

ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA  
JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER DI PT. PLN (PERSERO)  
ULP WATANG SAWITTO



SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Listrik  
Jurusan Teknik Elektro  
Politeknik Negeri Ujung Pandang

IRAWATI BURSA  
421 20 082

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK LISTRIK  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
MAKASSAR  
2021

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul **Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto** oleh Irawati Bursa NIM 421 20 082 dinyatakan layak untuk diujikan.

Makassar, Agustus 2021

Pembimbing I,



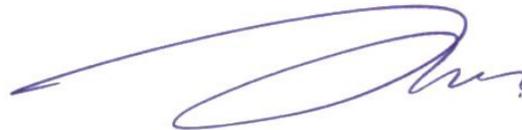
Ruslan L, S.T., M.T.  
NIP 19640918 199003 1 002

Pembimbing II,



Nirwan A. Noor, S.T., M.T.  
NIP 19691212 200212 1 007

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi D4 Teknik Listrik



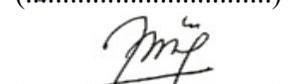
Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T.  
NIP 19860404 201504 1 001

## HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, Jum'at tanggal 03 September 2021, Tim Penguji Seminar Sidang Skripsi telah menerima dengan baik hasil seminar sidang skripsi oleh mahasiswa: Irawati Bursa NIM 421 20 082 dengan judul **Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto.**

Makassar, September 2021

Tim Seminar Sidang Skripsi:

1. Sofyan, S.T., M.T (Ketua) 
2. Hamdani, S.T., M.T (Sekretaris) 
3. Naely Muchtar, S.Pd., M.Pd. (Anggota) 
4. Alamsyah Achmad, S.Pd., M.T (Anggota) 
5. Ruslan L, S.T., M.T (Pembimbing I) 
6. Nirwan A. Noor, S.T., M.T. (Pembimbing II) 

# ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER DI PT. PLN (PERSERO) ULP WATANG SAWITTO

## RINGKASAN

Irawati Bursa. 2021. “Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto”, Skripsi, Program Studi D4 Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Pembimbing: Ruslan L, S.T., M.T dan Nirwan A. Noor, S.T., M.T.

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat Indonesia. Apabila energi listrik tidak tersedia, maka kehidupan di masyarakat dan sistem industri akan terganggu. Pentingnya energi listrik bagi kehidupan di masyarakat dan industri menuntut PT. PLN (Persero) selaku penyedia energi listrik harus menyediakan energi listrik yang stabil.

Penelitian ini dilakukan untuk menghitung rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0. Penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0. Sehubungan dengan itu, penelitian ini dilakukan dengan cara mengumpulkan data terkait data pembebanan transformator, data penghantar, dan data tegangan pangkal dan penerima, kemudian data dianalisis sehingga didapatkan perbandingan antara besar rugi-rugi daya dalam keadaan beban tidak seimbang dan keadaan beban seimbang.

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang berdasarkan hasil perhitungan manual pada penghantar netral sebesar 7,3 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa sebesar 22,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 20,3%. Sedangkan rugi-rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 23,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 16,37%. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban seimbang berdasarkan hasil perhitungan manual pada penghantar netral sebesar 0 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa 20,9 kW. Sedangkan rugi-rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 22,3 kW dengan jatuh tegangan sebesar 13,69%.

**Kata Kunci:** ketidakseimbangan beban, rugi-rugi daya, jatuh tegangan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skripsi ini yang berjudul “Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai dari bulan Januari 2021 sampai Juli 2021 bertempat di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Ir. Muhammad Anshar, M.Si.,Ph.D. selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
2. Ahmad Rizal Sultan,S.T., M.T.,Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Ahmad Rosyid Idris, S.T., M.T. selaku Koordinator Program Studi D4 Teknik Listrik.
4. Bapak Ruslan L, S.T., M.T sebagai Pembimbing I dan Bapak Nirwan A. Noor, S.T., M.T sebagai Pembimbing II yang telah mencurahkan waktu dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Pihak instansi PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto.
6. Dosen dan tenaga kependidikan Teknik Elektro.

Ucapan terima kasih dan penghargaan kepada keluarga dan rekan-rekan

mahasiswa D4 Alih Jenjang Program Studi Teknik Listrik atas supportnya dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih kurang sempurna, sehingga penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk perbaikan di masa mendatang. Semoga tulisan ini bermanfaat.



Makassar, Agustus 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENERIMAAN.....	iii
RINGKASAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
SURAT PERNYATAAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Ruang Lingkup.....	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	4
2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	6
2.3 Gardu Distribusi.....	6
2.4 Perlengkapan Hubung Bagi (PHB) Tegangan Rendah.....	9
2.5 Transformator Distribusi.....	11

2.6	Jaringan Tegangan Rendah .....	12
2.7	Ketidakseimbangan Beban .....	14
2.8	Rugi-Rugi Daya pada Sistem Distribusi .....	17
2.9	Jatuh Tegangan.....	18
2.10	Penyaluran Daya pada Keadaan Arus Seimbang dan Arus Tidak Seimbang .....	19
2.11	Software ETAP 12.6.0 .....	21
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>22</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	22
3.2	Prosedur Penelitian .....	22
3.3	Teknik Pengumpulan Data.....	24
3.4	Teknik Analisis Data.....	24
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>25</b>
4.1	Data Transformator GOT. AJ.....	28
4.2	Hasil Pengukuran Beban GOT. AJ Sebelum Diseimbangkan .....	29
4.3	Perhitungan Ketidakseimbangan Beban .....	32
4.4	Perhitungan Rugi-Rugi Daya dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang .....	33
4.5	Perhitungan Jatuh Tegangan dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang .....	37
4.6	Penyeimbangan Beban.....	38
4.7	Perhitungan Rugi-Rugi Daya dalam Keadaan Beban Seimbang.....	41
4.8	Menghitung Rugi-Rugi Daya pada ETAP 12.6.0 .....	44

4.9 Pembahasan .....	47
BAB V PENUTUP.....	49
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	49
DAFTAR PUSTAKA.....	50
DAFTAR LAMPIRAN .....	51

