

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS PENGARUH *GROUNDING* PADA PERFORMA TRANFORMATOR DISTRIBUSI PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH MENGGUNAKAN METODE IMPEDANSI PT.PLN (Persero) ULP BELAWAN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Elektro pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**FADLAN RIFKY**

**1907220029**



# **UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2023**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Fadlan Rifky  
NPM : 1907220029  
Program Studi : Teknik Elektro  
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh *Grounding* pada Performa Tranformator Distribusi pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi PT.PLN (Persero) ULP Belawan  
Bidang ilmu : Sistem Tenaga Listrik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 14 Juli 2023

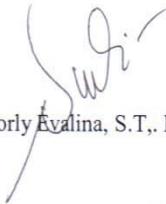
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.

Dosen Pembanding I / Penguji



Noorly Evalina, S.T., M.T.

Dosen Pembanding II / Penguji



Ir. Abdul Azis Hutasuht, M.M.

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T

## LEMBAR PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN

Kami yang bertanda tangan di bawah ini menerangkan bahwa skripsi yang berjudul di bawah ini:

Analisis Pengaruh *Grounding* pada Performa Transformator Distribusi pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi di PT.PLN (Persero) ULP Belawan  
Ditulis oleh Mahasiswa/i yang bernama:

Fadlan Rifky  
(NPM: 1907220029)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-1,

adalah benar merupakan sebagian hasil dari penelitian Dosen yang melibatkan Mahasiswa/i (Pihak ke-1) di bawah ini:

Judul penelitian : Analisis Pengaruh *Grounding* pada Performa Transformator Distribusi pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi di PT.PLN (Persero) ULP Belawan

Nama dosen : Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.

Jenis penelitian : Dikti; UMSU; Mandiri; Hibah lainnya. (coret yang tidak perlu)

Nomor kontrak : ..... (tidak diisi untuk Penelitian Mandiri)

untuk kemudian disebut sebagai Pihak ke-2.

Untuk itu Pihak ke-2 berhak mempublikasikan isi Skripsi seluruhnya tanpa harus meminta izin dari Pihak ke-1. Sedangkan Pihak ke-1 wajib meminta izin terlebih dahulu kepada Pihak ke-2 bila ingin mempublikasikan isi Skripsi ini.

Demikian Surat Pernyataan dan Persetujuan ini dibuat dengan sebenarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun.

Medan, 14 Juli 2023

Yang membuat pernyataan dan persetujuan:

Pihak ke-2 (Dosen)

Pihak ke-1 (Mahasiswa/i)



(Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.)



(Fadlan Rifky)  
NPM: 1907220029

Diketahui oleh:

Ketua Program Studi Teknik Elektro



(Faisal Irsan Basaribu, S.T., M.T)  
NIDN: 01301181101

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Fadlan Rifky  
Tempat /Tanggal Lahir: Kejuruan Muda/01 April 2001  
NPM : 1907220029  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

**“Analisis Pengaruh *Grounding* pada Performa Transformator Distribusi pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi di PT.PLN (Persero) ULP Belawan”,**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/ kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil/Mesin/Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 14 Juli 2023

Saya yang menyatakan,



Fadlan Rifky

## ABSTRAK

Pembumian merupakan aspek penting dari sistem tenaga yang memastikan keamanan dan keandalan peralatan dan personel listrik. Ini melibatkan menghubungkan sistem kelistrikan ke bumi, menyediakan jalur impedansi rendah untuk arus gangguan mengalir dan memfasilitasi pengoperasian perangkat pelindung. Dalam sistem pentanahan, semakin kecil nilai *resistansi* pentanahan maka kemampuan mengalirkan arus ke tanah semakin besar sehingga arus gangguan tidak mengalir dan merusak peralatan, ini berarti semakin baik sistem pentanahan tersebut. Pentanahan yang ideal memiliki nilai resistansi hingga mendekati nol. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *grounding* terhadap performa trafo distribusi dalam perlindungan terhadap kerusakan akibat gangguan listrik. Setelah melakukan kajian dengan pengamatan analisa data di lapangan, trafo bisa di simpulkan pada Trafo BL43 memiliki skala pengukuran x hasil ( $R_s$ ) = 1960  $\Omega$  dan Tahanan pasak ke tanah ( $R$ ) = 0,66  $\Omega$ . Sedangkan pada Trafo BL477 memiliki skala pengukuran x hasil ( $R_s$ ) = 1280  $\Omega$  dan Tahanan pasak ke tanah ( $R$ ) = 3,34  $\Omega$ . Lalu pada Trafo BL383 memiliki skala pengukuran x hasil ( $R_s$ ) = 2760  $\Omega$  dan Tahanan pasak ke tanah ( $R$ ) = 11,16  $\Omega$  maka dari ketiga jenis trafo tersebut skala pengukuran dan tahanan pasak ke tanah terbesar pada trafo BL383 dan transformator BL43 ( $\eta$ ) = 24,7 %. Sedangkan transformator BL477 efisiensi terbesar ( $\eta$ ) = 90,4 %. Kemudian transformator BL383 efisiensi terbesar ( $\eta$ ) = 36,8 %. Maka efisiensi dari ketiga transformator paling bagus yaitu pada trafo BL477 sebesar ( $\eta$ ) = 90,4 % hampir mendekati 100 % dengan daya 40 kW.

**Kata Kunci** : Pembumian, Transformator, Kelistrikan, Efisiensi

## ABSTRACT

*Grounding is an important aspect of a power system that ensures the safety and reliability of electrical equipment and personnel. This involves connecting the electrical system to earth, providing a low impedance path for fault currents to flow and facilitating the operation of protective devices. In a grounding system, the smaller the grounding resistance value, the greater the ability to flow current to the ground so that fault currents do not flow and damage equipment, this means the better the grounding system. Ideal grounding has a resistance value close to zero. This research aims to analyze the effect of grounding on the performance of distribution transformers in protecting against damage due to electrical disturbances. After conducting a study by observing data analysis in the field, the transformer can be concluded that the BL43 transformer has a measurement scale x yield (RS) = 1960  $\Omega$  and ground resistance (R) = 0.66  $\Omega$ . Meanwhile, the BL477 transformer has a measuring scale x yield (RS) = 1280  $\Omega$  and resistance of the stake to the ground (R) = 3.34  $\Omega$ . Then the BL383 transformer has a measurement scale x result (RS) = 2760  $\Omega$  and the ground resistance (R) = 11.16  $\Omega$ , so of the three types of transformers the measurement scale and ground resistance are the largest in the BL383 transformer and BL43 transformer ( $\eta$ ) = 24.7 %. Meanwhile, the BL477 transformer has the greatest efficiency ( $\eta$ ) = 90.4%. Then the BL383 transformer has the greatest efficiency ( $\eta$ ) = 36.8%. So the efficiency of the three transformers is the best, namely the BL477 transformer of ( $\eta$ ) = 90.4%, almost close to 100% with a power of 40 kW.*

**Keywords:** *Earthing, Transformer, Electricity, Efficiency*

## KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikumWarahmatullahiWabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karuniadan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Pengaruh *Grounding* pada Performa Transformator Distribusi pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi Di PT.PLN (Persero) ULP Belawan” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU). Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus kepada:

1. Ayahanda tercinta Uswanto, Ibunda tercinta Rosidawati dan sertaseluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil sertana sehat dan doa untuk penulis demi selesainya tugas akhir ini.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah memberikan perhatian sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Bapak Dr. Ade Faisal M. Sc., Ph.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Affandi, S.T., M.T.,selaku Wakil III Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
6. Ibu Elvy Sahnur, S.T., M.Pd., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan juga selaku pembimbing dalam tugas akhir ini yang telah memberikan bimbingannya, masukan dan bantuan sehingga tugas sarjana ini dapat terselesaikan dengan baik.
7. Seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah SumateraUtara

8. Seluruh rekan-rekan seperjuangan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro khususnya kelas A1 pagi yang telah banyak membantu dan memberikan semangat kepada penulis dengan memberikan masukan-masukan yang bermanfaat selama proses perkuliahan maupun dalam penulisan tugas akhir ini.
9. Seluruh Staff Tata Usaha Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan tidak luput dari kekurangan, karena itu dengan senang hati dan penuh lapang dada penulis menerima segala bentuk kritik dan saran dari pembaca yang sifatnya membangun demi kesempurnaan penulisan tugas akhir ini. Akhir kata penulis mengharapkan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan semoga Allah SWT selalu merendahkan hati atas segala pengetahuan yang kita miliki. Amiinnya rabbalalamin.

Wassalamua'alaikumWarahmatullahiWabarakatuh.

Medan, 14 Juli 2023

FADLAN RIFKY

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Ruang lingkup Penelitian</b> .....	3
<b>1.5 Manfaat Penelitian</b> .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1. Tinjauan Pustaka Relevan</b> .....	5
<b>2.2. Landasan Teori</b> .....	16
2.2.1 Trafo Distribusi.....	16
2.2.2 Jenis-jenis Transformator .....	25
2.2.3 Prinsip Kerja Transformator .....	25
2.2.4 Efisiensi Trafo.....	26
2.2.5 Hubungan Pada Transformator 3 Fasa.....	27
2.2.6 Jaringan Distribusi .....	28
2.2.7 Sistem Proteksi Pada Gardu Distribusi.....	29
2.2.8 Jenis-jenis Gardu Distribusi.....	30

2.2.9	Sistem Pentanahan .....	32
2.2.10	Jenis-jenis sistem pentanahan .....	33
2.2.11	Tahanan Jenis Tanah.....	33
2.2.12	Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan .....	36
2.2.13	Faktor-Faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan .....	37
2.2.14	Tahanan Jenis Tanah ( $\rho$ ) .....	37
2.2.15	Jenis Elektroda pentanahan.....	38
2.2.16	Arrester .....	40
2.2.17	Prinsip Kerja Arrester .....	40
2.2.18	Karakteristik Arrester .....	41
2.2.19	Metode Impedansi.....	41
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>45</b>
3.1	<b>Tempat Dan Waktu .....</b>	<b>45</b>
3.2	<b>Peralatan Penelitian .....</b>	<b>45</b>
3.3	<b>Data Penelitian.....</b>	<b>48</b>
3.4	<b>Prosedure Penelitian .....</b>	<b>48</b>
3.5	<b>Flowchart Penelitian .....</b>	<b>49</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN ANALISA .....</b>		<b>51</b>
4.1.	<b>Tabel Data Penelitian <i>Grounding</i>.....</b>	<b>51</b>
4.2.	<b>Analisa Data <i>Ground</i> .....</b>	<b>51</b>
4.3.	<b>Tabel Data Transformator .....</b>	<b>52</b>
4.4.	<b>Analisa Data Transformator .....</b>	<b>53</b>
4.5.	<b>Grafik Hasil Analisa.....</b>	<b>56</b>
4.5.1.	Grafik Analisa Hasil <i>Resistansi</i> Pasak Tanah.....	56
4.5.2.	Grafik Hasil Analisa Transformator .....	57
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>59</b>

<b>5.1. Kesimpulan .....</b>	<b>59</b>
<b>5.2. Saran .....</b>	<b>60</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>61</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>65</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Transformator.....	18
Gambar 2. 2 Inti Besi .....	18
Gambar 2. 3 Kumparan Trafo .....	19
Gambar 2. 4 Minyak Trafo.....	19
Gambar 2. 5 Bushing .....	20
Gambar 2. 6 Tap changer .....	20
Gambar 2. 7 Dehydrating Breather .....	21
Gambar 2. 8 Indikator .....	22
Gambar 2. 9 Relai Bucholzt dan Jansen Membran .....	22
Gambar 2. 10 Jansen Membran.....	22
Gambar 2. 11 Isolator Piring.....	23
Gambar 2. 12 Isolator Tumpu .....	23
Gambar 2. 13 Lightning Arrester .....	24
Gambar 2. 14 Fuse Cut Out (FCO) .....	24
Gambar 2. 15 Line Diagram Gardu Portal .....	31
Gambar 2. 16 Line Diagram Grounding Sistem TT .....	32
Gambar 2. 17 Bila tahanan pentanahan.....	34
Gambar 2. 18 Persamaan Hukum ohm .....	35
Gambar 2. 19 Standar pengukuran pentanahan.....	36
Gambar 2. 20 Elektroda Batang .....	39
Gambar 2. 21 Elektroda Pelat .....	39
Gambar 2. 22 Elektroda Pita .....	40
Gambar 3. 1 Control Panel.....	45
Gambar 3. 2 Transformator.....	46
Gambar 3. 3 Earth Tester .....	46
Gambar 3. 4 Tang Ampere Digital.....	47
Gambar 3. 5 Miniature Circuit Breaker (MCB).....	47

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Nilai Rata-Rata Jenis Tanah.....	34
Tabel 2.2 Tahanan Jenis Tanah.....	37
Tabel 4.1 Data Ground dan Tahanan Jenis Tanah .....	51
Tabel 4.2 Hasil Analisa Grounding pada Bulan September 2023 .....	52
Tabel 4.3 Data Tranformator pada Bulan September .....	52
Tabel 4.4 Hasil Analisa Transformator pada bulan September 2023 .....	55

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat dibutuhkan manusia dalam menyelenggarakan kehidupannya, untuk menyalurkan kebutuhan listrik tersebut diperlukan suatu jaringan dan gardu distribusi. Karena kebutuhan manusia akan listrik semakin banyak maka diperlukan juga peralatan yang bisa mencukupi kebutuhan tersebut. Dengan demikian untuk menjaga serta mengamankan pemakai serta peralatan listrik, diperlukan sebuah sistem yaitu sistem pentanahan pada trafo distribusi itu sendiri. Sistem pentanahan pada trafo distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi. (Rumondor et al. 2021)

Dalam sistem pentanahan, semakin kecil nilai *resistansi* pentanahan maka kemampuan mengalirkan arus ke tanah semakin besar sehingga arus gangguan tidak mengalir dan merusak peralatan, ini berarti semakin baik sistem pentanahan tersebut. Pentanahan yang ideal memiliki nilai resistansi hingga mendekati nol. (Lembo 2016)

Pembumihan merupakan aspek penting dari sistem tenaga yang memastikan keamanan dan keandalan peralatan dan personel listrik. Ini melibatkan menghubungkan sistem kelistrikan ke bumi, menyediakan jalur impedansi rendah untuk arus gangguan mengalir dan memfasilitasi pengoperasian perangkat pelindung. Dalam jaringan tegangan rendah, seperti bangunan perumahan dan komersial, trafo distribusi 3 fasa merupakan komponen penting yang mengubah daya tegangan tinggi menjadi daya tegangan rendah dan mendistribusikannya ke beban. Namun, pentanahan transformator ini dapat berdampak signifikan pada kinerjanya dan operasi jaringan secara keseluruhan. (Verta Asi, Bonar, and Purwoharjono 2018)

Dalam penyaluran energi listrik pada jaringan tegangan rendah, salah satu peralatan utama yang digunakan adalah transformator Distribusi 3 Fasa. Trafo distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan sehingga tegangan tersebut

dapat dipakai dengan aman oleh konsumen pada jaringan tegangan rendah seperti rumah tangga, lampu jalan, sekolah.

Dalam sistem tenaga listrik, transformator distribusi memiliki peran penting pada jaringan distribusi tenaga listrik untuk mentransformasikan tegangan menengah 20 kV menjadi tegangan rendah 220 V dan 380 V.

Transformator merupakan komponen yang sangat penting perannya dalam sistem tenaga listrikan transformator adalah suatu peralatan listrik elektro magnetis statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik kerangkaan listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu gandengan magnet dan bekerja prinsip kerja induksi elektromagnetis dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

*Grounding* digunakan untuk menghubungkan sistem distribusi ke tanah, yang dapat mengurangi potensi bahaya tegangan tinggi yang tidak diinginkan, mengurangi risiko kegagalan isolasi, dan melindungi peralatan listrik serta pengguna dari bahaya listrik. Namun, jenis *grounding* yang diterapkan dalam sistem distribusi dapat berpengaruh pada performansi transformator distribusi tiga fasa.

Syarat-syarat keandalan pada sistem tenaga listrik adalah persentase pembebanan transformator tidak melebihi 80% sesuai aturan SPLN No. 17 Tahun 1979, persentase drop tegangan pada sisi konsumen maksimal 10% sesuai aturan SPLN No. 1 Tahun 1995 dan persentase faktor ketidakseimbangan beban dikategorikan baik untuk persentase ketidakseimbangan beban 10% - < 20%, dikategorikan kurang untuk persentase ketidakseimbangan beban 20% - < 25%, dan dikategorikan buruk untuk persentase ketidakseimbangan beban lebih dari 25% sesuai surat edaran direksi PT.PLN (Persero) No.0017.E/DIR/2014 tentang metode pemeliharaan trafo distribusi berbasis kaidah manajemen aset.

Pada sistem tenaga yang semakin besar dengan panjang saluran dan besarnya tegangan akan menimbulkan arus gangguan yang semakin besar oleh karena itu dalam sistem distribusi juga sangat membutuhkan *grounding* agar supaya jika terjadi arus lebih atau sambaran petir maka tidak akan terjadi

pemutusan (*clearing*) dan pukulan balik (*restriking*) dari busur listrik secara berulang ulang, hal ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan tegangan transient yang lebih tinggi yang dapat merusak peralatan termasuk transformator mengingat komponen yang paling mahal adalah transformator.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *grounding* atau penghubung ke tanah pada performansi transformator distribusi tiga fasa. Penelitian akan melibatkan analisis terhadap parameter-parameter seperti arus hubung singkat, tegangan, rugi-rugi daya, dan efisiensi transformator dengan variasi sistem *grounding* yang berbeda.

