

TUGAS AKHIR

ANALISA EFISIENSI TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK GLUGUR

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

Disusun Oleh :

Raihan's Abdul Aziz

2007220040



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Raihan's Abdul Aziz
NPM : 2007220040
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Analisa Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk Glugur
Bidang ilmu : Sistem Tenaga

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, 13 September 2025

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



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

Dosen Pembanding I / Penguji



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

Dosen Pembanding II / Peguji



Noorly Evalina S.T.,M.T



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Raihan's Abdul Aziz
Tempat /Tanggal Lahir : Medan, 30 Juli 2002
NPM : 2007220040
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Elektro

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

“Analisa Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk Glugur”,

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 orisinil 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 Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 13 September 2025

Saya yang menyatakan,



(Raihan's Abdul Aziz)

ABSTRAK

Transformator daya merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi dari tegangan tinggi ke tegangan distribusi. Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Glugur, Sumatera Utara, yang memiliki tiga unit transformator daya berkapasitas 60 MVA dengan tegangan 150/20 kV. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis arus pembebanan puncak, rugi-rugi daya, serta efisiensi transformator daya guna menilai kinerja operasionalnya. Metode penelitian meliputi studi literatur, observasi lapangan, serta pengolahan data hasil pengukuran arus, tegangan, dan daya pada kondisi beban siang dan malam. Perhitungan rugi-rugi mencakup rugi inti (core losses) dan rugi tembaga (copper losses), sedangkan efisiensi ditentukan dengan membandingkan daya keluaran dan daya masukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa rugi-rugi transformator lebih besar pada siang hari akibat faktor beban yang lebih tinggi (load factor 0,85) dibandingkan malam hari (0,60). Total rugi-rugi energi harian tercatat sekitar 3.230,4 kWh, dengan dominasi rugi tembaga yang bervariasi mengikuti beban, sementara rugi inti bersifat konstan. Nilai efisiensi transformator pada kondisi beban 85% dengan faktor daya 0,92 mencapai sekitar 98,30%, yang tergolong tinggi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa transformator daya di GI Glugur masih beroperasi secara optimal dengan efisiensi tinggi, meskipun terdapat potensi penghematan energi melalui penyeimbangan beban, penggunaan kapasitor bank, dan optimalisasi operasi trafo paralel. Hasil ini diharapkan menjadi referensi dalam upaya peningkatan keandalan serta efisiensi sistem distribusi listrik di wilayah tersebut.

Kata kunci: *Transformator daya, Gardu Induk Glugur, rugi-rugi daya, arus pembebanan, efisiensi*

ABSTRACT

Power transformers are essential components in electrical power systems, functioning to transfer energy from high voltage to distribution levels. This research was conducted at Glugur Substation, North Sumatra, which operates three power transformers rated at 60 MVA with 150/20 kV voltage levels. The objective of this study is to analyze peak load currents, power losses, and efficiency of the power transformers in order to evaluate their operational performance. The research method includes literature review, field observations, and data analysis based on measurements of current, voltage, and power during day and night load conditions. Losses are calculated as core losses and copper losses, while efficiency is determined by comparing input and output power. The results show that transformer losses are higher during the daytime due to heavier load factors (0.85) compared to nighttime (0.60). The total daily energy loss is approximately 3,230.4 kWh, with copper losses varying according to load, while core losses remain constant. The efficiency at 85% load with a 0.92 power factor reaches around 98.30%, indicating high operational performance. In conclusion, the power transformers at Glugur Substation operate optimally with high efficiency, although there is potential for energy savings through load balancing, capacitor bank installation, and optimized parallel transformer operation. The findings are expected to serve as a reference for improving reliability and efficiency of the local electricity distribution system.

Keywords: *Power transformer, Glugur Substation, power losses, load current, efficiency*

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisa Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk Glugur” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Selesainya penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, arahan, motivasi, maupun fasilitas dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis sampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih setulusnya kepada:

1. Ayahanda Sugianto , dan Ibunda tercinta Tuti Risnawati serta seluruh keluarga yang telah memberikan bantuan moril maupun materil serta nasehat dan do'anya untuk penulis demi selesainya Skripsi ini.
2. Bapak Dr. Agussani, M.A.P, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.T selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
4. Bapak Dr. Ade Faisal, M.sc, P.h.D., selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Dr. Elvy Sahnur Nasution, S.T., M.Pd., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta Dosen Pembimbing Skripsi yang banyak meluangkan waktu dan pikirannya untuk memberikan bantuan dalam bentuk bimbingan arahan kepada penulis.
6. Bapak Benny Oktrialdy, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta Dosen Pembimbing Skripsi yang banyak meluangkan waktu dan pikirannya untuk memberikan bantuan dalam bentuk bimbingan arahan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staff Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah membantu penulis dalam administrasi selama masa perkuliahan.

8. Teman terbaik penulis, Syawla Andina Auliya yang selalu memberikan semangat dalam proses penulisan Tugas Akhir ini.
9. Kepada manchester united selaku klub sepakbola favorit saya terimakasih telah mengajarkan penulis arti kesabaran dalam mencapai suatu tujuan dan mengajarkan penulis untuk menghargai sebuah proses.
10. Teman-teman seperjuangan stambuk 20 Jurusan Teknik Elektro yang tidak dapat disebut satu persatu.

Peneliti menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, peneliti mengharapkan skripsi ini dapat memberikan manfaat yang berguna bagi pengembangan ilmu Teknik Elektro di Indonesia, memberikan wawasan yang berguna untuk jurusan, fakultas, almamater dan bermnafaat bagi masyarakat.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 13 September 2025

Penulis,

Raihan's Abdul Aziz

2007220040

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penulisan	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
1.6 Metode Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Kajian Pustaka yang Relevan	5
2.2 Landasan Teori	9
2.3 Gardu Induk.....	10
2.4 Sistem Tenaga Listrik.....	11
2.5 Jenis-jenis Transformator	12
2.5.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan	12
2.5.2 Tranformator Berdasarkan Fungsi	13
2.5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja / Kondisi Trafo Daya.....	18
2.6 Transformator Daya	20

2.6.1 Peralatan Bantu Transformator Daya	21
2.6.2 Prinsip Kerja Transformator	22
2.6.3 Bagian-bagian Transformator Daya.....	23
2.6.4 Gangguan Pada Transformator Daya.....	25
2.6.5 Gangguan Internal Pengamanan	25
2.6.6 Gangguan Eksternal Daerah Pengaman.....	25
2.6.7 Gangguan Hubung Singkat.....	26
2.6.8 Tahanan pada Trafo Daya (Isolasi).....	26
2.6.9 Rugi-Rugi Transformator	27
2.7 Rugi-rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator	31
2.8 Transformator Distribusi	32
2.8.1 Kumparan.....	33
2.8.2 Inti Transformator.....	33
2.8.3 Minyak Tranformator	34
2.8.4 Bushing Transformator	34
2.8.5 Tipe Pendingin Transformator.....	34
2.9 Hubungan Pada Transformator 3 Fasa	35
2.9.1 Hubungan Bintang (Y).....	35
2.9.2 Hubungan Segitiga/Delta (Δ).....	36
2.9.3 Hubungan Zig-zag	37
2.10 Arus Beban Penuh	37
BAB III.....	39
METODE PENELITIAN	39
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	39
3.2 Data Penelitian.....	39
3.3 Jalannya Penelitian	39
3.4 Diagram Alur Penelitian.....	40
BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41

4.1 Analisa Arus Pembebanan Trafo Daya di GI Glugur.....	41
4.2 Analisa Rugi-rugi Trafo Daya di GI Glugur	57
4.3 Menghitung Nilai Efisiensi pada Trafo Daya.....	59
BAB V.....	61
PENUTUP.....	61
a. Kesimpulan.....	61
b. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	62
LAMPIRAN.....	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gardu Induk Glugur	10
Gambar 2. 2 Sistem Tenaga Listrik.....	11
Gambar 2. 3Trafo Step Up	13
Gambar 2. 4 Trafo Step Down	14
Gambar 2. 5 Autotransformator	14
Gambar 2. 6 Transformator Distribusi	15
Gambar 2. 7 Transformator Isolasi	15
Gambar 2. 8 Transformator Isolasi	16
Gambar 2. 9 Transformator Daya	16
Gambar 2. 10 Transformator Pulsa	17
Gambar 2. 11 Transformator Arus	18
Gambar 2. 12 Transformator Tegangan	18
Gambar 2. 13 Inti Transformator Daya.....	20
Gambar 2. 14 Trafo Daya di GI PLN GLUGUR.....	21
Gambar 2. 15 Inti Besi	23
Gambar 2. 16 Kumpran Transformator.....	24
Gambar 2. 17 Rugi-rugi Transformator	28
Gambar 2. 18 Transformator Distribusi	32
Gambar 2. 19 Inti Transformator	33
Gambar 2. 20 Rangkaian hubung bintang (Y)	35
Gambar 2. 21 Rangkaian segitiga/delta (Δ)	36
Gambar 2. 22 Rangkaian Hubungan Zig – zag	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Arus Tegangan.....	42
Tabel 4. 2 Grafik Daya.....	42
Tabel 4. 3 Tabel Grafik Perbandingan Daya Tertinggi.....	49
Tabel 4. 4 Tabel Grafik Perbandingan Arus Tertinggi	49
Tabel 4. 5 Tabel Data Pembebanan Terendah	50
Tabel 4. 6 Tabel Grafik Daya Terendah.....	50
Tabel 4. 7 Tabel Grafik Perbandingan Daya.....	56
Tabel 4. 8 Tabel Grafik Perbandingan Arus	56
Tabel 4. 9 Tabel Total Kerugian Energi.....	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transformator daya merupakan komponen vital dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan. Pada proses penyaluran energi listrik, selalu ada rugi-rugi daya, baik dari aliran arus pada kumparan (rugi tembaga) maupun arus bolak-balik pada inti besi (rugi inti). Rugi-rugi tersebut berpengaruh terhadap efisiensi transformator, yang dihitung sebagai perbandingan daya keluaran dengan daya masukan.

Efisiensi transformator sangat ditentukan oleh besar kecilnya rugi-rugi dan kapasitas pembebanan. Jika rugi-rugi meningkat, maka daya keluaran berkurang dan efisiensi turun. Oleh karena itu, penting dilakukan analisis terhadap arus pembebanan, rugi-rugi, serta efisiensi transformator daya di Gardu Induk (GI) Glugur, mengingat di sana terdapat tiga unit transformator daya 150/20 kV yang berperan dalam menjaga kualitas penyaluran energi listrik bagi konsumen. Efisiensi transformator merupakan perbandingan daya keluaran (output) dan daya masukan (input), dimana kecil besarnya nilai efisiensi pada suatu transformator sangat dipengaruhi oleh kapasitas pembebanan. Selain rugi-rugi tersebut, efisiensi juga dipengaruhi oleh rugi-rugi pada transformator itu sendiri seperti rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga. Rugi-rugi ini dapat juga menyebabkan perbedaan daya input dan daya output. Oleh sebab itu, besar kecilnya rugi-rugi yang terdapat pada transformator maka akan mengurangi jumlah daya keluaran pada transformator tersebut.

Hal tersebut yang menjadi alasan terpenting mengapa Perlu diketahui bahwa Trafo Daya menghasilkan daya listrik yang cukup besar guna membantu keberhasilan di Ruang Lingkup Pekerjaan. Maka dari itulah Penulis mengangkat judul Skripsi sebagai Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Efisiensi Transformator Daya GI Glugur”. Selanjutnya manfaat dari Penelitian ini adalah agar dapat menjaga kualitas penyaluran listrik sesuai dengan tegangan yang diizinkan sehingga dapat memenuhi kebutuhan konsumen dengan baik dan sesuai dengan harapan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka untuk mempermudah bahasan penulis akan membatasi masalah dalam penelitian ini berupa:

1. Bagaimana Arus Pembebanan di Siang dan Malamnya Trafo Daya di GI Glugur?
2. Bagaimana Nilai Rugi-rugi Daya pada saat Pembebanan pada Trafo Daya di GI Glugur?
3. Bagaimana Perhitungan Nilai Efisiensi Transformator Daya yang ada di GI Glugur?

1.3 Tujuan Penulisan

Adapun tujuan dilakukan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk menganalisa Arus Pembebanan Trafo Daya di GI Glugur
2. Untuk menganalisa Rugi-rugi (P) pada saat Pembebanan di GI Glugur
3. Untuk menganalisa Perhitungan Nilai Efisiensi Transformator Daya yang ada di GI Glugur

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Pada Gardu Induk Glugur Terdapat tiga buah trafo daya yang digunakan untuk penyaluran daya dari tegangan 150 kV ke tegangan distribusi 20 kV. Tentu saja pada Transformator Daya tersebut memiliki Arus Pembebanan Transformator Daya yang ada di GI Glugur, sehingga perlu mengetahui:

1. Untuk Mengetahui besarnya Arus Pembebanan Tertinggi dan Arus Pembebanan Terendah.
2. Untuk Mengetahui Rugi-rugi saat Pembebanan.
3. Untuk mengetahui besarnya Nilai Efisiensi pada setiap Transformator Daya yang ada di Gardu Induk Glugur.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian skripsi ini adalah diharapkan dapat memberikan suatu penyelesaian masalah dan meningkatkan kualitas dari, nantinya dapat mempunyai manfaat bagi :

1.5.1 Perusahaan

Memberikan pemecahan masalah bagi perusahaan dalam menganalisa efisiensi transformator daya di GI PLN Glugur.

1.5.2 Universitas

Manfaat dari penggunaan bagi Universitas yaitu menambah bahan referensi dan informasi dalam melakukan analisa selanjutnya mengenai transformator daya dan kegunaannya.

1.5.3 Penulis

Menambah wawasan dan mengembangkan pengetahuan penulis mengenai transformator daya dan kegunaannya.

1.6 Metode Penelitian

Adapun beberapa metode penelitian yang penulis gunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi pustaka ini dilakukan untuk menambah pengetahuan bagi penulis dan referensi bahan dengan membaca literatur maupun bahan-bahan teori atau buku, data, dan Media artikel ilmiah.

2. Studi Konsultasi

Adapun didalam proses penyelesaian tugas akhir ini penulis terlebih dahulu melakukan konsultasi dengan dosen pembimbing yang sudah memiliki pengalaman sehingga mampu mendukung tugas akhir ini.

3. Studi Lapangan

Yaitu dengan melakukan observasi langsung ke Gardu Induk Gelugur PT. PLN persero.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang digunakan penulis dalam penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang gambaran umum mengenai tugas akhir yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang tinjauan pustaka relevan yaitu teori-teori rujukan yang dapat menunjang dalam penulisan tugas akhir, serta teori dasar yang berisikan landasan teori dasar setiap komponen alat yang digunakan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang lokasi penelitian berlangsung, fungsi alat dan bahan penelitian, tahapan pengerjaan, jadwal dan gangguan yang terjadi pada Transformator Daya di Gardu Induk Glugur

BAB IV ANALISIS DAN HASIL

Bab ini membahas tentang menganalisa Arus pembebanan daya, menghitung rugi-rugi daya dan menghitung nilai efisiensi pada trafo daya.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran dari penulisan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka yang Relevan

Transformator merupakan perangkat listrik yang mengubah arus tegangan melalui induksi elektromagnetik menjadi satu atau lebih sistem arus bolak balik, tetapi memiliki nilai arus tegangan yang berbeda. Peran transformator dalam kelistrikan sangat penting karena memungkinkan produksi, transmisi, dan distribusi listrik yang efisien, andal, dan aman pada level tegangan yang sesuai. (Kusuma, 2022) Transformator adalah salah satu komponen ataupun peralatan yang terdapat didalam gardu induk. Gardu induk disebut juga gardu unit pusat beban yang merupakan gabungan dari transformer dan rangkaian switchgear yang tergabung dalam satu kesatuan melalui sistem kontrol yang saling mendukung untuk keperluan operasional. Pada dasarnya gardu induk bekerja mengubah tegangan yang dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik menjadi tenaga listrik menjadi tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi.