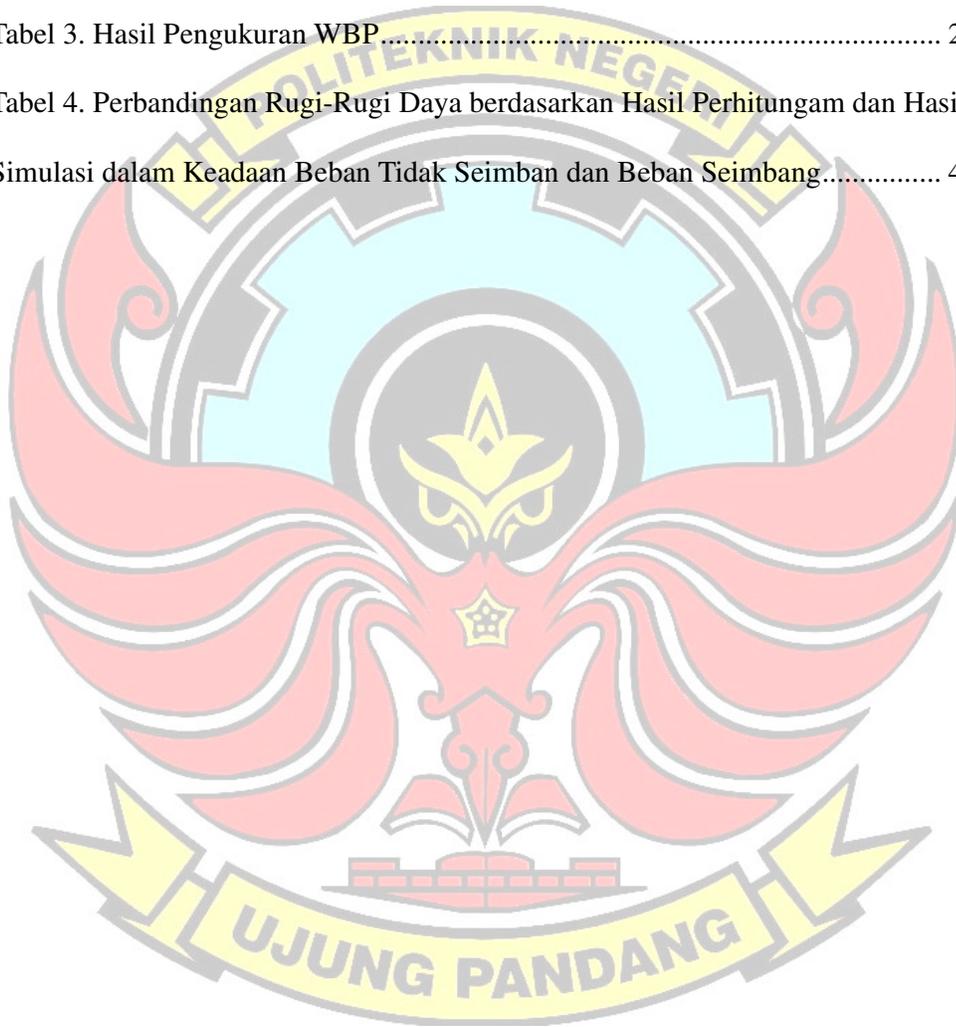


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Rangkaian Sistem Tenaga Listrik.....	4
Gambar 2. Gardu Portal .....	7
Gambar 3. Gardu Cantol .....	8
Gambar 4. Gardu Beton .....	8
Gambar 5. Gardu Kios .....	9
Gambar 6. PHB TR.....	10
Gambar 7. Transformator Distribusi .....	12
Gambar 8. <i>All Aluminium Alloy Conductor (AAAC)</i> .....	13
Gambar 9. <i>Low Voltage Twisted Cable (LVTC)</i> .....	13
Gambar 10. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Seimbang .....	14
Gambar 11. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Tidak Seimbang .....	15
Gambar 12. <i>Flow Chart</i> Kegiatan.....	23
Gambar 13. <i>Single Line Diagram Feeder</i> Kartini.....	27
Gambar 14. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Tidak Seimbang.....	32
Gambar 15. Pembagian 5 zone untuk Menghitung Rugi-Rugi Daya pada Penghantar Fasa .....	34
Gambar 16. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Seimbang .....	41
Gambar 17. <i>Single Line Diagram</i> dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang .....	45
Gambar 18. Data Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang.....	46
Gambar 19. <i>Single Line Diagram</i> dalam Keadaan Beban Seimbang .....	47
Gambar 20. Data Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Seimbang.....	47

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Karakteristik Penghantar Aluminium JTR .....	17
Tabel 2. Spesifikasi Transformator Distribusi GOT. AJ.....	28
Tabel 3. Hasil Pengukuran WBP.....	29
Tabel 4. Perbandingan Rugi-Rugi Daya berdasarkan Hasil Perhitungam dan Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang dan Beban Seimbang.....	49



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran Transformator <i>Feeder</i> Kartini .....	52
Lampiran 2. <i>Nameplate</i> Transformator Distribusi pada Gardu GOT. AJ .....	53
Lampiran 3. Gardu Distribusi GOT. AJ .....	54
Lampiran 4. Pengukuran GOT. AJ dan Pengukuran Tegangan Ujung.....	55



## SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Irawati Bursa

NIM : 421 20 082

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini yang berjudul **Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto** merupakan gagasan dan hasil karya saya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apapun pada perguruan tinggi dan instansi manapun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jila pernyataan saya diatas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang telah ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Agustus 2021



Irawati Bursa  
421 20 082

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama bagi masyarakat Indonesia. Apabila energi listrik tidak tersedia, maka kehidupan di masyarakat dan sistem industri akan terganggu. Pentingnya energi listrik bagi kehidupan di masyarakat dan industri menuntut PT. PLN (Persero) selaku penyedia energi listrik harus menyediakan energi listrik yang stabil.

Sistem distribusi adalah bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik ke konsumen. Ketidakseimbangan beban selalu terjadi dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik. Penyambungan beban yang dilakukan di saluran distribusi kurang memperhatikan pola penyebaran beban antar ketiga fasa dan tidak memperhitungkan besar beban di masing-masing fasa. Keadaan yang demikian akan menyebabkan ketidakseimbangan beban. Sehingga, rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi akan meningkat.

Menurut IEEE, standar ketidakseimbangan beban 3 fasa adalah maksimal 20%. Berdasarkan data pengukuran trafo semester kedua tahun 2020 pada *Feeder* kartini di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto, terdapat 11 gardu yang ketidakseimbangan bebannya melebihi 20%. Salah satunya terdapat pada gardu GOT. AJ di Jl. Matahari *Feeder* Kartini yang persentase ketidakseimbangan bebannya sebesar 21,3%. Sehingga rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder GOT. AJ akan meningkat.

Untuk menganalisis terjadinya rugi-rugi daya dan jatuh tegangan sedini mungkin, maka dibutuhkan suatu perangkat lunak (*software*) ETAP. Pada skripsi ini, penulis menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk mengetahui seberapa besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang dan beban seimbang. Untuk menguji kebenaran hasil simulasi ETAP 12.6.0, penulis juga melakukan perhitungan secara teori.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis mengangkat judul tentang “Analisis Rugi-Rugi Daya akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto”.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka muncul rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0?
2. Berapa besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0?

### **1.3 Ruang Lingkup**

Agar permasalahan yang dibahas tidak meluas, ruang lingkup permasalahan pada skripsi ini yaitu analisa rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang dan beban seimbang.

### **1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian**

#### **A. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Untuk menghitung rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0.
2. Untuk menghitung rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0.

#### **B. Manfaat Penelitian**

Hasil dari skripsi ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam:

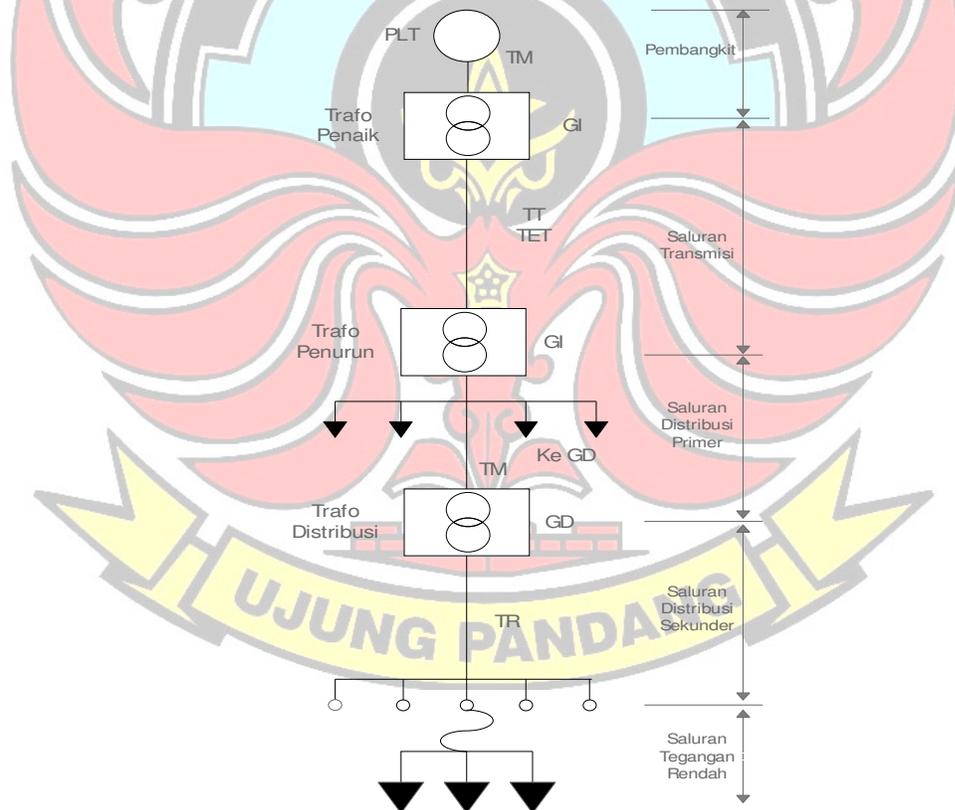
1. Mengetahui besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0.
2. Mengetahui besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban seimbang menggunakan perhitungan secara teori dan simulasi ETAP 12.6.0.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Menurut Kurnia (2017), sistem tenaga listrik merupakan suatu sistem yang terdiri dari tiga bagian utama berupa pembangkit, transmisi, dan distribusi yang saling berhubungan dan bekerja sama untuk melayani kebutuhan tenaga listrik konsumen. Rangkaian sistem tenaga listrik ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Sistem Tenaga Listrik  
(Sumber: Kurnia, 2017)

Bagian utama pada sistem tenaga listrik pada umumnya, yaitu:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pusat pembangkit listrik merupakan tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak awal (*prime mover*) dan generator yang membangkitkan listrik dengan mengubah tenaga turbin menjadi energi listrik. Biasanya di pusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Pada gardu induk, tegangan generator dinaikkan dari (11,5 kV) menjadi tegangan transmisi atau tegangan tinggi (150 kV) menggunakan transformator. Secara umum, jenis pusat pembangkit dibagi kedalam dua bagian besar yaitu pembangkit hidro yaitu PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air) dan pembangkit thermal diantaranya yaitu PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir), dan PLTGU (Pusat Listrik Tenaga Gas Uap).

2. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari pusat pembangkitan listrik hingga saluran distribusi listrik sehingga nantinya dapat tersalurkan pada pengguna listrik.

3. Distribusi Tenaga Listrik

Distribusi tenaga listrik adalah tahap akhir dalam pengiriman tenaga listrik. Tahap ini merupakan proses penyaluran listrik dari sistem transmisi listrik menuju ke konsumen listrik.

## **2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik**

Menurut Suhadi (2008), sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik ke konsumen. Sistem distribusi dapat dikelompokkan ke dalam dua tingkat, yaitu:

1. Sistem jaringan distribusi primer atau jaringan tegangan menengah (JTM) merupakan jaringan yang menghubungkan gardu induk dengan gardu distribusi dengan tegangan operasi 6 kV, 7 kV, 12 kV, 20 kV dan biasanya menggunakan sistem tiga fasa.
2. Sistem jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah (JTR) merupakan jaringan yang dimulai dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pelanggan dengan tegangan operasi 380/220 Volt.

## **2.3 Gardu Distribusi**

Gardu distribusi tenaga listrik adalah suatu bangunan gardu listrik yang berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), transformator distribusi, dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik tegangan menengah maupun tegangan rendah (PLN Buku 4: 2010). Adapun jenis-jenis gardu distribusi, yaitu:

## 1. Gardu Portal

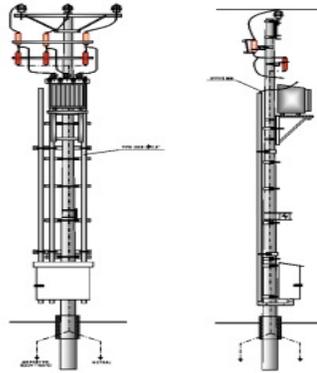
Gardu portal adalah gardu transformator secara keseluruhan yang instalasinya dipasang pada dua buah tiang atau lebih. Pengaman gardu portal adalah *Fuse Cut Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegahan naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir (PLN Buku 4: 2010). Bentuk fisik gardu portal ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Gardu Portal  
(Sumber: Suhadi, 2008)

## 2. Gardu Cantol

Pada gardu distribusi tipe ini, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya kurang lebih 100 kVA fasa 3 atau fasa 1, lebih kecil dibandingkan dengan dengan gardu lainnya. Namun kelebihanannya transformator sudah dilengkapi peralatan *switching* dan proteksi jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yang terpasang dalam tangki transformator (PLN Buku 4: 2015). Bentuk fisik gardu cantol ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Gardu Cantol  
(Sumber: Lause, 2015)

### 3. Gardu Beton

Gardu distribusi jenis beton dibangun permanen pada lokasi yang telah ditentukan. Umumnya gardu beton dibangun untuk konsumen atau daerah perkotaan yang sudah mantap *plan* analoginya. Dikutip dari PLN Buku 4 (2010:3), “Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan”. Bentuk fisik gardu beton ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Gardu Beton  
(Sumber: Suhadi, 2008)

#### 4. Gardu Kios

Gardu kios adalah bangunan terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, di mana gardu ini dapat dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator yang terpasang terbatas, berdasarkan PLN Buku 4 (2010:3). “Kapasitas maksimum adalah 400 kVA dan dengan 4 jurusan tegangan rendah”. Bentuk fisik gardu kios ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Gardu Kios  
(Sumber: Suhadi, 2008)

#### 2.4 Perlengkapan Hubung Bagi (PHB) Tegangan Rendah

Menurut Suhadi (2008), PHB TR adalah perlengkapan hubung bagi yang dipasang pada sisi tegangan rendah atau sisi sekunder transformator sebuah gardu distribusi baik gardu beton, gardu kios, gardu portal, maupun gardu cantol. Adapun PHB TR yang banyak kita jumpai adalah PHB TR yang terpasang pada gardu portal, berbentuk lemari besi dan di dalamnya terdapat komponen-komponen antara lain:

- a. Rak TR
- b. Saklar utama
- c. Rel tembaga
- d. NH Fuse jurusan
- e. Isolator penumpu rel
- f. Sistem pembumian

Fungsi PHB untuk :

1. Mengendalikan sirkuit dilakukan oleh saklar utama.
2. Melindungi sirkuit dilakukan oleh fase/pelebur.
3. Membagi sirkuit dilakukan oleh pembagian jurusan/kelompok.

Berikut bentuk fisik dari perlengkapan hubung bagi tegangan rendah ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. PHB TR  
(Sumber: Suhadi, 2008)

## 2.5 Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi berfungsi untuk mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20 kV/400 V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat di atas 380 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V.

Prinsip kerjanya ialah kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sehingga inti transformator yang terbuat dari ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks =  $\Phi$ ). Fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah dikarenakan arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal, maka fluks yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula. Karena fluks tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat belitan primer dan sekunder, maka pada belitan primer dan sekunder akan timbul gaya gerak listrik induksi, tetapi arah gaya gerak listrik induksi primer berlawanan dengan arah gaya gerak listrik induksi sekunder. Sedangkan frekuensi masing-masing tegangan sama dengan frekuensi sumbernya (Suhadi, 2008). Bentuk fisik dari transformator distribusi ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Transformator Distribusi  
(Sumber: Suhadi, 2008)

## 2.6 Jaringan Tegangan Rendah

Menurut SPLN No.3 (1987), jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur. Sistem jaringan tegangan rendah ini terdiri dari dua macam, yaitu:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang digunakan pada SUTR ini adalah kawat tak berisolasi seperti *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC) dan *Aluminium Cable Steel Reinforced* (ACSR). Bentuk fisik *All Aluminium Alloy Conductor* (AAAC) ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 8. *All Aluminium Alloy Conductor (AAAC)*  
(Sumber: Suhadi, 2008)

## 2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)

Jenis penghantar yang digunakan adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (*Low Voltage Twisted Cable*). Ukuran kabel LVTC adalah  $2 \times 10 \text{ mm}^2$ ,  $2 \times 16 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 25 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 35 \text{ mm}^2$ ,  $4 \times 50 \text{ mm}^2$ . Bentuk fisik kabel LVTC ditunjukkan pada gambar 9.



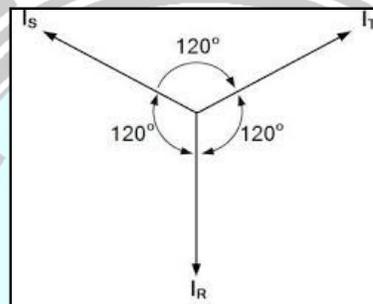
Gambar 9. *Low Voltage Twisted Cable (LVTC)*  
(Sumber: Suhadi, 2008)

## 2.7 Ketidakseimbangan Beban

Menurut Badaruddin (2012), yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana:

1. Ketiga vektor arus/tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Seperti pada gambar 10 di bawah ini:



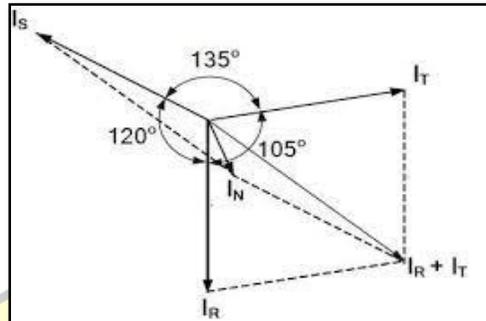
Gambar 10. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Seimbang  
(Sumber: Badaruddin, 2012)

Dari gambar di atas 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 ( $I_N$ ).

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:

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

Seperti yang terlihat pada gambar 11 di bawah ini:



Gambar 11. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Tidak Seimbang  
(Sumber: Badaruddin, 2012)

Gambar di atas 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 ketidakseimbangannya. Berdasarkan IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) ketidakseimbangan beban 3 fasa yang diizinkan adalah 5-20% (IEEE, Std 446-1995).