Berdasarkan permasalahan diatas maka penulis tertarik untuk membuat **“Analisis Pengaruh *Grounding* pada Performa Transformator Distribusi pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi di PT.PLN (Persero) ULP Belawan”** sebagai judul skripsi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diambil pada analisis ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh *grounding* terhadap performa tranformator distribusi dalam perlindungan terhadap kerusakan akibat gangguan listrik?
2. Bagaimana pengaruh *grounding* terhadap efesiensi transformator distribusi?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari analisis ini yaitu:

1. Untuk menganalisis pengaruh *grounding* terhadap performa tranformator distribusi dalam perlindungan terhadap kerusakan akibat gangguan listrik.
2. Menganalisis pengaruh *grounding* terhadap efesiensi transformator distribusi.

## **1.4 Ruang lingkup Penelitian**

Mengingat luasnya permasalahan dalam laporan ini penulis merasa perlu membatasi masalah yang akan dibahas, mengingat kemampuan, pengalaman serta keterbatasan waktu dan tempat.

Maka ada hal-hal tertentu yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis perhitungan dan pemilihan nilai *resistansi* pentanahan
2. Menganalisis efesiensi transformator

3. Menganalisis pengaruh *persentase* impedansi dari sebuah transformator voltage drop pada keadaan *full load*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan penulis adalah:

1. Memberikan manfaat terhadap mahasiswa/i dengan menciptakan inovasi dan mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh dari perkuliahan.
2. Memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana *grounding* yang tepat atau kurang tepat dapat mempengaruhi kinerja terhadap trafo.
3. Dapat membantu meningkatkan keselamatan kerja bagi para pekerja agar tidak meremehkan sistem proteksi *grounding*.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Tinjauan Pustaka Relevan

Sistem tenaga listrik terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi. Tenaga listrik yang dihasilkan generator disalurkan ke masyarakat melalui jaringan transmisi kemudian ke jaringan distribusi. Jaringan distribusi merupakan bagian jaringan listrik yang paling dekat dengan beban (konsumen). Jaringan distribusi sendiri dikelompokkan menjadi dua, yaitu jaringan distribusi primer dan jaringan distribusi sekunder. (Unefa et al. 2018)

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peran penting karena berhubungan langsung dengan pemakai energi listrik, terutama pemakai energi listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Jadi sistem ini selain berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan. Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan (Jurusan et al. 2014).

Dalam pengetanahan titik transformator disisi sekunder melalui tahanan perlu dilakukan karena bila titik netralnya diketanahkan tanpa tahanan (*solid*) akan mempengaruhi impedansi dan berpengaruh terhadap besarnya arus gangguan hubung singkat pada penyulang (*feeder*). Dengan demikian disekitar titik gangguan sangat berbahaya bagi peralatan yang dilaluinya dan juga diperkirakan dapat menyebabkan kerusakan pada kabel penghantar disekitar titik gangguan tersebut. (Asran and Jannah 2021)

Kelayakan *grounding* atau pembumian harus bisa memiliki nilai tahanan sebaran atau *resistansi* maksimal 5 ohm (bila dibawah 5 ohm lebih baik). Material *grounding* penangkal petir dapat berupa batang tembaga, lempeng tembaga, atau kerucut tembaga, semakin luas permukaan material *grounding* penangkal petir yang ditanam ke tanah maka *resistansi* akan semakin rendah atau semakin baik. Nilai standar mengacu pada Persyaratan Umum Instalasi Listrik atau PUIL 2000 (peraturan yang sesuai dan berlaku hingga saat ini) yaitu kurang dari atau sama

dengan 5 (lima) ohm. Dijelaskan bahwa nilai sebesar 5 ohm merupakan nilai maksimal atau batas tertinggi dari hasil resistansi pembumian (*grounding*) yang masih bisa ditoleransi. Nilai yang berada pada *range* 0 ohm - 5 ohm adalah nilai aman dari suatu instalasi pembumian atau *grounding*. Nilai tersebut berlaku untuk seluruh sistem dan instalasi yang terdapat pembumian (*grounding*) didalamnya. Bumi merupakan titik netral yang baik, karena diasumsikan bumi memiliki jumlah muatan negatif yang tak terbatas, sehingga tidak dapat dialirkan listrik, bahkan sambaran petir yang memiliki tegangan listrik sampai jutaan Volt, dapat dinetralkan oleh bumi. Bumi atau tanah tentunya memiliki masa dan volume yang sangat besar sehingga bisa menetralkan adanya muatan listrik sekalipun itu petir yang menurut membawa muatan listrik dengan arus berkisar 5000 sampai 200.000 A dan 40.000 hingga 120.000 Volt (Yusmartato et al. 2021)

Pada tahun 1910, sistem-sistem tenaga listrik tidak diketanahkan. Hal itu dapat dimengerti karena pada waktu itu sistem-sistem tenaga listrik masih kecil dan apabila ada gangguan fasa ke tanah (*line to ground*) arus gangguan masih kecil, dan biasanya kurang dari 5 ampere. Pada umumnya bila arus gangguan itu sebesar 5 ampere atau lebih kecil busur listrik yang timbul pada kontak-kontak antara kawat yang terganggu dan tanah masih dapat padam sendiri. Tetapi seiring perkembangan jaman ini, sistem tenaga listrik sudah sangat maju dengan pesat baik dari panjang saluran begitu juga dengan tegangannya. Dengan demikian arus yang timbul bila terjadi gangguan tanah makin besar dan busur listrik itu tidak dapat lagi padam dengan sendirinya. Tambahan lagi gejala-gejala busur tanah atau arcing *grounds* semakin menonjol. Gejala busur tanah adalah proses terjadinya pemutusan (*clearing*) dan pukul-ulang (*restriking*) dari busur listrik secara berulang-ulang. (Apriliyanto and Wartana n.d.)

Perilaku tahanan sistem pentanahan sangat tergantung pada frekuensi (dasar dan harmonisanya) 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, tanah tambak masing-masing memiliki nilai pentanahan yang berbeda-beda juga. Dalam suatu pentanahan baik penangkal petir atau pentanahan netral sistem tenaga adalah berapa besar impedansi sistem pentanahan tersebut. Besar impedansi

pentanahan tersebut sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. (Sidoarjo 2017)

Guna memperoleh *grounding* yang sesuai standar, diperlukan pengukuran tahanan pentanahan yang akurat. Dalam usulan penelitian ini akan dilakukan rekondisi pengukuran tahanan pentanahan dengan menggunakan batang elektroda dengan kedalaman tertentu dan diparalelkan untuk memperoleh nilai suatu tahanan yang rendah dengan panjang, jarak, maupun jumlah batang elektroda yang diubah - ubah sampai diperoleh sesuai dengan standar yang telah ditetapkan untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM), yaitu  $\pm 1 \Omega$  sesuai dengan standar PUIL 2011 dan SPLN. (Purwito 2020)

Salah satu faktor utama dalam setiap usaha pengamanan rangkaian listrik adalah pentanahan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik dilaksanakan maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan baik dan benar. Berdasarkan besarnya arus gangguan dan kenaikan tegangan fasa yang tidak terganggu, impedansi pengetanahan netral dapat diatur. (Tanjung 2015)

Pentanahan ada 2 macam, yaitu: pentanahan peralatan dan pentanahan titik netral sistem. Pentanahan titik netral sistem menghubungkan titik netral sistem ke tanah melalui penghantar baik menggunakan tahanan dan kapasitor maupun pentanahan langsung (*solid*) untuk mengalirkan arus gangguan ke tanah. Pada saat terjadi gangguan, arus gangguan yang dialirkan ke tanah melalui pentanahan akan menimbulkan perbedaan tegangan pada permukaan tanah yang disebabkan karena adanya tahanan tanah. Jika pada waktu gangguan terjadi, seseorang berjalan di dekatnya sambil menyentuh suatu peralatan yang ditanahkan yang terkena gangguan, maka akan ada arus yang mengalir melalui tubuh orang tersebut. (Widyastuti et al. 2021)

Salah satu faktor utama dalam setiap usaha pengamanan rangkaian listrik adalah pentanahan. Apabila suatu tindakan pengamanan yang baik dilaksanakan maka harus ada sistem pentanahan yang dirancang dengan baik dan benar. Untuk mendapatkan nilai suatu pentanahan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R = \frac{\rho}{4} \sqrt{\frac{\pi}{A}}$$

Berbahaya bagi lingkungan dan mahal nya harga perlengkapan-perengkapannya, selain itu juga tidak cocok dengan nilai tegangan yang dibutuhkan pada sisi beban. Maka, pada daerah-daerah pusat beban tegangan saluran yang tinggi ini diturunkan kembali dengan menggunakan transformator 45 *step-down*. Dalam hal ini jelas bahwa berdasarkan besarnya arus gangguan dan kenaikan tegangan fasa yang tidak terganggu, impedansi pengetanahan netral dapat diatur. Pemilihan impedansi harus dilakukan secara analitis bila  $Z_n =$  besar,  $I_f =$  kecil dan  $\Delta =$  besar. (Rumondor et al. 2021)

Pada sistem tenaga yang semakin besar dengan panjang saluran dan besarnya tegangan, akan menimbulkan arus gangguan yang semakin besar. Dengan demikian apabila terjadi gangguan tanah akan semakin besar dan busur listrik tidak dapat padam dengan sendirinya ditambah gejala-gejala busur tanah semakin menonjol. Gejala busur tanah adalah suatu proses terjadinya pemutusan (*clearing*) dan pukulan balik (*restriking*) dari busur listrik secara berulang-ulang. Hal ini sangat berbahaya karena dapat menimbulkan tegangan transient yang lebih tinggi dan dapat merusak peralatan juga akan membahayakan pekerja atau masyarakat di sekitarnya karena akan timbul tegangan sentuh. Oleh karena itu, pada sistem tenaga besar (pada sistem Y) titik netral sistem ditanahkan (*grounding*) melalui tahanan atau resistance (Hamid and Abubakar n.d.)

Sistem pentanahan pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi. Petir dapat menghasilkan arus gangguan dan juga tegangan lebih dimana gangguan tersebut dapat dialirkan ke tanah dengan menggunakan sistem pentanahan. Sistem pentanahan adalah suatu tindakan pengamanan dalam jaringan distribusi yang langsung rangkaiannya ditanahkan dengan cara mentanahkan badan peralatan instalasi yang diamankan, sehingga bila terjadi kegagalan isolasi, terhambatlah atau bertahannya tegangan sistem karena terputusnya arus oleh alat-alat pengaman tersebut. Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

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

Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanannya (Jumari, Yahya Ginting 2019).

Penggunaan energi listrik umumnya selalu menunjukkan gejala yang meningkat. Hal ini tidak bisa dipungkiri lagi, karena tenaga listrik merupakan bentuk energi yang sangat menguntungkan dan sangat membantu manusia dalam menyelenggarakan kehidupannya. Untuk menyalurkan kebutuhan tenaga listrik tersebut dari produsen listrik ke konsumen diperlukan suatu jaringan dan gardu distribusi. Berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN), sistem dapat dikatakan efektif bila drop tegangannya tidak melebihi + 5 % dan - 10 % dari tegangan nominal, rugi-rugi daya dan dari total daya yang disalurkan pada saat terjadi gangguan, arus gangguan yang dialirkan ke tanah akan menimbulkan perbedaan tegangan pada permukaan tanah yang disebabkan karena adanya tahanan tanah. Jika pada waktu gangguan itu terjadi seseorang berjalan di atas *switch yard* sambil memegang atau menyentuh suatu peralatan yang diketanahkan yang terkena gangguan, maka akan ada arus mengalir melalui tubuh orang tersebut.

Sistem pentanahan bertujuan untuk mengamankan peralatan-peralatan listrik maupun manusia yang berlokasi di sekitar gangguan dengan cara mengalirkan arus gangguan ke tanah. Salah satu faktor untuk mendapatkan nilai tahanan pentanahan yang kecil yaitu letak elektroda yang akan ditanam dan kondisi tanah didaerah dimana sistem pentanahan tersebut akan dipasang. nilai tahanan pentanahan sangat dipengaruhi oleh kedalaman elektroda yang ditanam, jumlah elektroda, jarak antar elektroda, ukuran konduktor dan kondisi tanah dimana elektroda tersebut ditanam, Pemilihan metode pentanahan pada multi transformator menjadi pertimbangan penting dalam sebuah industri yang memiliki

tegangan menengah. Hal ini dikarenakan seringnya terjadi gangguan ke tanah serta besarnya arus gangguan satu fasa ke tanah pada masing-masing transformator. Jika terjadi kesalahan dalam pemilihan pentanahan transformator akan menyebabkan kerusakan yang sangat berarti pada peralatan tersebut (Tanjung and . 2017).

Sistem pentanahan adalah sistem pentanahan dengan titik netral yang ditanahkan, Sistem tersebut sengaja dihubungkan ke tanah, baik itu melalui impedansi maupun secara langsung (*solid*) untuk menghindari kecelakaan atau kerugian akibat arus gangguan ke tanah. Fungsi dari sistem pentanahan diantaranya untuk menghilangkan arus gangguan yang mengalir ke dalam tanah dan untuk menjaga kestabilan dari kinerja sistem, terutama pada generator. Sistem pentanahan dibedakan menjadi 2, yaitu sistem pentanahan netral dan sistem pentanahan peralatan. Sistem pentanahan netral digunakan pada generator dan transformator. Pentanahan netral dibagi dalam dua kategori diantaranya pentanahan titik netral peralatan dan pentanahan bodi peralatan. Sistem pentanahan peralatan adalah pengamanan dengan cara menghubungkan badan peralatan atau instalasi yang diproteksikan dengan hantaran netral yang ditanahkan sedemikian rupa sehingga apabila terjadi kegagalan isolasi tidak terjadi tegangan sentuh yang tinggi sampai bekerjanya alat pengaman arus lebih. Dengan menggunakan sistem pentanahan netral generator melalui transformator distribusi, dimana ujung dari primer transformator dihubungkan ke ujung sekunder generator kemudian ujung sekunder trafo dihubungkan ke resistor. *Resistansi* sekunder biasanya dipilih untuk gangguan pentanahan satu fasa ke tanah pada terminal generator dimana disipasi daya resistor sama dengan atau lebih besar dari tegangan reaktif kapasitansi urutan-nol pada belitan transformator yang dihubungkan ke terminal generator. Tujuannya agar jika terjadi gangguan pada ujung sekunder transformator, gangguan tersebut diatasi dengan pentanahan dengan *resistansi* tinggi yang dihubungkan pada ujung sekunder transformator. Sistem pentanahan netral generator melalui transformator distribusi menggunakan *resistansi* tinggi untuk membatasi arus gangguan satu fasa ke tanah dengan batas arus gangguan maksimum 3-25A (Syahputra 2019).

Sistem yang dibumikan biasanya berasal dari trafo gardu distribusi dengan belitan sekunder yang terhubung dengan wye dengan titik netral dari belitan yang dibumikan secara kokoh atau dihubungkan ke tanah melalui perangkat pembatas arus yang tidak terputus seperti resistor atau reaktor. Trafo pembumian dapat digunakan untuk membangun sistem pembumian, seperti yang umum terjadi di Eropa. Sirkuit yang terkait dengan sistem distribusi *ground* umumnya memiliki konduktor netral yang terhubung ke titik *ground* suplai. Konduktor netral dari sirkuit distribusi dapat disambungkan ke bumi pada interval yang sering (*multigrounded*), atau dapat diisolasi sepenuhnya dan tidak mempunyai sambungan bumi lain kecuali pada sumbernya (*unigrounded*). Dalam sistem *uniground* tiga kabel, konduktor netral tidak dijalankan pada setiap rangkaian, tetapi sistem dibumikan melalui sambungan trafo gardu induk atau trafo pentanahan. Konduktor netral yang terkait dengan pengumpan utama sistem distribusi netral multi-*ground* dihubungkan ke bumi pada interval yang ditentukan oleh peraturan nasional atau local (Burke and Marshall 2001).

Jaringan listrik dengan resistor netral, dibandingkan dengan sistem pembumian netral dan resonansi terisolasi, memiliki keandalan yang lebih tinggi karena penekanan proses transien yang menyertai kegagalan pembumian satu fasa, pengurangan kerusakan pada elemen sistem catu daya (yang terakhir adalah disebabkan oleh penurunan tegangan lebih internal yang signifikan) dan penghapusan proses ferroresonansi. Biaya modal tambahan yang cukup besar untuk penerapan jaringan dengan resistor netral, dibandingkan dengan jaringan dengan netral yang sepenuhnya terisolasi, pada arus kegagalan bumi akan lebih besar dari 5 ... 10 A. Dalam hal ini, diperlukan untuk menyertakan a resistor tegangan tinggi dan perangkat untuk menghubungkannya ke jaringan netral, yang selain perangkat *switching* juga dapat mencakup transformator khusus yang diperlukan untuk menghubungkan resistor. Dalam jaringan dengan arus kegagalan tanah hingga 5 A, biaya modal tambahan berkurang hampir nol, karena dalam hal ini dimungkinkan untuk mengelola trafo pengukur dan resistor tegangan rendah yang tersedia di jaringan (Ostapchuk et al. 2021).

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks dikumparan primer maka dikumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi dikumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet dikumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi) (Wiranto, M. I. Patras, L. S. Silimang 2022).