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energy listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandingan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektro magnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan trafo dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak—balik sangat banyak di pergunakan untuk pembangkit dan penyaluran tenaga listrik. (Markus Dwiyanto Tobi Sogen, ST., 2023)

Transformator distribusi merupakan alat tenaga listrik yang berperan dalam menyalurkan tenaga listrik ke konsumen dari tegangan menengah ke tegangan rendah melalui saluran transmisi. Salah satu gangguan yang terjadi ada pada transformator distribusi. Untuk menghindari kerusakan langsung terhadap

transformator distribusi. Salah satu cara untuk mengurangi gangguan adalah menganalisis gangguan yang terjadi pada transformator distribusi. Dengan melakukan perbandingan dari gangguan yang terjadi pada transformator seperti gangguan beban berlebih, gangguan beban tidak seimbang, gangguan minyak transformator yang rusak. Berdasarkan hasil pengujian didapat gangguan yang paling banyak terjadi adalah gangguan akibat minyak transformator yang rusak dengan presentase 44,74% dari total gangguan, dan gangguan akibat beban berlebih dengan presentase 7,9% dari total gangguan merupakan gangguan yang paling sedikit. (Mutiar Fitri & Waluyo, 2023)

Proses penyaluran energi listrik sering kali terjadi pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidak seimbangan beban ini selalu terjadi karena adanya ketidaksamaan dalam pemakaian energi listrik dan penyambungan kabel APP pelanggan. Ketidakseimbangan yang besar pada fasa R,S,T inilah yang akan menimbulkan arus yang mengalir pada penghantar netral transformator, lalu arus tersebut menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada transformator. Apabila efisiensi transformator menurun dapat berakibat pada nilai umur trafo yang berkurang sehingga kehandalan salah satu dalam sistem tenaga listrik pun ikut mengalami penurunan kualitas pelayanan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan. Namun jika dilakukan pemeliharaan secara berkala pada setiap transformator tersebut maka kualitas nya akan tetap terjaga, seperti mengganti minyak pada trafo dan melakukan pengecekan pada setiap gardugardunya. (Rusliadi, 2023)

Sistem tenaga listrik juga dapat disebut sebagai gabungan dari sistem pembangkitan, sistem transmisi, sistem distribusi dan beban yang saling berhubungan dan membentuk suatu kesatuan. (Muhammad Mirdasil Aslami, 2023; Prayoga & Suprianto, 2023a) Sistem pembangkitan adalah tahap pertama dimana tenaga listrik dibangkitkan dan kemudian disalurkan ke sistem transmisi. Setelah ditransmisikan dan disalurkan kepada gardu induk sebagai pusat beban, maka akan diteruskan ke sistem distribusi kepada pelanggan. Dalam sistem distribusi tenaga listrik, transformator distribusi sangat berperan penting untuk mengubah tegangan transmisi 20KV menjadi 380V untuk pelanggan 3 fasa dan 220V untuk pelanggan 1 fasa yang kemudian didistribusikan kepada pelanggan. (Prayoga & Suprianto, 2023)

Pada 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, dan lain-lain. Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Pembebanan yang tidak merata karena waktu penyalaan beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini dapat mengakibatkan timbulnya arus pada kawat netral, rugi-rugi, dan turunnya efisiensi trafo distribusi tersebut. (Zulkhulaifah & Rudito, 2021)

Jika daya tidak seimbang dan tegangan tidak sesuai dengan yang diharapkan, biasanya terjadi karena daya dan tegangan sebagian hilang dalam perjalanan menuju konsumen, dimana dipengaruhi oleh antara lain panjangnya saluran distribusi, tidak optimalnya penempatan transformator terhadap beban, diameter penghantar yang tidak sesuai dengan jumlah kapasitas beban sehingga menghasilkan panas pada saluran penghantar yang berakibat hilangnya dayadan tegangan pada jaringan. Pada masing-masing beban dihubungkan ke fasa dengan menghitung nilai beban dan panjangnya saluran. Maka didapat kombinasi keseimbangan beban agar sistem menjadi lebih optimal. Proses ini dapat meminimalkan rugi-rugi tegangan yang diakibatkan beban tidak seimbang. Karena bila transformator yang terpasang jauh dari beban dapat menyebabkan rugi yang mengurangi kualitas tenaga listrik.(Patilima, 2022)

Sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan pengguna energi listrik atau konsumen dinamakan dengan sistem distribusi yang memiliki fungsi sebagai sarana penting dalam pendistribusian energi listrik. Pada sistem tersebut terdapat transformator distribusi yang bertugas untuk mengkonversi tegangan dari tegangan menengah (20 kV) ke tegangan rendah antar fasa (380V - 400V) dan fasa netral (220V) yang selanjutnya dimanfaatkan untuk kebutuhan industri kecil, perkantoran, dan kebutuhan rumah tangga . Oleh sebab itu, pada transformator distribusi perlu dilakukan pembagian beban yang merata supaya tidak ada arus pada netral dan tidak menimbulkan rugi-rugi daya (losses) sehingga kualitas listrik yang dikirim ke pelanggan menjadi baik.(Syukri et al., 2022).

Untuk mengurangi kerugian-kerugian yang ditimbulkan akibat dari ketidakseimbangan beban, sangat perlu dilakukan langkah alternatif penurunan losses dengan penyeimbangan (pemerataan) beban disisi jaringan tegangan rendah. Sehingga diharapkan dengan penyeimbangan beban dapat meningkatkan efisiensi trafo distribusi. Penyeimbangan beban trafo distribusi sudah biasa dilakukan oleh PLN, akan tetapi pelaksanaan penyeimbangan yang dilakukan 4-5 kali untuk satu gardu distribusi karena dilakukan dengan coba-coba sehingga membutuhkan waktu yang cukup lama, hal ini lebih dikarenakan data fasa pelanggan yang kurang valid, bahkan kadang tidak ada data fasa pelanggan.(Anang Dasa Novfowan, Mochammad Mieftah, 2020)

Proses penyaluran energi listrik sering kali terjadi pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidak seimbangan beban ini selalu terjadi karena adanya ketidaksamaan dalam pemakaian energi listrik dan penyambungan kabell APP pelanggan. Ketidakseimbangan yang besar pada fasa R,S,T inilah yang akan menimbulkan arus yang mengalir pada penghantar netral transformator, lalu arus tersebut menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada transformator. Apabila efisiensi transformator menurun dapat berakibat pada nilai umur trafo yang berkurang sehingga kehandalan salah satu dalam sistem tenaga listrik pun ikut mengalami penurunan kualitas pelayanan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan. Namun jika dilakukan pemeliharaan secara berkala pada setiap transformator tersebut maka kualitas nya akan tetap terjaga, seperti mengganti minyak pada trafo dan melakukan pengecekan pada setiap gardugardunya.(Rusliadi, 2023)

Pada 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, dan lain-lain. Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Pembebanan yang tidak merata karena waktu penyalaan beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini

dapat mengakibatkan timbulnya arus pada kawat netral, rugi-rugi, dan turunnya efisiensi trafo distribusi tersebut. (Zulkhulaifah & Rudito, 2021)

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut PLN agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Namun dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang tidak merata sehingga menimbulkan suatu ketidak seimbangan beban yang dampaknya dapat merugikan PLN. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem tenaga listrik selalu terjadi. Beban yang tidak seimbang di setiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) akan mengakibatkan arus mengalir pada netral tafo (IN) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor keseimbangannya. Arus yang mengalir pada penghantar netral ini akan mengakibatkan terjadinya rugi-rugi (losses) daya disepanjang penghantar tersebut. (SIREGAR, 2022)

Dimana dipengaruhi oleh antara lain panjangnya saluran distribusi, tidak optimalnya penempatan transformator terhadap beban, diameter penghantar yang tidak sesuai dengan jumlah kapasitas beban sehingga menghasilkan panas pada saluran penghantar yang berakibat hilangnya dayadan tegangan pada jaringan.

Pada masing-masing beban dihubungkan ke fasa dengan menghitung nilai beban dan panjangnya saluran. Maka didapat kombinasi keseimbangan beban agar sistem menjadi lebih optimal. Proses ini dapat meminimalkan rugi-rugi tegangan yang diakibatkan beban tidak seimbang. Karena bila transformator yang terpasang jauh dari beban dapat menyebabkan rugi yang mengurangi kualitas tenaga listrik. (Patilima, 2022)

2.2 Landasan Teori

Trafo adalah suatu alat listrik yang mengubah arus tegangan menjadi satu atau lebih sistem arus bolak-balik dengan cara induksi elektromagnetik, namun dengan nilai arus tegangan yang berbeda. Peran transformator dalam penyediaan tenaga listrik sangat penting, hal itu untuk memenuhi kehidupan bagi sehari-hari manusia. Karena transformator memungkinkan pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik secara efisien, andal, dan aman pada tingkat tegangan yang sesuai. Trafo adalah salah satu komponen atau perangkat yang termasuk dalam suatu gardu listrik. Gardu induk disebut juga gardu induk unit beban pusat, mempunyai trafo dan switchgear yang dikelompokkan menjadi unit melalui sistem kendali untuk saling mendukung untuk kebutuhan operasional. (Ampere & 2017,

n.d.) Pada dasarnya gardu induk digunakan untuk mengubah tegangan yang dihasilkan oleh generator pusat menjadi energi listrik tegangan tinggi atau tegangan transmisi dan sebaliknya untuk mengubah tegangan menengah atau tegangan distribusi. Landasan teori ini memberikan landasan pemahaman yang diperlukan untuk melaksanakan dan mengevaluasi analisis Efisiensi Transformator Daya di Gardu Induk Glugur.(Majid et al., n.d.)

2.3 Gardu Induk

Gardu Induk adalah subsistem dari sistem distribusi tenaga listrik (transmisi tenaga listrik) atau satuan dari sistem distribusi tenaga listrik (transmisi tenaga listrik). Distribusi tenaga listrik (transmisi) merupakan subsistem dari sistem distribusi tenaga listrik (transmisi). Gardu induk memegang peranan penting sebagai subsistem dari sistem distribusi (transmisi) tenaga listrik. Dalam pengoperasiannya tidak lepas dari sistem distribusi (transmisi) secara keseluruhan.

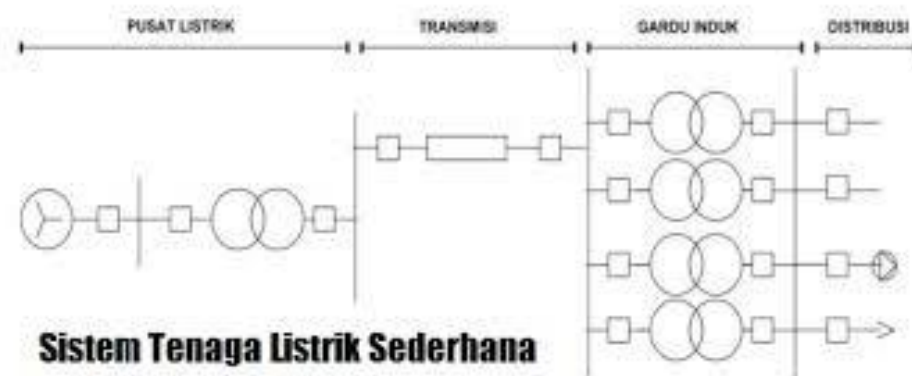
Pembahasan kali ini fokus pada permasalahan gardu induk yang umum terpasang di Indonesia. Pembahasannya bersifat praktis (terapan) sesuai dengan struktur yang terpasang di lapangan. Tegangan yang dihasilkan oleh generator dibatasi hingga puluhan Kilo Volt, namun transmisi daya memerlukan tegangan puluhan hingga ratusan KiloVolt, sehingga diperlukan trafo step-up antara pembangkitan dan transmisi. Oleh karena itu, semua perangkat yang dipasang pada sisi sekunder trafo ini harus mampu mengalirkan tegangan tinggi.



Gambar 2. 1 Gardu Induk Glugur

2.4 Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya tujuan perusahaan listrik adalah menjaga kontinuitas pelayanan listrik, agar daya yang tersalurkan dapat sampai kepada pelanggan secara terus menerus tanpa terputus. Salah satu energi yang dibutuhkan manusia adalah energi listrik, namun ketersediaan energi ini tidak tercukupi dengan suplay bahan bakar pembangkit energi listrik yaitu bahan bakar fosil atau energi fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil di dunia setiap tahun mengalami kenaikan, sehingga memaksakan kita untuk mencari bahan bakar atau energi alternatif pengganti bahan bakar fosil. Evalina, N. (2020). Sistem tenaga listrik dimulai dari system pembangkit, transmisi, dan distribusi. Seperti ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2. 2 Sistem Tenaga Listrik

1. Pusat Listrik merupakan komponen yang berfungsi membangkitkan tenaga listrik, yaitu mengubah energi yang berasal dari sumber energi lain misalnya: air, batu bara, panas bumi, minyak bumi dll. menjadi energi listrik.
2. Transmisi merupakan komponen yang berfungsi menyalurkan daya atau energi dari pusat pembangkitan ke pusat beban.
3. Gardu Induk
4. Distribusi merupakan komponen yang berfungsi mendistribusikan energi listrik ke lokasi konsumen energi listrik.

Namun di suatu sisi peralatan listrik yang ada pada sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi tersebut akan mengalami masalah dasar seperti gangguan, pemeliharaan, dan penuaan yang mengakibatkan pergantian alat. Salah satu

kebutuhan energi yang sangat dasar adalah energi listrik. Energi listrik memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan hidup. Kebutuhan energi listrik diperkirakan mengalami peningkatan rata-rata 6,5% pertahun hingga tahun 2020. Hal ini karena penggunaan jumlah peralatan elektronika yang mengkonsumsi energi listrik semakin hari semakin bertambah mulai dari sektor rumah tangga, instansi pemerintah hingga sektor industri. Sehingga menyebabkan kebutuhan energi listrik semakin besar. Zambak, M. F., Lubis, K., & Faisal, A. (2023).

Gangguan transformator daya terbagi 2, gangguan eksternal dan gangguan internal. Transformator daya dilengkapi dengan beberapa rele proteksi yang bekerjasama dengan PMT (Pemutus Tenaga). Rele proteksi berfungsi untuk melindungi transformator daya dari gangguan eksternal maupun internal. Maka 11 sangat kinerja rele proteksi tersebut bekerja dengan sangat baik, agar tidak terjadi kerusakan pada transformator daya. (Tambunan et al., n.d.)