Untuk arus tiga fasa dari suatu sistem yang tidak seimbang dapat diselesaikan dengan metode komponen simetris. Metode ini telah dipaparkan oleh Fortescue yang membuktikan bahwa suatu sistem yang tidak seimbang dari fasor yang berhubungan dapat diuraikan menjadi sistem dengan fasor seimbang yang dinamakan komponen-komponen simetris. Dengan menggunakan notasi-notasi yang sama seperti pada tegangan akan didapatkan persamaan untuk arus fasanya:

$$I_R = I_1 + I_2 + I_0 \quad (1)$$

$$I_S = \alpha^2 I_1 + \alpha I_2 + I_0 \quad (2)$$

$$I_T = \alpha I_1 + \alpha^2 I_2 + I_0 \quad (3)$$

Dengan tiga langkah yang dijabarkan dalam menentukan urutan positif, urutan negatif, dan urutan nol terlebih dahulu, maka arus-arus urutan juga dapat ditentukan dengan cara yang sama, sehingga didapatkan:

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_R + \alpha I_S + \alpha^2 I_T) \quad (4)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_R + \alpha^2 I_S + \alpha I_T) \quad (5)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_R + I_S + I_T) \quad (6)$$

Di mana:

$I_1$  = Arus urutan positif (A)

$I_2$  = Arus urutan negatif (A)

$I_0$  = Arus urutan nol (A)

$\alpha$  =  $120^\circ$

Arus urutan positif berasal dari komponen urutan positif, komponen ini terdiri dari 3 fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasor  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasor yang sama dengan fasor aslinya. Sedangkan arus urutan negatif berasal dari komponen urutan negatif, komponen ini terdiri atas 3 fasor yang sama terpisah dengan yang lainnya dalam fasor sebesar  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya. Dan arus urutan nol berasal dari komponen urutan nol, komponen ini terdiri atas 3 fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara simetris fasor yang satu dengan yang lainnya.

Pada komponen simetris simbol  $\alpha$  digunakan untuk menunjukkan operator yang menimbulkan suatu perputaran  $120^\circ$  dengan arah yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam. Operator semacam ini adalah bagian kompleks yang besarnya satu dan sudutnya  $120^\circ$  dan didefinisikan sebagai:

$$\alpha = 1 \angle 120^\circ \text{ atau } \alpha = -0,5 + j 0,866$$

Dalam sistem tiga fasa empat kawat ini, jumlah arus sama dengan arus netral yang kembali lewat kawat netral, sehingga:

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (7)$$

## 2.8 Rugi-Rugi Daya pada Sistem Distribusi

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antar fasa pada sisi sekunder transformator maka mengalir arus netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral menyebabkan rugi-rugi daya (Latupeirissa, 2017).

Sebelum mengidentifikasi rugi-rugi daya yang terjadi pada transformator perlu diketahui terlebih dahulu nilai resistansi dan reaktansi pada penghantar. Menurut SPLN No. 64 Tahun 1985, nilai resistansi dan reaktansi pada suatu penghantar dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Penghantar Aluminium JTR

Penghantar		KHA (A)	Resistansi Penghantar pada $28^\circ\text{C}$ ( $\Omega/\text{km}$ )		Reaktansi pada 50 Hz ( $\Omega/\text{km}$ )
Jenis	Ukuran		Fasa	Netral	
<i>Twisted Cable</i>	$3 \times 35 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$	125	0,894	0,599	0,379
	$3 \times 50 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$	154	0,661	0,599	0,3678
	$3 \times 70 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$	196	0,457	0,599	0,3572

	3x95 + 1x50 mm <sup>2</sup>	242	0,317	0,599	0,2449
--	-----------------------------	-----	-------	-------	--------

Rugi-rugi daya pada penghantar netral transformator didapatkan

berdasarkan persamaan:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (8)$$

Di mana:

$P_N$  = Rugi-rugi pada penghantar netral transformator (W)

$I_N$  = Arus yang mengalir pada netral transformator (A)

$R_N$  = Tahanan penghantar netral transformator ( $\Omega$ )

Rugi-rugi daya pada jaringan tiga fasa dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \quad (9)$$

Di mana:

$P$  = Rugi-rugi daya pada jaringan (W)

$I$  = Arus beban jaringan (A)

$R$  = Tahanan penghantar ( $\Omega$ )

$L$  = Panjang penghantar (kms)

## 2.9 Jatuh Tegangan

Jatuh tegangan merupakan besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding lurus dengan panjang saluran dan beban serta berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Berdasarkan SPLN No. 72 (1987), jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam penyaluran distribusi sebesar +5% dan -10%.

Karena adanya resistansi pada penghantar maka tegangan yang diterima konsumen ( $V_r$ ) akan lebih kecil dari tegangan kirim ( $V_s$ ), sehingga tegangan jatuh ( $V_{drop}$ ) merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik, sesuai dengan persamaan berikut:

$$\Delta V = \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \quad (10)$$

Di mana:

$\Delta V$  = Jatuh Tegangan (V)

$V_s$  = Tegangan pada pangkal pengirim (V)

$V_r$  = Tegangan pada pangkal penerima (V)

## 2.10 Penyaluran Daya pada Keadaan Arus Seimbang dan Arus Tidak 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:

$$P = 3 [V] [I] \cos \phi \quad (11)$$

Di mana :

$P$  = Daya pada ujung kirim (W)

$V$  = Tegangan pada ujung kirim (V)

$I$  = Arus pada ujung kirim (A)

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:

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \\ [I_S] &= b [I] \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned} \quad (12)$$

Di mana:

$I_R$  = Arus pada fasa R (A)

$I_S$  = Arus pada fasa S (A)

$I_T$  = Arus pada fasa T (A)

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

$$P = (a+b+c) \cdot [V] \cdot [I] \cdot \text{Cos } \phi \quad (13)$$

Koefisien  $a$ ,  $b$ , dan  $c$  dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang ( $I$ ) sama besarnya dengan arus rata-rata ( $I_{rata-rata}$ ) dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

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

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} ; \quad \text{maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (14)$$

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

$$\% = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \% \quad (15)$$

### 2.11 Software ETAP 12.6.0

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi sistem tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real time*. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan sistem tenaga listrik, sistem transmisi, maupun sistem distribusi tenaga listrik.

ETAP 12.6.0 dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*single line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain (Fatimah dkk, 2018):

1. Aliran daya
2. Hubung singkat
3. *Starting* motor
4. *Trancient stability*
5. Koordinasi relay proteksi
6. Sistem harmonisasi

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

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

Kegiatan penelitian ini dilakukan di kantor PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto yang berlokasi di Jl. Diponegoro, Kecamatan Watang Sawitto, Kabupaten Pinrang. Penelitian dilakukan mulai dari 01 Januari 2021 sampai 30 Juli 2021.

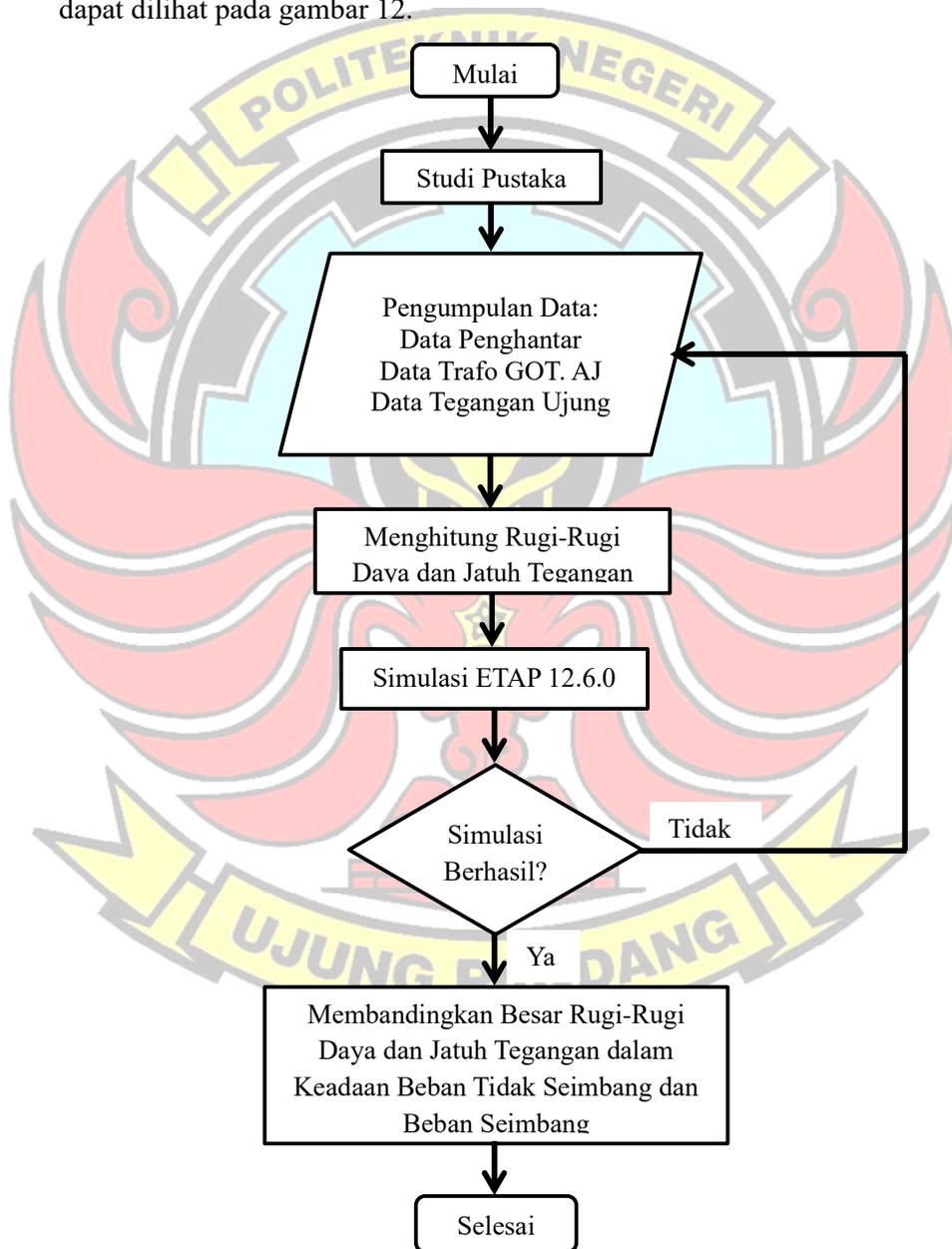
#### **3.2 Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian yang dilakukan dalam melaksanakan kegiatan penelitian ini dibagi beberapa langkah, yaitu:

1. Melakukan observasi awal di mana mengamati sistem yang ada secara langsung di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto.
2. Melakukan pengumpulan data dengan metode observasi, metode wawancara dan metode dokumentasi.
3. Melakukan pengolahan data di mana data yang diperoleh setelah melakukan pengumpulan data dikelola kedalam bentuk yang lebih berarti berupa informasi.
4. Melakukan perbandingan pernyataan, penyeleksian data yang memberikan pilihan untuk langkah selanjutnya, jadi ketika data yang dibutuhkan lengkap maka akan melangkah ke analisis data, tetapi ketika data yang dibutuhkan

tidak lengkap maka akan kembali melakukan tahap kedua yaitu pengumpulan data.

5. Merangkum hasil pengolahan data dengan melakukan analisis data tersebut, dan memberikan kesimpulan. Untuk lebih jelasnya, *Flow Chart* Kegiatan dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. *Flow Chart* Kegiatan

### **3.3 Teknik Pengumpulan Data**

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Studi Literatur

Penulis melakukan studi dari berbagai referensi buku dan jurnal yang berhubungan dengan judul untuk mendapatkan dan mengetahui dasar-dasar teori yang ada hingga dapat menunjang penulisan skripsi ini.

2) Metode Observasi

Yaitu metode di mana penulis melakukan pengukuran, pengumpulan data dan keterangan secara langsung.

3) Metode Wawancara

Yaitu metode di mana dilakukan tanya jawab secara langsung dengan pihak-pihak yang bertanggung jawab.

4) Metode Dokumentasi

Yaitu metode pengumpulan data yang diperoleh dari dokumen-dokumen atau catatan-catatan yang tersimpan.

### **3.4 Teknik Analisis Data**

Data yang diperoleh melalui teknik pengumpulan data menghasilkan data yang diperoleh bersifat kualitatif dan kuantitatif. Data tersebut akan dianalisa berdasarkan teori kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi menggunakan ETAP 12.6.0.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

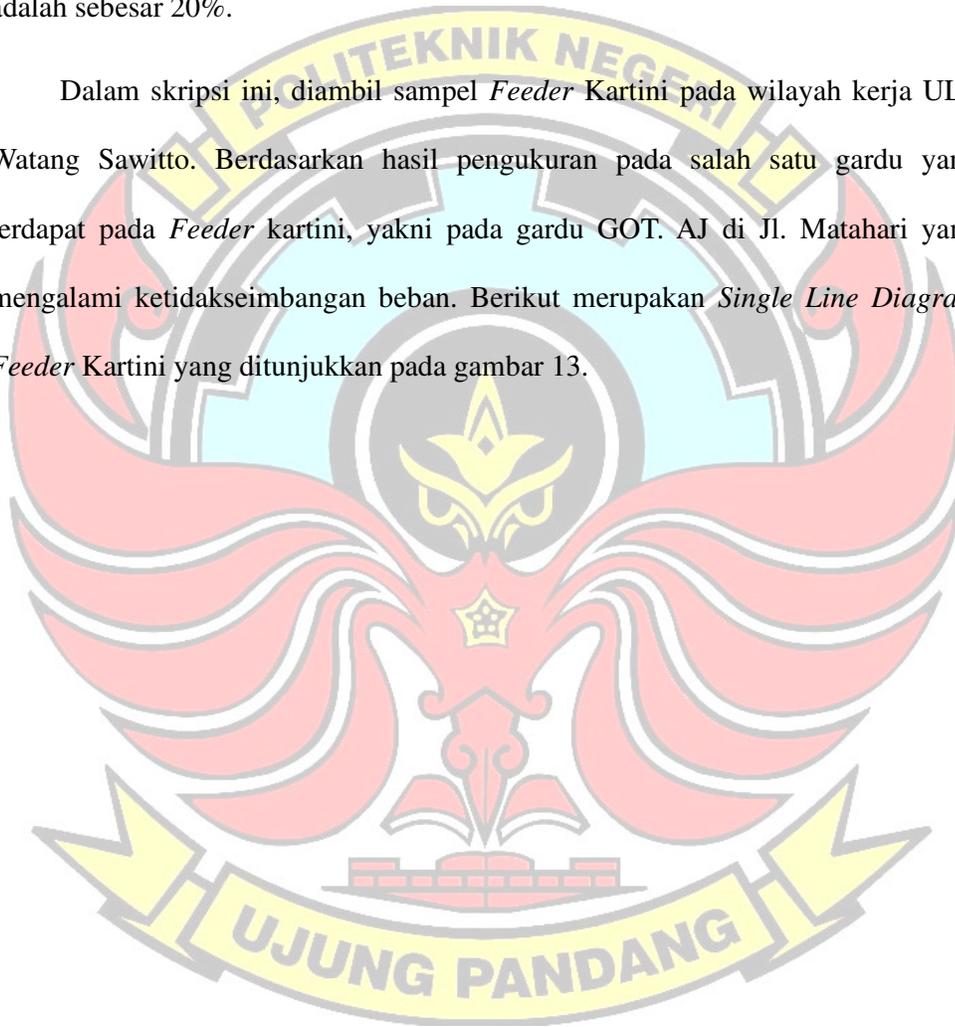
PT PLN (Persero) Unit Pelaksana Pelayanan Pelanggan (UP3) Pinrang meliputi daerah kerja yang luas. Tenaga listrik yang disalurkan kepada konsumen pada umumnya dimanfaatkan untuk kegiatan rumah tangga, kegiatan pemerintahan, kegiatan usaha perdagangan, kegiatan sosial, pengoperasian alat-alat produksi pada industri, hingga penerangan jalan. Dalam melayani kebutuhan tenaga listrik dari berbagai jenis pelanggan, maka PT PLN (Persero) UP3 Pinrang disuplai dari GI Pinrang. UP3 Pinrang sendiri terdiri dari 5 Unit Layanan Pelanggan, yakni:

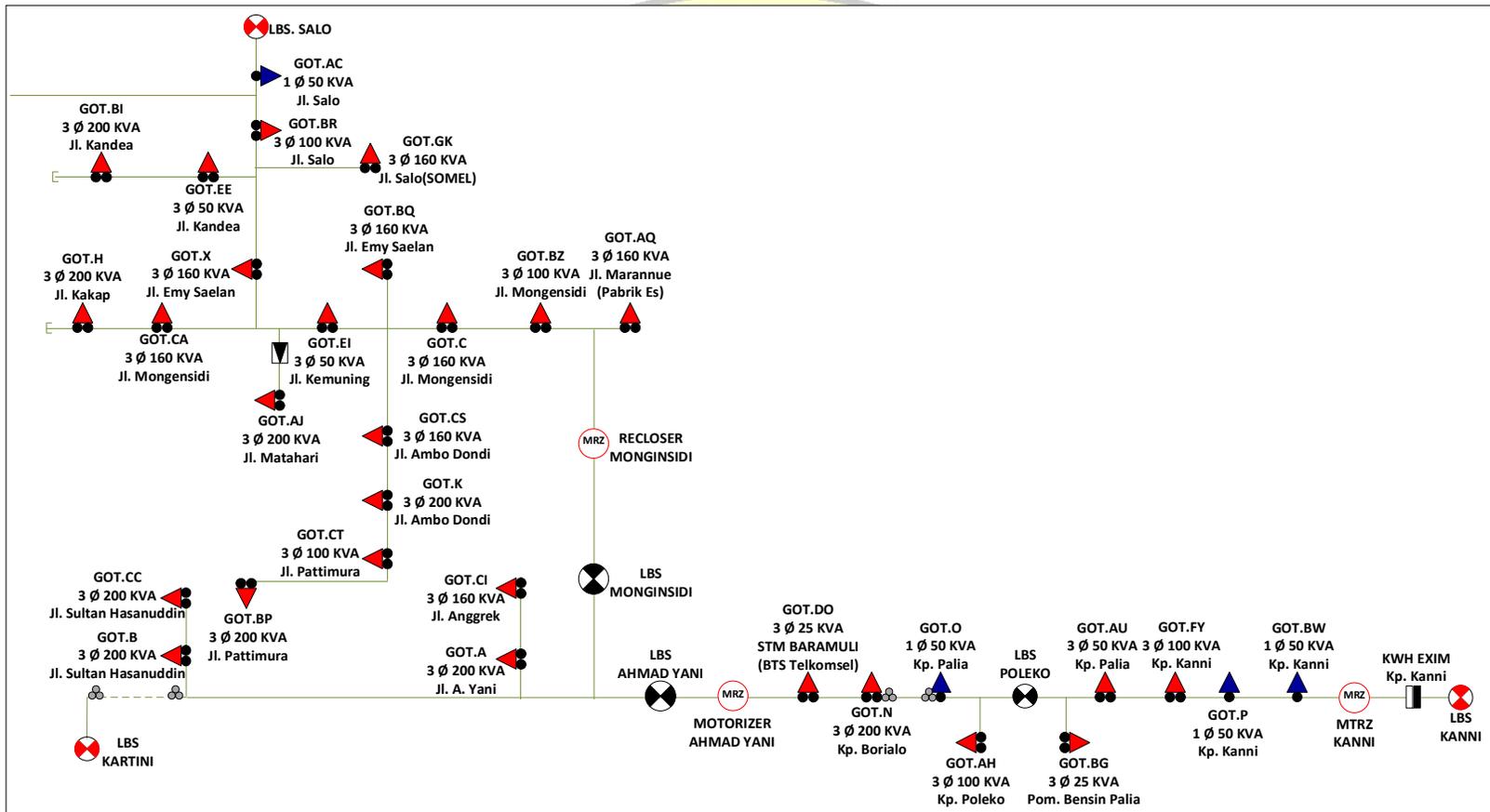
1. Unit Layanan Pelanggan Watang Sawitto
2. Unit Layanan Pelanggan Pekkabata
3. Unit Layanan Pelanggan Kariango
4. Unit Layanan Pelanggan Lakawan
5. Unit Layanan Pelanggan Enrekang

Unit Layanan Pelanggan Watang Sawitto atau biasa disebut ULP Watang Sawitto merupakan salah satu ULP yang berada di wilayah kerja UP3 Pinrang. Pada ULP Watang Sawitto, terdiri dari 304 buah trafo distribusi yang terbagi pada 9 *Feeder*. Salah satu *Feedernya* yakni *Feeder* Kartini.

Pemakaian energi listrik yang tidak merata pada jaringan tegangan rendah menyebabkan ketidakseimbangan beban yang mengakibatkan kemampuan transformator dalam melayani beban dapat menurun. Berdasarkan standar IEEE, persentase ketidakseimbangan beban pada transformator yang dapat ditoleransi adalah sebesar 20%.

Dalam skripsi ini, diambil sampel *Feeder* Kartini pada wilayah kerja ULP Watang Sawitto. Berdasarkan hasil pengukuran pada salah satu gardu yang terdapat pada *Feeder* kartini, yakni pada gardu GOT. AJ di Jl. Matahari yang mengalami ketidakseimbangan beban. Berikut merupakan *Single Line Diagram Feeder* Kartini yang ditunjukkan pada gambar 13.





Gambar 13. Single Line Diagram Feeder Kartini  
(Sumber: PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto)

#### 4.1 Data Transformator GOT. AJ

Transformator distribusi merupakan peralatan listrik yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan dengan frekuensi yang tetap 50 Hz agar dapat digunakan oleh konsumen. Berikut adalah spesifikasi transformator distribusi yang digunakan pada gardu GOT. AJ dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Transformator Distribusi GOT. AJ

Merek	STARLITE
Jenis	TRANSFORMATOR DISTRIBUSI
No. Seri	1600141019-189
Kapasitas	200 kVA
Phasa	3Ø
Frekuensi	50 Hz
Tegangan Sekunder F-F	400 V
Tegangan Impedansi	4.0 %
Jenis Minyak	Mineral
Berat Total	1275 Kg
Hubungan	Dyn5

#### 4.2 Hasil Pengukuran Beban GOT. AJ sebelum Diseimbangkan

Pengukuran beban pada gardu distribusi GOT. AJ dilakukan saat Waktu Beban Puncak (WBP) pada Selasa, 09 Maret 2021 pukul 20:00. Hasil pengukuran beban pada gardu distribusi GOT. AJ dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran WBP

DATA PENGUKURAN							BEBAN (kVA)		
ARUS (A)				TEGANGAN (V)					
R	S	T	N	PHB F-F	PHB F-N	UJUNG F-N	R	S	T
248	151	270	110	396	226	180	56,048	34,126	61,02

Berdasarkan data hasil pengukuran pada tabel 3, dapat dihitung arus urutan positif dan negatif dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) dimana diasumsikan bahwa kemungkinan ketidakseimbangan beban yang terjadi adalah ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 \rightarrow I_1 &= \frac{1}{3} (I_R + \alpha I_S + \alpha^2 I_T) \\
 &= \frac{1}{3} (248 \angle 0^\circ + 1 \angle 120^\circ \cdot 151 \angle 240^\circ + (1 \angle 120^\circ)^2 \cdot 270 \angle 120^\circ) \\
 &= \frac{1}{3} (248 \angle 0^\circ + 151 \angle 360^\circ + 270 \angle 360^\circ) \\
 &= \frac{1}{3} (248 + 151 + 270) \\
 &= 223 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\rightarrow I_2 &= \frac{1}{3} (I_R + \alpha^2 I_S + \alpha I_T) \\
&= \frac{1}{3} (248 \angle 0^\circ + (1 \angle 120^\circ)^2 \cdot 151 \angle 240^\circ + 1 \angle 120^\circ \cdot 270 \angle 120^\circ) \\
&= \frac{1}{3} (248 \angle 0^\circ + 151 \angle 120^\circ + 270 \angle 240^\circ) \rightarrow \text{diubah ke rectangular} \\
&= \frac{1}{3} (248 + j 0) + (-75,5 + j 131,4) + (-135 - j 234,9) \\
&= \frac{1}{3} (248 - 75,5 - 135) + j (131,4 - 234,9) \\
&= \frac{1}{3} (37,5 - j 103,53) \rightarrow \text{diubah ke polar} \\
&= \frac{1}{3} (110,1 \angle -70,1^\circ) \\
&= 36,7 \angle -70,1^\circ \text{ A}
\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka diperoleh nilai rectangular pada masing-masing fasa:

$$I_R = 248 + j 0$$

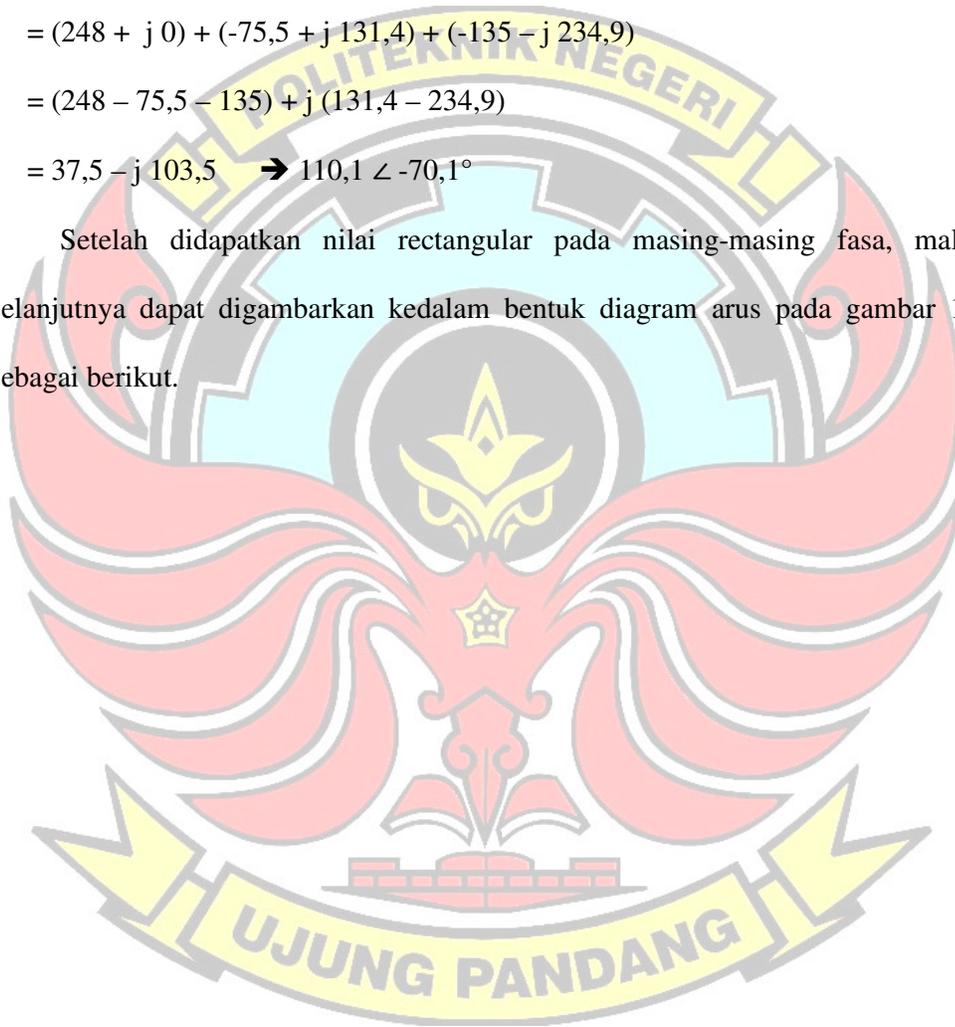
$$I_S = -75,5 + j 131,4$$

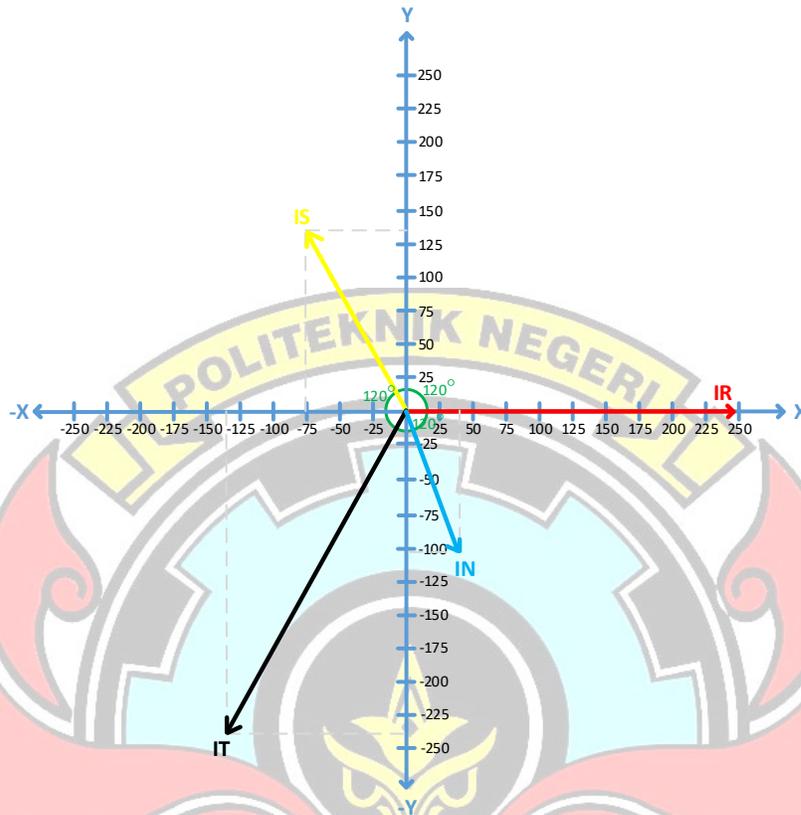
$$I_T = -135 - j 234,9$$

Untuk nilai arus netral ( $I_N$ ) yang muncul akibat ketidakseimbangan beban, diperoleh berdasarkan persamaan (7):

$$\begin{aligned} I_N &= I_R + I_S + I_T \\ &= (248 + j 0) + (-75,5 + j 131,4) + (-135 - j 234,9) \\ &= (248 - 75,5 - 135) + j (131,4 - 234,9) \\ &= 37,5 - j 103,5 \rightarrow 110,1 \angle -70,1^\circ \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai rectangular pada masing-masing fasa, maka selanjutnya dapat digambarkan kedalam bentuk diagram arus pada gambar 14 sebagai berikut.





Gambar 14. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Tidak Seimbang

Gambar 14 di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Dapat dilihat ketiga vektor arus tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain. Dimana vektor arus pada fasa R adalah  $248 + j0$  dengan besar sudut antara fasa R dengan fasa S dan juga fasa R dengan fasa T masing-masing sebesar  $120^\circ$ . Vektor arus pada fasa S adalah  $-75,5 + j131,4$  dengan besar sudut antara fasa S dengan fasa R dan juga fasa S dengan fasa T masing-masing sebesar  $120^\circ$ . Vektor arus pada fasa T adalah  $-135 - j234,9$  dengan besar sudut antara fasa T dengan fasa R dan juga fasa T dengan fasa S masing-masing sebesar  $120^\circ$ . Karena besar vektor tidak sama besar, maka timbul arus

netral sebesar 37,5 – j103,5. Timbulnya arus netral ini membuktikan bahwa vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang.

### 4.3 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Untuk menghitung persentase ketidakseimbangan beban, digunakan persamaan (14) dan (15):

$$a = \frac{248}{223} = 1,11; \quad b = \frac{151}{223} = 0,68; \quad c = \frac{270}{223} = 1,21$$

Jadi, besarnya persentase ketidakseimbangan beban pada gardu GOT. AJ adalah:

$$\begin{aligned} \% &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{\{|1,11-1|+|0,68-1|+|1,21-1|\}}{3} \times 100 \% \\ &= \frac{0,11 + 0,32 + 0,21}{3} \times 100 \% \\ &= 21,3 \% \end{aligned}$$

### 4.4 Perhitungan Rugi-Rugi Daya dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang

Penghantar yang digunakan pada GOT. AJ menggunakan LVTC 3x70+1x50 mm<sup>2</sup> dengan panjang saluran distribusi sekunder pada transformator adalah 0,72 kms. Adapun nilai resistansi dan reaktansi pada suatu penghantar dapat dilihat pada tabel 1 halaman 17.

Untuk menghitung besar rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar netral,

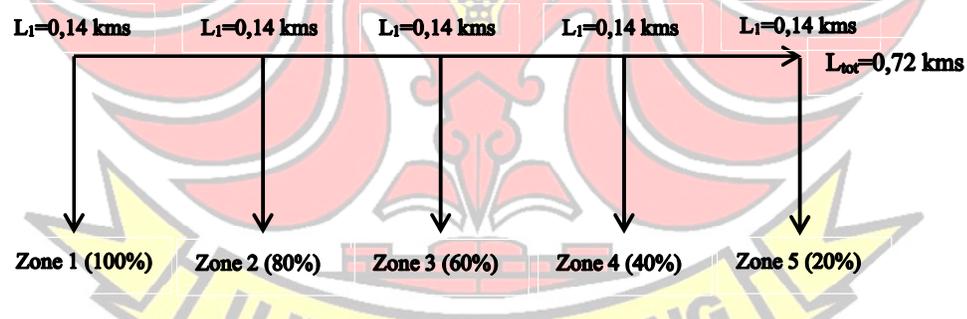
digunakan persamaan (8) berikut:

1. Rugi-rugi daya pada penghantar netral

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 110^2 \times 0,599 \\ &= 7247,9 \text{ W} \rightarrow 7,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

2. Rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar fasa

Pada perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar fasa, penulis membagi ke dalam 5 zona perhitungan yang dihasilkan lebih akurat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 15.