Sistem pentanahan atau biasa disebut sebagai *grounding system* adalah sistem pengamanan terhadap perangkat-perangkat yang mempergunakan listrik sebagai sumber tenaga, dari lonjakan listrik utamanya petir. Sistem pentanahan digambarkan sebagai hubungan antara suatu peralatan atau sirkit listrik dengan bumi. Sistem pentanahan yang digunakan baik untuk pentanahan netral dari suatu sistem tenaga listrik, pentanahan sistem penangkal petir dan pentanahan untuk suatu peralatan khususnya dibidang telekomunikasi dan elektronik perlu mendapatkan perhatian yang serius, karena pada prinsipnya pentanahan tersebut merupakan dasar yang digunakan untuk suatu system proteksi. Tidak jarang orang umum/ awam maupun seorang teknisi masih ada kekurangan dalam memprediksikan nilai dari suatu hambatan pentanahan. Besaran yang sangat dominan untuk diperhatikan dari suatu sistem pentanahan adalah hambatan sistem suatu sistem pentanahan tersebut. Sampai dengan saat ini orang mengukur hambatan pentanahan hanya dengan menggunakan *Earth Tester* yang prinsipnya mengalirkan arus searah ke dalam system pentanahan, sedang kenyataan yang terjadi suatu system pentanahan tersebut tidak pernah dialiri arus searah. Karena biasanya berupa sinusoidal (AC) atau bahkan berupa impuls (petir) dengan frekuensi tingginya atau berbentuk arus berubah waktu yang sangat tidak menentu bentuknya. 3. Kontak Tanah Bagian lain dari system hubungan pentanahan yaitu tanah itu sendiri dimana kontak antara tanah dengan pasak yang tertanam harus

cukup luas sehingga nilai tahanan dari jalur arus yang masuk atau melewati tanah masih dalam batas yang diperkenankan untuk penggunaan tertentu. Hambatan jenis tanah yang akan menentukan tahanan pentanahan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang meliputi : temperatur tanah. Besarnya arus yang melewati kandungan air dan bahan kimia yang ada dalam tanah, kelembaban tanah, cuaca (Pai, Patras, and Rumbayan 2022).

Syarat-syarat keandalan pada sistem tenaga listrik adalah *persentase* pembebanan transformator tidak melebihi 80% sesuai aturan SPLN No. 17 Tahun 1979, *persentasedrop* tegangan pada sisi konsumen maksimal 10% sesuai aturan SPLN No. 1 Tahun 1995 dan *persentase factor* ketidakseimbangan beban dikategorikan baik untuk *persentase* < 10%, dikategorikan cukup untuk *persentase* ketidakseimbangan beban 10% - < 20%, dikategorikan kurang untuk *persentase* ketidakseimbangan beban 20% - < 25%, dan dikategorikan buruk untuk *persentase* ketidakseimbangan beban lebih dari 25% sesuai surat edaran direksi PT.PLN (Persero) No.0017.E/DIR/2014 tentang metode pemeliharaan trafo distribusi berbasis kaidah manajemen asset (Sanda, Ambabunga, and Pawarangan 2022).

Berdasarkan prinsipnya, melalui kopling magnet lain. Transformator induksi elektromagnetik banyak digunakan di kedua bidang peralatan listrik dan elektronik. transformator merupakan alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkain listrik lainnya melalui gandengan magnet (Zuhal, 1988). Transformator adalah suatu alat elektromagnet yang dapat mengubah taraf tegangan AC tinggi ke taraf tegangan AC rendah dengan frekuensi yang sama. Contoh dari cara kerja tersebut adalah transformator dapat menaikkan tegangan dari 110 VAC ke 220 VAC dan dapat menurunkan tegangan dari 220VAC ke 12 VA. Adapun kontruksi transformator tiga fasa yaitu inti besi, minyak trafo, *bushing*, alat pernapasan, *tap changer*, pendingin trafo. Prinsip kerja Prinsip kerja dari transformator berupa electromagnet yang hanya bekerja pada arus bolak-balik (AC). Transformator terdiri dari dua lilitan kumparan kawat, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Terdapat inti besi atau yang sering disebut sebagai core. Kumparan kawat dililitkan pada inti besi (core). Kumparan kawat primer yang teraliri oleh

arus bolak-balik (AC), maka akan mengakibatkan fluks magnetik disekitarnya. Besarnya arus yang mengalir akan mengakibatkan kekuatan medan magnet. Semakin besar arus yang dihasilkan maka semakin besar juga medan magnetnya. Fluktuasi medan magnet yang terjadi di sekitar kumparan primer akan menginduksi Gaya Gerak Listrik (GGL) yang berada di dalam kumparan sekunder. Selain itu, daya ditransfer dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Taraf tegangan berubah dari tegangan rendah ke tegangan tinggi dan sebaliknya dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Inti besi yang terdapat dalam sebuah transformator umumnya merupakan kumpulan pelat besi tipis yang berinsulasi. Lempengan besi ini membantu memfasilitasi lewatnya fluks magnet yang dihasilkan oleh arus dalam kumparan. Ini juga membantu mengurangi aliran panas yang dihasilkan. transformator tiga fasa memiliki dua fungsi yaitu menaikkan tegangan (*step-up*) dan menurunkan tegangan (*step-down*). *Step-up* pada sistem dimana tegangan keluarannya lebih tinggi dari pada tegangan masukannya. Sedangkan menurunkan tegangan (*step-down*) pada sistem dimana tegangan keluarannya lebih rendah dari pada tegangan masukannya. (Tn-c 2022)

Transformator distribusi lebih baik dibebani tidak lebih dari 80% atau di bawah 40% (PT. PLN). Jika beban melebihi atau kurang dari *range* tersebut, maka transformator dapat dikatakan overload atau underload. Jika beban transformator terlalu besar atau melebihi *range* tersebut maka perlu dilakukan penggantian atau penyisipan transformator.

Ketidakeimbangan disebabkan karena adanya banyak beban antar fasa yang tidak merata atau seimbang baik akibat perbedaan beban antar fasa ataupun sifat beban dalam suatu proses produksi yang membebani setiap fasa pada waktu yang berbeda. Batasan ketidakseimbangan tegangan rata-rata yaitu 2% dalam 95% rentang waktu pengukuran. Ketidakseimbangan antar tiga fasa berakibat munculnya arus yang mengalir pada kabel netral trafo. Karena arus mengalir pada kabel netral trafo, maka rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi akan terjadi peningkatan sehingga kerugian berdampak besar pada pihak konsumen maupun pihak PLN. (Esmaul et al. 1945)

Frekuensi dasar dari sistem kelistrikan di Indonesia adalah 50 Hz magnetik dalam suatu rangkaian bahan penghantar akan menimbulkan tegangan induksi pada rangkaian tersebut (hukum Faraday). Antara sisi primer dan sisi sekunder terdapat konektor magnetik. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama. Medan magnet berperan sangat penting sebagai rangkaian proses konversi energi melalui medium medan magnet, bentuk energi mekanik dapat diubah menjadi energi listrik, alat konversi ini disebut generator atau sebaliknya dari bentuk energi listrik menjadi energi mekanik, sebagai alat konversi disebut motor. Pada transformator, gandengan medan magnet berfungsi untuk memindahkan dan mengubah energi listrik dari rangkaian primer ke sekunder melalui prinsip induksi elektromagnetik. Dari sisi tampilan listrik, medan magnet mampu menginduksikan tegangan pada konduktor sedangkan dari sisi tampilan mekanisme medan magnet sanggup untuk menghasilkan gaya dan kopel (Abhiyaksa et al. 2022).

Ketidakeimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus di netral trafo. Ketidakeimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakeimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakeimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. (Tanjung et al. 2016)

Sistem distribusi merupakan salah satu sistem dalam tenaga listrik yang mempunyai peranan penting karena berhubungan langsung dengan penggunaan energi listrik, khususnya para pengguna listrik tegangan menengah dan tegangan rendah. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti ketersediaan listrik. Saat ini listrik merupakan kebutuhan utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik terdapat pembagian beban yang pada awalnya merata, namun karena adanya perbedaan waktu penyalan setiap fasa beban menyebabkan terjadinya ketidakeimbangan

beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban merupakan hal yang menimbulkan kerugian teknis. Ketidakseimbangan beban antar tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus pada netral trafo.

Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar yaitu distribusi primer (20kV) dan distribusi sekunder (380/220V). Jaringan distribusi 20 kV sering disebut sistem distribusi tegangan menengah dan jaringan distribusi 380/220 V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut jaringan tegangan rendah 380/220V.

Trafo terdiri dari dua kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektrik namun dihubungkan secara magnetis melalui saluran yang mempunyai keengganan rendah. Jika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka akan timbul fluks bolak-balik pada inti yang dilaminasi, karena kumparan membentuk jaringan tertutup dan arus primer mengalir. Akibat adanya fluks pada kumparan primer maka terjadi induksi pada kumparan primer dan terjadi induksi pada kumparan sekunder akibat adanya pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut dengan induksi gabungan (mutual induksi) yang menyebabkan munculnya fluks magnet pada kumparan sekunder, kemudian arus sekunder mengalir jika rangkaian sekunder tersebut diisi sehingga timbul tegangan listrik. dapat dipindahkan seluruhnya (magnetisasi) (Syahputra 2019).

## **2.2. Landasan Teori**

### **2.2.1 Trafo Distribusi**

Transformator distribusi digunakan untuk mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen lain dari rangkaian distribusi, rugi-rugi energi dan turun tegangan yang disebabkan arus listrik mengalir menuju beban merupakan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator.

Transformator akan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Tegangan masukan bolak-balik yang membentangi primer menimbulkan fluks magnet yang idealnya semua bersambung dengan lilitan sekunder. Fluks bolak-balik ini menginduksikan GGL dalam lilitan sekunder. Jika efisiensi sempurna,

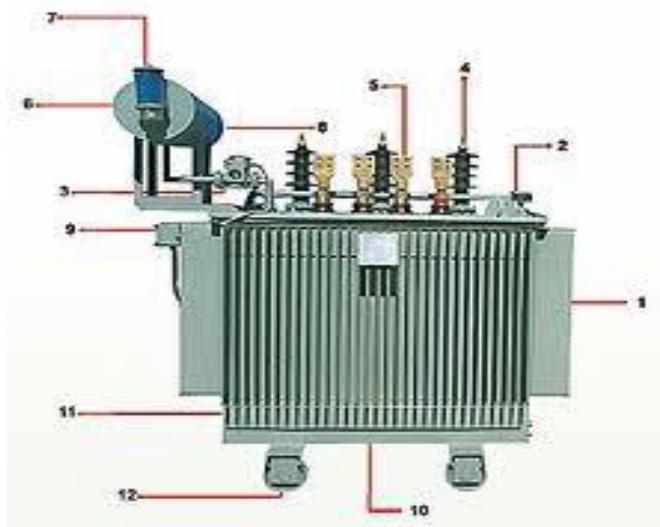
semua daya pada lilitan primer akan dilimpahkan ke lilitan sekunder.

Transformator tiga fasa berfungsi menyalurkan energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Sesuai dengan namanya maka trafo tiga fasa bekerja pada tegangan yang memiliki tiga buah fasa. Sesuai trafo tiga fasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu fasa, perbedaan yang paling mendasar adalah pada sistem kelistrikannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Sehingga sebuah transformator tiga fasa bisa dihubung bintang, segitiga, atau zig-zag.

Transformator tiga fasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Selain itu, transformator tiga fasa mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya dapat dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan “rating” daya yang sama, (Tondok, Patras, and Lisi 2019)

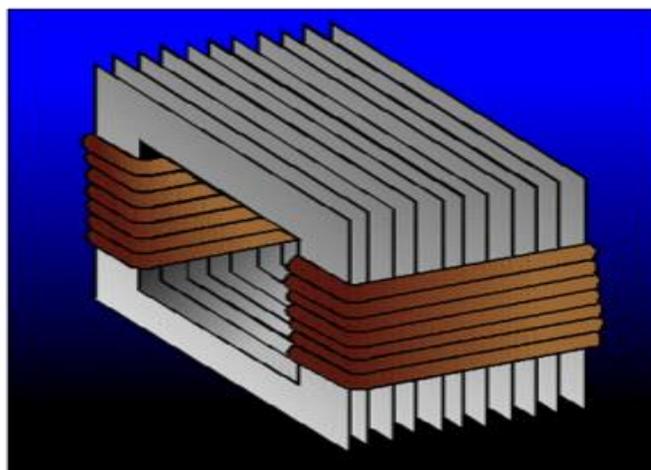
Pada dasarnya transformator tiga fasa ini terdiri dari tiga buah transformator satu fasa dengan tiga buah teras besi yang dipasang pada satu kerangka. Dari tiga teras besi ini ditempatkan masing-masing sepasang kumparan yakni kumparan primer dan kumparan sekunder. Dengan demikian seluruhnya akan terdapat tiga buah kumparan primer dan tiga buah kumparan sekunder. Dari ketiga kumparan primer maupun ketiga kumparan sekunder dapat dihubungkan secara hubungan bintang (star connection) Y dan dihubungkan segitiga (delta connection)  $\Delta$ . Seperti halnya transformator satu fasa maka azas kerja dari transformator tiga fasa ini pada prinsipnya sama saja. Hanya pada transformator tiga fasa arus yang dihubungkan pada kumparan primer berbentuk arus bolak-balik dari tiga buah kawat fasa masing-masing sama besarnya dan bergeseran sudut sebesar  $120^\circ$  tiap fasanya, yang menimbulkan fluks magnetik  $\phi$  di dalam teras besi juga berbeda fasa  $120^\circ$ . Karena fluks magnetik yang dibangkitkan merupakan fluks magnetik bersama (mutual flux)  $\phi_m$ , maka pada tiap-tiap kumparan akan dibangkitkan gaya gerak listrik (electromotive force) induksi yang masing-masing berbeda  $120^\circ$  juga. (Za'im 2014)

Secara umum dapat kita lihat bahwa turbin uap terbagi dalam beberapa komponen yaitu:



Gambar 2. 1 Transformator

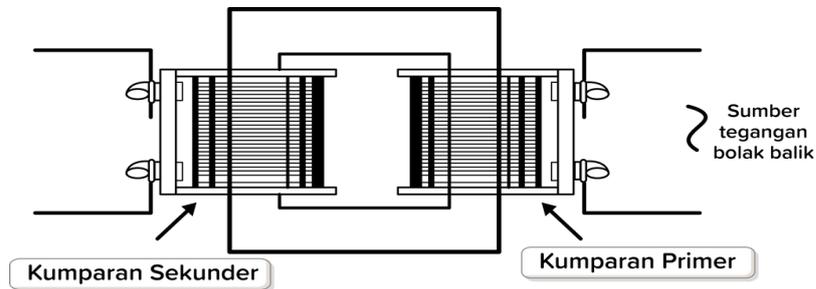
1. Inti Besi



Gambar 2. 2 Inti Besi

Fungsi dari komponen yang pertama ini adalah untuk memudahkan jalan fluksi magnetik yang timbul akibat arus listrik melalui kumparan. Inti besi ini sendiri terbuat dari lempengan besi pipih yang memainkan peran sebagai isolator untuk mengurangi panas.

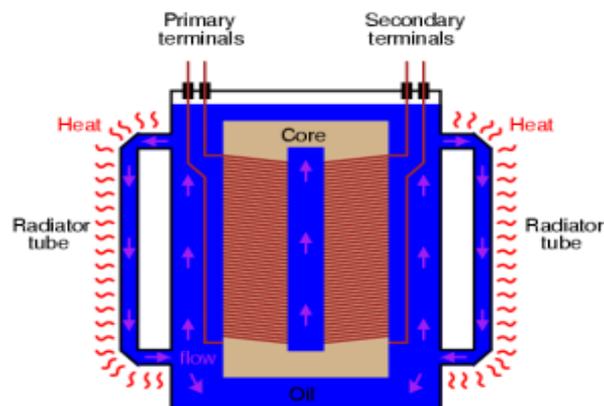
## 2. Kumparan Trafo



Gambar 2. 3 Kumparan Trafo

Berikutnya ada kumparan trafo yang berbentuk lilitan kawat dengan fungsi isolasi yang membentuk gulungan atau kumparan. Kumparan itu sendiri terdiri dari kumparan primer dan juga kumparan sekunder yang pada praktiknya dilakukan mekanisme isolasi baik itu terhadap inti besi maupun antar kumparan dengan isolasi bentuk padat seperti pertinak, karton dan lain sebagainya.

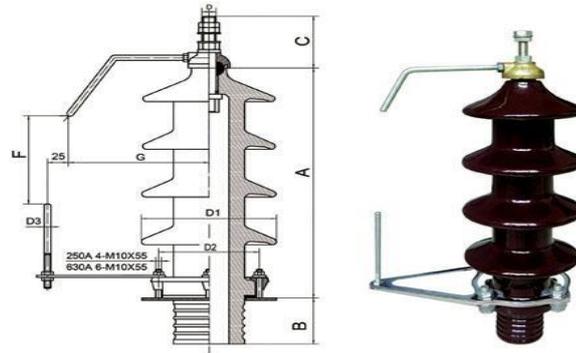
## 3. Minyak Trafo



Gambar 2. 4 Minyak Trafo

Salah satu komponen paling butuh perhatian ini merupakan bahan isolasi cair yang dimaksudkan untuk pendingin pada trafo. Minyak trafo ini memiliki senyawa hidrokarbon di dalamnya yang antara lain hidrokarbon aromatik, naftenik dan juga parafinik.

