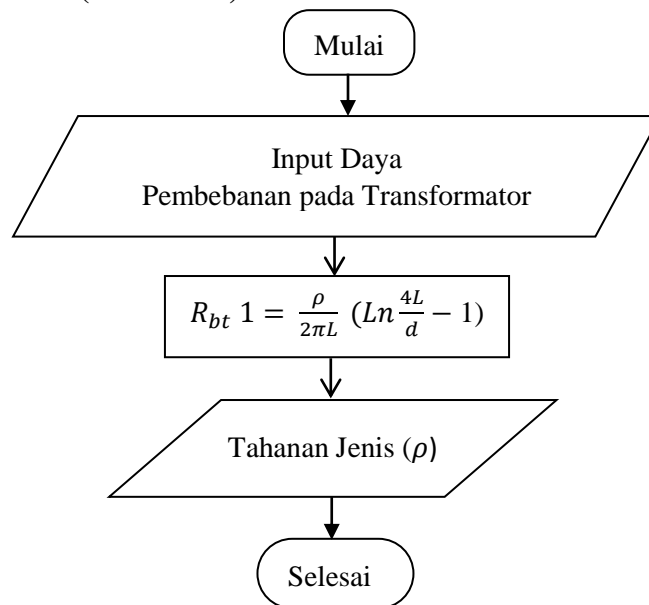
### METODE PENELITIAN

Tranformator adalah suatu alat listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya berdasarkan prinsip induksi magnet.

#### 3.1 Waktu Dan Lokasi Penelitian

Metode yang dilakukan dalam penulisan skripsi ini adalah metode pengumpulan data dan pengolahan data. Metode pengumpulan data dilakukan di Gardu Induk Paya Geli PT.PLN (Persero), Jl Masjid Km 10.5, Paya Geli, Sunggal Kanan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20351, mulai dari tanggal 23 Agustus 2018 sampai dengan 07 September 2018. Data yang kumpulkan adalah data pembebanna transformator di Gardu Induk Paya Geli PT.PLN (Persero).

#### 1.2 Alur Penelitian (Flowchart)



**Gambar 3.1 Flowchart**

### 3.3 Data Penelitian

Data yang diambil penyelesaian skripsi ini menggunakan data-data yang diperoleh dari Gardu Induk Paya Geli PT.PLN (Persero) antara lain sebagai berikut:

#### 3.3.1 Transformator di GI Paya Geli

Pada Gardu Induk Paya Geli terdapat dua buah trafo yang digunakan untuk menyalurkan listrik dari tegangan distribusi 150 kV ke 20 kV dan memiliki data sebagai berikut:

##### 3.3.1.1 Transformator Daya 1 (TD 1)

<i>Merk</i>	: GEC ALSTHOM
<i>Serial number</i>	: 91.4.4051
<i>Year of manufactured</i>	: 1994
<i>Standard</i>	: ITC 76
<i>Rated power</i>	: 60 MVA
<i>Cooling</i>	: ONAN / ONAF – 70 / 100%
<i>Frequency</i>	: 50 Hz
<i>Phases</i>	: 3
<i>Insulation levels</i>	: HV 650 / 275, HVN 95 / 38 LV 125 / 52, TERIASY 75 / 28
<i>Connection symbol</i>	: YN yn 0 + d
<i>Max altitude</i>	: 100 m
<i>Tap change</i>	MR – MS III 300 – 72,5 + MA9
<i>Conract no</i>	006.PJ / 9220 / 1994 / M
<i>Temp rise below</i>	Top oil 53 K
<i>100 m altitude</i>	Average wind 58 K
<i>Vacuum withstand</i>	<i>Tank</i> 100 %
<i>Capability</i>	<i>Conservator</i> 100 %
	<i>Radiator</i> 100 %

*Type of oil* : Shell diala B

*Mass* *Total* 90,35 +

Pada gambar 3.2 dibawah ini terlihat trafo daya (TD 1) yang terpasang pada Gardu Induk Paya Geli.