2.5 Jenis-jenis Transformator

Transformer merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui sesuatu gandeng magnet. Tranformator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbandung lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya. (Nasution, E. S., Pasaribu, F. I., & Hidayat, M. H. (2021)). Trafo sendiri memiliki macam macam jenis antara lain adalah :

1. Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan.
2. Transformator Berdasarkan Fungsi

2.5.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan

Transformator dapat di bedakan berdasarkan kumparan atau lilitanya menjadi :

1. Transformator satu belitan

Transformator/Trafo satu belitan ini adalah lilitan primer merupakan bagian lilitan sekunder atau sebaliknya trafo satu belitan ini lebih dikenal sebagai “Auto trafo atau trafo hemat”.

2. Transformator dua belitan.

Transformator/Trafo dua belitan adalah trafo yang mempunyai dua belitan yaitu sisi tegangan tinggi dan sisi tegangan rendah, dimana kumparan sekunder dan primer berdiri sendiri.

3. Transformator tiga belitan.

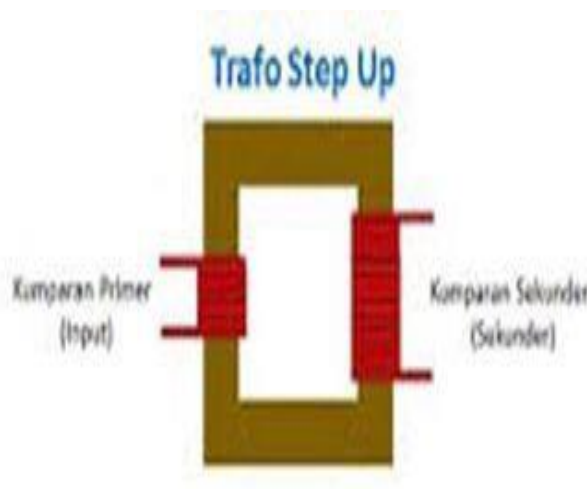
Transformator/Trafo tiga belitan adalah trafo yang mempunyai belitan primer, sekunder dan tersier, masing-masing berdiri sendiri pada tegangan yang berbeda.

2.5.2 Transformator Berdasarkan Fungsi

Menurut fungsinya Transformator dibagi atas : Pengklasifikasian transformator pada dasarnya tergantung pada rasio jumlah gulungan kumparan primer dengan jumlah kumparan sekundernya (Djodding et al., n.d.).

1. Transformator Step Up

Transformator Step Up yaitu transformator yang digunakan untuk menaikkan level tegangan dari yang rendah menuju ke tegangan yang lebih tinggi. Dengan cara memperbanyak jumlah lilitan sekundernya daripada jumlah lilitan primernya. Pada pembangkit, transformator ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke grid.



Gambar 2. 3Trafo Step Up

2. Transformator Step Down

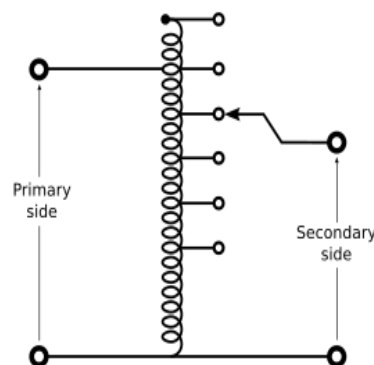
Transformator Step Down Transformator Step Down yaitu transformator yang digunakan untuk menurunkan level tegangan dari yang tinggi ke tegangan yang lebih rendah. Dengan cara memperbanyak lilitan primernya daripada jumlah lilitan sekundernya. Di jaringan distribusi, transformator step down biasanya digunakan untuk mengubah tegangan grid yang tinggi menjadi tegangan rendah yang dapat digunakan untuk peralatan rumah tangga.



Gambar 2. 4 Trafo Step Down

3. Autotransformator

Transformator jenis ini hanya terdiri dari satu lilitan yang berlanjut secara listrik, dengan sadapan tengah. Dalam transformator ini, sebagian lilitan primer juga merupakan lilitan sekunder. Fasa arus dalam lilitan sekunder selalu berlawanan dengan arus primer sehingga untuk tarif daya yang sama lilitan sekunder bisa dibuat dengan kawat yang lebih tipis dibandingkan transformator biasa. Keuntungan dari autotransformator adalah ukuran fisiknya yang kecil dan kerugian yang lebih rendah daripada jenis dua lilitan.



Gambar 2. 5 Autotransformator

4. Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah jenis transformator yang digunakan dalam jaringan distribusi listrik untuk menurunkan tegangan dari tingkat menengah, biasanya antara 11 kV dan 33 kV, ke tingkat tegangan yang lebih rendah yang aman dan sesuai untuk digunakan oleh konsumen akhir, seperti 220 V atau 440 V. Perangkat ini biasanya dipasang pada tiang listrik, di gardu distribusi, atau di sekitar area pemukiman dan industri. Fungsi utamanya adalah memastikan bahwa listrik yang ditransmisikan dari gardu induk dapat didistribusikan dengan aman dan efisien ke rumah, bangunan komersial, dan fasilitas industri.



Gambar 2. 6 Transformator Distribusi

5. Transformator Isolasi

Transformator isolasi memiliki lilitan sekunder yang berjumlah sama dengan lilitan primer sehingga tegangan sekunder sama dengan tegangan primer. Tetapi pada beberapa desain, gulungan sekunder dibuat sedikit lebih banyak untuk mengompensasi kerugian. Transformator seperti ini berfungsi sebagai isolasi antara dua kalang. Untuk penerapan audio, transformator jenis ini telah banyak digantikan oleh kopling kapasitor.



Gambar 2. 7 Transformator Isolasi

6. Transformator Instrumentasi

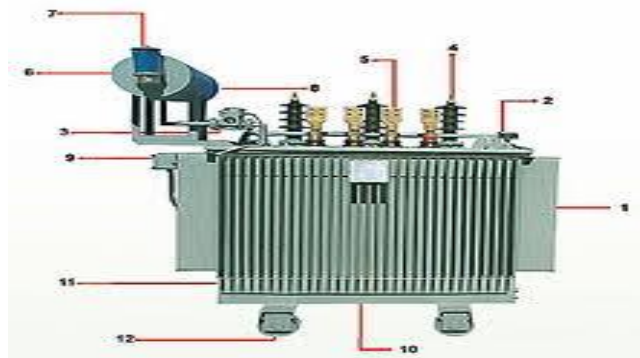
Transformator instrumentasi adalah jenis transformator khusus yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk tujuan pengukuran dan proteksi. Terdapat dua tipe utama: Current Transformer (CT) dan Voltage Transformer (VT) atau Potential Transformer (PT). Current Transformer (CT) berfungsi untuk mengukur arus listrik dengan mengubah arus yang besar menjadi arus yang lebih kecil dan aman untuk perangkat pengukuran dan proteksi, seperti relai dan meteran.



Gambar 2. 8 Transformator Isolasi

7. Transformator Daya

Transformator daya adalah jenis transformator berukuran besar yang digunakan dalam sistem tenaga listrik untuk mengubah tegangan pada tingkat yang sangat tinggi antara pembangkit listrik dan jaringan transmisi atau antara jaringan transmisi dan distribusi. Mereka biasanya beroperasi pada tegangan di atas 33 kV dan memiliki kapasitas daya yang sangat besar, sering kali dalam kisaran ratusan hingga ribuan MVA (Mega Volt Ampere).



Gambar 2. 9 Transformator Daya

8. Transformator Pulsa

Transformator pulsa merupakan komponen kritis dalam dunia elektronik modern yang memfasilitasi transfer energi listrik dalam bentuk sinyal berfrekuensi tinggi dengan respon cepat. Desainnya menggunakan inti magnetik khusus, seringkali terbuat dari bahan ferit, yang mampu menangani frekuensi tinggi dan mengurangi kerugian daya seperti histeresis dan arus eddy. Kumparan primer dan sekunder pada transformator ini dirancang dengan jumlah lilitan yang tepat, dengan isolasi galvanik yang kuat untuk melindungi perangkat dan pengguna dari tegangan tinggi. Aplikasi transformator pulsa sangat beragam, mulai dari komunikasi data berkecepatan tinggi hingga sistem pengapian mesin dalam kendaraan bermotor. Dalam komunikasi data, transformator pulsa digunakan untuk mentransfer sinyal digital tanpa distorsi, sedangkan dalam sistem pengapian, transformator ini membantu dalam menghasilkan loncatan tegangan tinggi yang diperlukan untuk menciptakan percikan api yang kuat. Selain itu, dalam aplikasi pemrosesan sinyal seperti pada osiloskop, transformator pulsa memainkan peran penting dalam memindahkan dan mengisolasi sinyal dengan akurasi tinggi..

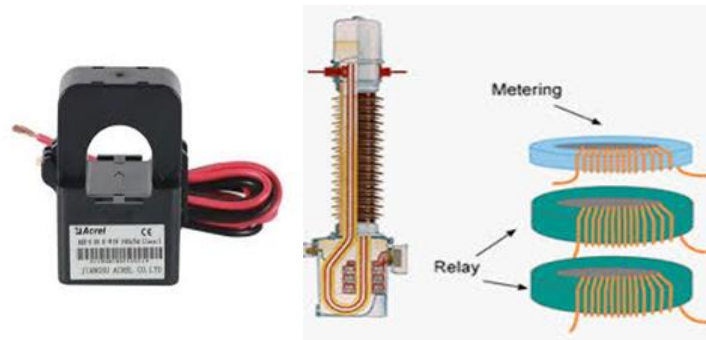


Gambar 2. 10 Transformator Pulsa

9. Transformator Arus

Current transformer sebenarnya adalah suatu toroida. Lilitan primer dari suatu current transformer biasanya berupa suatu bushing stem atau satu kabel yang berasal dari suatu alat objek yang hendak diindra oleh current transformer, lalu sisi lilitan sekunder diumpankan pada satu amperemeter atau digunakan untuk keperluan proteksi. Current transformer (CT) atau disebut dengan trafo arus adalah komponen instrumentasi dalam peralatan listrik. Komponen

instrumen ini mampu mentransformasikan arus yang besar menjadi arus kecil yang mana arus yang kecil ini digunakan untuk keperluan proteksi dan metering pengukuran rangkaian peralatan-peralatan listrik yang saling terhubung.



Gambar 2. 11 Transformator Arus

10. Transformator Tegangan

Trafo tegangan adalah trafo satu fasa step-down yang mentransformasi tegangan tinggi atau tegangan menengah ke suatu tegangan rendah yang layak untuk perlengkapan indikator, alat ukur, relay, dan alat sinkronisasi. Hal ini dilakukan atas pertimbangan harga dan bahaya yang dapat ditimbulkan tegangan tinggi. Tegangan perlengkapan seperti indikator, meter, dan relay dirancang sama dengan tegangan terminal sekunder trafo tegangan.



Gambar 2. 12 Transformator Tegangan

2.5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja / Kondisi Trafo Daya

1. Faktor Desain & Konstruksi :

- a. Kualitas material inti dan belitan yang bisa menentukan drop tegangan, pembagian arus saat parallel dan rugi beban.
- b. Impedansi trafo ($Z\%$) $\rightarrow$ menentukan drop tegangan, pembagian arus saat parallel, dan rugi beban.

- c. Sistem pendinginan (ONAN, ONAF, OFAF, dsb.) → menentukan kemampuan trafo menahan beban.
- d. Tap Changer (OLTC/DETC) → kualitas kontak & mekanisme tap changer sangat memengaruhi keandalan.

2. Faktor Operasional

- a. Beban berlebih (overload) → meningkatkan rugi tembaga, suhu winding, mempercepat degradasi isolasi.
- b. Faktor daya beban ($\cos\phi$) → semakin rendah $\cos\phi$, semakin besar arus, rugi-rugi meningkat.
- c. Harmonisa → dari beban non-linear (VFD, UPS, dsb.), meningkatkan rugi eddy current & rugi stray.
- d. Frekuensi operasi → perbedaan dari nilai nominal dapat menambah rugi inti.
- e. Kualitas tegangan suplai → fluktuasi, unbalance, atau tegangan lebih bisa merusak isolasi.

3. Faktor Lingkungan

- a. Suhu sekitar & iklim → temperatur tinggi mempercepat penuaan minyak isolasi & kertas.
- b. Kelembapan → memengaruhi kekuatan dielektrik isolasi padat maupun cair.
- c. Polusi & kontaminasi → debu, garam, atau gas korosif mempercepat degradasi isolasi luar (bushing).
- d. Getaran & gangguan mekanis → bisa melemahkan struktur internal.

4. Faktor Pemeliharaan

- a. Kualitas minyak trafo (dielectric strength, kandungan air, DGA untuk gas terlarut).
- b. Inspeksi rutin → kebocoran minyak, kondisi pendingin, OLTC, sistem proteksi.
- c. Monitoring online → suhu, arus beban, tegangan, partial discharge.
- d. Perbaikan yang tertunda → kerusakan kecil bisa berkembang jadi kegagalan besar.

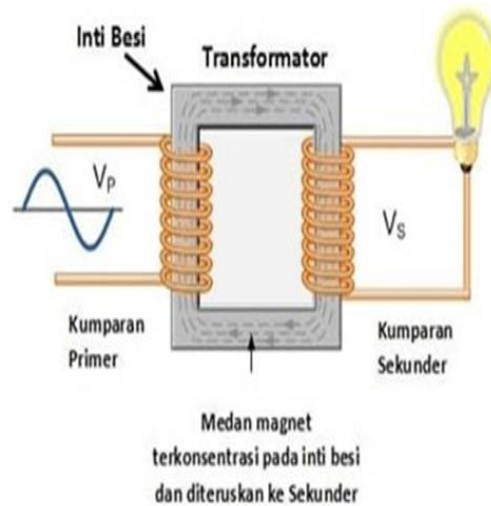
5. Faktor Eksternal

- a. Gangguan sistem (short circuit di jaringan) → menimbulkan arus hubung singkat yang besar, memberi tekanan termal & mekanis pada winding.
- b. Petir & surja tegangan lebih → dapat menembus isolasi bila proteksi surge arrester tidak efektif.

2.6 Transformator Daya

Transformator merupakan suatu alat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnet dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya,

Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. (Dhoni Kusuma & Hadi Tasmono, 2022).



Gambar 2. 13 Inti Transformator Daya

Transformator daya adalah transformator yang biasa digunakan di Gardu Induk (GI), baik itu di GI Pembangkit dan GI Distribusi dimana transformator tersebut memiliki kapasitas daya yang sangat besar. Gardu Induk Pembangkit digunakan untuk menaikkan tegangan rendah ke tegangan transmisi tinggi (150/500 kV). Sedangkan di GI Distribusi, Transformator Daya digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan menengah/rendah (11,6/20 kV).

Dalam bentuknya transformator terdiri atas dua kumparan yaitu, kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer yaitu kumparan yang menerima daya, sedangkan kumparan sekunder yaitu kumparan yang tersambung pada beban. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetic berlaminasi.(Oktalia et al., n.d.)



Gambar 2. 14 Trafo Daya di GI PLN GLUGUR

2.6.1 Peralatan Bantu Transformator Daya

Peralatan bantu transformator daya atau tenaga terdiri dari 4 yaitu :

1. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas yang diakibatkan oleh rugi-rugi besi dan tembaga. Apabila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam transformator , maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan ini perlu adanya alat atau sistem pendingin untuk memindahkan panas keluar dari transformator. Media yang dipakai sebagai pendinginnya dapat berupa udara/gas, minyak , air. Sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara Alamiah (natural) dan tekanan/ paksaan.