#### 4. Bushing



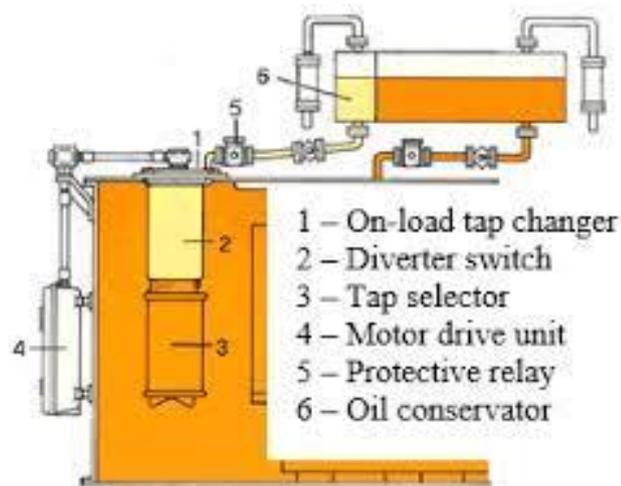
Gambar 2. 5 Bushing

Bushing sendiri menjadi penghubung antara kumparan trafo dengan jaringan luarnya, selain itu bushing juga menjadi penyekat antara konduktor tadi dengan tangki trafo. Terdapat fasilitas pada bushing yang dapat digunakan untuk menguji kondisi bushing yang kerap disebut sebagai center tap.

#### 5. Tangki Konservator

Fungsi dari tangki yang satu ini adalah untuk menampung minyak serta uap yang diakibatkan dari pemanasan trafo. *Relaybucholzt* dipasang antara tangki dengan trafo agar gas produksi yang diakibatkan kerusakan minyak dapat terserap. Supaya minyak tidak terkontaminasi dengan air maka ujung masuk dari saluran udara yang melalui saluran pelepasan dilengkapi pula dengan media penyerap yang biasa disebut silica gel.

#### 6. Tap changer



Gambar 2. 6 Tap changer

Alat yang satu ini dirancang untuk mengatur tegangan supaya tegangan selalu dalam kondisi yang baik, stabil dan berkelanjutan. Sebab kadang kala kualitas suatu operasi tenaga listrik di awal seting sesuai dengan apa yang ditentukan namun kerap kali terjadi penurunan tegangan sehingga kualitasnya lambat laun menurun.

#### 7. *Dehydrating Breather*



Gambar 2. 7 *Dehydrating Breather*

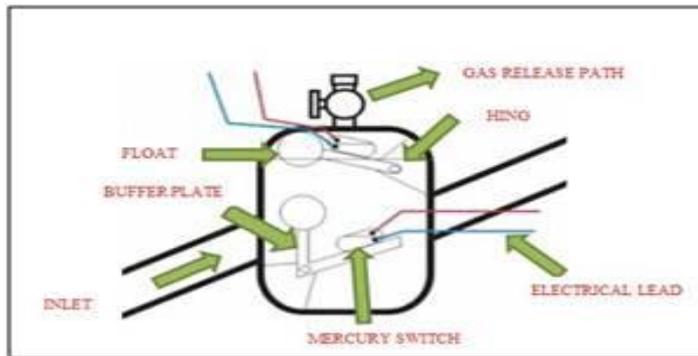
Ketika berada di *konservator* minyak diupayakan sebisa mungkin untuk tidak bersinggungan dengan udara, hal ini dikarenakan kelembapan udara yang pasti mengandung uap air akan berkontaminasi dengan minyak meskipun proses kontaminasi tersebut berlangsung secara perlahan-lahan. Untuk mencegah hal tersebut terjadi dibutuhkan suatu media yang dapat menghisap kelembapan dimana biasanya yang digunakan adalah silica gel.

8. Indikator



Gambar 2. 8 Indikator

Terdapat beberapa indikator dalam trafo seperti indikator permukaan minyak, thermometer dan beberapa indikator lain yang penting keberadaannya.



Gambar 2. 9 Relai Bucholzt dan Jansen Membran



Gambar 2. 10 Jansen Membran

## 9. Peralatan Proteksi

Untuk mendukung mekanisme kerja trafo maka trafo pun dilengkapi peralatan proteksi seperti relai *bucholtz*, jansen membran, relai tekanan berlebih, relai pengaman tangki dan terakhir resistance pertahanan trafo.

## 10. Alat tambahan

Alat tambahan ini misalnya pemadam kebakaran yang dapat digunakan pada keadaan-keadaan darurat.

Adapun beberapa komponen pada gardu portal bisa di lihat sebagai berikut:

### 1. Isolator Piring



Gambar 2. 11 Isolator Piring

Isolator dipakai piring isolator penegang dan isolator gantung yang dimaksud dengan isolator penegang yaitu :

Isolator yang berfungsi untuk menegang kawat penghantar pada awal/akhir penarikankawat penghantar. Jadi isolator penegang terdapat travers tiang awal/akhir, tiang penegang, tiang pemisah dan tiang pencabangan.

### 2. Isolator Tumpu



Gambar 2. 12 Isolator Tumpu

Isolator tumpu berfungsi sebagai tempat mengikatkan kawat penghantar pada travers tiang lurus, tiang sudut kecil, dan penghubung pada travers tiang penegang.

### 3. *Lightning Arrester*



Gambar 2. 13 *Lightning Arrester*

Penggunaan *lightning arrester* pada sistem distribusi adalah untuk melindungi peralatan terhadap gangguan akibat sambaran petir. *Arrester* juga digunakan untuk melindungi saluran distribusi dari flashover. *Arrester* dipasang dekat atau pada peralatan yang dihubungkan dari fasa konduktor ke tanah.

Pada saat sistem bekerja normal, *arrester* memiliki sifat sebagai *isolator*. Apabila terjadi sambaran petir, *arrester* akan berubah menjadi konduktor dan membuat jalur ke tanah (*bypass*) yang mudah dilalui oleh arus petir, sehingga tidak menimbulkan tegangan lebih yang tinggi pada trafo.

### 4. *Fuse Cut Out (FCO)*



Gambar 2. 14 *Fuse Cut Out (FCO)*

Merupakan peralatan proteksi yang bekerja apabila terjadi gangguan arus lebih. Alat ini akan memutuskan rangkaian listrik yang satu dengan yang lain apabila dilewati arus yang melewati kapasitas kerjanya.

Fungsi peralatan pelindung arus lebih pada suatu sistem jaringan adalah mendeteksi gangguan dalam rangkaian, dan memutuskan arus lebih pada harga rating pemutusannya, serta dapat membantu bilamana peralatan pelindung yang lain yang berdekatan tidak dapat bekerja dengan baik.

Peralatan ini digunakan sebagai pengaman dan pemisah daerah yang terkena gangguan, agar daerah pemadaman tidak terlalu luas. Pada sistem jaringan distribusi, FCO juga dipasang untuk mengamankan instrumen lainnya, seperti : peralatan transformator, kapasitor pengatur tegangan dan jaringan percabangan satu phasa.

### **2.2.2 Jenis-Jenis Transformator**

Jenis-jenis transformator memiliki 2 jenis yaitu, *transformator step up* dan *transformator step down*. *Transformator step up* biasanya terdapat di pembangkit listrik untuk menaikkan tegangan untuk masuk ke sistem transmisi, sedangkan *transformator step down* biasanya terdapat di gardu distribusi untuk menurunkan tegangan agar dapat didistribusikan untuk digunakan di rumah-rumah.

#### **1. *Transformator Step Up***

*Transformator step up* adalah transformator yang digunakan untuk menaikkan tegangan bolak-balik (AC). Pada transformator ini, jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak daripada lilitan kumparan primer.

#### **2. *Transformator Step Down***

*Transformator step down* adalah transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan bolak-balik (AC). Pada transformator ini, jumlah lilitan kumparan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan kumparan sekunder. (Wiranto, M. I. Patras, L. S. Silimang 2022)

### **2.2.3 Prinsip Kerja Transformator**

Transformator merupakan suatu alat listrik statis, yang dipergunakan untuk memindahkan daya dari satu rangkaian ke rangkaian lain, dengan mengubah tegangan, tanpa mengubah frekuensi. Dalam bentuknya yang paling sederhana transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual.

Kumparan primer adalah yang menerima daya, dan kumparan sekunder tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Landasan fisik transformator adalah induktansi mutual (timbal balik) antara kedua rangkaian yang dihubungkan oleh suatu fluks magnetik bersama yang melewati suatu jalur dengan reluktansi rendah. (Kadir 2019)

#### **2.2.4 Efisiensi Trafo**

Efisiensi pada transformator adalah perbandingan antara daya keluaran (*output*) dengan daya masukan (*Input*). Sebuah transformator tidak membutuhkan bagian yang bergerak untuk memindahkan energi dari kumparan primer ke kumparan sekunder. Ini berarti tidak ada kerugian karena gesekan atau hambatan udara seperti yang terdapat pada mesin – mesin listrik (contoh motor listrik dan generator). Namun di dalam transformator juga terdapat kerugian yang disebut rugi-rugi tembaga (*copper losses*) dan rugi-rugi besi (*iron losses*). Rugi-rugi tembaga terdapat pada kumparan primer dan kumparan sekunder, sedangkan rugi-rugi besi terdapat dalam inti besi. Rugi-rugi ini berupa panas yang dilepaskan akibat terjadinya Eddy current. Sebuah transformator yang ideal akan memiliki efisiensi sebesar 100 %. Ini berarti bahwa semua daya yang diberikan pada kumparan primer dipindahkan ke kumparan sekunder tanpa adanya kerugian. Sebuah transformator yang real memiliki efisiensi dibawah 100%. Untuk transformator yang bekerja pada tegangan dan frekuensi yang konstan, efisiensinya dapat mencapai 98%.

Transformator yang ideal adalah transformator yang memiliki 100% efisiensi yaitu trafo yang tidak terjadi kehilangan daya sama sekali. Namun Trafo yang ideal atau yang sempurna ini hampir dapat dikatakan tidak mungkin akan tercapai, hal ini dikarenakan adanya beberapa faktor yang menyebabkan terjadi kerugian atau kehilangan daya. Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah faktor yang disebabkan oleh Inti Besi yang biasanya disebut dengan *Core Loss* atau *Iron Loss* dan faktor yang disebabkan oleh Kumparan atau lilitan pada Trafo itu sendiri yang biasanya disebut dengan *Copper loss*.

Efisiensi transformator dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya listrik keluaran ( $P_{output}$ ) dengan daya listrik masukan ( $P_{input}$ ). Efisiensi transformator dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

dimana:

$\eta$  = efisiensi PLN

$P_{input}$  = daya listrik masukan ke gardu

$P_{output}$  = daya listrik keluaran gardu pelayanan beban

100% = perbandingan keluaran terhadap masukan yang dinyatakan dalam desimal untuk mengubahnya menjadi presentase. (Wiranto, M. I. Patras, L. S. Silimang 2022)

### **2.2.5 Hubungan pada Transformator 3 Fasa**

Pada prinsipnya adalah metode atau cara merangkai kumparan di sisi primer dan sekunder. Umumnya dikenal 3 cara untuk merangkai kumparan pada transformator tiga fasa, yaitu hubungan bintang, hubungan delta, dan hubungan zig zag.

#### **1) Transformator 3 Fasa Hubung Bintang Bintang (Y-Y)**

Pada jenis ini ujung-ujung pada masing-masing terminal dihubungkan secara bintang. Titik netral dijadikan menjadi satu. Hubungan dari tipe ini lebih ekonomis untuk arus nominal yang kecil, pada transformator tegangan tinggi jumlah dari lilitan per fasa dan jumlah isolasi minimum karena tegangan fasa  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  tegangan jala-jala (*line*), juga tidak ada perubahan fasa antara tegangan primer dengan sekunder. Bila beban pada sisi sekunder dari transformator tidak seimbang, maka tegangan fasa dari sisi beban akan berubah kecuali titik bintang dibumikan.

#### **2) Transformator 3 Fasa Hubung Segitiga Segitiga ( $\Delta$ - $\Delta$ )**

Pada jenis ini ujung fasa dihubungkan dengan ujung netral kumparan lain yang secara keseluruhan akan terbentuk hubungan delta/ segitiga. Hubungan ini umumnya digunakan pada sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah dan yang paling utama saat keberlangsungan dari pelayanan harus dipelihara meskipun salah satu fasa mengalami kegagalan.

### 3) Transformator 3 Fasa Hubung Zig – Zag

Kebanyakan transformator distribusi selalu dihubungkan bintang, salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh transformator tersebut adalah ketiga fasanya harus diusahakan seimbang. Apabila beban tidak seimbang akan menyebabkan timbulnya tegangan titik bintang yang tidak diinginkan, karena tegangan pada peralatan yang digunakan pemakai akan berbeda-beda. Untuk menghindari terjadinya tegangan titik bintang, diantaranya adalah dengan menghubungkan sisi sekunder dalam hubungan Zig-zag. Dalam hubungan Zigzag sisi sekunder terdiri atas enam kumparan yang dihubungkan secara khusus. (Supriyadi 2017)

#### 2.2.6 Jaringan Distribusi

Sistem distribusi merupakan penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Terdapat 2 (dua) sistem distribusi yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Distribusi primer, penyalurannya dimulai dari gardu induk (sisi sekunder trafo daya) ke gardu distribusi (sisi primer trafo distribusi) atau dari gardu induk langsung ke konsumen tegangan menengah 20 kV. dimana tegangan tinggi terlebih dahulu diturunkan menjadi tegangan menengah sebesar 20 kV melalui *transformator step down*. Distribusi sekunder, penyalurannya dimulai dari gardu distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke konsumen tegangan rendah. Energi tenaga listrik disalurkan melalui penyulang-penyulang yang berupa saluran udara ataupun saluran kabel bawah tanah. Penyulang distribusi terletak di gardu distribusi. Fungsi gardu distribusi untuk menurunkan tegangan distribusi primer menjadi tegangan rendah atau tegangan distribusi sekunder sebesar 220/380 Volt.

Jaringan distribusi tenaga listrik adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pelanggan. Sistem ini terdiri dari sistem distribusi tegangan menengah dan sistem distribusi tegangan rendah. Sistem distribusi tenaga listrik didefinisikan sebagai bagian dari sistem tenaga listrik yang menghubungkan pusat pembangkit tenaga listrik, transmisi tenaga listrik dan gardu induk dengan konsumen. Sistem distribusi tenaga listrik merupakan sarana dari sistem tenaga Listrik di dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dari pusat beban, suatu sistem distribusi tenaga listrik harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, perkembangan dimasa mendatang, kendala, serta ekonomisnya.

(Maqsood Ahmad2 2016)

## **1. Jaringan Primer**

Distribusi primer adalah jaringan distribusi daya listrik yang bertegangan menengah (20 kV). Jaringan distribusi primer tersebut merupakan jaringan penyulang.. Pola konfigurasi jaringan pada distribusi primer terdiri dari 5 tipe yaitu sistem radial, sistem lup, sistem spindel, sistem spot network dan sistem interkoneksi.

## **2. Jaringan Sekunder**

Distribusi sekunder adalah jaringan daya listrik yang termasuk dalam kategori tegangan rendah (sistem 380/220 Volt), yaitu rating yang sama dengan tegangan peralatan yang dilayani. Jaringan distribusi sekunder bermula dari sisi sekunder trafo distribusi dan berakhir hingga ke alat ukur (meteran) pelanggan. Sistem jaringan distribusi sekunder disalurkan kepada para pelanggan melalui kawat berisolasi. (Dasman and Handayani 2017)

### **2.2.7 Sistem Proteksi pada Gardu Distribusi**

Sistem proteksi adalah suatu sistem perlindungan terhadap peralatan listrik, yang disebabkan oleh adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab lainnya untuk menghindari hal tersebut dalam sistem tenaga listrik diperlukan sistem pengamanan yang dapat meminimalisir dampak dari gangguan tersebut. Fungsi dari sistem pengamanan adalah untuk mengenali gangguan dan memisahkan bagian sistem yang terganggu dari bagian lain yang masih normal (tidak terganggu) serta sekaligus melindungi bagian yang masih normal tersebut dari kerusakan. Dalam melindungi sistem dari gangguan, sistem pengamanan harus dapat mengenali dan memisahkan bagian yang terganggu secepat mungkin.

Sistem proteksi tegangan harus memenuhi karakteristik untuk menjaga tekanan pada insulasi di buat serendah mungkin yang dimana:

- a. Tegangan lebih dapat dibuang ke tanah tanpa menghasilkan korsleting (*saturated ground fault*).
- b. Dapat digunakan untuk menghentikan aliran balik.
- c. Tingkat perlindungan yang rendah menunjukkan tegangan pelepasan dan pemutusan yang rendah. (Sari 2017)

## 2.2.8 Jenis-jenis Gardu Distribusi

### 1. Gardu Cantol

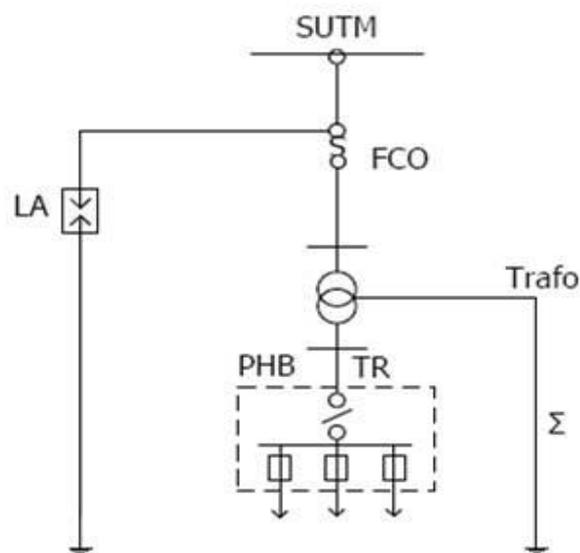
Gardu Cantol adalah tipe gardu distribusi jenis pemasangan luar (*outdoor*) yang terpasang dengan konstruksi 1 tiang dan memiliki transformator yang terpasang jenis 3 fasa atau 1 fasa dengan tipe CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator. Perlengkapan perlindungan tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan penghantar hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH,NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka (BKT) dan bagian konduktif ekstra (BKE) dihubungkan dengan pembumian sisi tegangan rendah.