**Gambar 3.2 Transformator Daya 1 (TD 1)**



### 3.3.1.2 Transformator Daya 3 (TD 3)

<i>Merk</i>	: PASTI	
<i>Serial number</i>	: 91.4.4051	
<i>Year of manufactured</i>	: 1994	
<i>Standard</i>	: IEC 76	
<i>Rated power</i>	: 60 MVA	
<i>Cooling</i>	: ONAN / ONAF – 70 / 100 %	
<i>Frequency</i>	: 50 Hz	
<i>Phases</i>	: 3	
<i>Insulation levels</i>	: L1 650 AC 275 - L1- AC 38/ L1 125 AC 50 - L1- AC 50/ L1 - AC 38	
<i>Connection symbol</i>	: YN yn 0 + d	
<i>Max altitude</i>	: 100 m	
<i>Tap change</i>	: MR – MS III 300 – 72,5 + MA9	
<i>Contract no</i>	: 006.PJ / 9220/ 1994/ M	
<i>Temp rise below</i>	<i>Top oil</i> 53 K	
<i>100 m altitude</i>	<i>Average wind</i> 58 K	
<i>Vacuum withstand</i>	<i>Tank</i>	100 %
<i>Capability</i>	<i>Conservator</i>	100 %
	<i>Radiator</i>	100 %
<i>Type of oil</i>	: Shell diala B	
<i>Mass</i>	<i>Total</i>	90,35 +

Pada gambar 3.3 di bawah ini terlihat trafo daya 3 (TD 3) yang terpasang pada Gardu Induk Paya Geli.



**Gambar 3.3 Transformator Day 3 (TD 3)**

### 3.4 Data Pembebanan Transformator Daya

Berikut ini adalah data pembebanan untuk transformator daya:

**Tabel 3.1 Data Transformator Daya**

<b>BAY</b>	<b>KAPASITAS TRAFO (MVA)</b>	<b>TEGANGAN</b>	<b>IMPEDANSI TRAFO (%)</b>	<b>NGR (Ohm)</b>
TD 1	60	150/20	12,29	12
TD 2	60	150/20	12,41	12
TD 3	60	150/20	12,5	40
TD 4	60	150/20	12,937	40

RATIO CT											
150 kV			Incoming 20 kV			REF HV			REF LV		
PRIM	/	SEC	PRIM	/	SEC	PRIM	/	SEC	PRIM	/	SEC
300		5	2000		5	-		-	-		-
300		1	2000		5	300		1	2000		5
300		5	2000		1	300		1	2000		5
300		5	2000		5	300		1	2000		5
SETTING DIFFERENTIAL											
I Pickup (pu)	Idiff > (pu)	Idiff >> (pu)	Slope 1 (%)	Slope 2 monic Bloking							
				(%)	2 <sup>nd</sup> Harm	5 <sup>th</sup> Harm					
0,3	0,3	7	0,3	0,7	0,15	0,2					
0,3	0,3	8	0,3	0,7	0,2	0,2					
0,3	0,3	1	0,3	0,7	0,15	0,35					
0,3	0,2	1	0,3	0,7	0,15	0,35					
SETTING REF HV					SETTING REF LV						
I Ref (pu)	Slope 1 (%)	Slope 2 (%)	IS1 (A)	IS2 (A)	I Ref (pu)	Slope 1 (%)	Slope 2 (%)	IS1 (A)	IS2 (A)		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
0,15	0,2	1,5	45	-	0,1	0,2	1,5	-	-		
0,15	0	1,5	45	240	0,1	0	1,5	201	1800		
0,08	0	1,5	24	240	0,45	0	1,5	180	1800		

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem kelistrikan dikatakan berkualitas baik jika jatuh tegangan pada sistem di bawah beban tidak lebih dari 5%. Jika batas yang diizinkan terlampaui, tegangan akan diperbaiki dengan berbagai cara, misalnya dengan menambahkan kapasitor daya, menggunakan pengisi daya keran pengisi daya pada transformator daya.