2. Tap Changer

Tap changer adalah alat pengubah perbandingan tranformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan atau primer yang beubah-ubah.

3. Indikator-Indikator

Untuk mengawasi transformator pada saat beroperasi maka perlu adanya indikator-indikator seperti:

- a. Indikator suhu minyak yang berfungsi untuk mengetahui keadaan dari suhu minyak itu sendiri.
- b. Indikator permukaan minyak yang berfungsi untuk melihat jumlah dari minyak yang berada di dalam tangki.
- c. Indikator kedudukan tap yang berfungsi untuk melihat posisi tegangan transformator bekerja.

4. Alat Pernafasan

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyakpun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki, Akibat pernafasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator.

2.6.2 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektris namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi (reluctance) 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. Akibatnya adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (mutual induction) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, kekuatan medan magnet tersebut dipengaruhi besarnya arus listrik yang dialirinya. Semakin besar arus listrik semakin besar juga medan magnetnya. (Teknologi & 2022, n.d.).

$$e_1 = -N_1 \text{ dan } e_2 = -N_2$$

$$-N_1 = -N_2 \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Dimana:

e_1 = Ggl induksi/tegangan sesaat pada kumparan primer (V).

e_2 = Ggl induksi /tegangan sesaat pada kumparan sekunder (V).

E_1 = Ggl induksi/tegangan efektif pada kumparan primer (V).

E_2 = Ggl induksi/tegangan efektif pada kumparan sekunder (V).

N_1 = Jumlah lilitan kumparan primer.

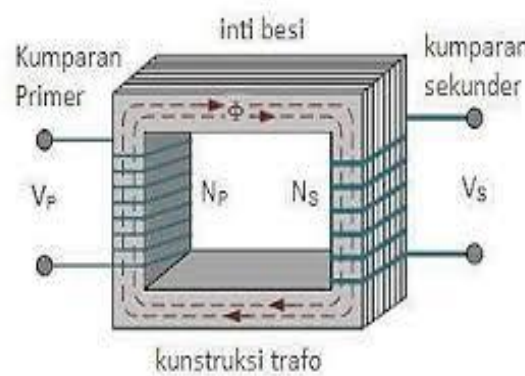
N_2 = Jumlah lilitan kumparan sekunder.

2.6.3 Bagian-bagian Transformator Daya

Transformator daya memiliki beberapa bagian-bagian yang paling penting diantaranya :

1. Inti Besi

Inti besi merupakan kumpulan beberapa lempengan besi tipis yang terisolasi dan disusun berlapis-lapis untuk mempermudah jalannya fluks magnet, serta untuk mengurangi panas yang ditimbulkan dan mengurangi rugi-rugi daya. (Cahyana Putra et al., n.d.)

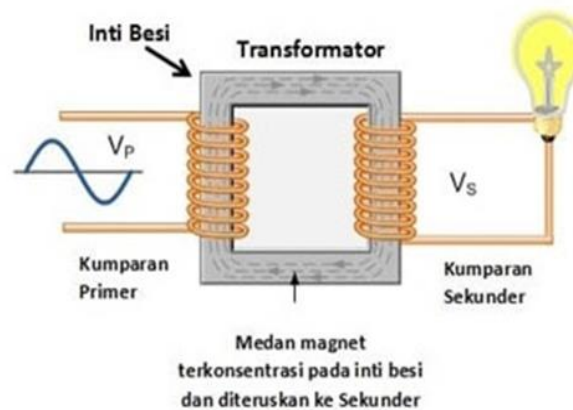


Gambar 2. 15 Inti Besi

2. Kumparan Transformator Daya

Kumparan transformator merupakan beberapa lilitan kumparan yang terisolasi dan terdiri dari kumparan primer serta kumparan sekunder. Banyaknya lilitan akan menentukan besar tegangan dan arus yang ada pada sisi sekunder. Transformator juga memiliki kumparan tertier yang

diperlukan untuk memperoleh tegangan tertier atau kebutuhan lain. Kumputan tertier selalu terhubung delta, kumputan tertier juga untuk penyambungan peralatan bantu seperti kondensator sychrone, kapasitor shunt, dan reactor shunt. Untuk trafo dengan daya besar lilitan dimasukkan dalam minyak trafo sebagai media pendingin.



Gambar 2. 16 Kumputan Transformator

3. Minyak Transformator

Minyak transformator berfungsi sebagai media pemindah panas, serta juga berfungsi sebagai media isolasi kumputan-kumputan dan intinya (Ilmiah et al., 2017).

Supaya maksimal minyak trafo harus memenuhi beberapa persyaratan yaitu:

1. Kekuatan isolasi tinggi
2. Penyalur panas yang baik berat jenis yang kecil, sehingga partikel- partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat
3. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
4. Titik nyala yang tinggi, tidak mudah menguap yang dapat membahayakan
5. Tidak merusak bahan isolasi padat
6. Sifat kimia yang stabil
7. Pengujian tegangan tembus oli, Pengujian tegangan oli dimaksudkan untuk mengetahui kemampuan dielektrik oli. Hal ini dilakukan karna selain berfungsi sebagai pendingin dari trafo, oli juga berfungsi sebagai isolasi.

2.6.4 Gangguan Pada Transformator Daya

Gangguan yang mempengaruhi kerusakan trafo tidak hanya gangguan internal di dalam trafo atau area aman trafo, tetapi juga gangguan eksternal di dalam area aman. Kerusakan pada trafo seringkali disebabkan oleh gangguan luar yang sering terjadi pada area aman.(Indarto et al., n.d.) Pada dasarnya, kesalahan adalah keadaan tidak normal pada sistem. Interferensi yang terjadi ketika dibiarkan berada di jaringan listrik untuk jangka waktu yang lama memiliki efek yang tidak diinginkan berikut ini:

1. Menginterupsi kontinuitas pelayanan pada konsumen bila gangguan tersebut menyebabkan terputusnya suatu rangkaian
2. Penurunan tegangan yang cukup tinggi mengakibatkan rendahnya kualitas tenaga Listrik dan menghalangi kerja normal pada peralatan konsumen.
3. Pengurangan stabilitas sistem dan menyebabkan jatuhnya generator
4. Merusak peralatan pada daerah yang terjadi gangguan.

2.6.5 Gangguan Internal Pengamanan

Gangguan internal sangatlah serius dan selalu ada resiko kebakaran, gangguan internal dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Hubung singkat antar kumparan sisi primer dengan kumparan sekunder.
2. Hubung singkat antar kumparan sisi sekunder dengan kumparan primer.
3. Hubungan singkat antar kumparan dengan bodi transformator.
4. Spesifikasi alat yang tidak sesuai
5. Umur peralatan.
6. Peralatan yang dioperasikan melebihi kapasitas normalnya.
7. Suhu

2.6.6 Gangguan Eksternal Daerah Pengaman

Gangguan ini mempunyai pengaruh terhadap transformator, sehingga transformator harus dilepaskan bila terjadi gangguan. Untuk kondisi gangguan eksternal antara lain :

1. Hubung singkat diluar transformator daya. Misalnya, hubung singkat di bus, hubung singkat di feeder dan hubung singkat di sistem. Gangguan ini dapat

dideteksi karna timbulnya arus yang sangat besar mencapai beberapa ratus kali arus nominalnya.

2. Beban luar (overload), misalnya beban yang dilayani lebih dari 100% kapasitas transformator daya. Kondisi ini akan menimbulkan kerusakan pada transformator daya dan mengakibatkan umur isolasi semakin pendek.

2.6.7 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat (short circuit) merupakan gangguan yang disebabkan karena adanya konduksi sengaja atau tidak sengaja melalui impedansi yang cukup rendah antara dua atau lebih titik yang dalam keadaan normalnya mempunyai beda potensial. (Transformation & 2020, n.d.) Hubung singkat terbagi menjadi tiga jenis yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat dua fasa ke tanah, dan hubung singkat tiga fasa ke tanah. Gangguan hubung singkat tersebut dapat dihitung menggunakan hukum ohm yaitu:

$$I = \frac{V}{Z} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

I = Arus hubung singkat (Ampere)

V = Tegangan sumber (Volt)

2.6.8 Tahanan pada Trafo Daya (Isolasi)

Tahanan isolasi merupakan suatu tingkat ketahanan yang terdapat di antara dua kawat saluran atau kabel yang diisolasi satu sama lain. Dengan kata lain, yaitu suatu tahanan yang terjadi antara suatu kabel dengan tanah (ground). Adapun fungsi dari adanya pengujian tahanan isolasi antara lain : digunakan untuk memeriksa keadaan isolasi rangkaian dan perlengkapan listrik, sebagai dasar pengendalian keselamatan, selain itu untuk memastikan keamanan saat power transformator akan digunakan. (Anindyantoro, M. S., & Umar, S. T. (2018).

Tahanan isolasi juga merupakan faktor yang sangat penting untuk menentukan usia dari suatu transformator. Uji tahanan isolasi adalah tahap awal pengujian yang dilakukan dengan maksud untuk memastikan dan mengetahui kondisi isolasi pada power transformator sejak dini agar mengurangi resiko kegagalan pada proses pengujian lanjutan. Dalam melakukan uji isolasi pada power

transformator secara detail dapat dilakukan dengan berbagai uji komponen sebagai berikut : Tahanan isolasi antara kumparan fase, tahanan isolasi antara tangki dengan tanah hanya (jika pada transformator yang memiliki pengaman tangki), serta tahanan isolasi antara kumparan primer dan kumparan sekunder. (Andi Makkulau, dkk).

Jika ditinjau berdasarkan perhitungan indeks polarisasi, suatu power transformator dapat diketahui tingkat kelayakannya ataupun kualitasnya dengan memperoleh nilai indeks polarisasi yang tinggi. Karena semakin tinggi nilai indeks polarisasi dari hasil pengujian isolasi pada power transformator tersebut maka semakin baik tahanannya. Pengujian tahanan isolasi belitan mengacu pada indeks polarisasi dan dapat dihitung berdasarkan hasil uji resistensi insulasi dengan rumus sebagai berikut:

$$IP = \frac{R_{10}}{R_1} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan Keterangan :

IP = Indeks Polarisasi

R_{10} = Pengujian

R_1 = Pengujian Pada menit Pertama

Dengan standar indeks polarisasi sebagai berikut:

< 1 = Bahaya

$1 - 1,1$ = Buruk

$1,1 - 1,25$ = Diragukan

$1,25 - 2$ = Baik

> 2 = Sangat Baik

2.6.9 Rugi-Rugi Transformator

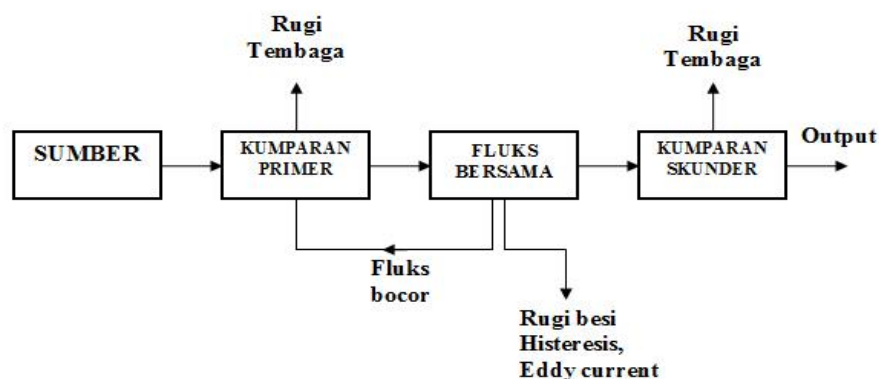
Rugi-rugi trafo yang berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi yang terdapat pada kumparan primer dan sekunder. Untuk mengurangi rugi besi diambil inti besi

yang penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi tembaga, diambil kawat tembaga yang luas penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus yang diperlukan. Rugi inti terdiri dari rugi arus Eddy dan rugi Hysterisis. Rugi arus Eddy timbul akibat adanya arus pusar inti yang dapat menghasilkan panas. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti pada inti yang menghasilkan perubahan – perubahan fluks magnet. Rugi Hysterisis merupakan rugi tenaga yang disebabkan oleh fluks magnet bolak balik. Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban. (Sara et al., n.d.)

Rugi daya atau susut daya listrik merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban, Dalam proses transmisi dan distribusi tenaga listrik seringkali dialami rugirugi daya yang cukup besar yang diakibatkan oleh rugi-rugi pada saluran dan juga rugi-rugi pada trafo yang digunakan. Kedua jenis rugi-rugi daya tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap kualitas daya dan tegangan yang dikirimkan ke sisi pelanggan Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi dapat ditulis sebagai berikut:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \text{ (watt)} \dots \dots \dots (4)$$

Proses rugi-rugi yang terjadi pada transformator terlihat pada Gambar 2.17. Rugi-rugi terjadi akibat kebocoran fluks yang terjadi sehingga menghasilkan rugirugi inti pada transformator. Rugi-rugi tembaga timbul akibat dari kumparan primer dan kumparan sekunder pada transformator.



Gambar 2. 17 Rugi-rugi Transformator

1. Rugi tembaga

Rugi tembaga disebabkan oleh arus yang mengalir pada kumparan trafo, baik di sisi primer maupun sisi sekunder. Rugi tembaga ini berbanding lurus dengan beban sehingga dengan peningkatan arus beban tersebut mengakibatkan rugi tembaga yang semakin besar. Rugi tembaga ini disebabkan oleh pengaruh adanya arus yang mengalir dalam tembaga bahkan mempengaruhi dalam faktor kuadratik, sehingga memberikan nilai yang signifikan terhadap besarnya daya yang terbuang. Adapun pendekatan untuk memperoleh rugi tembaga yaitu:

$$P_{cu} = I_p^2 \times R_p + I_s^2 \times R_s \dots \dots \dots (5)$$

dimana:

P_{cu} = rugi tembaga (W)

I_p^2, I_s^2 = arus primer dan arus sekunder (A)

R_p, R_s = resistansi kumparan primer dan sekunder (Ω)

2. Rugi Inti Besi (Core Losses)

Rugi inti besi disebabkan oleh rugi hysteresis dan arus eddy yang dapat diukur melalui pengujian tanpa beban. Rugi hysteresis disebabkan oleh fluks bolak-balik yang terdapat pada inti besi yang disebabkan adanya pengaruh gelombang elektromagnetik yang membangkitkan arus di sisi sekunder juga membangkitkan arus pada inti besi yang digunakan. Rugi inti besi ini tidak bisa dihilangkan karena inti besi yang menyebabkan kerugian juga digunakan untuk meningkatkan efisiensi dari pengubahan gelombang elektromagnetik menjadi arus. Sehingga rugi hysteresis dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$P_h = K_h f B_m^2 \dots \dots \dots (6)$$

Dimana :

K_h = konstanta hysteresis

f = frekuensi (Hz)

B_m^2 = kerapatan fluks maksimum (Tesla)

3. Rugi *Eddy Currents* (Arus Pusar)

Rugi-rugi ini disebabkan oleh arus yang terinduksi di inti. Adapun arus pusar ini ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan *fluks* magnetik. Pada dasarnya induksi tegangan di besi ini sama seperti transformator (dapat dianggap bahwa tiap lempeng besi adalah sekunder yang terhubung singkat), maka induksi di inti akan berbanding dengan.

