

**TUGAS AKHIR**  
**ANALISIS KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN**  
**TRANSFORMATOR 20 KV DI PT. PELINDO BELAWAN**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Teknik Elektro Pada fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**INDRA FAUZAN**

**2007220007**



**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

**FAKULTAS TEKNIK**  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**  
**MEDAN**  
**2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan oleh:

Nama : Indra Fauzan

NPM : 2007220007

Program Studi: Teknik Elektro

Judul Skripsi : Analisis Ketidak Seimbangan Beban Transformator 20 kv di  
PT.PELINDO BELAWAN

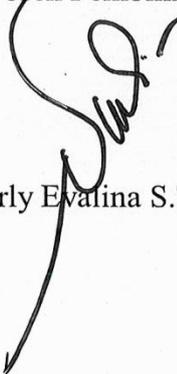
Bidang Ilmu : Sistem Tenaga

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Medan, 25 November 2024

Mengetahui dan menyetujui :

Dosen Pembimbing



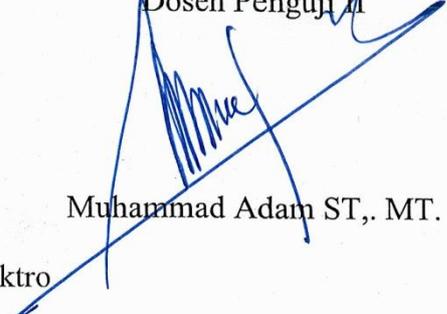
Noorly Evalina S.T., M.T

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Muhammad Adam ST., MT.

Program Studi Teknik Elektro

Ketua



Faisal Irsan Pasaribu ST., M.T.

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Indra Fauzan

Tempat/Tanggal Lahir : Hamparan Perak, 01 September 2002

NPM : 2007220007

Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya bahwa laporan tugas akhir saya yang berjudul :

“ Analisis Ketidak Seimbangan Beban Transformator 20 kv di PT. PELINDO BELAWAN ”

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

Bila kemudian hari di duga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini , saya bersedia diproses oleh tim fakultas yang di bentuk 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 program studi teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 25 November 2024



Indra Fauzan

## ABSTRAK

PT. PELINDO BELAWAN, sebagai salah satu pemimpin dalam industri listrik, menghadapi tantangan ketidakseimbangan beban pada transformator 20 kV. Ketidakseimbangan beban ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi sistem dan potensi kerusakan peralatan. Oleh karena itu, analisis ketidakseimbangan beban menjadi sangat penting untuk memastikan stabilitas dan keandalan sistem kelistrikan. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumberseimbangan beban pada transformator 20 kV di PT. PELINDO BELAWAN, memahami dampaknya terhadap sistem, dan memberikan rekomendasi untuk mengoptimalkan distribusi beban serta meningkatkan efisiensi sistem.

**Pengumpulan Data:** Mengumpulkan data operasional dan hasil pengukuran dari transformator 20 kV selama periode waktu tertentu.

**Analisis** Menganalisis data yang dikumpulkan untuk mengidentifikasi pola dan anomali dalam beban. Mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan, termasuk kapasitas beban, faktor daya, dan efisiensi transformator.

**Korelasi dengan Kinerja Sistem** Mencari korelasi antara parameter beban dan kinerja sistem secara keseluruhan. Hasil analisis menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator 20 kV di PT. PELINDO BELAWAN disebabkan oleh beberapa faktor, **Distribusi Beban Tidak Merata:** Beban yang tidak merata pada sisi masuk dan keluar transformator. Analisis ini menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator 20 kV di PT. PELINDO BELAWAN memiliki dampak signifikan terhadap kinerja sistem kelistrikan. Untuk mencapai stabilitas dan efisiensi sistem yang optimal, baik.

**Pemantauan Real-Time** Mengimplementasikan pemantauan real-time untuk deteksi dini masalah dan penyesuaian cepat.

**Pemeliharaan Rutin** Melakukan pemeliharaan rutin pada transformator untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

Dengan menerapkan rekomendasi ini, PT. PELINDO BELAWAN dapat mengurangi ketidakseimbangan beban pada transformator 20 kV, meningkatkan efisiensi sistem, dan memastikan keandalan pasokan listrik.

**Kata Kunci : Ketidakseimbangan Beban, Beban Puncak, Rugi-rugi Daya.**

## ABSTRACT

*PT. PELINDO BELAWAN, as one of the leaders in the electricity industry, faces the challenge of load imbalance on 20 kV transformers. This load imbalance can cause a decrease in system efficiency and potential equipment damage. Therefore, load imbalance analysis is very important to ensure the stability and reliability of the electrical system. This analysis aims to identify the source of load imbalance on 20 kV transformers at PT. PELINDO BELAWAN, understand its impact on the system, and provide recommendations to optimize load distribution and improve system efficiency. Data Collection: Collect operational data and measurement results from 20 kV transformers over a period of time. Analysis Analyze the collected data to identify patterns and anomalies in the load. Evaluate the condition of the electrical system, including load capacity, power factor, and transformer efficiency. Correlation with System Performance Look for correlations between load parameters and overall system performance. The results of the analysis show that the load imbalance on 20 kV transformers at PT. PELINDO BELAWAN is caused by several factors, Uneven Load Distribution: Uneven load on the inlet and outlet of the transformer. This analysis shows that the load imbalance on the 20 kV transformer at PT. PELINDO BELAWAN has a significant impact on the performance of the electrical system. To achieve optimal system stability and efficiency, both. Real-Time Monitoring Implement real-time monitoring for early detection of problems and rapid adjustment. Routine Maintenance Perform routine maintenance on the transformer to prevent further damage. By implementing these recommendations, PT. PELINDO BELAWAN can reduce the load imbalance on the 20 kV transformer, improve system efficiency, and ensure the reliability of electricity supply.*

**Keywords: Load Imbalance, Peak Load, Power Losses**

## **KATA PENGHANTAR**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Puji syukur kita panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya kepada kita semua sehingga saya dapat menyelesaikan tugas Metode Penelitian di Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Jl.Kapten Muckhtar Basri No.3 Medan.

Dimana penelitian ini adalah suatu mata kuliah yang harus dilaksanakan oleh mahasiswa/i Teknik Elektro dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Dan hasil akhir penelitian ini dilampirkan pada sebuah laporan yang wajib diselesaikan untuk mahasiswa.

Dalam penulisan laporan ini kami menyadari masih banyak kekurangan baik dalam penulisan maupun dalam susunan kalimat yang mana saya mengharapkan saran dari berbagai pihak demi kesempurnaan laporan ini.

Dalam kesempatan yang berbahagia ini, dengan segenap hati. Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah banyak memberikan motivasi kepada kami didalam penyusunan laporan ini, terutama kepada:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada kami semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan.
2. Bapak Munawar Alfansury Siregar, ST,MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

4. Ibu Noorly Evalina ST,MT. Selaku Pembimbing Tugas Akhir Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
5. Seluruh staff pengajar dan Birokrasi fakutas teknik universitas muhammadiyah sumatera utara
6. Seluruh rekan-rekan dan teman seperjuangan, saya mengucapkan terimakasih atas segala support dan saran yang berharga bagi saya.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa proposal ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang relevansinya dengan penyempurnaan tugas akhir ini sangat penulis harapkan. Kritik dan saran sekecil apapun akan penulis perhatikan dan pertimbangkan guna penyempurnaan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga laporan tugas akhir ini bagi pembaca siapa saja yang melihat isi bahan atau sebagai pembanding Wassalamualaikum wr wb

Medan, 11 Mei 2024

Penyusun

**INDRA FAUZAN**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Ruang Lingkup</b> .....	3
<b>1.5 Sistematika Penulisan</b> .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Tinjauan Pustaka Relevan</b> .....	5
<b>2.2 Transformator</b> .....	9
<b>2.3 Transformator Daya</b> .....	12
<b>2.4 Transformator Distribusi</b> .....	12
<b>2.4.1 Kumparan</b> .....	13
<b>2.4.2 Inti Transformator</b> .....	14
<b>2.4.3 Minyak Tranformator</b> .....	15
<b>2.4.4 Bushing Transformator</b> .....	15
<b>2.4.5 Tipe Pendingin Transformator</b> .....	16
<b>2.5 Hubungan Pada Transformator 3 fasa</b> .....	16
<b>2.5.1 Hubungan Bintang (Y)</b> .....	17
<b>2.5.2 Hubungan Segitiga/Delta (<math>\Delta</math>)</b> .....	18
<b>2.5.3 Hubungan Zig-zag</b> .....	19
<b>2.6 Jenis – Jenis Transformator</b> .....	20
<b>2.6.1 Transformator Berdasarkan Pasangan Kumparan</b> .....	20
<b>2.6.2 Tranformator Berdasarkan Fungsi</b> .....	21

2.7	Ketidak seimbangan Beban Transformator .....	22
2.8	Trafo Step Up .....	25
2.9	Trafo Step Down .....	26
2.10	Tap Changer .....	27
2.11	Rugi-rugi Daya Transformator .....	28
2.11.1	Rugi-rugi Inti (Besi) .....	28
2.11.2	Rugi-rugi Tembaga ( $P_{cu}$ ) .....	30
2.12	Rugi-rugi Akibat Arus Netral Pada Transformator .....	30
2.13	Jaringan Distribusi .....	31
2.13.1	Jaringan Distribusi Menurut Besar Tegangan .....	33
2.13.2	Jaringan Distribusi Menurut Frekuensi .....	33
2.13.3	Jaringan Distribusi Menurut Konstruksi .....	34
2.13.4	Jaringan Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan .....	34
2.14	Daya Pada Saluran Distribusi .....	38
2.15	Arus Beban Penuh .....	38
2.16	Efisiensi Transformator .....	39
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>41</b>
3.1	Tempat dan Waktu .....	41
3.1.1	Tempat .....	41
3.1.2	Waktu .....	41
3.2	Alat dan Bahan .....	41
3.3	Tahapan Penelitian .....	42
3.4	Bagian Akhir Penelitian .....	44
<b>BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>45</b>
4.1	<b>Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Ketidak seimbangan Beban .....</b>	<b>45</b>
4.1.1	Perhitungan Arus Beban Puncak .....	60
4.1.2	Perhitungan Ketidak seimbangan Beban .....	66
4.1.3	Analisis Beban Puncak dan Ketidak seimbangan Beban .....	69
4.2	<b>Analisis Rugi-rugi Daya Akibat Ketidak seimbangan Beban .....</b>	<b>70</b>
4.2.1	Perhitungan Rugi-rugi Daya Pada Transformator Distribusi .....	71

**BAB V PENUTUP .....72**  
    **5.1 Kesimpulan .....72**  
    **5.2 Saran .....73**  
**DAFTAR PUSTAKA.....74**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Teori Dasar Transformator.....	9
Gambar 2. 2 Transformator Daya .....	12
Gambar 2. 3 Transformator Distribusi .....	13
Gambar 2. 4 Inti Transformator .....	14
Gambar 2. 5 Rangkaian hubung bintang (Y) .....	17
Gambar 2. 6 Rangkaian segitiga/delta ( $\Delta$ ).....	18
Gambar 2. 7 Rangkaian Hubungan Zig – zag.....	19
Gambar 2. 8 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang.....	23
Gambar 2. 9 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang.....	24
Gambar 2. 10 Skema Transformator Step Up.....	26
Gambar 2. 11 Skema Transformator Step Down .....	26
Gambar 2. 12 Rangkaian Tap Changer .....	27
Gambar 2. 13 Skema jaringan distribusi .....	33
Gambar 2. 14 Jaringan sistem radial .....	35
Gambar 2. 15 Jaringan sistem loop.....	36
Gambar 2. 16 Jaringan sistem gred.....	36
Gambar 2. 17 Jaringan sistem spindle.....	37
Gambar 3. 1 Spesifikasi Trafo Sesuai Dengan Nameplate .....	42
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian .....	44
Gambar 4. 1 Grafik I rata-rata Arus Beban Puncak .....	64
Gambar 4. 2 Grafik Persentase Arus.....	65
Gambar 4. 3 Grafik Ketidakseimbangan Beban .....	69
Gambar 4. 4 Grafik Rugi-rugi Daya .....	71

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1Spesifikasi Transformator .....	41
Tabel 4. 1Pengukuran arus dan tegangan tranformator distribus.....	60
Tabel 4. 2Hasil perhitungan arus beban puncak .....	63
Tabel 4. 3Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban.....	68
Tabel 4. 4 Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada transformator .....	71

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik dan salah satu komponen utama dalam sistem pembangkitan energi listrik adalah jaringan distribusi. (Kasus et al., 2016)