#### 4.1 Pembebanan

Berikut perhitungan untuk data pembebanan transformator saat beban siang dan malam:

##### 4.1.1 Daya Semu

Berdasarkan data beban pada Tabel 3.2, dengan memperhatikan data arus (ampere) tertinggi dan terendah, dengan menggunakan persamaan diperoleh daya semu yang dihasilkan. Misalnya, data yang digunakan untuk mengisi TD 1 pada beban intraday puncak:

$$V = 19000$$

$$I = 1280$$

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

$$S = \sqrt{3} \cdot 19000 \cdot 1280$$

$$S = 42,1 \text{ MVA}$$

Keterangan:

S : Daya semu

V : Tegangan

I : Arus

Sedangkan untuk mendapatkan nilai dari  $\cos \varphi$ , dapat dihitung dengan persamaan:

$$\cos \varphi = \frac{P(MW)}{S(MVA)}$$

$$\cos \varphi = \frac{37,9 (MW)}{42,1 (MVA)}$$

$$\cos \varphi = 0,9$$

Keterangan:

P : Daya aktif

S : Daya semu

$\cos \varphi$ : Faktor daya



#### 4.1.2 Rugi-rugi Inti ( $\sigma$ )

Rugi inti yang dihasilkan dapat ditemukan dengan memperhitungkan operasi transformator dalam keadaan tanpa beban. Dalam keadaan normal, kehilangan inti adalah konstan terlepas dari besarnya beban. Menurut data yang diperoleh dari perusahaan, transformator Alstom memiliki rugi inti sebesar 38 KW dan rugi muatan bersama beban penuh sebesar 220 KW.

#### 4.1.3 Rugi Tembaga ( $P_{CU}$ )

Rugi-rugi transformator beban adalah rugi-rugi tembaga karena rugi-rugi inti adalah rugi-rugi konstan yang tidak bergantung pada variasi beban. Perubahan beban menyebabkan perubahan arus pada belitan transformator. Perubahan arus

menyebabkan kerugian ukuran muncul di belitan transformator. Untuk mendapatkan rugi-rugi tembaga pada setiap beban dapat dihitung dengan persamaan dan mengambil contoh beban TD 1, rugi-rugi tembaga dapat dihitung:

$$P_{t2} = \left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2 \times P_{t1}$$

$$P_{t2} = \left(\frac{42100}{60000}\right)^2 \times 220$$

$$P_{t2} = 108,31 \text{ KW}$$

Keterangan:

$P_{t2}$  : Rugi-rugi tembaga

$S_1$  : Daya semu dari transformator penurun tegangan di Gardu Induk Paya Geli

$S_2$  : Daya semu beban siang tertinggi

$P_{t1}$  : Rugi-rugi tembaga beban penuh

Berdasarkan penelitian dari perusahaan dan perhitungan maka:

$$\begin{aligned} \text{Rugi total} &= \text{Rugi inti} + \text{rugi tembaga} \\ &= 38 \text{ KW} + 108,31 \text{ KW} \\ &= 146,31 \text{ KW} \end{aligned}$$

Maka efisiensi dapat dihitung:

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{OUT} + \Sigma \text{rugi}} \times 100$$

$$\eta = \frac{37900}{37900 + 146,31} \times 100\%$$

$$\eta = 99,6\%$$

Keterangan:

$\eta$  : Efisiensi transformator

$P_{OUT}$  : Daya keluaran listrik

$\Sigma rugi$  : Rugi total

#### 4.1.4 Pembebanan dan Efisiensi TD 1 dan TD 3

##### 4.1.4.1 Data Pembebanan Tertinggi Siang

**Tabel 4.1 Pembebanan Tertinggi Pada Siang TD 1**

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	$\text{Cos } \varphi$	$P_{CU}$ (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1280	37,9	42,1	0,9	108,31	146,31	99,61
19	1295	38,4	42,6	0,9	110,9	148,9	99,61
19	1355	40,1	44,6	0,89	121,55	159,55	99,64
19	1200	35,5	39,5	0,89	95,34	133,34	96,64
20	1175	36,6	40,7	0,89	101,22	139,22	99,65
20	880	27,4	30,4	0,9	56,47	94,47	99,65
19	1265	37,5	41,6	0,9	105,75	143,75	99,61
19	1275	37,8	41,9	0,9	107,28	145,28	99,61
19	1280	37,9	42,1	0,9	108,31	146,31	99,61
19	1205	35,7	39,6	0,9	95,83	133,83	99,62

Efisiensi rata-rata adalah 99,62%.