Impedansi dari inti yang dialiri arus dapat dianggap konstan untuk laminasi yang tipis dan tidak tergantung pada frekuensi, untuk frekuensi rendah atau frekuensi daya listrik, jadi:

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \text{ (Watt)} \dots \dots \dots (7)$$

Dimana:

P_e = rugi *eddy current*

K_e = konstanta

B_M = Kerapatan fluks maksimum

F^2 = frekuensi (Hz)

Jadi rugi inti adalah :

$$P_f = P_h + P_e = K_h \cdot F \cdot B_m + K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 \dots \dots \dots (8)$$

Dimana:

P_f = rugi total inti.

F = frekuensi (Hz)

B_M = Kerapatan fluks maksimum

P_e = rugi *eddy current*

P_h = rugi histeris

K_h = konstant

4. Faktor yang mempengaruhi rugi-rugi :

Peningkatan rugi inti yang disebabkan harmonisa bergantung pada pengaruh harmonisa pada tegangan yang diberikan dan rancangan inti transformator. Semakin besar distorsi tegangan maka semakin tinggi pula *eddy current*. Faktor yang mempengaruhi rugi-rugi tertinggi dan terendah pada Trafo Daya meliputi beberapa hal, diantaranya yaitu:

1. Kualitas minyak isolasi → minyak kotor atau lembap memperburuk pendinginan, menaikkan temperatur winding → rugi tembaga naik.

2. Pendinginan tidak optimal (radiator tersumbat, kipas rusak) → mempercepat kenaikan resistansi.
3. Usia trafo → degradasi material bisa menaikkan rugi-rugi (terutama kontak OLTC dan koneksi mekanis).

2.7 Rugi-rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator

Sebagai akibat dari ketidak seimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirkan arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi).

Rugi-rugi pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

P_N = rugi netral penghantar trafo (φ)

I_N = arus netral trafo (Ampere)

R_N = tahanan netral penghantar trafo (ohm)

Sedangkan *losses* yang di akibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots \dots \dots (10)$$

Dimana :

P_G = losses akibat arus netral yang mengalir ketanah

I_G = arus netral yang mengalir ke tanah

R_G = tahanan pembumian netral trafo

Seperti di ketahui, kerugian daya suatu saluran merupakan perkalian arus pangkat dua dengan resistansi atau reaktansi dari saluran tersebut.

1. Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

1. Rugi daya aktif = $P = I^2 \times R \dots \dots \dots (11)$

2. Rugi daya reaktif = $P = I^2 \times X \dots \dots \dots (12)$

3. Rugi daya semu = $\sqrt{(I^2 \times R)^2 - (I^2 \times X)} \dots \dots \dots (13)$

2. Rugi-rugi Daya saat beban Output :

1. Rugi Tembaga (Copper Loss / P_{cu})

- a. Disebabkan oleh aliran arus beban pada belitan (I^2R).
- b. Saat beban naik → arus naik → rugi tembaga naik drastis.

- c. Rugi ini dominasi utama ketika trafo beroperasi penuh beban.

2 Rugi Stray Load (Stray Losses)

- a. Akibat arus beban yang menimbulkan fluks bocor di inti, tangkai, dan konstruksi logam lain.
- b. Menyebabkan rugi tambahan berupa pemanasan di tangkai inti, clamp, tangki, dan konduktor.
- c. Meningkat bila ada harmonisa arus dari beban non-linear (UPS, VFD, rectifier).

3 Rugi Kontak / Sambungan :

- a. Terjadi pada tap changer (OLTC/DETC), bushing, terminal, dan sambungan konduktor.
- b. Muncul karena resistansi kontak → memanaskan titik sambungan.
- c. Umumnya kecil, tapi bisa signifikan bila kontak kotor atau longgar.

2.8 Transformator Distribusi

Trafo Distribusi atau Trafo Pelayanan adalah trafo yang memberikan transformasi tegangan akhir pada sistem distribusi tenaga listrik, menurunkan tegangan yang digunakan pada jalur distribusi ke level yang digunakan oleh pelanggan.



Gambar 2. 18 Transformator Distribusi

Secara umum trafo ini terdiri dari :

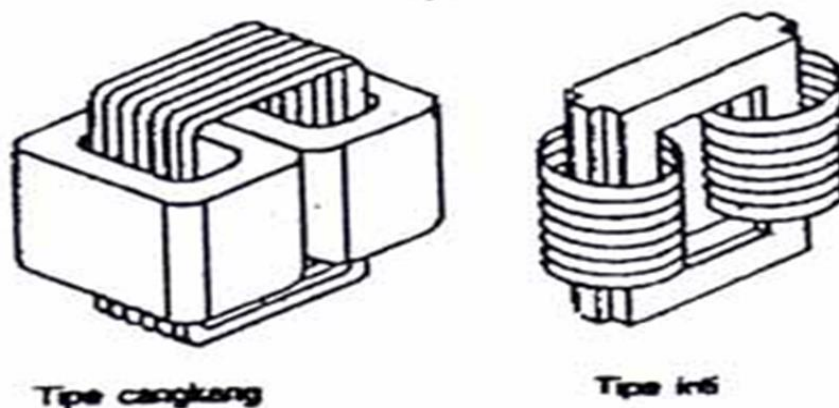
1. Kumparan
2. Inti Transformator
3. Minyak Transformator
4. Bushing Transformator
5. Tipe Pendingin Transformator

2.8.1 Kumparan

Transformator terdiri dari dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang mana jika salah satu kumparan pada trafo diberi arus bolak-balik maka jumlah garis gaya magnet berubah-ubah. Akibatnya pada sisi primer terjadi induksi. Sisi sekunder menerima garis gaya magnet dari sisi primer yang jumlahnya berubah-ubah pula. Maka di sisi sekunder juga timbul induksi, akibatnya antara dua ujung terdapat beda tegangan.

2.8.2 Inti Transformator

Secara umum inti trafo terdiri dari dua tipe yaitu, tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Tipe inti dibentuk dari lapisan besi berisolasi berbentuk persegi panjang dan kumparan trafonya dibelitkan pada dua sisi persegi. Sedangkan tipe cangkang di bentuk dari lapisan inti berisolasi dan kumparan trafonya dibelitkan dipusat inti. Trafo dengan tipe kondtruksi cangkang memiliki kehandalan yang lebih tinggi dari pada tipe konstruksi inti dalam menghadapi tekanan mekanis yang kuat pada saat terjadi hubung singkat.



Gambar 2. 19 Inti Transformator

2.8.3 Minyak Transformator

Pada transformator terdapat minyak yang memegang peranan penting dalam sistem pendinginan trafo untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya trafo dan juga sebagai sistem isolasi. Minyak trafo mengandung *naftalin*, *parafin* dan *aromatik*. Ada beberapa keuntungan minyak trafo sebagai isolasi antara lain :

- a. Isolasi cair memiliki kerapatan 1000 kali atau lebih di bandingkan dengan isolasi gas, sehingga memiliki kekuatan *dielektrik* yang lebih tinggi.
- b. Isolasi cair akan mengisi celah atau ruang yang akan di isolasi dan secara serentak memulai proses konversi menghilangkan panas yang timbul akibat rugi-rugi daya.
- c. Isolasi cair cenderung dapat memperbaiki diri sendiri (*self healing*) jika terjadi pelepasan muatan (*discharge*).

Kekuatan *dielektrik* di definisikan sebagai tegangan maksimum yang dibutuhkan untuk mengakibatkan *dielektrik break down* pada material yang dinyatakan dalam satuan Volt/meter. Dimana kekuatan dielektrik adalah ukuran kemampuan *elektrik* suatu material sebagai isolator.

2.8.4 Bushing Transformator

Untuk tujuan keamanan, *konduktor* tegangan tinggi dilewatkan menerobos suatu bidang yang di bumikan melalui suatu lubang terbuka yang dibuat sekecil mungkin dan biasanya membutuhkan suatu pengikat padu yang disebut bushing. Bagian utama suatu *bushing* terdiri dari inti atau konduktor, bahan *dielektrik* dan *flans* yang terbuat dari logam. Inti berfungsi untuk menyalurkan arus dari bagian dalam peralatan ke terminal luar dan bekerja pada tegangan tinggi. Dengan bantuan *flans*, *isolator* di ikatkan pada badan peralatan yang dibumikan.

2.8.5 Tipe Pendingin Transformator

Adapun tipe pendingin transformator yaitu :

1. ONAN (*Oil Natural Air Natural*).

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak dan sirkulasi udara secara alamiah. Sirkulasi minyak yang terjadi disebabkan oleh perbedaan berat jenis antara minyak yang dingin dengan minyak yang panas.

2. ONAF (*Oil Natural Air Force*).

Sistem pendingin ini menggunakan sirkulasi minyak secara alami sedangkan *sirkulasi* udaranya secara buatan, yaitu dengan menggunakan hembusan kipas angin yang digerakan oleh motor listrik. Pada umumnya operasi trafo dimulai dengan ONAN atau dengan ONAF tetapi hanya sebagian kipas angin yang berputar. Apabila suhu trafo sudah semakin meningkat, maka kipas angin yang lainnya akan berputar secara bertahap.

3. OFAF (*Oil Force Air Force*).

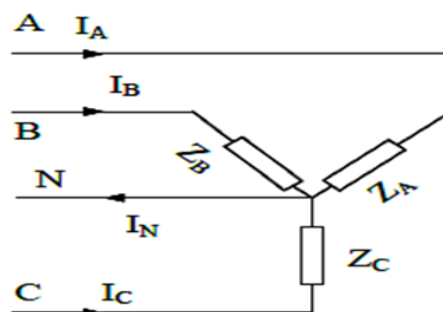
Pada sistem ini, sirkulasi minyak digerakkan dengan menggunakan kekuatan pompa, sedangkan sirkulasi udara menggunakan kipas angin.

2.9 Hubungan Pada Transformator 3 Fasa

Pada prinsipnya, transformator tiga fasa sama dengan transformator satu fasa, perbedaanya adalah seperti perbedaan sistem listrik satu pаса dengan sistem listrik tiga pаса yaitu mengenal system bintang (y) dan delta (Δ), serta sistem zig-zag (z), dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator 3 pаса.

2.9.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator 3 fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus trafo 3 fasa dengan kumparan hubung bintang yaitu; I_A, I_B, I_C masing-masing berada 1200. Trafo 3 fasa hubungan bintang dari gambar 2.20 di bawah ini :



Gambar 2. 20 Rangkaian hubung bintang (Y)

$$I_A = I_B = I_C = I_L \dots \dots \dots (14)$$

$$I = I_B \dots \dots \dots (15)$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} \dots \dots \dots (16)$$

$$V_{L-L} = V_{Ph} \dots \dots \dots (17)$$

Dimana :

V_{L-L} = Tegangan line to line (V).

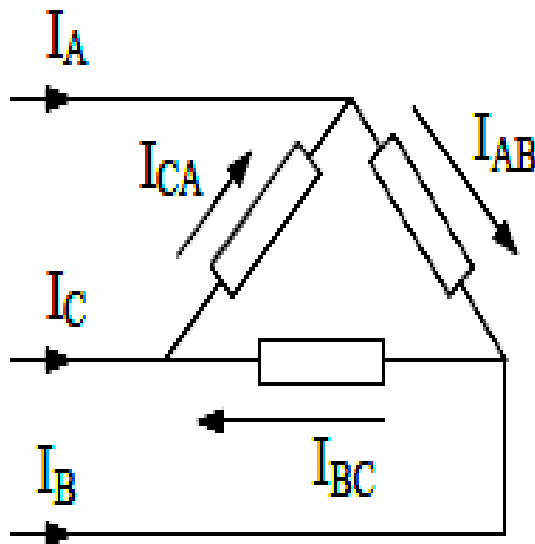
V_{Ph} = Tegangan pasa (V).

I_L = Arus line (A).

I_{ph} = Arus pasa (A).

2.9.2 Hubungan Segitiga/Delta (Δ)

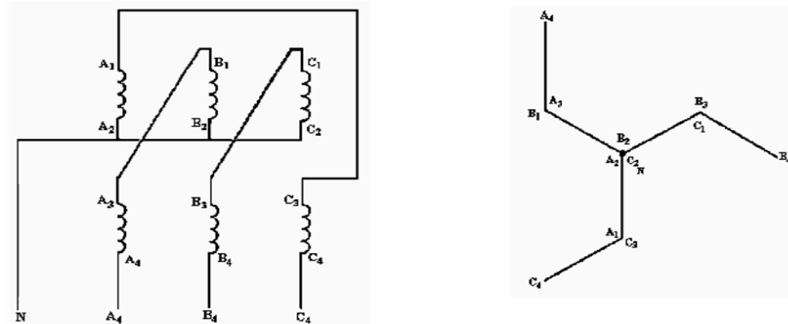
Hubungan segitiga adalah suatu hubungan trafo tiga fasa, dimana cara penyambunganya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir pasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir pasa ke tiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang di hubungkan segitiga yaitu V_A, V_B, V_C masing-masing berbeda 120° . Trafo 3 pasa hubungan segitiga/delta. Dari gambar 2.21 dibawah ini di peroleh:



Gambar 2. 21 Rangkaian segitiga/delta (Δ)

2.9.3 Hubungan Zig-zag

Transformator hubungan Zig-zag merupakan transformator dengan tujuan khusus. Salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral. Pada trafo Zig-zag masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan. Trafo 3 fasa hubungan Zig-zag, perbandingan rugi-rugi untuk tiap kumparan yang terhubung Y, Δ , zig-zag liat pada gambar 2.22 dibawah ini.



Gambar 2. 22 Rangkaian Hubungan Zig – zag

$$\{I^2(R)\}_Y = \{1,0 \cdot (I_Y)\}^2 \cdot P \cdot 1,0 \cdot \frac{L_Y}{A_Y} \dots\dots\dots (18)$$

$$\{I^2(R)\}_\Delta = \{0,577 \cdot (I_Y)\}^2 \cdot P \cdot 1,732 \cdot \frac{L_Y}{A_Y} \dots\dots\dots (19)$$

$$\{I^2(R)\}_{ZZ} = \{1,0 \cdot (I_Y)\}^2 = \{1,0 \cdot (I_V)\}^2 \cdot P \cdot 1,155 \cdot \frac{L_Y}{A_{ZZ}} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana :

I_Y = Arus pada kumparan yang terhubung Y.

R = Hambatan jenis tembaga.

L_Y = Panjang kumparan yang terhubung Y.

A_Y = Luas penampang kumparan yang terhubung Y.

A_Δ = Luas penampang kumparan yang terhubung Δ .

A_{ZZ} = Luas penampang kumparan yang terhubung Zig-zag.

2.10 Arus Beban Penuh

Bila di tinjau dari tegangan tinggi, daya transformator dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (21)$$

Dimana:

S = daya trafo (kVA).

V = tegangan sisi primer (kV).

I = arus jala-jala (kA).

Jadi untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_F = \frac{S}{3 \times V} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana :

I_F = arus beban (A).

