

**OPTIMALISASI PELAKSANAAN PENYEIMBANGAN BEBAN GARDU
DISTRIBUSI UNTUK MENEKAN *LOSSES* DI PT PLN (PERSERO) ULP
SUKANAGARA**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan Ini Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana (S1) Pada Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung
Semarang



DISUSUN OLEH:
REZA RIZKIFADHLA
30602200238

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG**

2025

FINAL PROJECT
OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION SUBSTATION LOAD BALANCING
IMPLEMENTATION TO REDUCE LOSSES AT PT PLN (PERSERO) ULP
SUKANAGARA

Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1) at
Departemen of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Technology,
Universitas Islam Sultan Agung
Semarang



MAJORING OF ELECTRICAL ENGINEERING
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG

2025

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**OPTIMALISASI PELAKSANAAN PENYEIMBANGAN BEBAN GARDU DISTRIBUSI UNTUK MENEKAN LOSSES DI PT PLN (PERSERO) ULP SUKANAGARA**” ini disusun oleh:

Nama : REZA RIZKIFADHLA
NIM : 30602200238
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Rabu
Tanggal : 05 Maret 2025

Pembimbing I

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro



Agus Suprajitno, ST., MT.
NIDN : 0602047301



Lenny Putri Hapsari, S.T., M.T.
NIDN : 0607018501

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “**OPTIMALISASI PELAKSANAAN PENYEIMBANGAN BEBAN GARDU DISTRIBUSI UNTUK MENEKAN LOSSES DI PT PLN (PERSERO) ULP SUKANAGARA**” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 05 Maret 2025

Tim Penguji

Tanda Tangan

Dr. Ir. Agus Adhi Nugroho, MT., IPM.

NIDN : 0628086501

Ketua

Munaf Ismail, S.T., M.T.

NIDN : 0613127302

Penguji I

Agus Suprajitno, S.T., M.T.

NIDN : 0602047301

Penguji II

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Rizkifadhla
NIM : 30602200238
Fakultas : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya buat dalam rangka menyelesaikan Pendidikan Strata Satu (S1) **Teknik Elektro di Fakultas Teknologi UNISSULA Semarang** dengan judul **“Optimalisasi Pelaksanaan Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Untuk Menekan *Losses* di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara”**, adalah asli (orisinal) dan bukan menjiplak (plagiat) dan belum pernah diterbitkan/dipublikasikan dimanapun dalam bentuk apa pun baik sebagian atau keseluruhan, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab. Apabila di kemudian hari ternyata terbukti bahwa Karya Tugas Akhir tersebut adalah hasil karya orang lain atau pihak lain, maka saya bersedia dikenakan sanksi akademis.

Semarang, 8 Januari 2025

Yang Menyatakan

Mahasiswa



Reza Rizkifadhla

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Reza Rizkifadhla
NIM : 30602200238
Program Studi : Teknik Elektro
Fakultas : Teknologi Industri
Alamat asal : Bergas, Kab, Semarang
Email : reza.rizkifadhla@pln.co.id

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul “**Optimalisasi Pelaksanaan Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Untuk Menekan *Losses* di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara**” dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih media kan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung.

Semarang, 8 Januari 2025

Yang Menyatakan



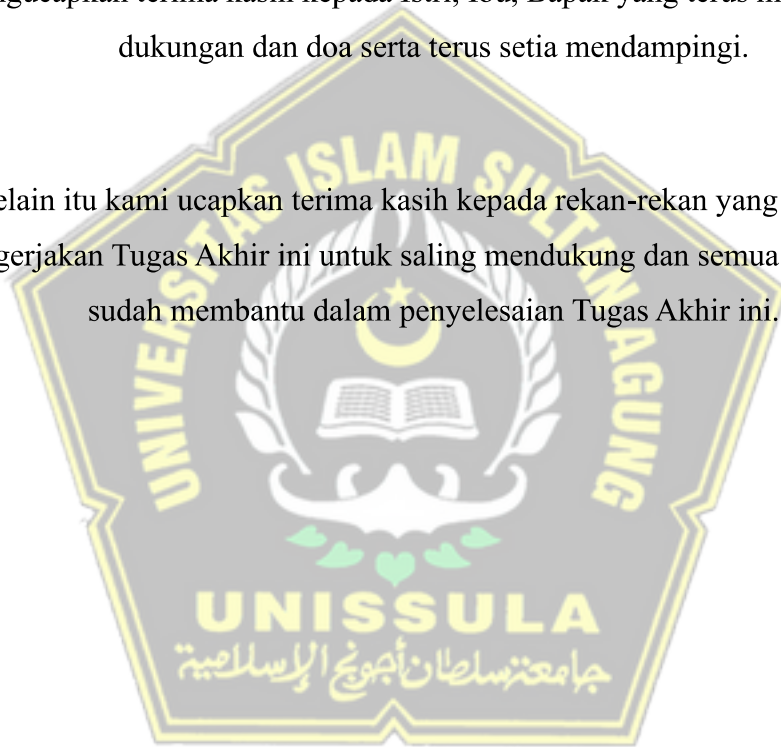
Reza Rizkifadhla

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat-Nya yang telah memberikan kesabaran, Kesehatan, dan kekuatan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Setelah mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa tak lupa mengucapkan terima kasih kepada Istri, Ibu, Bapak yang terus memberikan dukungan dan doa serta terus setia mendampingi.

Selain itu kami ucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang bersama mengerjakan Tugas Akhir ini untuk saling mendukung dan semua pihak yang sudah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.



HALAMAN MOTTO

“Man Jadda Wa Jada”

"Setiap perjalanan dimulai dengan langkah pertama."

"Pengetahuan adalah investasi terbaik yang bisa kita buat."

"Kesuksesan adalah hasil dari persiapan, kerja keras, dan belajar dari kegagalan."

"Jangan pernah berhenti belajar, karena hidup tidak pernah berhenti mengajar."

"Dalam proses, kita menemukan kekuatan dan kelemahan kita."



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul “**Optimalisasi Pelaksanaan Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Untuk Menekan *Losses* di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara**”. Dalam penyusunan tugas akhir, saya menyadari sepenuhnya bahwa tanpa bantuan dari berbagai pihak maka akan sulit bagi saya dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Oleh karena itu dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Novi Marlyana, S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri.
2. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro
3. Bapak Agus Suprajitno, ST., MT. selaku Pembimbing Tugas Akhir atas arahan dan bimbingannya selama menyelesaikan Tugas Akhir.
4. Bapak Muhammad Khosyiin, S.T., M.T selaku Koordinator Tugas Akhir
5. Manajemen dan karyawan PT PLN (Persero) ULP Sukanagara yang telah membantu pelaksanaan penelitian.
6. Istri, Ibu, Bapak tercinta yang selalu memberi dukungan selama proses penyusunan tugas akhir.
7. Semua pihak yang dengan tulus ikhlas memberikan doa motivasi dan dukungan selama ini.

Semoga Allah SWT memberkahi dan membalas semua kebaikan yang telah dilakukan.

Semarang, 8 Januari 2025

Yang Menyatakan

Reza Rizkifadhla

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
ABSTRAK	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	3
2.1 Tinjauan Pustaka	3
2.2 Dasar Teori	4
2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik	4
2.2.2 Susut Energi	5
2.2.3 Gardu Distribusi	5
2.2.4 Transformator Distribusi	9
2.2.5 Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi.....	10
2.2.6 Perhitungan Arus Beban Pada Transformator	12
2.2.7 Perhitungan Ketidakseimbangan Transformator	12
2.2.8 Lokasi Losses	14
BAB III.....	16
METODE PENELITIAN	16
3.1 Metode Penelitian	16

3.2	Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	16
3.3	Diagram Alir Penelitian	17
3.4	Pengumpulan Data	19
3.5	Jadwal Kegiatan	19
BAB IV		20
HASIL DAN PEMBAHASAN		20
4.1	Data Jaringan	20
4.2	Pengukuran Beban Gardu Sebelum Penyeimbangan Beban	22
4.3	Perhitungan <i>Losses</i> Gardu Sebelum Penyeimbangan Beban.....	24
4.4	Penentuan Phasa yang akan diseimbangkan per Gardu	30
4.5	Pelaksanaan Penyeimbangan Beban dan Pengukuran Setelah Diseimbangkan	36
4.6	Pengukuran Beban Gardu Setelah Penyeimbangan Beban	39
4.7	Efektivitas Penyeimbangan Beban Gardu	40
4.8	Perhitungan <i>Losses</i> Gardu Setelah Penyeimbangan Beban	41
4.9	Perolehan kWh Sebelum dibandingkan Setelah Penyeimbangan Beban	46
BAB V		47
PENUTUP		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....		48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik(Dr. Lalit Goel, n.d.)	4
Gambar 2. 2 Monogram Konstruksi Gardu Portal(Wibowo et al., 2010).....	6
Gambar 2. 4 Diagram satu garis gardu portal (Wibowo et al., 2010)	7
Gambar 2. 5 <i>Lightning Arrester</i>	7
Gambar 2. 6 <i>Fused Cut Out</i>	8
Gambar 2. 7 Transformator Distribusi	8
Gambar 2. 8 Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah.....	8
Gambar 2. 9 Bagian-Bagian Transformator Distribusi(Avm, 2016)	9
Gambar 2. 10 Vektor Beban Seimbang (Dasa Novfowan et al., 2020).....	11
Gambar 2. 11 Vektor Beban Tidak Seimbang (Dasa Novfowan et al., 2020).....	11
Gambar 2. 12 Lokasi Susut pada Gardu Distribusi.....	14
 Gambar 3. 1 PLN ULP Sukanagara	 16
Gambar 3. 2 <i>Flowchart</i> Penelitian	18
 Gambar 4. 1 <i>Single Line Diagram</i> Jaringan Tegangan Menengah ke pelanggan	 20