**Tabel 4.2 Pembebanan Tertinggi Pada Siang TD 3**

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	$\text{Cos } \varphi$	$P_{CU}$ (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1290	38,5	42,4	0,9	94,88	126,88	99,67
19	1310	39,1	43,1	0,9	98,04	130,04	99,66
19	1300	38,8	42,8	0,9	96,68	128,68	99,66
19	1230	36,7	40,5	0,9	86,58	118,56	99,67
20	1200	37,7	41,5	0,9	90,89	122,89	99,67
19	910	27,2	29,9	0,9	47,18	79,18	99,63
19	1290	38,5	42,4	0,9	94,88	126,88	99,67
19	1300	38,8	42,8	0,9	96,68	128,68	99,66
19	1320	39,4	43,4	0,9	99,41	131,41	99,66
19	1210	36,1	39,8	0,9	83,60	115,60	99,68

Efisiensi rata-rata 99,66%.

#### 4.1.4.2 Data Pembebanan Tertinggi Malam

Tabel 4.3 Pembebanan Tertinggi Pada Malam TD 1

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	Cos $\varphi$	P <sub>CU</sub> (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1240	36,7	40,8	0,89	101,72	139,72	99,62
19	1300	38,5	42,8	0,89	111,94	149,94	99,61
19	1270	37,6	41,8	0,89	106,77	144,77	99,61
19	1250	37	41,1	0,9	103,22	141,22	99,61
19	1205	35,7	39,6	0,9	95,83	133,83	99,62
19,5	1110	33,7	37,5	0,89	85,93	123,93	99,63
19	1240	36,7	40,8	0,89	101,72	139,72	99,62
19	1235	36,6	40,6	0,9	100,73	138,73	99,62
19	1190	35,2	39,1	0,9	93,42	131,42	99,62
19	1455	43,1	47,9	0,89	140,21	178,21	99,58

Efisiensi rata-rata adalah 99,61%.

Tabel 4.4 Pembebanan Tertinggi Pada Malam TD 3

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	Cos $\varphi$	P <sub>CU</sub> (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1245	37,2	40,9	0,9	88,28	120,28	99,67
19	1280	38,2	42,1	0,9	93,54	125,54	99,67
19	1270	37,9	41,8	0,9	92,21	124,21	99,67
19	1310	39,1	43,1	0,9	98,04	130,04	99,66
20	1220	38,3	42,2	0,9	93,98	125,98	99,67
19	1090	32,6	35,8	0,91	67,64	99,64	99,69
19	1300	38,8	42,8	0,9	96,68	128,68	99,66
19	1300	38,8	42,8	0,9	96,68	128,68	99,66
19	1240	37	40,8	0,9	87,85	119,85	99,67
19	1305	38,9	42,9	0,9	97,13	129,13	99,66

Efisiensi rata-rata adalah 99,66%.

#### 1.1.4.3 Data Pembebanan Terendah Siang

Tabel 4.5 Pembebanan Terendah Pada Siang TD 1



Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	Cos $\phi$	P <sub>CU</sub> (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1020	30,2	33,5	0,9	65,58	106,58	99,64
19	840	24,9	27,6	0,9	46,55	84,55	99,66
19	1035	30,7	34	0,9	70,64	108,64	99,64
19	595	17,6	19,5	0,9	23,23	61,23	99,65
19	995	29,5	32,7	0,9	65,34	103,34	99,65
20	530	16,5	18,3	0,9	20,46	58,46	99,64
20	865	27	30	0,9	55,00	93,00	99,65
19	1015	30,1	33,4	0,9	68,17	106,17	99,64
19	970	28,7	31,9	0,89	62,18	100,18	99,65
19	980	29	32,2	0,9	63,36	101,36	99,65

Efisiensi rata-rata adalah 99,64%.

**Tabel 4.6 Pembebanan Terendah Pada Siang TD 3**

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	Cos $\phi$	P <sub>CU</sub> (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1000	29,9	32,9	0,9	57,12	89,12	99,70
19	600	18,1	19,7	0,91	20,48	52,48	99,71
19	1040	31,1	34,2	0,9	61,73	93,73	99,69
19	920	27,5	30,3	0,9	48,45	80,45	99,70
19	1040	31,1	34,2	0,9	61,73	93,73	99,69
20	810	25,6	28	0,91	41,37	73,37	99,71
20	840	26,5	29	0,91	44,38	76,38	99,71
19	980	29,3	32,2	0,9	54,72	86,72	99,70
19	965	28,9	31,7	0,91	53,03	85,03	99,70
19	975	29,2	32	0,91	54,04	86,04	99,70

Efisiensi rata-rata adalah 99,70%.