### 2. Gardu Beton

Gardu beton adalah gardu distribusi tipe pasangan dalam, karena pada umumnya seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator, peralatan *switching*, dan proteksi terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi bangunan pelindung terbuat dari beton (*masonry wall building*). Dalam pembangunannya semua peralatan dirancang dan dipasang pada lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu. Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan. Kapasitas transformator yang terpasang pada gardu beton biasanya lebih besar dibandingkan dengan jenis gardu lainnya, karena keamanan dari konstruksi bangunan. Pelayanan dari gardu beton biasanya untuk pemenuhan ditempatkan pada daerah–daerah pemukiman padat atau daerah kawasan industri. Peralatan hubung bagi tegangan menengah (PHB-TM) pada gardu beton berbentuk lemari yang disebut kubikel dan difungsikan sebagai alat penghubung dan pemutus pada sisi tegangan menengah. Sedangkan peralatan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR) berbentuk rangka terbuka tanpa panel pelindung yang disebut rak TR dan memiliki cabang jurusan yang akan menyalurkan tenaga listrik ke jaringan tegangan rendah.

### 3. Gardu Portal

Gardu Portal adalah gardu listrik jenis terbuka (*out-door*) dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang – kurangnya 3 meter di atas tanah dan ditambahkan platform sebagai fasilitas kemudahan kerja teknisi operasi dan pemeliharaan. transformator dipasang pada bagian atas dan lemari panel atau PHB-TR pada bagian bawah. Lokasi penempatan gardu portal biasanya berdekatan langsung dengan daerah pelayanan konsumen, tegangan disalurkan ke konsumen melewati jurusan-jurusan, dan untuk setiap unit gardu portal dapat disalurkan sampai empat jurusan.



Gambar 2. 15 Line Diagram Gardu Portal

### 4. Gardu Kios

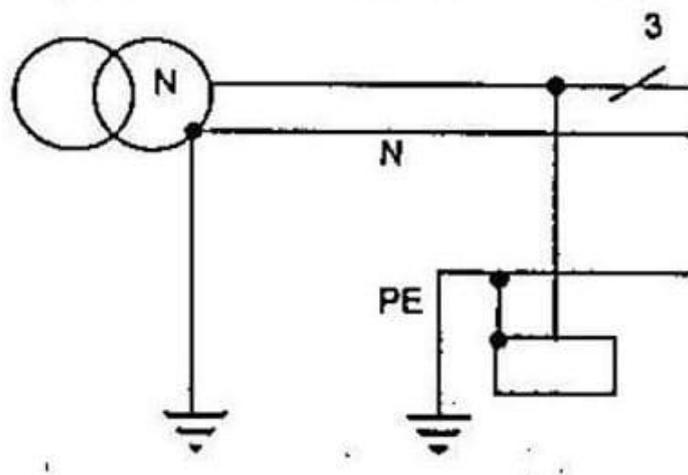
Gardu kios adalah bangunan prefabricated terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu kios kompak, kios modular dan kios bertingkat. Gardu ini dibangun ditempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan empat jurusan tegangan rendah. Khusus untuk kios kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung diangkut ke lokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai

tujuannya.

### 2.2.9 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan pada jaringan distribusi digunakan sebagai pengaman langsung terhadap peralatan dan manusia bila terjadinya gangguan tanah atau kebocoran arus akibat kegagalan isolasi dan tegangan lebih pada peralatan jaringan distribusi. Petir dapat menghasilkan arus gangguan dan juga tegangan lebih dimana gangguan tersebut dapat dialirkan ke tanah dengan menggunakan sistem pentanahan. Sistem pentanahan adalah suatu tindakan pengamanan dalam jaringan distribusi yang langsung rangkaiannya ditanahkan dengan cara mentanahkan badan peralatan instalasi yang diamankan, sehingga bila terjadi kegagalan isolasi, terhambatlah atau bertahannya tegangan sistem karena terputusnya arus oleh alat-alat pengaman tersebut. Agar sistem pentanahan dapat bekerja secara efektif, harus memenuhi persyaratan:

1. Membuat jalur impedansi rendah ketanah untuk pengamanan personil dan peralatan menggunakan rangkaian yang efektif.
  2. Dapat melawan dan menyebarkan gangguan berulang dan arus akibat surja hubung (surgecurrent).
  3. Menggunakan bahantahanterhadap korosi terhadap berbagai kondisi kimiawi tanah. Untuk meyakinkan kontinuitas penampilan sepanjang umur peralatan yang dilindungi.
  4. Menggunakan sistem mekanik yang kuat namun mudah dalam pelayanannya.
- (Ginting, Tamba, and Agung 2019).



Gambar 2. 16 Line Diagram Grounding Sistem TT

Sistem pembumian dipengaruhi oleh tahanan jenis tanah yang dihasilkan pada area sistem pembumian. Tahanan jenis tanah merupakan tahanan listrik dari tahanan tanah yang berbentuk kubus dengan volume 1 meter kubik.

Perhitungan nilai tahanan jenis tanah:

$$\rho = 2\pi aR$$

Dimana:

$\rho$  = Tahanan jenis tanah ( $\Omega$ )

$a$  = Jarak penanaman antar elektroda (m)

$R$  = Tahanan tanah ( $\Omega$ )

### 2.2.10 Jenis-Jenis Sistem Pentanahan

#### 1. Sistem Pentanahan Mesh

Sistem pentanahan mesh merupakan sistem pembumian dengan konduktor yang ditanamkan secara horizontal yang berbentuk jaring-jaring dengan elektroda yang terhubung satu dengan lainnya.

#### 2. Sistem Pentanahan *Grid Rod*

Sistem pentanahan *grid-rod* merupakan gabungan dari sistem pembumian Mesh yang diperpadukan dengan menambahkan jumlah batang rod pada titik-titik tertentu untuk memperoleh nilai tahanan pembumian yang lebih rendah. (Premei Artha, Janardana, and Arta Wijaya 2021)

### 2.2.11 Tahanan Jenis Tanah.

Tahanan Jenis tanah ialah tahanan listrik dari tahanan tanah yang berbentuk kubus dengan volume 1 meter kubik. Tahanan jenis ini dinyatakan dalam ohm-m. pernyataan Ohm-m merepresentasikan tahanan diantara dua permukaan yang berlawanan dari suatu volume yang berisi 1 m<sup>3</sup>. Untuk mendapatkan tahanan pentanahan yang kecil di perlukan upaya sebagai berikut mengetahui tahanan jenis tanah. Kemudian membuat bentuk kutub tanah yang sesuai.

Faktor keseimbangan antara tahanan pengetanahan dan kapasitansi di sekelilingnya adalah tahanan jenis tanah ( $\rho$ ) Harga tahanan pengetanahan pada jenis tanah pada daerah kedalaman tidak lah sama. Dalam perencanaan pengetanahan hal yang harus diperhatikan adalah jenis tanah, berikut ini nilai rata-rata dari jenis tanah.

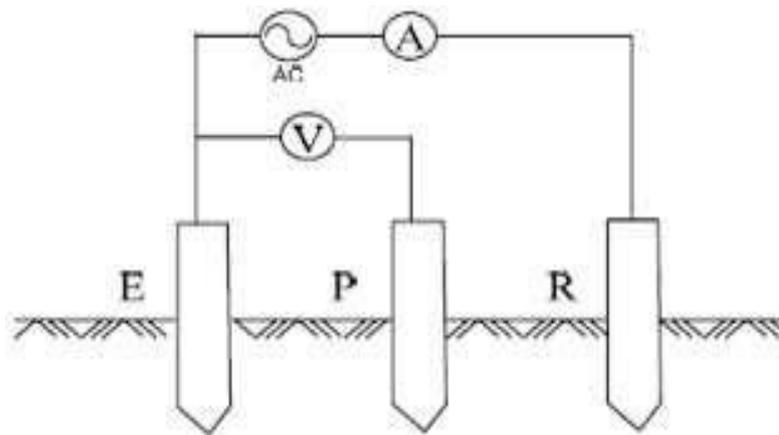
Nilai resistans jenis tanah ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Table 2. 1 Nilai rata-rata jenis tanah

NO	Jenis tanah	Resistans tanah dalam Ohm
1	Tanah Rawa	10.....40
2	Tanahb Liat & Tanah Ladang	20.....100
3	Pasir Basah	50.....200
4	Kerikil Basah	200.....3000
5	Pasir/Kerikil kering	< 10000
6	Tanah Berbatu	2000.....3000
7	Air Laut & Air tawar	10.....100

Metoda tiga titik dimasukkan untuk mengukur tahanan pengetanahan.

Misalkan tiga buah batang pengetanahan dimana 1 batang yang tanahnya hendak diukur dan batang-batang 2 dan 3 sebagai batang pengetanahan pembantu yang juga belum diketahui tahanananya.



Gambar 2. 17 Bila tahanan pentanahan

Bila tahanan diantara tiap-tiap batang pengetanahan diukur dengan arus konstan, pengukuran dapat ditulis sebagai berikut :

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

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

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

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

Tetapi :

$$V_{1-3} = V_{1-2} - V_{2-3}$$

Jadi :

$$R = \frac{V_{1-2}}{1} = R_{11} + 2 R_{12} - R_{13} + R_{23}$$

Akhirnya :

$$R = R + R_{12} + R_{13} + 2 R_{23}$$

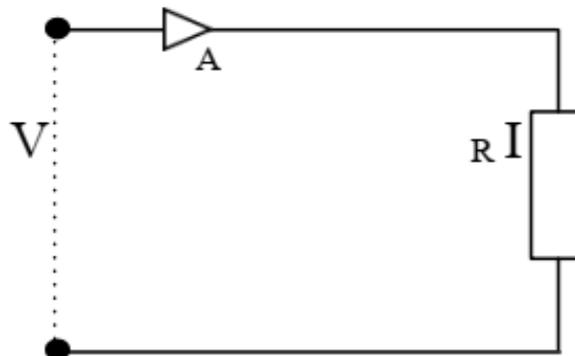
Tahanan batang pengetanahan dari elektroda 1 diberikan oleh persamaan diatas jika kita dapat membuat.

$$R_{12} + R_{13} - R_{23} = 0$$

PUIL 2000 – 3.19.1.4 : Apabila hasil pengukurannya belum mencapai 5  $\Omega$ .

Maka *ground* rood diktambah dengan jarak 2x panjangnya.

Pada percobaan dalam bidang listrik dan menemukan hubungan antara tegangan dan arus yang dilewatkan pada suatu tahanan : Apabila dalam suatu rangkaian tertutup dihubungkan tegangan listrik sebesar 1 Volt, dan dipasang tahanan listrik 1, maka akan mengatur arus listrik sebesar 1 ampere yang dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut :



Gambar 2. 18 Persamaan Hukum ohm

$$V = I \times R$$

$$= V/R (A)$$

$$R = V/IP = I \times V(W)$$

$$P = I \times (I \times R)$$

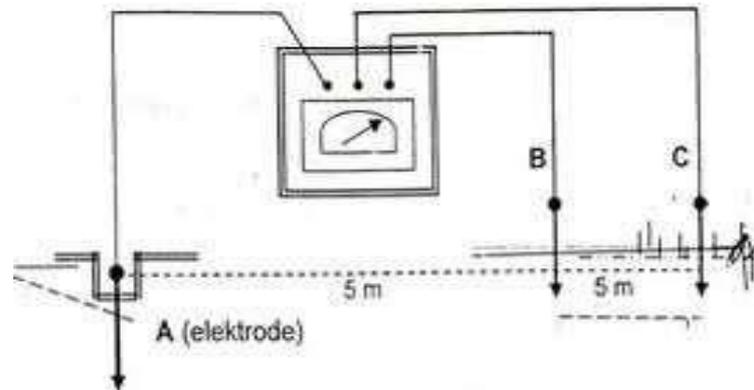
$$P = I^2 \times R$$

$$P = V/R \times V$$

$$P = V^2 \times R$$

Standar besar R-tanah untuk elektroda pentanahan  $\pm 5 \Omega$  Ohm. Apabila belum mencapai nilai 5 Ohm maka elektroda bisa ditambah dan dipasang diparalel.

Pertanahan yang paling ideal apabila elektroda bias mencapai sumber air atau R – tanah = 0



Gambar 2. 19 Standar pengukuran pentanahan

### 2.2.12 Jenis-Jenis Elektroda Pentanahan

1. Elektroda Pita.

Elektroda pita dibuat dari hantaran berbentuk pita, batang bulat , atau hantaran yang dipilin. Elektroda ini berbentuk radial, lingkaran atau suatu kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut.

2. Elektroda Batang.

Elektroda batang dibuat dari pipa atau besi baja profil yang dipancangkan tegak lurus ke dalam tanah.

3. Elektroda Pelat

Elektroda pelat dibuat dari pelat logam, pelat logam berlubang atau kawat kasa. Pelat ini ditanam tegak lurus didalam tanah, dengan tepi atasnya sekurang-kurangnya satu meter dibawah permukaan tanah.

4. Lain-lain yang terbuat dari logam.

- jaringan pipaair
- selubung logam dari kabeltanah
- besibeton

Pemilihan jenis elektroda ini tergantung dari tahanan jenis tanah sehingga tahanan pentanahan yang diharapkan dapat tercapai.

### 2.2.13 Faktor-Faktor yang Menentukan Tahanan Pentanahan

Tahanan pentanahan suatu elektroda tergantung pada tiga faktor :

1. Tahanan elektroda itu sendiri dan penghantar yang menghubungkan ke peralatan yang ditanahkan.
2. Tahan kontak antara elektroda dengan tanah.
3. Tahanan dari massa tanah sekeliling elektroda.

Namun demikian pada prakteknya tahanan elektroda dapat diabaikan, akan tetapi tahanan kawat penghantar yang menghubungkan ke peralatan akan mempunyai impedansi yang tinggi terhadap impuls frekuensi tinggi seperti misal pada saat terjadi lightningdischarge. Untuk menghindarinya, sambungan ini di usahakan dibuat sependek mungkin.

Dari ketiga faktor tersebut diatas yang dominan pengaruhnya adalah tahanan sekeliling elektroda atau dengan kata lain tahanan jenis tanah ( $\rho$ ).

### 2.2.14 Tahanan Jenis Tanah ( $\rho$ )

Dari rumus untuk menentukan tahanan tanah dari satu elektroda yang hemispherical  $R = \rho/2\pi r$  terlihat bahwa tahanan pentanahan berbanding lurus dengan besarnya  $\rho$ . Untuk berbagai tempat harga  $\rho$  ini tidak sama dan tergantung pada beberapa faktor :

1. Sifat Geologi Tanah

Ini merupakan faktor utama yang menentukan tahanan jenis tanah. Bahan dasar dari pada tanah relatif bersifat bukan penghantar. Tanah liat umumnya mempunyai tahanan jenis terendah sedang batu-batuan dan quartz bersifat sebagai insulator.

Tabel di bawah ini menunjukkan harga-harga ( $\rho$ ) dari berbagai jenis tanah.

Table 2. 2 Tahanan Jenis Tanah

No.	JENIS TANAH	TAHANAN JENIS TANAH ( ohm meter )
1.	Tanah yang mengandung air garam	5 – 6
2.	Rawa	30
3.	Tanah liat	100
4.	Pasir Basah	200

5.	Batu-batu kerikil basah	500
6.	Pasir dan batu krikil kering	1000
7.	Batu	3000

## 2. Komposisi Zat – Zat Kimia Dalam Tanah

Kandungan zat – zat kimia dalam tanah terutama sejumlah zat organik maupun anorganik yang dapat larut perlu untuk diperhatikan pula.

Didaerah yang mempunyai tingkat curah hujan tinggi biasanya mempunyai tahanan jenis tanah yang tinggi disebabkan garam yang terkandung pada lapisan atas larut. Pada daerah yang demikian ini untuk memperoleh pentanahan yang efektif yaitu dengan menanam elektroda pada kedalaman yang lebih dalam dimana larutan garam masih terdapat.

## 3. Kandungan Air Tanah

Kandungan air tanah sangat berpengaruh terhadap perubahan tahanan jenis tanah( $\rho$ ) terutama kandungan air tanah sampai dengan 20%. Dalam salah satu test laboratorium untuk tanah merah penurunan kandungan air tanah dari 20% ke 10% menyebabkan tahanan jenis tanah naik samapai 30 kali. Kenaikan kandungan air tanah diatas 20% pengaruhnya sedikit sekali.

## 4. Temperatur Tanah

Temperatur bumi pada kedalaman 5 feet (= 1,5 m) biasanya stabil terhadap perubahan temperatur permukaan.

Bagi Indonesia daerah tropic perbedaan temperatur selama setahun tidak banyak, sehingga faktor temperatur boleh dikata tidak ada pengaruhnya.

### 2.2.15 Jenis Elektroda Pentanahan

Pada dasarnya ada 3 (tiga) jenis elektroda yang digunakan pada sistem pentanahan yaitu :

1. Elektroda Batang
2. Elektroda Pelat
3. Elektroda Pita.

Elektroda – elektroda ini dapat digunakan secara tunggal maupun multiple dan juga secara gabungan dari ketiga jenis dalam suatu sistem.