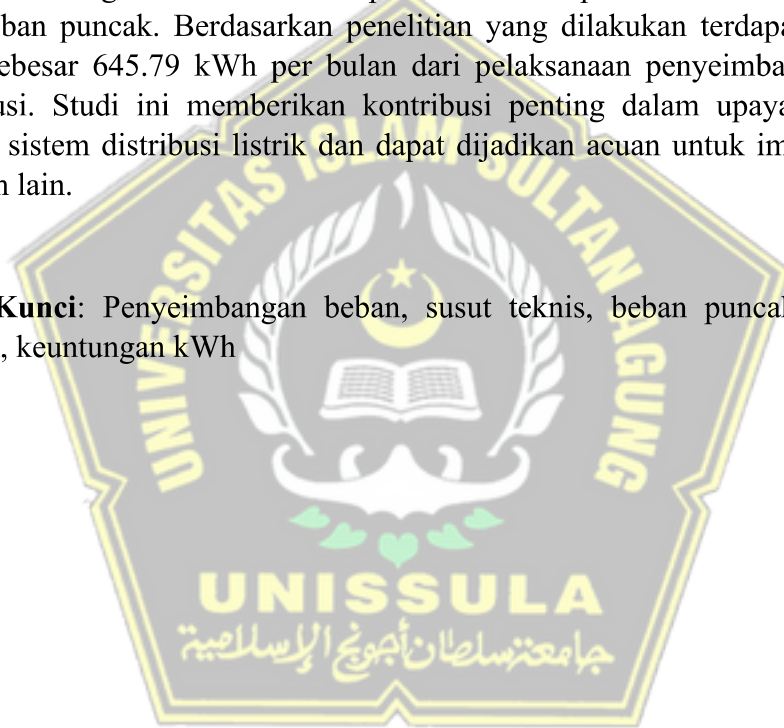
DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Sampel gardu tidak seimbang di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara.....	19
Tabel 3. 2 <i>Timeline</i> Penelitian	19
Tabel 4. 1 Kapasitas Trafo Gardu Distribusi yang akan diseimbangkan	20
Tabel 4. 2 Data Jaringan Jurusan Gardu Distribusi di ULP Sukanagara	21
Tabel 4. 3 Karakteristik Penghantar Alumunium (PT PLN,2010)	21
Tabel 4. 4 Pengukuran Beban Gardu Pada Siang Hari Sebelum Penyeimbangan Beban	23
Tabel 4. 5 Pengukuran Beban Gardu Pada Malam Hari Sebelum Penyeimbangan Beban	24
Tabel 4. 6 Perhitungan Susut Gardu BGL Sebelum Diseimbangkan	26
Tabel 4. 7 Perhitungan Susut Gardu BNRA Sebelum Diseimbangkan	26
Tabel 4. 8 Perhitungan Susut Gardu CDPA Sebelum Diseimbangkan	27
Tabel 4. 9 Perhitungan Susut Gardu CGR Sebelum Diseimbangkan	27
Tabel 4. 10 Perhitungan Susut Gardu CIRA Sebelum Diseimbangkan	28
Tabel 4. 11 Perhitungan Susut Gardu CMAG Sebelum Diseimbangkan	28
Tabel 4. 12 Perhitungan Susut Gardu GIR Sebelum Diseimbangkan	29
Tabel 4. 13 Perhitungan Susut Gardu KWG Sebelum Diseimbangkan	30
Tabel 4. 14 Rencana Penyeimbangan Gardu BGL	31
Tabel 4. 15 Rencana Penyeimbangan Gardu BNRA	32
Tabel 4. 16 Rencana Penyeimbangan Gardu CDPA	32
Tabel 4. 17 Rencana Penyeimbangan Gardu CGR	33
Tabel 4. 18 Rencana Penyeimbangan Gardu CIRA	33
Tabel 4. 19 Rencana Penyeimbangan Gardu CMAG	34
Tabel 4. 20 Rencana Penyeimbangan Gardu GIR	35
Tabel 4. 21 Rencana Penyeimbangan Gardu KWG	35
Tabel 4. 22 Pengukuran Beban Gardu Pada Siang Hari Setelah Penyeimbangan Beban	39
Tabel 4. 23 Pengukuran Beban Gardu Pada Malam Hari Setelah Penyeimbangan Beban	40
Tabel 4. 24 Efektivitas Penyeimbangan Beban Gardu	40
Tabel 4. 25 Perhitungan Susut Gardu BGL Setelah Diseimbangkan	41
Tabel 4. 26 Perhitungan Susut Gardu BNRA Setelah Diseimbangkan	42
Tabel 4. 27 Perhitungan Susut Gardu CDPA Setelah Diseimbangkan	42
Tabel 4. 28 Perhitungan Susut Gardu CGR Setelah Diseimbangkan	43
Tabel 4. 29 Perhitungan Susut Gardu CIRA Setelah Diseimbangkan	43
Tabel 4. 30 Perhitungan Susut Gardu CMAG Setelah Diseimbangkan	44
Tabel 4. 31 Perhitungan Susut Gardu GIR Setelah Diseimbangkan	44
Tabel 4. 32 Perhitungan Susut Gardu KWG Setelah Diseimbangkan	45
Tabel 4. 33 Perolehan kWh Sebelum dibandingkan Setelah Penyeimbangan Beban	46

ABSTRAK

Penyeimbangan beban gardu distribusi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk menekan susut teknis yang terjadi pada jaringan distribusi. Selama ini proses penyeimbangan beban gardu distribusi menggunakan metode ukur dan seimbang tanpa mempertimbangkan beban saat puncak atau di luar puncak. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan implementasi penyeimbangan beban pada gardu distribusi guna mengurangi kerugian energi di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara. Penelitian ini akan menganalisis dan mengoreksi ketidakseimbangan beban secara lebih efektif. Metode penyeimbangan beban pada penelitian ini dirancang untuk mempertimbangkan keadaan beban pada saat beban puncak malam hari dan beban luar beban puncak. Berdasarkan penelitian yang dilakukan terdapat keuntungan kWh sebesar 645.79 kWh per bulan dari pelaksanaan penyeimbangan 8 gardu distribusi. Studi ini memberikan kontribusi penting dalam upaya peningkatan kinerja sistem distribusi listrik dan dapat dijadikan acuan untuk implementasi di wilayah lain.

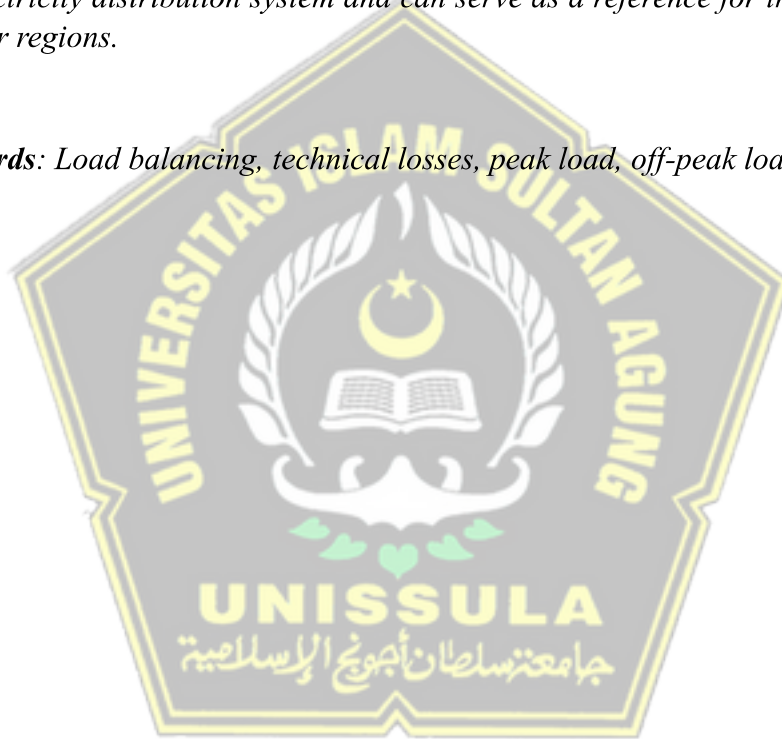
Kata Kunci: Penyeimbangan beban, susut teknis, beban puncak, luar beban puncak, keuntungan kWh



ABSTRACT

Distribution substation load balancing is a crucial activity aimed at reducing technical losses in the distribution network. So far, the load balancing process has relied on measuring and balancing method without considering peak or off-peak loads. This study seeks to optimize load balancing implementation at distribution substations to reduce energy losses at PT PLN (Persero) ULP Sukanagara. This research will analyze and correct load imbalance more effectively.. The research findings indicate a gain of 645.79 kWh per month from balancing eight distribution substations. This study significantly contributes to improving the performance of the electricity distribution system and can serve as a reference for implementation in other regions.

Keywords: Load balancing, technical losses, peak load, off-peak load, kWh gain



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik akan selalu meningkat seiring perkembangan zaman. Penyaluran energi listrik dari pembangkit sampai ke konsumen tidak akan lepas dari adanya *losses*. Susut (*losses*) adalah sejumlah energi yang hilang dalam proses pengaliran energi listrik mulai dari Gardu Induk sampai dengan konsumen. (PT PLN, 2005)

Susut dibedakan menjadi susut teknis dan non teknis berdasarkan sifatnya. Susut teknis terjadi karena hilangnya energi menjadi panas pada saat penyaluran. Sedangkan susut non teknis terjadi akibat masalah yang berkaitan dengan pengukuran.

Pada triwulan I tahun 2024 susut di ULP Sukanagara mencapai 7,71% dengan kontribusi susut teknis sebesar 7,51% dan susut non teknis sebesar 0,2%. Susut teknis tersebut berdasarkan tempat terjadinya terbagi menjadi susut JTM sebesar 3.82%, gardu distribusi 1.09%, JTR 1.07% dan SR 1.53%.

Penyeimbangan gardu distribusi merupakan kegiatan yang rutin dilakukan di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara sebagai upaya untuk menekan susut. Penyeimbangan gardu distribusi dimulai dari pengukuran beban pada PHBTR untuk masing-masing fasa. Pembebanan masing-masing fasa diperhitungkan dan dianalisis, apabila terdapat fasa yang tidak seimbang maka dilakukan pemindahan beban ke fasa yang lain. Dengan melakukan penyeimbangan beban gardu distribusi akan berdampak pada pengurangan arus netral yang mengakibatkan *losses*.

Penyeimbangan beban yang dilakukan selama ini hanya mengacu pada satu kali pengukuran baik itu di siang hari maupun malam hari. Hal itu berakibat keseimbangan beban belum tentu bisa terjaga dalam rentang 24 jam. Pengaruhnya terhadap susut jaringan belum bisa dipastikan. Sebab itulah diperlukan pengukuran lebih dari satu kali untuk penyempurnaan penyeimbangan beban.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam sidang tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pelaksanaan penyeimbangan beban gardu distribusi metode ukur dan diseimbangkan?
- 2) Bagaimana pelaksanaan pengoptimalan penyeimbangan beban gardu distribusi?
- 3) Berapa *losses* kWh yang bisa diselamatkan dari pelaksanaan pengoptimalan penyeimbangan beban?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penyusunan sidang akhir ini telah ditentukan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Penyeimbangan beban dilakukan pada wilayah kerja PT PLN (Persero) ULP Sukanagara sesuai karakteristik bebannya
- 2) Susut yang diperhitungkan yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi

1.4 Tujuan

Tujuan dari sidang tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui *losses* yang terjadi akibat pembebanan gardu distribusi yang tidak seimbang
- 2) Mengoptimalkan kegiatan penyeimbangan beban gardu distribusi untuk menekan lebih banyak *losses* kWh

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai upaya menyelamatkan rupiah pendapatan PLN yang hilang akibat *losses* yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

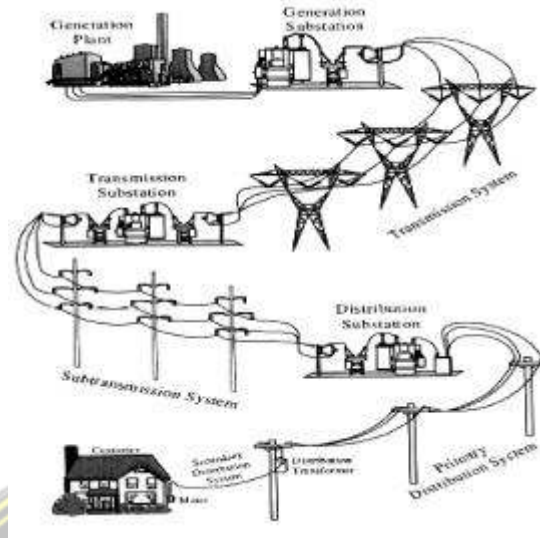
2.1 Tinjauan Pustaka

Penyusunan Tugas Akhir ini atas dasar observasi dan penelitian yang dilakukan di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara. Dalam penyusunan tugas akhir ini telah dilakukan telaah terhadap beberapa karya ilmiah yang ada. Ada beberapa karya ilmiah yang mempunyai keterikatan dan kemiripan perihal tujuan, maksud dan pengaplikasiannya, akan tetapi pelaksanaan penelitian tugas akhir ini tetap mempunyai perbedaan dari referensi karya ilmiah yang telah diterbitkan sebelumnya. Penelitian dan penyusunan tugas akhir ini diambil beberapa referensi jurnal penelitian yang sudah dilakukan sebagai berikut:

1. Suwardana, I Wayan dkk. 2014. “Studi Analisis rugi – rugi daya pada Penghantar Netral Akibat Sistem Tidak Seimbang di Jaringan Distribusi Gardu KA 1495 Penyulang Citraland Menggunakan Simulasi Program ETAP 7.0”. Jurnal logic 14(3): 157-164. Kegiatan penelitian ini tentang Analisis *losses* pada penghantar netral pada Transformator Distribusi dan menghasilkan kesimpulan *losses* daya sebesar 56,9 Watt pada arus netral.
2. Novrofan Dasa Anang, dkk. 2020. “Alternatif Penanganan *Losses* Akibat Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi”, Kegiatan penelitian ini tentang analisis pembebanan pada phasa gardu distribusi sehingga diperoleh data pengukuran yang lebih efisien untuk keperluan penyeimbangan beban. Kesimpulan dari penelitian ini dapat menurunkan *losses* dari 11,23% menjadi 10.17%
3. Nur Iman, dkk. 2024. “Analisis Pengaruh Penyeimbangan Beban Tranformator pada Gardu Distribusi Mg0045 160 Kva terhadap *Losses*” Kegiatan penelitian ini tentang pengukuran dan penyeimbangan beban pada gardu distribusi serta mengukur susut dari arus netral yang terjadi. Kesimpulan dari penelitian ini dapat menurunkan *losses* dari 61,6 Watt menjadi 9,3Watt.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik



Gambar 2. 1 Sistem Pendistribusian Tenaga Listrik(Dr. Lalit Goel, n.d.)

Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi dimulai dari PMT *incoming* di gardu induk sampai dengan alat pengukur dan pembatas (APP) di instalasi konsumen. Sistem distribusi berfungsi untuk mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk sebagai pusat beban ke pelanggan secara langsung atau melalui gardu distribusi dengan mutu yang memadai sesuai standar pelayanan yang berlaku. Sistem distribusi menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini mempunyai komponen peralatan peralatan yang saling berkaitan pengoperasiannya untuk penyaluran energi listrik.(Suwanto, 2009)

Dilihat dari tegangannya sistem distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu:

- Distribusi Primer atau sering disebut Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 11.6 kV/20 kV
- Distribusi Sekunder atau sering disebut Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 220V/380V

2.2.2 Susut Energi

Susut (*losses*) adalah jumlah energi dalam kWh yang hilang atau menyusut terjadi karena sebab-sebab teknik maupun non teknik pada waktu penyediaan dan penyaluran energi.(PT PLN, 2005) Untuk mengetahui persentase susut dapat dihitung dengan formula berikut:

$$\frac{kWh\ Beli - kWh\ Jual}{kWh\ Beli} \times 100 \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana:

kWh Beli = Jumlah energi listrik yang tersedia

kWh jual = Penjualan energi

Susut berdasarkan sifatnya dibedakan menjadi dua jenis:

- a. Susut teknis yaitu hilangnya energi listrik yang dibangkitkan pada saat disalurkan karena berubah terjadi energi panas. Susut teknis ini tidak dapat dihilangkan (fenomena alam).
- b. Susut non teknis yaitu hilang energi listrik yang dikonsumsi pelanggan maupun non pelanggan karena tidak tercatat dalam penjualan.

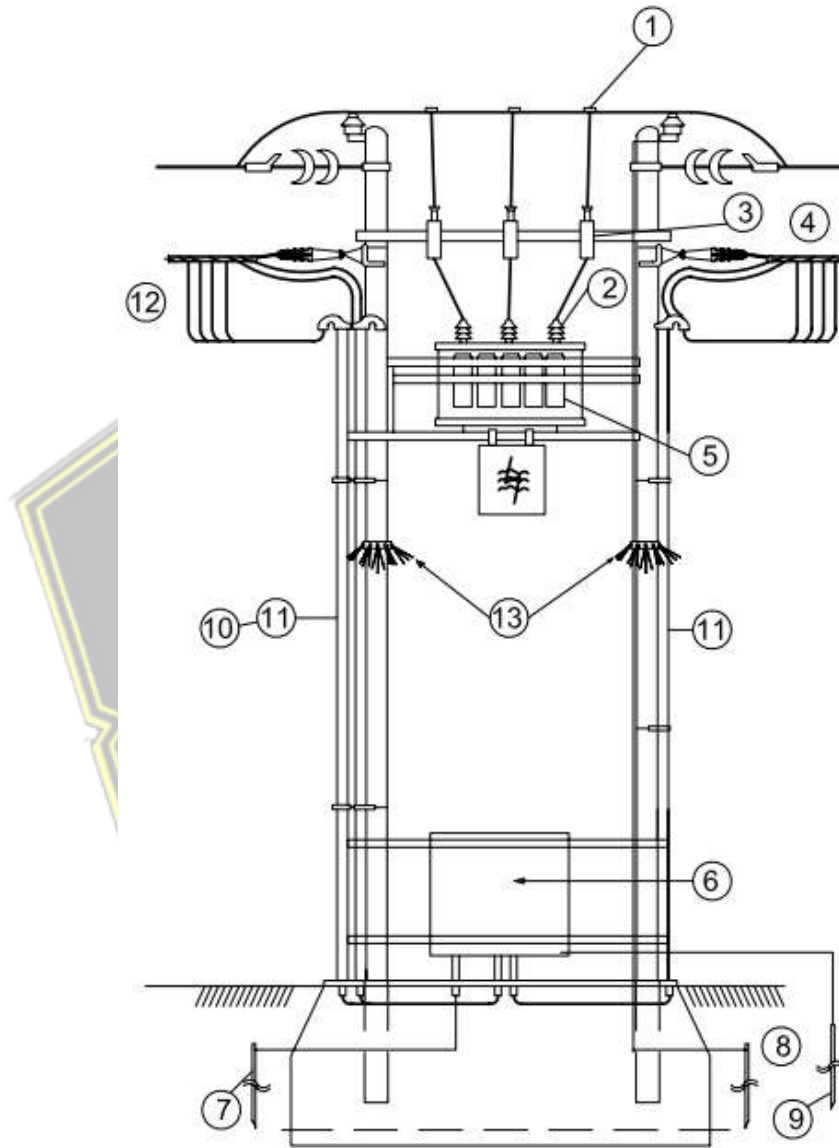
Sedangkan berdasar tempat terjadinya susut dibedakan menjadi:

- a. Susut Transmisi, yaitu hilangnya energi listrik yang dibangkitkan pada saat disalurkan melalui jaringan transmisi ke gardu induk. Meliputi susut pada Jaringan Tegangan Tinggi (JTT) dan pada Gardu Induk (GI).
- b. Susut Distribusi, yaitu hilangnya energi listrik yang didistribusikan dari gardu induk melalui jaringan distribusi ke pelanggan. Meliputi susut pada Jaringan tegangan Menengah (JTM), Gardu Distribusi (GD), Jaringan Tegangan Rendah (JTR), Sambungan Rumah (SR) serta Alat Pengukur dan Pembatas (APP)

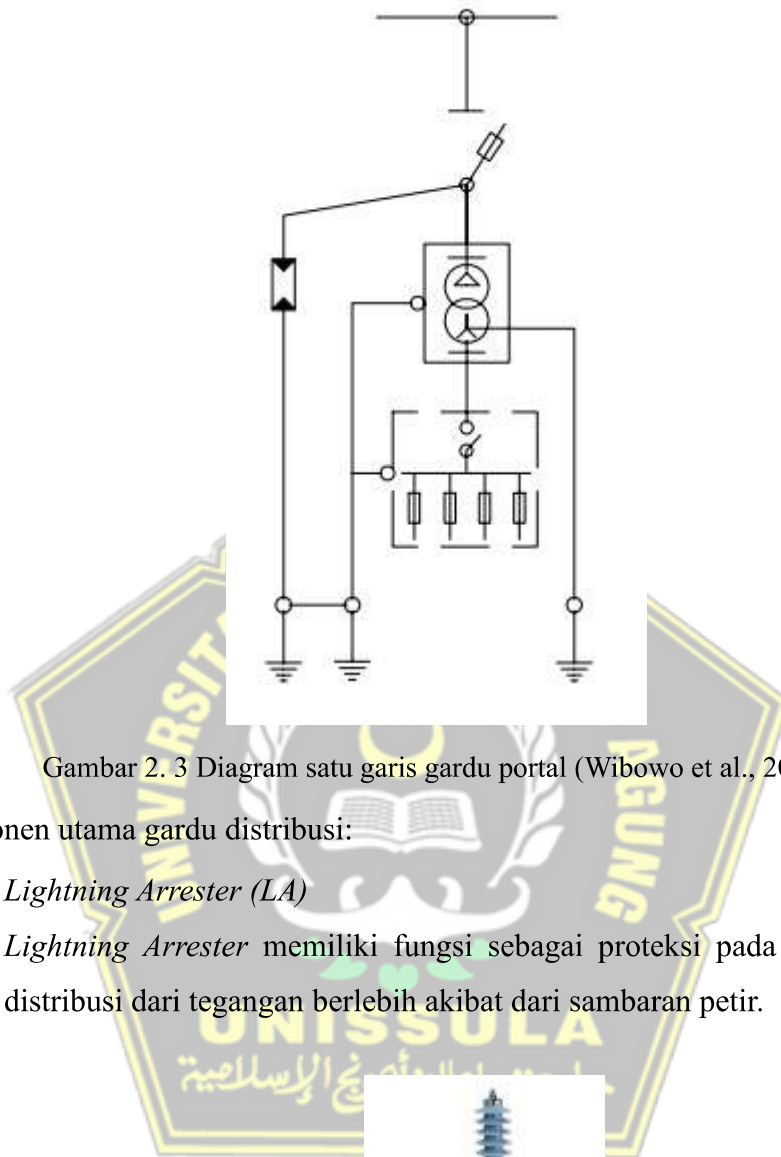
2.2.3 Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi perlengkapan hubung bagi tegangan menengah (PHBTM), transformator distribusi (TD) dan perlengkapan hubung bagi

tegangan rendah (PHBTR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan tegangan menengah (20kV) maupun tegangan rendah 220/380V)(Wibowo et al., 2010)



Gambar 2. 2 Monogram Konstruksi Gardu Portal(Wibowo et al., 2010)



Gambar 2. 3 Diagram satu garis gardu portal (Wibowo et al., 2010)

Komponen utama gardu distribusi:

a. *Lightning Arrester (LA)*

Lightning Arrester memiliki fungsi sebagai proteksi pada transformator distribusi dari tegangan berlebih akibat dari sambaran petir.



Gambar 2. 4 *Lightning Arrester*

b. *Fused Cut Out (FCO)*

FCO memiliki fungsi sebagai proteksi pada transformator distribusi dari arus hubung singkat. Pemasangan *FCO* disesuaikan dengan arus nominal trafo yang terpasang.



Gambar 2. 5 *Fused Cut Out*

c. Transformator Distribusi

Transformator Distribusi merupakan alat yang memiliki peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi berfungsi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator yang paling umum digunakan adalah transformator *step-down* 20kV/180V



Gambar 2. 6 Transformator Distribusi

d. Panel Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHBTR)

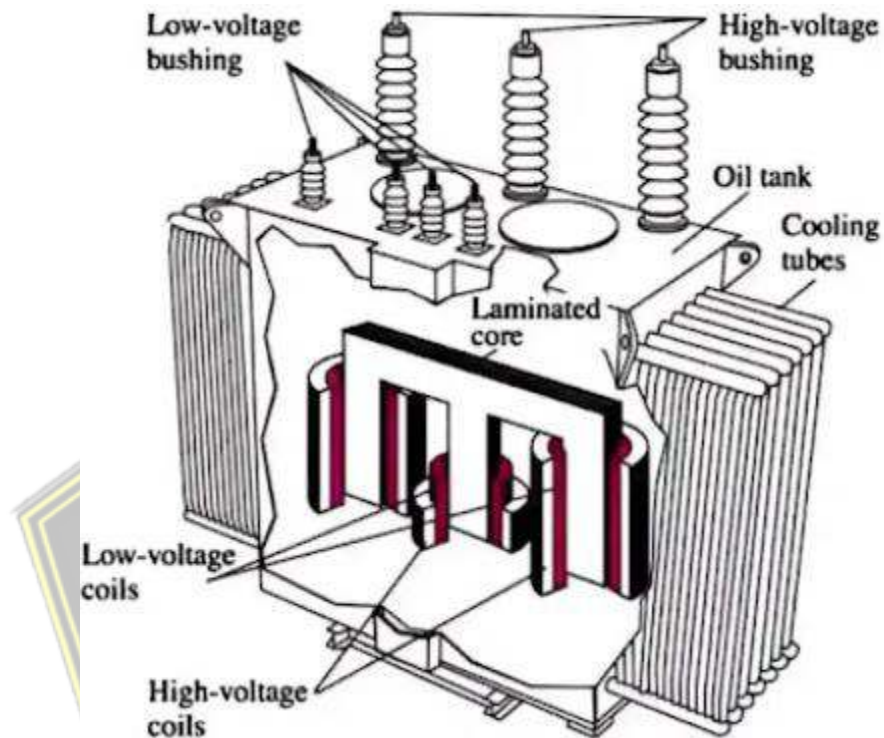
PHBTR merupakan suatu kombinasi dari perlengkapan hubung bagi tegangan rendah dengan peralatan kontrol, peralatan ukur, pengaman dan kendali yang saling berhubungan.



Gambar 2. 7 Peralatan Hubung Bagi Tegangan Rendah

2.2.4 Transformator Distribusi

Trafo Distribusi pada sistem distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 20kV ke 380V. Adapun bagian-bagiannya utamanya adalah:



Gambar 2. 8 Bagian-Bagian Transformator Distribusi(Avm, 2016)

- a. Inti Besi
Berfungsi untuk membangkitkan fluks yang timbul karena arus listrik dalam belitan trafo. Terbuat dari bahan lempengan baja tipis untuk mengurangi panas akibat *eddy current*.
- b. Kumparan Primer dan Kumparan Sekunder
Apabila satu di antara kumparan primer maupun sekunder diberi tegangan maka akan timbul fluks pada kumparan tersebut serta menginduksi kumparan lainnya sehingga pada sisi lain kumparan akan timbul tegangan.
- c. Minyak Trafo

Minyak trafo berfungsi untuk pendingin untuk menghilangkan panas akibat rugi-rugi daya pada trafo.

d. Tangki

Pada umumnya bagian-bagian transformator yang terendam minyak berada dalam tangka. Tangki dilengkapi dengan konservator untuk menampung pemuaian minyak transformator.

e. Bushing

Busing yaitu sebuah konduktor yang diselubungi oleh isolator yang berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangka transformator. Hubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah *bushing*.

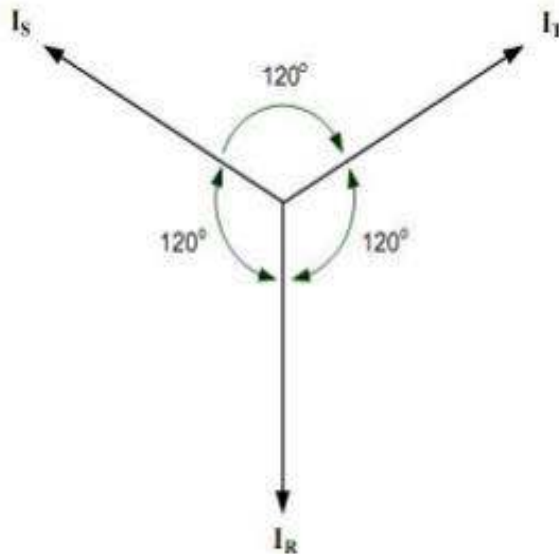
f. *Tap changer* trafo

Tap changer adalah alat perubah pembanding transformasi yang bertujuan untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang sesuai kebutuhan dari tegangan primer yang berubah ubah.

2.2.5 Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi

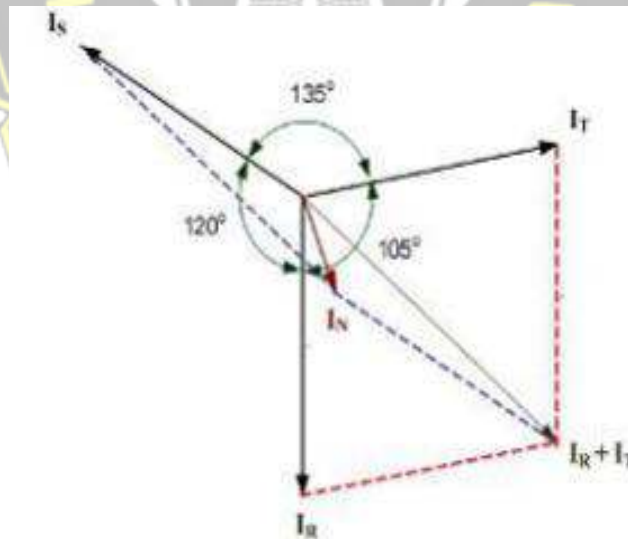
Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana Ketiga vektor arus / tegangan sama besar. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain



Gambar 2. 9 Vektor Beban Seimbang (Dasa Novfowan et al., 2020)

Gambar 2.10 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N)



Gambar 2. 10 Vektor Beban Tidak Seimbang (Dasa Novfowan et al., 2020)

Sedangkan pada Gambar 2.11 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ke tidak seimbangannya.

Munculnya arus netral dapat disebabkan karena ketidakseimbangan beban dan juga karena adanya arus harmonisa sebagai akibat banyaknya penggunaan beban nonlinier.

2.2.6 Perhitungan Arus Beban Pada Transformator

Daya kerja pada transformator menandakan kapasitas transformator tersebut, karena sudah diketahui rating tegangan pada sisi primer dan sekunder, maka dapat dirumuskan sebagai berikut (Kadir,1989):

$$S = \sqrt{3} \times V_{LL} \times I \dots \dots \dots (2.2)$$

Dengan:

S = Daya pada transformator (kVA)

V_{LL} = Tegangan line to line sisi sekunder (V)

I = Arus jala – jala pada transformator (A)

Menghitung arus beban penuh (I_{FL}) dan arus rata-rata (I_{avg}) dapat menggunakan rumus sebagai berikut(Kadir,1989):

$$I_{FL} = S / (\sqrt{3} \times V_{LL}) \dots \dots \dots (2.3)$$

$$I_{avg} = (I_R + I_S + I_T) / 3 \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

I_{avg} = Arus rata-rata (A)

I_R = Arus phasa R

I_S = Arus phasa S

I_T = Arus phasa T

Sedangkan untuk mencari presentase pembebanan pada transformator distribusi dapat digunakan rumus(Kadir,1989):

$$\% \text{ Pembebanan} = I_{avg} / I_{FL} \times 100\% \dots \dots \dots (2.5)$$

2.2.7 Perhitungan Ketidakseimbangan Transformator

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran day aini arus arus phasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \times V_{LN} \times I \times \cos\theta \dots \dots \dots (2.6)$$

Dengan:

$$P = \text{Daya}$$

$$V_{LN} = \text{Tegangan Line to Netral}$$

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

Jika I adalah besaran arus phasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang besarnya arus – arus phasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b, dan c sebagai berikut (Zuhal,1988):

$$I_R = a \times I_{avg} \text{ maka } a = I_R / (I_{avg}) \dots \dots \dots (2.7)$$

$$I_S = b \times I_{avg} \text{ maka } b = I_S / (I_{avg}) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$I_T = c \times I_{avg} \text{ maka } b = I_T / (I_{avg}) \dots \dots \dots (2.9)$$

Dengan I_R , I_S , dan I_T berturut turut adalah arus phasa R, S dan T. Faktor daya ($\cos\theta$) ketiga phasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = (a + b + c) \times V_{LN} \times I \times \cos\theta \dots \dots \dots (2.10)$$

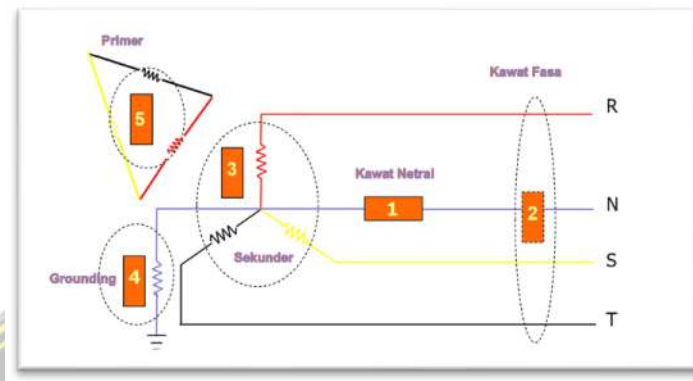
Apabila persamaan 2.10 dan persamaan 2.6 menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan tersebut dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b dan c yaitu:

$$a + b + c = 3 \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai $a = b = c = 1$. Dengan demikian, untuk menentukan presentase ketidakseimbangan beban rata rata dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (|a-1|+|b-1|+|c-1|)/3 \times 100\% \dots\dots\dots(2.12)$$

2.2.8 Lokasi *Losses*



Gambar 2. 11 Lokasi Susut pada Gardu Distribusi

Losses atau rugi-rugi terjadi apabila terdapat aliran arus dari tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo dengan netral trafo. Hal ini disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa tersebut. Apabila hal ini tidak segera ditangani, maka bisa berakibat kerugian secara finansial maupun secara produksi listrik itu sendiri

Besarnya rugi-rugi atau *losses* dianalogikan sebagai besarnya daya yang hilang akibat dari berbagai hal, salah satunya karena ketidakseimbangan beban. Persamaan 2 menunjukkan rumus untuk mencari besarnya rugi-rugi daya yang hilang pada penghantar netral trafo (Gambar 2.11 *point* 1).

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots\dots\dots(2.13)$$

dengan:

P_N : Rugi-rugi daya atau *losses* pada penghantar netral (Watt)

I_N : Arus pada penghantar netral (A)

R_N : Tahanan pada penghantar netral (Ω)

Losses yang lain yang terjadi adalah adanya aliran arus pada kawat phasa. Persamaan 3 digunakan untuk menghitung besarnya rugi-rugi daya pada kawat phasa (Gambar 2.11 point 2).

$$P_{ph} = I_{ph}^2 \times R_{ph} \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan:

P_{ph} : Rugi-rugi daya atau *losses* terhadap phasa (Watt)

I_g : Arus netral yang mengalir ke phasa (A)

R_g : Tahanan pada kawat phasa (Ω)

Oleh karena adanya *losses* inilah beban pada trafo distribusi perlu diseimbangkan. Penyeimbangan diperlukan dengan data yang efektif dan tidak hanya berpatok pada satu kali pengukuran.



BAB III

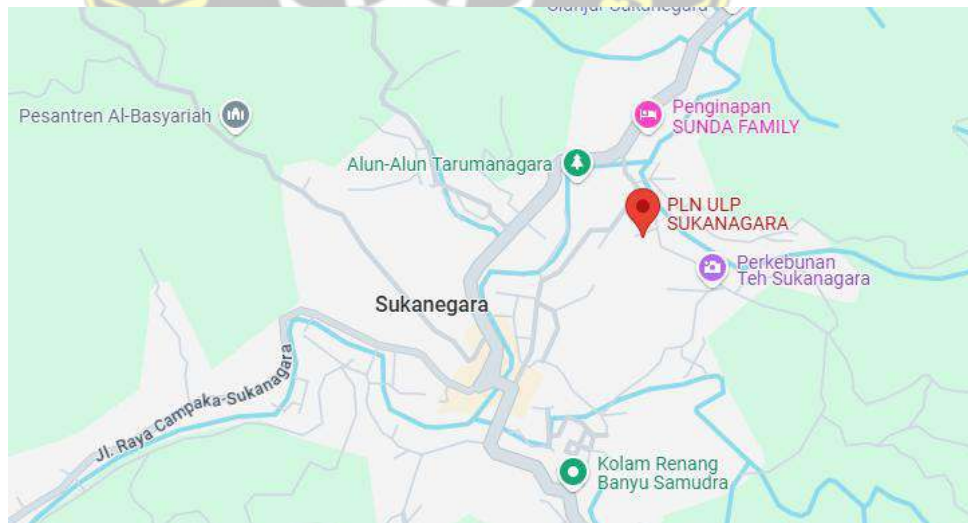
METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Desain penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Metode penelitian eksperimen adalah pendekatan sistematis yang digunakan dalam ilmu pengetahuan untuk menguji hubungan sebab-akibat antara variabel-variabel tertentu. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk menentukan apakah perubahan dalam variabel independen menyebabkan perubahan dalam variabel dependen, serta untuk mengukur seberapa besar pengaruhnya.

3.2 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada jaringan distribusi milik PT PLN (Persero) ULP Sukanagara, yang beralamat pada Desa Sukanagara Kecamatan Sukanagara Kabupaten Cianjur Jawa Barat. Penelitian dilakukan mulai dari 1 Juli 2024 sampai dengan 31 Desember 2024.

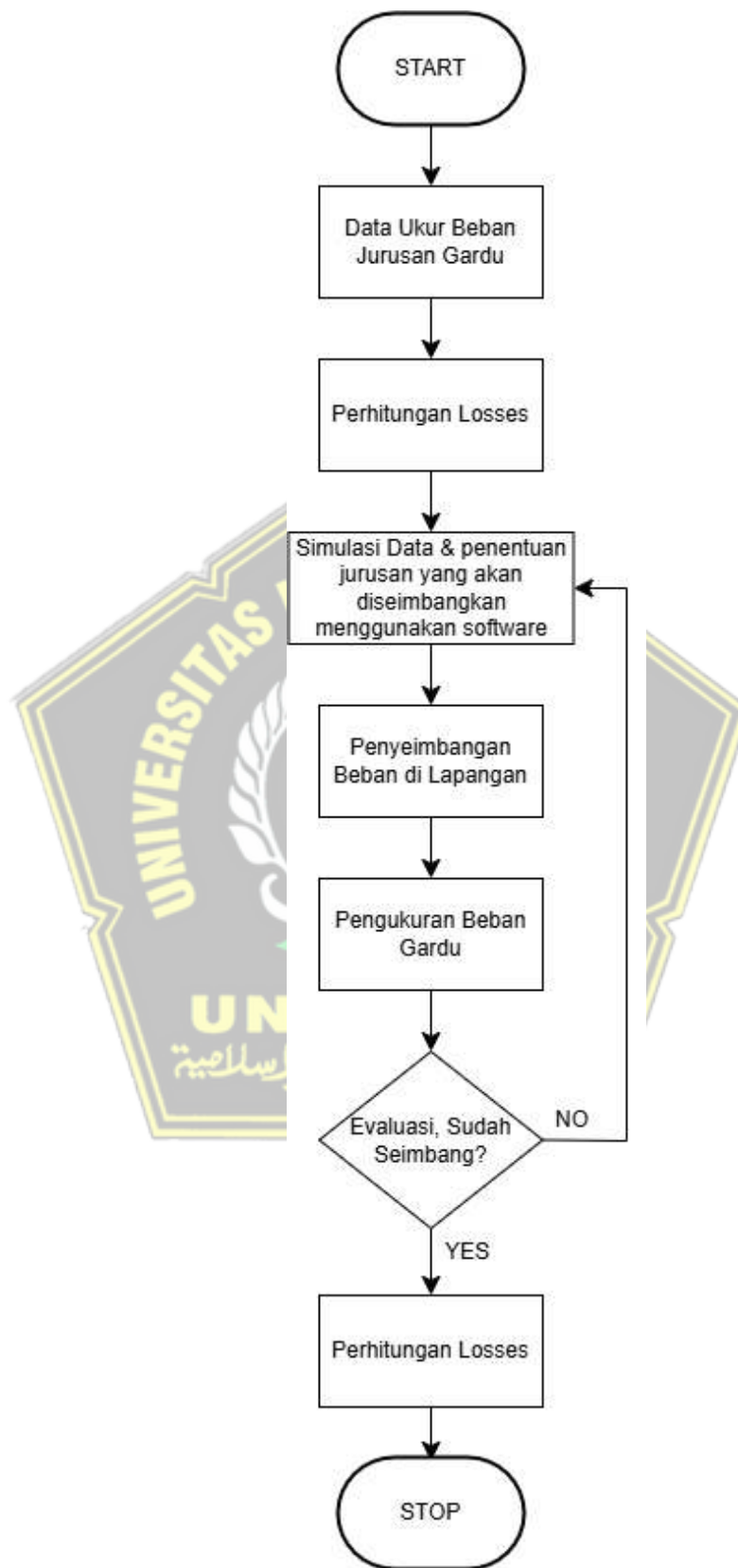


Gambar 3. 1 PLN ULP Sukanagara

3.3 Diagram Alir Penelitian

Dalam menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir ini, tentu harus mengikuti langkah-langkah yang terstruktur dan sistematis agar penelitian ini dapat dikerjakan secara efektif dan efisien. Sistematis pelaksanaan dari tahap persiapan dijelaskan dalam bagan alir yang dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Data yang dibutuhkan:
 - a) Data trafo gardu distribusi
 - b) Data ukur beban untuk masing-masing jurusan
 - c) Data pelanggan
- 2) Analisa Awal
 - a) Analisa arus per fasa dan ketidakseimbangan
 - b) Perhitungan *losses*
- 3) Mekanisme Penyeimbangan
 - a) Simulasi data dan penentuan jurusan yang akan diseimbangkan menggunakan *software*
 - b) Pelaksanaan penyeimbangan di lapangan
 - c) Pengukuran beban akhir
- 4) Hasil Penyeimbangan
 - a) Evaluasi dari pengukuran beban akhir
 - b) Perhitungan *losses* ketidakseimbangan beban
 - c) Perbandingan data *losses* antara sebelum dengan sesudah penyeimbangan untuk evaluasi



Gambar 3. 2 *Flowchart* Penelitian

3.4 Pengumpulan Data

Berikut merupakan sampel data gardu yang tidak seimbang di ULP Sukanagara pada bulan Oktober 2024:

Tabel 3. 1 Sampel gardu tidak seimbang di PT PLN (Persero) ULP Sukanagara

NO	NAMA GARDU	JURUSAN	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN
1	BGL	1	42,04%
2	BNRA	3	41,19%
3	CDPA	1	27,56%
4	CGR	3	32,79%
5	CIRA	1	2,33%
6	CMAG	1	40,09%
7	GIR	3	35,70%
8	KWG	1	40,09%

Dari tabel di atas terdapat sampel gardu yang perlu diseimbangkan pembebanannya. Beban yang tidak seimbang menimbulkan arus netral dan menyebabkan kerugian *losses* di PLN

3.5 Jadwal Kegiatan

Tabel 3. 2 *Timeline* Penelitian

ID	Task Mode	Task Name	Duration	Start	Finish	3rd Quarter Jul	Aug	Sep	4th Quarter Oct	Nov	Dec
1	✈	Observasi Gardu	66 days	Tue 7/2/24	Tue 10/1/24						
2	✈	Pengumpulan Data	66 days	Mon 7/1/24	Mon 9/30/24						
3	✈	Analisis Data	10 days	Wed 10/2/24	Tue 10/15/24						
4	✈	Menyusun Target Operasi Gardu	10 days	Tue 10/15/24	Mon 10/28/24						
5	✈	Action	30 days	Tue 10/15/24	Mon 11/25/24						
6	✈	Penulisan Hasil Analisis Data dan Perbaikan Kinerja	30 days	Sat 11/2/24	Thu 12/12/24						

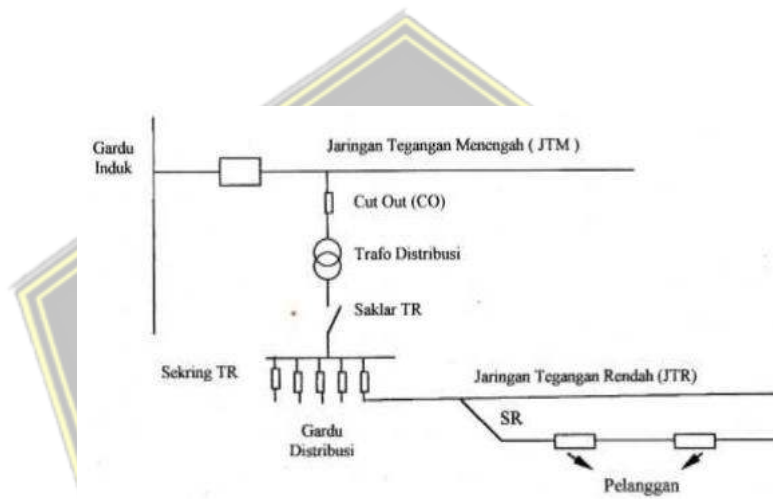
Observasi dilakukan mulai pada bulan Juli. Setelah dilakukan pengumpulan data akan disusun target operasi penyeimbangan gardu. Implementasi di lapangan akan dilaksanakan selama satu bulan untuk kemudian ditulis hasil penelitiannya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Jaringan

Gardu distribusi pada PT PLN (Persero) ULP Sukanagara pada umumnya terdapat 4 jurusan. Pekerjaan penyeimbangan beban yang dilakukan tertuju pada target operasi berdasarkan jurusan. Jurusan yang tidak seimbang akan diseimbangkan dan dievaluasi,



Gambar 4. 1 *Single Line Diagram* Jaringan Tegangan Menengah ke pelanggan

Tabel 4. 1 Kapasitas Trafo Gardu Distribusi yang akan diseimbangkan

Nama Gardu	Kapasitas (kVA)
BGL	50
BNRA	100
CDPA	50
CGR	100
CIRA	100
CMAG	50
GIR	100
KWG	100

Tabel 4. 2 Data Jaringan Jurusan Gardu Distribusi di ULP Sukanagara

JURUSAN	PENGHANTAR		
	JENIS	PENAMPANG (mm ²)	KHA (A)
1	LVTC	70	196
2	LVTC	70	196
3	LVTC	70	196
4	LVTC	70	196
DATA PENGHANTAR			
Resistansi Fasa		0.443	Ω /km (pada suhu 20°C)
Resistansi Netral		0.581	Ω /km (pada suhu 20°C)
Resistansi Grounding		1.6	Ω
Panjang Penghantar		500	m

Tabel 4. 3 Karakteristik Penghantar Alumunium (PT PLN,2010)

Penghantar		kHA	Resistansi Penghantar pada 20°C(Ω /km)		Reaktansi pada f 50Hz (Ω /km)
Jenis	Ukuran		Phasa	Netral	
Kabel Twisted	3x35+1x50mm ²	125	0,867	0,581	0,379
	3x50+1x50mm ²	154	0,641	0,581	0,3678
	3x70+1x50mm ²	196	0,443	0,581	0,3572
	3x95+1x50mm ²	242	0,308	0,581	0,3449

Pembuktian:

Hambatan jenis Alumunium = $2.82 \times 10^{-8} \Omega m$ (Cutnell, John & Johnson, Kenneth, 1995)

Luas penampang kabel phasa = $70 \text{ mm}^2 = 70 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Luas penampang kabel netral = $50 \text{ mm}^2 = 50 \times 10^{-6} \text{ m}^2$

Mengacu pada rumus $R = \rho \times L/A$

Dengan: R = Resistensi penghantar (Ω)

L = Panjang kawat (m)

A = Luas penampang penghantar (m²)

Maka R kawat phasa/km $R_{ph} = 2.82 \times 10^{-8} \times 1000 / 70 \times 10^{-6}$

$$R_{ph} = 0.4028 \, \Omega/\text{km}$$

R kawat netral/km $R_N = 2.82 \times 10^{-8} \times 1000 / 50 \times 10^{-6}$

$$R_N = 0.564 \, \Omega/\text{km}$$

4.2 Pengukuran Beban Gardu Sebelum Penyeimbangan Beban

Pengukuran Beban pada Jurusan di gardu distribusi dilakukan dua kali yaitu pada siang hari dan pada malam hari.

Perhitungan ketidakseimbangan pada gardu BGL acuan data pengukuran pada siang hari sebagai berikut:

Diketahui arus per-fasa pada siang hari:

Fasa R = 14.7 A

Fasa S = 13.1 A

Fasa T = 20.7 A

Besarnya koefisien a, b dan c pada siang hari, perhitungan ini menggunakan persamaan 2.7, persamaan 2.8 dan persamaan 2.9:

$$a = I_R / (I_{avg}) = 14.7 / ((14.7 + 13.1 + 20.7) / 3) = 0.72$$

$$b = I_S / (I_{avg}) = 13.1 / ((14.7 + 13.1 + 20.7) / 3) = 1.63$$

$$c = I_T / (I_{avg}) = 20.7 / ((14.7 + 13.1 + 20.7) / 3) = 0.64$$

Setelah didapatkan koefisien a, b dan c maka besarnya

ketidakseimbangan dapat diketahui dari persamaan 2.12:

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (|a-1| + |b-1| + |c-1|) / 3 \times 100\%$$

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (|0.72-1| + |1.63-1| + |0.64-1|) / 3 \times 100\%$$

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (0.28 + 0.63 + 0.36) / 3 \times 100\%$$

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = 42.3\%$$

Tabel 4. 4 Pengukuran Beban Gardu Pada Siang Hari Sebelum Penyeimbangan Beban

NO	NAMA GARDU	JURUSAN	ARUS R	ARUS S	ARUS T	ARUS N	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN
1	BGL	1	14.7 A	33.1 A	13.1 A	20.7 A	42,04%
2	BNRA	3	15.1 A	5.9 A	7 A	10.5 A	41,19%
3	CDPA	1	29.9 A	20.5 A	44.9 A	21.6 A	27,56%
4	CGR	3	10.6 A	27.3 A	17 A	21.8 A	32,79%
5	CIRA	1	35.5 A	33.2 A	34.5 A	11.8 A	2,33%
6	CMAG	1	24.1 A	7.8 A	26.8 A	13.6 A	40,09%
7	GIR	3	10.5 A	15.7 A	4.8 A	7.5 A	35,70%
8	KWG	1	15.2 A	24.1 A	45 A	21.7 A	40,09%

Perhitungan ketidakseimbangan pada gardu BGL acuan data pengukuran pada malam hari sebagai berikut:

Diketahui arus per-fasa pada malam hari:

Fasa R = 16 A

Fasa S = 30 A

Fasa T = 15 A

Besarnya koefisien a, b dan c pada siang hari, perhitungan ini menggunakan persamaan 2.7, persamaan 2.8 dan persamaan 2.9:

$$a = I_R / (I_{avg}) = 16 / ((16+30+15)/3) = 0.78$$

$$b = I_S / (I_{avg}) = 30 / ((16+30+15)/3) = 1.47$$

$$c = I_T / (I_{avg}) = 15 / ((16+30+15)/3) = 0.73$$

Setelah didapatkan koefisien a, b dan c maka besarnya ketidakseimbangan dapat diketahui dari persamaan 2.12:

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (|a-1| + |b-1| + |c-1|) / 3 \times 100\%$$

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (|0.78-1| + |1.47-1| + |0.73-1|) / 3 \times 100\%$$

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = (0.22+0.47+0.27) / 3 \times 100\%$$

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = 32\%$$

Tabel 4. 5 Pengukuran Beban Gardu Pada Malam Hari Sebelum Penyeimbangan Beban

NO	NAMA GARDU	JURUSAN	ARUS R	ARUS S	ARUS T	ARUS N	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN
1	BGL	1	16 A	30 A	15 A	17 A	31,69%
2	BNRA	3	21 A	3 A	25 A	9 A	54,42%
3	CDPA	1	33 A	19 A	35 A	18 A	22,99%
4	CGR	3	10 A	33 A	20 A	30 A	38,10%
5	CIRA	1	26 A	31 A	44 A	20 A	20,46%
6	CMAG	1	50 A	11 A	35 A	19 A	43,75%
7	GIR	3	15 A	22 A	8 A	17 A	31,11%
8	KWG	1	19 A	48 A	57 A	39 A	36,02%

4.3 Perhitungan *Losses* Gardu Sebelum Penyeimbangan Beban

Perhitungan *losses* pada gardu BGL acuan data pengukuran pada siang hari sebagai berikut:

Diketahui:

R kawat Phasa = 0.4028 Ω /km

R kawat Netral = 0.564 Ω /km

Panjang jaringan = 500 m

I_R LWBP = 14.7 A

I_S LWBP = 33.1 A

I_T LWBP = 13.1 A

I_N LWBP = 20.7 A

Maka:

$$\text{Susut Phasa R} = I_R^2 R_{\text{phasa}} = (14.7)^2 \times 0.4028 \times 500/1000 = 0.0435 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Phasa S} = I_S^2 R_{\text{phasa}} = (33.1)^2 \times 0.4028 \times 500/1000 = 0.2207 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Phasa T} = I_T^2 R_{\text{phasa}} = (13.1)^2 \times 0.4028 \times 500/1000 = 0.0346 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Phasa N} = I_N^2 R_{\text{netral}} = (20.7)^2 \times 0.564 \times 500/1000 = 0.12083 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Siang Hari} = \text{Susut phasa R} + \text{S} + \text{T} + \text{N}$$

$$\text{Susut Siang Hari} = 0.0435 + 0.2207 + 0.0345 + 0.12083 = 0.41957 \text{ kWh}$$

$$\text{Total Susut pada Siang Hari} = \text{Susut Siang Hari} \times 12 \text{ Jam Nyala}$$

$$\text{Total Susut pada Siang Hari} = 0.41957 \times 12 = 5.05 \text{ kWh}$$

Perhitungan *losses* pada gardu BGL acuan data pengukuran pada malam hari sebagai berikut:

Diketahui:

$$R \text{ kawat Phasa} = 0.4028 \ \Omega / \text{km}$$

$$R \text{ kawat Netral} = 0.564 \ \Omega / \text{km}$$

$$\text{Panjang jaringan} = 500 \text{ m}$$

$$I_R \text{ WBP} = 16 \text{ A}$$

$$I_S \text{ WBP} = 30 \text{ A}$$

$$I_T \text{ WBP} = 15 \text{ A}$$

$$I_N \text{ WBP} = 17 \text{ A}$$

Maka:

$$\text{Susut Phasa R} = I_R^2 R_{\text{phasa}} = (16)^2 \times 0.4028 \times 500/1000 = 0.05156 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Phasa S} = I_S^2 R_{\text{phasa}} = (30)^2 \times 0.4028 \times 500/1000 = 0.18126 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Phasa T} = I_T^2 R_{\text{phasa}} = (15)^2 \times 0.4028 \times 500/1000 = 0.0453 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Phasa N} = I_N^2 R_{\text{netral}} = (17)^2 \times 0.564 \times 500/1000 = 0.0814 \text{ kWh}$$

$$\text{Susut Malam Hari} = \text{Susut phasa R} + \text{S} + \text{T} + \text{N}$$

$$\text{Susut Malam Hari} = 0.05156 + 0.18126 + 0.0453 + 0.0814 = 0.3596 \text{ kWh}$$

$$\text{Total Susut pada Malam Hari} = \text{Susut Malam Hari} \times 12 \text{ Jam Nyala}$$

$$\text{Total Susut pada Malam Hari} = 0.3596 \times 12 = 4.316 \text{ kWh}$$

Tabel 4. 6 Perhitungan Susut Gardu BGL Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			BGL		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	14,7	0,4028	0,0435205
		S	33,1	0,4028	0,2206559
		T	13,1	0,4028	0,0345623
		N	20,7	0,564	0,1208342
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	16	0,4028	0,0515584
		S	30	0,4028	0,18126
		T	15	0,4028	0,045315
		N	17	0,564	0,081498
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					5,0348738
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					4,3155768
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					9,3504506
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					280,51352

Tabel 4. 7 Perhitungan Susut Gardu BNRA Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			BNRA		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
3	SIANG	R	15,1	0,4028	0,0459212
		S	5,9	0,4028	0,0070107
		T	7	0,4028	0,0098686
		N	10,5	0,564	0,0310905
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	21	0,4028	0,0888174
		S	3	0,4028	0,0018126
		T	25	0,4028	0,125875
		N	9	0,564	0,022842
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					1,1266926

Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari	2,872164
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari	3,9988566
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari	119,9657

Tabel 4. 8 Perhitungan Susut Gardu CDPA Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			CDPA		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	29,9	0,4028	0,1800536
		S	20,5	0,4028	0,0846384
		T	44,9	0,4028	0,4060244
		N	21,6	0,564	0,1315699
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	33	0,4028	0,2193246
		S	19	0,4028	0,0727054
		T	35	0,4028	0,246715
		N	18	0,564	0,091368
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					9,6274356
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					7,561356
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					17,188792
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					515,66375

Tabel 4. 9 Perhitungan Susut Gardu CGR Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			CGR		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
3	SIANG	R	10,63	0,4028	0,0227576
		S	27,26	0,4028	0,1496619
		T	17	0,4028	0,0582046
		N	21,82	0,564	0,1342637
		Susut Siang Hari			0,3648877
	MALAM	R	10	0,4028	0,02014

		S	33	0,4028	0,2193246
		T	20	0,4028	0,08056
		N	30	0,564	0,2538
		Susut Malam Hari			0,5738246
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					4,3786529
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					6,8858952
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					11,264548
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					337,93644

Tabel 4. 10 Perhitungan Susut Gardu CIRA Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			CIRA		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	35,5	0,4028	0,2538144
		S	33,2	0,4028	0,2219911
		T	34,5	0,4028	0,2397164
		N	11,8	0,564	0,0392657
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	26	0,4028	0,1361464
		S	31	0,4028	0,1935454
		T	44	0,4028	0,3899104
		N	20	0,564	0,1128
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					9,0574502
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					9,9888264
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					19,046277
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					571,3883

Tabel 4. 11 Perhitungan Susut Gardu CMAG Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			CMAG		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)

1	SIANG	R	24,1	0,4028	0,1169751
		S	7,8	0,4028	0,0122532
		T	26,8	0,4028	0,1446535
		N	13,6	0,564	0,0521587
		Susut Siang Hari			0,3260406
	MALAM	R	50	0,4028	0,5035
		S	11	0,4028	0,0243694
		T	35	0,4028	0,246715
		N	19	0,564	0,101802
		Susut Malam Hari			0,8763864
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari				3,9124868	
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari				10,516637	
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari				14,429124	
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari				432,87371	

Tabel 4. 12 Perhitungan Susut Gardu GIR Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			GIR		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
3	SIANG	R	10,5	0,443	0,0244204
		S	15,7	0,443	0,0545975
		T	4,8	0,443	0,0051034
		N	7,5	0,564	0,0158625
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	15	0,443	0,0498375
		S	22	0,443	0,107206
		T	8	0,443	0,014176
		N	17	0,564	0,081498
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					1,1998052
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					3,03261
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					4,2324152
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					126,97246

Tabel 4. 13 Perhitungan Susut Gardu KWG Sebelum Diseimbangkan

NAMA GARDU			KWG		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	15,2	0,443	0,0511754
		S	24,1	0,443	0,1286494
		T	45	0,443	0,4485375
		N	21,7	0,564	0,132791
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	19	0,443	0,0799615
		S	48	0,443	0,510336
		T	57	0,443	0,7196535
		N	39	0,564	0,428922
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					9,1338391
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					20,866476
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					30,000315
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					900,00945

4.4 Penentuan Phasa yang akan diseimbangkan per Gardu

Contoh Perhitungan Penentuan phasa yang akan diseimbangkan pada gardu CMAG sebagai berikut:

Diketahui:

$$I_R \text{ WBP} = 50 \text{ A}$$

$$I_R \text{ LWBP} = 24.1 \text{ A}$$

$$I_S \text{ WBP} = 11 \text{ A}$$

$$I_S \text{ LWBP} = 7.8 \text{ A}$$

$$I_T \text{ WBP} = 35 \text{ A}$$

$$I_T \text{ LWBP} = 26.8 \text{ A}$$

$$I \text{ Rata - rata WBP} = (50+11+35)/3 = 32 \text{ A}$$

$$I \text{ Rata - rata LWBP} = (24.1+7.8+26.8)/3 = 19.6 \text{ A}$$

Maka:

Ratio = I Rata-rata WBP/ I Rata-rata LWBP

Ratio memiliki nilai minimal 1.42 dan maksimal 1.88

Ratio = $32/19.6 = 1.63$

Eksekusi Phasa R = $(I \text{ Rata-rata WBP} - I_R \text{ WBP})/R$

Eksekusi Phasa R = $(32-50)/1.63 = -11.03 \text{ A}$

Eksekusi Phasa S = $(I \text{ Rata-rata WBP} - I_S \text{ WBP})/R$

Eksekusi Phasa S = $(32-11)/1.63 = 12.86 \text{ A}$

Eksekusi Phasa T = $(I \text{ Rata-rata WBP} - I_T \text{ WBP})/R$

Eksekusi Phasa T = $(32-35)/1.63 = -1.84 \text{ A}$

I Prediksi WBP Phasa R = Eksekusi Phasa R x Ratio + $I_R \text{ WBP}$

I Prediksi WBP Phasa R = $(-11.03 \times 1.63) + 50 = 32 \text{ A}$

I Prediksi WBP Phasa S = Eksekusi Phasa S x Ratio + $I_S \text{ WBP}$

I Prediksi WBP Phasa S = $(12.86 \times 1.63) + 11 = 32 \text{ A}$

I Prediksi WBP Phasa T = Eksekusi Phasa T x Ratio + $I_T \text{ WBP}$

I Prediksi WBP Phasa T = $(-1.84 \times 1.63) + 35 = 32 \text{ A}$

I Prediksi LWBP Phasa R = Eksekusi Phasa R + $I_R \text{ LWBP}$

I Prediksi LWBP Phasa R = $-11.03 + 24.1 = 13.08 \text{ A}$

I Prediksi LWBP Phasa S = Eksekusi Phasa S + $I_S \text{ LWBP}$

I Prediksi LWBP Phasa S = $12.86 + 7.8 = 20.66 \text{ A}$

I Prediksi LWBP Phasa T = Eksekusi Phasa T + $I_T \text{ LWBP}$

I Prediksi LWBP Phasa T = $-1.84 + 26.8 = 24.96 \text{ A}$

Tabel 4. 14 Rencana Penyeimbangan Gardu BGL

Nama Gardu		BGL	
Rata - rata WBP	20,30		
Rata - rata LWBP	20,30		
Ratio	1,42		
	R	S	T
I WBP	16,00	30,00	15,00
I LWBP	14,70	33,10	13,10
Eksekusi	3,03	-6,83	3,73
I Prediksi WBP	20,30	20,30	20,30

I Prediksi LWBP	17,73	26,27	16,83
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP (1.42<R<188)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 15 Rencana Penyeimbangan Gardu BNRA

Nama Gardu	BNRA		
Rata - rata WBP	16,30		
Rata - rata LWBP	9,40		
Ratio	1,73		
	R	S	T
I WBP	21,00	3,00	25,00
I LWBP	15,13	5,92	7,00
Eksekusi	-2,71	7,67	-5,02
I Prediksi WBP	16,30	16,30	16,30
I Prediksi LWBP	12,42	13,59	1,98
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP (1.42<R<188)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 16 Rencana Penyeimbangan Gardu CDPA

Nama Gardu	CDPA		
Rata - rata WBP	29,00		
Rata - rata LWBP	31,80		
Ratio	1,42		
	R	S	T
I WBP	33,00	19,00	35,00

I LWBP	29,90	20,5	44,90
Eksekusi	-2,82	7,04	-4,23
I Prediksi WBP	29,00	29,00	29,00
I Prediksi LWBP	27,08	27,54	40,67
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP ($1.42 < R < 188$)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 17 Rencana Penyeimbangan Gardu CGR

Nama Gardu		CGR	
Rata - rata WBP		21,00	
Rata - rata LWBP		18,30	
Ratio		1,42	
	R	S	T
I WBP	10,00	33,00	20,00
I LWBP	10,60	27,3	17,00
Eksekusi	7,75	-8,45	0,70
I Prediksi WBP	21,00	21,00	21,00
I Prediksi LWBP	18,35	18,85	17,70
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP ($1.42 < R < 188$)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 18 Rencana Penyeimbangan Gardu CIRA

Nama Gardu		CIRA
Rata - rata WBP		33,70
Rata - rata LWBP		34,40

Ratio	1,42		
	R	S	T
I WBP	26,00	31,00	44,00
I LWBP	35,50	33,2	34,50
Eksekusi	5,42	1,90	-7,25
I Prediksi WBP	33,70	33,70	33,70
I Prediksi LWBP	40,92	35,10	27,25
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP (1.42<R<188)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 19 Rencana Penyeimbangan Gardu CMAG

Nama Gardu	CMAG		
Rata - rata WBP	32,00		
Rata - rata LWBP	19,60		
Ratio	1,63		
	R	S	T
I WBP	50,00	11,00	35,00
I LWBP	24,10	7,8	26,80
Eksekusi	-11,03	12,86	-1,84
I Prediksi WBP	32,00	32,00	32,00
I Prediksi LWBP	13,08	20,66	24,96
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP (1.42<R<188)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 20 Rencana Penyeimbangan Gardu GIR

Nama Gardu		GIR	
Rata - rata WBP	15,00		
Rata - rata LWBP	10,40		
Ratio	1,44		
	R	S	T
I WBP	15,00	22,00	8,00
I LWBP	10,50	15,7	4,80
Eksekusi	0,00	-4,85	4,85
I Prediksi WBP	15,00	15,00	15,00
I Prediksi LWBP	10,50	10,85	9,65
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP (1.42<R<188)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		
I Prediksi LWBP =	I LWBP + Eksekusi		

Tabel 4. 21 Rencana Penyeimbangan Gardu KWG

Nama Gardu		KWG	
Rata - rata WBP	41,30		
Rata - rata LWBP	28,10		
Ratio	1,47		
	R	S	T
I WBP	19,00	48,00	57,00
I LWBP	15,20	24,1	45,00
Eksekusi	15,17	-4,56	-10,68
I Prediksi WBP	41,30	41,30	41,30
I Prediksi LWBP	30,37	19,54	34,32
Ratio =	Rata - rata WBP/ Rata - rata LWBP (1.42<R<188)		
Eksekusi =	(Rata - rata WBP - I WBP)/Ratio		
I Prediksi WBP =	(Eksekusi X Ratio) + I WBP		

I Prediksi
LWBP =

I LWBP + Eksekusi

4.5 Pelaksanaan Penyeimbangan Beban dan Pengukuran Setelah Diseimbangkan



Gambar 4. 1 Penyeimbangan Gardu BGL Gambar 4. 2 Pengukuran gardu BGL



Gambar 4. 3 Penyeimbangan Gardu BNRA Gambar 4. 4 Pengukuran Gardu BNRA



Gambar 4. 5 Penyeimbangan Gardu CDPA Gambar 4. 6 Pengukuran Gardu CDPA



Gambar 4. 7 Penyeimbangan Gardu CGR Gambar 4. 8 Pengukuran Gardu CGR



Gambar 4. 9 Penyeimbangan Gardu CIRA Gambar 4. 10 Pengukuran Gardu CIRA



Gambar 4.11 Penyeimbangan Gardu CMAG Gambar 4.12 Pengukuran Gardu CMAG



Gambar 4. 13 Penyeimbangan Gardu GIR Gambar 4. 14 Pengukuran Gardu GIR



Gambar 4. 15 Penyeimbangan Gardu KWG Gambar 4. 16 Pengukuran Gardu KWG

4.6 Pengukuran Beban Gardu Setelah Penyeimbangan Beban

Tabel 4. 22 Pengukuran Beban Gardu Pada Siang Hari Setelah Penyeimbangan Beban

NO	NAMA GARDU	JURUSAN	ARUS R	ARUS S	ARUS T	ARUS N	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN
1	BGL	1	20,4 A	21,7 A	20,4 A	18,9 A	2,8%
2	BNRA	3	10,2 A	9,8 A	9,8 A	5,7 A	1,8%
3	CDPA	1	31,3 A	30,5 A	32,8 A	13,4 A	2,7%

4	CGR	3	15,6 A	15,1 A	14 A	18,4 A	4,0%
5	CIRA	1	34,5 A	34,2 A	34,5 A	10,9 A	0,4%
6	CMAG	1	20,6 A	18,1 A	19 A	9,5 A	4,7%
7	GIR	3	9,5 A	10,6 A	9,2 A	6,5 A	5,7%
8	KWG	1	28,3 A	28,2 A	28,6 A	19 A	0,5%

Tabel 4. 23 Pengukuran Beban Gardu Pada Malam Hari Setelah Penyeimbangan Beban

NO	NAMA GARDU	JURUSAN	ARUS R	ARUS S	ARUS T	ARUS N	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN
1	BGL	1	18,28 A	24,45 A	17,97 A	14,72 A	13,9%
2	BNRA	3	23,55 A	16,25 A	19,57 A	11,56 A	12,7%
3	CDPA	1	33,79 A	28,22 A	30,2 A	14,2 A	6,6%
4	CGR	3	17 A	21,1 A	20,2 A	16,7 A	8,3%
5	CIRA	1	25,4 A	19,2 A	43,4 A	22,3 A	32,0%
6	CMAG	1	31,3 A	30,2 A	32,4 A	12,3 A	2,3%
7	GIR	3	13,4 A	15,6 A	18,4 A	13,2 A	11,0%
8	KWG	1	16,5 A	42,5 A	45,5 A	35,7 A	35,1%

4.7 Efektivitas Penyeimbangan Beban Gardu

Tabel 4. 24 Efektivitas Penyeimbangan Beban Gardu

PENGUKURAN	NAMA GARDU	JURUSAN	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN SEBELUM	PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN SESUDAH	EVALUASI EFEKTIFITAS
SIANG	BGL	1	42,04%	2,8%	EFEKTIF
	BNRA	3	41,19%	1,8%	EFEKTIF

MALAM	CDPA	1	27,56%	2,7%	EFEKTIF
	CGR	3	32,79%	4,0%	EFEKTIF
	CIRA	1	2,33%	0,4%	EFEKTIF
	CMAG	1	40,09%	4,7%	EFEKTIF
	GIR	3	35,70%	5,7%	EFEKTIF
	KWG	1	40,09%	0,5%	EFEKTIF
	BGL	1	31,69%	13,9%	EFEKTIF
	BNRA	3	54,42%	12,7%	EFEKTIF
	CDPA	1	22,99%	6,6%	EFEKTIF
	CGR	3	38,10%	8,3%	EFEKTIF
	CIRA	1	20,46%	32,0%	TIDAK EFEKTIF
	CMAG	1	43,75%	2,3%	EFEKTIF
	GIR	3	31,11%	11,0%	EFEKTIF
	KWG	1	36,02%	35,1%	TIDAK EFEKTIF

4.8 Perhitungan *Losses* Gardu Setelah Penyeimbangan Beban

Tabel 4. 25 Perhitungan Susut Gardu BGL Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			BGL			
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)	
1	SIANG	R	20,4	0,4028	0,0838146	
		S	21,7	0,4028	0,0948372	
		T	20,4	0,4028	0,0838146	
		N	18,9	0,564	0,1007332	
		Susut Siang Hari				0,3631997
	MALAM	R	18,28	0,4028	0,0672995	
		S	24,45	0,4028	0,1203974	
		T	17,97	0,4028	0,0650363	
		N	14,72	0,564	0,0611033	
		Susut Malam Hari				0,3138365
	Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					4,3583966
	Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					3,766038
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					8,1244346	
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					243,73304	

Tabel 4. 26 Perhitungan Susut Gardu BNRA Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			BNRA		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
3	SIANG	R	10,2	0,4028	0,0209537
		S	9,8	0,4028	0,0193425
		T	9,8	0,4028	0,0193425
		N	5,7	0,564	0,0091622
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	23,55	0,4028	0,1116969
		S	16,25	0,4028	0,0531822
		T	19,57	0,4028	0,0771332
		N	11,56	0,564	0,0376847
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					0,825609
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					3,3563636
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					4,1819726
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					125,45918

Tabel 4. 27 Perhitungan Susut Gardu CDPA Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			CDPA		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	31,3	0,4028	0,1973096
		S	30,5	0,4028	0,1873524
		T	32,8	0,4028	0,2166742
		N	13,4	0,564	0,0506359
		Susut Siang Hari			0,651972
	MALAM	R	33,79	0,4028	0,2299513
		S	28,22	0,4028	0,1603886
		T	30,2	0,4028	0,1836849
		N	14,2	0,564	0,0568625
		Susut Malam Hari			0,6308872

Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari	7,8236641
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari	7,5706467
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari	15,394311
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari	461,82932

Tabel 4. 28 Perhitungan Susut Gardu CGR Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			CGR		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
3	SIANG	R	15,6	0,4028	0,0490127
		S	15,1	0,4028	0,0459212
		T	14	0,4028	0,0394744
		N	18,4	0,564	0,0954739
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	17	0,4028	0,0582046
		S	21,1	0,4028	0,0896653
		T	20,2	0,4028	0,0821793
		N	16,7	0,564	0,078647
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					2,7585869
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					3,7043536
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					6,4629404
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					193,88821

Tabel 4. 29 Perhitungan Susut Gardu CIRA Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			CIRA		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	34,5	0,4028	0,2397164
		S	34,2	0,4028	0,2355655
		T	34,5	0,4028	0,2397164
		N	10,9	0,564	0,0335044
		Susut Siang Hari			0,7485026

	MALAM	R	25,4	0,4028	0,1299352
		S	19,2	0,4028	0,0742441
		T	43,4	0,4028	0,379349
		N	22,3	0,564	0,1402358
		Susut Malam Hari			0,7237641
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					8,9820314
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					8,685169
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					17,6672
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					530,01601

Tabel 4. 30 Perhitungan Susut Gardu CMAG Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			CMAG		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)
1	SIANG	R	20,6	0,4028	0,0854661
		S	18,1	0,4028	0,0659807
		T	19	0,4028	0,0727054
		N	9,5	0,564	0,0254505
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	31,3	0,4028	0,1973096
		S	30,2	0,4028	0,1836849
		T	32,4	0,4028	0,2114217
		N	12,3	0,564	0,0426638
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					2,9952319
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					7,6209584
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					10,61619
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					318,48571

Tabel 4. 31 Perhitungan Susut Gardu GIR Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			GIR		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I ² R (kWh)

3	SIANG	R	9,5	0,443	0,0199904
		S	10,6	0,443	0,0248877
		T	9,2	0,443	0,0187478
		N	6,5	0,564	0,0119145
		Susut Siang Hari			0,0755404
	MALAM	R	13,4	0,443	0,0397725
		S	15,6	0,443	0,0539042
		T	18,4	0,443	0,074991
		N	13,2	0,564	0,0491357
		Susut Malam Hari			0,2178035
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					0,9064845
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					2,613642
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					3,5201265
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					105,6038

Tabel 4. 32 Perhitungan Susut Gardu KWG Setelah Diseimbangkan

NAMA GARDU			KWG		
Jurusan	Pengukuran	PHASA	I (A)	R (Ω /km)	I²R (kWh)
1	SIANG	R	28,3	0,443	0,1773971
		S	28,2	0,443	0,1761457
		T	28,6	0,443	0,1811781
		N	19	0,564	0,101802
		Susut Siang Hari			
	MALAM	R	16,5	0,443	0,0603034
		S	42,5	0,443	0,4000844
		T	45,5	0,443	0,4585604
		N	35,7	0,564	0,3594062
		Susut Malam Hari			
Total Susut Siang Hari = 12 Jam Nyala x Susut Siang Hari					7,6382752
Total Susut Malam Hari = 12 Jam Nyala x Susut Malam Hari					15,340252
Total Susut Satu Hari = Susut siang + malam hari					22,978527
Total Susut Satu Bulan = Total susut satu hari x 30 hari					689,35581

4.9 Perolehan kWh Sebelum dibandingkan Setelah Penyeimbangan Beban

Tabel 4. 33 Perolehan kWh Sebelum dibandingkan Setelah Penyeimbangan Beban

Gardu	Total Susut Satu Hari Sebelum (kWh)	Total Susut Satu Hari Sesudah (kWh)	Gain Susut Satu Hari (kWh)	Presentase Gain	Gain Susut Satu Bulan (kWh)
	a	b	a-b	(a-b)/a	(a-b)x30
BGL	9,42	8,18	1,24	13%	37,22
BNRA	4,00	4,18	- 0,18	-5%	- 5,49
CDPA	17,19	15,39	1,79	10%	53,83
CGR	11,26	6,46	4,80	43%	144,05
CIRA	19,05	17,67	1,38	7%	41,37
CMAG	14,43	10,62	3,81	26%	114,39
GIR	4,23	3,52	0,71	17%	21,37
KWG	30,00	22,98	7,02	23%	210,65

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Metode optimalisasi penyeimbangan beban dalam penelitian ini memperhitungkan beban LWBP (luar waktu beban puncak) dan WBP (waktu beban puncak) sehingga lebih efektif dibandingkan metode ukur dan langsung seimbangkan. Penyeimbangan beban dengan metode ini lebih efektif untuk meningkatkan *saving* kWh susut khususnya pada gardu distribusi.
2. Penyeimbangan beban gardu distribusi dalam proyek penelitian ini terdapat 7 gardu yang berhasil mendapatkan keuntungan kWh.
3. Terdapat keuntungan kWh sebesar 617.39 kWh per bulan dari pelaksanaan optimalisasi penyeimbangan beban pada penelitian ini.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, ada beberapa saran untuk penyempurnaan *project* penyeimbangan beban gardu distribusi:

1. Pengukuran beban gardu menggunakan *power logger* selama 24 jam untuk memantau karakteristik beban.
2. Penggunaan alat *monitoring* beban secara *realtime* untuk acuan penambahan beban gardu.

DAFTAR PUSTAKA

- Avm. (2016). *Construction of Power Transformer*. Wwww.Researchgate.Net.
- Dasa Novfowan, A., Mieftah, M., Kusuma Jurusan Teknik Elektro, W., & Negeri Malang, P. (2020). ALTERNATIF PENANGANAN LOSSES AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRAFO DISTRIBUSI. *Jurnal Teknik: Ilmu Dan Aplikasi*.
- Dr. Lalit Goel, N. T. U. (n.d.). *Power System Reliability - Concept & Techniques*.
- PT PLN. (2005). *Kepdir PT PLN (Persero) No,217-1.K/DIR/2005 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Neraca Energi (kWh)*.
- Suwanto, D. (2009). *SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK*. Padang.
- Wibowo, R., Siswanto, W., Samosir, P., Nugroho, H., Bactiar Azis, A., Subagio, A., Sumanto, P., Hutapea, T., Prasetyono, H., Made Latera, I., Pamuso, N., Riyadi, S., Kurnia, T., Pitoyo, J., Suwena, N., Sinabela, E., Prasetyo, A., Bagus Darmayuda, K., & Prasetyo, A. (2010). *STANDAR KONSTRUKSI GARDU DISTRIBUSIDAN GARDU HUBUNG TENAGA LISTRIK*.
- Kadir, Abdul. 1989. *Transformator*, Penerbit: PT. Alex Media Komputindo. Jakarta.
- Zuhal, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta: PT Gramedia, 1988
- PT PLN. (2010). *Kriteria Desain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*