#### 4.1.4.4 Data Pembebanan Terendah Malam

**Tabel 4.7 Pembebanan Terendah Pada Malam TD 1**

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	$\text{Cos } \phi$	P <sub>CU</sub> (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	975	28,9	32	0,9	62,57	100,57	99,65
19	840	24,9	27,6	0,9	46,55	84,55	99,66
19	800	23,7	26,3	0,9	42,26	80,26	99,66
19	965	28,6	31,7	0,9	61,40	99,40	99,65
19	1010	29,9	33,2	0,9	67,35	105,35	99,64
20	790	24,6	27,3	0,9	45,54	83,54	99,64
20	800	24,9	27,7	0,89	46,88	84,88	99,66
19	930	27,5	30,6	0,89	57,22	95,22	99,65
19	930	27,5	30,6	0,89	57,22	95,22	99,65
19	955	28,3	31,4	0,9	60,25	98,25	99,65

Efisiensi rata-rata adalah 99,65%.

**Tabel 4.8 Pembebanan Terendah Pada Malam TD 3**

Tegangan (kV)	Arus (A)	P (MW)	S (MVA)	$\text{Cos } \phi$	P <sub>CU</sub> (kW)	Rugi total (kW)	Efisiensi (%)
19	1020	30,5	33,5	0,91	59,22	91,22	99,70
19	940	28,1	30,9	0,9	50,39	82,39	99,70
19	720	21,6	23,6	0,91	29,39	61,39	99,71
19	985	29,5	32,4	0,91	55,40	87,40	99,70
19	1050	31,4	34,5	0,91	62,81	94,81	99,69
20	830	26,2	28,7	0,91	43,47	75,47	99,71
20	830	26,3	28,7	0,91	43,47	75,47	99,71
19	1010	30,2	33,2	0,9	58,17	90,17	99,70
19	1010	30,2	33,2	0,9	58,17	90,17	99,70
19	910	27,2	27,2	0,9	47,18	79,18	99,70

Efisiensi rata-rata adalah 99,70%.

## 1.2 Analisa

Untuk mempermudah analisis, dibuat grafik untuk menampilkan data yang ada. Berdasarkan data di atas, beberapa hal yang dapat dijadikan perbandingan antara lain tabel berikut:

### 4.2.1 Perbandingan Efisiensi Terhadap Daya

Berikut ini ditampilkan grafik perbandingan antara grafik terhadap daya pada transformator daya 1 (Daya Pembebanan Tertinggi Siang).



Gambar 4.1 Perbandingan Efisiensi dan Daya Pada Saat Pembebanan di TD1

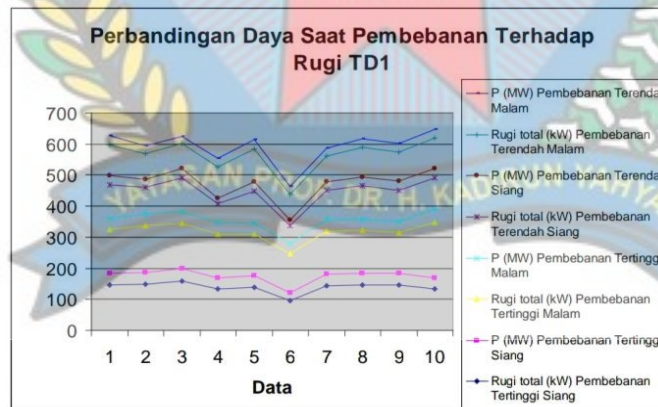


Gambar 4.2 Perbandingan Efisiensi dan Daya Pada Saat Pembebanan di TD 3

Grafik diatas menampilkan data-data saat terjadi pembebanan, maka dilihat juga pengaruhnya terhadap nilai efisiensi. Dari grafik diatas bahwa, pada transformator daya 1 maupun transformator daya 3 dalam perubahan daya baik saat beban tertinggi maupun beban terendah mempengaruhi efisiensi transformator walaupun nilainya tidak terlalu signifikan.