S = daya trafo (kVA)

V = sisi primer(kV)

2.12 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang selama operasi normal. Transformator tidak memiliki bagian yang bergerak dan berputar, maka rugi-rugi tidak muncul. Transformator tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi jika Nilai Efisiensi pada Trafo rendah:

1. Rugi tanpa beban besar (inti jelek/overvoltage),
2. Rugi beban besar (overload, harmonisa, suhu tinggi),
3. Operasi tidak optimal (beban terlalu kecil/terlalu besar),
4. Lingkungan & pendinginan buruk,
5. Kurang perawatan sehingga komponen bekerja tidak maksimal.

Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%. Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input secara matematis ditulis:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (23)$$

$$P_{in} = P_{out} + rugi - rugi$$

Jadi:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + rugi - rugi} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (24)$$

Dimana :

η = efisiensi (%)

P_{out} = daya keluar (watt).

P_{in} = daya masuk (watt).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan pengambilan data langsung di PT. PLN (PERSERO) Gardu Induk Glugur Medan Jalan K.L Yos Sudarso Lor. 12 Medan. Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai dari bulan Maret 2025. Penelitian ini diawali dengan Studi Pustaka, Penentuan Lokasi Penelitian, Penyusunan Proposal Penelitian, Penyusunan BAB 1,2,3,4 dan 5.

3.2 Data Penelitian

Data penelitian adalah segala fakta yang dikumpulkan dari suatu subjek atau objek penelitian yang diolah dan dianalisis untuk sampai pada suatu kesimpulan atau hasil penelitian. Untuk mendukung penyusunan tugas akhir ini, data diambil dari trafo gardu induk Glugur.

<i>Data Transformator Daya</i>	
Merk/Type	UNINDO
No. Serial	P060LE676
Pabrik	Indonesia
Kapasitas Trafo	60 MVA
Tegangan Sisi Primer	150 KV
Tegangan Sisi Sekunder	20 KV
Frekuensi	50 Hz
Impedansi	13,70%
Tahun Buatan	2011
Tahun Operasional	2012
Minyak	IEC 60076
Pendingin	ONAN/ONAF

Tabel 3. 1 Data Trafo Daya

3.3 Jalannya Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif untuk menganalisis dampak ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada transformator distribusi. Metode pengumpulan data menggunakan metode survei sekunder untuk memperoleh data dari catatan operasi operator. Data yang dikumpulkan mencakup Perhitungan rumus dibawah ini:

1. Analisa Beban Puncak

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

2. Menghitung Rugi tembaga Transformator Daya

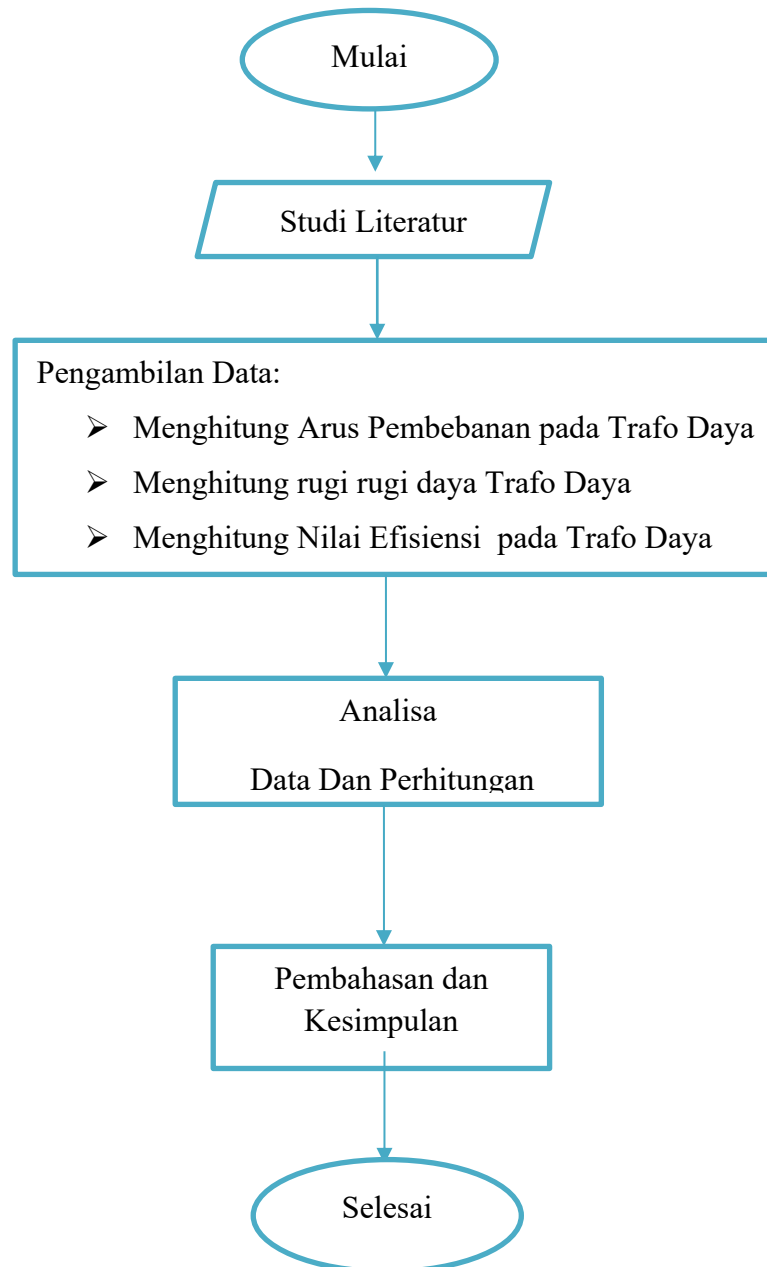
$$P_{cu} = P_{rated} \times (Load Factor)^2$$

3. Menghitung Nilai Efisiensi Trafo Daya

$$\eta = \frac{Energi Output}{Energi Input} \times 100\%$$

3.4 Diagram Alur Penelitian

Adapun proser berlangsungnya pelaksanaan penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk alur diagram alir penelitian berikut ini :



BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Arus Pembebanan Trafo Daya di GI Glugur

Pada transformator, beban puncak sering kali terjadi akibat arus yang mengalir melebihi kapasitas yang telah ditentukan. Menurut puil 2000, beban maksimum yang sering terjadi adalah pada sore dan malam hari. Apabila ini terus berlangsung maka trafo dapat rusak, oleh karena itu perlu adanya penanganan segera dengan cara mengurangi penggunaan beban saat terjadi beban puncak. Ketidak seimbangan beban berarti arus yang mengalir di setiap fasa memiliki besaran yang berbeda dan tidak membentuk sudut 120 derajat. Agar dapat mengetahui ukuran beban puncak dan ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi di Gardu Induk Glugur akan melakukan penghitungan menggunakan data yang telah didapat dari Gardu Induk Glugur Medan.

1. Data Transformator

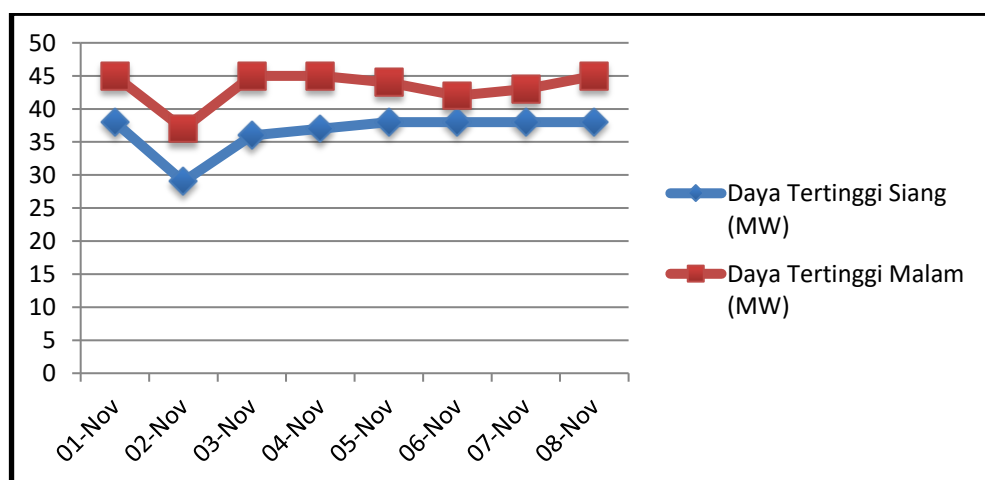
Merk	: Unindo
Year of manufactured	: 2011
Rated Power	: 60/MVA
Cooling	: ONAN/ONAF
Frequency	: 50Hz
Phases	: 3
Tap Voltage	: 150 kV+8 x 1.25% to – 8 x 1.25%
Connection symbol	: YN y 0+d
Impedance	: 12.5%
Tap change	: On Load
Core Losses	: 25kW
Copper Losses	: 113kW
Noise Level	: 76 dB at 3m (ONAF)- 75 Db at 3m (ONAN)
Pf	: 0,92 Lagging

1. Tabel Hasil Pengukuran Arus Tegangan Tertinggi

Berikut ini merupakan data pembebanan tertinggi untuk Transformator Daya Berikut merupakan Tabel 4.1 yang berisikan Data arus pembebanan tertinggi di GI Glugur Hasil Pengukuran Arus Tegangan.

Tanggal	Keterangan	Tegangan (V)	DAYA		ARUS (A)
			MW	MVAR	
1-Nov	Siang	145	37.7	11.6	171
	Malam	147	43.8	11.3	193
3-Nov	Siang	151	28.3	7.9	122
	Malam	149	37.1	8.8	157
4-Nov	Siang	151	36.9	11.3	162
	Malam	149	44.5	11.3	189
5-Nov	Siang	147	37.8	11.1	166
	Malam	144	43.6	10.4	188
6-Nov	Siang	145	37.7	11.1	171
	Malam	145	42.0	10.4	184
7-Nov	Siang	145	37.6	11.0	169
	Malam	148	42.3	11.2	184
8-Nov	Siang	146	37.7	11.6	171
	Malam	147	43.8	11.3	193

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Arus Tegangan



Tabel 4. 2 Grafik Daya

Grafik 4.2 yang merupakan Grafik Data arus pembebanan tertinggi di GI Glugur Hasil Pengukuran Arus Tegangan.

1. Perhitungan Arus Beban

Perhitungan arus beban puncak transformator dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2-21). Di transformator daya ada dua istilah besar yang sering muncul, yaitu S (apparent power) dan P (real/active power). Berikut perbedaannya:

1. S – Daya Semu (Apparent Power) :

- Dilambangkan dengan huruf S, satuannya VA, kVA, MVA.
- Merupakan hasil perkalian tegangan $\times$ arus tanpa memperhitungkan faktor daya.
- Digunakan sebagai rating transformator (misalnya trafo 60 MVA, 150/20 kV).
- Menunjukkan kapasitas maksimum trafo menyalurkan daya, baik aktif (P) maupun reaktif (Q).

2. P – Daya Aktif (Active/Real Power) :

- Dilambangkan dengan P, satuannya W, kW, MW.
- Daya yang benar-benar dipakai untuk melakukan kerja (misalnya memutar motor, menyalakan lampu, dll.).
- Dipengaruhi oleh faktor daya ($\cos \phi$).

Perhitungan arus beban puncak transformator dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan, daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan sekunder dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

Dimana:

$$S = \text{Daya (VA)}$$

$$V = \text{Tegangan (V)}$$

$$I = \text{Arus (A)}$$

Sehingga untuk menghitung arus beban puncak (*full load*) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{L-L}}$$

Dimana :

$$I_{FL} = \text{Arus beban penuh line (A)}.$$

S = Daya trafo (VA).

V_{L-L} = Tegangan Fasa-fasa (V).

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_{L-L}}$$

$$I_{FL} = \frac{60.000.000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 220 \text{ V}} = 1.732 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 01 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{PF} \\ &= \frac{37.700}{0,92} \\ &= 40.978 \text{ kVA} \end{aligned}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 145 V :

$$\begin{aligned} I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{40.978 \times 1000}{\sqrt{3} \times 145} \\ &= 1.970 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 01 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{PF} \\ &= \frac{43.800}{0,92} \\ &= 47.609 \text{ kVA} \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 147 V :

$$\begin{aligned} I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{47.609 \times 1000}{\sqrt{3} \times 147} \\ &= 2.267 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 03 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{28.300}{0,92}$$

$$= 30.760 \text{ kVA}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 151 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{30.760 \times 1000}{\sqrt{3} \times 151}$$

$$= 1.445 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 03 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{37.100}{0,92}$$

$$= 40.326 \text{ kVA}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 149 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{40.326 \times 1000}{\sqrt{3} \times 149}$$

$$= 1.920 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 04 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{36.900}{0,92}$$

$$= 40.108 \text{ kVA}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 151 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{40.108 \times 1000}{\sqrt{3} \times 151}$$

$$= 1.884 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 04 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{44.500}{0,92} \\
 &= 48.369 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 149 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{48.369 \times 1000}{\sqrt{3} \times 149} \\
 &= 2.288 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 05 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{37.800}{0,92} \\
 &= 41.086 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 147 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{41.086 \times 1000}{\sqrt{3} \times 147} \\
 &= 1.956 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 05 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{43.600}{0,92} \\
 &= 47.391 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{47.391 \times 1000}{\sqrt{3} \times 144} \\
 &= 2.280 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 06 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{37.700}{0,92} \\
 &= 40.978 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 145 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{40.978 \times 1000}{\sqrt{3} \times 145} \\
 &= 1.965 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 06 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{42.000}{0,92} \\
 &= 45.652 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 145 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{45.652 \times 1000}{\sqrt{3} \times 145} \\
 &= 2.189 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 07 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{37.600}{0,92} \\
 &= 40.869 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 148 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{40.869 \times 1000}{\sqrt{3} \times 145} \\
 &= 1.959 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 07 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{42.300}{0,92} \\
 &= 45.978 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 148 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{45.978 \times 1000}{\sqrt{3} \times 148} \\
 &= 2.182 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 08 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{37.700}{0,92} \\
 &= 40.978 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 146 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{40.978 \times 1000}{\sqrt{3} \times 146} \\
 &= 1.958 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 08 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{43.800}{0,92}$$

$$= 47.608 \text{ kVA}$$

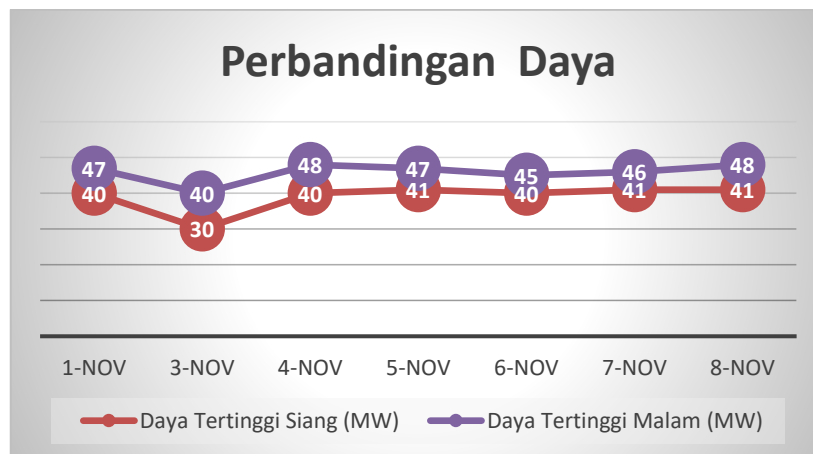
2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 147 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

