

**SKRIPSI**

**ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT  
KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR  
ULTG PANAKKUKANG**



**TAUFIK NURHIDAYAT**

**105821104419**

**WAHYUDI**

**105821106319**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023**

**ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT  
KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR  
ULTG PANAKKUKANG**

**SKRIPSI**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Program Studi Teknik Elektro Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

**Disusun Dan Diajukan Oleh**

**TAUFIK NURHIDAYAT**

**105821104419**

**WAHYUDI**

**105821106319**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023**



**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**



GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 256 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**HALAMAN PENGESAHAN**

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T) Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR ULTG PANAKKUKANG**

Nama : 1. Taufik Nurhidayat  
 2. Wahyudi

Stambuk : 1. 105821104419  
 2. 105821106319

Makassar, 31 Agustus 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui  
 Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Ir. Suryani, S.T., M.T., IPM

Pembimbing II

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ir. Adhig, S.T., M.T., IPM

NBM 1044 202

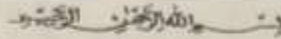


**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**  
**FAKULTAS TEKNIK**



**Kampus  
Merdeka**

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3  
 Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221  
 Website : <https://teknik.unismuh.ac.id>, Email : [teknik@unismuh.co.id](mailto:teknik@unismuh.co.id)



**PENGESAHAN**

Skripsi atas nama **TAUFIK NURHIDAYAT** dengan nomor induk Mahasiswa 105821104419 dan **WAHYUDI** dengan nomor induk Mahasiswa 105821106319, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0012/SK-Y/20201/091004/2023, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Rabu, 30 Agustus 2023.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

15 Shafar, 1445 H

31 Agustus, 2023 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Erip. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng

2. Penguji

a. Ketua : Andi Fajaruddin, S.T., M.T.

b. Sekretaris : Ir. Adnani, S.T., M.T., IPM

3. Anggota : 1. Dr. Ridwang, S.Kom, M.T.

2. Ir. Abdul Hafid, M.T.

3. Dr. Ir. H. Antarissubhi, S.T., M.T.

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Suryani, S.T., M.T., IPM

Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc

Dekan



Dr. Ir. Nurawaty, S.T., M.T., IPM

NPM : 795 108

## ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR ULTG PANAKKUKANG

### ABSTRAK

Taufik Nurhidayat<sup>1</sup>, Wahyudi<sup>2</sup>, Suryani<sup>3</sup>, Zahir Zainuddin<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

e-mail: taufikihidayat295@gmail.com, wyudi7067@gmail.com

Suryani\_basri@unismuh.ac.id, Zahir@unhas.ac.id

Transformator merupakan salah satu komponen kunci dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransfer daya listrik dari satu level tegangan ke level tegangan lainnya melalui induksi elektromagnetik. Ketidakseimbangan beban pada transformator dapat menyebabkan arus Netral mengalir pada transformator menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi). Penelitian ini untuk mengetahui mengetahui Seberapa besar Ketidakseimbangan beban yang di hasilkan pada transformator di ULTG Panakkukang dan dapat mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya akibat adanya arus netral yang mengalir pada Transformator. Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Penelitian ini dapat meningkatkan Efisiensi Operasional, Peningkatan Kualitas Layanan dan meningkatkan umur pakai transformator. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban Transformator pada siang dan malam di bulan Juli 2023, besar ketidakseimbangan pada bulan juli terjadi pada malam hari yang besar: 45.61%, sedangkan pada siang hari besar ketidakseimbangannya hanya 44.2%. Pada hasil analisa data, rugi-rugi daya akibat adanya arus yang mengalir pada fasa netral akibat ketidakseimbangan beban trafo pada pada siang dan malam di bulan juli 2023, besar rugi-rugi daya pada bulan juli terjadi pada malam hari yaitu: 33939219.1 Watt, sedangkan pada siang hari besar rugi-rugi dayanya hanya 325153.024 Watt. Hal ini terjadi karna pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari.

**Kata kunci:** Transformator, Beban Puncak, ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya

**ANALYSIS OF POWER LOSSES DUE TO LOAD UNBALANCE ON THE PANAKKUKANG  
ULTG TRANSFORMER**

**ABSTRACT**

Taufik Nurhidayat<sup>1</sup>, Wahyudi<sup>2</sup>, Suryani<sup>3</sup>, Zahir Zainuddin<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>*Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Muhammadiyah University of Makassar*

e-mail: taufikihidayat295@gmail.com, wyudi7067@gmail.com

Suryani\_basri@unismuh.ac.id, Zahir@unhas.ac.id

*A transformer is one of the key components in an electric power system whose function is to transfer electrical power from one voltage level to another voltage level through electromagnetic induction. An imbalance in the load on the transformer can cause neutral currents to flow in the transformer causing losses. This research is to find out how much the load imbalance is generated on the transformer at ULTG Panakkukang and to find out how much power loss is due to the neutral current flowing in the transformer. This type of research is quantitative research. This research can increase Operational Efficiency, Improve Service Quality and increase the service life of transformers. The results of this research show that the transformer load imbalance during the day and night in July 2023, the large imbalance in July occurred at night: 45.61%, while during the day the imbalance was only 44.2%. In the results of data analysis, power losses due to current flowing in the neutral phase due to transformer load imbalance during the day and night in July 2023, the largest power losses in July occurred at night, namely: 33939219.1 Watt, while in During the day, the power losses are only 3,25153,024 Watts. This happens because more load usage occurs at night.*

**Keywords: Transformer, Peak Load, load unbalance, power losses**

## KATA PENGANTAR

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabaraktuh*

Segala puji bagi Allah Subhanallahu wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR ULTG PANAKKUKANG”. Shalawat beserta salam senantiasa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa kita dari zaman jahiliah menuju zaman yang serba modern seperti saat ini.

Tak lupa penulis mengucapkan banyak-banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan wejangan dalam penyusunan proposal ini, terutama kepada :

1. Kepada Orang tua kami **Syamsir, Sutriani dan Baharuddin, Habaria** yang telah memberikan wejangan dan motivasi baik secara moril maupun materil.
2. Ibu **Dr. Ir. Hj Nurnawati, S.T., M.T., IPM**, selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak **Muh. Syafaat S Kuba, S.T., M.T.**, selaku Wakil Dekan Fakultas Teknik.
4. Ibu **Ir. Adriani, S.T., M.T., IPM**, selaku Ketua Teknik Elektro.
5. Ibu **Ir. Suryani, S.T., M.T., IPM**, selaku Dosen Pembimbing 1 dalam penyusunan skripsi ini.

6. Bapak **Dr. Ir. Zahir Zainuddin, M.Sc**, selaku Dosen Pembimbing 2 dalam penyusunan skripsi ini.
7. Saudara-saudara Kami Miftahul Jannah, Nur hafizah dan Ayu Wahyuni, Rahmat Aditya yang telah Membantu saya Dalam Penjilitan Skripsi ini
8. Dosen dan Staf Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
9. Teman-teman Khususnya Angkatan 2019 Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Makassar, terima kasih atas dukungan dan doanya.

Demikian laporan proposal skripsi ini, dan penulis sadar bahwa laporan ini masih banyak kekurangan di dalamnya oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca atas laporan ini. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih .

***Billahi fisabililhaq, fastabiqul khairat.***

***Wassalamualaikum Wr.Wb.***

Makassar, 6 juli 2023

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	2
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Penelitian .....	4

<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Transformator .....	5
2.2 Fungsi Transformator .....	6
2.3 Jenis-Jenis Transformator .....	7
2.4 Prinsip Kerja Transformator .....	10
2.5 Bagian-bagian Transformator .....	14
2.6 Transformator Ideal .....	17
2.7 Rugi-Rugi Daya Dalam Transformator .....	19
2.8 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Rugi-Rugi Day .....	26
2.9 Perhitungan Arus Beban Pada Transformator .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
3.1 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	37
3.2 Metode Penelitian .....	37
3.3 Teknik Pengumpulan Data .....	37
3.4 Analisa Data .....	39
3.5 Flowchart .....	39
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>41</b>
4.2 Jenis trofo yang Digunakan .....	41
4.2 data hasil pengukuran beban pada tranformator Ultg Panakkukang .....	42
4.3 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo .....	44

4.4 Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Beban.....	47
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran.....	54
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>58</b>

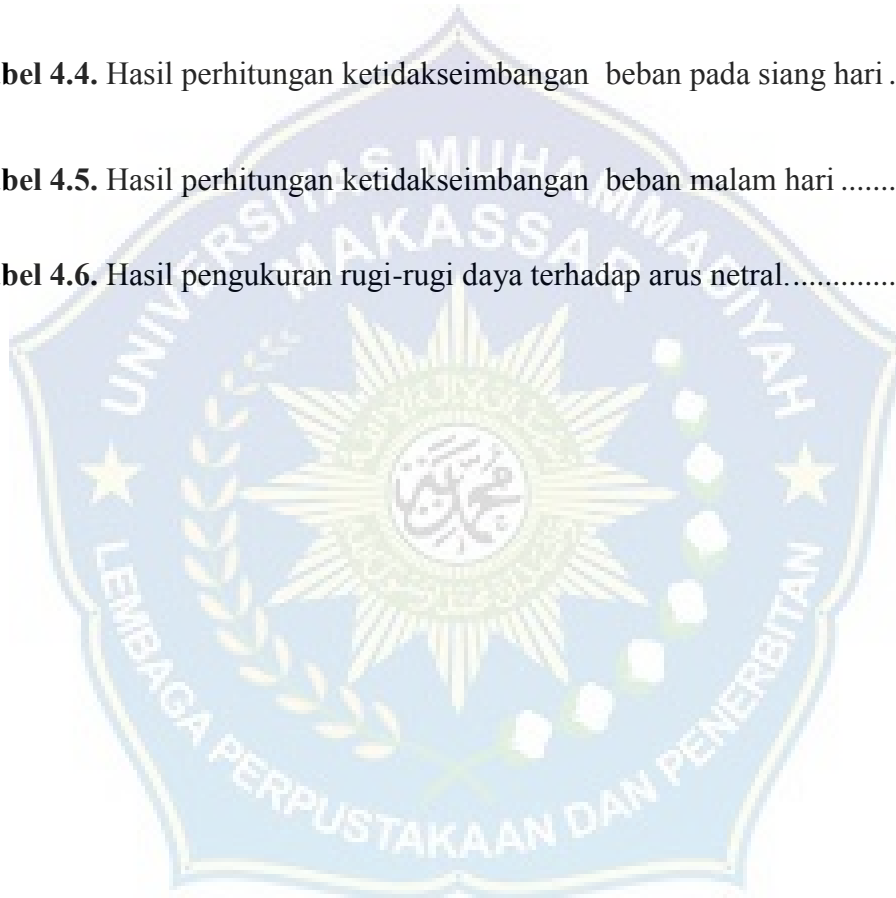


## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Prinsip Hukum Elektro Elektromagnetik.....	6
<b>Gambar 2.2.</b> Elektro Magnetik Pada Trafo .....	7
<b>Gambar 2.3.</b> Trafo Step Up .....	9
<b>Gambar 2.4.</b> Trafo Step Down .....	9
<b>Gambar 2.5.</b> Inti Besi Pada Transformator .....	11
<b>Gambar 2.6.</b> Kumparan Kransformator .....	12
<b>Gambar 2.7.</b> Bushing Transformator .....	14
<b>Gambar 2.8.</b> Tangki Transformator .....	14
<b>Gambar 2.9.</b> Prinsip Kerja Transformator .....	15
<b>Gambar 2.10.</b> Transformator Tanpa Beban.....	18
<b>Gambar 2.11.</b> Transformator Berbeban .....	19
<b>Gambar 2.12.</b> Kurva Hysterisis .....	24
<b>Gambar 2.13.</b> Ilustrasi Timbulnya Arus Eddy .....	25
<b>Gambar 2.14.</b> Vektor Diagram Arus Keadaan seimbang .....	28
<b>Gambar 2.15.</b> vektor diagram arus keadaan tak seimbang .....	29
<b>Gambar 4.1.</b> spesifikasi trafo ULTG Panakkukang .....	29

**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 4.1</b> Name Plate Transformator .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Beban Puncak Transformator Pada siang hari .....	41
<b>Tabel 4.3.</b> Beban Puncak Transformator Pada malam hari.....	42
<b>Tabel 4.4.</b> Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada siang hari .....	47
<b>Tabel 4.5.</b> Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban malam hari .....	49
<b>Tabel 4.6.</b> Hasil pengukuran rugi-rugi daya terhadap arus netral.....	52



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Saat Ini Tenaga Listrik Merupakan Kebutuhan Utama, Baik Untuk Kehidupan Sehari-hari Maupun Untuk Kebutuhan Industri. Hal Ini Disebabkan Karena Tenaga Listrik Mudah Untuk Ditransportasikan Dan Dikonversikan Ke Dalam Bentuk Energi Lain. Penyediaan Tenaga Listrik Yang Stabil Dan Kontinyu Merupakan Syarat Mutlak Yang Harus Dipenuhi Dalam Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik.

Ketersediaan Listrik Yang Cukup Dan Berkualitas Merupakan Hal Yang Harus Dipenuhi Oleh Perusahaan Listrik Negara. Permintaan Energi Listrik Di Indonesia Menunjukkan Peningkatan Yang Cukup Pesat Dan Berbanding Lurus Dengan Pertumbuhan Ekonomi Dan Pertambahan Penduduk. Dalam Rangka Memenuhi Permintaan Energi Listrik Tersebut Maka Diperlukan Perencanaan Dalam Pembangunan Jaringan Listrik Dan Interkoneksi Jaringan Di Berbagai Daerah. Saat Ini Tenaga Listrik Merupakan Kebutuhan Utama, Baik Untuk Kehidupan Sehari-hari Maupun Untuk Kebutuhan Industri. Hal Ini Disebabkan Karena Tenaga Listrik Mudah Untuk Ditransportasikan Dan Dikonversikan Ke Dalam Bentuk Energi Lain. Penyediaan Tenaga Listrik Yang Stabil Dan Kontinyu Merupakan Syarat Mutlak Yang Harus Dipenuhi Dalam Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik.

Transformator Merupakan Salah Satu Komponen Kunci Dalam Sistem Tenaga Listrik Yang Berfungsi Untuk Mentransfer Daya Listrik Dari Satu Level

Tegangan Ke Level Tegangan Lainnya Melalui Induksi Elektromagnetik. Transformator Sering Digunakan Dalam Berbagai Aplikasi, Termasuk Distribusi Dan Transmisi Daya Listrik, Industri, Dan Peralatan Elektronik.