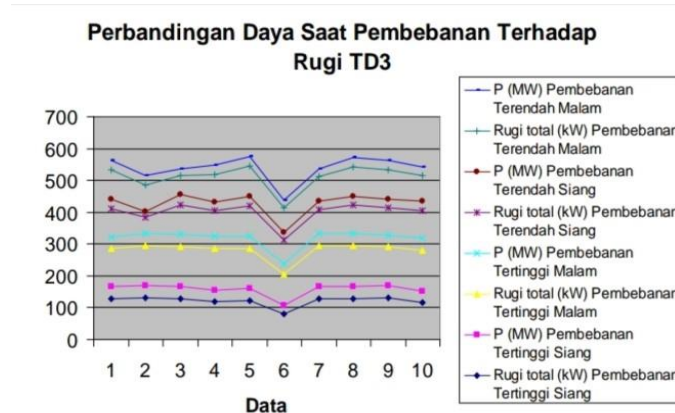
#### 4.2.2 Perbandingan Daya Saat Pembebanan Terhadap Rugi Transformator

Berikut ini ditampilkan grafik perbandingan daya saat pembebanan terhadap rugi-rugi total pada transformator 1 dan transformator 3.



**Gambar 4.3 Perbandingan Daya Saat Pembebanan Terhadap Rugi Total**

#### TD 1



**Gambar 4.4 Perbandingan Daya Saat Pembebanan Terhadap Rugi Total TD 3**

Grafik di atas menunjukkan data saat terjadinya beban, sehingga dapat juga dilihat pengaruhnya terhadap nilai rugi-rugi yang terjadi pada transformator karena rugi-rugi transformator ini akan mempengaruhi efisiensi transformator. . Dari grafik di atas terlihat bahwa pada trafo 1 dan trafo 3, bila terjadi perubahan kapasitansi maka rugi-rugi total transformator berubah sedangkan rugi-rugi inti tidak berubah.

### 4.3 Nilai Pentanahan Transformator

Untuk sistem pembumian, pengukuran tidak dapat dilakukan karena kondisi operasi transformator dan tidak direkomendasikan karena faktor keselamatan manusia dan peralatan. telah ditentukan. Parameternya adalah sebagai berikut:

$$\text{Tahanan jenis (tanah liat)} = 100 \text{ Ohm/m } (\rho)$$

$$\text{Jari-jari elektroda} = 3,5 \text{ cm } (a)$$

$$\text{Panjang elektroda (yang tertanam didalam tanah)} = 15 \text{ m } (L)$$

Maka besar nilai pentanahan:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \left( \frac{4L}{a} \right) - 1 \right]$$

$$R = \frac{100 \text{ Ohm/m}}{2 \times 3,14 \times 15 \text{ m}} \times \left[ \ln \left[ \frac{4 \times 15 \text{ m}}{3,5 \text{ cm}} \right] \right] - 1$$

$$= [1,061 \times [\ln[17,142]] - 1]$$

$$= [1,061 \times [2,841] - 1]$$

$$= 1,061 \times 1,841$$

$$= 1,953 \text{ Ohm}$$

#### 4.4 Nilai Pentanahan Sistem Bay Coupler

Sistem Bay Coupler adalah salah satu perangkat instalasi listrik di GI untuk menghubungkan 2 bus bar dan setiap bus bar memiliki bumi sendiri. Untuk data berikut dengan parameter:

$$\text{Tahanan jenis (tanah liat)} = 100 \text{ Ohm/m}(\rho)$$

$$\text{Jari-jari elektroda} = 3,5 \text{ cm (a)}$$

$$\text{Panjang elektroda (yang tertanam didalam tanah)} = 10 \text{ m (L)}$$

Maka besar nilai pentanahannya:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} X \left[ \ln\left(\frac{4L}{a}\right) - 1 \right]$$

$$R = \frac{100 \text{ Ohm/m}}{2 x 3,14 x 10 \text{ m}} X \left[ \ln\left(\frac{4 x 10 \text{ cm}}{3,5 \text{ cm}}\right) - 1 \right]$$

$$= 1,592 X [\ln[11,428] - 1]$$

$$= 1,592 X [2,436] - 1$$

$$= 1,592 X 1,436$$

$$= 2,286 \text{ Ohm}$$

#### 4.5 Data Hasil Ukur KVA dan Dimensi Saluran Distribusi Primer yang Disalurkan Dari GI Paya Geli Menuju PT. PLN (Persero)

Untuk mengetahui besarnya jatuh tegangan di sepanjang saluran distribusi utama, data saluran distribusi utama dan trafo dan daya yang terpasang disediakan oleh gardu induk Paya Geli.