#### 1. Elektroda Batang



Gambar 2. 20 Elektroda Batang

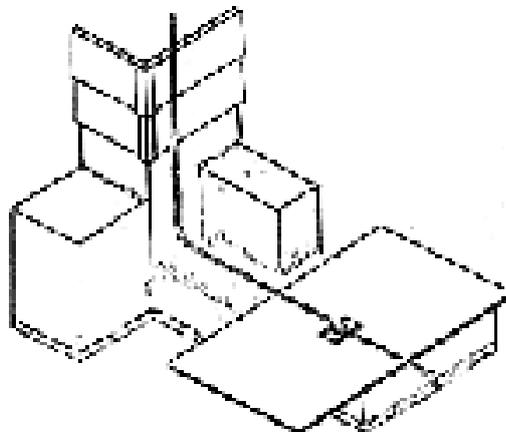
Elektroda batang terbuat dari batang atau pipa logam yang ditanam vertikal di dalam tanah. Biasanya dibuat dari bahan tembaga, stainlesssteelataugalvanised steel. Perlu diperhatikan pula dalam pemilihan bahan agar terhindar dari galvanic couple yang dapat menyebabkan korosi.

Ukuran Elektroda :

diameter 5/8 " - 3/4 " Panjang 4 feet – 8 feet

Elektroda batang ini mampu menyalurkan arus discharge petir maupun untuk pemakaian pentanahan yang lain.

#### 2. Elektroda Pelat



Typical use on downlead cables

Gambar 2. 21 Elektroda Pelat

Bentuk elektroda pelat biasanya empat persegi atau empat persegi panjang yang terbuat dari tembaga, timah atau pelat baja yang ditanam didalam tanah. Cara penanaman biasanya secara vertical, sebab dengan menanam secara horizontal hasilnya tidak berbeda jauh dengan vertical. Penanaman secara vertical adalah lebih praktis dan ekonomis.

### 3. Elektroda Pita



Gambar 2. 22 Elektroda Pita

Elektroda pita jenis ini terbuat dari bahan metal berbentuk pita atau juga kawat BCC yang di tanam di dalam tanah secara horizontal sedalam  $\pm 2$  feet. Elektroda pita ini bisa dipasang pada struktur tanah yang mempunyai tahanan jenis rendah pada permukaan dan pada daerah yang tidak mengalami kekeringan.

Hal ini cocok untuk daerah–daerah pegunungan dimana harga tahanan jenis tanah makin tinggi dengan kedalaman.

#### **2.2.16 Arrester**

*Arrester* adalah alat pelindung bagi peralatan sistem surja petir dan tegangan abnormal, *arrester* berlaku sebagai jalan pintas (by pass) sekitar isolasi. *Arrester* membentuk jalan yang mudah dilalui oleh arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih pada peralatan. Jalan pintas harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem. Jadi pada keadaan normal *arrester* berlaku sebagai *isolator* dan bila timbul surja petir berlaku sebagai konduktor, jadi melewatkan arus yang tinggi. Setelah surja hilang *arrester* harus dapat dengan cepat kembali menjadi *isolator*. (Manihuruk, Simorangkir, and Sitanggang 2021)

#### **2.2.17 Prinsip Kerja Arrester**

*Arrester* bekerja dengan tegangan diatas tegangan kerja dapat menghilangkan muatan listrik dari surja petir kemudian dimatikan dengan tegangan diatas tegangan kerja untuk memastikan bahwa tidak ada arus pada tegangan operasional. *Arrester* bekerja membentuk jalan agar bisa dialiri petir dan tidak menimbulkan tegangan lebih pada transformator. Keadaan normal *arrester* berfungsi sebagai isolasi namun saat ada surja petir, *arrester* akan mengalirkan arus lebih ke bumi. Ketika lonjakan telah berlalu, *arrester*. (Harda Arya, Ermawati, and Fadhli Palaha 2022)

### 2.2.18 Karakteristik *Arrester*

*Arrester* digunakan sebagai pelindung terhadap surja petir, karakteristiknya:

- a. Memiliki tegangan dasar yang tidak boleh melebihi (rated) 50 c/s.
- b. Memiliki sifat yang dibatasi oleh tegangan (voltage limiting) jika di lewati bermacam macam arus.
- c. Memiliki batas panas.

### 2.2.19 Metode Impedansi

Metode impedansi transformator merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk menguji kinerja transformator dengan mengukur parameter impedansi. Impedansi adalah pengukuran yang menggambarkan *resistansi* dan reaktansi dari rangkaian listrik. Dalam konteks trafo, metode impedansi digunakan untuk mengukur impe dan sitrafo dan mengidentifikasi kesalahan atau kegagalan. Metode impedansi transformator melibatkan pengukuran impedansi transformator pada frekuensi tertentu dan menggunakan peralatan khusus seperti penganalisa impedansi. Dalam pengukuran ini, arus dan tegangan dialirkan ke *Transformer* dan impedansi dihitung. Impedansi transformator adalah perbandingan antara arus saat transformator beroperasi normal dengan keadaan beban penuh atau lebih dikenal dengan istilah Full Load Ampere (FLA) dengan arus yang timbul pada kondisi transformator terhubung singkat.

Rumus untuk *Full Load Ampere* (FLA) adalah :

- Untuk Satu phasa

$$FLA = (kVA \times 1000) / Voltage$$

- Untuk Tiga phasa

$$FLA = (kVA \times 1000) / (Voltage \times \sqrt{3})$$

Dan untuk arus hubungan singkatnya (Short Circuit)

, adalah :

$$I_{sc} = FLA / Z$$

Dimana Z merupakan Impedansi Transformator.

Yang membedakan antara gangguan hubung singkat 3 fasa, 2 fasa dan 1 fasa ke tanah adalah impedansi yang terbentuk sesuai dengan macam gangguan itu sendiri dan tegangan yang memasok arus ke titik gangguan, impedansi yang

terbentuk dapat ditunjukkan seperti berikut:

Z untuk gangguan 3 fasa  $Z = Z_1$

Z untuk gangguan 2 fasa  $Z = Z_1 + Z_2$

Z untuk gangguan 1 fasa ke tanah  $Z = Z_1 + Z_2 + Z_0$

Dimana,

$Z_1$  = Impedansi urutan positif 3 fasa

$Z_2$  = Impedansi urutan negatif 2 fasa

$Z_0$  = Impedansi urutan nol 1 fasa

Untuk itu diperlukan pengetahuan mengenai dasar impedansi urutan rel daya tegangan tinggi atau bisa juga disebut sebagai impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

### 1. Impedansi Sumber

Untuk menghitung impedansi sumber di sisi bus 20 kV, maka harus dihitung dulu impedansi sumber di bus 150 kV. Impedansi sumber di bus 150 kV diperoleh dengan rumus:

$$X_s = \frac{Kv^2}{MVA}$$

Dimana:

$X_s$  = Impedansi sumber (ohm)

$Kv^2$  = Tegangan sisi primer trafo tenaga (kV)

MVA = Data hubung singkat di bus 150 kV (MVA)

Arus hubung singkat di sisi 20 kV diperoleh dengan cara mengkonversikan dulu impedansi sumber di bus 150 kV ke sisi 20 kV. Untuk mengkonversikan impedansi yang terletak di sisi 150 kV ke sisi 20 kV, dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$X_s (\text{sisi } 20 \text{ kV}) = \frac{20^2}{150^2} X_s (\text{sisi } 150 \text{ kV})$$

### 2. Impedansi Transformator

Pada perhitungan impedansi suatu transformator yang diambil adalah harga reaktansinya, sedangkan tahanannya diabaikan karena harganya kecil. Untuk mencari nilai reaktansi trafo dalam Ohm dihitung dengan cara sebagai

berikut. Langkah pertama mencari nilai ohm pada 100% untuk trafo pada 20 kV, yaitu dengan menggunakan rumus:

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{Kv^2}{MVA}$$

Dimana:

$X_t$  = Impedansi trafo tenaga (ohm)

$Kv^2$  = Tegangan sisi sekunder trafo tenaga (kV)

MVA = Kapasitas daya trafo tenaga (MVA)

Lalu tahap selanjutnya yaitu nilai reaktansi tenaganya:

1. Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negatif ( $X_{t1} = X_{t2}$ ) dihitung dengan rumus:  $X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ (pada 100\%)}$ .
2. Sebelum menghitung reaktansi urutan nol ( $X_{t0}$ ) terlebih dahulu harus diketahui data trafo itu sendiri yaitu data dari kapasitas belitan delta yang ada dalam trafo:
  - a) Untuk trafo tenaga dengan hubungan belitan  $\Delta Y$  dimana kapasitas belitan delta sama besar dengan kapasitas belitan Y, maka  $X_{t0} = X_{t1}$ .
  - b) Untuk trafo tenaga dengan hubung belitan YY dan tidak mempunyai belitan delta di dalamnya, maka untuk menghitung besarnya  $X_{t0}$  berkisar antara 9 s/d 14 x  $X_{t1}$ .

### 3. Perhitungan Impedansi Penyulang

Untuk perhitungan impedansi penyulang, perhitungannya tergantung dari besarnya impedansi per km dari penyulang yang akan dihitung, dimana besar nilainya tergantung pada jenis penghantarnya, yaitu dari bahan apa penghantar tersebut dibuat dan juga tergantung dari besar kecilnya penampang dan panjang penghantarnya. Disamping itu penghantar juga dipengaruhi perubahan temperatur dan konfigurasi dari penyulang juga sangat mempengaruhi besarnya impedansi penyulang tersebut. Contoh besarnya nilai impedansi penyulang dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

- a. Urutan positif dan urutan negatif

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1/Z_2 \text{ (ohm)}$$

Dimana:

$Z_1$  = impedansi urutan positif (ohm)

$Z_2$  = Impedansi urutan negative (ohm)

b. Urutan Nol

$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \text{ (ohm)}$$

Dimana:

$$Z_0 = \text{Impedansi urutan nol (ohm)}$$

Dengan demikian nilai impedansi penyulang untuk lokasi gangguan yang dalam perhitungan ini disimulasikan terjadi pada lokasi dengan jarak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% panjang penyulang. (Elektrik 2019)

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Tempat Dan Waktu

Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan berdasarkan data dari PT.PLN (Persero) ULP Belawan. Adapun waktu penelitian ini dilakukan antara bulan Agustus sampai September 2023.

### 3.2 Peralatan Penelitian

Berikut peralatan penelitian yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah:

#### 1. *Control Panel*

Sebagai pendukung dari mesin-mesin listrik agar bisa beroperasi sebagaimana mestinya sesuai prinsip kerja kelistrikan. Mengamankan komponen listrik supaya terlindungi dari hal-hal apapun yang bisa mempengaruhinya.



Gambar 3. 1 *Control Panel*

## 2. Transformator

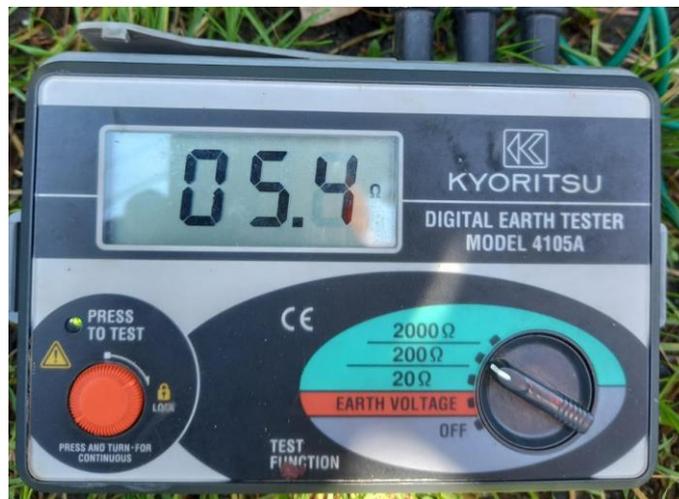
Digunakan sebagai media yang akan di analisis.



Gambar 3. 2 Transformator

## 3. Earth Tester

Digunakan untuk mengukur nilai *resistansi* dari *grounding*, Besarnya tahanan tanah sangat penting untuk diketahui sebelum dilakukan pentanahan dalam sistem pengamanan dalam instalasi listrik. Untuk mengetahui besar tahanan tanah pada suatu area digunakan dengan alat ukur penampil analog.



Gambar 3. 3 Earth Tester

## 4. Tang Ampere Digital

Digunakan untuk mengukur tegangan dan arus listrik. Tang ampere dapat mengukur besaran arus bolak-balik (AC) 1 fasa dan 3 fasa juga bisa sebagai alat ukur hambatan listrik atau resistensi.



Gambar 3. 4 Tang Ampere Digital

#### 5. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

*Miniature circuit breaker* adalah sebuah komponen listrik yang berfungsi system proteksi atau pengaman didalam instalasi listrik, jika terjadi hubung singkat arus listrik atau sering disebut dengan korsleting dan jika dapat beban berlebih.



Gambar 3. 5 *Miniature circuit breaker (MCB)*

### 3.3 Data Penelitian

Berikut data penelitian yang telah dikumpulkan pada penelitian di PLN ULP BELAWAN yaitu:

1. Tegangan
2. *Lightning Arrester*
3. Pentanahan Netral
4. Beban Transformator
5. Spesifikasi Transformator

### 3.4 Prosedure Penelitian

Adapun langkah-langkah analisis yang dilakukan dipenelitian ini yaitu :

1. Melakukan observasi lapangan di beberapa tempat yang memiliki transformator.
2. Melakukan wawancara langsung terhadap Vendor ataupun Pegawai PLN tentang.
3. Pengambilan data penelitian menggunakan *earth tester* dan tang ampere digital pada panel yang berada di bawah transformator seperti data ampere dan pentanahan netral pada transformator.
4. Pengambilan data tersebut dilakukan selama 1 bulan di setiap minggunya pada bulan September 2023.
5. Setelah seluruh data sudah didapatkan, data tersebut dianalisa atau dihitung di antaranya menggunakan.
  - a. Menghitung *resistansi grounding* dengan rumus :

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

Dimana:

- $\rho$  = Tahanan jenis tanah (ohm)  
 $L$  = Panjang elektroda batang (m)  
 $A$  = Jari-jari elektroda batang (mm)  
 $R$  = Tahanan pasak (ohm)

- b. Menghitung Full Load Ampere (FLA) pada masing masing trafo dengan rumus :

$$FLA = \frac{kVa \times 1000}{v \times \sqrt{3}}$$

Dimana:

kVa = Daya semu pada trafo

v = Tegangan (Volt)

c. Menghitung Impedansi transformator dengan rumus :

$$Z = \frac{V}{I}$$

Dimana:

Z = Impedansi (ohm)

V = Tegangan (volt)

I = Arus *output* pada trafo (ampere)

d. Menghitung Losses Akibat pada penghantar netral trafo dengan rumus :

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

Dimana:

P<sub>N</sub> = Losses pada penghantar netral (kW)

I<sub>N</sub> = Arus Netral (ampere)

R<sub>N</sub> = Resistansi Netral (ohm)

e. Menghitung Efisiensi Trafo

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

Dimana:

η = Efisiensi (%)

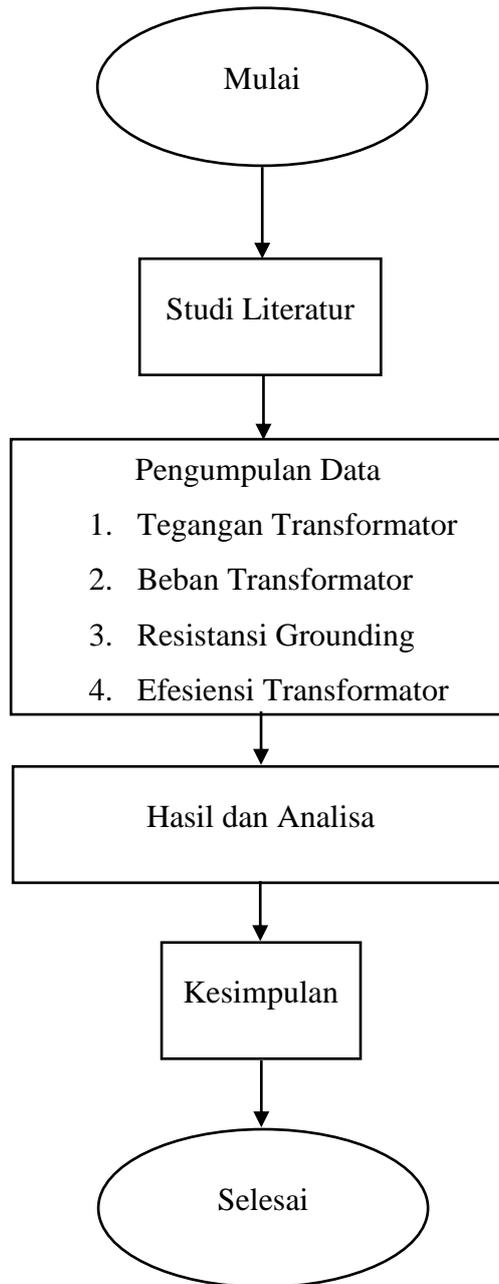
P<sub>output</sub> = Daya *output* (watt)

P<sub>input</sub> = Daya *input* (watt)

6. Setelah menganalisa data tersebut tahap selanjutnya yaitu membuat kesimpulan dan saran sesuai hasil pembahasan yang telah di dapat.

### 3.5 Flowchart Penelitian

Adapun beberapa proses berlangsungnya penelitian ini akan dipaparkan dalam bentuk alur diagram *flowchart* berikut ini:



## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1. Tabel Data Penelitian *Grounding*

Berdasarkan hasil kunjungan di lapangan saya mengambil data pada 3 transformator yaitu trafo BL43 di Jl. Yong Panah Hijau, trafo BL477-1 di Jl. K.R Buddin Komp Kpum Sisip BL90 dan trafo BL383 di Jl. Pembuangan Sampah Terjun. Setiap transformator memiliki jenis tanah yang berbeda-beda pada trafo BL43 tanah di dekat pinggir laut yang mengandung air garam, pada trafo BL477 didekat wilayah rawa yang sangat banyak mengandung air di sekitarnya sedangkan pada trafo BL383 mengandung tanah timbunan dari tanah liat. Maka data yang saya ambil pada bulan September 2023 sebagai berikut.