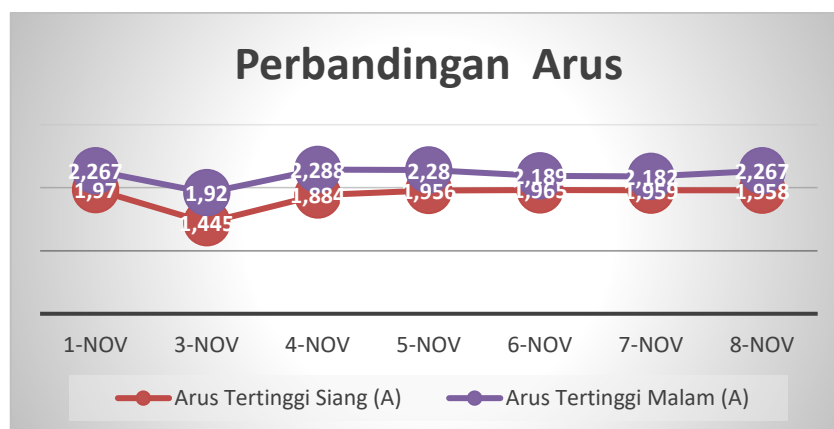
$$= \frac{47.608 \times 1000}{\sqrt{3} \times 147}$$

$$= 2.267 \text{ A}$$

Grafik 4.3 yang merupakan Grafik Perbandingan daya tertinggi di GI Glugur Hasil Pengukuran Arus Tegangan :



Tabel 4. 3 Tabel Grafik Perbandingan Daya Tertinggi



Tabel 4. 4 Tabel Grafik Perbandingan Arus Tertinggi

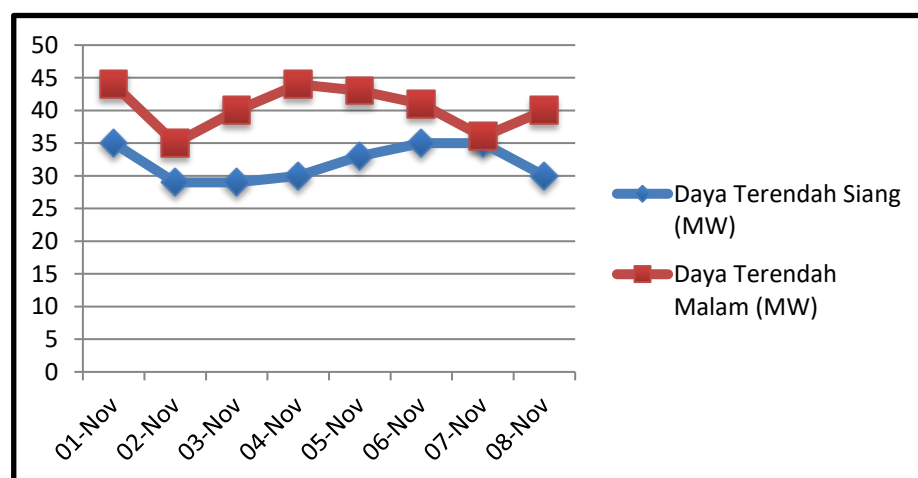
Grafik 4.4 yang merupakan Grafik Perbandingan Arus di GI Glugur Hasil Pengukuran Arus Tegangan.

3. Tabel Hasil Pengukuran Arus Tegangan Terendah

Berikut ini merupakan data pembebanan terendah untuk Transformator Daya di GI Glugur dengan keterangan MW (Mega Watt) – Daya Aktif dan MVar (Mega Volt Ampere Reactive) – Daya Reaktif.

Tanggal	Keterangan	Tegangan (V)	DAYA		ARUS (A)
			MW	MVAR	
1-Nov	Siang	147	34.3	9.9	142
	Malam	144	43.5	10.5	182
3-Nov	Siang	150	27.9	7.3	113
	Malam	148	36	7.8	149
4-Nov	Siang	144	28.7	6.8	117
	Malam	147	39.1	9.8	164
5-Nov	Siang	142	32.3	9.2	136
	Malam	144	43	10	183
6-Nov	Siang	141	34.2	9	149
	Malam	144	41.9	10.4	178
7-Nov	Siang	142	34.6	9.8	147
	Malam	146	37.2	9.6	156
8-Nov	Siang	144	31.7	8.9	134
	Malam	144	43	10.5	182

Tabel 4. 5 Tabel Data Pembebanan Terendah



Tabel 4. 6 Tabel Grafik Daya Terendah

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 01 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{PF} \\ &= \frac{34.300}{0,92} \\ &= 37.282 \text{ kVA} \end{aligned}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 147 V :

$$\begin{aligned} I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{37.282 \times 1000}{\sqrt{3} \times 147} \\ &= 1.775 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 01 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{PF} \\ &= \frac{43.500}{0,92} \\ &= 47.282 \text{ kVA} \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$\begin{aligned} I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\ &= \frac{47.282 \times 1000}{\sqrt{3} \times 144} \\ &= 2.275 \text{ A} \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 03 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned} S &= \frac{P}{PF} \\ &= \frac{27.900}{0,92} \\ &= 30.326 \text{ kVA} \end{aligned}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 150 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{30.326 \times 1000}{\sqrt{3} \times 150}$$

$$= 1.429 A$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 03 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{36000}{0,92}$$

$$= 39.130 kVA$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 148 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{39.130 \times 1000}{\sqrt{3} \times 148}$$

$$= 1.857 A$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 04 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{28.700}{0,92}$$

$$= 31.195 kVA$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{31.195 \times 1000}{\sqrt{3} \times 144}$$

$$= 1.501 A$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 04 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{39.100}{0,92}$$

$$= 42.500 kVA$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 147 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{42.500 \times 1000}{\sqrt{3} \times 147} \\
 &= 2.023 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 05 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{32.300}{0,92} \\
 &= 35.108 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 142 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{35.108 \times 1000}{\sqrt{3} \times 142} \\
 &= 1.701 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 05 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{43.000}{0,92} \\
 &= 46.739 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{46.739 \times 1000}{\sqrt{3} \times 144} \\
 &= 2.225 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 06 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{34.200}{0,92}$$

$$= 37.173 \text{ kVA}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 141 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{37.173 \times 1000}{\sqrt{3} \times 141}$$

$$= 1.808 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 06 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{41.900}{0,92}$$

$$= 45.543 \text{ kVA}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{45.543 \times 1000}{\sqrt{3} \times 144}$$

$$= 2.191 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 07 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$S = \frac{P}{PF}$$

$$= \frac{34.600}{0,92}$$

$$= 37.608 \text{ kVA}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 142 V :

$$I = \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V}$$

$$= \frac{37.608 \times 1000}{\sqrt{3} \times 142}$$

$$= 1.822 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 07 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{37.200}{0,92} \\
 &= 40.434 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 146 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{40.434 \times 1000}{\sqrt{3} \times 146} \\
 &= 1.932 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 08 November siang hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{31.700}{0,92} \\
 &= 34.456 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

2. Menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{S \times 1000}{\sqrt{3} \times V} \\
 &= \frac{34.456 \times 1000}{\sqrt{3} \times 142} \\
 &= 1.670 \text{ A}
 \end{aligned}$$

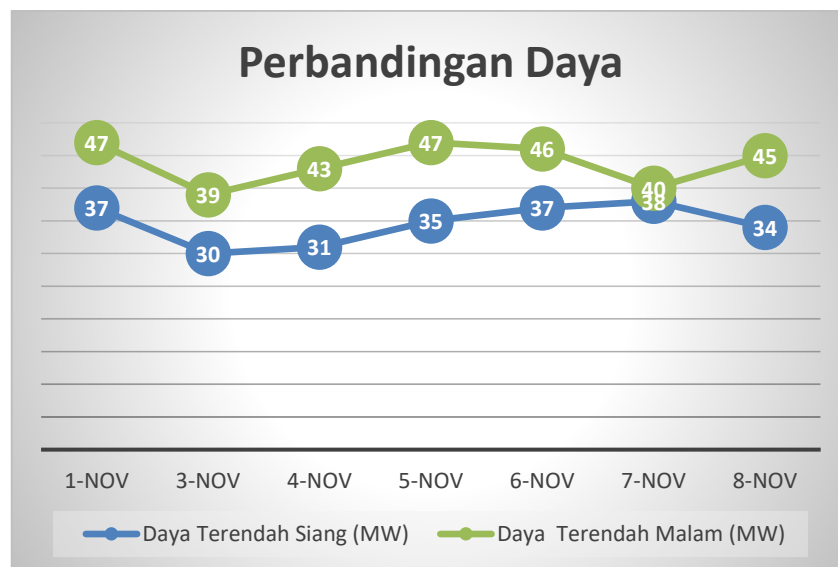
Perhitungan arus pembebanan pada tanggal 08 November malam hari

1. Menghitung Daya Trafo 3 Fasa :

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{P}{PF} \\
 &= \frac{43.000}{0,92} \\
 &= 46.739 \text{ kVA}
 \end{aligned}$$

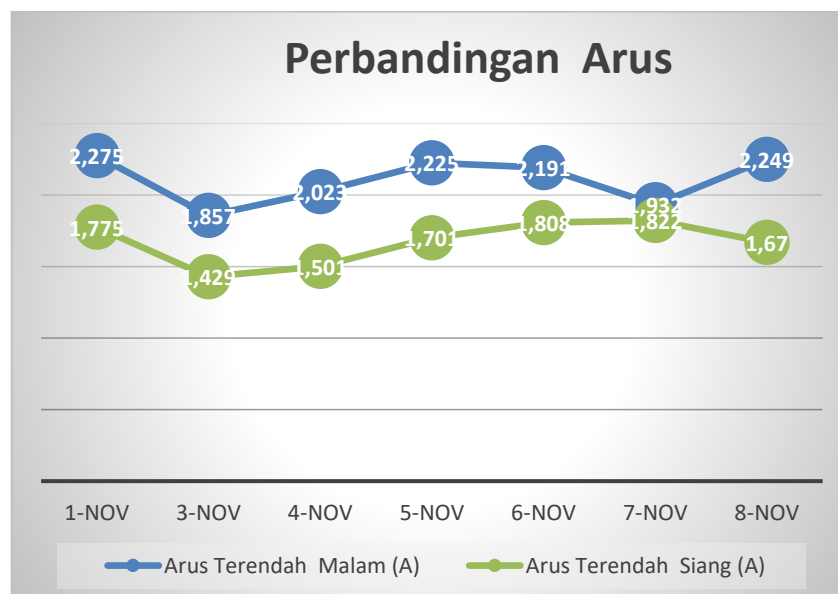
2. Lalu menghitung Arus beban Trafo daya 3 Fasa pada 144 V :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{46.739 \times 1000}{\sqrt{3} \times 144} \\
 &= 2.249 \text{ A}
 \end{aligned}$$



Tabel 4. 7 Tabel Grafik Perbandingan Daya

Grafik 4.7 yang berisikan Perbandingan Gaya terendah di GI Glugur Hasil Pengukuran Arus Tegangan.



Tabel 4. 8 Tabel Grafik Perbandingan Arus

Grafik 4.8 yang berisikan Perbandingan Gaya terendah di GI Glugur Hasil Pengukuran Arus Tegangan.

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa Daya dan Arus tranformator yang berada di Gardu Induk Glugur, dalam keadaan tidak seimbang, namun ketidak seimbangan yang terjadi sangatlah kecil. Penghasil daya tertinggi

yang ada di Gardu Induk Glugur terjadi pada saat dimalam hari besaran Daya ada di 48 kVA sedangkan Penghasil daya terendah pada saat disiang hari dengan besaran Daya ada di 30.326 kVA . Penghasil Arus tertinggi yang ada di Gardu Induk Glugur terjadi pada saat dimalam hari, dengan besaran Arus ada di 2,288 A sedangkan Penghasil Arus terendah terjadi disiang hari dengan besaran Arus ada di 1,429 A .

4.2 Analisa Rugi-rugi Trafo Daya di GI Glugur

Gardu Induk (GI) Glugur merupakan salah satu gardu induk strategis di wilayah Sumatera Utara yang memasok energi listrik ke berbagai sektor industri dan pemukiman. Efisiensi operasional trafo daya sangat penting dalam memastikan keandalan dan minimalisasi kerugian energi.

Kapasitas Trafo	: 60 MVA
Tegangan	: 150/20 kV
Jenis Trafo	: Trafo Daya ONAN/ONAF
Impedansi	: 10 %
Rugi Beban (Load Loss)	: 160 kW
Rugi Tanpa Beban	: 48 kW
Rugi Arus Pusar (Eddy)	: 18 kW
Jam Operasi per Tahun	: 8.760 jam
Tarif Energi (estimasi)	: Rp 1.000,- / kWh
Waktu Siang (Pukul)	: 06.00 – 18.00 (12 jam)
Waktu Malam (Pukul)	: 18.00 – 06.00 (12 jam)
Load Factor Siang	: 0,85
Load Factor Malam	: 0,60

Maka untuk mencarinya dengan menggunakan rumus:

1. Rugi Tembaga (Load Loss):

2. Rugi Inti (No-Load Loss):

$$P_{core} = 48kW \text{ (Selalu Aktif)}$$

3. Menggunakan Rumus Perhitungan Rugi-Rugi per Hari Siang Hari(12Jam)

$$P_{cu} = P_{rated} \times (Load Factor)^2$$

a. Perhitungan di Siang Hari

1. Rugi Tembaga Siang

$$P_{cu} = P_{rated} \times (Load Factor)^2$$

$$P_{cu,siang} = 160 \times (0,85)^2 = 115,6kw$$

$$E_{cu,siang} = 115,6 \times 12 = 1.378,2 kWh$$

2. Rugi Inti Siang:

$$E_{core,siang} = 48 \times 12 = 576 kWh$$

3. Total Rugi Siang:

$$E_{total,siang} = 1.378,2 + 576 = 1.963,2 kWh$$

b. Malam Hari (12 Jam)

1. Rugi Tembaga Malam:

$$P_{cu} = P_{rated} \times (Load Factor)^2$$

$$P_{cu,malam} = 160 \times (0,60)^2 = 57,6 kW$$

$$E_{cu,malam} = 57,6 \times 12 = 691,2 kWh$$

2. Rugi Inti Malam:

$$E_{core,malam} = 48 \times 12 = 576 kWh$$

3. Total Rugi Malam:

$$E_{total,malam} = 691,2 + 576 = 1.267,2 kWh$$

4. Total Rugi Inti Besi per hari dapat dilihat dari table berikut :

Waktu	Rugi Tembaga	Rugi Inti	Total Rugi
Siang	1.378,2 kWh	576 kWh	1.963,2 kWh
Malam	691,2 kWh	576 kWh	1.267,2 kWh
Total	2.078,4 kWh	1.152 kWh	3.230,4 kWh

Tabel 4. 9 Tabel Total Kerugian Energi

5. Estimasi Rugi Energi per Tahun

Jika diasumsikan kondisi ini stabil setiap hari:

$$E_{tahun} = 3.230,4 \times 365 = 1.178.096 kWh/tahun$$

6. Estimasi Biaya Kerugian

Dengan tarif energi internal (misalnya) Rp 1.000/kWh:

$$Total\ Biaya = 1.178.096\ kWh \times 1.000 = 1.178.096.000\ Rp/tahun$$

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa Rugi trafo lebih tinggi pada siang hari karena faktor beban lebih tinggi (0,85 vs 0,60). Rugi tembaga berubah-ubah sesuai beban, sedangkan rugi inti tetap konstan. Potensi penghematan bisa dilakukan dengan:

1. Menyeimbangkan distribusi beban siang dan malam.
2. Meningkatkan efisiensi beban induktif (misalnya menggunakan kapasitor bank).
3. Mengoptimalkan trafo paralel jika tersedia.