**Tabel 4.9 Konstanta Jaringan (SPLN 64 Tahun 1985) yang digunakan Pada Penyulang GI Paya Geli**

Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Impedansi (Ohm/Kms)	KHA (A)
XLPE 240	0,098 + j0,133	533
AAAC 240	0,1344 + j0,3158	585
AAAC 150	0,2162 + j0,3305	425
AAAC 70	0,408 + j0,3572	155
AAAC 50	0,6452 + j0,3678	210

**Tabel 4.10 Data Saluran Penyulang GI Paya Geli**

No	Nama Penyulang	Kode	Panjang Total Jaringan SUTM (Kms)
1	Tripang	PG.2	57,76
2	Gurita	PG.3	59,47
3	Kepiting	PG.5	9,9

**Tabel 4.11 Data Hasil Ukur Transformator Distribusi Pada Penyulangan GI Paya Geli**

KVA Trafo	Panjang Saluran Kms	KVA Trafo (Sin) pada Saat Beban Puncak	Cos $\phi$
250	9,17	205	0,91
400	11,71	380	0,92
315	17,55	300	0,92
400	18,36	380	0,92
160	19,56	140	0,93
160	21,25	130	0,92

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil perhitungan pada bab sebelumnya maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai kesimpulan berikut:

- a) Efisiensi dipengaruhi besar kecilnya rugi inti dan rugi tembaga pada transformator.
- b) Semakin besar beban yang terpasang maka akan semakin besar pula rugi-rugi tembaga transformator yang dihasilkan yang akan mempengaruhi besarnya efisiensi.
- c) Dengan kapasitas daya yang sama, setiap transformator daya belum tentu memiliki efisiensi yang sama karena nilai rugi inti dan rugi tembaga yang tidak sama.
- d) Efisiensi dipengaruhi oleh rugi-rugi pada transformator daya walaupun nilai rugi-rugi relatif kecil dibandingkan daya transformator yang disalurkan.
- e) Pada TD 1 maupun TD 3, perubahan daya baik saat beban tertinggi maupun pada beban terendah dan mempengaruhi efisiensi transformator walaupun tidak terlalu signifikan.
- f) Pada TD 1 dan TD 3, pada saat terjadi perubahan maka akan terjadi perubahan rugi-rugi total transformator. Dalam hal ini, terjadi perubahan rugi tembaga pada transformator sedangkan rugi-rugi inti tidak berubah.



## 5.2 Saran

- a) Dalam pengoperasian transformator sebaiknya besar beban yang dipasang harus sesuai dengan standar yang telah diperbolehkan.
- b) Perawatan kepada transformator harus tetap dilakukan secara berkala sesuai yang telah ditetapkan oleh pabrik agar transformator tetap berfungsi sebagaimana seharusnya.



## DAFTAR PUSTAKA

Dendi Kongah, 2014 Analisis Pembebanan Transformator Gardu Selatan Kampus Universitas Tadulako., Jurnal MEKTRIK Vol. 1 No. 1, September 2014, ISSN 2356-4792

M Srinivasan, A Krishnan, 2012, "Prediction of Transformer Insulation Life with an Effect of Environmental Variables", International Journal of Computer Applications(0975-8887) Volume 55 No 5, Oktober 2012.

Kadir, Abdul, "Transformator", Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2010. Chapman, Stephen J, "Electric Machinery Fundamentals", 5th Edition, McGraw – Hill Book Company, Australia, 2012.

*Prih Sumarjdati, dkk. Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 1*

Rinas, I Wayan, "Studi Analisis Losses dan Derating Akibat Pengaruh THD pada Gardu Transformator Daya di Fakultas Teknik Universitas Udayana", Artikel Publikasi Volume 11 No1, Juni 2012.

Suryana, Alvian J, 2012, "Analisis Keandalan Transformator Distribusi menggunakan Indikator Tegangan Regulasidan Efisiensi Transformator (Studi Kasus pada PT.PLN APJ Jember)", Universitas Jember, Mei 2012.

<http://listrik.org/pln/program-35000-mw/> pada tanggal 31 maret 2017, di akses pada tanggal 18 Desember 2017.