Dalam Penyaluran Tenaga Listrik Sering Terjadi Pemakaian Oleh Konsumen Secara Bersamaan Pada Waktu Tertentu Dan Adanya Penambahan Daya Listrik Oleh Konsumen, Sehingga Mengakibatkan Peningkatan Permintaan Suplai Tenaga Listrik Atau Disebut Beban Puncak (*Peak Supplies*). Beban Puncak Terjadi Baik Pada Malam Hari Maupun Siang Hari Pada Waktu Tertentu Ketidakseimbangan Beban Terjadi Ketika Arus Yang Melewati Masing-Masing Lilitan Transformator Tidak Seimbang Secara Fasa Atau Magnitudo. Beban Yang Tidak Merata Pada Sisi Primer Atau Sekunder Transformator Dapat Menjadi Penyebab Utama Ketidakseimbangan Ini. Ketidakseimbangan Ini Dapat Disebabkan Oleh Distribusi Beban Yang Tidak Merata Pada Sistem Distribusi, Perbedaan Karakteristik Beban Pada Masing-Masing Fasa, Atau Masalah Pada Peralatan Distribusi. Ketidakseimbangan beban pada trafo menyebabkan arus netral mengalir ke transformator. Arus netral yang mengalir dapat mengakibatkan rugi-rugi daya pada transformator.

## **1.2 RUMUSAN MASALAH**

1. Seberapa besar Ketidakseimbangan beban yang di hasilkan pada transformator di ULTG Panakkukang?
2. Seberapa besar rugi-rugi daya Akibat adanya arus netral pada penghantar netral Transformator?

## **1.3 TUJUAN PENELITIAN**

1. Dapat mengetahui Seberapa besar Ketidakseimbangan beban yang di hasilkan pada transformator di ULTG Panakkukang.
2. Dapat Mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya Akibat adanya arus netral pada penghantar netral Transformator

## **1.4 MANFAAT PENELITIAN**

1. Peningkatan Efisiensi Operasional: Dengan memahami dampak ketidakseimbangan beban pada rugi-rugi daya transformator, penelitian ini dapat memberikan panduan untuk mengurangi rugi daya dan meningkatkan efisiensi operasional transformator. Hal ini akan menghasilkan penghematan energi dan biaya operasional yang signifikan.
2. Peningkatan Kualitas Layanan: Penelitian ini dapat membantu dalam mengidentifikasi dan mengatasi masalah ketidakseimbangan beban yang dapat mengganggu kualitas tegangan dan stabilitas jaringan. Dengan mengurangi fluktuasi tegangan, pelanggan akan mendapatkan layanan listrik yang lebih baik.



3. Peningkatan Umur Pakai Transformator: Dengan memahami dampak ketidakseimbangan beban pada suhu operasi transformator, penelitian ini dapat membantu dalam merancang strategi pemeliharaan yang lebih baik. Pemeliharaan yang lebih efisien dapat membantu memperpanjang umur pakai transformator.

### **1.5 BATASAN PENELITIAN**

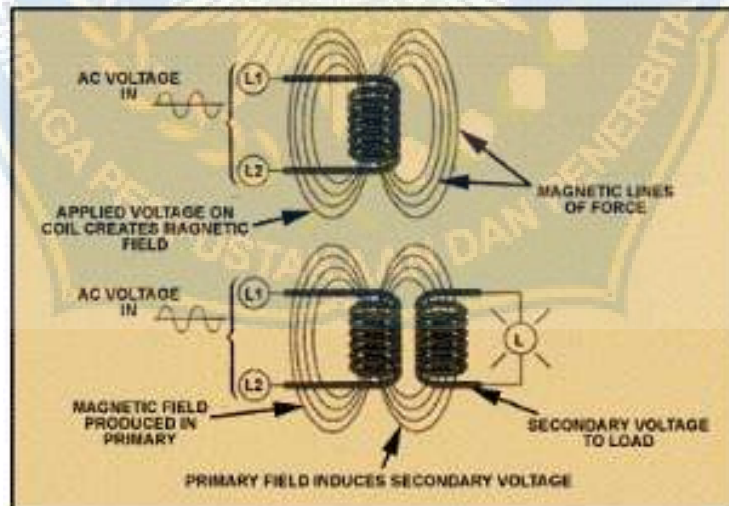
1. Lokasi Penelitian: Penelitian ini terbatas pada wilayah Panakkukang dan transformator jenis ULTG yang digunakan di wilayah tersebut. Hasil penelitian mungkin tidak dapat diterapkan secara langsung pada situasi yang berbeda.
2. Pengaruh Cuaca dan Lingkungan: Penelitian ini mungkin tidak mempertimbangkan dampak cuaca atau faktor lingkungan lainnya yang dapat memengaruhi kinerja transformator atau ketidakseimbangan beban.
3. Analisis Ekonomi yang Mendalam: Penelitian ini mungkin tidak akan melakukan analisis ekonomi yang sangat mendalam, seperti analisis biaya dan manfaat yang rinci terhadap tindakan pencegahan atau perbaikan.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

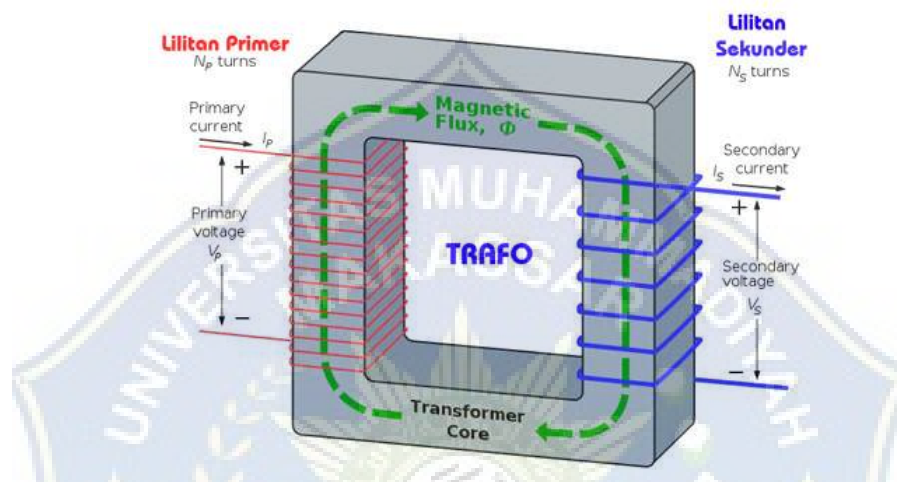
#### 2.1 TRANSFORMATOR

Transformator adalah peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (Arus Dan Tegangan) sistem ac ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (Ondrialdi et al., 2020). Transformator menggunakan prinsip elektromagnetik yaitu hukum Ampere (A) dan induksi Faraday, dimana perubahan arus atau medan listrik dapat membangkitkan medan magnet dan perubahan medan magnet atau fluks medan magnet dapat membangkitkan tegangan induksi.



Gambar. 2.1 prinsip hukum elektro elektromagnetik  
(sumber: PT KMMI)

Arus Ac yang mengalir pada belitan primer membangkitkan flux magnet yang sedang mengalir melalui inti besi yang terdapat diantara dua belitan, flux magnet menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunde yang akan terdapat beda potensial atau tegangan induksi seperti pada (gambar 1-1) .



Gambar 2.2. elektromagnetik pada trafo  
(Sumber : Artema)

## 2.2 FUNGSI TRANSFORMATOR

Sebagai Salah Satu Komponen Elektronik Yang Cukup Penting, Transformator Memiliki Fungsi Yang Sangat Penting. Salah Satunya Adalah Memindahkan Tenaga Listrik Antara Dua Buah Rangkaian Listrik. Biasanya Pengiriman Ini Terjadi Dalam Sebuah Frekuensi Yang Sama. Sehingga Selain Memindahkan Tenaga Listrik, Transformator Juga Memiliki Beberapa Fungsi Lainnya Sebagai Berikut :

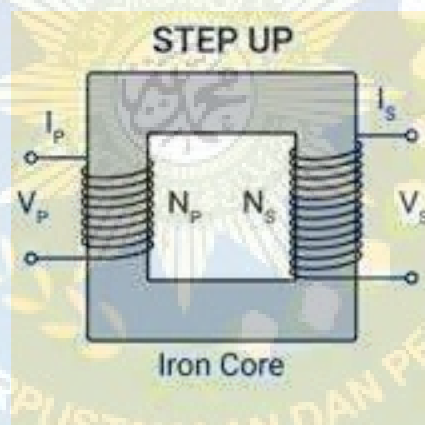
- a. Transformator Selain Memiliki Fungsi Besar Sebagai Salah Satu Komponen Elektronik Juga Berfungsi Dalam Sebuah Sistem Komunikasi. Transformator Seringkali Digunakan Untuk Menentukan Frekuensi Radio Dan Juga Video.
- b. Selain Digunakan Untuk Menentukan Frekuensi Radio, Transformator Juga Seringkali Digunakan Untuk Menaikkan Tegangan Listrik. Beberapa Barang Elektronik Yang Memanfaatkan Trafo Untuk Menaikkan Tegangan Listrik Adalah Komputer, Lemari Es Hingga Televisi. Biasanya Fungsi Transformator Ini Lebih Banyak Dimiliki Oleh Transformator Step-Up. Jumlah Lilitan Sekundernya Lebih Banyak Karena Fungsinya Untuk Menaikkan Tegangan .
- c. Transformator Juga Banyak Dimanfaatkan Untuk Menurunkan Tegangan Listrik. Biasanya Transformator Untuk Menurunkan Tegangan Ini Seringkali Disebut Transformator Step-Down. Jumlah Lilitan Sekundernya Lebih Sedikit Sementara Lilitan Primernya Lebih Banyak. Biasanya Transformer Step Down Seringkali Digunakan Saat Anda Mengisi Baterai Ponsel Atau Saat Anda Mengisi Baterai.

### **2.3 JENIS-JENIS TRANSFORMATOR**

Transformator dapat dibedakan berdasarkan dari banyak faktor, pada umumnya dapat dibedakan berdasarkan cara kerja, fungsinya, kapasitasnya dan lainnya .

### 1.1 Transformator *Step-Up* (Penaik Tegangan)

Transformator *Step-Up* Adalah Transformator Yang Memiliki Lilitan Sekunder Lebih Banyak Daripada Lilitan Primer Sehingga Berfungsi Sebagai Penaik Tegangan. Transformator Ini Biasa Ditemui Pada Pembangkit Tenaga Listrik Sebagai Penaik Tegangan Yang Dihasilkan Genset Menjadi Tegangan Tinggi Yang Digunakan Dalam Transmisi Jarak Jauh. Pada Trafo Step Up, Lilitan Primer ( $N_p$ ) Dibuat Lebih Sedikit Dibandingkan Dengan Lilitan Sekunder ( $N_s$ ) ( $N_p < N_s$ ) Agar Dapat Menimbulkan Peningkatan Tegangan. Tegangan Primer Selalu Lebih Kecil Dari Tegangan sekunder. ( $V_p < V_s$ ) dan kuat arus primer selalu lebih besar dari kuat arus sekunder ( $I_p > I_s$ ).

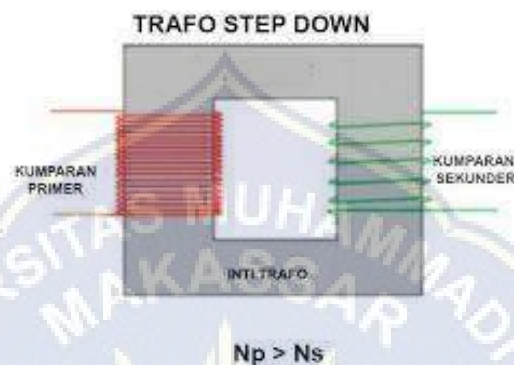


Gambar 2.3. trafo *step up*  
(sumber: wiki elektronika)

### 1.2 Transformator *Step-Down*

Transformator *Step-Down* (Penurun Tegangan) Memiliki Lilitan Sekunder Lebih Sedikit Daripada Lilitan Primer Sehingga Berfungsi Sebagai Penurun Tegangan. Transformator Jenis Ini Sangat Mudah Ditemui, Terutama

Dalam Adaptor AC-DC. Transformator *Step-Down* Adalah Jenis Transformator Yang Berfungsi Untuk Menurunkan Tegangan Induksi. Sesuai Keperluan, Jumlah Lilitan Kumpanan Sekunder Pada Transformator Ini Dibuat Lebih Sedikit Dari Jumlah Lilitan Pada Kumpanan Primer.



Gambar 2.4. trafo *step down*  
(sumber: pskbandungkota)

Transformator Ini Banyak Digunakan Pada Radio, Tape Recorder, Dan Komputer. Secara Bersamaan, Kedua Trafo Ini Digunakan Pada Arus Listrik Dari Pembangkit Listrik Menuju Pelanggan. Pembangkit Listrik Yang Biasanya Terletak Cukup Jauh Dari Tempat Pelangga, Dapat Kehilangan Energi Yang Cukup Banyak Pada Proses Pengolesannya. Faktor Penyebab Utama Adalah Tegangan Dan Arus Yang Dihasilkan Generator Relatif Kecil. Untuk Itu, Dalam Jarak Yang Cukup Dekat Dari Sumber Pembangkit Listrik, Digunakan *Step-Up* Trafo Sehingga Tegangan Akan Membesar Dan Energi Yang Hilang Selama Tegangan Listrik Akan Lebih Kecil. Sebelum Sampai Ke Pelanggan, Tegangan Tinggi Yang Berbahaya Ini Kemudian Diturunkan Lagi Menggunakan Transformator *Step-Down* Yang Biasa Tersimpan Pada Tiang Listrik Di Dekat

Rumah Pelanggan. Selain Dapat Meminimalkan Kehilangan Energi, Pemanfaatan Transformator Ini Pun Berfungsi Untuk Menjaga Keamanan Dan Keselamatan Pelanggan Dari Bahaya Tegangan Tinggi.

Jenis Trafo Berdasarkan Fungsinya Trafo Tenaga Dapat Dibedakan Menjadi:

- Trafo pembangkit
- Trafo gardu induk / penyaluran
- Trafo distribusi

#### **2.4 Bagian-Bagian Tranformator**

Transformator terdiri atas beberapa bagian yang mempunyai fungsi masing-masing:

1. Inti Besi
2. Kumparan Trafo
3. Kumparan tertier
4. Minyak trafo
5. Bushing
6. Tangki dan Konsevector

##### **2.1.1. Inti Besi**

Inti Besi Berfungsi Untuk Mempermudah Jalan Fluksi, Yang Ditimbulkan Oleh Arus Listrik Yang Melalui Kumparan. Dibuat Dari Lempengan-Lempengan Atau Plat-Plat Tipis Dari Campuran Besi Khusus Yang Berisi Sedikit Silikon. Laminasi-Laminasi Saling Terisolasi, Untuk Mengurangi Panas (Sebagai

Rugi-Rugi Besi) Yang Ditimbulkan Oleh “*Eddy Current*”, Dan Dijepit Secara Kuat Agar Tidak Terjadi Getaran-Getaran.