4.3 Menghitung Nilai Efisiensi pada Trafo Daya

Perhitungan nilai efisiensi pada transformator dilakukan dengan menghitung daya-daya yang beroperasi terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2-23). Gardu Induk Glugur merupakan salah satu gardu induk utama di wilayah Kota Medan yang berfungsi sebagai titik penghubung antara sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Salah satu komponen penting dalam gardu induk ini adalah trafo daya tiga fasa dengan kapasitas besar yang bertugas menurunkan tegangan dari 150 kV ke 20 kV sebelum disalurkan ke jaringan distribusi. Sebuah trafo daya di Gardu Induk Glugur memiliki spesifikasi:

Tegangan Primer (input)	: 150 kV
Tegangan Sekunder (output)	: 20 kV
Kapasitas trafo	: 60 MVA
Beban saat operasi	: 85% dari kapasitas penuh
Faktor daya ($\cos \phi$)	: 0,92
Rugi-rugi total trafo (rugi besi + rugi tembaga)	: 3.230,4 kWh

Maka untuk mencarinya dengan menggunakan rumus:

1. Hitung Daya Output Trafo:

Trafo 85% beban:

$$S = 60\ MVA \times 85\% = 51\ MVA$$

Dengan faktor daya 0,92

$$P_{output} = 51\ MVA \times 0,92 = 46,92\ MW = 46.920\ KW$$

2. Hitung Energi Output (kWh)

Karena Trafo beroperasi selama 4 jam maka

$$\text{Energi Output} = 46.920 \times 4 \text{ jam} = 187.680 \text{ kWh}$$

3. Hitung Energi Input

$$\begin{aligned}\text{Energi Input} &= \text{Energi Output} + \text{Rugi rugi} \\ &= 187.680 + 3.230,4 = 190.910,4 \text{ kWh}\end{aligned}$$

4. Hitung Nilai Efisiensi

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{\text{Energi Output}}{\text{Energi Input}} \times 100\% \\ &= \frac{187.680}{190.910,4} \times 100\% \\ &= 98,30\%\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, efisiensi trafo daya pada Gardu Induk Glugur saat beroperasi pada 85% beban adalah sekitar 98,30%, yang tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa trafo masih bekerja secara optimal. Efisiensi tinggi ini berarti kerugian energi yang terjadi selama proses transformasi tegangan sangat kecil. Namun, perlu dicatat bahwa efisiensi dapat menurun jika beban berubah atau terjadi penurunan performa akibat umur peralatan. Rugi-rugi inti yang terjadi bersifat tetap (konstan), sedangkan rugi-rugi tembaga meningkat sesuai dengan kenaikan beban.

Oleh karena itu, efisiensi trafo akan menurun bila beban semakin besar mendekati atau melebihi kapasitas nominalnya. Berdasarkan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa performa trafo daya di Gardu Induk Glugur masih sangat efisien dan layak untuk terus dioperasikan. Nilai efisiensi ini juga menjadi dasar evaluasi dalam sistem pemeliharaan berkala serta sebagai indikator untuk perencanaan modernisasi sistem gardu induk. Efisiensi yang tinggi tidak hanya mengurangi kerugian energi tetapi juga berdampak pada penghematan biaya operasional dan umur pakai peralatan.

BAB V

PENUTUP

a. Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa tranformator distribusi yang berada di GARDU INDUK GLUGUR dalam keadaan normal, Penghasil daya tertinggi yang ada di Gardu Induk Glugur terjadi pada saat dimalam hari besaran Daya ada di 48 kVA sedangkan Penghasil daya terendah pada saat disiang hari dengan besaran Daya ada di 30.326 kVA. Penghasil Arus tertinggi yang ada di Gardu Induk Glugur terjadi pada saat dimalam hari,dengan besaran Arus ada di 2,288 A sedangkan Penghasil Arus terendah terjadi disiang hari dengan besaran Arus ada di 1,429 A.
2. Dari perhitungan dan analisis yang dilakukan makadapat disimpulkan bahwa rugi-rugi sangat berpengaruh terhadap ketidak seimbangan beban, Dari hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan maka didapatkan rugi total sebesar 3.230,4 kWh.
3. Pembebanan yang melebihi kapasitas atau tidak terkelola dengan baik dapat berdampak negatif pada performa dan umur trafo. Dari hasil perhitungan, efisiensi trafo daya pada Gardu Induk Glugur saat beroperasi pada 85% beban adalah sekitar 98,30%, yang tergolong tinggi dan menunjukkan bahwa trafo masih bekerja secara optimal. Kesimpulannya, manajemen pembebanan yang tepat pada trafo 60 MVA sangat penting untuk menjaga efisiensi, memperpanjang umur operasional, dan memastikan keandalan sistem distribusi energi.

b. Saran

1. Meskipun trafo dalam keadaan baikakan tetapi sebaiknya trafo tetap dilakukan pemeriksaan secara berkala, untuk menjaga perporma trafo dan memastikan keadaan trafo dalam keadaan aman dari gangguan external maupun internal.
2. Evaluasi beban trafo secara berkala untuk menghindari operasi mendekati kapasitas maksimum, yang dapat menurunkan.

DAFTAR PUSTAKA

Ampere, N. N.-J., & 2017, undefined. (n.d.). Studi Keandalan Sistem Distribusi 20 kV Gardu Induk Talang Ratu Palembang. Jurnal.Univpgri-Palembang.Ac.IdN NurdianaJurnal Ampere, 2017•jurnal.Univpgri-Palembang.Ac.Id. Retrieved September 12, 2024, from <https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/ampere/article/view/1208>

Evalina, N. (2020). Analisis Karakteristik Pembangkit Listrik Hot Air Stirling Engine Dengan Bahan Bakar Metanol. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 2(2), 89-94.

Zambak, M. F., Lubis, K., & Faisal, A. (2023). Kajian Penentuan Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) pada Laboratorium Fakultas Teknik UMSU. JURNAL SURYA TEKNIKA, 10(1), 595-600.

Anang Dasa Novfowan, Mochammad Mieftah, W. K. (2020). Alternatif Penanganan Losses Akibat Ketidakseimbangan. *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*, 08(1), 83–90.

Andi Makkulau, dkk., “Pengujian Tahanan Isolasi Dan Ratio Pada Trafo PS T15 Indonesia Power Up Mrica”, Sekolah Tinggi Teknik PLN, Jurnal Energi dan Kelistrikan, Vol 10. No. 1, 2018.

Anindyantoro, M. S., & Umar, S. T. (2018). Analisa Tahanan Isolasi pada Transformator Tenaga di Gardu Induk Wonogiri (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).

Nasution, E. S., Pasaribu, F. I., & Hidayat, M. H. (2021). Studi Proteksi Sistem Tenaga Listrik Pada Trafo 1600 kVA Menggunakan Current Relay IWU 2-3. Jurnal Mesil (Mesin Elektro Sipil), 2(2), 28-39.

Cahyana Putra, D., Bahcrah, A., Saadillah, N., & Kiswantono, A. (n.d.). SIMULASI GANGGUAN RELAY DIFFERENTIAL TRAF0 PADA SALURAN TRANSMISI MENGGUNAKAN ETAP 12.6. Journal.Fortei7.OrgA Bahcrah, N Saadillah, A KiswantonoSinarFe7, 2021•journal.Fortei7.Org. Retrieved September 12, 2024, from <https://journal.fortei7.org/index.php/sinarFe7/article/view/12>

Djodding, I., dan, A. R.-K. J. S., & 2024, undefined. (n.d.). ANALISIS PENGUJIAN SHUTDOWN MEASUREMENT TRANSFORMATOR ARUS 150 KV PADA GARDU INDUK TELLO. Ejournal.Warunayama.OrgIM Djodding, A RasyidKohesi: Jurnal Sains Dan Teknologi, 2024•ejournal.Warunayama.Org. Retrieved September 12, 2024, from <https://ejournal.warunayama.org/index.php/kohesi/article/view/2339>

Febri, F., Karundeng, Y., Seke, F. R., & Memah, V. F. C. (2024). ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN BEBAN LISTRIK TERHADAP TRANSFORMATOR DAYA DI PLTA TANGGARI. Jurnalisticomah.OrgFFY Karundeng, FR Seke, VFC MemahTEKTONIK: Jurnal Ilmu Teknik, 2024•jurnalisticomah.Org, 1(4), 63–73. <https://doi.org/10.62017/tektonik>

Indarto, A., Bohra, A., Teknik, S. W.-... : J. I., & 2023, undefined. (n.d.). Trafo daya menggunakan minyak isolasi yang dapat terurai secara biologis. Jurnal.Arkainstitute.Co.IdA Indarto, A Bohra, S Wahyudi, A DharmantoHexatech: Jurnal Ilmiah Teknik, 2023•jurnal.Arkainstitute.Co.Id. Retrieved September 12, 2024, from <https://jurnal.arkainstitute.co.id/index.php/hexatech/article/download/892/683>

Ir Harnoko S, M. T., & Ir Sri Lestari, M. T. (2022). Proteksi Sistem Tenaga Listrik. Penerbit Andi.

Kiswantono, A., Cahyono, E. N., & Hermawan, H. (2021). Profil Otomatisasi Distribusi Sistem Tenaga Listrik Universitas Bhayangkara Surabaya. Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat, 2(1), 18–24. <https://doi.org/10.24967/PSN.V2I1.1450>

Kusuma, F. (2022). Analisa Pembebanan Transformator pada PT. Terminal Petikemas Surabaya (Transformer Loading Analysis at PT. Terminal Petikemas Surabaya). <http://repository.untag-sby.ac.id/20023/>

Majid, W., Syarsal, S., ... A. H.-K. J. S., & 2024, undefined. (n.d.). ANALISIS EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 160 kVA DI PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING. Ejournal.Warunayama.OrgWR Majid, S Syarsal, A Hafid, A FaharuddinKohesi: Jurnal Sains Dan Teknologi,

2024•ejournal.Warunayama.Org. Retrieved September 12, 2024, from <https://ejournal.warunayama.org/index.php/kohesi/article/view/2322>

Muhammad Mirdasil Aslami, 170211042. (2023). Analisis Indeks Keandalan Pelayanan Sistem Distribusi Tenaga Listrik 20 KV Berdasarkan Metode Saidi Dan Saifi Di PT. PLN (PERSERO) ULP Lancang Garam Kota Lhoksemawe. In <https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/34276/>.

Mutiara Fitri, R., & Waluyo. (2023). Analisis Gangguan pada Transformator Distribusi 20 kV di PT Haleyora Power (Area Majalaya). *Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi Dan Otomasi SNETO*, 169–178.

Oktalia, A., Agriffina, J., ... M. E.-T., & 2022, undefined. (n.d.). PENGELOLAAN PERMINTAAN DAN KAPASITAS PRODUKSI PADA UMKM TRAFO PRODUCTION. Transpublika.Co.IdA Oktalia, J Agriffina, M Ella, FA SinambelaTRANSEKONOMIKA: AKUNTANSI, BISNIS DAN KEUANGAN, 2022•transpublika.Co.Id. Retrieved September 12, 2024, from <https://transpublika.co.id/ojs/index.php/Transekonomika/article/view/241>

Patilima, M. (2022). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses dan Pembebanan Transformator Distribusi. *Jurnal Electrighsan*, 11(01), 20–28. <https://doi.org/10.37195/electrichsan.v11i01.85>

Prayoga, A. B., & Suprianto, B. (2023a). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Terhadap Rugi Daya (Losses) Dengan Digsilent Power Factory di PT.PLN (Persero) ULP Ngunut. *JURNAL TEKNIK ELEKTRO*, 12, 23–32. <https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p23-32>

Prayoga, A. B., & Suprianto, B. (2023b). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Terhadap Rugi Daya (Losses) Dengan Digsilent Power Factory di PT.PLN (Persero) ULP Ngunut. *Jurnal Teknik Elektro*, 12(2), 23–32. <https://doi.org/10.26740/jte.v12n2.p23-32>

Rusliadi. (2023). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi 20 KV pada Gardu Distribusi Tipe BBD Kampung Tanama PT PLN (Persero) ULP Fakfak Rusliadi. *Jurnal Informasi, Sains Dan Teknologi*, 6(2), 56–68.

Sara, I., Syuhada, A., and, K. U.-J. of E., & 2023, undefined. (n.d.). Analisis ketidakstabilan beban arus netral dan rugi-rugi daya pada trafo distribusi penyulang Pas 21 PT. PLN UPB Banda Aceh. Journal.Kawanad.ComID Sara, A Syuhada, K UmuraniJournal of Engineering and Science, 2023•journal.Kawanad.Com. Retrieved September 12, 2024, from <http://journal.kawanad.com/index.php/jes/article/view/167>

SIREGAR, T. W. (2022). *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Ulp Siborongborong*. 1–33.

Syukri, S., Asyadi, T. M., Muliadi, M., & Moesnadi, F. (2022). Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 202–206. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i2.14500>

Tambunan, H., Surya, A., ... D. J.-E. (Journal of, & 2021, undefined. (n.d.). Review Proses Perencanaan Jangka Panjang Sistem Tenaga Listrik. Academia.EduHB Tambunan, AS Surya, DR Jintaka, BBS Harsono, DH Sinaga, A Sidik, AR PramurtiEPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control), 2021•academia.Edu. Retrieved September 12, 2024, from <https://www.academia.edu/download/89406028/478601024.pdf>

Transformation, G. S.-J. S., & 2020, undefined. (n.d.). Transformator Energi, Potensi Dan Pengujian Model Energi. Jurnal.Syntaxtransformation.Co.IdG SihombingJurnalSyntax Transformation, 2020•jurnal.Syntaxtransformation.Co.Id. RetrievedSeptember12,2024,from <http://jurnal.syntaxtransformation.co.id/index.php/jst/article/view/150>

LAMPIRAN
DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama	: Raihan's Abdul Aziz
Tempat / Tanggal Lahir	: Medan/ 30 Juli 2002
Jenis Kelamin	: Laki-Laki
Umur	: 23 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan	: 175/75 kg
Kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Jl. Sumber Amal Perumahan Gading Mas No. 1 KK
No Hp	: 0815-3611-9096
Email	: raihansabdul2@gmail.com
Latar Belakang Pendidikan	
TK Rizki Ananda	: Tahun 2007-2008
SD Rizki Ananda	: Tahun 2008-2014
SMP Madrasah Tsanawiyah Negeri 1 Medan	: Tahun 2014-2017
SMA Madrasah Aliyah Negeri 3 Medan	: Tahun 2017-2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Teknik Elektro	: Tahun 2020-2025