Table 4. 1 Data *Ground* dan Tahanan Jenis Tanah

No	Nama Trafo	Skala Pengukuran	Kedalaman	Tahanan Jenis Tanah	Hasil Pengukuran
1.	BL43	200 $\Omega$	2 m	6 $\Omega$	9,8 $\Omega$
2.	BL477	200 $\Omega$	2 m	30 $\Omega$	6,4 $\Omega$
3.	BL383	200 $\Omega$	2 m	100 $\Omega$	13,8 $\Omega$

### 4.2. Analisa Data *Ground*

1. Tanggal 4 September 2023 pada transformator BL43

Kedalaman *Ground* = 2 m

Dengan Jari-jari elektroda batang = 15,87 mm = 1,58 cm

$$\text{Tahanan Pasak ke tanah} = R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{6}{2 \times 3,14 \times 2} \left( \ln \frac{4 \times 2}{1,58} - 1 \right) = 0,66 \Omega$$

2. Tanggal 4 September 2023 pada transformator BL477

Kedalaman *Ground* = 2 m

Dengan jari-jari elektroda batang = 15,87 mm = 1,58 cm

$$\text{Tahanan Pasak ke tanah} = R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{30}{2 \times 3,14 \times 2} \left( \ln \frac{4 \times 2}{1,58} - 1 \right) = 3,34 \Omega$$

3. Tanggal 4 September 2023 pada transformator BL383

Kedalaman *Ground* = 2 m

Dengan Jari-jari elektroda batang = 15,87 mm = 1,58 cm

$$\text{Tahanan Pasak ke tanah} = R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \ln \frac{4l}{a} - 1 \right)$$

$$R = \frac{100}{2 \times 3,14 \times 2} \left( \ln \frac{4 \times 2}{1,58} - 1 \right) = 11,16 \Omega$$

Untuk perhitungan pada tanggal 11, 18, 25 September 2023 menggunakan persamaan yang sama dengan pada tanggal 4 September 2023. Maka dapat dihasilkan tabel berikut.

Table 4. 2 Hasil Analisa *Grounding* Pada Bulan September 2023

No.	Nama Trafo	R = Tahanan Pasak ke Tanah ( $\Omega$ )
1.	BL43	0,66 $\Omega$
2.	BL477	3,34 $\Omega$
3.	BL383	11,16 $\Omega$

Pada tabel 4.2 terlihat skala pengukuran terkecil pada 3 jenis trafo yaitu BL477 sebesar  $R_s = 1280 \Omega$ , Sedangkan Tahanan Pasak ke Tanah terkecil pada 3 trafo BL43 sebesar  $R = 0,66 \Omega$ .

### 4.3. Tabel Data Transformator

Table 4. 3 Data Tranformator pada Bulan September

Nama Trafo	Tanggal	Arus Beban (Ampere)				<i>Resistansi Netral</i> ( $\Omega$ )	Daya Semu (kVa)
		R	S	T	N		
BL43	04-09-2023	84 A	81 A	98 A	28 A	5,1 $\Omega$	160 kVa
BL477	04-09-2023	16 A	39 A	25 A	25 A	8,4 $\Omega$	50 kVa
BL383	04-09-2023	88 A	92 A	77 A	28 A	5,4 $\Omega$	100 kVa
BL43	11-09-2023	102 A	101 A	109 A	30 A	11,7 $\Omega$	160 kVa
BL477	11-09-2023	128 A	114 A	93 A	42 A	6,4 $\Omega$	50 kVa
BL383	11-09-2023	76 A	82 A	80 A	24 A	13,8 $\Omega$	100 kVa
BL43	18-09-2023	105 A	95 A	104 A	30 A	7,3 $\Omega$	160 kVa
BL477	18-09-2023	128 A	118 A	94 A	12 A	9,2 $\Omega$	50 kVa
BL383	18-09-2023	74 A	84 A	81 A	24 A	10,7 $\Omega$	100 kVa
BL43	25-09-2023	101 A	95 A	106 A	31 A	12,4 $\Omega$	160 kVa
BL477	25-09-2023	126 A	117 A	93 A	39 A	9,7 $\Omega$	50 kVa
BL383	25-09-2023	90 A	94 A	91 A	24 A	8,9 $\Omega$	100 kVa

#### 4.4. Analisa Data Transformator

1. Tanggal 4 September 2023 pada transformator BL43

Mencari Full Load Ampere (FLA)

$$FLA = \frac{kVa \times 1000}{v \times \sqrt{3}}$$

$$FLA = \frac{160 \times 1000}{380 \times \sqrt{3}} = 256 \text{ A}$$

Mencari Impedansi transformator

$$I_{Total} = \frac{R + S + T}{3}$$

$$I_{Total} = \frac{84+81+98}{3} = 88 \text{ A}$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$Z = \frac{380}{88} = 4,3 \Omega$$

Mencari Daya transformator

$$P = S \times \cos \alpha$$

$$P = 160 \times 0,8 = 128 \text{ kW}$$

Mencari Losses Akibat pada Penghantar Netral Trafo

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 28^2 \times 5,1 = 4 \text{ kW}$$

Mencari Effisiensi Trafo

$$P = V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 88 \times 0,8 = 26,75 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{26752}{128000} \times 100\% = 20,9 \%$$

2. Tanggal 4 September 2023 pada transformator BL477

Mencari Full Load Ampere (FLA)

$$FLA = \frac{kVa \times 1000}{v \times \sqrt{3}}$$

$$FLA = \frac{50 \times 1000}{380 \times \sqrt{3}} = 72 \text{ A}$$

Mencari Impedansi transformator

$$I_{Total} = \frac{R + S + T}{3}$$

$$I_{Total} = \frac{16+39+25}{3} = 23 \text{ A}$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$Z = \frac{400}{23} = 17,4 \Omega$$

Mencari Daya transformator

$$P = S \times \cos \alpha$$

$$P = 50 \times 0,8 = 40 \text{ kW}$$

Mencari Losses Akibat pada Penghantar Netral Trafo

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 25^2 \times 8,4 = 5,25 \text{ kW}$$

Mencari Effisiensi Trafo

$$P = V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 400 \times 23 \times 0,8 = 7,36 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{7360}{40000} \times 100\% = 18,4 \%$$

3. Tanggal 4 September 2023 pada transformator BL383

Mencari Full Load Ampere (FLA)

$$FLA = \frac{kVa \times 1000}{v \times \sqrt{3}}$$

$$FLA = \frac{100 \times 1000}{380 \times \sqrt{3}} = 144 \text{ A}$$

Mencari Impedansi transformator

$$I_{Total} = \frac{R + S + T}{3}$$

$$I_{Total} = \frac{88+92+77}{3} = 86 \text{ A}$$

$$Z = \frac{V}{I}$$

$$Z = \frac{400}{86} = 4,6 \Omega$$

Mencari Daya transformator

$$P = S \times \cos \alpha$$

$$P = 100 \times 0,8 = 80 \text{ kW}$$

Mencari Losses Akibat pada Penghantar Netral Transformator

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

$$P_N = 28^2 \times 5,4 = 4,2 \text{ kW}$$

Mencari Effisiensi Tranformator

$$P = V \times I \times \cos \alpha$$

$$P = 380 \times 86 \times 0,8 = 26,14 \text{ kW}$$

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{26144}{80000} \times 100\% = 32,7 \%$$

Untuk perhitungan pada tanggal 11, 18, 25 September 2023 menggunakan persamaan yang sama dengan pada tanggal 4 September 2023. Maka dapat dihasilkan tabel berikut.

Table 4. 4 Hasil Analisa Transformator pada bulan september 2023

Nama Trafo	Tanggal	FLA	Z	P <sub>N</sub>	P	H
BL43	04-09-2023	256 A	4,3 Ω	4 Kw	26,75 kW	20,9 %
BL477	04-09-2023	72 A	17,4 Ω	5,25kW	7,36 kW	18,4 %
BL383	04-09-2023	144 A	4,6 Ω	4,2 kW	26,14 kW	32,7 %
BL43	11-09-2023	256 A	3,6 Ω	10,5 kW	31,61 kW	24,7 %
BL477	11-09-2023	72 A	3,6 Ω	11, 3 kW	35,84 kW	89,6 %
BL383	11-09-2023	144 A	5,1 Ω	7,9 kW	25,28 kW	31,6 %
BL43	18-09-2023	256 A	3,8 Ω	6,6 kW	30,7 kW	24 %
BL477	18-09-2023	72 A	3,5 Ω	1,3 kW	36,16 kW	90,4 %
BL383	18-09-2023	144 A	5 Ω	6,2 kW	25,6 kW	32 %
BL43	25-09-2023	256 A	3,8 Ω	11.9 kW	30,7 kW	24 %
BL477	25-09-2023	72 A	3,6 Ω	14,7 kW	35,84 kW	89,6 %
BL383	25-09-2023	144 A	4,3 Ω	5,6 kW	29,44 kW	36,8 %

Dari tabel 4.4 bisa kita lihat hasil analisa pada bulan september 2023 transformator BL43 dengan daya terpasang 128 kW yang menghasilkan Impedansi terbesar pada tanggal 04-09-2023 (Z) = 4,3 Ω, Losses pada penghantar netral terbesar pada tanggal 25-09-2023 (P<sub>N</sub>) = 11,9 kW, dan Daya terbesar pada tanggal 11-09-2023 (P) = 31,61 kW serta effisiensi terbesar pada tanggal 11-09-2023 (η) = 24,7 %. Sedangkan transformator BL477 dengan daya terpasang 40 kW yang menghasilkan Impedansi terbesar pada tanggal 04-09-2023 (Z) = 17,4

$\Omega$ , Losses pada penghantar netral terbesar pada tanggal 25-09-2023 ( $P_N$ ) = 14,7 kW, dan Daya terbesar pada tanggal 18-09-2023 ( $P$ ) = 36,16 kW serta efisiensi terbesar pada tanggal 18-09-2023 ( $\eta$ ) = 90,4 %. Kemudian transformator BL383 dengan daya terpasang 80 kW yang menghasilkan Impedansi terbesar pada tanggal 11-09-2023 ( $Z$ ) = 5,1  $\Omega$ , Losses pada penghantar netral terbesar pada tanggal 11-09-2023 ( $P_N$ ) = 7,9 kW, dan Daya terbesar pada tanggal 25-09-2023 ( $P$ ) = 29,44 kW serta efisiensi terbesar pada tanggal 25-09-2023 ( $\eta$ ) = 36,8 %.

#### 4.5. Grafik Hasil Analisa

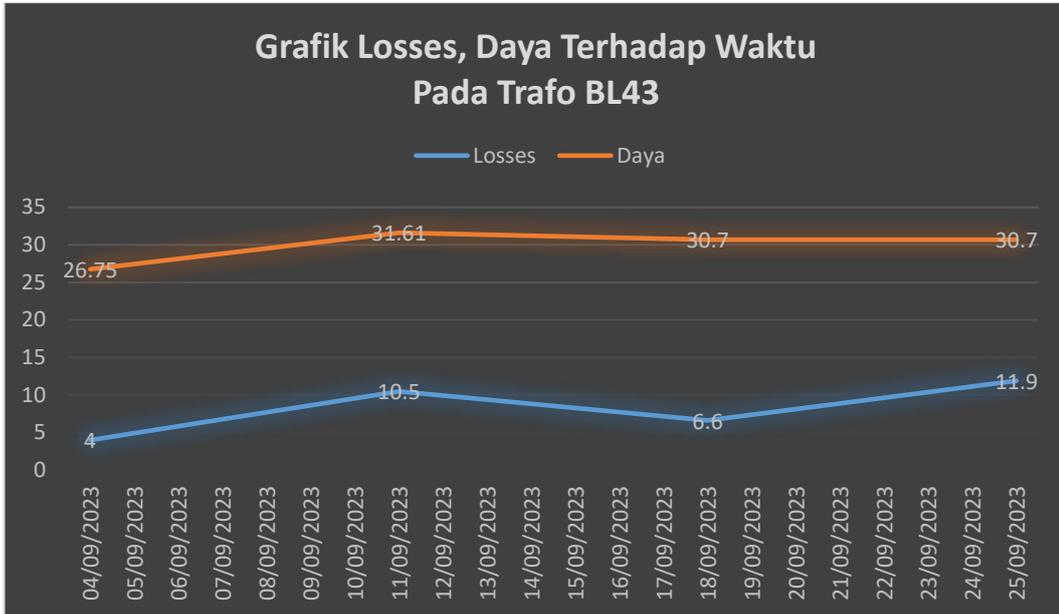
##### 4.5.1. Grafik Analisa Hasil Resistansi Pasak Tanah



Grafik 4. 1 Tahanan pasak terhadap jenis transformator

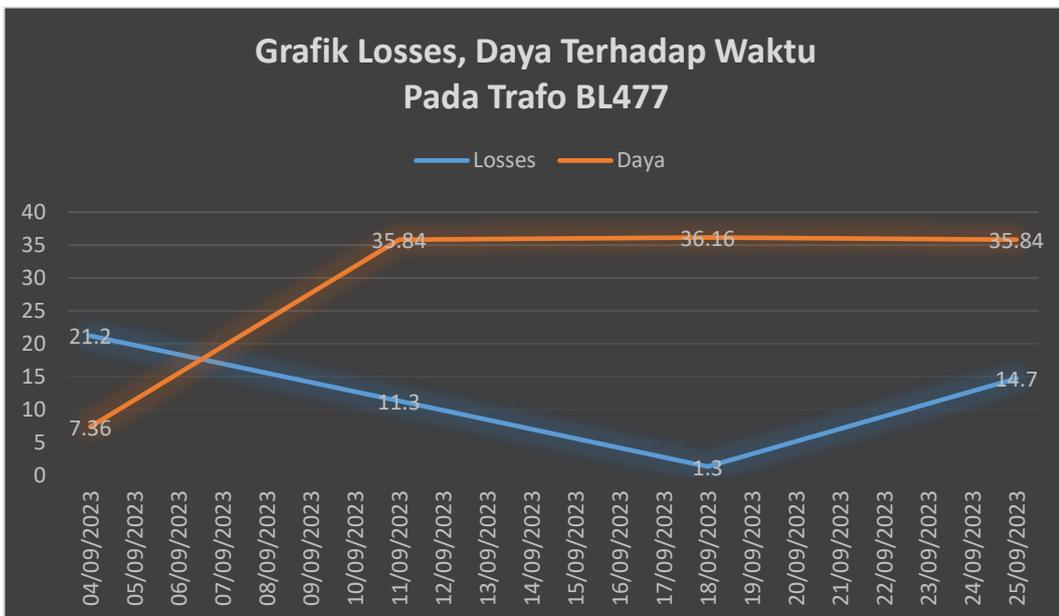
Pada grafik 4.1 terlihat trafo BL383 adalah nilai paling besar daripada jenis trafo lainnya di karenakan nilai Tahanan jenis tanah juga paling besar pada trafo BL383.

#### 4.5.2. Grafik Hasil Analisa Transformator



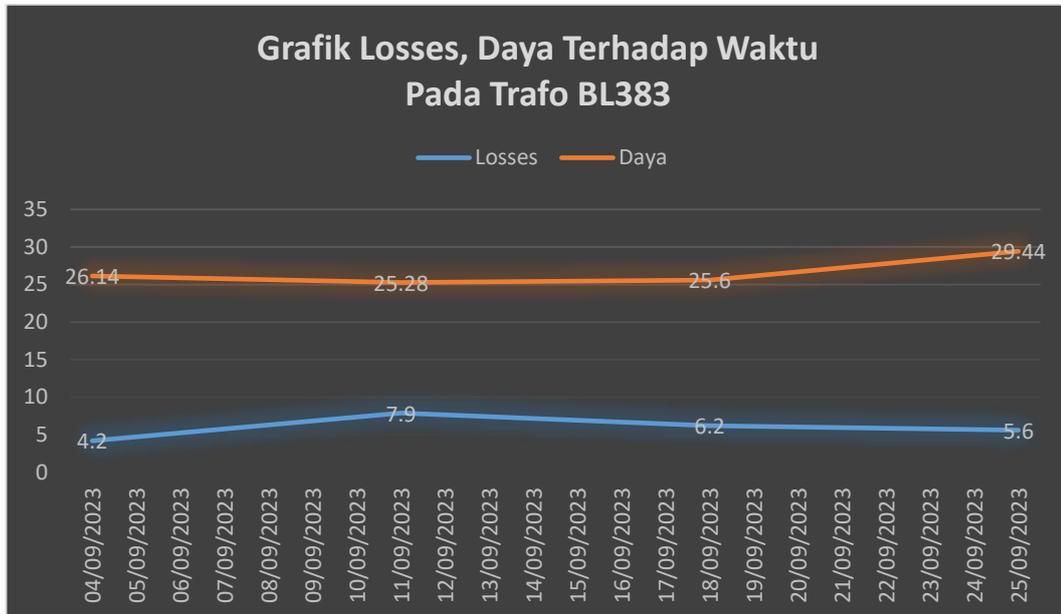
Grafik 4.2 Losses, Daya Terhadap Waktu pada Trafo BL43

Pada grafik 4.2 terlihat pada trafo BL43 memiliki Losses netral terbesar  $P_N = 11,9 \Omega$  di tanggal 25-09-2023 yang lebih besar dari pada tanggal lainnya dan memiliki daya sebesar  $P = 31,61 \text{ kW}$  di tanggal 11-09-2023 yang lebih besar dari pada tanggal lainnya.