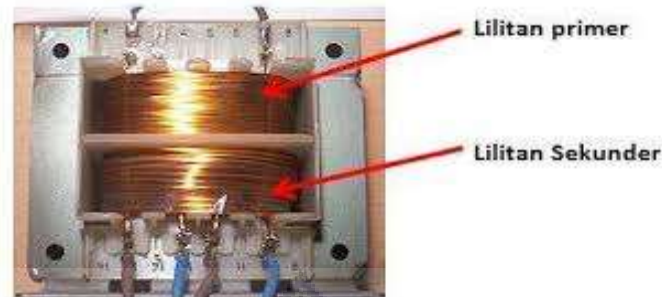


Gambar 2.5. inti besi pada transformator  
(sumber: wordpress.com)

### 2.1.2. Kumbaran Trafo

Beberapa Lilitan Kawat Berisolasi Membentuk Suatu Kumbaran. Kumbaran Tersebut Diisolasi Baik Terhadap Inti Besi maupun Terhadap Kumbaran Lain Dengan Isolasi Padat, Seperti Karton, Pertinax Dan Lain-Lain. Umumnya Pada Trafo Terdapat Kumbaran Primer Dan Sekunder. Bila Kumbaran Primer Dihubungkan Dengan Tegangan Atau Arus Bolak-Balik Maka Pada Kumbaran Tersebut Timbul Fluksi Yang Menginduksikan Tegangan, Bila Pada Rangkaian Sekunder Diberi Beban Maka Akan Mengalir Arus Pada Kumbaran Sebagai Alat Transformasi Tegangan Dan Arus. Fluksi Ini Akan Menginduksikan Tegangan, Dan Bila Pada Rangkaian Sekunder Ditutup Maka Akan Menghasilkan Arus Pada Kumbaran Ini. Jadi Kumbaran Sebagai Alat Transformasi Tegangan Arus.





Gambar 2.6. kumpran tranformator  
(Sumber : Unimar Ami)

### 2.1.3. Minyak Trafo

Sebagian Besar Trafo Daya, Kumpran-Kumpran Dan Intinya Direndam Dalam Minyak Trafo, Terutama Trafo-Trafo Daya Berkapasitas Besar, Karena Minyak Trafo Mempunyai Sifat Sebagai Media Pemindah Panas Dan Sebagai Isolasi (Daya Tegangan Tembus Tinggi) Sehingga Berfungsi Sebagai Media Pendingin Dan Isolasi. Untuk Itu Minyak Trafo Harus Memenuhi Persyaratan Sebagai Berikut :

- Memiliki Kekuatan Isolasi Yang Tinggi.
- Penyalur Panas Yang Baik Dan Memiliki Berat Jenis Yang Kecil, Sehingga Partikel-Partikel Dalam Minyak Dapat Mengendap Dengan Cepat.
- Memiliki Viskositas Yang Rendah Agar Lebih Mudah Bersirkulasi Sehingga Pendingin Menjadi Lebih Baik.

- Memiliki Titik Nyala Yang Tinggi, Tidak Mudah Menguap Yang Dapat Membahayakan.
- Tidak Merusak Bahan Isolasi Yang Padat.
- Memilki Sifat Kimia Yang Stabil
- Tidak Bereaksi Secara Kimiawi Dengan Logam Dan Bahan Isolasi.

#### 2.1.4. Bushing

Hubungan Antara Kumparan Trafo Ke Jaringan Luar Melalui Sebuah Bushing, Yaitu Sebuah Konduktor Yang Diselubungi Oleh Isolator, Yang Sekali Berfungsi Sebagai Penyekat Antara Konduktor Dengan Tangki Trafo.



Gambar 2.7. bushing transformator  
(Sumber : lumbangraja teddy weblog)

#### 2.1.5. Tangki Dan Konservator

Pada Umumnya Bagia-Bagian Dari Trafo Yang Terendam Minyak Trafo Berada (Ditempatkan) Dalam Tangki. Untuk Menampung Pemuaiian

Minyak Trafo, Tangki Dilengkapi Dengan Konservator. Konservator Senantiasa Berisi Sebagian Minyak, Guna Menjamin Bahwa Tangki Transformator Berisi Minyak Penuh Dan Juga Membantu Menghindari Absorpsi Kelembaban Dari Atmosfer Oleh Minyak Tangki.



Gambar 2.8. Tangki transformator  
(Sumber : alibaba)

#### 2.1.6. Peralatan Bantu

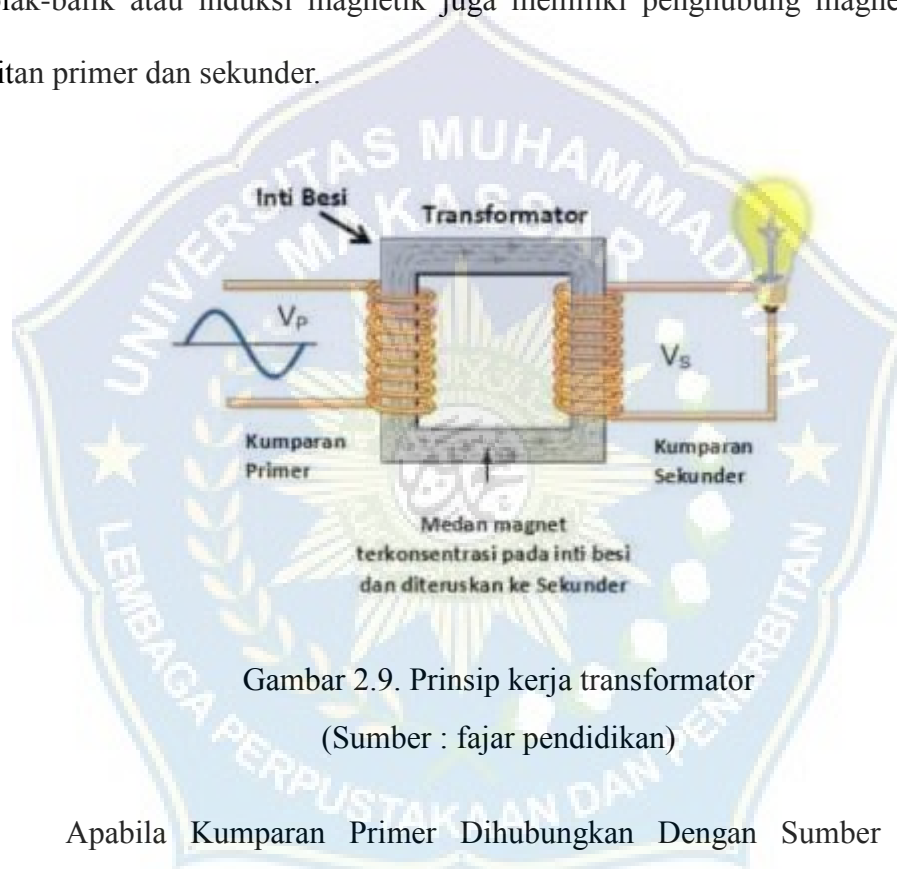
Peralatan bantu yang terdapat pada trafo daya terdiri dari :

- Pendingin Trafo
- Tap Changer (Perubah Tap)
- Alat Pernapasan
- Indikator

## 2.5 PRINSIP KERJA TRANSFORMATOR

Prinsip Kerja Transformator Adalah Berdasarkan Induksi Elektromagnetik. Saat Lilitan Primer Terhubung Dengan Arus AC Biasanya Akan Menghasilkan Perubahan Arus Listrik. Perubahan Arus Listrik Yang Terjadi Akan

Berpengaruh Pada Medan Magnet Yang Ada Dan Membuat Inti Besi Semakin Kuat. Nantinya Inti Ini Akan Mengantarkan Perubahan Pada Lilitan Detik. Kondisi Ini Menyebabkan Adanya Induksi GGL Yang Terjadi Pada Detik Detik. Proses Ini Seringkali Disebut Juga Sebagai Induksi Bolak-Balik Dan Cara Kerjanya Sama Dengan Induksi Elektromagnetik. Di mana keduanya baik induksi bolak-balik atau induksi magnetik juga memiliki penghubung magnetik antara lilitan primer dan sekunder.



Gambar 2.9. Prinsip kerja transformator  
(Sumber : fajar pendidikan)

Apabila Kumparan Primer Dihubungkan Dengan Sumber Tegangan Bolak-Balik, Maka Fluks Bolak-Balik Akan Muncul Di Dalam Inti (Core) Yang Dilaminasi, Karena Kumparan Tersebut Membentuk Jaringan Tertutup, Maka Mengalirlah Arus Primer. Akibat Adanya Fluks Di Kumparan Primer, Maka Di Kumparan Primer Terjadi Induk Si (Selfinduction) Dan Terjadi Pula Induksi Dikumparan Sekunder Karena Pengaruh Induksi Dari Kumparan Primer (Mutual Induction) Yang Menyebabkan Timbulnya Fluks Magnet Di Kumparan Sekunder,

Serta Arus Sekunder Jika Rangkaian Sekunder Dibebani, Sehingga Energi Listrik Dapat Ditransfer Keseluruhan (Secara Magnetis).

$$e_1 = -N_1 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$e_2 = -N_2 \frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\frac{e_1}{e_2} = \frac{-N_1 \frac{d\phi}{dt}}{-N_2 \frac{d\phi}{dt}} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

$E_1$  = Ggl Induksi Sesaat Pada Sisi Primer

$E_2$  = Ggl Induksi Sesaat Pada Sisi Sekunder

$E_1$  = Ggl Induksi Pada Sisi Primer (Volt) Efektif

$E_2$  = Ggl Induksi Pada Sisi Sekunder (Volt)

$N_1$  = Jumlah Lilitan Kumaran Primer

$N_2$  = Jumlah Lilitan Kumaran Sekunder

Berdasarkan Hukum Kekekalan Energi, Maka Bila Dianggap Tidak Ada Kerugian Daya Yang Hilang, Daya Yang Dilepas Oleh Kumaran Primer Sama Dengan Daya Yang Diterima Oleh Kumaran Sekunder:

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_1}{N_2} \dots \dots \dots (2.6)$$

$$I_1 \cdot N_1 = I_2 \cdot N_2 \dots \dots \dots (2.7)$$

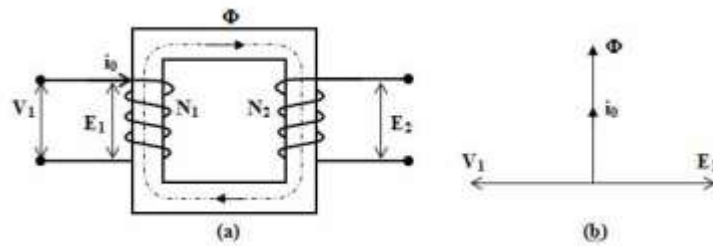
Dalam Hukum Faraday Dijelaskan Jika Gaya Listrik Yang Lewat Garis Lengkung Tertutup Akan Berbanding Lurus Dengan Perubahan Satuan Waktu Saat Arus Induksi Dilingkari Lengkungan Tertutup Tersebut. Sementara Hukum Lorenz Menyebutkan Jika Arus AC Yang Terdapat Di Sekeliling Inti Besi Akan Mengubah Inti Besi Menjadi Magnet. Jika Magnet Dipenuhi Lilitan, Tentunya Lilitan Akan Memiliki Perbedaan Tegangan Pada Kedua Ujungnya Dua Hukum Yang Banyak Dikenal Saat Anda Mempelajari Kacamata Ini Juga Diterapkan Dalam Kerja Transformator Sehingga Dapat Berfungsi Dengan Baik.

## 2.6 TRANSFORMATOR IDEAL

Ada Dua Macara Keadaan, Yaitu: Transformator Tanpa Beban, Dan Transformator Berbeban.

### 2.1.7. Keadaan Transformator Tanpa Beban

Bila Kumpulan Primer Suatu Transformator Dihubungkan Dengan Sumber Tegangan  $V_1$  Yang Sinusoidal, Akan Mengalir Arus Primer  $I_0$  (Arus Eksitasi) Yang Juga Sinusoidal Dan Dengan Menganggap Belitan  $N_1$  Reaktif Murni,  $I_0$  Akan Tertinggal  $90^\circ$  Dari  $V_1$



Gambar 2.10. (a) Transformator Tanpa Beban dan (b) vektor tanpa beban  
(Sumber Slideplayer)

Arus Primer  $I_0$  Menimbulkan Fluks ( $\Phi$ ) Yang Sefasa Dan Juga Berbentuk Sinusoidal. Fluks Bolak-Balik Ini Akan Memotong Kumbaran Primer Dan Kumbaran Sekunder Dan Harganya Naik Turun Dalam Arah Bolak-Balik Sehingga Menginduksikan Ggl Pada Kedua Lilitan Tersebut. Ggl Yang Diinduksikan Dalam Kumbaran Primer Akan Melawan Tegangan  $V_1$  Yang Dikenakan.

Bila Kumbaran Primer Suatu Transformator Dihubungkan Dengan Sumber Tegangan  $V_1$  Yang Sinusoidal Dan Kumbaran Sekundernya Merupakan Rangkaian Yang Tidak Dibebani (*No Load*), Maka Akan Mengalir Arus Primer  $I_0$  Yang Juga Sinusoidal Dan Dengan Menganggap Belitan  $N_1$  Reaktif Murni,  $I_0$  Akan Tertinggal  $90^\circ$  Dari  $V_1$ . Arus Primer  $I_0$  Menimbulkan Fluks ( $\Phi$ ) Yang Sefasa Dan Juga Berbentuk Sinusoidal.

$$\Phi = \Phi_{maks} \sin \omega t \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana:

$\Phi$  : sudut fasa

$\phi_{\text{maks}}$  adalah sudut fasa maksimum dari sinyal atau arus (juga dalam satuan radian).

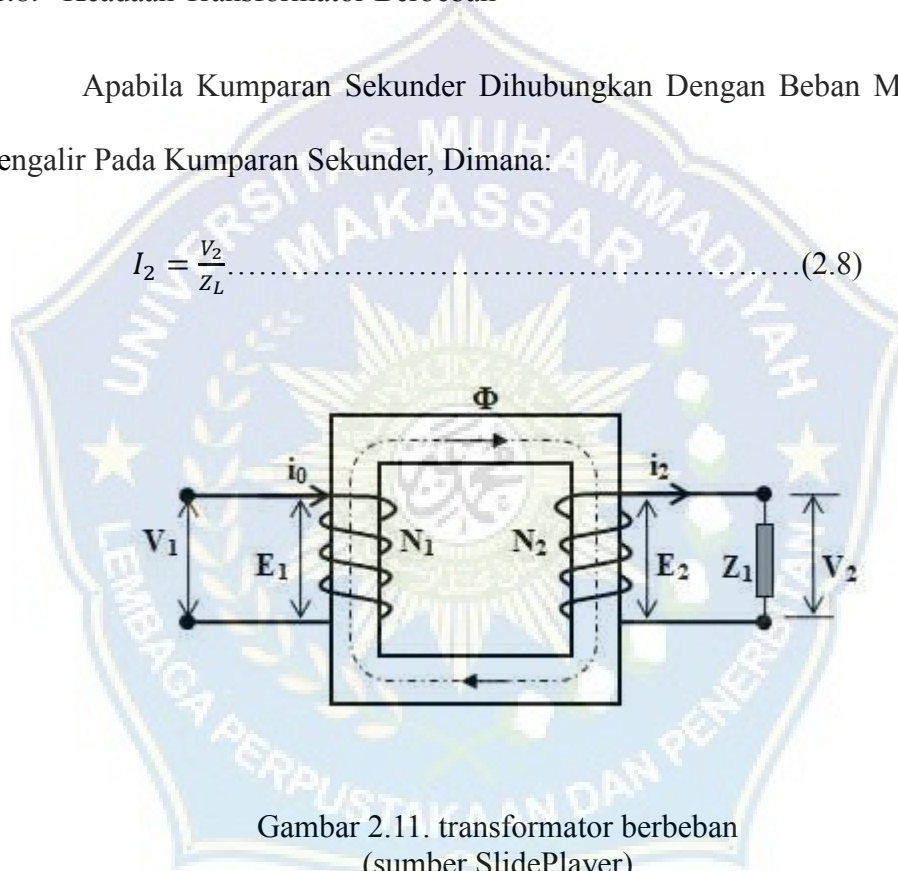
$\omega$  : adalah frekuensi angular (dalam radian per detik).

$t$  : adalah waktu (dalam detik).

### 2.1.8. Keadaan Transformator Berbeban

Apabila Kumbaran Sekunder Dihubungkan Dengan Beban Maka Akan Mengalir Pada Kumbaran Sekunder, Dimana:

$$I_2 = \frac{V_2}{Z_L} \dots \dots \dots (2.8)$$



Gambar 2.11. transformator berbeban  
(sumber SlidePlayer)

## 2.7 RUGI-RUGI DAYA DALAM TRANSFORMATOR

Dasar Ketika Energi Listrik Yang Masuk Ke Transformator Tidak Akan Sama Dengan Energi Listrik Yang Akan Dikeluarkan Dari Transformator. Hal tersebut disebabkan adanya Rugi-Rugi yaitu adanya arus yang hilang



Saat Melewati Trafo Tersebut. Rugi-Rugi Tersebut Dapat Dibagi Menjadi Dua Yaitu : Rugi Inti ( $P_{core}$ ) Dan Rugi Tembaga ( $P_{copper}$ ).

Ketika kondisi beban nol atau tidak berbeban, rugi-rugi yang didapat hanya rugi inti saja. Perubahan beban tidak mempengaruhi rugi inti. Besarnya rugi inti ketika dari beban nol sampai beban penuh nilainya akan terus sama. Secara umum total rugi-rugi pada transformator dirumuskan pada persamaan berikut :

$$P_{losses} = P_{copper} + P_{core} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana :

$P_{losses}$  = Total Rugi-Rugi Transformator (W)

$P_{copper}$  = Rugi-Rugi Kumputan Transformator (W)

$P_{core}$  = Rugi-Rugi Inti Besi Transformator (W)

Pada Kondisi Sebuah Transformator Beroperasi, Maka Transformator Akan menimbulkan Panas. Panas Yang Ditimbulkan Oleh Transformator Ketika Beroperasi ini Yang Disebut Dengan Rugi-Rugi Transformator Terdapat 3 Kerugian Utama Pada transformator Yaitu :

### 1. Rugi-rugi Tembaga (copper losses)

Rugi-Rugi Yang Disebabkan Oleh Arus Mengalir Pada Kawat Tembaga. Rugi Rugi Tembaga Akan Berbanding Lurus Dengan Besarnya Beban Sehingga Meningkatnya Arus Beban Akan Meningkatkan Rugi-Rugi Tembaga Juga. 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. (Risnandar et al., 2021) Adapun Pendekatan Untuk Memperoleh Rugi Tembaga Yaitu:

$$P_{cu} = I_p^2 \times R_1 + I_s^2 \times R_2 \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

$P_{cu}$  = Rugi-Rugi Tembaga (Watt)

$I_p$  = Arus Primer (A)

$I_s$  = Arus Sekunder (A)

$R_1$  = Resistansi Kumparan Primer ( $\Omega$ )

$R_2$  = Resistansi Kumparan Sekunder ( $\Omega$ )

Perumusan Ini Diatas Diperuntukkan Hanya Sebagai Pendekatan. Disebabkan Arus Beban Yang Terus Mengalami Perubahan, Rugi Tembaga Juga Tidak Konstan Karena Tergantung Pada Nilai Beban.

## 2. Rugi-rugi Inti Besi (*core losses*)

Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalan fluksi, magnetik yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melalui kumparan. Inti besi trafo tidak dibuat berbentuk besi tunggal, tetapi dibuat dari pelat besi yang berlapis – lapis. (Risnandar et al., 2021). Rugi inti pada transformator Disebabkan oleh dua bagian, yaitu rugi *hysteresis* dan arus eddy yang dapat diukur melalui percobaan tanpa beban, dimana pada saat tanpa beban rugi hysteresis yaitu rugi yang

disebabkan oleh fluks bolak-balik pada inti besi, sedangkan rugi arus *eddy*, yaitu rugi yang disebabkan oleh arus pusar pada inti besi. Jadi rugi inti dapat ditulis dalam persamaan:

$$P_{fe} = P_h + P_e \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana :

$P_{fe}$  = rugi inti (watt)

$P_h$  = rugi hysteresis (watt)

$P_e$  = rugi arus eddy (watt)

- Rugi *hysteresis* ( $P_h$ )

Rugi *Hysteresis* Adalah Rugi Yang Diakibatkan Oleh Fluks ( $\Phi$ ) Bolak-Balik Di Inti Besi. Pada Besi Yang Mendapat Fluks Bolak-Balik, Rugi *Hysteresis* Per Cycle Berbanding Dengan Luas Lup (Jerat) *Hysteresis* (Elnizar et al., 2021). Rugi *Hysteresis* Dapat Dituliskan Dalam Bentuk Persamaan Sebagai Berikut:

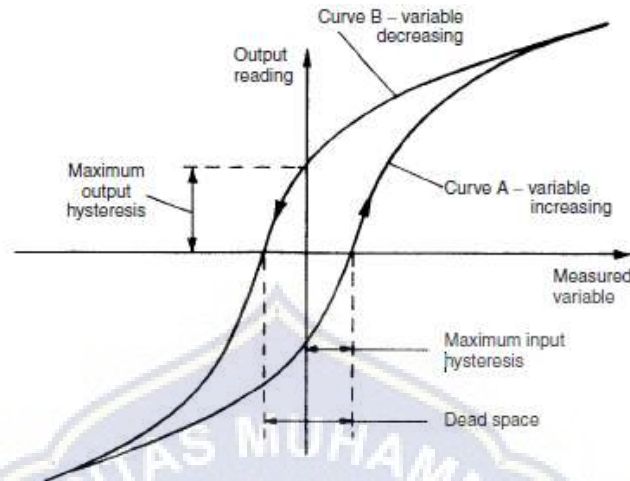
$$P_h = K_h f B_m^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana:

$P_h$  = konstanta Hysteresis

$f$  = frekuensi (Hz)

$B$  = kerapatan fluks maksimum (Tesla)



Gambar 2.12. kurva *hysteresis*  
(sumber M.fazil rambe)

- Rugi-Rugi Arus *Eddy*

Rugi-Rugi Ini Disebabkan Pemanasan Pada Ketebalan Inti Besi Oleh Arus Yang Terinduksi Pada Inti Dan Perbedaan Tegangan Antara Sisinya Akan Membangkitkan Arus Yang Berputar-Putar Pada Sisi Yang Luas/Tebal. Adanya Arus Eddy Berdasar Pada Fluks Magnetik Yang Mana Perbedaan Tegangan Antara Sisinya Yang Memberikan Perubahan Fluks Tersebut. Pada Dasarnya Induksi Tegangan Di Besi Ini Sama Seperti Pada Transformator (Dapat Dianggap Bahwa Tiap Lempeng Besi Adalah Sekunder Yang Terhubung Singkat), Maka Emf Induksi Di Inti Akan Berbanding Dengan Fluks ( $E = 4,44 F N \Phi$ ). Impedansi Dari Inti Yang Di Aliri Arus Dapat Dianggap Konstan Untuk Laminasi Yang Tipis Dan Tidak Tergantung Pada frekuensi, untuk

frekuensi rendah atau frekuensi daya listrik, sehingga dapat dituliskan persamaan:

$$P_e = K_e f^2 B_m^2 \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

$K_e$  = konstanta arus *Eddy*



Gambar 2.13. Ilustrasi timbulnya arus *eddy*  
(Sumber Ruang guru)

Karena Rugi Inti Besi Diperoleh Dari Penjumlahan Rugi Hysteresis Dan Rugi Arus Eddy, Maka Dapat Kita Jumlahkan Persamaan Dari Rugi Inti Besi Dapat Dinyatakan:

$$P_{fe} = K_h f B_m^2 + P_e = K_e f^2 B_m^2 \dots \dots \dots (2.13)$$

### 3. Rugi-Rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator

Sebagai Akibat Dari Ketidakseimbangan Beban Antara Tiap-Tiap Fasa Pada Sisi Sekunder Trafo (Fasa R, Fasa S, Fasa T) Mengalirlah Arus Di Netral Trafo. Arus Yang Mengalir Pada Penghantar Netral Trafo Ini Menyebabkan

Losses (Rugi-Rugi) (Sentosa Setiadji et al., 2008)Rugi-Rugi Pada Penghantar Netral Trafo Ini Dapat Dirumuskan Sebagai Berikut :

$$P_n = I_{N^2} \times N_N \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

$P_N$  = rugi netral penghantar trafo (watt)

$I_N$  = arus netral trafo (A)

$R_N$  = Tahanan Netral Penghantar Trafo (Ohm)

Sedangkan Losses Yang Diakibatkan Karena Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah (Ground) Dapat Dihitung Dengan Perumusan Sebagai Berikut :

$$P_G = I_G^2 \times R_G \dots \dots \dots (2.15)$$

Dimana:

$P_G$  = Losses Akibat Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah (Watt)

$I_G$  = Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah (A)

$R_G$  = Tahanan Pembumian Netral Trafo (Ohm)

Seperti Diketahui, Kerugian Daya Suatu Saluran Merupakan Perkalian Arus Pangkat Dua Dengan Resistansi Atau Reaktansi Dari Saluran Tersebut.

Rugi – Rugi Dapat Dinyatakan Sebagai Berikut.

Rugi Daya Nyata =  $I^2 \cdot R$  Watt

Rugi Daya Reaktif =  $I^2 \cdot X$  Watt

$$\text{Rugi Daya Semu} = \sqrt{(I^2 \cdot R)^2 + (I^2 \cdot X)^2}$$

## 2.8 FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI RUGI-RUGI DAYA

Pemahaman Tentang Faktor-Faktor Ini Penting Untuk Mengoptimalkan Efisiensi Transformator Dan Menerapkan Strategi Yang Tepat Dalam Distribusi Tenaga Listrik. Beberapa Faktor Utama Yang Mempengaruhi Rugi-Rugi Daya Dalam Transformator Adalah:

1. Arus Beban (Load Current): Rugi Tembaga Dalam Transformator Meningkatkan Seiring Dengan Meningkatnya Arus Beban. Semakin Besar Arus Yang Mengalir Melalui Konduktor (Kumparan) Transformator, Semakin Besar Pula Rugi Tembaga Yang Terjadi.
2. Tegangan Beban (Load Voltage): Transformator Yang Bekerja Pada Tegangan Beban Yang Tinggi Memiliki Rugi Tembaga Yang Lebih Besar Dibandingkan Dengan Saat Beroperasi Pada Tegangan Beban Yang Lebih Rendah.
3. Resistansi Kumparan (Coil Resistance): Rugi Tembaga Tergantung Pada Resistansi Kumparan Transformator. Semakin Tinggi Resistansi Kumparan, Semakin Besar Rugi Tembaga Yang Terjadi Saat Arus Melewatinya.
4. Karakteristik Inti Besi (Iron Core Characteristics): Rugi Besi Dalam Transformator Dipengaruhi Oleh Sifat Bahan Inti Besi Dan Besaran Fluks Magnetik Yang Melalui Inti. Transformator Yang Menggunakan Inti Besi Dengan Histeresis Rendah Memiliki Rugi Besi Lebih Kecil.
5. Frekuensi Operasi: Transformator Yang Beroperasi Pada Frekuensi Yang Lebih Tinggi Cenderung Memiliki Rugi Besi Yang Lebih Tinggi Karena Rugi Arus Eddy Meningkat.

6. Beban Tidak Seimbang (Unbalanced Load): Ketidakseimbangan Fasa Atau Magnitudo Pada Beban Yang Terhubung Ke Transformator Dapat Menyebabkan Rugi Tembaga Tambahan. Beban Tidak Seimbang Menghasilkan Arus Yang Berbeda Pada Masing-Masing Fasa Transformator.
7. Suhu Lingkungan: Suhu Lingkungan Juga Dapat Mempengaruhi Rugi-Rugi Daya. Peningkatan Suhu Lingkungan Dapat Meningkatkan Resistansi Kumparan Dan Berkontribusi Pada Rugi Tembaga.
8. Kualitas Material: Kualitas Material Yang Digunakan Dalam Pembuatan Transformator, Seperti Kualitas Konduktor (Tembaga Atau Aluminium) Dan Karakteristik Bahan Inti Besi, Dapat Berpengaruh Terhadap Rugi-Rugi Daya.

### **3.7.1. Definisi Dan Jenis Ketidakseimbangan Beban**

Ketidakseimbangan Beban Terjadi Ketika Arus Atau Daya Yang Dikonsumsi Oleh Konsumen Pada Setiap Fase Distribusi Listrik Tidak Merata. Ini Dapat Disebabkan Oleh Berbagai Faktor, Termasuk Perbedaan Dalam Distribusi Beban Di Antara Fase-Fase, Perubahan Beban Secara Tiba-Tiba, Atau Kondisi Non-Simetris Pada Sistem.

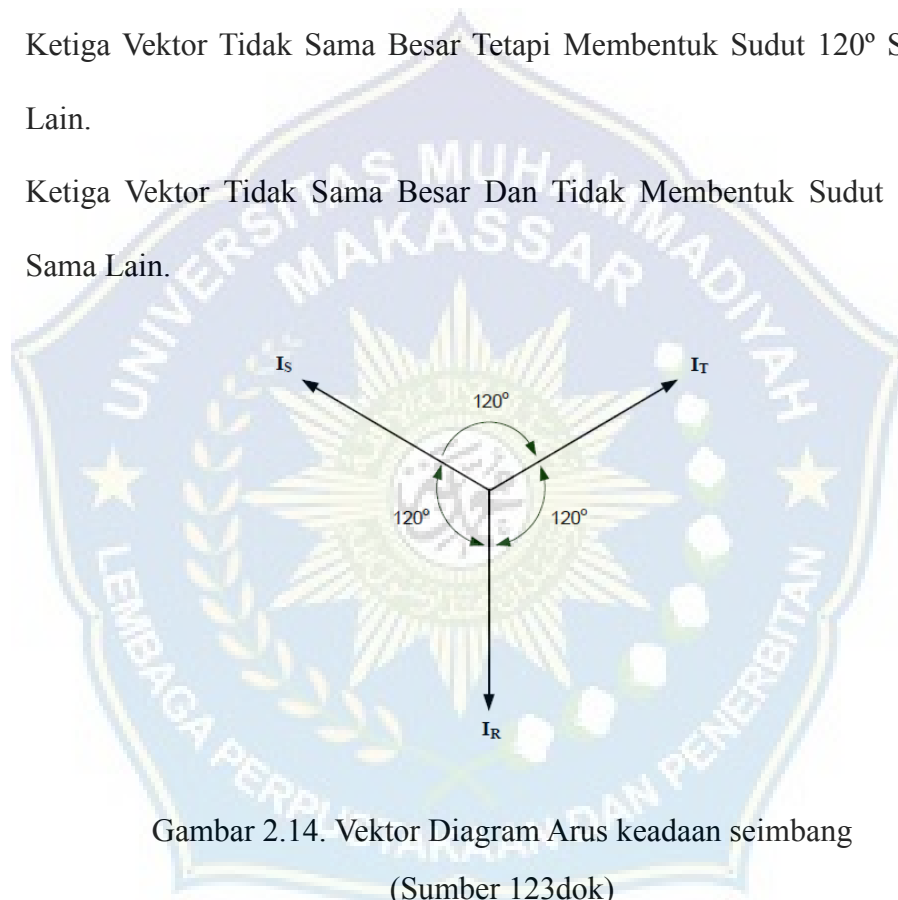
Yang Dimaksud Dengan Keadaan Seimbang Adalah Suatu Keadaan Di Mana :

- Ketiga Vektor Arus / Tegangan Sama Besar.
- Ketiga Vektor Saling Membentuk Sudut  $120^\circ$  Satu Sama Lain.



Sedangkan Yang Dimaksud Dengan Keadaan Tidak Seimbang Adalah Keadaan Di Mana Salah Satu Atau Kedua Syarat Keadaan Seimbang Tidak Terpenuhi. Kemungkinan Keadaan Tidak Seimbang Ada 3 Yaitu:

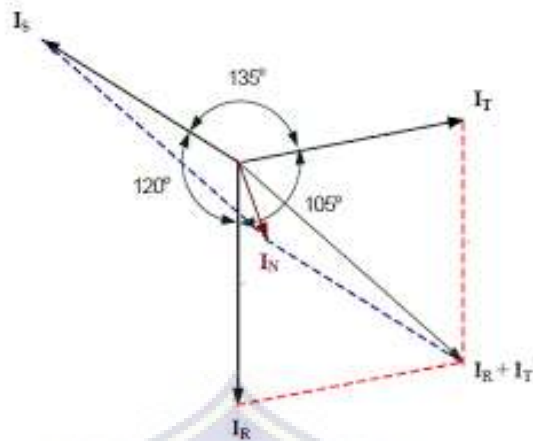
- Ketiga Vektor Sama Besar Tetapi Tidak Membentuk Sudut  $120^\circ$  Satu Sama Lain.
- Ketiga Vektor Tidak Sama Besar Tetapi Membentuk Sudut  $120^\circ$  Satu Sama Lain.
- Ketiga Vektor Tidak Sama Besar Dan Tidak Membentuk Sudut  $120^\circ$  Satu Sama Lain.



Gambar 2.14. Vektor Diagram Arus keadaan seimbang

(Sumber 123dok)

Dari Gambar 2.14 diatas menunjukkan bahwa ketiga vektor arus sama dengan nol ( $I_R$ ,  $I_S$ , dan  $I_T = 0$ ) dan tidak ada arus netral ( $I_N$ ). Selanjutnya, keadaan tidak seimbang merupakan keadaan yang salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, selengkapnya ditunjukkan pada berikut ini:



Gambar 2.15. Vektor Diagram Arus keadaan tidak seimbang  
(Sumber 123dok)

Gambar di atas menunjukkan menunjukkan bahwa ketiga vektor arus tidak sama dengan nol ( $I_R, I_S, \text{ dan } I_T \neq 0$ ) dan muncul arus netral ( $I_N$ ), dimana besarnya sangat tergantung terhadap besarnya sudut vektor ketidakseimbangan yang terbentuk. Akibat Ketidakseimbangan Beban Beban yang tidak seimbang antara fasa R, fasa S, fasa T menyebabkan munculnya arus netral yang kemudian menambah rugi-rugi daya listrik akibat arus pada penghantar netral tersebut. Untuk menentukan arus netral menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I_N = I_R + I_S + I_T \dots\dots\dots(2.16)$$

$$I_N = I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 140^\circ + I_T \angle 120^\circ \dots\dots\dots(2.17)$$

Ketidakseimbangan Beban Dapat Dibagi Menjadi Dua Jenis Utama:

a. Ketidakseimbangan Fasa (Phase Unbalance):

Terjadi Ketika Beban Pada Masing-Masing Fase Tidak Merata. Ini Dapat Terjadi Akibat Perbedaan Dalam Distribusi Beban Atau Karena Beban Tiba-Tiba Berubah Pada Satu Atau Dua Fase.

b. Ketidakseimbangan Magnitudo (Magnitude Unbalance):

Terjadi Ketika Beban Pada Masing-Masing Fase Memiliki Magnitudo Yang Berbeda. Ketidakseimbangan Magnitudo Dapat Menyebabkan Arus Beban Yang Berbeda Di Setiap Fase.

### 3.7.2. Penyebab Ketidakseimbangan Beban

Ada Beberapa Faktor Yang Dapat Menyebabkan Ketidakseimbangan Beban Dalam Distribusi Tenaga Listrik, Termasuk:

- Perubahan Tiba-Tiba Dalam Konsumsi Daya Oleh Beberapa Konsumen.
- Tipe Beban Yang Tidak Seimbang Pada Setiap Fase, Seperti Mesin Induksi Tiga Fasa, Motor, Atau Peralatan Industri Lainnya.
- Distribusi Beban Yang Tidak Merata Di Wilayah Tertentu, Seperti Konsentrasi Industri Di Satu Daerah Yang Menyebabkan Beban Lebih Tinggi Pada Satu Fase.

### 3.7.3. Dampak Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator

Ketidakseimbangan Beban Memiliki Beberapa Dampak Pada Transformator, Termasuk:

- Peningkatan Rugi Tembaga: Ketidakseimbangan Beban Dapat Menyebabkan Arus Yang Berbeda Di Setiap Fase, Meningkatkan Rugi Tembaga Dalam Transformator.
- Peningkatan Panas: Peningkatan Arus Dalam Satu Atau Dua Fase Dapat Menyebabkan Peningkatan Panas Di Komponen Transformator Tersebut.
- Penurunan Umur Pakai: Panas Yang Dihasilkan Oleh Ketidakseimbangan Beban Dapat Mempercepat Penuaan Isolasi Dan Komponen Lainnya Pada Transformator, Mengurangi Umur Pakainya.

## 2.9 PERHITUNGAN ARUS BEBAN PADA TRANSFORMATOR

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam rangkaian listrik.

### a. Daya Aktif

Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya, daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan  $S \cos \theta$  atau  $V I \cos \theta$ . Persamaan daya aktif dapat dilihat pada Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20.

$$P = V . I . \cos \theta \dots\dots\dots (2.19)$$

Persamaan di atas untuk menghitung daya aktif satu fasa, sedangkan persamaan untuk tiga fasa adalah :

$$P = V . I . \text{Cos } \theta . \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

$P = \text{Daya Aktif (Watt)}$

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

$I = \text{Arus Listrik (Ampere)}$

$\text{Cos } \theta = \text{Faktor Daya}$

b. Daya Reaktif

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet, dari pembentukan medan magnet, lihat pada Persamaan 2.21 dan Persamaan 2.22. Untuk menghitung daya reaktif satu fasa

$$Q = V . I . \text{Sin } \theta \dots\dots\dots(2.21)$$

Sedangkan persamaan untuk tiga fasa adalah :

$$Q = V . I . \text{Sin } \theta . \sqrt{3} \dots\dots\dots(2.22)$$

c. Daya Semu

Volt Ampere sama dengan  $V \times I$  dan daya nyatanya adalah  $V \times I$  Dapat dilihat pada Persamaan 2.23.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.23)$$

Dimana:

$P = \text{Daya Aktif (Watt)}$

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

$$Q = \text{Daya Reaktif (VAR)}$$

d. Faktor Daya Faktor

Daya yang dinotasikan sebagai  $\cos \phi$  didefinisikan sebagai perbandingan antara arus yang dapat menghasilkan kerja didalam suatu rangkaian terhadap arus total yang masuk.. Faktor daya ditunjukkan oleh Persamaan 2.24.

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (2.24)$$

Daya Kerja Pada Transformator Menandakan Kapasitas Transformator Tersebut. Karena Sudah Diketahui Rating Tegangan Pada Sisi Primer Dan Sekunder, Maka Dapat Dirumuskan Sebagai Berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots \dots \dots (2.25)$$

Dimana:

S = Daya Pada Transformator (Kva)

V = Tegangan Pada Transformator (V)

I = Arus Jala-Jala Pada Transformator (A)

Menghitung Arus Beban Penuh ( $I_{fl}$ ) Dan Arus Rata-Rata ( $I_{avr}$ ) Dapat Menggunakan Rumus Sebagai Berikut:

$$I_{\text{beban Penuh}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_s + I_R + I_T}{3} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dimana:

$I_{\text{beban Penuh}} = \text{Arus Beban Penuh (A)}$

$S = \text{Daya Transformator (Kva)}$

$V = \text{Tegangan Sisi Sekunder Transformator (Kv)}$

$I_{\text{rata-Rata}} = \text{Arus Rata-Rata (A)}$

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

Sedangkan Untuk Mencari Persentase Pembebanan Pada Transformator Distribusi Dapat Digunakan Rumus Sebagai Berikut :

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{beban Penuh}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.28)$$

Dimana:

$\% \text{ Pembebanan} = \text{Persentase Pembebanan Transformator (\%)}$

Jika  $I$  Adalah Besaran Arus Phase Dalam Penyaluran Daya Sebesar  $P$  Pada Keadaan Seimbang, Maka Pada Penyaluran Daya Yang Sama Tetapi Dengan Keadaan Yang Tidak Seimbang Besarnya Arus-Arus Phase Dapat Dinyatakan Dengan Keofisien  $A, B, C$  Sebagai Berikut :

$$I_R = a . I \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$I_S = b . I \text{ maka } a = \frac{I_S}{I} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$I_T = c . I \text{ maka } a = \frac{I_T}{I} \dots \dots \dots (2.31)$$

Dengan  $I_r$ ,  $I_s$  Dan  $I_t$  Berturut-Turut Adalah Arus Di Phase R, S Dan T. Koefisien A, B, Dan C Dapat Diketahui Besarnya, Dimana Pada Keadaan Seimbang Besarnya Koefisien A, B, Dan C Adalah 1. Maka Rata-Rata Ketidakseimbangan Beban (Dalam %) Adalah :

$$I_{rata-rata} \% = \frac{\{|a-b|+|a-b|+|a-b|\}}{3} \times 100\% \dots \dots \dots (2.32)$$

*Losses* (Rugi-Rugi) Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Transformator. Sebagai Akibat Dari Ketidakseimbangan Beban Antara Tiap-Tiap Fasa Pada Sisi Sekunder Trafo (Fasa R, Fasa S, Fasa T) Mengalirlah Arus Di Netral Trafo. Arus Yang Mengalir Pada Penghantar Netral Trafo Ini Menyebabkan *Losses* (Rugi-Rugi). *Losses* Pada Penghantar Netral Trafo Ini Dapat Dirumuskan Sebagai Berikut:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana:

$P_N$  = *Losses* Pada Penghantar Netral Trafo (Watt)

$I_N$  = Arus Yang Mengalir Pada Netral Trafo (A)

$R_N$  = Tahanan Penghantar Netral Trafo ( $\Omega$ )

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

$$P_G = I_G^2 \times R_G \dots \dots \dots (2.35)$$

dimana:



$P_G$  = losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

$I_G$  = arus netral yang mengalir ke tanah (A)

$R_G$  = tahanan pembumian netral trafo ( $\Omega$ )



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN**

Lokasi Penelitian Ini Adalah ULTG Panakkukang, Jl. Hertasning Bar, Kec. Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. Penelitian Ini Mulai Bulan 1, Juli, 2023 - Selesai.

#### **3.2 METODE PENELITIAN**

Metode penelitian Yang Dilakukan Dalam tugas akhir Ini Adalah metode penelitian Kuantitatif. Penelitian Kuantitatif Merupakan Pendekatan Ilmiah Yang Mengumpulkan Dan Menganalisis Data Berupa Angka Atau Variabel Kuantitatif Untuk Menjawab Pertanyaan Penelitian. Tujuan Utama Dari Penelitian Kuantitatif Adalah Mengidentifikasi Hubungan Antara Variabel-Variabel Yang Diukur, Membuat Generalisasi Yang Obyektif, Dan Mengukur Dampak Dari Suatu Variabel Terhadap Variabel Lainnya. Penelitian Kuantitatif Adalah Pendekatan Yang Tepat Untuk Menganalisis Dampak Ketidakseimbangan Beban Pada Rugi-Rugi Daya Transformator Menggunakan Data Kuantitatif Dan Perhitungan Matematis. Penelitian Kuantitatif Akan Menggunakan Data Kuantitatif, Seperti Arus, Tegangan, Dan Parameter Teknis Transformator, Untuk Menganalisis Dampak Ketidakseimbangan Beban Pada Rugi-Rugi Daya Transformator. Perhitungan Matematis Akan Digunakan Untuk Mengukur Besaran Rugi-Rugi Daya.

### 3.3 TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Adapun Cara Dalam Pengumpulan Data Pada Penelitian Ini Adalah Sebagai Berikut:

#### a. Studi Literatur

Studi Literatur Adalah Pengumpulan Referensi Dari Buku-Buku, Penelitian Sebelumnya Dan Jurnal-Jurnal Dari Internet Yang Berhubungan Atau Yang Dapat Mendukung Teori Penyelesaian Penelitian Ini

#### b. Pengambilan Data Di ULTG Panakkukang

Dalam Penelitian Ini, Penulis Melakukan Pengambilan Data Di PT. PLN (Persero) ULTG Panakkukang. Pengambilan Data Dilakukan Dengan Cara Meminta Data Yang Sudah Ada Pada PT. PLN (Persero). Data Diperoleh Dengan Mengikuti Prosedur Yang Ada Pada Instansi Tersebut Yaitu Dengan Cara Mengirimkan Surat Izin Pengambilan Data Dari Pihak Universitas. Seterusnya Menunggu Balasan Dari Pihak PLN, Setelah Surat Balasan Diperoleh Baru Dilakukan Pengambilan Data Sesuai Kebutuhan Untuk Penelitian.

#### c. Teknik Dokumentasi

Teknik Dokumentasi Yaitu Usaha Untuk Memperoleh Data Dan Informasi Melalui Pengamatan Yang Berhubungan Dengan Transformator Pada ULTG Panakkukang.

### 3.4 ANALISA DATA

Analisa Data Dilakukan Setelah Pengambilan Data Di PT. PLN (Persero) ULTG Panakkukang. Data-Data Yang Diperoleh Diubah Kedalam Bentuk Matematis Dan Dianalisis Menggunakan Persamaan Yang Telah Ada. Dalam menganalisi data yang diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. Mencari daya semu

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots(2.23)$$

- b. Mencari beban penuh

$$I_{\text{beban Penuh}} = \frac{s}{\sqrt{3} \times v} \dots\dots\dots(2.26)$$

- c. Mencari Rata-rata beban pada trafo dan persentase pembebanannya

$$I_F = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(2.27)$$

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{beban Penuh}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.28)$$

- d. Mencari Besar ketidakseimbangan beban dan persentase ketidakseimbangannya

$$I_R = a \times I \text{ Jadi } a = I_R / I_{\text{rata-rata}} \dots\dots\dots(2.29)$$

$$I_S = b \times I \text{ Jadi } b = I_S / I_{\text{rata-rata}} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$I_T = c \times I \text{ Jadi } c = I_T / I_{\text{rata-rata}} \dots\dots\dots(2.31)$$

$$= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

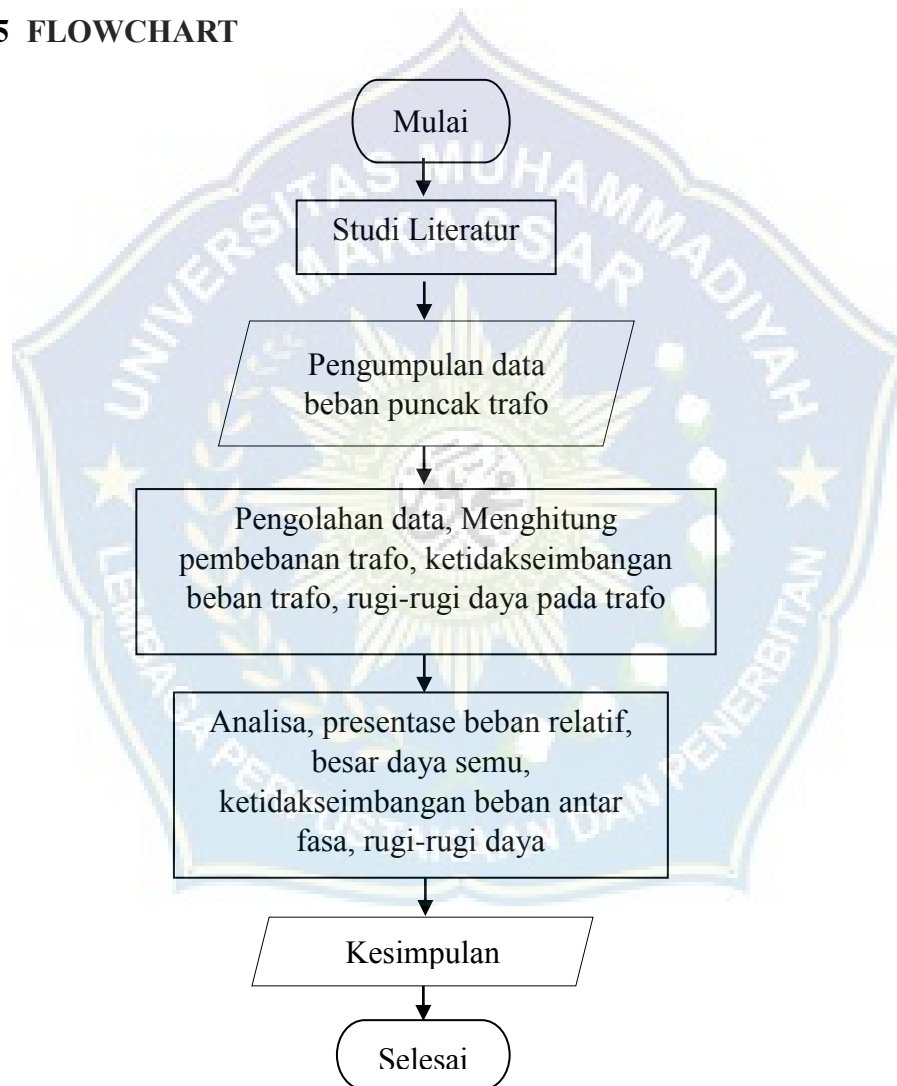
e. Mencari Nilai  $I_N$

$$I_N = I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 240^\circ + I_T \angle 120^\circ \dots\dots\dots(2.17)$$

f. Mencari rugi-rugi daya terhadap arus netral

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots\dots\dots(2.34)$$

### 3.5 FLOWCHART



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 JENIS TRAFU YANG DIGUNAKAN

Name plate transformator di Gardu Induk ULTG Panakkukang

Tabel 4.1 Name Plate Transformator

No.	Spesifikasi	Transformator
1.	Merk	PUWESLS TRAFU
2.	Pendingin	ONAN / ONAF
3.	Phasa	3
4.	Daya (S)	36/60 MVA
5.	Impedensi	12.7%
6.	Tegangan	$V_p = 150 \text{ Kv}$ $V_s = 20 \text{ Kv}$
7.	$R_G R_N$	$40 \Omega$
8.	Frekuensi	50 Hz



Gambar 4.1. spesifikasi trafo ULTG Panakkukang  
(Sumber Ultg Pnakkukang)

## 4.2 DATA HASIL PENGKURAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR ULTG PANAKKUKANG

Penelitian ini dilakukan pengambilan data yang berupa data beban pada transformator dari tanggal 1 sampai 31 Juli 2023. Berikut data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

Tabel 4.2 Beban Puncak Transformator Pada siang hari

TGL	JAM	BEBAN PUNCAK SIANG					
		KV	MW	MVAR	AMPERE		
					R	S	T
1	13.00	20.3	33	7.1	960	969	963
2	14.30	20.4	33.6	7.1	977	1002	983
3	13.00	20.2	35.2	7.1	1032	1051	1043
4	15.30	20.2	34.6	7.1	1006	1029	1014
5	16.00	20.1	38	8.1	1115	1138	1120
6	16.00	20.2	37.7	8.1	1085	1113	1099
7	12.30	20.3	37.2	7.1	1077	1103	1089
8	14.30	20.2	36.6	7.1	1062	1093	1073
9	14.00	20.2	34.6	7.1	1000	1016	1001
10	12.00	20.2	34.6	7.1	1000	1016	1001
11	14.00	20.2	37.2	7.1	1084	1111	1093
12	12.30	20.3	36.7	7.1	1074	1097	1084
13	13.30	20.2	34.8	7.1	1020	1045	1036
14	12.00	20.2	35.5	7.1	1026	1052	1040
15	12.00	20.2	34.8	7.1	1018	1046	1027
16	13.00	20.2	33	6.1	980	1000	980
17	12.30	20.3	34.7	7.1	1018	1033	1026
18	14.00	20.2	35.5	7.1	1022	1047	1035
19	14.00	20.3	33.6	6.1	992	997	994
20	15.00	20.3	37.9	7.1	1111	1133	1125
21	16.00	20.1	38.1	8.1	1104	1134	1115
22	12.30	20.3	36.4	8.1	1059	1115	1011
23	16.00	20.2	34.5	6.1	1013	1020	1018
24	12.30	20.2	36.9	7.1	1078	1101	1091
25	15.00	20.2	36.4	7.1	1059	1082	1072
26	14.30	20.1	36.6	7.1	1053	1080	1060
27	15.30	20.2	37.9	8.1	1110	1138	1125
28	14.00	20.3	37.7	7.1	1094	1114	1105
29	14.30	20.4	36.6	7.1	1057	1080	1066
30	16.00	20.3	34.6	7.1	1011	1035	1022
31	14.00	20.1	36.7	7.1	1072	1089	1083

Pada tabel 4.2, merupakan beban puncak trafo pada siang hari dalam bentuk data numerik. Data ini termasuk informasi tentang jam (JAM), tegangan (KV), daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), dan arus (AMPERE) pada tiga fase yang direpresentasikan sebagai R, S, dan T. Pada tabel di atas tegangan (KV), dengan nilai berkisar antara 20.1 hingga 20.4 KV. daya aktif (MW) juga mencapai kisaran 33 hingga 38 MW, sedangkan daya reaktif (MVAR) di sekitar 6,1 hingga 8.1 MVAR. Arus (AMPERE) pada fase R, S, dan T berkisar dari 960 hingga 1138.

Tabel 4.3. Beban Puncak Transformator Pada malam hari

TGL	JAM	BEBAN PUNCAK PADA MALAM HARI					
		KV	MW	MVAR	AMPERE		
					R	S	T
1	19.00	20.3	36.1	6.1	1037	1063	1044
2	18.30	20.4	34.9	6.1	1012	1036	1018
3	19.30	20.3	34.9	6.1	1023	1042	1034
4	19.00	20.3	37.1	7.1	1062	1082	1069
5	19.00	20.2	38.8	7.1	1112	1143	1121
6	19.00	20.2	39.7	7.1	1157	1180	1158
7	19.00	20.3	38.7	7.1	1122	1148	1134
8	18.30	20.2	38.4	6.1	1116	1147	1127
9	19.00	20.2	37.1	6.1	1073	1099	1080
10	19.30	20.3	38.4	6.1	1123	1147	1127
11	18.30	20.2	38.8	7.1	1117	1144	1124
12	19.00	20.2	37.6	7.1	1101	1124	1111
13	19.00	20.3	36.9	6.1	1062	1093	1073
14	19.00	20.2	36.7	6.1	1058	1088	1072
15	19.00	20.2	36.9	6.1	1060	1088	1072
16	19.00	20.3	34.6	6.1	1002	1022	1003
17	19.00	20.2	37.1	6.1	1090	1105	1098
18	19.30	20.3	36.9	6.1	1073	1089	1082
19	18.30	20.3	37.2	6.1	1105	1110	1107
20	19.00	20.2	40.2	7.1	1159	1190	1169



21	19.00	20.2	40.1	7.1	1163	1190	1171
22	19.00	20.3	38.2	6.1	1113	1138	1120
23	18.30	20.2	37.2	6.1	1077	1104	1082
24	19.00	20.3	38.7	6.1	1132	1155	1145
25	19.00	20.2	39	7.1	1123	1142	1134
26	18.30	20.2	39.2	7.1	1133	1156	1139
27	19.30	20.2	40	7.1	1158	1175	1166
28	19.00	20.3	38.8	7.1	1127	1147	1138
29	19.00	20.3	38.4	6.1	1102	1125	1111
30	19.00	20.3	37.6	7.8	1090	1109	1096
31	19.00	20.3	39.1	7.1	1144	1161	1155

Pada tabel 4.3, merupakan beban puncak trafo pada malam hari dalam bentuk data numerik. Data ini termasuk informasi tentang jam (JAM), tegangan (KV), daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), dan arus (Ampere) pada tiga fase yang direpresentasikan sebagai R, S, dan T. terlihat variasi dalam tegangan (KV), dengan nilai berkisar antara 20.2 hingga 20.3 KV. daya aktif (MW) juga mencapai kisaran 36.1 hingga 40.2 MW, sedangkan daya reaktif (MVAR) di sekitar 6, hingga 7.8 MVAR. Arus (Ampere) pada fase R, S, dan T berkisar dari 1002 A hingga 1158 A

#### 4.3 PERHITUNGAN KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN PADA TRAF0

Dalam analisis beban ini perlu diketahui terlebih dahulu Daya semu-nya dengan menggunakan persamaan 2.23

$$S_{Siang} = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (2.23)$$

$$S_{Siang} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{33^2 + 7.1^2} = 33.76 \text{ MVA}$$

$$S_{malam} = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{36.1^2 + 6.1^2} = 36.61 \text{ MVA}$$

Menghitung beban penuh pada trafo dengan menggunakan persamaan:

$$I_{\text{beban Penuh}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots \dots \dots (2.26)$$

$$S = 33.76 \text{ MVA} = 33.76 \times 1.000.000 \text{ VA} = 33.760.000 \text{ VA}$$

$$V = 20.3 \text{ KV} = 20.3 \times 1000 \text{ V} = 20.300 \text{ V}$$

$$I_{F \text{ siang}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{33,760,000}{\sqrt{3} \times 20.300} = 136782.8 \text{ A}$$

$$I_{F \text{ malam}} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{36,610,000}{\sqrt{3} \times 20.300} = 148358.3 \text{ A}$$

Menghitung Rata-rata beban pada trafo dengan menggunakan persamaan:

$$I_F = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots \dots \dots (2.27)$$

$$I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{960 + 969 + 963}{3} = 964 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{1037 + 1063 + 1044}{3} = 1048 \text{ A}$$

Jadi persentase bebannya adalah

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{beban Penuh}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.28)$$

$$\frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_F} = \times 100\% = \frac{964}{136782.8} \times 100\% = 70\%$$

$$\frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_F} = \times 100\% = \frac{1048}{4.6912} \times 100\% = 22.31\%$$

### Analisa ketidakseimbangan beban

Dari data diatas dapat dilihat bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang. Besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$I_R = a \times I \text{ Jadi } a = I_R/I_{rata-rata} \dots \dots \dots (2.29)$$

$$I_S = b \times I \text{ Jadi } b = I_S/I_{rata-rata} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$I_T = C \times I \text{ Jadi } C = I_T/I_{rata-rata} \dots \dots \dots (2.31)$$

a. Ketidakseimbangan beban siang hari

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{919}{964} = 0.996$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{920}{964} = 1.005$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{963}{964} = 0.999$$

Jadi persentase ketidakseimbangan beban adalah:

$$\begin{aligned} &= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0.99 - 1| + |1.005 - 1| + |0.99 - 1|\}}{3} \times 100\% = 13.8\% \end{aligned}$$

b. Ketidakseimbangan beban malam hari

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{1037}{1048} = 0.990$$

$$b = \frac{I_s}{I_{rata-rata}} = \frac{1063}{1048} = 1.014$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{1044}{1048} = 0.996$$

jadi persentase ketidakseimbangan beban adalah:

$$= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|0,98 - 1| + |1,01 - 1| + |0,99 - 1|\}}{3} \times 100\% = 35.17\%$$

Dari hasil perhitungan diatas terlihat bahwa persentase ketidakseimbangan beban trafo lebih besar terjadi malam hari yaitu 35.17% dibandingkan siang hari yaitu sebesar 13.8%.

#### 4.4 HASIL PERHITUNGAN KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN

Tabel 4.4 perhitungan ketidakseimbangan beban puncak pada siang hari

Tgl	Daya Semu (Mva)	Beban Penuh Trafo (A)	Rata-Rata Beban	Beban (%)	Ketidakseimbangan Beban (A)			
					IR	IS	IT	Persentase Ketidakseimbangan %
1	33.76	136782.8	964	70%	0.996	1.005	0.999	13.8%
2	34.34	138819.1	987	71%	0.990	1.015	0.996	35.1%
3	35.91	145870.0	1042	71%	0.990	1.009	1.001	32.0%
4	35.32	143481.6	1016	71%	0.990	1.012	0.998	34.0%
5	38.85	158224.5	1124	71%	0.992	1.012	0.996	27.8%
6	38.56	156640.7	1099	70%	0.987	1.013	1.001	42.5%
7	37.87	153463.0	1090	71%	0.988	1.012	0.999	38.8%
8	37.28	151449.0	1076	71%	0.987	1.016	0.997	43.5%
9	35.32	143481.6	1006	70%	0.994	1.010	0.995	18.9%
10	35.32	143481.6	1006	70%	0.994	1.010	0.995	18.9%

11	37.87	153842.4	1096	71%	0.989	1.014	0.997	36.6%
12	37.38	151473.3	1085	72%	0.990	1.011	0.999	33.8%
13	35.52	144277.5	1034	72%	0.987	1.011	1.002	44.2%
14	36.20	147064.8	1039	71%	0.987	1.012	1.001	42.8%
15	35.52	144277.5	1030	71%	0.988	1.015	0.997	40.1%
16	33.56	136324.3	987	72%	0.993	1.014	0.993	22.8%
17	35.42	143524.7	1026	71%	0.993	1.007	1.004	24.9%
18	36.20	147064.8	1035	70%	0.988	1.012	1.005	40.8%
19	34.15	138379.7	994	72%	0.998	1.003	1.001	7.8%
20	38.56	156250.2	1123	72%	0.989	1.009	1.002	35.7%
21	38.95	158622.8	1118	70%	0.988	1.015	0.998	40.9%
22	37.29	151108.1	1062	70%	0.997	1.050	0.952	16.4%
23	35.04	142320.5	1017	71%	0.996	1.003	1.001	13.1%
24	37.58	152645.5	1090	71%	0.989	1.010	1.001	36.7%
25	37.09	150651.5	1071	71%	0.989	1.010	1.001	37.4%
26	37.28	151825.3	1064	70%	0.989	1.015	0.996	35.7%
27	38.76	157435.1	1124	71%	0.987	1.012	1.001	42.5%
28	38.36	155453.7	1104	71%	0.991	1.009	1.001	31.2%
29	37.28	150704.8	1068	71%	0.990	1.012	0.998	33.4%
30	35.32	143127.7	1023	71%	0.989	1.012	0.999	38.1%
31	37.38	152225.1	1081	71%	0.991	1.007	1.002	28.8%

Dari tabel 4.4, dapat di lihat bagaimana ketidakseimbangan beban puncak pada bulan juli 2023, pada siang hari mengalami perubahan-perubahan yang signifikan. dari tabel di atas Besar daya semu yang disalurkan dari yang paling rendah: 33.76 MVA hingga paling tinggi: 38.95 MVA mengindikasikan perubahan permintaan energi listrik dalam skala yang berbeda-beda. Rata-rata beban pada trafo berada dalam kisaran 964 hingga 1124 A, dengan persentase

beban relatif terhadap kapasitas trafo yang yang relatif stabil antara 70% hingga 72%.

ketidakseimbangan beban antara fase-fase, Ketidakseimbangan tersebut diukur dengan persentase ketidakseimbangan yang berkisar antara 7.8% hingga 44.2%. Ini menunjukkan variasi dalam distribusi beban di antara fase-fase tertentu. Terutama pada hari ke-13, terlihat ketidakseimbangan beban paling tinggi yaitu 44.2%. Sementara itu, pada hari ke-19, ketidakseimbangan paling rendah dengan persentase 7.8%.

Tabel 4.5. hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada malam hari

Tgl	Daya Semu (Mva)	Beban Penuh Trafo (A)	Rata-Rata Beban	Beban (%)	Ketidakseimbangan Beban (A)			
					IR	IS	IT	Persentase Ketidakseimbangan %
1	36.612	148358.3	1048	71%	0.990	1.014	0.996	35.17%
2	35.429	143213.6	1022	71%	0.990	1.014	0.996	32.79%
3	35.429	143565.9	1033	72%	0.990	1.009	1.001	32.30%
4	37.773	153065.0	1071	70%	0.992	1.010	0.998	28.08%
5	39.444	160231.4	1125	70%	0.988	1.016	0.996	39.70%
6	40.330	163829.0	1165	71%	0.993	1.013	0.994	23.15%
7	39.346	159437.6	1135	71%	0.989	1.012	0.999	37.23%
8	38.881	157945.2	1130	72%	0.988	1.015	0.997	41.43%
9	37.598	152732.0	1084	71%	0.990	1.014	0.996	34.00%
10	38.881	157555.7	1132	72%	0.992	1.013	0.995	27.68%
11	39.444	160231.4	1128	70%	0.990	1.014	0.996	33.66%
12	38.264	155438.8	1112	72%	0.990	1.011	0.999	33.01%
13	37.401	151555.7	1076	71%	0.987	1.016	0.997	43.52%
14	37.203	151128.9	1073	71%	0.986	1.014	0.999	45.61%
15	37.401	151930.4	1073	71%	0.988	1.014	0.999	41.46%
16	35.134	142368.5	1009	71%	0.993	1.013	0.994	23.38%
17	37.598	152732.0	1098	72%	0.993	1.007	1.000	23.29%
18	37.401	151555.7	1081	71%	0.992	1.007	1.001	25.70%

19	37.697	152755.2	1107	72%	0.998	1.002	1.000	7.03%
20	40.822	165828.8	1173	71%	0.988	1.015	0.997	39.00%
21	40.724	165428.7	1175	71%	0.990	1.013	0.997	33.24%
22	38.684	156755.4	1124	72%	0.991	1.013	0.997	31.78%
23	37.697	153132.9	1088	71%	0.990	1.015	0.995	32.95%
24	39.178	158756.5	1144	72%	0.990	1.010	1.001	34.99%
25	39.641	161030.6	1133	70%	0.991	1.008	1.001	29.44%
26	39.838	161830.0	1143	71%	0.992	1.012	0.997	28.32%
27	40.625	165028.8	1166	71%	0.993	1.007	1.000	23.82%
28	39.444	159836.2	1137	71%	0.991	1.008	1.001	30.30%
29	38.881	157555.7	1113	71%	0.990	1.011	0.999	32.01%
30	38.401	155606.8	1098	71%	0.992	1.010	0.998	25.36%
31	39.739	161032.2	1153	72%	0.992	1.007	1.001	27.01%

Dari tabel 4.5 dapat di lihat daya semu yang terpasang pada trafo mencapai 36.612 MVA, dengan beban penuh trafo sebesar 148358.3 A. Rata-rata beban harian mencapai 1048 A, dan persentase beban mendekati kapasitas penuh trafo sekitar 71%. Terjadi ketidakseimbangan beban antara fase-fase dengan persentase 35.17%, di mana arus fase-fase tidak seimbang secara merata.

Pada hari-hari berikutnya, dengan variasi daya semu dan beban penuh trafo yang tercatat. Persentase beban relatif konstan pada sekitar 70-72%. Namun, terjadi variasi dalam ketidakseimbangan beban. Pada hari-hari tertentu, persentase ketidakseimbangan mencapai angka yang signifikan, seperti pada hari ke-13 dan ke-14, dengan masing-masing persentase 43.52% dan 45.61%.

Pada pertengahan bulan, terdapat beberapa perubahan dalam rata-rata beban harian dan daya semu. Namun, persentase beban tetap dalam kisaran yang serupa. Terlihat juga bahwa ketidakseimbangan beban tetap menjadi hal yang

signifikan pada beberapa hari. Kemudian, pada hari ke-19, terjadi penurunan besar dalam persentase ketidakseimbangan menjadi 7.03%.

### Perhitungan Nilai $I_N$

Akibat dari ketidaksimbangan beban tersebut maka akan terdapat arus yang mengalir pada fasa netral. Arus yang mengalir pada penghantar dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17. berikut ini perhitungan  $I_N$  pada transformator

$$I_N = I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 240^\circ + I_T \angle 120^\circ \dots\dots\dots(2.17)$$

$$I_{N\text{Siang}} = 960 \angle 0^\circ + 969 \angle 240^\circ + 1044 \angle 120^\circ$$

$$I_{N\text{Siang}} = 960 + j 0 + (-484.50 - j 839.8) + (-522 + j 904.131)$$

$$I_{N\text{Siang}} = 960 + j 0 + (-484.5) - j 839.179 + (-522) + j 904.131$$

$$I_{N\text{Siang}} = 960 + (-484.5) + (-522) + j 0 + (-j 839.179) + j 904.131$$

$$I_{N\text{Siang}} = -46.5 + j 64.952$$

$$I_{N\text{Siang}} = \sqrt{-46.5^2 + 64.952^2} = \sqrt{2162.25 + 4218.77} = \sqrt{6381.02} = 79.88 \text{ A}$$

$$I_{N\text{malam}} = 1037 \angle 0^\circ + 1063 \angle 240^\circ + 1044 \angle 120^\circ$$

$$I_{N\text{Malam}} = 1037 + j 0 + (-531.5) - j 920.59 + (-522) + j 904.131$$

$$I_{N\text{Malam}} = 1037 + (-531.5) + (-522) + j 0 - j 920.59 + j 904.131$$

$$I_{N\text{Malam}} = -16.5 - j 16.459$$

$$I_{N\text{malam}} = \sqrt{-16.5^2 + (-16.459)^2} = \sqrt{272.25 + 270.89} = \sqrt{543.14} \\ = 23.31 \text{ A}$$



Perhitungan rugi-rugi daya pada arus netral

Akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo maka menimbulkan rugi-rugi daya dapat dihitung besarnya, Dengan menggunakan persamaan:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots \dots \dots (2.34)$$

$$P_{N \text{ siang}} = (7.88)^2 \times 40 \Omega$$

$$P_{N \text{ siang}} = 62.0944 \times 40 \Omega$$

$$P_{N \text{ siang}} = 2483.776 \text{ watt}$$

$$P_{N \text{ malam}} = (23.31)^2 \times 40 \Omega$$

$$P_{N \text{ malam}} = 543.3561 \times 40 \Omega$$

$$P_{N \text{ malam}} = 21734.244 \text{ watt}$$

Tabel 4.6. Hasil pengukuran rugi-rugi daya terhadap arus netral

Tgl	I <sub>N</sub> siang		I <sub>N</sub> Malam		Resistansi (Ω)	P <sub>N</sub> Siang (Watt)	P <sub>N</sub> Malam (Watt)
	I <sub>N</sub>	Sudut	I <sub>N</sub>	Sudut			
1	79.88	64.952 <sup>0</sup>	23.31	44.39 <sup>0</sup>	40 Ω	255232.576	21734.244
2	21.633	133.899 <sup>0</sup>	17.53	13.49 <sup>0</sup>	40 Ω	18719.4676	10713492
3	16.523	155.206 <sup>0</sup>	9.17	49.11 <sup>0</sup>	40 Ω	10920.3812	3363.556
4	19.843	139.107 <sup>0</sup>	17.58	39.83 <sup>0</sup>	40 Ω	15749.786	12362.256
5	20.953	131.926 <sup>0</sup>	27.63	43.62 <sup>0</sup>	40 Ω	17561.1284	30536.676
6	24.249	150.001 <sup>0</sup>	22.51	57.79 <sup>0</sup>	40 Ω	23520.56	20268.004
7	22.539	147.458 <sup>0</sup>	21.13	89.94 <sup>0</sup>	40 Ω	20320.2608	33939219.1
8	21.072	142.714 <sup>0</sup>	27.22	39.51 <sup>0</sup>	40 Ω	17761.1674	29637.136
9	15.525	123.197 <sup>0</sup>	23.16	44.56 <sup>0</sup>	40 Ω	9641.025	21455.424
10	15.525	123.197 <sup>0</sup>	22.27	51.05 <sup>0</sup>	40 Ω	9641.025	19838.116
11	23.811	139.107 <sup>0</sup>	24.27	45.53 <sup>0</sup>	40 Ω	22678.5488	23561.316
12	19.564	144.869 <sup>0</sup>	19.98	34.31 <sup>0</sup>	40 Ω	15310.0038	15968.016
13	21.932	159.181 <sup>0</sup>	27.22	39.51 <sup>0</sup>	40 Ω	19240.505	29637.136
14	22.789	151.357 <sup>0</sup>	26	32.21 <sup>0</sup>	40 Ω	20773.5408	27040
15	24.759	138.3482 <sup>0</sup>	24.33	34.72 <sup>0</sup>	40 Ω	24520.3232	23677.956
16	20	120.001 <sup>0</sup>	19.52	57.47 <sup>0</sup>	40 Ω	16000	15241.216

17	13	152.205 <sup>0</sup>	13	27.79 <sup>0</sup>	40 Ω	6760	6760
18	20.39	21.25 <sup>0</sup>	11.27	32.53 <sup>0</sup>	40 Ω	16630.084	5080.516
19	4.36	36.61 <sup>0</sup>	4.36	36.61 <sup>0</sup>	40 Ω	760.384	760.384
20	19.29	21.06 <sup>0</sup>	27.41	21.58 <sup>0</sup>	40 Ω	14884.164	30052.324
21	26.28	38.74 <sup>0</sup>	24.02	43.23 <sup>0</sup>	40 Ω	27625.536	23078.416
22	90.16	87.46 <sup>0</sup>	22.34	44.26 <sup>0</sup>	40 Ω	325153.024	19963.024
23	6.21	16.17 <sup>0</sup>	27.24	54.03 <sup>0</sup>	40 Ω	1542.564	29680.704
24	19.97	25.69 <sup>0</sup>	28.46	50.77 <sup>0</sup>	40 Ω	15952.036	32398.864
25	13	60.8 <sup>0</sup>	16.52	24.8 <sup>0</sup>	40 Ω	6760	10916.416
26	24.27	45.53 <sup>0</sup>	20.67	45.45 <sup>0</sup>	40 Ω	23561.316	17089.956
27	24.27	27.64 <sup>0</sup>	14.73	31.93 <sup>0</sup>	40 Ω	23561.316	8678.916
28	17.35	26.68 <sup>0</sup>	17.35	26.68 <sup>0</sup>	40 Ω	12040.9	12040.9
29	17.95	26.94 <sup>0</sup>	20.08	37.17 <sup>0</sup>	40 Ω	12888.1	16128.256
30	20.39	33.52 <sup>0</sup>	16.82	42.01 <sup>0</sup>	40 Ω	16630.084	11316.496
31	14.93	20.34 <sup>0</sup>	14.93	20.38 <sup>0</sup>	40 Ω	8916.196	8916.196

Dari tabel 4.6 dapat di lihat bahwa arus yang mengalir pada fasa netral akibat ketidakseimbangan beban pada trafo, arus pada fasa netral seperti pada tabel 4.7 yang tertinggi pada siang hari terjadi pada tanggal 21 juli 2023 yaitu sebesar : 26.28  $\angle$  38.74<sup>0</sup>, dan pada malam hari arus pada fasa netral yang tertinggi terjadi pada tanggal 20 juli 2023 yaitu sebesar : 27.41  $\angle$  21.58<sup>0</sup>, sedangkan arus pada fasa netral siang dan malam yang terendah terjadi pada tanggal 9 juli 2023 yaitu sama-sama sebesar : 4.36  $\angle$  36.61<sup>0</sup>. adapun untuk rugi-rugi daya yang di hasilkan akibat adanya Akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, rugi-rugi daya yang di hasilkan seperti pada tabel 4.7 yang tertinggi pada siang hari terjadi pada tanggal 22 juli 2023 yaitu sebesar : 325153.024 Watt dan malam hari rugi-rugi daya yang tertinggi terjadi pada tanggal 7 juli 2023 yaitu sebesar : 33939219.1 Watt. Sedangkan rugi-rugi daya yang terendah terjadi pada tanggal 9 juli 2023 yaitu sama-sama sebesar : 760.364 Watt.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 KESIMPULAN**

1. Pada hasil analisa data ketidakseimbangan beban Transformator pada siang dan malam di bulan juli 2023, besar ketidakseimbangan pada bulan juli terjadi pada malam hari yang besar : 45.61%, sedangkan pada siang hari besar ketidakseimbangannya hanya 44.2%.
2. Pada hasil analisa data, rugi-rugi daya akibat adanya arus yang mengalir pada fasa netral akibat ketidakseimbangan beban trafo pada pada siang dan malam di bulan juli 2023, besar rugi-rugi daya pada bulan juli terjadi pada malam hari yaitu: 33939219.1 Watt, sedangkan pada siang hari besar rugi-rugi dayanya hanya 325153.024 Watt. Hal ini terjadi karna pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari.

#### **5.2 SARAN**

1. Melakukan Pemeriksaan Secara Berkala Beban Tiap-Tiap Fasa Pada Transformator Sehingga Apabila Terjadi Ketidakseimbangan Beban Yang Besar, Beban Pada Tiap-Tiap Fasa pada trafo Dapat Segera Diseimbangkan Dengan Cara Pemerataan Beban.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. E. Y. Saputro, “Analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator distribusi di pt. pln (persero) rayon palur karanganyar,” pp. 1–15, 2018.
- A. Darwanto, “*Analisis Ketidak Seimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Rayon Cepu*,” *Simetris*, vol. 15, no. 1, pp. 35–42, 2021, doi: 10.51901/simetris.v15i01.179.
- A. Djufri Idham, 2022, “*Transformator*”, Deepublish, Jln Rajawali
- A. P. Agus setiawan, “Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 KV Di PLN Sungguminasa,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 2013–2015, 2021.
- Azizurrohman Mochammad, 2019, “*Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv Gardu Induk Batang – Gardu Induk Pekalongan Dengan Jenis Konduktor Accc Lisbon*”, *Jurnal Teknosains Ftie Uty*
- Elnizar, H., Gusmedi, H., & Zebua, O. (2021). *Analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan. Electrician*, 15(2), 116–126. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n2.2197>
- H. Elnizar, H. Gusmedi, and O. Zebua, “*Analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan*,” *Electrician*, vol. 15, no. 2, pp. 116–126, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n2.2197.
- J. Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto, “*Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*,” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- Ondrialdi, R., Situmeang, U., & Zulfahri. (2020). *Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang. SainETIn*, 4(2), 72–81. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v4i2.6288>

- Risnandar, M. A., Faridah, L., Nurdiansyah, R., Azizurrohman, M., Darwanto, A., Siburian, J., Saputro, A. E. Y., Elnizar, H., Gusmedi, H., Zebua, O., Agus setiawan, A. P., Mukrimaa, S. S., Nurdyansyah, Fahyuni, E. F., YULIA CITRA, A., Schulz, N. D., د. غسان, Taniredja, T., Faridli, E. M., & Harmianto, S. (2021). *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Rayon Palur Karanganyar*. *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)*, 15(1), 1–15. <https://doi.org/10.23960/elc.v15n2.2197>
- Risnandar Muhammad Aris, Linda Faridah, Rian Nurdiansyah, Oktober, 2022, “*Analisis Rugi Daya Trafo Distribusi Pada Penyulang Tamansari Kota Tasikmalaya*”, *Journal Of Energy And Electrical Engineering (Jeee)*, Vol. 4, No. 1, Di Akses Pada Tanggal, 20/Agustus/2023 pada jam 22.20 wita
- R. Ondrialdi, U. Situmeang, and Zufahri, “*Analisis Pengujian Kualitas Isolasi Transformator Daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang,*” *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 72–81, 2020, doi: 10.31849/sainetin.v4i2.6288.
- Saparuddin, “*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Rugi Daya Pada Transformator Gardu Induk Di Pt. Pln (Persero) Kabupaten Sidrap,*” p. 6, 2021.
- Sentosa Setiadji, J., Machmudsyah, T., & Isnanto, Y. (2008). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 68–73. <https://doi.org/10.9744/jte.7.2.68-73>
- Saputro Ahmad Eko Yuli, 2018, “*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Rayon Palur Karanganyar*”, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Setiawan Agus, Anggit Priatama, 2021, “*Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Transmisi Tegangan Tinggi 150 Kv Di Pln Sungguminasa*”, Universitas Muhammadiyah Makassar Makassar
- Siburian Jhonson, 2019, “*Karakteristik Transformator*”, *Jurnal Teknologi Energi Uda*, Volume Viii, Nomor 1

- S. S. Mukrimaa *et al.*, “Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan 150 Kv Di Pt. Pln (Persero) Sistem Khatulistiwa,” *J. Penelit. Pendidik. Guru Sekol. Dasar*, vol. 6, no. August, p. 128, 2016.
- Yupiter Siregar Nico, 2019, “Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Transmisi Tegangan 150 Kv Di Pt. Pln (Persero) Sistem Khatulistiwa”, *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology*, Vol 8, No 1





MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR  
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Alamat Kantor: Jl. Sultan Alaiddin No.259 Makassar 90221 Tlp. (0411) 866972,881593, Fax.(0411) 866588

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

**SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT**

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,  
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Wahyudi/Taufik Nurhidayat  
Nim : 105821106319/105821104419  
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan nilai:

No	Bab	Nilai	Ambang Batas
1	Bab 1	10 %	10 %
2	Bab 2	24 %	25 %
3	Bab 3	9 %	10 %
4	Bab 4	2 %	10 %
5	Bab 5	0 %	5 %

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 31 Agustus 2023

Mengetahui

Kepala UPT- Perpustakaan dan Penerbitan,



Murkusari, Sidiq, M.I.P  
NIM. 961591

BAB I wahyudi/Taufik  
Nurhidayat  
/105821106319/105821104419  
by Tahap Tutup

**Submission date:** 31-Aug-2023 09:55AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2154690385

**File name:** BAB\_I\_20.docx (16.3K)

**Word count:** 554

**Character count:** 3807



BAB I wahyudi/Taufik Nurhidayat  
/105821106319/105821104419

ORIGINALITY REPORT

<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>2%</b>	<b>8%</b>
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>Submitted to Politeknik Negeri Bandung</b> Student Paper	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>core.ac.uk</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repository.mercubuana.ac.id</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>4</b>	<b>indahgustiana14.blogspot.com</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>5</b>	<b>repository.uinjkt.ac.id</b> Internet Source	<b>2%</b>

Exclude quotes  On Exclude matches  < 2%  
Exclude bibliography  On

BAB II wahyudi/Taufik  
Nurhidayat  
/105821106319/105821104419  
by Tahap Tutup

**Submission date:** 31-Aug-2023 09:56AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2154691204

**File name:** BAB\_II\_23.docx (263.61K)

**Word count:** 3786

**Character count:** 23918

BAB II wahyudi/Taufik Nurhidayat  
/105821106319/105821104419

ORIGINALITY REPORT

<b>24%</b> SIMILARITY INDEX	<b>25%</b> INTERNET SOURCES	<b>3%</b> PUBLICATIONS	<b>16%</b> STUDENT PAPERS
--------------------------------	--------------------------------	---------------------------	------------------------------

PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>eprints.uty.ac.id</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>pt.scribd.com</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>3</b>	<b>id.123dok.com</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>4</b>	<b>elreg-05.blogspot.com</b> Internet Source	<b>3%</b>
<b>5</b>	<b>es.scribd.com</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>6</b>	<b>jurnal.unsil.ac.id</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>7</b>	<b>aysofohal.blogspot.com</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>8</b>	<b>repository.usu.ac.id</b> Internet Source	<b>2%</b>
<b>9</b>	<b>repository.unimus.ac.id</b> Internet Source	<b>2%</b>

BAB III wahyudi/Taufik  
Nurhidayat  
/105821106319/105821104419  
by Tahap Tutup

**Submission date:** 31-Aug-2023 09:57AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2154691979

**File name:** BAB\_III\_25.docx (15.17K)

**Word count:** 323

**Character count:** 2236

BAB III wahyudi/Taufik Nurhidayat  
/105821106319/105821104419

ORIGINALITY REPORT

<b>9%</b>	<b>9%</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<a href="http://repository.uma.ac.id">repository.uma.ac.id</a> Internet Source	<b>4%</b>
<b>2</b>	<a href="http://repository.uhn.ac.id">repository.uhn.ac.id</a> Internet Source	<b>3%</b>
<b>3</b>	<a href="http://eprints.iain-surakarta.ac.id">eprints.iain-surakarta.ac.id</a> Internet Source	<b>2%</b>

Exclude quotes  On  Off Exclude matches  < 2%  > 2%

Exclude bibliography  On  Off



BAB IV wahyudi/Taufik  
Nurhidayat  
/105821106319/105821104419  
by Tahap Tutup

**Submission date:** 31-Aug-2023 09:57AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 2154692479

**File name:** BAB\_IV\_23.docx (139.82K)

**Word count:** 1523

**Character count:** 7857

BAB IV wahyudi/Taufik Nurhidayat  
/105821106319/105821104419

ORIGINALITY REPORT

<b>2%</b> SIMILARITY INDEX	<b>2%</b> INTERNET SOURCES	<b>0%</b> PUBLICATIONS	<b>0%</b> STUDENT PAPERS
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-----------------------------

PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<b>ejournal.akprind.ac.id</b> Internet Source	<b>2%</b>
----------	--	-----------

Exclude quotes  On  Off Exclude matches  On  Off  
Exclude bibliography  On  Off



BAB V wahyudi/Taufik  
Nurhidayat  
/105821106319/105821104419  
by Tahap Tutup

Submission date: 31-Aug-2023 09:58AM (UTC+0700)

Submission ID: 2154692815

File name: BAB\_V\_24.docx (13.86K)

Word count: 56

Character count: 364



BAB V wahyudi/Taufik Nurhidayat  
/105821106319/105821104419

ORIGINALITY REPORT

<b>0</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %	<b>0</b> %
SIMILARITY INDEX	INTERNET SOURCES	PUBLICATIONS	STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes  On Exclude matches  < 2%  
Exclude bibliography  On



## LAMPIRAN



Keterangan

Name Plate Transformator #2 ULTG Panakkukang

TGL	BEBAN PUNCAK SIANG														BEBAN PUNCAK MALAM														PARAF
	JAM	KV	MW	MVAR	AMPERE			JAM	KV	MW	MVAR	AMPERE																	
					R	S	T					R	S	T															
1	13.00	20,3	33	7.1	960	969	963	19.00	20,3	36,1	6.1	1037	1063	1044															
2	14.30	20,4	33,6	7.1	977	1002	983	18.30	20,4	34,9	6.1	1012	1036	1018															
3	13.00	#N/A	35,2	7.1	1032	1051	1043	19.30	20,3	34,9	6.1	1023	1042	1034															
4	15.30	20,2	34,6	7.1	1006	1029	1014	19.00	20,3	37,1	7.1	1062	1082	1069															
5	16.00	20,1	38	8.1	1115	1138	1120	19.00	20,2	38,8	7.1	1112	1143	1121															
6	16.00	20,2	37,7	8.1	1085	1113	1099	19.00	20,2	39,7	7.1	1157	1180	1158															
7	12.30	20,3	37,2	7.1	1077	1103	1089	19.00	20,3	38,7	7.1	1122	1148	1134															
8	14.30	20,2	36,6	7.1	1062	1093	1073	18.30	20,2	38,4	6.1	1116	1147	1127															
9	16.00	20,2	34,6	7.1	1000	1016	1001	19.00	20,2	37,1	6.1	1073	1099	1080															
10	#N/A	#N/A	34,6	7.1	1000	1016	1001	19.30	20,3	38,4	6.1	1123	1147	1127															
11	14.00	20,2	37,2	7.1	1084	1111	1093	18.30	20,2	38,8	7.1	1117	1144	1124															
12	12.30	20,3	36,7	7.1	1074	1097	1084	19.00	20,2	37,6	7.1	1101	1124	1111															
13	13.30	20,2	34,8	7.1	1020	1045	1036	19.00	20,3	36,9	6.1	1062	1093	1073															
14	12.00	20,2	35,5	7.1	1026	1052	1040	19.00	20,2	36,7	6.1	1058	1088	1072															
15	12.00	20,2	34,8	7.1	1018	1046	1027	19.00	20,2	36,9	6.1	1060	1088	1072															
16	13.00	20,2	33	6.1	980	1000	980	19.00	20,3	34,6	6.1	1002	1022	1003															
17	12.30	20,3	34,7	7.1	1018	1033	1026	19.00	20,2	37,1	6.1	1090	1105	1098															
18	14.00	20,2	35,5	7.1	1022	1047	1035	19.30	20,3	36,9	6.1	1073	1089	1082															
19	14.00	20,3	33,6	6.1	992	997	994	18.30	20,3	37,2	6.1	1105	1110	1107															
20	15.00	20,3	37,9	7.1	1111	1133	1125	19.00	20,2	40,2	7.1	1159	1190	1169															
21	16.00	20,1	38,1	8.1	1104	1134	1115	19.00	20,2	40,1	7.1	1163	1190	1171															
22	12.30	20,3	36,4	8.1	1059	#N/A	#N/A	19.00	20,3	38,2	6.1	1113	1138	1120															
23	16.00	20,2	34,5	6.1	1013	1020	1018	18.30	20,2	37,2	6.1	1077	1104	1082															
24	12.30	20,2	36,9	7.1	1078	1101	1091	19.00	20,3	38,7	6.1	1132	1155	1145															
25	15.00	20,2	36,4	7.1	1059	1082	1072	19.00	20,2	39	7.1	1123	1142	1134															
26	14.30	20,1	36,6	7.1	1053	1080	1060	18.30	20,2	39,2	7.1	1133	1156	1139															
27	15.30	20,2	37,9	8.1	1110	1138	1125	19.30	20,2	40	7.1	1158	1175	1166															
28	14.00	20,3	37,7	7.1	1094	1114	1105	19.00	20,3	38,8	7.1	1127	1147	1138															
29	14.30	20,4	36,6	7.1	1057	1080	1066	19.00	20,3	38,4	6.1	1102	1125	1111															
30	16.00	20,3	34,6	7.1	1011	1035	1022	19.00	20,3	37,6	7.8	1090	1109	1096															
31	14.00	20,1	36,7	7.1	1072	1089	1083	#N/A	20,3	39,1	7.1	1144	1161	1155															

## Keterangan

Pengukuran Beban puncak siang dan malam Bulan Juli 2023 pada Transformator  
ULTGPanakkukang

## DOKUMENTASI



Keterangan:

Transformator Di ULTG Panakkukang



Kegiatan :

Briefing dan ber doa sebelum melakukan pemeliharaan pada trafo



Kegiatan:

Pemeliharaan trafo ultg Panakkukang



Kegiatan

Pengecetan pralatan-pralatan pada trafo