Transformator distribusi digunakan untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan transmisi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (step down transformator). Transformator distribusi pada Gardu Unit PA0721 Jl. Papera mempunyai kapasitas sebesar 100 kVA yang melayani pemakaian kebutuhan beban masyarakat. Transformator distribusi terpasang pada sistem kelistrikan Unit PA0721 Jl. Papera, berfungsi untuk menyuplai energi listrik ke beban penambahan beban tanpa memeriksa pemakaian beban yang ada maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. (Ajibah, 2021)

Dalam sistem distribusi permintaan daya oleh konsumen terus bertambah. Besarnya daya yang dimintapun tidak selalu sama, yang menyebabkan terjadinya pembagian beban yang tidak merata. Hal ini menyebabkan distribusi beban masing-masing fasa harus dijaga agar seimbang. Namun pada kenyataannya, pembebanan masing-masing fasa tidaklah selalu seimbang, Salah satu penyebabnya adalah banyaknya beban satu fasa yang beroperasi tidak merata. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan tentang rugi-rugi daya, ketidakseimbangan beban merupakan salah satu faktor yang menyebabkan rugi-rugi daya pada saluran. (Sya'roni & Rijanto, 2019)

Keseimbangan beban adalah apabila ketiga vektor arus/tegangan memiliki nilai yang sama besar dan juga membentuk sudut 120°. Keseimbangan beban adalah apabila ketiga vektor arus/tegangan memiliki nilai yang sama besar dan juga membentuk sudut 120° satu sama lain. Salah satu penyebab yang dapat menyebabkan ketidak seimbangan beban adalah pemakaian beban yang dilayani antar fasa transformator distribusi tidak sama besar. Pemakaian beban yang dilayani antar fasa inilah yang menyebabkan ketiga vektor arus maupun tegangannya memiliki nilai yang berbeda walaupun memiliki sudut yang diharapkan yaitu 120° antar phasanya. menyebabkan ketiga vektor arus maupun tegangannya memiliki nilai yang berbeda walaupun memiliki sudut yang diharapkan yaitu 120° antar phasanya. (Sihotang & Handajadi, 2015)

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 trafo (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)

Peningkatan beban listrik di PT PLN (Persero) Rayon Maros cukup pesat. Ketidak seimbangan beban yang sering terjadi dapat mengakibatkan gangguan trafo yang dapat menimbulkan gangguan penyulang dan pelanggan padam. Penyulang dengan gangguan terbanyak sepanjang tahun 2017 di PT. PLN (Persero) Rayon Maros adalah Penyulang Palisi dengan penyebab terbesar yaitu gangguan pada trafo, yakni kerusakan karena beban trafo yang tidak seimbang sebesar 12 kali gangguan. Metode yang dilakukan adalah metode koefisien ketidakseimbangan beban dengan data hasil pengamatan dan pengukuran di Penyulang Palisi. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan persentase ketidak seimbangan beban rata-rata sebesar 19.86 % dan

rugi daya yang terjadi akibat dari beban tidak seimbang sebesar 17843,18 Watt. Untuk mengurangi ketidak seimbangan beban yang terjadi pada penyulang Palisi maka dilakukan pengalihan beban dari fasa R-S, S-T, dan T-R.(Sultan & Rachman, 2018)

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah yang diambil pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana ketidak seimbangan Transformator 20 kv di PT. PELINDO BELAWAN terjadi?
2. Berapa besar rugi rugi daya yang terjadi akibat ketidak seimbangan beban pada Transformator di PT. PELINDO BELAWAN?
3. Bagaimana pengaruh pembebanan pada Transformator di PT. PELINDO BELAWAN?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Menganalisis ketidak seimbangan transformator 20 kv di PT. PELINDO BELAWAN.
2. Untuk mengetahui seberapa besar rugi rugi daya dan yang terjadi akibat ketidak seimbangan pada transformator di PT. PELINDO BELAWAN.
3. Semakin besar bebannya maka semakin tinggi temprturnya dan semakin kecil bebannya maka semakin rendah temprturnya.

## **1.4 Ruang Lingkup**

Adapun Hal-hal yang dibatasi (Ruang lingkup) dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini hanya membahas pengaruh beban puncak terhadap ketidak seimbangan beban pada Transformator Distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN

2. Penelitian ini hanya membahas besaran rugi-rugi daya yang terjadi akibat ketidak seimbangan beban pada Transformator Distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN
3. Penelitian ini hanya membahas transformator distribusi pada Power station yang berada di P.T PELINDO BELAWAN

## **1.5 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1 PENDAHULUAN.**

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika penulisan untuk memberikan gambaran umum tentang penulisan tugas akhir ini.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.**

Bab ini membahas mengenai Tinjauan Pustaka Relevan, dan dasar-dasar teori yang mendukung terhadap ketidak seimbangan beban pada transformator Distribusi.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.**

Bab ini menjelaskan tentang gambaran dan penjelasan metode yang digunakan untuk penelitian, di bab ini akan diuraikan tentang data transformator distribusi, diagram alir, serta waktu dan tempat penelitian

### **BAB 4 ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN.**

Pada bab ini akan diuraikan tentang perhitungan beban puncak terhadap ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya pada transformator distribusi berdasarkan hasil dan perhitungan.

### **BAB 5 PENUTUP.**

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang terdapat pada penelitian ini.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

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 gandengan 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 tranformator 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., 2018)

Tranformator 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. (Mutiara Fitri & Waluyo, 2023)

Pendistribusian listrik tegangan rendah di area PT.PLN Bulungan dari pusat pembangkit ke konsumen jarak penyaluran energi listrik sangat jauh sehingga menimbulkan kerugian atau loss daya listrik. Penurunan daya listrik dalam sistem

kelistrikan selalu ada, hal ini disebabkan oleh adanya elemen resistif pada kawat penghantar yang stabil, dan juga sifat dari jaringan itu sendiri. Banyak kesulitan dalam penyanjian perhitungan kehilangan energi tersebut karena jaringan distribusi yang luas. Jadi kita membutuhkan cara untuk memperhitungkan kerugian ini. Dengan melaksanakan penakaran di gardu induk listrik, menghitung penurunan tegangan dan resistansi saluran, kehilangan daya puncak serta kehilangan daya rata-rata dihitung. Kemudian menghitung daya masukan serta dilanjutkan menghitung rugi daya transformator saat dibebani.(Binoto et al., 2023)

Jaringan distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berupa jaringan penghantar yang menghubungkan antara gardu induk pusat beban ke pelanggan. Jaringan distribusi berfungsi mendistribusikan energi listrik ke pelanggan sesuai kebutuhan. Jaringan distribusi dalam operasinya tidak bisa dipisahkan dengan gardu induk distribusi dan transformator distribusi. Oleh karenanya gardu listrik dan transformator distribusi merupakan suatu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan. Gardu 1A merupakan salah satu gardu listrik yang berada di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Untuk menunjang kinerja transformator agar dapat bekerja dengan baik perlu diperhatikan kondisi transformatornya, serta perlu seberapa besar persentase ketidakseimbangan bebannya. Akan dilakukan penelitian mengenai seberapa besar persentase ketidakseimbangan beban pada transformator A dan B di gardu 1A Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Dalam penelitian akan dilakukan pengukuran nilai arus fasa R, S, dan T pada transformator yang berada pada gardu 1A. Setelah pengukuran data akan diolah, kemudian hasil olah data akan dianalisis dengan metode analisa deskriptif, yang pada akhirnya akan disajikan bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada transformator di gardu 1A Politeknik Penerbangan Indonesia Curug berada pada kriteria apa sesuai dengan aturan PLN (SK ED PLN No. 0017.E/DIR/2014).(WIDIARTO & SAMANHUDI, 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 kabl 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 (Sogen, 2018). 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)

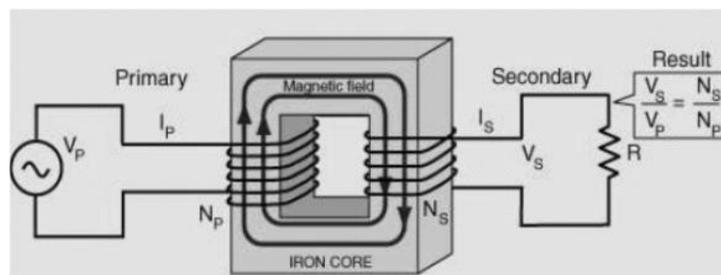
## 2.2 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator 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.

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkain dari rangkaian yang lain; dan untuk menghambat arus searah melalukan atau mengalirkan arus bolak-balik. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator Daya
2. Transformator Distribusi
3. Transformator pengukuran, yang terdiri dari atas transformator arus dan Transformator tegangan.

Dalam bentuknya yang paling sederhana, transformator terdiri atas dua kumparan dan satu induktansi mutual. Dua kumparan tersebut terdiri dari kumparan primer dan kumparan sekunder. Kumparan primer adalah kumparan yang menerima daya dan



Gambar 2. 1 Teori Dasar Transformator

dinyatakan sebagai terminal masukan.

### **2.2.1 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. Dengan demikian maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder dibebani, sehingga energi listrik dapat ditransfer keseluruhan beban.

Kumparan sekunder adalah kumparan yang melepas daya dan dinyatakan sebagai terminal keluaran. Kedua kumparan dibelit pada suatu inti yang terdiri atas material magnetik berlaminasi. Secara sederhana transformator dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu lilitan primer, lilitan sekunder dan inti besi.

Lilitan primer merupakan bagian transformator yang terhubung dengan sumber energi (catu daya). Lilitan sekunder merupakan bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian beban. Sedangkan inti besi merupakan bagian transformator yang bertujuan untuk mengarahkan keseluruhan fluks magnet yang dihasilkan oleh lilitan primer agar masuk ke lilitan sekunder.

Perlu diingat bahwa hanya tegangan listrik bolak-balik yang dapat ditransformasikan oleh transformator, sedangkan dalam bidang elektronika transformator digunakan sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban

untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian. Tujuan utama menggunakan inti pada transformator adalah untuk mengurangi reluktansi (tahanan magnetis) rangkaian magnetik.

Reluktansi merupakan besarnya fluks magnet yang di hasilkan dalam kumparan yang bergantung pada besaran bahan yang bersifat magnetis. Rangkaian magnetik terdiri dari beberapa bahan yang bersifat magnet yang memiliki permeabilitas atau ukuran kemampuan dan setiap bahan memiliki panjang lintasan tidak sama. Maka setiap bagian mempunyai reluktansi yang berbeda, sehingga reluktansi total adalah jumlah reluktansi dari bagian masing masing.

Jika salah satu kumparan pada trafo di aliri arus listrik, maka timbul gaya garis magnet yang berubah-ubah, Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet dari kumparan primer yang besarnya berubah-ubah dan di kumparan sekunder juga timbul induksi yang di akibatkan antara dua ujung kumparan terhadap beda tegangan. Jumlah garis gaya (*fluks*) yang masuk pada kumparan sekunder adalah sama dengan garis gaya yang keluar dari kumparan primer.

$$e_1 = -N_1 \frac{d}{dt} \text{ dan } e_2 = -N_2 \frac{d}{dt} \quad (2 - 1)$$

$$\frac{e_1}{e_2} = -N_1 \frac{d}{dt} / -N_2 \frac{d}{dt} \quad (2 - 2)$$

Jadi :

$$E_1 / E_2 = N_1 / N_2 \quad (2 - 3)$$

Dimana :

$e_1$  = Ggl induksi / tegangan sesaat pada tegangan primer.

$e_2$  = Ggl induksi / tegangan sesaat pada kumparan sekunder.

$E_1$  = Ggl induksi / tegangan efektif pada kumparan primer.

$E_2$  = Ggl induksi / tegangan efektif pada kumparan sekunder.

$N_1$  = jumlah lilitan kumparan primer.

$N_2$  = jumlah lilitan kumparan sekunder.

### **2.3 Transformator Daya**

Transformator daya adalah jenis transformator yang digunakan untuk meningkatkan nilai tegangan listrik dari generator listrik. Penempatannya di gardu induk. Tegangan listrik yang diperbesar nilainya kemudian disalurkan ke saluran transmisi tenaga listrik.



Gambar 2. 2 Transformator Daya

### **2.4 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. 3 Transformator Distribusi

Secara umum trafo ini terdiri dari :

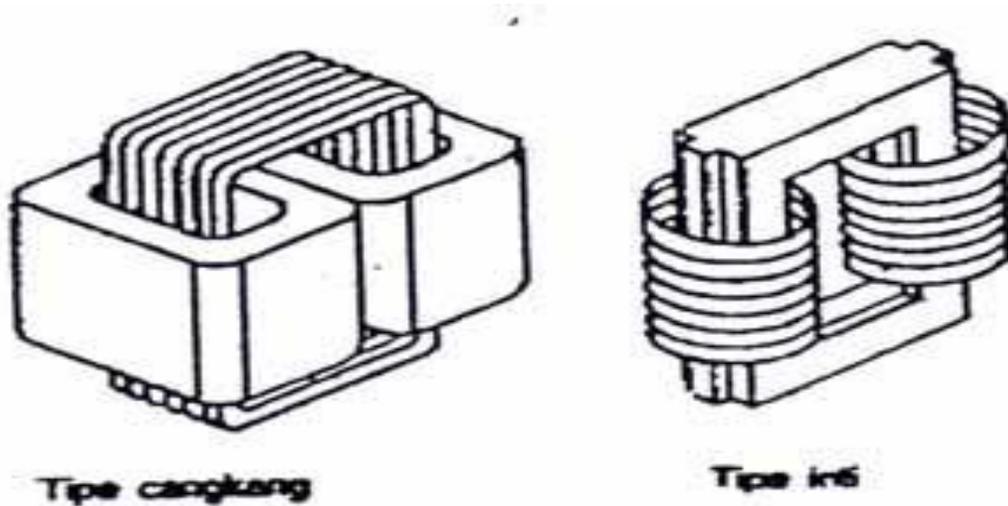
1. Kumparan
2. Inti Transformator
3. Minyak Transformator
4. Bushing Transformator
5. Tipe Pendingin Transformator

#### **2.4.1 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.

### 2.4.2 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 kondruksi cangkang memiliki kehandalan yang lebih tinggi dari pada tipe konstruksi inti dalam menghadapi tekanan mekanis yang kuat pada saat terjadi hubung singkat.



Gambar 2. 4 Inti Transformator

### 2.4.3 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 defenisikan 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.

### 2.4.4 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.

### 2.4.5 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.

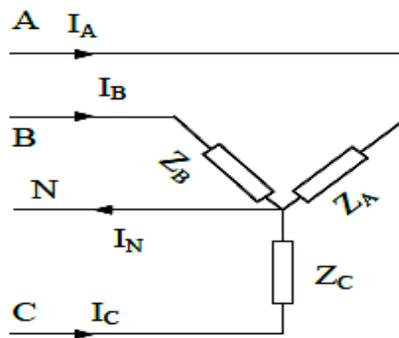
## 2.5 Hubungan Pada Transformator 3 fasa

Pada prinsipnya, transformator tiga fasa sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah seperti perbedaan sistem listrik satu fasa dengan sistem listrik tiga fasa yaitu mengenal sistem

bintang (y) dan delta ( $\Delta$ ), serta sistem zig-zag (z), dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator 3 pаса.

### 2.5.1 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  $120^\circ$ . Trafo 3 fasa hubungan bintang dari gambar 2.4 di bawah ini :



Gambar 2. 5 Rangkaian hubung bintang (Y)

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I = I_B$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{Ph}$$

Dimana :

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

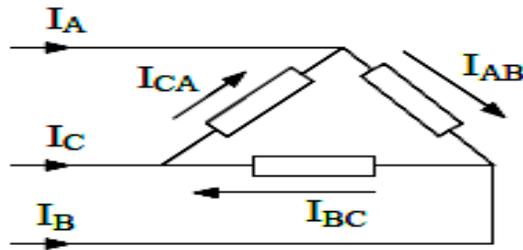
$V_{Ph}$  = Tegangan pаса (V).

$I_L$  = Arus line (A).

$I_{ph}$  = Arus pasa (A).

### 2.5.2 Hubungan Segitiga/Delta ( $\Delta$ )

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan trafo tiga fasa, dimana cara penyambungannya 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  $120^\circ$ . Trafo 3 pasa hubungan segitiga/delta. Dari gambar 2.5 dibawah ini di peroleh:



Gambar 2. 6 Rangkaian segitiga/delta ( $\Delta$ )

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{Ph}$$

$$I_B = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{Ph}$$

Dimana :

$V_{L-L}$  = Tegangan line–line (Volt).

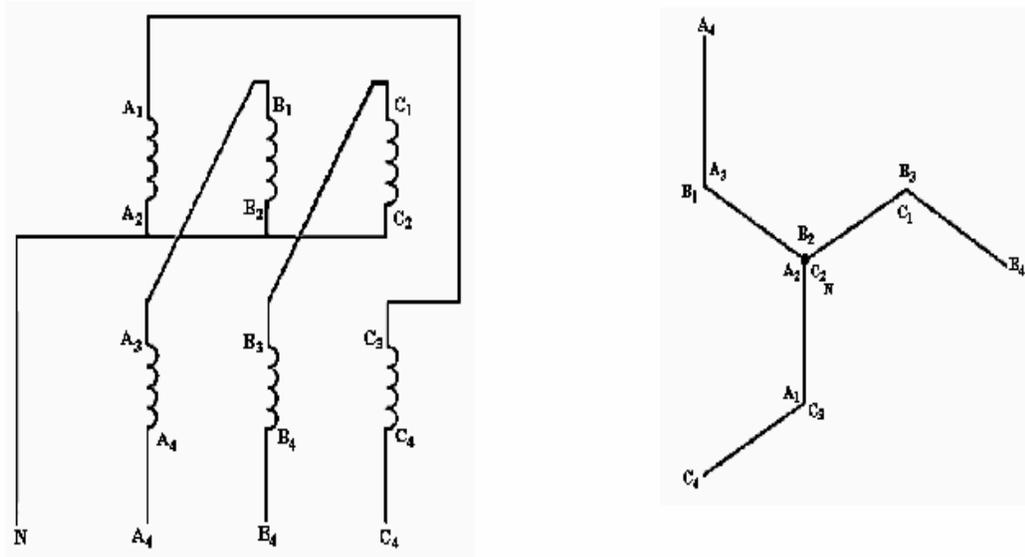
$V_{Ph}$  = Tegangan fasa (Volt).

$I_L$  = Arus line (Ampere).

$I_{Ph}$  = Arus pasa (Ampere).

### 2.5.3 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 3fasa hubungan Zig-zag, perbandingan rugi-rugi untuk tiap kumparan yang terhubung Y,  $\Delta$ , zig-zag liat pada gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2. 7 Rangkaian Hubungan Zig – zag

$$\{I^2(R)\}_Y = \{1,0 \cdot (iy)\}^2 \cdot P \cdot 1,0 \cdot \frac{LY}{AY}$$

$$\{I^2(R)\}_\Delta = \{0,577 \cdot (iy)\}^2 \cdot P \cdot 1,732 \cdot \frac{LY}{AY}$$

$$\{I^2(R)\}_{ZZ} = \{1,0 \cdot (iy)\}^2 = \{1,0 \cdot (IV)\}^2 \cdot P \cdot 1,155 \cdot \frac{LY}{AZZ}$$

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.

$A_\Delta$  = Luas penampang kumparan yang terhubung  $\Delta$ .

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

## **2.6 Jenis - Jenis Transformator**

Tranformator atau trafo merupakan komponen paling utama di dunia kelistrikan, untuk mengantarkan listrik dari pembangkit yang besar dayanya bisa mencapai beberapa kilo Volt untuk kemudian disalurkan ke Transmisi atau Distribusi yang ada, kemudian akan disalurkan kembali dari trafo yang akan di kirim disetiap rumah-rumah. Trafo sendiri memiliki macam macam jenis antara lain adalah :

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

### **2.6.1 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.

Tranformator/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.

## 2.6.2 Tranformator Berdasarkan Fungsi

Menurut fungsinya Transformator dibagi atas :

### 1. Transformator Daya.

Transformator/trafo Daya adalah Trafo yang digunakan untuk pemasok daya. Trafo daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (*step-up*) dan menurunkan tegangan (*step-down*). Trafo daya tidak dapat digunakan langsung untuk menyuplai beban, karena sisi tegangan rendahnya masih lebih tinggi dari tegangan beban, sedangkan sisi tegangan tingginya merupakan tegangan transmisi. Trafo daya berfungsi sebagai *step-up* pada sistem dimana tegangan keluaran lebih tinggi dari pada tegangan masuk (misalnya pada pengiriman/penyaluran daya) dan sebaliknya trafo berfungsi sebagai *step-down* jika tegangan keluaran lebih rendah dari pada tegangan masukan (misalnya menerima/mengeluarkan daya).

### 2. Transformator Distribusi.

Transformator Distribusi pada dasarnya sama dengan trafo daya, bedanya adalah tegangan rendah pada trafo daya bila dibandingkan dengan tegangan tinggi trafo distribusi masih lebih tinggi. Kedua tegangan pada transformator distribusi merupakan tegangan distribusi yaitu untuk distribusi tegangan menengah (TM) dan distribusi tegangan rendah (TR). Trafo distribusi digunakan mendistribusikan energi

listrik langsung ke pelanggan. Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo *step-down* 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 Volt, karena sering terjadi *drop* tegangan maka JTR sering dibuat diatas 380 Volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 Volt.

### 3. Transformator ukur.

Pada umumnya trafo ini digunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V). Trafo ini dibuat khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak mungkin bisa diukur langsung oleh Amperemeter atau Volt Meter.

### 4. Transformator Elektronik.

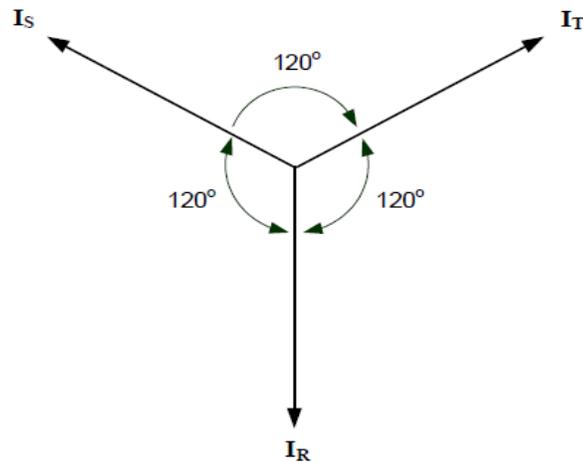
Trafo ini prinsipnya sama seperti trafo daya, tapi kapasitas daya listrik sangat kecil, yaitu kurang 300 vA yang digunakan untuk keperluan pada rangkaian elektronik.

## 2.7 Ketidak seimbangan Beban Transformator

Ketidak seimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidak seimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidak seimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vektor arus / tegangan adalah sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain, seperti yang terlihat pada gambar 2.8 di bawah ini :



Gambar 2. 8 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Dimana beban tiga fasa tahanan yang sama besarnya, besarnya arus saluran IR IS IT mengalir melalui masing masing elemen apabila salah satu titik fasa di hubungkan dari saluran dengan tahanan beban masing-masing. Dimana ketiga arus penghantar atau arus fasa mempunyai besar yang sama, karena beban dalam hubungan bintang adalah seimbang. Oleh karena itu dalam hal beban keadaan seimbang penghantar netral tidak di aliri arus listrik, maka sistem empat kawat ini dapat disederhanakan menjadi sistem tiga kawat IR IS IT karena penghantar netral tidak di aliri arus listrik.

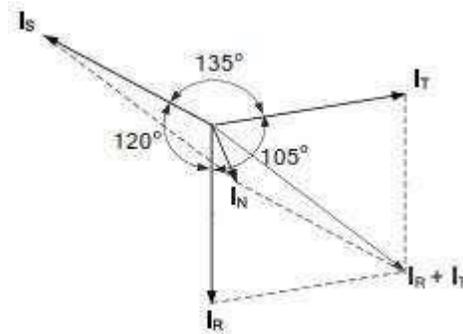
Ini hanya mungkin bila terdapat beban yang seimbang, artinya semua tahanan beban adalah sama besar dan sistem sumber yang bersifat simetris atau sesuai. Dan disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah sama dengan nol dan sudut yang terbentuk adalah  $120^\circ$ , sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain

3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.9 di bawah ini :



Gambar 2. 9 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang

Pada ketidak seimbangan beban, penjumlahan nilai dari ketiga vektor arus ( $I_S$ ,  $I_R$  dan  $I_T$ ) nilainya tidak sama dengan nol (0), sebagai akibatnya muncul arus netral ( $I_N$ ) yang nilainya tergantung dari besarnya ketidak seimbangannya. Adapun untuk mengetahui seberapa besar nilai ketidak seimbangannya beban, pertama-pertama dilakukan perhitungan arus  $I_r$  ata-rata dengan rumusan berikut :

$$I_{\text{rata - rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$I_R = a \cdot I_{\text{rata - rata}} \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{\text{Rata - Rata}}}$$

$$I_S = b \cdot I_{\text{rata - rata}} \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{\text{Rata - Rata}}}$$

$$I_T = c \cdot I_{\text{rata - rata}} \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{\text{Rata - Rata}}}$$

sehingga persentase ketidak seimbangan bebannya dihitung dengan rumus

$$\text{ketidak seimbangan (\%)} = \frac{(|a-1|+|b-1|+|c-1|)}{3} \times 100\%$$

dimana;

IR = nilai arus pada fasa R

IS = nilai arus pada fasa S

IT = nilai arus pada fasa T

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (IR IS IT) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (IN) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidak seimbangannya.

Dimana setiap indikasi ketidak seimbangan terlihat arus netral yang seharusnya tidak ada. Disamping itu terlihat urutan fasa tidak mengikuti putaran jarum jam dan arus fasa yang tidak sama besar. dengan adanya fasa kenetral menjadi faktor utama ketidak seimbangan. Yang terlihat bahwa ketiga vektotr tidak membntuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

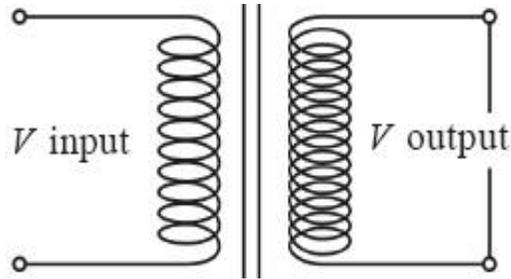
Adapun penyebab ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut :

1. Beban yang tidak merata pada sistem distribusi tenaga listrik.
2. Beban yang tidak merata dalam sistem beban tenaga listrik.
3. Pembagian beban per fasa yang tidak merata.
4. Peralatan jaringan listrik yang mengalami kerusakan seperti kapasitor bank yang terbakar, trafo terbakar, hubungan open delt yang rusak dan lain-lain.

## 2.8 Trafo Step Up

Transformator Step-Up adalah trafo penaik tegangan dari tegangan AC Yang rendah menjadi tegangan yang tinggi. Tegangan di sisi Sekunder sebagai tegangan keluaran Output yang lebih tinggi dapat ditingkatkan dengan memperbanyak jumlah lilitan, pada kumparan sekundernya jumlah lilitannya lebih banyak daripada jumlah

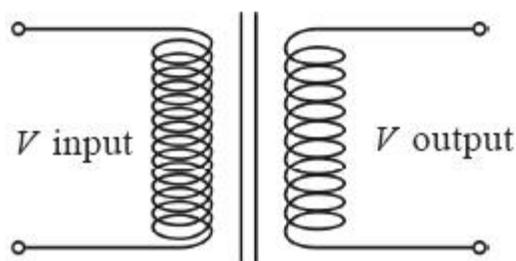
lilitan pada kumparan primernya. Pada pembangkit listrik, Trafo jenis ini digunakan sebagai penghubung trafo generator ke jaringan (grid).



Gambar 2. 10 Skema Transformator Step Up

## 2.9 Trafo Step Down

Trafo Step Down adalah trafo penurun tegangan dari tegangan yang tinggi menjadi tegangan lebih rendah. Pada Trafo Step Down ini, Rasio jumlah lilitan pada kumparan primer lebih banyak jika dibandingkan dengan jumlah lilitan pada kumparan sekundernya atau kebalikannya trafo step-up. Di jaringan Distribusi, transformator atau trafo step down ini digunakan untuk mengubah dan menurunkan tegangan grid yang tinggi menjadi tegangan rendah yang bisa digunakan untuk peralatan rumah tangga. Sedangkan di rumah tangga, kita sering menggunakannya untuk menurunkan tegangan listrik yang berasal dari PLN (220V) menjadi tegangan yang sesuai dengan peralatan elektronik yang digunakan.



Gambar 2. 11 Skema Transformator Step Down

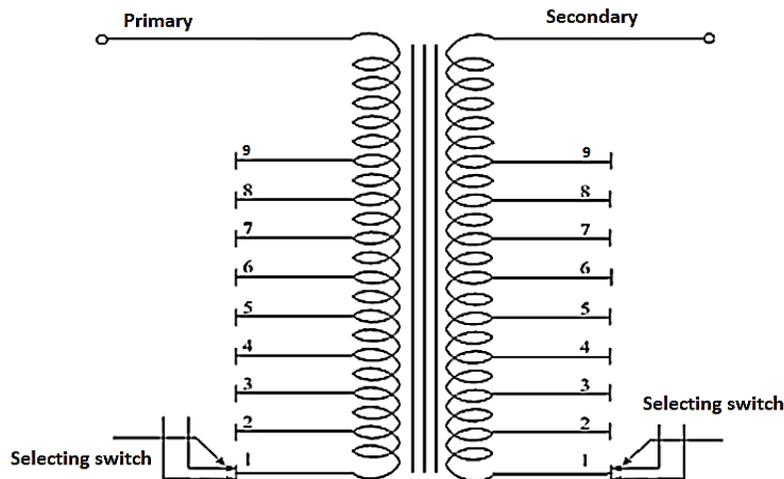
## 2.10 Tap Changer

Tap Changer atau pengubah tapping adalah suatu alat pengubah tegangan dengan mengubah rasio perbandingan belitan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder akibat adanya perubahan tegangan pada sisi primer. Tegangan keluaran atau tegangan terminal konsumen dapat dikendalikan dengan pemasangan tapping pada sisi primer atau sisi sekunder transformator. Perubahan posisi tapping dikendalikan oleh tap changer. Prinsip pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder.  $V_1$ ,  $N_1$  dan  $V_2$ ,  $N_2$  adalah parameter tegangan primer dan sekunder.

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad (2 - 7)$$

$$V_2 = \frac{V_1}{N_1} \cdot N_2 \quad (2 - 8)$$

Tapping dapat di buat diawal, diakhir dan ditengah belitan transformator ditunjuk pada gambar 2.12 di bawah ini:



Gambar 2. 12 Rangkaian Tap Changer

Tap changer tanpa beban biasanya digunakan pada transformator distribusi dimana tegangan lebih stabil, sehingga pengaturan tappingnya dilakukan pada saat pemasangan trafo ke dalam sistem tenaga listrik dan dalam waktu jangka lama. Suatu trafo, tapping dibuat pada sisi primer. Ketika semua belitan primer dalam rangkaian terhubung ke sumber tegangan sekundernya.

## 2.11 Rugi-rugi Daya Transformator

Pada dasarnya energi listrik yang dimasukkan ke transformator tidak sama dengan energi yang dikeluarkan dari transformator tersebut. Hal ini di karenakan adanya rugi-rugi yaitu adanya arus yang hilang saat melewati trafo tersebut. Rugi-rugi daya dapat dibagi menjadi dua yaitu rugi inti ( $P_i$ ) dan rugi tembaga ( $P_{cu}$ ). Pada kondisi beban nol, rugi-rugi yang terjadi hanyalah rugi inti. Rugi ini tidak berpengaruh dengan adanya perubahan beban. Besarnya rugi inti dari beban nol sampai beban penuh nilainya sama, dengan asumsi tegangan *primer* tidak berubah atau konstan.

### 2.11.1 Rugi-rugi Inti (Besi)

Rugi-rugi inti ( $P_I$ ) dapat digolongkan kepada dua bagian yaitu rugi *histeris* dan rugi *eddy current* (arus pusar). Jadi rugi-rugi inti dapat dituliskan dalam persamaan :

$$P_i = P_h + P_e \quad (2 - 21)$$

Dimana :

$P_i$  = rugi inti.

$P_h$  = rugi *histerisis*.

$P_e$  = rugi *eddy current*.

## 1. Rugi Histeris ( $P_h$ )

Rugi *histerisis* adalah rugi yang disebabkan oleh *fluks* bolak-balik pada inti besi. Pada besi yang mendapat *fluks* bolak-balik, rugi *histerisis* per *cycle* berbanding dengan luas lup (jerat) *histerisis*. Rugi *histerisis* dapat dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut :

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m (\text{Watt}) \quad (2 - 22)$$

Dimana

$K_h$  = Konstanta *histerisis*.

F = Frekuensi.

$B_m$  = Kerapatan *fluks* maksimum.

## 2. Rugi *Eddy Currents* ( Arus Pusar)

Rugi-rugi ini disebabkan oleh arus yang terinduksi di inti. Adapun arus pusar ini di tentukan 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 berbandingan dengan.

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, jadi:

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_m^2 (\text{Watt}) \quad (2 - 23)$$

Dimana:

$P_e$  = rugi *eddy current*

$K_e$  = konstanta

$B_M$  = Kerapatan fluks maksimum

$F^2$  = frekuensi (Hz)

Jadi rugi inti adalah :

$$P_f = P_h + P_e = K_h \cdot F \cdot B_m + K_h \cdot f^2 \cdot B_m^2 \quad (2 - 24)$$

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

### 2.11.2 Rugi-rugi Tembaga ( $P_{cu}$ )

Rugi-rugi tembaga terjadi karena resistansi dalam belitan. Rugi-rugi tembaga akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga menyebabkan arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga juga. Rugi-rugi tembaga ini dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$p_{cu} = I^2 \cdot R \quad (2 - 25)$$

Dimana:

$P_{cu}$  = rugi –rugi tembaga

I = arus (ampere).

R = tahanan ( Ohm).

### 2.12 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 :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (2 - 26)$$

Dimana :

$P_N$  = rugi netral penghantar trafo ( $\varphi$ )

$I_N$  = 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:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (2 - 27)$$

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.

Rugi-rugi dapat dinyatakan sebagai berikut.

1. Rugi daya aktif =  $I^2 \cdot R$  watt.
2. Rugi daya reaktif =  $I^2 \cdot X$  watt.
3. Rugi daya semu =  $\sqrt{(I \cdot R)^2 + (I \cdot X)^2}$ .

### 2.13 Jaringan Distribusi

Antara lain struktur jaringan radial, struktur jaringan *loop*, dan struktur jaringan *spindle*. Jaringan distribusi adalah semua bagian dari suatu sistem yang menunjang pendistribusian tenaga listrik yang berasal dari gardu untuk klasifikasi jaringan distribusi menurut strukturnya.

Sistem Distribusi suatu bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah:

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat konsumen.

2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena satu daya pada suatu pusat-pusat beban konsumen dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Secara umum distribusi dibagi menjadi 5 bagian yaitu :

1. Gardu Induk Distribusi.

Gardu induk distribusi adalah induk dimana terdapat transformator daya yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi (TT) menjadi tegangan menengah (TM).

2. PMT

PMT adalah alat pemutus tegangan listrik yang berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan hubungan listrik.

3. Jaringan Primer.

Jaringan primer adalah jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke transformator dengan tegangan yang disalurkan adalah 20 kV.

4. Transformator Distribusi.

Transformator distribusi adalah suatu alat yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20 kV (TM), ke tegangan rendah 380 – 220 V (TR).

5. Jaringan Sekunder.

Jaringan sekunder/jaringan tegangan rendah adalah suatu jaringan yang menghubungkan transformator distribusi dengan konsumen, besar tegangan yang disalurkan adalah 380/220 V.



60 Hz, sedang 3000 rpm untuk 50 Hz. Untuk tegangan kapasitas trafo yang sama, karena trafo 60 Hz lebih ringan di bandingkan trafo 50 Hz, sehingga material yang diperlukan lebih sedikit. Diantaranya reaktansi induksi lebih kecil, dan reaktansi lebih besar, sehingga batas beban bertambah, rugi jaringan berkurang, dan efisiensi lebih tinggi. Di Indonesia sendiri frekuensi yang digunakan ditetapkan 50 Hz.

### **2.13.3 Jaringan Distribusi Menurut Konstruksi**

Berdasarkan dari segi konstruksi, jaringan distribusi dapat dibagi atas:

#### **1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM).**

Saluran udara tegangan menengah banyak di pakai di kota-kota kecil ataupun kota besar yang bebannya kurang padat. Berdasarkan hal-hal di atas maka pemilihan tipe konstruksi yang cocok banyak tergantung pada kondisi dan permintaan konsumen.

#### **2. Saluran Kabel Bawah Tanah (SKTM).**

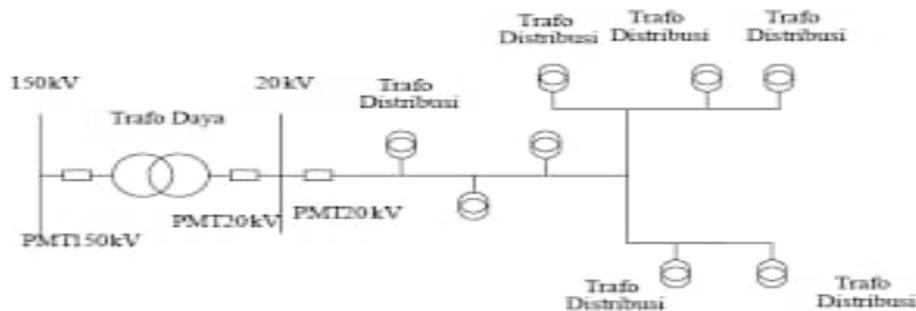
Saluran kabel bawah tanah adalah saluran tegangan menengah yang peletaknya ditanam di dalam tanah, walaupun sebenarnya saluran udara bila ditinjau dari segi teknis lebih ekonomis, sedangkan saluran kabel bawah tanah lebih menguntungkan ditinjau dari segi kurangnya jumlah gangguan keindahan.

### **2.13.4 Jaringan Distribusi Berdasarkan Konfigurasi Jaringan**

Pola jaringan distribusi primer pada suatu sistem distribusi sangat menentukan mutu pelayanan yang diperoleh dari sistem tersebut, khususnya mengenai kontinuitas pelayanannya.

### 1. Sistem *Radial*

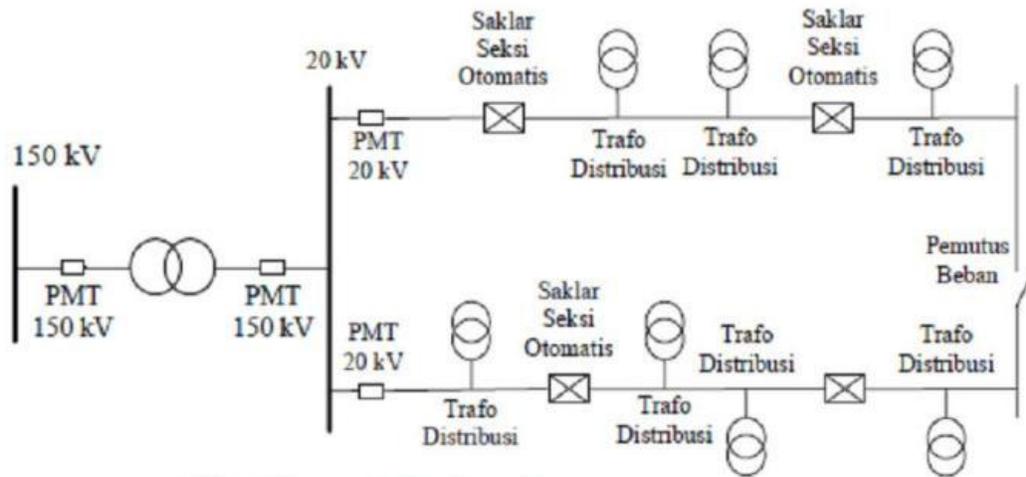
Sistem *radial* adalah konfigurasi jaringan primer dan setiap salurannya hanya mampu menyalurkan daya dari satu aliran daya. Sistem ini biasa di pakai untuk melayani daerah dengan tingkat kepadatan beban rendah. Dengan keuntungannya adalah kesederhanaan dari segi teknis serta biaya awal pembuatan lebih murah sedangkan kelemahannya adalah kontinuitas pelayanan tidak dapat dijamin dan apabila terjadi gangguan (terutama dekat dengan sumber), maka semua beban akan ikut terganggu hingga dapat diatasi, berarti terputusnya pelayanan kepelanggan dan rugi daya dan tegangan juga tinggi seperti pada gambar 2.14 dibawah ini.



Gambar 2. 14 Jaringan sistem radial

### 2. Sistem *loop*

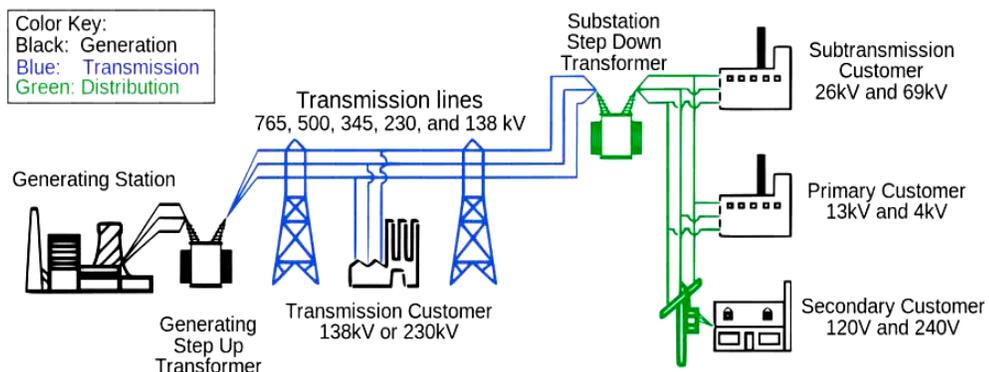
Sistem konfigurasi *loop* adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya dan di kelilingi beban kemudin kembali ke titik rel daya semula. Jaringan konfigurasi biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kontinuitas dan pelayanan dengan baik ( lebih baik dari sistem *radial*) serta banyak digunakan di daerah industri kecil,dan daerah komersil. Karena sistemnya berbentuk *loop* maka sering di gunakan sistem cincin gelang, dengan keuntungannya adalah gangguan akan dapat di lokalisir sekecil mungkin karena kedua ujung penyulang tersambung pada sumber sehingga pelayanan kontinuitas dapat dijamin seperti pada gambar 2.15 dibawah ini.



Gambar 2. 15 Jaringan sistem loop

### 3. Sistem *Grid* (*Network*)

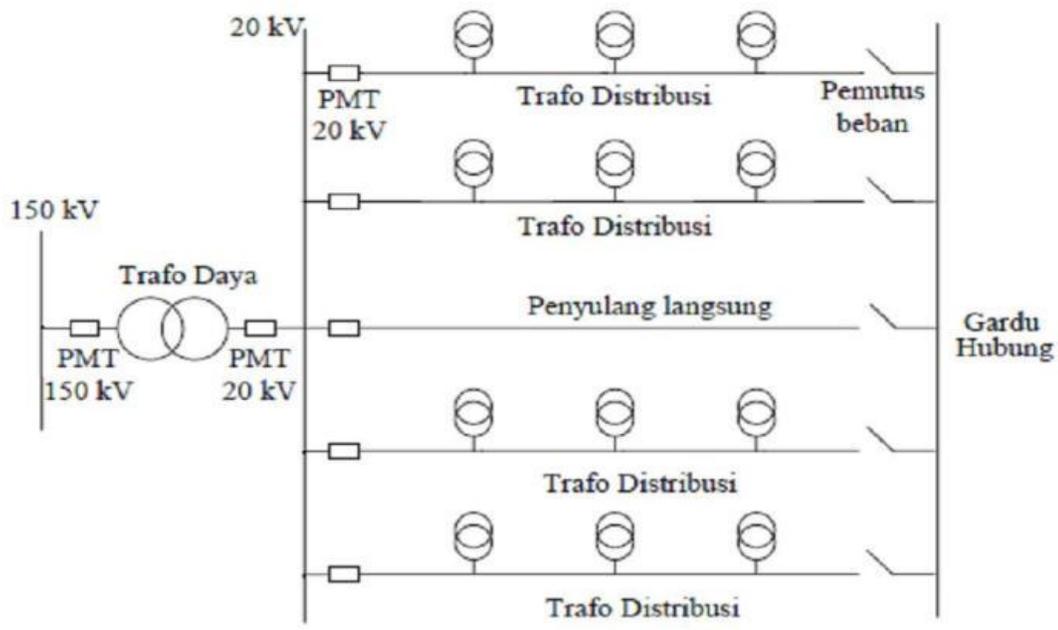
Sistem *grid* adalah sistem yang mempunyai beberapa rel daya yang di hubungkan dengan saluran *tie feeder* dan setiap gardu distribusi dapat menerima daya dari satu atau ke rel lain. Keuntungan dari sistem *grid* ini adalah kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola *radial* maupun *loop*. Fleksibilitas dalam menghadapi/mengantisipasi perkembangan beban sesuai dengan kerapatan tinggi seperti pada gambar 2.16 dibawah ini.



Gambar 2. 16 Jaringan sistem gred

#### 4. Sistem Spindle

Sistem distribusi pola *spindel* merupakan pengembangan pola *radial* dan *loop* terpisah. Beberapa saluran yang keluar dari satu gardu induk diarahkan menuju satu tempat yang disebut gardu hubung (GH), kemudian antara gardu induk dengan gardu hubung tersebut di hubungkan dengan satu saluran yang disebut *Feeder Express* seperti pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2. 17 Jaringan sistem spindle

Gardu Distribusi pada sistem ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Pada keadaan normal sistem ini bekerja secara *radial*, namun dalam keadaan darurat atau terjadi gangguan bekerja secara *loop*. Dengan keuntungannya sangat sederhana dalam hal teknis dalam pengoperasian secara *radial* dan *kontinuitas* lebih baik dari sistem *radia* atau *loop*. Pengecekan pada masing-masing beban lebih mudah dibandingkan dengan pola *grid*. Dengan demikian peralatan pengaman (*proteksi*) lebih sederhana dari pola *grid*, dan baik dipergunakan pada daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.

## 2.14 Daya Pada Saluran Distribusi

Misalnya daya sebesar (P) disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus pada pisa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \quad (2-9)$$

Dimana :

P = daya pada ujung (W).

V = tegangan pada ujung (V).

Cos  $\varphi$  = faktor daya. ( $\Omega$ )

Daya yang sampai pada ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika [I] adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang besarnya arus pisa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut:

$$[I_R] = a [I_{\text{rata-rata}}] \quad (2-10)$$

$$[I_S] = b [I_{\text{rata-rata}}] \quad (2-11)$$

$$[I_T] = c [I_{\text{rata-rata}}] \quad (2-12)$$

Dimana  $I_R$ ,  $I_S$  dan  $I_T$  berturut-turut adalah arus di fasa R, S dan T.

Bila faktor daya ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi \quad (2-13)$$

Jika persamaan  $= (a+b+c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi$  dan persamaan  $P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \varphi$  menyatakan data yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu :

$$a + b + c = 3 \quad (2-14)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai  $a = b = c = 1$ .

## 2.15 Arus Beban Penuh

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

berikut:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2-15)$$

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:

$$I_F = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (2-16)$$

Dimana :

$I_F$  = arus beban (A).

S = daya trafo (kVA)

V = sisi primer(kV)

## 2.16 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar bergerak umumnya antara 50-60 % karena rugi gesek dan angin. Transformator tidak memiliki bagian yang bergerak dan berputar, maka rugi-rugi tidak muncul.

Trasnformator tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. 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:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100 \% \quad (2-28).$$

$$P_{in} = P_{out} + rugi - rugi \quad (2-29).$$

Jadi:

$$\eta = \frac{P_{Out}}{P_{out+rugi-rugi}} \cdot 100 \% \quad (2-30).$$

Dimana :

$\eta$  = efisiensi (%)

$P_{out}$  = daya keluar ( watt).

$P_{in}$  = daya masuk ( watt).

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat dan Waktu**

##### **3.1.1 Tempat**

Tempat dilaksanakannya kegiatan penelitian ini yaitu di Jl. Lingkar Pelabuhan No. 1 Belawan, Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan.

##### **3.1.2 Waktu**

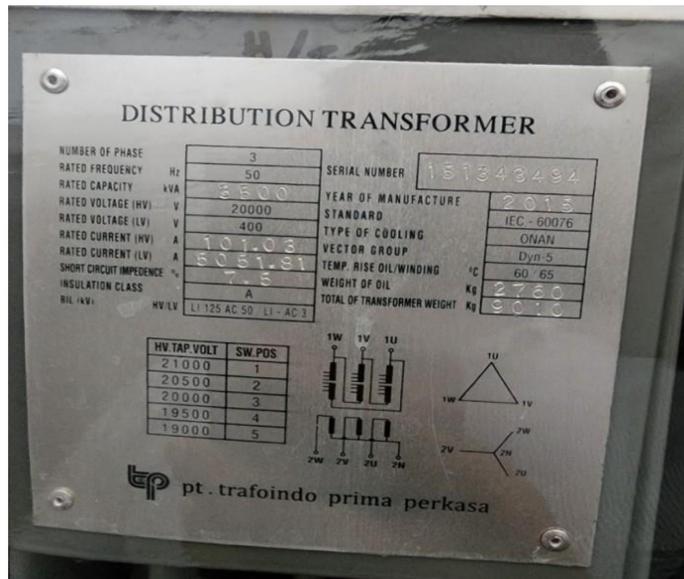
Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan dalam waktu 3 bulan di mulai dari persetujuan proposal hingga selesai penelitian, terhitung dari tanggal 12 April 2024 sampai 11 Mei 2024. Penelitian di awali dengan studi Pustaka, penentuan lokasi penelitian, penyusunan proposal penelitian, penyusunan bab 1,2 dan 3, analisis ketidakseimbangan beban transformator 20 kv.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Dalam Penelitian ini menggunakan transformator distribusi dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator

<b>Spesifikasi Transformator</b>	
Buatan Pabrik	PT. Trafindo Prima Perkasa
Trafo	1 x 3 Fasa
Daya	3500 kVA
Tegangan Kerja	6,6 kV
Arus	101,03 A
Frekuensi	50 Hz
Rg Dan Rn	0,9 A



Gambar 3. 1 Spesifikasi Trafo Sesuai Dengan Nameplate

### 3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian analisis ketidak seimbangan trafo 20 kv ini yaitu :

#### 1. Studi Pendahuluan

Mengadakan bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai judul dan topik pembahasan yang diarahkan untuk penelitian yang dilakukan ini.

#### 2. Data Kepustakaan

Pengumpulan data-data dengan jalan membaca dan mempelajari berbagai literatur-literatur, tulisan- tulisan, dan bahan- bahan kuliah yang diperoleh selama mengikuti perkuliahan guna memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan materi yang menjadi pembahasan dalam penulisan tugas akhir ini.

### 3. Penelitian Lapangan

Penelitian yang dilakukan secara langsung dengan cara menganalisis trafo 20 kv. Untuk mendapatkan hasil analisis trafo 20 kv. Untuk menganalisis trafo 20 kv biasanya di ukur dengan menggunakan multi tester trafo.

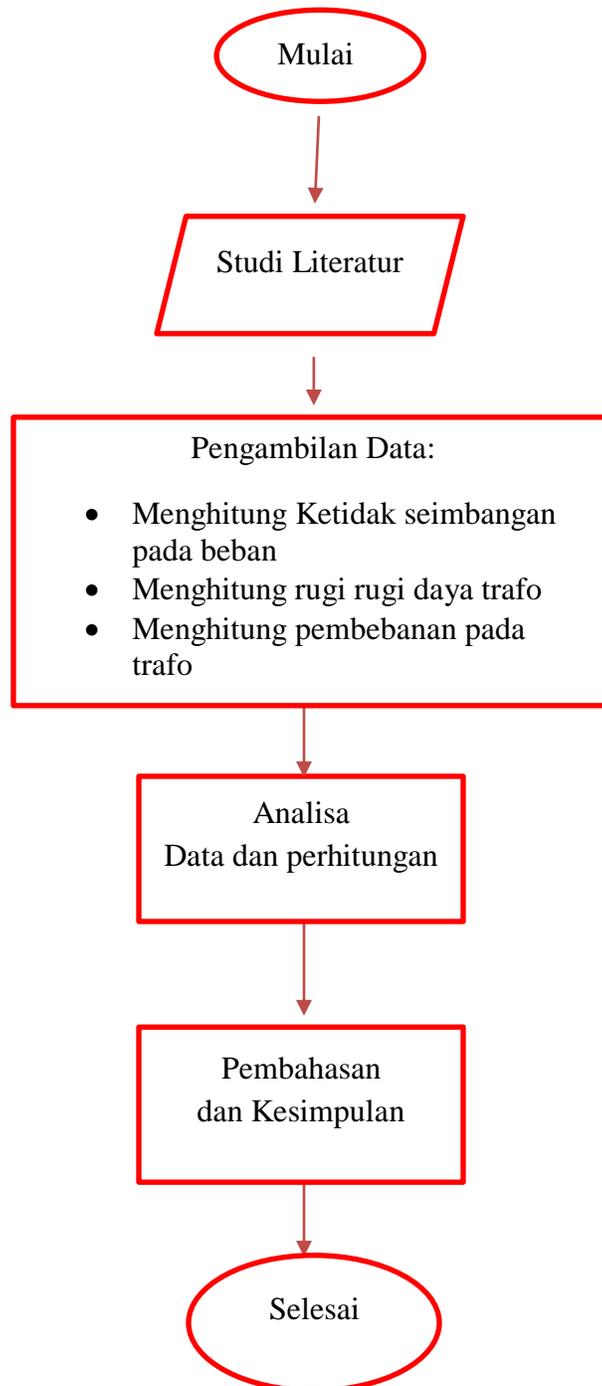
### 4. Tahap Analisa

Adapun tahapan analisa yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis ketidakseimbangan beban trafo 20 kv di PT. PELINDO BELAWAN
2. Menganalisis besar rugi rugi daya pada trafo 20 kv di PT. PELINDO BELAWAN
3. 3.Menganalisis Pengaruh pembebanan pada trafo 20 kv di PT. PELINDO BELAWAN

### 3.4 Bagian Akhir Penelitian

Blog Diagram Alur Penelitian :



Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian

## BAB IV

### ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Ketidak seimbangan Beban

Pada transformator, beban puncak sangat sering terjadi diakibatkan arus yang mengalir melebihi kapasitas yang telah ditetapkan. Menurut puil 2000 beban puncak yang sering terjadi yaitu pada sore dan malam hari. Jika hal ini terus-menerus terjadi maka trafo akan mengalami kerusakan, untuk itu harus ada penanganan secepatnya dengan cara mengurangi pemakaian beban pada waktu beban puncak terjadi. Sedangkan yang dimaksud dengan ketidak seimbangan beban adalah, arus yang mengalir di tiap-tiap fasa tidak sama besarnya dan tidak membentuk sudut  $120^0$ . Untuk mengetahui berapa besar beban puncak dan ketidak seimbangan beban yang terjadi pada tranformator distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN maka akan dilakukan perhitungan dengan menggunakan data yang telah diperoleh dari PT. PELINDO BELAWAN.

##### 1. Data Transformator

Daya Pengenal = 3500 kVA.

Cos  $\phi$  = 0,85  $\Omega$

dan di kelilingi beban kemudin kembali ke titik rel daya semula. Jaringan konfigurasi biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kontinuitas dan pelayanan dengan baik ( lebih baik dari sistem *radial*) serta banyak digunakan di daerah industri kecil, dan daerah komersil. Karena sistemnya berbentuk *loop* maka sering di gunakan sistem cincin gelang, dengan keuntungannya adalah gangguan akan dapat di lokalisir sekecil

mungkin karena kedua ujung penyulang tersambung pada sumber sehingga pelayanan kontinuitas dapat dijamin seperti pada dengan cara mengurangi pemakaian beban pada waktu beban puncak terjadi. Sedangkan yang dimaksud dengan ketidak seimbangan beban adalah, arus yang mengalir di tiap-tiap fasa tidak sama besarnya dan tidak membentuk sudut  $120^{\circ}$ . Untuk mengetahui berapa besar beban puncak dan ketidak seimbangan beban yang terjadi pada transformator distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN maka akan

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

Dimana :

$$I_{FL} = \frac{400000kV}{\sqrt{3} \cdot 440V} = \frac{400000kV}{762,10V} = 524,865 A$$

$$P = I \cdot V_{L-L} \cdot \sqrt{3} \cdot PF$$

$$P = 524,865A \cdot 440V \cdot 1,73 \cdot 0,85 = 339598,152 \text{ Watt} = 339,598 \text{ kW}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa arus beban penuh trafo adalah 524,865A atau 339,598kw Setelah arus beban penuh diperoleh baru didapatkan persamaan untuk menghitung arus rata-rata yaitu:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{aligned} 1. I_{\text{rata-rata pagi}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{118 + 128 + 53}{\sqrt{3}} = 172,6 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. I_{\text{rata-rata sore}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{210 + 205 + 173}{\sqrt{3}} = 339,4 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. I_{\text{rata-rata malam}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{231 + 230 + 248}{\sqrt{3}} = 409,3 A \end{aligned}$$

## 2. Tabel Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan

Tabel 4. 1 Pengukuran arus dan tegangan transformator distribusi

Waktu	Hari	Fasa	Arus (A)	Tegangan (V)
Pagi (09. <sup>00</sup> WIB)	SELASA	R		
		S		
		T		
		N		
Siang (13. <sup>30</sup> WIB)	RABU	R		
		S		
		T		
		N		
Sore (16. <sup>00</sup> WIB)	KAMIS	R		
		S		
		T		
		N		
Malam (20. <sup>00</sup> WIB)	JUMAT	R		
		S		
		T		
		N		

Dapat dilihat pada table 4.1 diatas menunjukkan bahwa pengukuran arus dan tegangan transformator distribusi.

### 4.1.1 Perhitungan Arus Beban Puncak

Perhitungan arus beban puncak transformator dilakukan dengan menghitung arus beban penuh trafo terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan (2-15), 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 :

$$I_{FL} = \frac{400000kV}{\sqrt{3} \cdot 440V} = \frac{400000kV}{762,10V} = 524,865 A$$

$$P = I \cdot V_{L-L} \cdot \sqrt{3} \cdot PF$$

$$P = 524,865A \cdot 440V \cdot 1,73 \cdot 0,85 = 339598,152 \text{ Watt} = 339,598 \text{ kW}$$

Dari perhitungan terlihat bahwa arus beban penuh trafo adalah 524,865A atau 339,598kw Setelah arus beban penuh diperoleh baru didapatkan persamaan untuk menghitung arus rata-rata yaitu:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}}$$

$$\begin{aligned} 1. I_{\text{rata-rata pagi}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{118+128+53}{\sqrt{3}} = 172,6 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. I_{\text{rata-rata sore}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{210+205+173}{\sqrt{3}} = 339,4 A \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. I_{\text{rata-rata malam}} &= \frac{I_R + I_S + I_T}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{231+230+248}{\sqrt{3}} = 409,3 A \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas terlihat bahwa arus rata-rata terbesar terjadi pada malam

hari yaitu sebesar 409,3 A. Setelah arus beban puncak diperoleh, selanjutnya akan dihitung persentase perband Bila di tinjau dari tegangan tinggi, daya transformator dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad (2-15)$$

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:

$$I_F = \frac{S}{3 \times V} \quad (2-16)$$

Dimana :

$I_F$  = arus beban (A).

S = daya trafo (kVA)

V = sisi primer(kV)

## 2.16 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi-rugi yang selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar bergerak umumnya antara 50-60 % karena rugi gesek dan angin. Transformator tidak memiliki bagian yang bergerak dan berputar, maka rugi-rugi tidak muncul.

Trasnformator tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%.

ingan arus rata-rata dan arus beban penuh dikali dengan 100% untuk mengetahui berapa persen pembebanan yang terdapat pada trafo distribusi, perhitungan ditulis dengan rumus dibawah ini:

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{FL}}} \cdot 100\%$$

Jadi Persentase Beban Adalah :

1. Beban Pada Pagi Hari.

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{FL}}} \cdot 100\% = \frac{393,1\text{A}}{524,865\text{A}} \cdot 100\% = 74\%$$

$$\% = 64\%$$

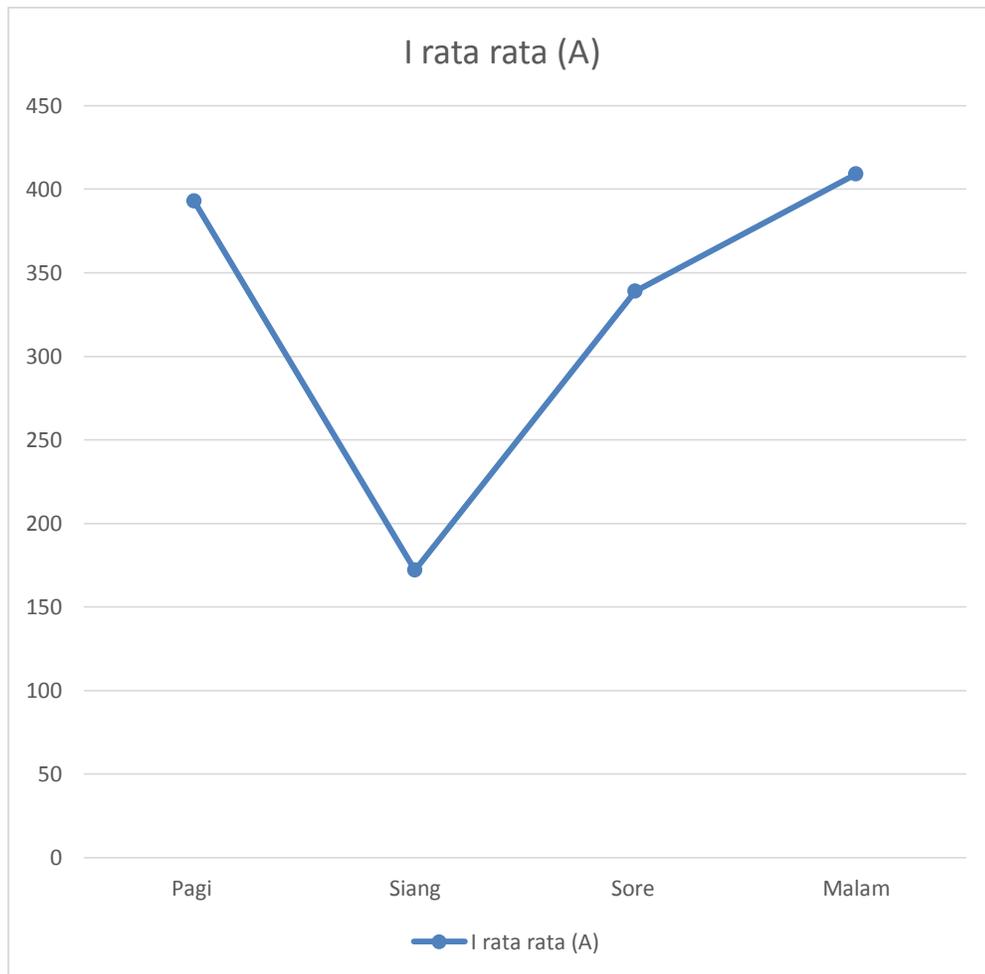
4. Beban Pada Malam Hari.

$$\% \text{Beban} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{FL}}} \cdot 100\% = \frac{409,3\text{A}}{524,865\text{A}} \cdot 100\% = 77\%$$

Tabel 4. 2 Hasil perhitungan arus beban puncak

Waktu	I <sub>r</sub> (A)	I <sub>s</sub> (A)	I <sub>t</sub> (A)	I <sub>rata-rata</sub> (A)	Persentase (%)
Pagi	225 A	221 A	235 A		
Siang	118 A	128 A	53 A		
Sore	210 A	205 A	179 A		
Malam	231 A	230 A	248 A		

Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa arus yang mengalir di fasa R,S, dan T berbeda baik itu pagi, siang, sore, maupun malam hari. Berdasarkan tabel dapat dikatakan bahwa beban puncak pada trafo lebih besar terjadi pada malam hari yaitu sebesar 409,3 A atau 77%



Gambar 4. 1 Grafik I rata-rata Arus Beban Puncak

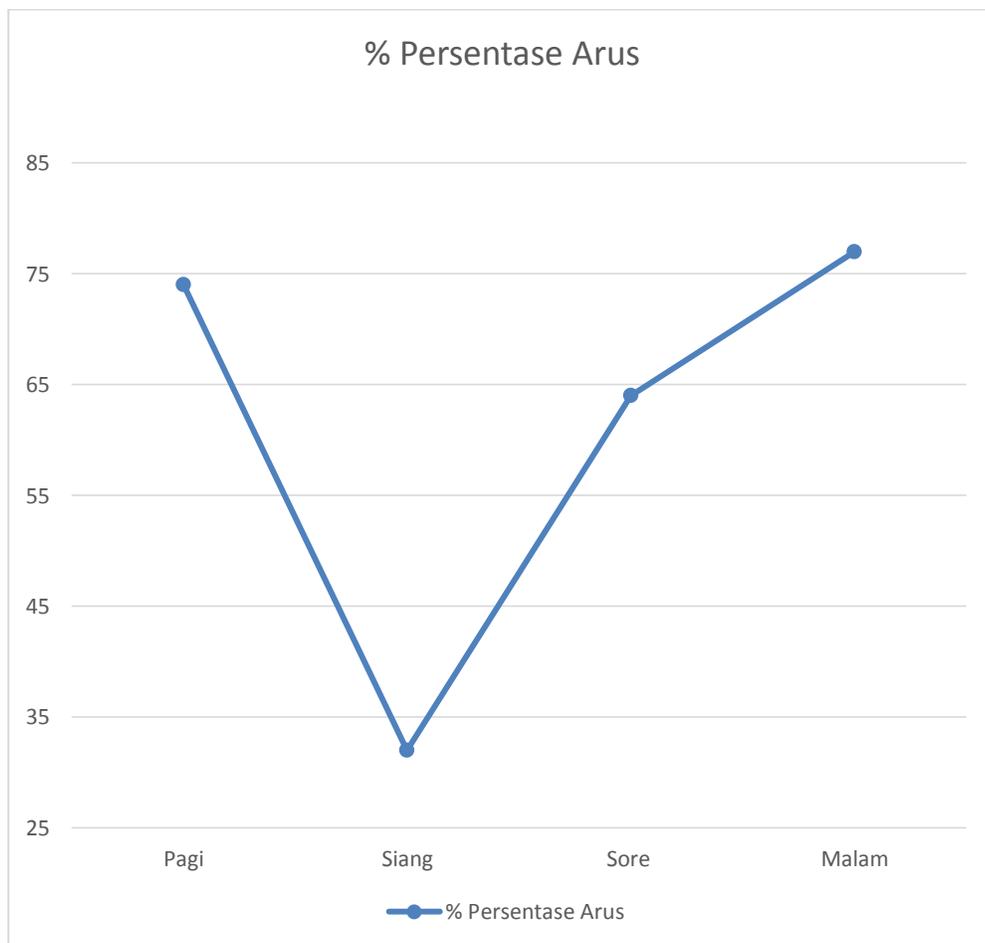
Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.1 menunjukkan bahwa arus I rata-rata dapat berbeda beda baik itu pagi, siang, sore, maupun malam hari.

Dengan menggunakan koefisien ketidak seimbangan beban yaitu  $a.b.c = 1$ , maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidak seimbangan beban perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_R = a.I \quad \text{jadi} \quad a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_S = b.I \quad \text{jadi} \quad b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_T = c.I \quad \text{jadi} \quad c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}}$$



Gambar 4. 2 Grafik Persentase Arus

Dari hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.2 menunjukkan bahwa persentase Arus.

#### 4.1.2 Perhitungan Ketidak seimbangan Beban

Dari tabel 4.2 hasil perhitungan Arus beban puncak, dapat dilihat bahwa beban puncak yang terjadi yaitu pada malam, dan terlihat bahwa beban dalam keadaan tidak seimbang. Untuk mengetahui berapa besar ketidak seimbangan beban yang terjadi dapat diketahui dengan perhitungan menggunakan persamaan rumus(2-20).

Dengan menggunakan koefisien ketidak seimbangan beban yaitu  $a.b.c = 1$ , maka arus rata-rata adalah arus fasa dalam keadaan seimbang. Jadi untuk mengetahui berapa besar ketidak seimbangan beban perhitungan dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_R = a.I \quad \text{jadi} \quad a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_S = b.I \quad \text{jadi} \quad b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_T = c.I \quad \text{jadi} \quad c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}}$$

#### 1. Perhitungan Ketidak seimbangan Beban Pada Pagi

$$= 0,597 \text{ A}$$

Setelah didapat ketidak seimbangan beban maka akan dihitung berapa besar rata-rata ketidak seimbangan beban pada pagi dengan menggunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3}$$

Jadi rata-rata ketidak seimbangan beban pagi adalah:

$$I_{\text{rata-rata}} = \frac{a+b+c}{3} = \frac{0,572+0,562+0,597}{3} = 0,571 \text{ A.}$$

Setelah didapat rata-rata ketidak seimbangan beban maka akan dihitung berapa besar persentasi ketidak seimbangan beban. Pada keadaan seimbang, besaran

keofisien a,b,dan c adalah 1 dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban dalam persen(%) dapat dirumuskan pada persamaan (2-20) sebagai berikut :

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \cdot 100\%$$

. 100 %

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{(0,428+0,438+0,403)}{3} \cdot 100 \%$$

$$\% \text{ketidakseimbangan} = 42,3 \%$$

## 2. Perhitungan Ketidak seimbangan Beban Pada Siang.

$$I_R = a \cdot I, \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{118A}{172,6A} = 0,683 \text{ A.}$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{128A}{172,6A} = 0,741 \text{ A.}$$

$$I_T = c \cdot I, \text{ jadi } c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{53A}{172,6A} = 0,307$$

$$\frac{\{|0,683-1| + |0,741-1| + |0,307-1|\}}{3} \cdot 100 \%$$

$$\% \text{ ketidak seimbangan} = \frac{\{0,317+0,259+0,693\}}{3} \cdot 100 \%$$

$$\% \text{ ketidak seimbangan} = 42,3 \%$$

## 3. Perhitungan Ketidak seimbangan Beban Pada Sore.

.100 %

$$\% \text{ ketidak seimbangan} = \frac{\{0,382A+0,396A+0,491A\}}{3} \cdot 100 \%$$

$$\% \text{ ketidak seimbangan} = 42,3 \%$$

## 4. Perhitungan Ketidak seimbangan Beban Pada Malam.

$$I_R = a \cdot I, \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{231A}{409,3A} = 0,564 \text{ A.}$$

$$I_S = b \cdot I, \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}} = \frac{230A}{409,3A} = 0,561 \text{ A.}$$

. 100%

$$\% \text{ ketidak seimbangan} = \frac{(0,436A+0,439+0,395A)}{3} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ ketidak seimbangan} = 42,3 \%$$

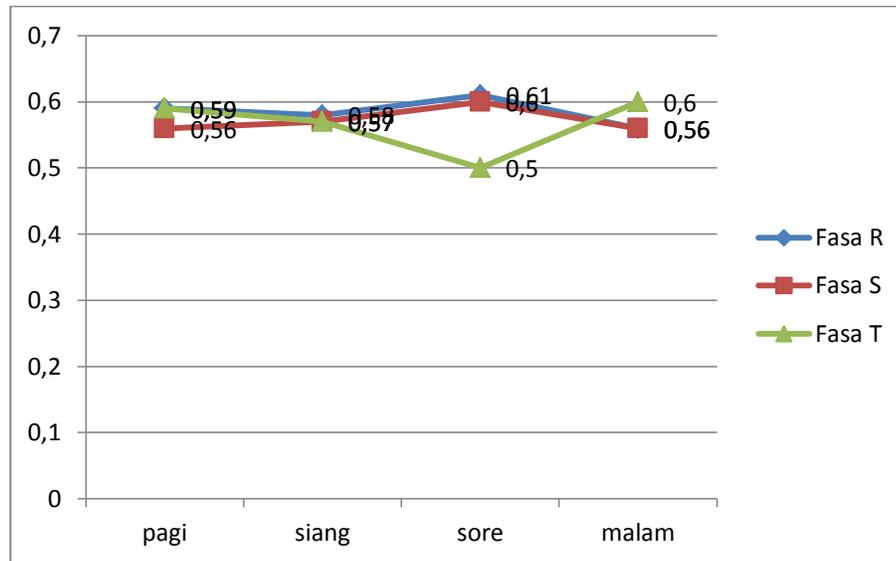
Waktu	A	B	C	Ketidak seimbangan rata-rata	Persentase (%)
Pagi	0,572 A	0,562 A	0,597 A		
Siang	0,683 A	0,741 A	0,307 A		
Sore	0,618 A	0,604 A	0,509 A		
Malam	0,564 A	0,561 A	0,605 A		

Tabel 4. 3 Hasil perhitungan ketidak seimbangan beban

Dari perhitungan yang dilakukan, didapatkan hasil bahwa transformator yang berada di PT. PELINDO BELAWAN, dalam keadaan tidak seimbang, namun ketidak seimbangan yang terjadi sangatlah kecil. Ketidakseimbangan rata-rata terbesar terjadi pada siang dan sore hari yaitu sebesar 0,577A, namun dalam perhitungan persentase didapat hasil yang sama besarnya yaitu 42,3%. Hal ini dikarenakan selisih ketidak seimbangan rata-rata pada pagi, siang, sore, dan malam sangat kecil atau selisih ampere tidak begitu besar.

tidak dibebani sebesar 100%. Sedangkan menurut IEC 60354 yang berjudul "*loading guide for oil-inunersed power transformers*", menyesuaikan suhu normal di indonesia sebesar 30<sup>0</sup>c maka pembebanan trafo distribusi pendingin ONAN adalah sebesar 90%. Sehingga diambil batas pembebanan trafo adalah sebesar 90%.

Menurut IEC 60354 tentang ketidak seimbangan beban trafo, adapun batas ketidak seimbangan trafo (dalam%) yang ditetapkan yaitu sebesar 5%, sehingga apabila



Gambar 4. 3 Grafik Ketidak seimbangan Beban

Di atas adalah grafik ketidak seimbangan beban pada trafo yang pada masing masing waktu berbeda beda jumlah bebannya.

#### 4.1.3 Analisis Beban Puncak dan Ketidak seimbangan Beban

Menurut SPLN 17:1979 tentang pedoman pembebanan transformator terendam minyak yang berbunyi. Berdasarkan publikasi IEC 76 (Bagian 1:Umum, ayat 2.1), transformator dirancang dengan syarat pelayanan antara lain bahwa untuk transformator pendingin-udara maka suhu udara tidak boleh melampaui:30<sup>0</sup>c (rata-rata harian), 20<sup>0</sup>c (rata-rata tahunan). Sehingga menurut SPLN 17:1979, sebaiknya trafo tidak dibebani sebesar 100%. Sedangkan menurut IEC 60354 yang berjudul "loading guide for oil-inunersed power transformers", menyesuaikan suhu normal di

Indonesia sebesar  $30^{\circ}\text{C}$  maka pembebanan trafo distribusi pendingin ONAN adalah sebesar 90%. Sehingga diambil batas pembebanan trafo adalah sebesar 90%.

Menurut IEC 60354 tentang ketidak seimbangan beban trafo, adapun batas ketidak seimbangan trafo (dalam%) yang ditetapkan yaitu sebesar 5%, sehingga apabila ditemukan ketidak seimbangan yang melebihi nilai tersebut maka harus diambil tindakan dengan cara pemerataan beban.

Setelah dilakukan pengukuran dan perhitungan pada transformator distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN maka didapat hasil. Beban puncak yang terbesar terjadi pada malam yaitu sebesar 77%, dan ketidak seimbangan beban yang terjadi yaitu sebesar 42,3%. Dengan demikian transformator distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN dalam keadaan normal/baik.

#### **4.2 Analisis Rugi-rugi Daya Akibat Ketidak seimbangan Beban**

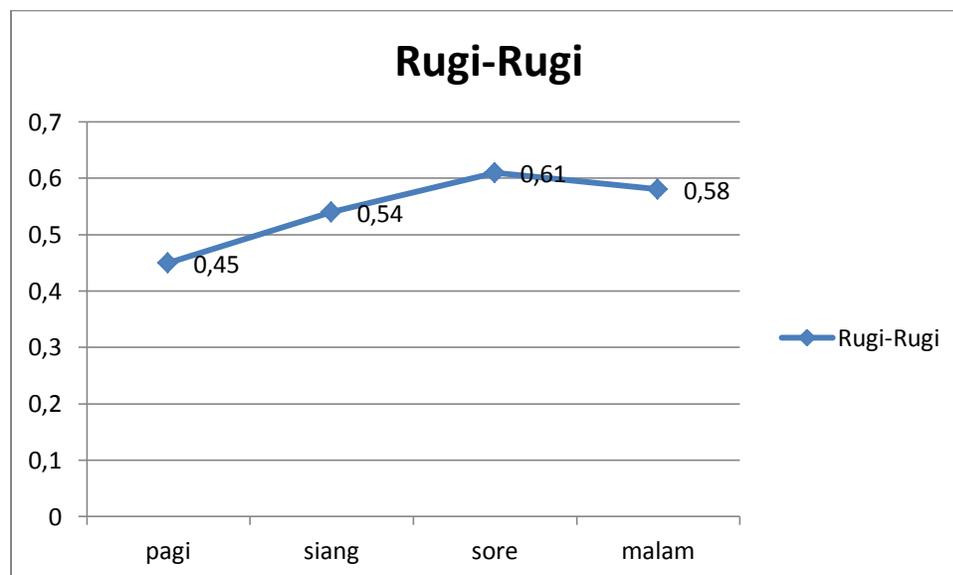
Ketidak seimbangan beban adalah, suatu keadaan dimana ketiga vector tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^{\circ}$  satu sama lain, sebagai akibat ketidak seimbangan beban pada trafo tersebut mengalir arus dipenghantar netral, hal ini menyebabkan timbulnya rugi-rugi pada penghantar netral tersebut. Transformator memang tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar pada peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. Transformator daya saat ini rata-rata dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%. Untuk mengetahui berapa besar rugi-rugi dan efisiensi yang terjadi pada transformator distribusi di PT. PELINDO BELAWAN maka perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan data yg di peroleh di PT. PELINDO BELAWAN.

#### 4.2.1 Perhitungan Rugi-rugi Daya Pada Transformator Distribusi

Tabel 4. 4 Hasil perhitungan rugi-rugi daya pada transformator

Waktu	$R_N$ ( $\Omega$ )	$I_N$ (A)	$P_N$ (kW)	Persentase(%)
Pagi	0,5049 $\Omega$	30 A		0,133 %
Siang	0.5049 $\Omega$	33 A		0,161 %
Sore	0,5049 $\Omega$	35 A		0,181 %
Malam	0,5049 $\Omega$	34 A		0,171 %

Dari hasil analisa yang dilakukan dapat diketahui bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban yang terjadi maka akan semakin besar rugi-rugi daya pada trafo tersebut. Seperti yang dituliskan pada tabel 4.4 diatas terlihat bahwa rugi-rugi daya lebih besar terjadi pada sore hari yaitu sebesar 0,618 kW atau 0,181%, hal ini terjadi karna ketidakseimbangan beban terbesar terjadi pada sore.



Gambar 4. 4 Grafik Rugi-rugi Daya

Di atas adalah grafik Rugi Rugi Daya pada trafo distribusi yang masing masing waktu berbeda

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Dari hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa tranformator distribusi yang berada di PT. PELINDO BELAWAN dalam keadaan normal, dengan beban puncak yang dihasilkan sebesar 77% dan ketidak seimbangan sebesar 42,3% ,karna tidak melebihi batas standar yang telah ditetapkan oleh SPLN 17:1972, IEC 60354 yaitu sebesar: 90% dan *IEC60354* tentang ketidak seimbangan beban yaitu sebesar 5%.
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-rugi terbesar terjadi pada sore yaitu sebesar 0,181%.
3. Kesimpulannya, manajemen pembebanan yang tepat pada trafo 20 kV sangat penting untuk menjaga efisiensi, memperpanjang umur operasional, dan memastikan keandalan sistem distribusi energi. Pembebanan yang melebihi kapasitas atau tidak terkelola dengan baik dapat berdampak negatif pada performa dan umur trafo.

## 5.2 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. Besar harapan penulis agar penelitiannya dapat lebih dikembangkan lagi ,untuk penelitian selanjutya penulis mengharapkan penelitian ini dilakukan menggunakan *software ETAP Power Station*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ajibah, R. (2021). *Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Gardu Distribusi PLN Unit PA0721 20KV-380V JL. Papera Palembang*.
- Anang Dasa Novfowan, Mochammad Mieftah, W. K. (2020). Alternatif Penanganan Losses Akibat Ketidakseimbangan. *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*, 08(1), 83–90.
- Binoto, M., Fariyono, F., & Raharjo, E. B. (2023). Analisis Rugi Daya Transformator Distribusi Saat Pembebanan Berdasarkan Pola Disemasi Jala-Jala Voltase Madya 20 Kv Mengenai Kualitas Listrik Kota Solo. *Teknika*, 8(1), 38–46. <https://doi.org/10.52561/teknika.v8i1.222>
- Kasus, S., Penyulang, P., Di, B., & Induk, G. (2016). *ANALISA KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP RUGI-RUGI DAYA PADA SALURAN DAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20KV (STUDI KASUS PADA PENYULANG BADAI DI GARDU INDUK TELUK BETUNG)*. 51–52.
- Markus Dwiyanto Tobi Sogen, ST., M. (2018). *ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT PLN (PERSERO) AREA SORONG*. 4, 1–10.
- 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.
- Patilima, M. (2022). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses dan Pembebanan Transformator Distribusi. *Jurnal Electrighsan*, 11(01), 20–28. <https://doi.org/10.37195/electrighsan.v11i01.85>
- Prayoga, A. B., & Suprianto, B. (2023). 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.
- Sihotang, B., & Handajadi, I. (2015). Studi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi 20 Kv Rayon Yogyakarta. *Jurnal Elektrikal*, 2(2), 43–43.
- SIREGAR, T. W. (2022). *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Ulp Siborongborong*. 1–33. [http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/7395%0Ahttps://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/7395/TORAJA\\_SIREGAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/7395%0Ahttps://repository.uhn.ac.id/bitstream/handle/123456789/7395/TORAJA_SIREGAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y) W.
- Sultan, A. R., & Rachman, R. F. (2018). Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Penyulang Palisi Pt Pln (Persero) Rayon Maros. *Jurnal Ilmiah Flash*, 4(2), 73. <https://doi.org/10.32511/flash.v4i2.287>
- Sya'roni, Z., & Rijanto, T. (2019). Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi 20 kV Dan Solusinya Pada Jaringan Tegangan Rendah. *Teknik Elektro*, 8(1), 173–180.
- 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>
- WIDIARTO, H., & SAMANHUDI, A. (2022). Analisa Ketidakseimbangan Beban

Transformator Distribusi Pada Gardu 1a Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. *KNOWLEDGE: Jurnal Inovasi Hasil Penelitian Dan Pengembangan*, 2(2), 157–167. <https://doi.org/10.51878/knowledge.v2i2.1460>

Zulhulaifah, P., & Rudito, H. (2021). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakukkang Makassar. *Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 0(0), 6–11. <https://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/2822>





**UMSU**  
Unggul | Cerdas | Terpercaya

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
(UMSU)  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
TUGAS AKHIR

Jalan Kapt. Muchtar Basri No.03 Telp (061) 6625474 Medan 20223

NAMA : INDRA FAUZAN

NPM : 2007220007

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1		Ace Indra	Sudi
2	15/7 - 2024	Perbaikan format gambar, Rumus dan tegin	Sudi
3	30/7 - 2024	Perbaikan teori tlg ketidakakuratan 3 $\phi$	Sudi
4	6/8 - 2024	Ace Supra	Sudi

6/8/2024 Ace  
Dosen Pembimbing  
Noorly Evalina ST,MT

## LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : Indra Fauzan

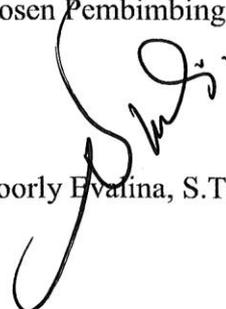
NPM : 2007220007

Judul : ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN TRANSFORMATOR 20 KV DI PT.  
PELINDO BELAWAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	22 Juli 2024	Pengerjaan BAB IV Dan V	
2	29 September 2024	Menambahkan Satuan Rumus	
3	4 Oktober 2024	Revisi Tulisan BAB IV Dan V	
4	4 Oktober 2024	Revisi Flowchart	
5	16 Oktober 2024	Revisi Abstrak	
6	16 Oktober 2024	Revisi Daftar Pustaka	
7	18 Oktober 2024	ACC Skripsi Bab I – Bab V	
8			
9			

Dosen Pembimbing

Noorly Hvalina, S.T, M.T



### LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nama : Indra fauzan

NPM : 2007220007

Judul : Analisis Ketidak Seimbangan Beban Transformator 20 kv Di PT. PELINDO  
BELAWAN

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	5 November 2024	Revisi Spasi Penulisan	
2	5 November 2024	Revisi Daftar Isi	
3	5 November 2024	ACC Skripsi Bab 1 Sampai Bab 5	
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Dosen Pembimbing

Noorly Evalina, ST, MT

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama	: Indra Fauzan
Tempat/Tanggal Lahir	: Hamparan Perak, 01 September 2002
Jenis Kelamin	: Laki - Laki
Umur	: 22 Tahun
Agama	: Islam
Status	: Belum Menikah
Tinggi Badan / Berat Badan	: 165 cm / 65 kg
kewarganegaraan	: Indonesia
Alamat	: Dsn 1 Pauh H. Perak
No Hp	: +62 852 7511 2874
Email	: indrafauzan0109@gmail.com
Latar Belakang Pendidikan	
SDN 101743	: Tahun 2008 - 2014
SMPN 1 Hamparan Perak	: Tahun 2014 - 2017
SMK Sinar Husni TR Helvetia	: Tahun 2017 - 2020
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	: Tahun 2020 – 2024