Grafik 4.3 Losses, Daya Terhadap Waktu pada Trafo BL477

Pada grafik 4.3 terlihat pada trafo BL477 memiliki losses netral terbesar  $P_N = 1,3 \Omega$  di tanggal 18-09-2023 yang lebih kecil dari pada tanggal lainnya dan memiliki daya sebesar  $P = 7,36 \text{ kW}$  di tanggal 04-09-2023 yang lebih kecil dari pada tanggal lainnya.



Grafik 4.4 Losses, Daya Terhadap Waktu pada Trafo BL383

Pada grafik 4.4 terlihat pada trafo BL43 memiliki losses netral terbesar  $P_N = 7,9 \Omega$  di tanggal 11-09-2023 yang lebih besar dari pada tanggal lainnya dan memiliki daya sebesar  $P = 29,44 \text{ kW}$  di tanggal 25-09-2023 yang lebih besar dari pada tanggal lainnya.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan dalam penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil analisa PT.PLN ULP Belawan pada 3 transformator bisa disimpulkan pada Trafo BL43 memiliki tahanan pasak ke tanah ( $R$ ) = 0,66  $\Omega$ . Sedangkan pada Trafo BL477 memiliki tahanan pasak ke tanah ( $R$ ) = 3,34  $\Omega$ . Lalu pada Trafo BL383 memiliki tahanan pasak ke tanah ( $R$ ) = 11,16  $\Omega$ . Maka dari ketiga jenis trafo tersebut tahanan pasak ke tanah terkecil pada trafo BL43 yang berada di PT. PLN ULP Belawan.
2. Berdasarkan hasil analisa PT. PLN ULP Belawan transformator BL43 dengan daya terpasang 128 kW yang menghasilkan Impedansi terbesar pada tanggal 04-09-2023 ( $Z$ ) = 4,3  $\Omega$ , losses pada penghantar netral terbesar pada tanggal 25-09-2034 ( $P_N$ ) = 11,9 kW, dan daya terbesar pada tanggal 11-09-2023 ( $P$ ) = 31,61 kW serta efisiensi terbesar pada tanggal 11-09-2023 ( $\eta$ ) = 24,7 %. Sedangkan transformator BL477 dengan daya terpasang 40 kW yang menghasilkan Impedansi terbesar pada tanggal 04-09-2023 ( $Z$ ) = 17,4  $\Omega$ , losses pada penghantar netral terbesar pada tanggal 25-09-2023 ( $P_N$ ) = 14,7 kW, dan daya terbesar pada tanggal 18-09-2023 ( $P$ ) = 36,16 kW serta efisiensi terbesar pada tanggal 18-09-2023 ( $\eta$ ) = 90,4 %. Kemudian transformator BL383 dengan daya terpasang 80 kW yang menghasilkan Impedansi terbesar pada tanggal 11-09-2023 ( $Z$ ) = 5,1  $\Omega$ , Losses pada penghantar netral terbesar pada tanggal 11-09-2023 ( $P_N$ ) = 7,9 kW, dan Daya terbesar pada tanggal 25-09-2023 ( $P$ ) = 29,44 kW serta efisiensi terbesar pada tanggal 25-09-2023 ( $\eta$ ) = 36,8 %. Maka efisiensi dari ketiga transformator paling bagus yaitu pada trafo BL477 sebesar ( $\eta$ ) = 90,4 % hampir mendekati 100 % dengan daya 40 kW, Dapat disimpulkan grounding dapat mempengaruhi kinerja trafo dengan beberapa factor seperti kondisi tanah yang cukup baik untuk menghantarkan arus listrik, dan juga perawatan rutintrafo.

## 5.2. Saran

Berdasarkan pengamatan dalam penelitian ini, dapat diajukan beberapa saran yaitu:

1. Disarankan untuk menyelenggarakan program edukasi dan pelatihan kepada personel yang bertanggung jawab atas operasi dan pemeliharaan trafo. Ini dapat membantu meningkatkan pemahaman mereka tentang aspek-aspek kunci dalam menjaga kinerja optimal trafo.
2. Dari pengamatan langsung dilapangan, perlu dilakukan audit kelayakan transformator, mengingat kondisi transformator saat ini kurang baik agar dapat segera dilaksanakannya perbaikan transformator.
3. Pada PT. PLN (Persero) ULP Belawan harap lebih detail lagi atau di perhatikan untuk pemasangan *ground* yang sesuai standart SOP yang di memiliki PT. PLN.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abhiyaksa, Mahindra et al. 2022. "Analysis Efficiency Performance Capability *Transformer*." *Original Article Journal of Educational Engineering and Environment* 1(1): 7–11.
- Apriliyanto, Aries Tri, and I Made Wartana. "Implementasi Sistem *Grounding Resistansi* Tinggi Untuk Mereduksi Arus Gangguan 1 Fasa Ke Tanah Pada Sistem Kelistrikan PT Petrokimia Gresik."
- Asran, Asran, and Misbahul Jannah. 2021. "Analisa Pengaruh Neutral *Grounding* Resistance (Ngr) 40 Ohm Pad *Transformer* Daya 30 Mva Digardu Induk Bireue Terhadap Arus Gangguan Satu Fasa Ke Tanah." *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi* 5(1): 66–77.
- Burke, Jim, and Mike Marshall. 2001. "Distribution System Neutral *Grounding*." *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference* 1(C): 166–70.
- Dasman, and Handayani. 2017. "Evaluasi Keandalan Sistem Distribusi 20 Kv Menggunakan Metode Saidi." *Jurnal Teknik Elektro ITP* 6(2): 173.
- Elektrik, Jurnal Energi. 2019. "ANALISIS HUBUNG SINGKAT PADA SALURAN UDARA TEGANGAN MENENGAH 20 KV ( STUDI KASUS PADA PENYULANG LG 02 PT PLN ( PERSERO ) RAYON." 08: 25–31.
- Esmaul, Didik Eksan et al. 1945. "Analisa Pembebanan *Transformer* Di Pt. Indoprima Gemilang Surabaya."
- Ginting, Yahya, Poniran Tamba, and Universitas Darma Agung. 2019. "Sistem Pentanahan Pada Jaringan Distribusi Di PT . PLN ( Persero )." *Teknologi Energi Uda VIII*(September): 81–86.
- Hamid, Muhammad Kamal, and Said Abubakar. "Sistem Pentanahan Pada *Transformer* Distribusi 20 KV Di PT . PLN ( Persero ) Area Lhokseumawe Rayon Lhoksukon." : 13–16.
- Harda Arya, Engla, Ermawati, and Fadhli Palaha. 2022. "Analisa Karakteristik *Arrester* Pada Gardu Distribusi 20 KV ST 350 Penyulang Merpati." *Jurnal Surya Teknika* 9(2): 503–10.
- Jumari, Yahya Ginting, Poniran Tamban. 2019. "Sistem Pentanahan Pada Jaringan Distribusi Di Pt.Pln (Persero) Rayon Medan Helvetia." *Jurnal*

*Teknik Elektro* VIII(2): 81–86.

- Jurusan, Mahasiswa et al. 2014. “ANALISIS PEMBEBANAN *TRANSFORMATOR* GARDU SELATAN Sistem Distribusi Merupakan Salah Satu Sistem Dalam Tenaga Listrik Yang Mempunyai Peran Penting Energi Listrik , Terutama Pemakai Energi Mengingat Bagian Ini Berhubungan Langsung Dengan Konsumen , Sangat Dip.” 1(1): 11–19.
- Kadir, Darmanto. 2019. “Analisis Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi *Transformator* Daya Tiga Fasa Di Pt. Pln (Persero) Rayon Daya.” *Jurnal Fisika* (1424041014).
- Lembo, Alfredo B. 2016. “Analisis Pengaruh Pentanahan Pada Gangguan Hubung Singkat P-N Saluran  $1\Phi$ .” *Analisis Pengaruh Pentanahan Pada Gangguan Hubung Singkat P-N Saluran  $1\Phi$* .
- Manihuruk, Jonner, Toga Simorangkir, and Novrin L Sitanggang. 2021. “Studi Kemampuan *Arrester* Untuk Pengaman *Transformator* Pada Gardu Induk Tanjung Morawa 150 KV.” *Jurnal ELPOTECS* 4(1): 16–25.
- Maqsood Ahmad<sup>2</sup>, Hafiz Fawad Ali<sup>3</sup> and Sarmad Ejaz<sup>4</sup> Sohail Aslam<sup>1</sup>. 2016.
- Ostapchuk, Oleksandr et al. 2021. “Analysis of the Neutral *Grounding* Modes Influence on the Reliability Characteristics of Local Systems with Renewable Energy Sources.” *Diagnostyka* 22(1): 45–56.
- Pai, A B, L S Patras, and M Rumbayan. 2022. “Perbaikan *Resistansi* Tanah Untuk Pentanahan Pada Gardu Distribusi Di LPKA Kelas II Tomohon.”
- Premei Artha, I W. A., I G.N. Janardana, and I W. Arta Wijaya. 2021. “Analisis Dan Desain Sistem Pembumian Gardu Distribusi Pada Lahan Sempit Di Tanah Berbatu.” *Jurnal SPEKTRUM* 8(1): 95.
- Purwito, Nirwan A. Noor. 2020. “Prosiding 4.” 8.
- Rumondor, Imanuel Israel et al. 2021. “Analisis Sistem Pentanahan Pada Trafo Distribusi Di Universitas Sam Ratulangi.” *Jurnal Teknik Elektro* 1(1): 1–9.
- Sanda, Yasman, Yusri Ambabunga, and Ishak Pawarangan. 2022. “Analisis Kinerja *Transformator* Distribusi 50 KVA Di Lembang Bori’ Ranteletok.” *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika* 21(1): 1–16.
- Sari, Puspita. 2017. “Sistem Proteksi Rele Arus Lebih Pada *Transformator-I* 30 Mva Tegangan 70/20 Kv Di Gardu Induk Seduduk Putih Palembang.”

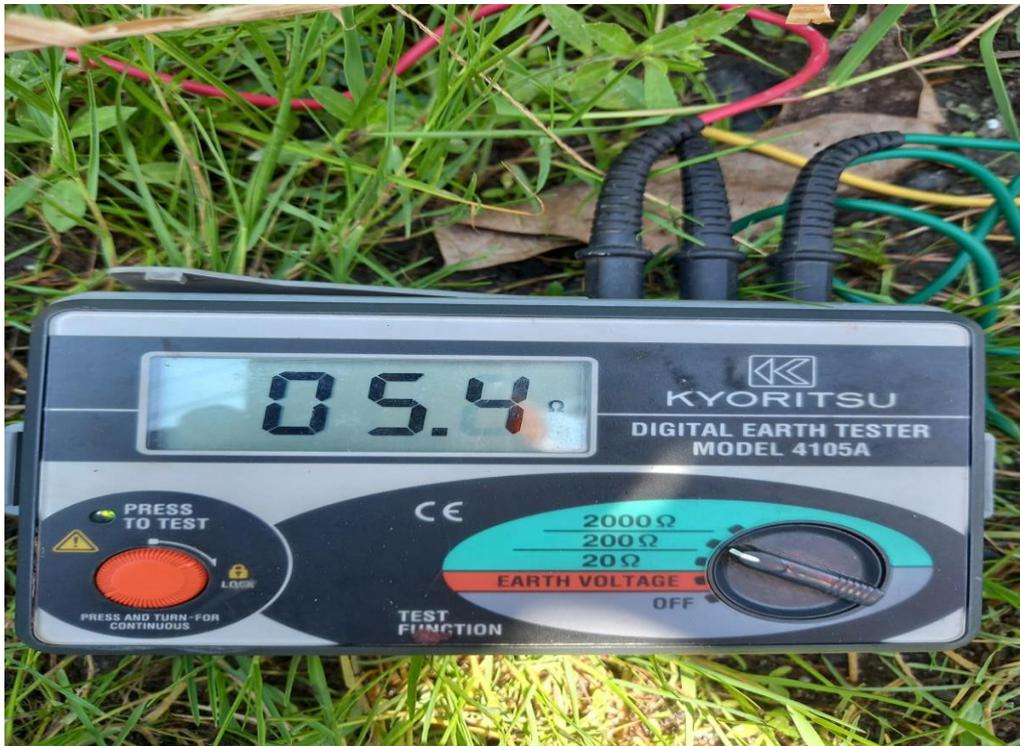
- Pembangkitan Energi Listrik* 7(1): 4–31.
- Sidoarjo, Universitas Muhammadiyah. 2017. “Petunjuk Praktis Perancangan Pentanahan Sistem Tenaga Listrik.” : 1–22.
- Supriyadi, Ali. 2017. “Hubungan Pada *Transformator* Tiga Fasa.” *Forum Teknologi* 07(1): 45–52.
- Syahputra, Rudi. 2019. “Study of the Effect of Load Balance in 500 KVA Distribution Transformers in Complex Pt. Perta Arun Gas Area of 17 Dumai Branch Lhokseumawe City.” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 536(1).
- Tanjung, Abrar. 2015. “Analisis Sistem Pentanahan *Transformator* Distribusi Di Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.” *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri* 12(2): 292–99.
- . 2016. “ANALISIS KINERJA *TRANSFORMATOR* DISTRIBUSI RUSUNAWA.” 1(1): 33–40.
- Tanjung, Abrar, and . Atmam. 2017. “Analisis Kinerja *Transformator* Distribusi Rusunawa Universitas Lancang Kuning Pekanbaru.” *SainETIn* 1(1): 33–40.
- Tn-c, Sistem. 2022. “Analisa Pentahanan *Netral* Dengan Tahan Menggunakan.” 12(02): 92–108.
- Tondok, Yaved Pasereng, Lili Setyowati Patras, and Fielman Lisi. 2019. “Perencanaan *Transformator* Distribusi 125 KVA.” *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 8(2): 83–92.
- Unefa, Jurnal Teknik et al. 2018. “*GroundFaultRelay*.” : 32–38.
- Verta Asi, Manullang, Sirait Bonar, and Purwoharjono. 2018. “Analisis Sistem Pembumian *Netral* Generator Pada Pembangkit.” *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura* 1(1).
- Widyastuti, Diah Suwarti et al. 2021. “Pengaruh Sistem Pentanahan Gardu Distribusi Terhadap Tegangan Sentuh 1,2.” 6(1): 81–92.
- Wiranto, M. I. Patras, L. S. Silimang, S. 2022. “Analisa Kinerja *Transformator* Distribusi Kawanua Emerald City-Amethyst.”
- Yusmartato, Ramayulis Nasution, Zulfadli Pelawi, and Syaru R. 2021. “Pengukuran *Grounding* Pada Gedung Rumah Sakit Grand MitraMedika Medan.” *Journal of Electrical Technology* 6(No. 1): 23–30.

Za'im, Mukhammad Rif'at. 2014. "Analisis Transformator Daya 3 Fasa 150 Kv/ 20 Kv Pada Gardu Indukungan PIn Distribusi Semarang." *Edu Elekrika Journal* 3(2): 9–16.

## LAMPIRAN







## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Fadlan Rifky  
Alamat : Perumahan Griya Klambir Indah 3 Jl. Blok Gading  
NPM : 1907220029  
Tempat/Tanggal Lahir: Kejuruan Muda, 01 April 2001  
Jenis Kelamin : Laki-Laki  
Agama : Islam  
Status : Belum Menikah  
No Hp : 085830568622  
Email : [fadlanrifky010401@gmail.com](mailto:fadlanrifky010401@gmail.com)  
Tinggi/Berat Badan : 174 cm/69 kg

### ORANG TUA

Nama Ayah : Uswanto  
Agama : Islam  
Ibu : Rosidawati  
Agama : Islam  
Alamat : Aceh Tamiang, Kejuruan Muda

### RIWAYAT PENDIDIKAN

2007-2013 : SD Negeri 1 Kuala Simpang  
2013-2016 : SMP Negeri 4 Percontohan  
2016-2019 : SMK Negeri 1 Percut Sei Tuan  
2019-2024 : Tercatat Sebagai Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : FADLAN RIFKY  
NPM : 1907220029  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Analisis Pengaruh Grounding Pada Performansi Transformator Distribusi 3 Fasa Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Perhitungan Impedansi Di PT.PLN ULP Belawan"

No	Tanggal	Catatan Asistansi	Paraf Pembimbing
		Perbaiki rumusan Masalah & Tujuan Penelitian	#
		Tambahkan landasan teori	#
		Tentukan Data Penelitian	#
		Flow chart Revisi	#
		Analisis Data di buat di Metodologi, Masukkan rumus nya.	#
		ACC Seminar proposal	#

Mengetahui,  
Pembimbing I

Elvy Sahnur, S.T., M.Pd.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : FADLAN RIFKY  
NPM : 1907220029  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Analisis Pengaruh Grounding Pada Performa Transformator Distribusi Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Impedansi Di PT.PLN ULP Belawan"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
		Perbaiki Grafik Gambar	
		Perbaiki Perhitungan Pasch Tanch	
		Perbaiki Table diagram	
	20/11/2023	Ace Seminar Hotel	

Mengetahui,  
Pembimbing I

Elvy Sahnur, S.T., M.Pd.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA (UMSU)

FAKULTAS TEKNIK-TEKNIK ELEKTRO

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR (SKRIPSI)

Nama : FADLAN RIFKY  
NPM : 1907220029  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Elektro  
Judul Tugas Akhir : "Analisis Pengaruh Grounding Pada Performa Transformator Distribusi 3 Fasa Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Metode Perhitungan Impedansi Di PT.PLN ULP Belawan"

No	Tanggal	Catatan Asistensi	Paraf Pembimbing
		Perbaiki Satuan	
	28/12/2023	Ace Ridang	

Mengetahui,  
Pembimbing I



Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd.