

**ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA
TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO)
UP3 GORONTALO UNIT LAYANAN
PELANGGAN (ULP) LIMBOTO**

Oleh :

**MOHAMMAD REYHAN NABIL MASKAT
T21 21 017**

SKRIPSI



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ICHSAN
GORONTALO
2023**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) UP3 GORONTALO UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) LIMBOTO

Oleh :

**MOHAMMAD REYHAN NABIL MASKAT
T21 21 017**

SKRIPSI

Telah disetujui dan siap untuk diseminarkan

Gorontalo, Juni 2023

Pembimbing I

Pembimbing II

Steven Humena, ST, MT
NIDN. 09007118903

Frengki Eka Putra Surusa, ST, MT
NIDN. 0906018504

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) UP3 GORONTALO UNIT LAYANAN PELANGGAN (ULP) LIMBOTO

OLEH
MOHAMAD REYHAN NABIL MASKAT
NIM: T21.21.017

Diperiksa Oleh Panitian Ujian Strata Satu (S1)
Universitas Ichsan Gorontalo

1. Pembimbing I : Steven Humena,ST.,MT.....
2. Pembimbing II : Frengki Eka Putra Surusa,ST.,MT.....
3. Penguji I : Amelya Indah Pratiwi,ST.,MT.....
4. Penguji II : Muh. Asri,ST.,MT.....
5. Penguji II : Sjahrir Botutihe,ST.,MM.....

GorontalO, Juni 2023

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik

Ketua Program Studi

Amelya Indah Pratiwi, ST., MT,
NIDN: 0907028702

Frengki Eka Putra Surusa,ST.,MT,
NIDN: 0906018504

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Mohamad Reyhan Nabil Maskat

NIM : T2121017

Judul Skripsi : ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO)
UP3 GORONTALO ULP LIMBOTO

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulis (Skripsi) ini adalah asli gagasan, rumusan dan penelitian yang dilakukan oleh saya sendiri dengan arahan dari para pembimbing. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan sebelumnya oleh orang lain kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan atau sumbernya dengan jelas serta dicantumkan di dalam daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku diperguruan tinggi ini.

Gorontalo, Juni 2023
Yang Membuat Pernyataan

(MOHAMAD REYHAN NABIL MASKAT)
NIM : T2121017

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat limpahan Rahmat dan karunia-Nya sehingga **Penelitian** ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu.

Adapun penyusunan penelitian ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo.

Penulis menyadari begitu banyak hambatan dan tantangan yang ditemui namun melalui bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak maka penulis dapat menyelesaikan usulan penelitian ini sebagaimana yang diharapkan. Untuk itu perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Hj. Juriko Abdussamad, M. Si , selaku Ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak DR. Hi. Abdul Gaffar Latjokke, M.Si, selaku Rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Kedua Orang Tua/Wali yang senantiasa memberikan dorongan, motivasi dan bantuan materiil selama proses perkuliahan sampai saat sekarang
4. Bapak Amelya Indah Pratiwi, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik UNISAN Gorontalo
5. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro UNISAN Gorontalo sekaligus Pembimbing II
6. Bapak Steven Humena, ST, MT, Pembimbing I

7. Bapak Ibu Dosen se-lingkup UNISAN Gorontalo

8. Teman-teman di Prodi Teknik Elektro

Akan menjadi sesuatu yang sangat berarti guna menyempurnakan usulan penelitian ini bila kritikan dan saran disampaikan pada penulis. Semoga Allah SWT yang membalas budi baik dan kerelaan saudara.

Gorontalo, Juni 2023

MOH. REYHAN NABIL MASKAT

ABSTRACT

MOHAMMAD REYHAN NABIL MASKAT. T2121017. ANALYSIS OF LOAD UNBALANCED INFLUENCE ON DISTRIBUTION TRANSFORMERS AT PT. PLN (PERSERO) UP 3 GORONTALO SERVICE UNIT (ULP) LIMBOTO

Distribution substation is a means of distributing electricity from PLN to customers. The load imbalance between each phase is affected by the misalignment of the consumer's load switching time. As a result of this large load imbalance will result in a current flowing in the neutral of the transformer so that the losses due to the neutral current flowing to the ground are also quite large. For this reason, ULP Limboto plans to immediately carry out load balancing on distribution transformers. The purpose of this study is to determine the percentage of load imbalance to neutral currents and losses that arise in neutral currents that flow to the ground. The method used in this study is the method of measurement and calculation. Measurements were made on the distribution transformer GL 103 which identified an unbalanced load. From the results of measurements and calculations that the percentage of load imbalance in the GL 103 250 kVA distribution transformer is 13.8% during the day and 21.2% at night. The amount of losses flowing in the neutral conductor wire is 6.92 kW during the day and 5.34 kW at night. The amount of losses that flow to the ground is 15.01 kW during the day and 13.56 kW at night. It can be seen that the percentage of load imbalance is greater during the day than at night.



Keywords: load imbalance, losses and distribution transformers

ABSTRAK

MOHAMMAD REYHAN NABIL MASKAT. T2121017. ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) UP 3 GORONTALO UNIT LAYANAN (ULP) LIMBOTO

Gardu Distribusi merupakan sarana penyaluran tenaga listrik dari PLN ke pelanggan. Ketidakseimbangan beban antara tiap tiap fasa di pengarui oleh ketidakserempakan waktu penyalaan beban konsumen. Akibat ketidakseimbangan beban yang besar ini akan mengakibatkan mengalirnya arus di netral trafo sehingga losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah juga cukup besar. Untuk itu ULP Limboto berencana untuk segera melakukan penyeimbangan beban pada transformator distribusi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses yang timbul pada arus netral yang mengalir ketanah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode pengukuran dan perhitungan. Pengukuran dilakukan pada transformator Distribusi GL 103 yang teridentifikasi terjadi beban tidak seimbang. Dari hasil pengukuran dan perhitungan bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi GL 103 250 kVA adalah sebesar 13,8% pada waktu siang hari dan 21,2% pada malam hari. Besar losses yang mengalir pada kawat penghantar netral adalah sebesar 6,92 kW pada singa hari dan 5,34 kW pada malam hari. Besarnya losses yang mengalir ke tanah adalah sebesar 15,01 kW pada waktu siang hari dan 13,56 kW pada waktu malam hari. Terlihat bahwa persentase ketidakseimbangan beban yang besar terdapat pada waktu siang hari dibandingkan pada waktu malam hari.



Kata Kunci : Ketidakseimbangan beban, losses dan transformator distribusi

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	I
HALAMAN PERSETUJUAN	II
HALAMAN PENGESAHAN.....	III
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	IV
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI.....	IX
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Literature Review.....	6
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Transformator.....	10
2.2.2 Ketidakseimbangan Beban.....	10
2.2.3 Arus Netral	11
2.2.3.1 Arus Netral Karena Beban Tidak Seimbang.....	11
2.2.3.2 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Seimbang	11
2.2.3.3 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Tidak Arus Seimbang	12

2.2.4 Segitiga Daya	12
2.2.4.1 Daya Kompleks	12
2.2.4.2 Daya Aktif.....	13
2.2.4.3 Daya Reaktif.....	13
2.2.5 Faktor Daya.....	13
2.2.5.1 Faktor Daya Terbelakang.....	15
2.2.5.2 Faktor Daya Mendahului.....	18
2.2.6 Losses pada Jaringan Distribusi	19
2.2.6.1 Losses pada Penghantar Fasa	20
2.2.6.2 Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Fasa	21
2.2.6.3 Losses Akibat Adanya Arus Netral yang Mengalir ke Tanah.....	22
2.2.6.4 Losses pada Sambungan Tidak Baik.....	23
2.2.7 Persamaan yang digunakan dalam perhitungan	24
2.2.7.1 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat.....	27
2.2.7.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban	28
2.2.7.3 Perhitungan Losses Akibat Arus Netral pada Penghantar Netral	28
2.2.7.4 Losses Akibat Arus Netral Mengalir ke Tanah.....	28
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan.....	35
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	36
3.3 Jenis Data Penelitian	37
3.3.1 Studi Literatur	37
3.3.2 Pengumpulan Data	37

3.3.3.1 Data Teknis Trafo	37
3.3.3.2 Pengukuran Trafo.....	38
3.3.5 Perhitungan	39
3.4 Prosedur Penelitian.....	39
3.5 Jalannya Penelitian.....	39
3.6 Sumber Data.....	39
3.7 Teknik Analisa Data.....	39
3.8 Flow Chart Penelitian.....	44
DAFTAR PUSTAKA	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sistem kelistrikan di Indonesia saat ini telah mengarah pada peningkatan efisiensi dalam penyaluran energi listrik oleh karena listrik telah menjadi kebutuhan listrik bagi masyarakat. Peningkatan pemakaian energi yang dibarengi oleh peningkatan ekonomi suatu daerah, sehingga diharapkan kepada penyedia listrik agar dalam sistem penyaluran menjadi efisien dan handal. Permintaan konsumen akan energi listrik dari tahun ke tahun yang semakin meningkat (Putra, 2016).

Sistem distribusi listrik harus sistematik agar memperoleh pelayanan yang optimal. Untuk mengatasi peningkatan kebutuhan akan energi listrik dibutuhkan sistem distribusi yang esensial. Tujuan pengembangan sistem distribusi yang harus memenuhi beberapa kriteria teknis dan ekonomis. Sistem distribusi harus mampu memberikan gambaran besarnya beban pada lokasi geografis tertentu, sehingga dapat ditentukan dengan baik letak dan kapasitas gardu-gardu distribusi yang akan melayani areal beban tersebut dengan mempertimbangkan minimisasi susut energi dan investasi konstruksi, tanpa mengurangi kriteria teknis yang diperlukan (RH, 2016).

Sistem energi listrik yang berperan langsung menyalurkan energi listrik ke konsumen. Sistem penyalurannya dimulai dari pusat-pusat listrik dalam hal ini adalah sistem pembangkitan energi listrik. Setelah dari pembangkit energi listrik dikirim melalui jaringan tegangan tinggi yang kemudian didistribusikan ke jaringan tegangan menengah. Setelah itu di disalurkan lagi melalui saluran tegangan rendah sampai pada

sambung rumah dan berakhir pada alat pembatas dan pengukuran (APP) yang ada pada konsumen (Nelwan et al., 2015).

Gardu distribusi merupakan sarana penyaluran tenaga listrik dari PLN ke pelanggan. Dengan tegangan primer 20 KV lalu diubah oleh trafo menjadi tegangan sekunder 400 V (antar fasa) atau 220 V (fasa – netral). Fenomena arus netral sekunder pada trafo distribusi sudah sangat sering terjadi, arus netral itu timbul dikarenakan terjadinya ketidakseimbangan beban yang dapat menimbulkan *losses* (rugi – rugi), oleh sebab itu dibuatlah analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada transformator distribusi di PT PLN (Persero) ULP Limboto

Dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik, terjadi pembagian beban beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidak serempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus di netral trafo. Setelah dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar, dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (Sumanto, 1996).

Arus listrik akan selalu mengalir ke tanah (ground), karena tanah memiliki potensial tegangan yang paling rendah. Jadi bila kita berdiri di atas tanah dan menyentuh atau memegang penghantar listrik yang aktif, maka tubuh kita merupakan penghantar listrik yang memungkinkan arus listrik mengalir melewati tubuh dari tangan ke kaki dan akhirnya ke tanah. Pentanahan atau grounding adalah salah satu bagian dari instalasi listrik, yang menghubungkan rangka mesin atau peralatan listrik

ke tanah melalui suatu kabel pengantar menuju ke pentanahan. Dalam kondisi yang sederhana, elektroda pentanahan dapat berupa pipa galvanis dengan panjang satu hingga dua meter yang dibenamkan ke dalam tanah (Abdul Hadi, 1994).

Unit Layanan Pelanggan (ULP) Limboto berencana untuk dapat segera melakukan penyeimbangan beban pada transformator distribusi. Sehingga dibutuhkan suatu analisis pengaruh ketidakseimbangan beban tersebut. Berdasarkan permasalahan di atas maka penulis mengangkat judul penelitian ini yaitu : **“Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator DIstribusi di Unit Pelayanan Pelanggan (ULP) Limboto ”.**

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan Masalah adalah:

- a. Berapakah persentase ketidakseimbangan beban terhadap arus netral transformator.
- b. Berapakah losses yang ditimbulkan karena ketidakseimbangan beban pada transformator.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penilitian adalah :

- a. Mengetahui persentase ketidakseimbangan beban terhadap arus netral transformator.
- b. Mengetahui losses yang ditimbulkan karena ketidakseimbangan beban pada transformator.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah adalah:

- a. Pengukuran pembebanan trafo yang mengalami ketidakseimbangan beban.
- b. Menganalisa losses arus netral pada penghantar netral transformator
- c. Menganalisa losses arus netral yang mengalir ke tanah.
- d. Tidak membahas jenis jenis pembebanan.
- e. Upaya penanganan Ketika terjadi beban tidak seimbang

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian diharapkan sebagai bahan evaluasi terhadap pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral sekaligus menambah wawasan dalam pengetahuan transformator.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa kajian dari penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian ini, sehingga dapat dijadikan referensi. Kajian-kajian penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Rizki menerangkan bahwa Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut timbullah 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. Setelah dianalisis, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar, maka arus netral yang muncul juga besar, dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (Ahmad Rizki, 2021).

Kartoni S dkk telah melakukan penelitian yang berjudul Analisa Rekonfigurasi Pembebanan Untuk Mengurangi Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Distribusi 20 kV. Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini adalah penyulang bangau sakti rayon Panam Pekanbaru. Analisa dalam penelitian ini dengan melakukan pengumpulan data dari PLN kemudian disimulasikan menggunakan *softwere* ETAP 12.6. Metode yang digunakan adalah pemodelan sistem tenaga listrik sesuai dengan one line diagram dengan *softwere* ETAP 12.6, lalu memasukan data trafo, bus, status switch (pemutus yang di pakai), parameter saluran (panjang saluran, jenis penghantar). Kemudian

melakukan simulasi aliran daya, dari simulasi bisa dilakukan analisa tentang losses pada feeder dan menghitung presentase losses dan drop tegangan. Setelah di analisa dilakukan rekonfigurasi dan dianalisa kembali sampai mendapatkan hasil yang di inginkan (Kartoni S & Ervianto, 2016)

Mohc Nur SSyafiuddin dalam penelitian menjelaskan bahwa Gardu distribusi merupakan sarana penyaluran tenaga listrik dari PLN ke pelanggan. Dengan tegangan primer 20 KV lalu diubah oleh trafo menjadi tegangan sekunder 400 V (antar fasa) atau 220 V (fasa – netral). Fenomena adanya arus pada netral sisi sekunder trafo distribusi sudah sangat sering terjadi, arus netral itu timbul dikarenakan terjadinya ketidakseimbangan beban yang dapat menimbulkan *losses* (rugi – rugi) pada transformator distribusi , oleh sebab itu pada penelitian ini akan di bahas tentang analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada transformator distribusi di PT PLN (Persero) ULP DAYA, Dengan tujuan mengetahui berapa besar terjadi nilai ketidakseimbangan dan rugi-rugi daya pada wilayah tersebut.Dalam penelitian ini digunakan Teknik pengumpulan data secara observasi, dengan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan di tempat penelitian, yang kemudian di bahas dan dianalisa dengan menggunakan rumus-rumus yang relevan dengan menggunakan perhitungan secara manual.Hasil analisa dari penelitian ini menunjukan bahwa PT.PLN (persero) ULP DAYA tepatnya di tiga tempat di penyulang wilayah salodong sesuai yang difokuskan pada penelitian ini, semuanya mengalami ketidakseimbangan beban pada masing-masing wilayah tersebut (Mohc. Nur, Adi Kusuma,2021)

Menurut Ruliyanto dalam penelitiannya menjelaskan bahwa Transformator atau trafo adalah salah satu komponen utama peralatan gedung untuk menurunkan tegangan sesuai dengan kebutuhan. Permasalahan yang sering dijumpai adalah masalah ketidakseimbangan beban. Umumnya penyebab ketidakseimbangan adalah pada beban-beban satu fasa pada jaringan. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculah 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 ground. Setelah dianalisis, terjadi ketidakseimbangan beban pada Trafo 1 sebesar 5.23%, akan berakibat muncul arus netral IN sebesar 300 ampere, dan losses akibat arus netral IG yang mengalir ke tanah sebesar 0.15%. Kapasitas daya yang terpakai saat ini sebesar 84.65% (Ruliyanto, 2020).

Menurut Julius dalam penelitiannya menjelaskan bahwa Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan 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. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa bila terjadi ketidakseimbangan beban yang besar (28,67%), maka arus netral yang muncul juga besar (118,6A), dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula (8.62%) (Julius, Tabrani, Yanuar, 2006).

Menurut Frengki dalam penelitiannya menjelaskan bahwa Wilayah kerja PT. PLN (Persero) Suluttenggo Cabang Gorontalo dapat dikatakan memiliki area suplay listrik yang cukup luas. Pada umumnya rumah tangga, industri, perkantoran, maupun perusahaan menggunakan alat listrik yang bersifat induktif seperti alat-alat elektronik, motor listrik, lampu TL, trafo serta peralatan tertentu yang bersifat induktif. Salah satu permasalahan yang timbul dalam pemakaian tadi adalah pemakaian daya reaktif induktif untuk suatu kebutuhan daya semu menjadi lebih kecil, sehingga timbul adanya ketidak-seimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik dan terjadi arus netral pada trafo distribusi, sehingga menghasilkan rugi-rugi daya pada trafo. Sebagai salah satu contoh di gardu distribusi 60 jalan panjaitan. Dalam hal ini penulis mengambil perbandingan rugi-rugi daya yang akibat ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi tersebut. Di dalam perhitungan penulis mengetahui jelas dulu berapa KVA trafo distribusi yang digunakan pada umumnya, sehingga bias akurat data dalam perhitungan nanti. Pada umumnya trafo distribusi yang digunakan adalah 200 KVA 3 phasa, arus 6,8–359 A, dengan impedansi 4 persen. Dalam perhitungannya terdapat perbedaan persentase pembebanan pada trafo distribusi yang terjadi pada malam hari dan siang hari yang dilihat dari bentuk pemakaian daya listrik. Sehingga bisa di lihat waktu beban puncak pada gardu distribusi jalan panjaitan. Waktu beban puncak pada gardu distribusi di jalan panjaitan terjadi pada jam 18.00 WITA. Secara keseluruhan disimpulkan bahwa pada sore hari ketidakseimbangan beban pada trafo tiang semakin besar karena penggunaan beban listrik tidak merata (Frengki, 2011).

Menurut Mahmud P dalam penelitiannya menerangkan bahwa Pada umumnya rumah tangga, industry, perkantoran, maupun perusahaan menggunakan alat listrik

yang bersifat induktif seperti alat-alat elektronik, motor listrik lampu TL, trafo serta peralatan tertentu yang bersifat induktif. Salah satu permasalahan yang timbul dalam pemakaian tadi adalah pemakaian daya reaktif, induktif untuk suatu kebutuhan daya semu menjadi lebih kecil, sehingga timbul adanya ketidak seimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik dan terjadi arus netral pada trafo distribusi, sehingga menghasilkan rugi-rugi daya pada trafo. Sebagai salah satu contoh gardu distribusi jalan Isimu Raya dalam skripsi ini penulis mengambil perbandingan rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi tersebut. Di dalam perhitungan penulis mengetahui jelas berapa kVA trafo distribusi yang digunakan pada umumnya, sehingga bisa akurat data dalam perhitungan nanti. Pada umumnya transformator distribusi yang digunakan adalah 100 kVA 3 phasa, arus 2,9 – 144,5, dengan impedansi 4 %. Dalam perhitungannya terdapat beberapa persentase pembebahan pada transformator distribusi yang terjadi pada siang hari dan malam hari yang dilihat dari bentuk pemakaian daya listrik. Dalam pembebahan transformator terlihat bahwa pada siang hari persentase pembebahan menurun, sedangkan pada malam hari (beban puncak) persentase pembebahan cukup tinggi. Sehingga bisa dilihat waktu beban puncak pada gardu distribusi GLI 58 jalan Isimu Raya. Secara keseluruhan disimpulkan bahwa pada malam hari ketidakseimbangan beban pada trafo tiang semakin besar karena penggunaan beban listrik tidak merata (Mahmud P, 2022).

Menurut Mimin dalam penelitiannya menerangkan bahwa Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan menengah. Akibat ketidakseimbangan 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. Setelah dianalisa, diperoleh bahwa terjadi ketidakseimbangan beban pada siang hari berkisar 2,67%, arus netral yang muncul 2,38 A dan presentase *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah adalah 0,0011% (Mimin M, Muhammad M, 2018).

Menurut Gamma dalam penelitiannya menerangkan bahwa Ketersediaan tenaga listrik merupakan kebutuhan pokok bagi kehidupan manusia masa kini. Hal ini merupakan pekerjaan besar bagi penyedia tenaga listrik dalam hal ini PT. PLN untuk membuat distribusi tenaga listrik yang baik. Tidak hanya menyediakan tenaga listrik, PLN juga dituntut untuk mendesain distribusi tenaga listrik secara seimbang. Kenyataannya saluran distribusi tenaga listrik seringkali mengalami ketidakseimbangan beban. Penelitian ini akan menganalisa ketidakseimbangan beban yang terjadi di PT. PLN Rayon Blora. Metode yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dengan pencarian literatur dan referensi terkait dengan Analisa ketidakseimbangan beban. Langkah selanjutnya akan mengumpulkan data-data lapangan terkait dengan topik yang dibahas. Data-data ini diperoleh dari salah satu trafo distribusi merk Sintra yang berkapasitas 200 kVA milik PT. PLN Rayon Blora yang kemudian akan dilakukan beberapa perhitungan dengan rumus yang telah ditentukan untuk mengetahui ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* pada transformator tersebut. Perhitungan ini akan dijadikan sebagai dasar analisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* pada trafo

tersebut. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh persentase ketidakseimbangan beban sebesar 25,67% pada siang hari dan 16,33% pada malam hari. Diperoleh juga *losses* yang disebabkan oleh munculnya arus netral yang mengalir pada penghantar netral sebesar 7,12 kW dan persentase 4,45% di siang hari, sedangkan di malam hari sebesar 7,40 kW dan persentase 4,63%. Penelitian ini juga menghitung *losses* yang disebabkan oleh munculnya arus netral yang mengalir ke tanah sebesar 8,90 kW dan persentase 5,56% di siang hari, sedangkan di malam hari sebesar 8,27 kW dan persentase 5,17% (Gamma Ayu K Sari, 2018).

2.2 Dasar Teori

2.2.1. 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 (Sumanto, 1996).

Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian 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 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 dinyatakan sebagai terminal masukan.

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 dialirnya. 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 (Sumanto, 1996).

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.

Dimana :

$$E = N \frac{d\phi}{dt} \text{ Volt}$$

Dimana : E = Gaya Gerak Listrik (volt)

N = Jumlah Lilitan

dt = Perubahan waktu (detik)

$d\phi$ = fluksi magnetik (weber)

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 magnetic (Badaruddin, 2012).

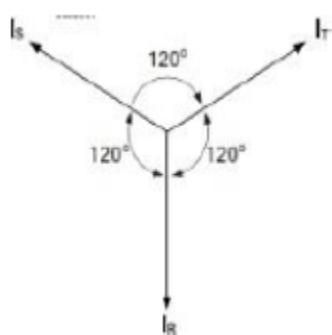
Reluktansi merupakan besaranya fluks magnet yang dihasilkan dalam kumparan yang bergantung pada besaran bahan yang bersifat magnetis. Rangkaian magnetik terdiri dari beberapa bahan yang bersifat magnet yang memiliki permeabilitas atau ukuran kemampuan dan setiap bahan memiliki panjang lintasan tidak sama. Maka setiap bagian mempunyai reluktansi yang berbeda, sehingga reluktansi total adalah jumlah reluktansi dari bagian masing-masing (Badaruddin, 2012).

2.2.2 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan 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 (Hutahuruk, 1996).

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah :

1. Ketiga vektor arus/tegangan adalah sama besar
2. Ketiga vector saling membentuk sudut 120 derajat asatu sama lain, seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Vektor Diagram Keadaan Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang.

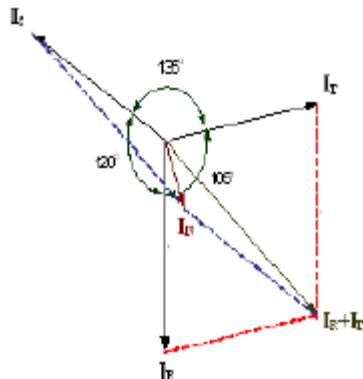
Dimana beban tiga fasa tahanan yang sama besarnya, besarnya arus saluran IR IS IT mengalir melalui masing masing elemen apabila salah satu titik fasa di hubungkan dari saluran dengan tahanan beban masing-masing. Dimana ketiga arus penghantar atau arus fasa mempunyai besar yang sama, karena beban dalam 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 (Barlin T, Cekdin C, 2013).

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 (IR IS IT) adalah sama dengan nol dan sudut yang terbentuk adalah 120 derajat, 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 beban tidak seimbang adalah :

1. Ketiga vector sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120 derajat satu sama lain
2. Ketiga vector tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120 derajat satu sama lain
3. Ketiga vector tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120 derajat satu sama lain.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 vektor diagram arus keadaan tidak seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R I_S I_T) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya (Abdul Kadir, 2000).

Dimana setiap indikasi ketidakseimbangan telihat 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 kenetal menjadi faktor utama ketidakseimbangan. Yang terlihat bahwa ketiga vektor tidak membentuk sudut 120° derajat satu sama lain.

Adapun penyebab ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut :

1. Beban yang tidak merata pada system distribusi tenaga listrik
2. Beban yang tidak merata dalam system 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 delta yang rusak dan lain-lain

2.2.3 Arus Netral

Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa empat kawat.

Arus netral ini muncul jika :

1. Kondisi beban tidak seimbang
2. Karena adanya arus harmonika akibat beban non linear

Arus yang mengalir pada kawat netral yang merupakan arus bolak-balik untuk sistem distribusi tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris (Siregar R, Harahap R, 2017).

2.2.3.1 Arus Netral Beban Tidak Seimbang

Untuk arus tiga fasa dari suatu sistem yang tidak seimbang dapat juga diselesaikan dengan menggunakan metode komponen simetris. Dengan menggunakan notasi-notasi yang sama seperti pada tegangan akan didapatkan persamaan-persamaan untuk arus-arus fasanya sebagai berikut :

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0$$

$$I_b = aI_1 + aI_2 + I_0$$

$$I_c = aI_1 + aI_2 + I_0$$

Dengan tiga langkah yang telah dijabarkan dalam menentukan tegangan urutan positif, urutan negative, dan urutan nol terdahulu, maka arus arus urutan juga dapat ditentukan dengan cara yang sama, sehingga kita dapatkan juga :

$$I_1 = \frac{1}{3}(I_a + a I_b + a^2 I_c)$$

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$$

Di sini terlihat bahwa arus urutan nol (I_0) adalah merupakan sepertiga dari arus netral atau sebaliknya akan menjadi nol jika dalam sistem tiga fasa empat kawat. Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, menjadi :

$$I_N = I_a + I_b + I_c$$

Dengan mensubstitusikan persamaan $I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$ ke $I_N = I_a + I_b + I_c$ maka diperoleh :

$$I_N = 3 I_0$$

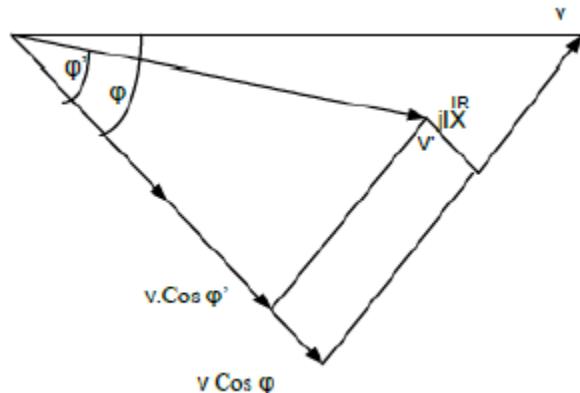
Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini jumlah arus dalam saluran sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral. Jika arus fasa yang tidak seimbang maka arus netralnya tidak bernilai nol atau di aliri arus listri. Dan begitu sebaliknya jika arus-arus fasanya seimbang maka arus netralnya akan bernilai nol, tapi jika arus-arus fasanya tidak seimbang, maka akan ada arus yang mengalir di kawat netral sistem (arus netral akan mempunyai nilai dalam arti tidak nol) (Hutahuruk, 1996).

2.2.3.2 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Seimbang

Misalkan daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut[6] :

$$P = 3 [V] [I] \cos \varphi$$

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Penyusutan daya ini dapat diterangkan dengan menggunakan diagram fasor tegangan saluran model fasa tunggal seperti pada gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 diagram fasor tegangan saluran daya model fasa tunggal

Model ini dibuat dengan asumsi arus pemusatkan kapasitif pada saluran cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Dengan demikian besarnya arus ujung kirim sama dengan arus di ujung terima. Apabila tegangan dan faktor faktor daya pada ujung terima berturut-turut adalah V' dan ϕ' , maka besarnya daya pada ujung terima adalah :

$$P' = 3 [V'] [I] \cos \phi'$$

Selisih antara P pada persamaan $P = 3 [V] [I] \cos \phi$ dan P' pada persamaan $P' = 3 [V'] [I] \cos \phi'$ memberikan susut daya saluran, yaitu :

$$\begin{aligned} Pl &= P - P' \\ &= 3 [V] [I] \cos \phi - 3 [V'] [I] \cos \phi' \\ &= 3 [I] \{ [V] \cos \phi - [V'] \cos \phi' \} \end{aligned}$$

Sementara itu dari Gambar 2.3 memperlihatkan bahawa :

$$\{[V] \cos \varphi - [V'] \cos \varphi'\} = [I] R$$

Dengan R adalah tahanan kawat penghantar tiap fasa, oleh karena itu persamaan $\{[V] \cos \varphi - [V'] \cos \varphi'\} = [I] R$ berubah menjadi :

$$P = 3 [I^2] R$$

2.2.3.3 Penyaluran dan Susut Daya pada Keadaan Arus Tidak Seimbang

Jika $[I]$ adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi tidak seimbang besarnya arus arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b , dan c adalah sebagai berikut :

$$[IR] = a[I]$$

$$[IS] = b[I]$$

$$[IT] = c[I]$$

Dengan IR , IS , dan IT berturut adalah arus fasa R , S dan T . Telah disebutkan di atas bahwa faktor daya ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda-beda. Dengan anggapan seperti ini besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) [V] [I] \cos \varphi$$

Apabila persamaan $[IT] = c[I]$ dan persamaan $P = (a + b + c) [V] [I] \cos \varphi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan tersebut dapat diperoleh persyaratan koefisien a , b dan c adalah :

$$a + b + c = 3$$

Dengan anggapan yang sama, arus yang mengalir di penghantar netral dapat dinyatakan sebagai :

$$IN = IR + IS + IT$$

$$= [I] \{ a + b \cos (-120) + j.b.\sin (-120) + c.\cos (-120) + j.c.\sin (120) \}$$

$$= [I] \{ a - (b + c) / 2 + j. (c - b) \sqrt{3} / 2 \}$$

Susut daya saluran adalah jumlah susut pada penghantar fasa dan penghantara netral adalah :

$$Pl' = \{ [IR2] + [IS2] + [IT2] \cdot R + [IN2] \cdot RN$$

$$= (a2 + b2 + c2) [I]2R + (a2 + b2 + c2 - ab - ac - bc) [IN]2 \cdot RN$$

Dengan RN adalah tahanan penghantar netral.

Apabila persamaan $Pl' = \{ [IR2] + [IS2] + [IT2] \cdot R + [IN2] \cdot RN$ disubstitusikan ke persamaan $(a2 + b2 + c2) [I]2R + (a2 + b2 + c2 - ab - ac - bc) [IN]2 \cdot RN$ maka akan diperoleh :

$$Pl' = \{9-2(ab+ac+bc) [I]2R + (9-3 (ab+ac+bc)) [IN]2.RN$$

Persamaan $Pl' = \{9-2(ab+ac+bc) [I]2R + (9-3 (ab+ac+bc)) [IN]2.RN$ ini adalah persamaan susut daya saluran untuk saluran dengan penghantar netral. Apabila tidak ada penghantar netral maka kedua ruas kanan akan hilang sehingga susut daya akan menjadi :

$$Pl' = \{9-2 (ab+ac+bc) [I]2R$$

2.2.4 Segitiga Daya

Segitiga daya adalah gambaran dari daya semu, daya reaktif dan daya aktif. Dimana segitiga daya bersifat induktif dengan sudut antara daya semu dan daya aktif adalah $\phi[1]$.

2.2.4.1 Daya Kompleks

Perkalian tegangan **V** dengan arus **I** dalam kedua besaran ini dalam bentuk bilangan kompleks adalah **V.I** yang dinamakan daya kompleks dengan simbol **S**, dalam satuan *Volt Ampere (VA)*, *Kilo Volt Ampere (KVA)*, *Mega Volt Ampere (MVA)* (Barlin T, Cekdin C, 2013).

2.2.4.2 Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata dirumuskan dengan **S cos φ** atau **V.I cos φ** dengan simbol **P**, dalam satuan *Watt (W)*, *Kilo Watt (KW)*, *Mega Watt (MW)* (Barlin T, Cekdin C, 2013).

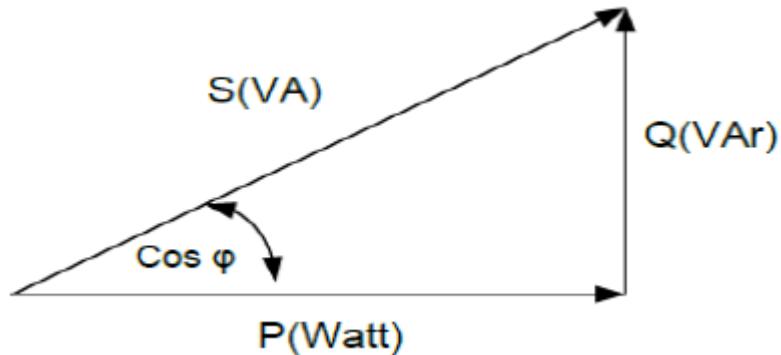
2.2.4.3 Daya Reaktif

Daya reaktif atau daya khayal dirumuskan dengan **S sin φ** atau **V.I sin φ** dengan simbol **Q**, dalam satuan *Volt Ampere Reaktif (VAR)*, *Kilo Volt Ampere Reaktif (KVAR)*, *Mega Volt Amper Reaktif (MVAR)* (Barlin T, Cekdin C, 2013).

2.2.5 Faktor Daya

Pengertian faktor daya ($\cos \phi$) adalah perbandingan antara daya aktif (P) dan daya semu(S). Dari pengertian tersebut, faktor daya tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut sekaligus dapat dilihat pada Gambar 2.4:

$$\begin{aligned}\text{Faktor daya} &= (\text{Daya Aktif} / \text{Daya Semu}) \\ &= (P / S) \\ &= (V \cdot I \cdot \cos \phi / V \cdot I) \\ &= \cos \phi\end{aligned}$$



Gambar 2.4 Segitiga Daya

$$\text{Daya Semu} = V \cdot I \text{ (VA)}$$

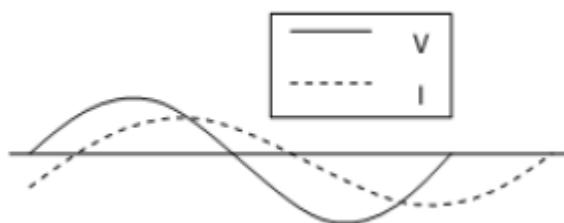
$$\text{Daya Aktif} = V \cdot I \cdot \cos \phi \text{ (Watt)}$$

$$\text{Daya Reaktif} = V \cdot I \cdot \sin \phi \text{ (VAr)}$$

2.2.5.1 Faktor Daya Terbelakang (Lagging)

Faktor daya terbelakang (*lagging*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif
2. Arus (I) terbelakang dari tegangan (V), V mendahului I dengan sudut ϕ

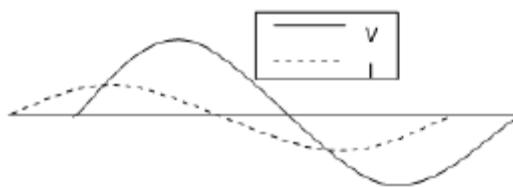


Gambar 2.5 Arus Tertinggal dari tengangan sebesar sudut ϕ

2.2.5.2 Faktor Daya Mendahului (Leading)

Faktor daya mendahului (*leading*) adalah keadaan faktor daya saat memiliki kondisi-kondisi sebagai berikut:

1. Beban /peralatan listrik memberikan daya reaktif dari system atau beban bersifat kapasitif
2. Arus mendahului tegangan, V terbelakang dari I dengan sudut ϕ



Gambar 2.6 Arus mendahului tegangan sebesar sudut ϕ

2.2.6 Losses pada Jaringan Distribusi

Yang dimaksud losses adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan (PS) dengan energi listrik yang terpakai (PP)

$$\text{Losses} = (\text{PS} - \text{PP}) / \text{PS}$$

Dimana :

PS = Energi yang disalurkan (watt)

PP = Energi yang dipakai (watt)

2.2.6.1 Losses pada Penghantar Fasa

Jika suatu arus mengalir pada suatu penghantar, maka pada penghantar tersebut akan terjadi rugi-rugi energi menjadi panas karena pada penghantar tersebut terdapat resistansi. Rugi-rugi dengan beban terpusat di ujung dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \phi + X \sin \phi) l$$

$$\Delta P = 3 I^2 R l$$

Dimana :

I = Arus per phasa (Ampere)

R = Tahanan pada penghantar (*Ohm / km*)

X = Reaktansi pada penghantar (Ohm / km)

$\cos \varphi$ = Faktor daya beban

l = Panjang penghantar (km)

2.2.6.2 Losses Akibat Arus Netral pada Penghantar Netral

Akibat pembebanan di tiap phasa yang tidak seimbang, maka akan mengalir arus pada penghantar netral. Jika di hantaran pentanahan netral terdapat nilai tahanan dan dialiri arus, maka kawat netral akan bertegangan yang menyebabkan tegangan pada trafo tidak seimbang. Arus yang mengalir di sepanjang kawat netral, akan menyebabkan rugi daya di sepanjang kawat netral sebesar :

$$PN = IN^2 RN$$

Dimana :

PN = *Losses* yang timbul pada penghantar netral (watt)

IN = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

RN = Tahanan pada kawat netral (Ohm)

2.2.6.3 Losses Akibat Adanya Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Losses ini terjadi karena adanya arus netral yang mengalir ke tanah. Besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PG = IG^2 RG$$

Dimana :

PG = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

IG = Arus netral yang mengalir ke tanah (Ampere)

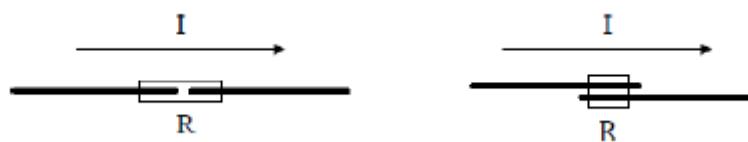
RG = Tahanan pembumian netral trafo (Ohm)

2.2.6.4 Losses pada Sambungan Tidak Baik

Losses ini terjadi karena di sepanjang jaringan tegangan rendah terdapat beberapa sambungan antara lain :

1. Sambungan saluran jaringan tegangan rendah dengan kabel NYFGBY
2. Percabangan saluran jaringan tegangan rendah
3. Percabangan untuk sambungan pelayanan

Sambungan kabel terlihat pada Gambar 2.7



Gambar 2.7 Sambungan Kabel

Besarnya rugi-rugi daya pada sambungan dirumuskan :

$$P = I^2 R$$

Dimana :

P = Losses yang timbul pada Konektor (Watt)

I = arus yang mengalir melalui konektor (Ampere)

R = Tahanan konektor (Ohm)

2.2.7 Persamaan yang Digunakan dalam Perhitungan

Adapun persamaan-persamaan yang digunakan untuk menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada transformator distribusi adalah sebagai berikut :

2.2.7.1 Perhitungan Arus Beban Penuh dan Arus Hubung Singkat

Telah diketahui bahwa daya transforamator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana :

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan Sisi Primer Transformator (kV)

I = Arus Jala-jala (A)

Dengan demikian untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} V}$$

I_{FL} = Arus Beban Penuh (A)

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

Sedangkan untuk menghitung arus hubung singkat pada transformator digunakan rumus :

$$I_{SC} = \frac{S \cdot 100}{\%Z \sqrt{3} V}$$

Dimana :

I_{SC} = Arus Hubung Singkat (A)

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

$\%Z$ = Persen Impedansi Transformator

Dengan demikian untuk menghitung persentase pembebanannya adalah sebagai berikut :

$$\%b = \frac{I_{ph}}{I_{FL}} \cdot 100$$

Dimana :

$\% b$ = Persentase Pembebanan

I_{ph} = Arus Fasa (A)

I_{FL} = Arus Beban Penuh (A)

2.2.7.2 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{Rata-rata} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

Dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a, b dan c diperoleh dengan :

$$a = \frac{IR}{I}$$

$$b = \frac{IS}{I}$$

$$c = \frac{IT}{I}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

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

2.2.7.3 Perhitungan Losses Akibat Arus Netral pada Penghantar Netral

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

Dan losses pada penghantar netral dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PN = IN^2 RN$$

PN = *Losses* yang timbul pada penghantar netral (watt)

IN = Arus yang mengalir melalui kawat netral (Ampere)

RN = Tahanan pada kawat netral (Ω)

2.2.7.4 Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Losses ini terjadi karena adanya arus netral yang mengalir ke tanah., Besarnya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PG = I_G^2 RG$$

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

I_G = Arus netral yang mengalir ke tanah (Ampere)

RG = Tahanan pembumian netral trafo (Ω) [2]

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut;

1. Tang Amper
2. Earth Tester
3. Buku Catatan atau Handphone
4. Laptop

3.2 Lokasi Dan Waktu Penelitian

Penelitian ini berlokasi di wilayah kelistrikan ULP Limboto dan lokasi ada pada penyulang hasil pengukuran transformator. Waktu penelitian dilaksanakan selama 5 bulan terhitung dari bulan Desember 2022 sampai dengan Mei 2023.

3.3 Jenis Data Penelitian

3.3.1 Study Literatur

Tahapan ini mempelajari teori-teori dasar yang menunjang jalannya penelitian ini, pengumpulan data-data ini diambil dari kantor-kantor instansi pemerintah atau lembaga penelitian atau studi yang telah ada sebelumnya. Data tersebut berupa buku-buku makalah atau laporan..

3.3.2 Pengumpulan Data Materi

Pada tahapan pengumpulan data materi ini, penulis akan terjun langsung ke lokasi atau tempat penelitian berlangsung, untuk mengambil data-data yang

dibutuhkan. Penulis akan melakukan pengukuran pada trafo distribusi serta mengumpulkan data-data pendukung dari pihak tempat penelitian.

1. Data Teknis Trafo Distribusi Penyulang ULP Limboto
2. Data Pengukuran Trafo Distribusi.

3.3.3 Perhitungan

Penulis akan melakukan perhitungan berdasarkan hasil pengukuran dan data data acuan mengenai materi-materi yang diangkat dalam Penelitian berikut.

1. Besarnya Fuse Cut Out
2. Besarnya NH Fuse
3. Besar Arus Hubung Singkat (short circuit)
4. Rata rata persentase pembebanan
5. Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo
6. Analisa losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo
7. Analisa losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah

3.3.4 Penyusunan Laporan

Tahapan ini merupakan proses akhir dari penelitian, yang meliputi penjelasan hasil penelitian yang diperoleh sesuai dengan metode dan prosedur yang digunakan, penarikan kesimpulan, pemberian saran dalam bentuk laporan.

3.4 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang harus diketahui dalam melaksanakan suatu penelitian antara lain sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan penelitian

2. Mengukur arus setiap fasa, tegangan fasa ke netral, arus netral, arus grounding menggunakan tang amper
3. Mengukur tahanan grounding menggunakan earth tester
4. Setelah diukur, mencatat setiap nilai yang dihasilkan kedalam buku catatan
5. Kemudian setelah selesai melakukan pengukuran, lepas Kembali semua alat dan bahan
6. Selesai

3.5 Jalannya Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut :

1. Menentukan tema permasalahan yang akan diteliti dengan cara melakukan studi pustaka guna memperoleh berbagai teori-teori dan konsep yang akan mendukung penelitian yang akan dilaksanakan.
2. Mencari data dari pengukuran pada trafo distribusi menggunakan beberapa jenis alat sehingga didapatkan data yang dibutuhkan untuk diolah pada bab selanjutnya.

3.6 Sumber Data

Data-data yang diperlukan dalam proses pembuatan laporan ini diperoleh dari:

1. Observasi

Pengambilan data yang sesuai dengan lokasi penelitian untuk selanjutnya di analisis.

2. Wawancara

Metode ini dilakukan dengan cara menanyakan hal – hal yang sekiranya belum penulis ketahui kepada pembimbing lapangan.

3. Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku dan jurnal terkini sesuai dengan penelitian yang dilakukan serta mencari data yang diperlukan mengenai hal-hal atau materi yang dianalisa.

4. Bimbingan

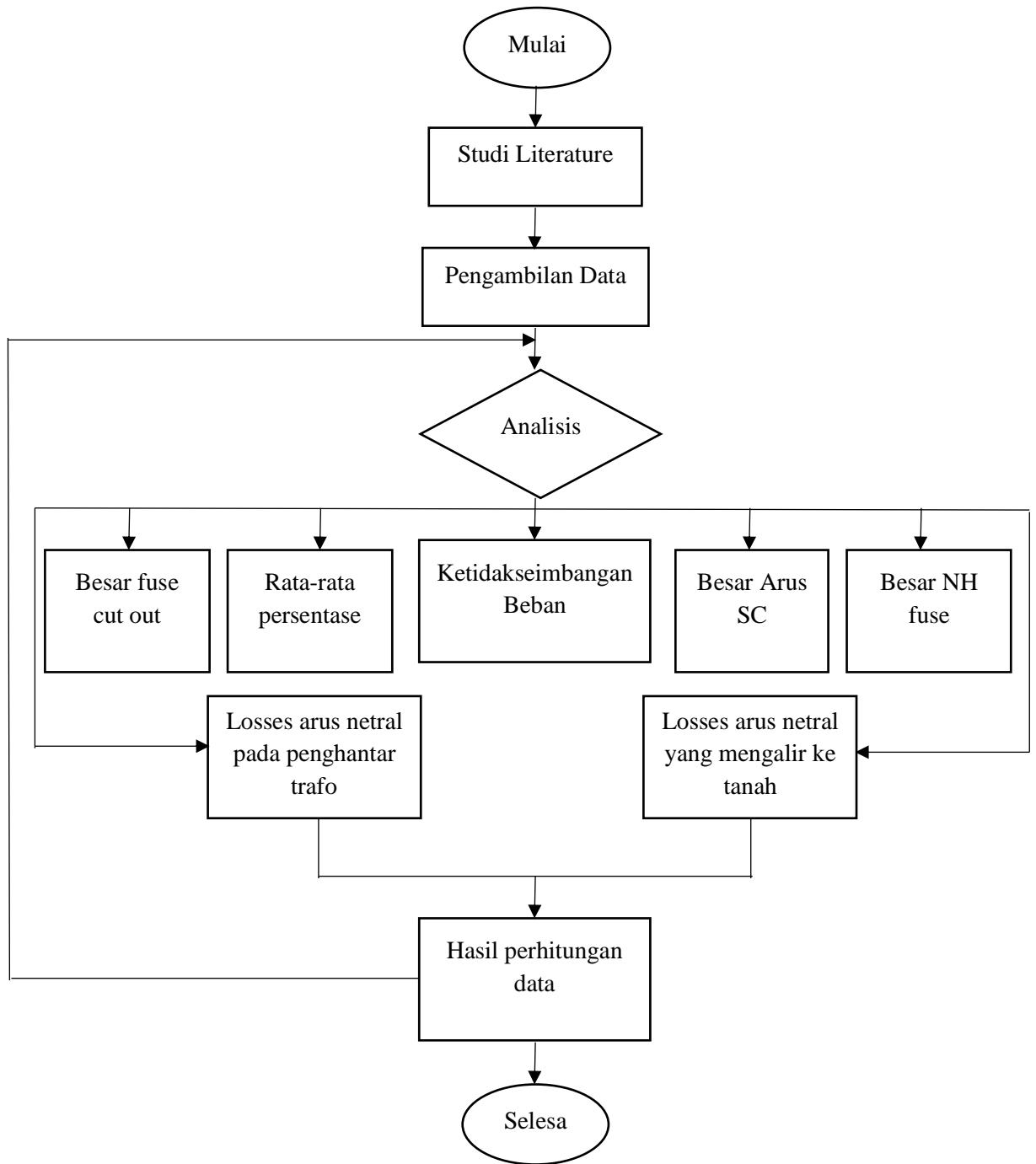
Metode ini dilakukan dengan cara meminta bimbingan untuk hal yang berkaitan dengan analisa dari penelitian ini dari pembimbing, baik dosen maupun di pembimbing di lapangan

3.7 Teknik Analisa Data

1. Melakukan pengambilan data di lokasi dilakukan dengan cara melakukan beberapa pengukuran
2. Melakukan beberapa Analisa perhitungan
3. Menyimpulkan hasil dari Analisa

Alasan dari penggunaan teknik analisis data ini adalah agar hasil penelitian yang di peroleh maksimal dan akurat

3.8 Flow Chart Penelitian



Gambar 3.2 Diagram Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis Transformator Distribusi

Adapun data teknis trafo yang diambil sebagai objek dalam penelitian ini adalah data teknis trafo distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban yaitu pada trafo distribusi GL 103. Data teknis trafo distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Spesifikasi Trafo Distribusi

Nama Pabrik Trafo	Trafindo
Daya	250 kVA
Fasa	3
Tegangan Primer L-L (kV)	20
Tegangan Sekunder L-L (volt)	400
Arus Primer (A)	7,22
Arus Sekunder (A)	360,84
Vektor Group	Yzn5
Impedansi (%)	4
Kabel Incoming	NYY 150 mm ²
Kabel Outgoing	NYY 70 mm ²

Pada Tabel 4.1 terlihat bahwa data spesifikasi trafo distribusi adalah trafo distribusi yang berada di shoping Limboto yang merupakan salah satu pusat beban paling besar. Nomor trafo distribusi tersebut memiliki kode GL 103 yang menandai trafo yang teridentifikasi adanya beban tidak seimbang. Merek trafo distribusi tersebut adalah trafindo yang memiliki kapasitas daya sebesar 250 kVA. Trafo distribusi ini merupakan trafo distribusi 3 fasa step down dengan tegangan primer 20.000 volt dan tegangan sekunder 400 volt.

4.2 Data Pengukuran Beban Traanformator Distribusi

Untuk beban yang berada pada trafo distribusi GL 103 diambil berdasarkan pengukuran oleh petugas Teknik. Pengukuran ini dilakukan untuk mengidentifikasi apakah trafo tersebut mengalami beban yang tidak seimbang. Pengukuran dilakukan pada waktu siang hari pukul 10.00 WITA dan malam hari pada pukul 19.05 WITA. Pengukuran beban dilakukan pada masing masing fasa dengan menggunakan tang ampere dan pengukuran grounding trafo menggunakan earth tester. Hasil pengukuran beban trafo distribusi GL 103 pada siang hari dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Trafo Distribusi GL 103 Siang Hari

Fasa	S (kVA)	Vp-n (V)	I (A)	Cos phi
R	45,31	236	192	0,8
S	21,09	237	89	0,8
T	25,39	233	109	0,8
In	107 A			
Ig	60,5 A			
Rg	4,1 ohm			

Pada Tabel 4.2 terlihat bahwa hasil pengukuran beban trafo GL 103 pada siang hari untuk masing masing beban pada setiap fasa tidak sama. Beban pada fasa R adalah 192 A, beban pada fasa S adalah 89 A dan beban pada fasa T adalah 109 A. Sehingga ada beban arus yang terukur pada netral sebesar 107 A dan arus pada grounding adalah 60,5 A. ini menandakan bahwa terbaca ada arus beban yang mengalir pada kawat netral dan grounding yang nilainya cukup besar. Sehingga bisa dikatakan bahwa dari hasil pengukuran tersebut terdapat beban yang tidak seimbang.

Untuk hasil pengukuran beban trafo distribusi GL 103 pada malam hari dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Trafo Distribusi GL 103 Malam Hari

Fasa	S (kVA)	Vp-n (V)	I (A)	Cos phi
R	24,52	225	109	0,8
S	13,33	226	59	0,8
T	17,92	224	80	0,8
In	94 A			
Ig	57,5 A			
Rg	4,1 ohm			

Pada Tabel 4.3 terlihat bahwa hasil pengukuran beban trafo GL 103 pada malam hari untuk masing masing beban pada setiap fasa tidak sama. Beban pada fasa R adalah 109 A, beban pada fasa S adalah 59 A dan beban pada fasa T adalah 80 A. Sehingga ada beban arus yang terukur pada netral sebesar 94 A dan arus pada grounding adalah 57,5 A. ini menandakan bahwa terbaca ada arus beban yang mengalir pada kawat netral dan grounding yang nilainya cukup besar. Sehingga bisa dikatakan bahwa dari hasil pengukuran tersebut terdapat beban yang tidak seimbang.

4.3 Menentukan Fuse Cut Out

Untuk analisis data dalam menentukan besarnya Fuse Cut Out terlebih dahulu menghitung besarnya arus berdasarkan data spesifik transformator distribusi.

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

$$250 \text{ kVA} = \sqrt{3} \times 20 \text{ kV} \times I$$

$$I = \frac{250 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 20 \text{ kV}} = 7,2 \text{ A}$$

Jadi untuk pemilihan nilai ukuran Fuse Cut Out adalah sebesar 10 A. Pemilihan Fuse Link Type ini berdasarkan SPLN.

4.4 Menentukan NH Fuse

Untuk analisis data dalam menentukan besarnya NH Fuse terlebih dahulu menghitung besarnya arus beban penuh (full load) berdasarkan data spesifik transformator distribusi.

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V}$$

$$I_{FL} = \frac{250 \text{ kV}a}{\sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV}}$$

$$I_{FL} = 360,8 \text{ A}$$

Jadi untuk pemilihan nilai ukuran NH Fuse untuk jurusan utama atau incoming adalah sebesar 400 A. Pemilihan NH Fuse Type ini berdasarkan rating SPLN.

4.5 Menentukan Arus Hubung Singkat

Untuk analisis data dalam menentukan besarnya arus hubung singkat terlebih dahulu mengetahui besarnya nilai persentase impedansi Z berdasarkan data spesifik transformator distribusi.

$$I_{SC} = \frac{S \times 100}{\%Z \times \sqrt{3} \times V}$$

$$I_{SC} = \frac{250 \text{ kV}a \times 100}{4,1 \times \sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV}}$$

$$I_{SC} = 8.801,071 \text{ A}$$

4.6 Menentukan Persentase Pembebanan

Untuk analisis data dalam menentukan rata-rata persentase pembebanan pada hasil pengukuran beban siang hari, terlebih dahulu menghitung persentase pembebanan masing-masing fasa berdasarkan data pengukuran beban transformator distibusi pada siang hari.

$$\% \text{beban} = \frac{S \times 100}{\% Z \times \sqrt{3} \times V}$$

$$I_{SC} = \frac{I_{PH}}{I_{FL}} \times 100$$

$$I_R = 192 \text{ A}$$

$$I_S = 89 \text{ A}$$

$$I_T = 109 \text{ A}$$

$$\% \text{beban R} = \frac{192}{360,8} \times 100 = 53,2\%$$

$$\% \text{beban S} = \frac{89}{360,8} \times 100 = 24,7\%$$

$$\% \text{beban T} = \frac{109}{360,8} \times 100 = 30,2\%$$

Jadi persentase pembebanan rata-rata adalah

$$\% \text{beban rata-rata} = \frac{\% \text{beban R} + \% \text{beban S} + \% \text{beban T}}{3}$$

$$\% \text{beban rata-rata} = 36,01\%$$

Untuk analisis data dalam menentukan rata-rata persentase pembebanan pada hasil pengukuran beban malam hari, terlebih dahulu menghitung persentase pembebanan masing-masing fasa berdasarkan data pengukuran beban transformator distibusi pada malam hari.

$$\% \text{beban} = \frac{S \times 100}{\% Z \times \sqrt{3} \times V}$$

$$I_{SC} = \frac{I_{PH}}{I_{FL}} \times 100$$

$$I_R = 109 \text{ A}$$

$$I_S = 59 \text{ A}$$

$$I_T = 80 \text{ A}$$

$$\% \text{beban R} = \frac{109}{360,8} \times 100 = 30,2\%$$

$$\% \text{beban S} = \frac{59}{360,8} \times 100 = 16,4\%$$

$$\% \text{beban T} = \frac{80}{360,8} \times 100 = 22,2\%$$

Jadi persentase pembebanan rata-rata adalah

$$\% \text{beban rata-rata} = \frac{\% \text{beban R} + \% \text{beban S} + \% \text{beban T}}{3}$$

$$\% \text{beban rata-rata} = 22,91\%$$

Dari hasil perhitungan persentase pembebanan rata-rata pada transformator distribusi GL 103 terlihat bahwa pembebanan di Kawasan shopping Limboto paling banyak pemakaian akan energi listrik pada waktu siang hari. Hal ini dikarenakan karena aktifitas pengguna akan energi listrik pada Kawasan tersebut banyak aktivitas pada waktu siang hari.

4.7 Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Trafo GL 103

Dalam Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo kita dapat menentukan terlebih dahulu arus rata-rata berdasarkan pembelahan waktu siang hari.

$$I_R = 192 \text{ A}$$

$$I_S = 89 \text{ A}$$

$$I_T = 109 \text{ A}$$

$$I \text{ rata-rata} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$I \text{ rata-rata} = 130 \text{ A}$$

Dengan demikian dalam menentukan koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besar arus fasa dalam keadaan seimbang, sehingga arus sama dengan arus rata-rata.

$$I_R = a \times I$$

$$\text{Maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{192}{130} = 1,48$$

$$I_S = b \times I$$

$$\text{Maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{89}{130} = 0,68$$

$$I_T = c \times I$$

$$\text{Maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{109}{130} = 0,84$$

Pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b dan c adalah 1, dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban dalam persentase adalah :

$$= \frac{\{ [a - 1] + [b - 1] + [c - 1] \}}{3} \times 100$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\{[1,48 - 1] + [0,68 - 1] + [0,84 - 1]\}}{3} \times 100 \\
&= \frac{\{[0,48] + [0,32] + [0,16]\}}{3} \times 100 \\
&= 31,8 \%
\end{aligned}$$

Sedangkan dalam Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo, kita dapat menentukan terlebih dahulu arus rata-rata berdasarkan pembebanan waktu malam hari.

$$I_R = 109 \text{ A}$$

$$I_S = 59 \text{ A}$$

$$I_T = 80 \text{ A}$$

$$I \text{ rata - rata} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$I \text{ rata - rata} = 82,7 \text{ A}$$

Dengan demikian dalam menentukan koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besar arus fasa dalam keadaan seimbang, sehingga arus sama dengan arus rata-rata.

$$I_R = a \times I$$

$$\text{Maka : } a = \frac{I_R}{I} = \frac{109}{82,7} = 1,32$$

$$I_S = b \times I$$

$$\text{Maka : } b = \frac{I_S}{I} = \frac{59}{82,7} = 0,71$$

$$I_T = c \times I$$

$$\text{Maka : } c = \frac{I_T}{I} = \frac{80}{82,7} = 0,97$$

Pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b dan c adalah 1, dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban dalam persentase adalah :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\{ [a - 1] + [b - 1] + [c - 1] \}}{3} \times 100 \\
 &= \frac{\{ [1,32 - 1] + [0,71 - 1] + [0,97 - 1] \}}{3} \times 100 \\
 &= \frac{\{ [0,32] + [0,29] + [0,03] \}}{3} \times 100 \\
 &= 21,2 \%
 \end{aligned}$$

4.8 Analisa Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo

Dalam Analisa losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, kita dapat menentukan terlebih dahulu perhitungan daya netral berdasarkan hasil pengukuran pembebanan waktu siang hari.

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

$$P_N = 107^2 \times 0,6042$$

$$P_N = 6917,49 \text{ W}$$

$$P_N = 6,92 \text{ kW}$$

Untuk daya aktif trafo (P) :

$$P = S \times \cos \varphi$$

Dimana $\cos \varphi$ yang digunakan adalah 0,8

$$P = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada pembebanan waktu siang hari adalah :

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100$$

$$\%P_N = \frac{6,92}{200} \times 100$$

$$\%P_N = 3,46\%$$

Sedangkan Analisa losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, kita dapat menentukan terlebih dahulu perhitungan daya netral berdasarkan hasil pengukuran pembebanan waktu malam hari.

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

$$P_N = 92^2 \times 0,6042$$

$$P_N = 5338,71 \text{ W}$$

$$P_N = 5,34 \text{ kW}$$

Untuk daya aktif trafo (P) :

$$P = S \times \cos \varphi$$

Dimana $\cos \varphi$ yang digunakan adalah 0,8

$$P = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada pembebanan waktu malam hari adalah :

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100$$

$$\%P_N = \frac{5,34}{200} \times 100$$

$$\%P_N = 2,67\%$$

4.9 Analisa Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Analisa losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah, kita dapat menentukan terlebih dahulu perhitungan daya netral ke tanah berdasarkan hasil pengukuran pembebanan waktu siang hari.

$$P_G = I_G^2 \times R_G$$

$$P_G = 60,5^2 \times 4,1$$

$$P_G = 15007,03 \text{ W}$$

$$P_G = 15,01 \text{ kW}$$

Untuk daya aktif trafo (P) :

$$P = S \times \cos \varphi$$

Dimana $\cos \varphi$ yang digunakan adalah 0,8

$$P = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada pembebanan waktu malam hari adalah :

$$\%P_G = \frac{P_G}{P} \times 100$$

$$\%P_G = \frac{15,01}{200} \times 100$$

$$\%P_G = 7,5\%$$

Sedangkan Analisa losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah, kita dapat menentukan terlebih dahulu perhitungan daya netral ke tanah berdasarkan hasil pengukuran pembebanan waktu siang hari.

$$P_G = I_G^2 \times R_G$$

$$P_G = 57,5^2 \times 4,1$$

$$P_G = 13555,63 \text{ W}$$

$$P_G = 13,56 \text{ kW}$$

Untuk daya aktif trafo (P) :

$$P = S \times \cos \varphi$$

Dimana $\cos \varphi$ yang digunakan adalah 0,8

$$P = 250 \times 0,8 = 200 \text{ kW}$$

Sehingga persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada pembebanan waktu malam hari adalah :

$$\%P_G = \frac{P_G}{P} \times 100$$

$$\%P_G = \frac{13,56}{200} \times 100$$

$$\%P_G = 6,78\%$$

Hasil perhitungan losses berdasarkan pengukuran pembebanan trafo distribusi 250 kVA GL 103 waktu siang hari dan malam hari dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Losses pada Trafo Distribusi 250 kVA

Rn	waktu	ketidakseimbangan beban (%)	IN (A)	IG (A)	PN (kW)	PN (%)	PG (kW)	PG (%)
0,6042 (50mm ²)	Siang	31,8	107	60,5	6,92	3,46	15,01	7,5
	Malam	21,2	94	57,5	5,34	2,67	13,56	6,78

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa losses trafo distribusi 250 kVA GL 103 bahwa losses arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo pada waktu pengukuran siang hari adalah sebesar 6,92 kW dengan persentase 3,46%. Sedangkan waktu

pengukuran malam hari untuk losses arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo adalah sebesar 5,34 kW dengan persentase 2,67%. Hal ini menandakan bahwa semakin besar arus yang mengalir pada kawat netral maka semakin besar pula losses pada penghantar netral trafo.

Losses akibat adanya arus netral yang mengalir ketanah pada waktu pengukuran siang hari adalah sebesar 15,01 kW dengan persentase 7,5%. Sedangkan waktu pengukuran malam hari untuk losses arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo adalah sebesar 13,56 kW dengan persentase 6,78%. Hal ini menandakan bahwa semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah maka semakin besar pula losses akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah.

Demikian pula dengan ketidakseimbangan beban pada waktu pengukuran siang hari terlihat bahwa nilai persentase ketidakseimbangan beban adalah sebesar 31,8%. Sedangkan persentase ketidakseimbangan beban pada pengukuran waktu malam hari adalah sebesar 21,2%. Hal ini menandakan bahwa semakin besar arus yang mengalir pada penghantar netral dan arus yang mengalir ke tanah maka semakin besar pula terjadinya ketidakseimbangan beban dan juga semakin besar arus netral dan losses di trafo maka efisiensi trafo menjadi turun. Sehingga perlu dilakukan keseimbangan beban guna meminimalisir losses yang terjadi.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Persentase ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi GL 103 250 kVA sesuai dengan hasil perhitungan dan pengukuran waktu siang hari adalah sebesar 31,8% dan pada malam hari adalah sebesar 21,2%.
2. Besarnya losses yang mengalir pada kawat penghantar netral akibat ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi GL 103 250 kVA berdasarkan perhitungan dan pengukuran waktu siang hari adalah sebesar 6,92 kW dengan persentase 3,46%, sedangkan waktu pada malam hari adalah sebesar 5,34 kW dengan persentase 2,67%.
3. Besarnya losses yang mengalir ke tanah akibat ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi GL 103 250 kVA berdasarkan perhitungan dan pengukuran waktu siang hari adalah sebesar 15,01 kW dengan persentase 7,5%, sedangkan waktu pada malam hari adalah sebesar 13,56 kW dengan persentase 7,78%

5.2 Saran

Pada saat terjadi ketidakseimbangan beban akan menimbulkan arus yang mengalir pada netral yang kan berdampak pada kerugian finasial. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat lebih baik lagi pembagian beban antar fasa.

DAFTAR PUSTAKA

- Nelwan, M. N., Tuegeh, M., & Lisi, I. F. (2015). *Penyusutan Energi Listrik Pada Penyulang SU2 Jaringan Distribusi Minahasa Utara*. 67–76.
- Putra, D. E. K. A. (2016). *Analisa Pengaruh Penambahan Jaringan Baru Dari Gardu Induk Masaran Ke PT. Sinar Agung Selalu Sukses Terhadap Susut Daya*.
- RH, N. S. (2016). *Analisa Susut Daya Pada Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) 20 KV Penyulang Ekspress PT. PLN (Persero) Area Gorontalo (Studi Kasus Pada Penyulang BP.07-LT.11)*.
- Mohc, N S., & Adi, K P (2021). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi di unit Layanan Pelanggan (ULP) DAYA. *Repository Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Ahmad, R. (2021). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo 200 kVA. *Repository Tugas Akhir. Seminar Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Rulyianto. 2020. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat*. *Jurnal Ilmiah GIGA*. Vol. 23, No. 2, 2020.
- Julius S S, Tabrani M, Yanuar I. (2006). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi*. *Jurnal Teknik Elektro*. Vol. 6, No. 1, Maret 2006.
- Frengki E P S. (2011). *Perhitungan Rugi-rugi Daya pada Trafo Distribusi Akibat Ketidakseimbangan Beban di Gardu 60 Jalan Panjaitan Kota Gorontalo*. *Jurnal Sainstek*. Vol. 6, No. 4. 2011.
- Gamma Ayu K S. (2018). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora. *Repository Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Mimin R M, Muhammad M. (2018). *Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi daya pada Trafo Daya PLN Gardu Induk Bulukumba*. *Repository Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Mahmud Patilima. (2022). *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses dan Pembebanan Transformator Distribusi*. *Jurnal ELECTRICHANS*. Vol.11, No.1. April 2022.
- Barlian, T., Cekdin, C., 2013. Transmisi Daya Listrik, Yogyakarta: C.V.Andi Offset.

- Hutahuruk, T.S., 1996. Transmisi Daya Listrik, Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Drs. Sumanto, MA “ Teori Transformator, 1996
- Hadi, Abdul, “Sistem Distribusi Daya Listrik”, Edisi Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
- Kadir, Abdul, “Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik”, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2000
- Badaruddin “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Proyek Rusunawi Gading Icon” Jurnal Teknik Elektro (JTE),2012
- Siregar, Rizky.S dan Harahap, Raja “Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban, 2017.
- Lumbanraja, Hotdes “Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Hubungan Open-Delta, 2008”.
- Eryuhanggoro Yugi. Perancangan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban 18.956 kW/ 6600 V, Menggunakan Kapasitor Bank di PT. Indorama Ventures Indonesia[Tugas Akhir]. Jakarta:2013.