Gambar 15. Pembagian 5 zone untuk Menghitung Rugi-Rugi Daya pada Penghantar Fasa

Dalam keadaan beban tidak seimbang, besar arus yang mengalir pada masing-masing fasa tidak sama. Untuk itu, digunakan persamaan berikut.

- a. Untuk zone 1 (100%)

Pada zone 1 arus yang digunakan merupakan 100% dari arus pengukuran, yakni:

$$I_R = 248 \text{ A,}$$

$$I_S = 151 \text{ A, dan}$$

$$I_T = 270 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_1 &= ((I_R)^2 + (I_S)^2 + (I_T)^2) \cdot R \cdot L_1 \\ &= ((248)^2 + (151)^2 + (270)^2) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= (61504 + 22801 + 72900) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 157205 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 10057,9 \text{ W} \rightarrow 10,05 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Untuk zone 2 (80%)

Pada zone 2 arus yang digunakan merupakan 80% dari arus pengukuran, yakni:

$$I_R = 80\% \text{ dari } 248 \text{ A} = 198,4 \text{ A,}$$

$$I_S = 80\% \text{ dari } 151 \text{ A} = 120,8 \text{ A, dan}$$

$$I_T = 80\% \text{ dari } 270 \text{ A} = 216 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_2 &= ((I_R)^2 + (I_S)^2 + (I_T)^2) \cdot R \cdot L_2 \\ &= ((198,4)^2 + (120,8)^2 + (216)^2) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= (39362,6 + 14592,6 + 46656) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 100611,2 \times 0,457 \times 0,14 \end{aligned}$$

$$= 6437,1 \text{ W} \rightarrow 6,4 \text{ kW}$$

c. Untuk zone 3 (60%)

Pada zone 3 arus yang digunakan merupakan 60% dari arus pengukuran, yakni:

$$I_R = 60\% \text{ dari } 248 \text{ A} = 148,8 \text{ A,}$$

$$I_S = 60\% \text{ dari } 151 \text{ A} = 90,6 \text{ A, dan}$$

$$I_T = 60\% \text{ dari } 270 \text{ A} = 162 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_3 &= ((I_R)^2 + (I_S)^2 + (I_T)^2) \cdot R \cdot L_3 \\ &= ((148,8)^2 + (90,6)^2 + (162)^2) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= (22141,4 + 8208,4 + 26244) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 56593,8 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3620,9 \text{ W} \rightarrow 3,6 \text{ kW} \end{aligned}$$

d. Untuk zone 4 (40%)

Pada zone 4 arus yang digunakan merupakan 40% dari arus pengukuran, yakni:

$$I_R = 40\% \text{ dari } 248 \text{ A} = 99,2 \text{ A,}$$

$$I_S = 40\% \text{ dari } 151 \text{ A} = 60,4 \text{ A, dan}$$

$$I_T = 40\% \text{ dari } 270 \text{ A} = 108 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_4 &= ((I_R)^2 + (I_S)^2 + (I_T)^2) \cdot R \cdot L_4 \\ &= ((99,2)^2 + (60,4)^2 + (108)^2) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= (9840,6 + 3648,2 + 11664) \times 0,457 \times 0,14 \end{aligned}$$

$$= 25152,8 \times 0,457 \times 0,14$$

$$= 1609,3 \text{ W} \rightarrow 1,6 \text{ kW}$$

e. Untuk zone 5 (20%)

Pada zone 5 arus yang digunakan merupakan 20% dari arus pengukuran, yakni:

$$I_R = 20\% \text{ dari } 248 \text{ A} = 49,6 \text{ A,}$$

$$I_S = 20\% \text{ dari } 151 \text{ A} = 30,2 \text{ A, dan}$$

$$I_T = 20\% \text{ dari } 270 \text{ A} = 54 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_5 &= ((I_R)^2 + (I_S)^2 + (I_T)^2) \cdot R \cdot L_5 \\ &= ((49,6)^2 + (30,2)^2 + (54)^2) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= (2460,2 + 912,04 + 2916) \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 6288,24 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 402,3 \text{ W} \rightarrow 0,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

Jadi, didapatkan besar rugi-rugi daya pada penghantar fasa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \\ &= 10057,9 \text{ W} + 6437,1 \text{ W} + 3620,9 \text{ W} + 1609,3 \text{ W} + 402,3 \text{ W} \\ &= 22127,5 \text{ W} \rightarrow 22,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

Untuk membuktikan hasil perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar fasa dalam keadaan beban tidak seimbang adalah sebagai berikut:

$$\frac{P}{3} - P_N = 0$$

$$\frac{22,1 \text{ kW}}{3} - 7,3 \text{ kW} = 0$$

$$7,3 \text{ kW} - 7,3 \text{ kW} = 0$$

#### 4.5 Perhitungan Jatuh Tegangan dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang

Bedasarkan SPLN No. 72 (1987), jatuh tegangan yang diperbolehkan dalam penyaluran distribusi sebesar +5% dan -10%. Untuk menghitung persentase tegangan digunakan persamaan (10) berikut:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{V_s - V_r}{V_s} \times 100\% \\ &= \frac{226 - 180}{226} \times 100\% \\ &= 20,3\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa nilai persentase jatuh tegangan tidak memenuhi standar karena didapatkan hasil sebesar 20,3%. Sedangkan standar jatuh tegangan yang diperbolehkan sebesar +5% dan -10%.

#### 4.6 Penyeimbangan Beban

Penyeimbangan beban dilakukan dengan memindahkan beban yang lebih dari salah satu fasa ke fasa yang lain yang bebannya kurang. Untuk itu, perlu diketahui nilai arus beban rata-rata dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \\
 &= \frac{248 + 151 + 270}{3} \\
 &= 223 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Setelah diketahui besarnya arus beban rata-rata, selanjutnya dapat dihitung besarnya selisih antara arus beban per fasa, yaitu:

$$\text{Fasa R} = 223 \text{ A} - 248 \text{ A} = -25 \text{ A} \quad (\text{nilai arus beban dikurangi } 25 \text{ A})$$

$$\text{Fasa S} = 223 \text{ A} - 151 \text{ A} = 72 \text{ A} \quad (\text{nilai arus beban ditambah } 72 \text{ A})$$

$$\text{Fasa T} = 223 \text{ A} - 270 \text{ A} = -47 \text{ A} \quad (\text{nilai arus beban dikurangi } 47 \text{ A})$$

Berdasarkan perhitungan di atas, beban akan seimbang bila arus beban pada fasa R dipindahkan 25 A ke fasa S dan arus beban pada fasa T dipindahkan 47 A ke fasa S. Dengan demikian, masing-masing fasa (R, S, dan T) memiliki arus beban sebesar 223 A.

Sehingga dapat dihitung arus urutan positif dan negatif setelah penyeimbangan dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) berikut:

$$\begin{aligned}
 \rightarrow I_1 &= \frac{1}{3} (I_R + \alpha I_S + \alpha^2 I_T) \\
 &= \frac{1}{3} (223 \angle 0^\circ + 1 \angle 120^\circ \cdot 223 \angle 240^\circ + (1 \angle 120^\circ)^2 \cdot 223 \angle 120^\circ) \\
 &= \frac{1}{3} (223 \angle 0^\circ + 223 \angle 360^\circ + 223 \angle 360^\circ)
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1}{3} (223 + 223 + 223)$$

$$= 223 \text{ A}$$

$$\rightarrow I_2 = \frac{1}{3} (I_R + \alpha^2 I_S + \alpha I_T)$$

$$= \frac{1}{3} (223 \angle 0^\circ + (1 \angle 120^\circ)^2 \cdot 223 \angle 240^\circ + 1 \angle 120^\circ \cdot 223 \angle 120^\circ)$$

$$= \frac{1}{3} (223 \angle 0^\circ + 223 \angle 120^\circ + 223 \angle 240^\circ) \rightarrow \text{diubah ke rectangular}$$

$$= \frac{1}{3} (223 + j 0) + (-111,5 + j 194,01) + (-111,5 - j 194,01)$$

$$= \frac{1}{3} (223 - 111,5 - 111,5) + j (194,01 - 194,01)$$

$$= \frac{1}{3} (0) + j (0) \rightarrow \text{diubah ke polar}$$

$$= 0 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka diperoleh nilai rectangular pada masing-masing fasa:

$$I_R = 223 + j 0$$

$$I_S = -111,5 + j 194,01$$

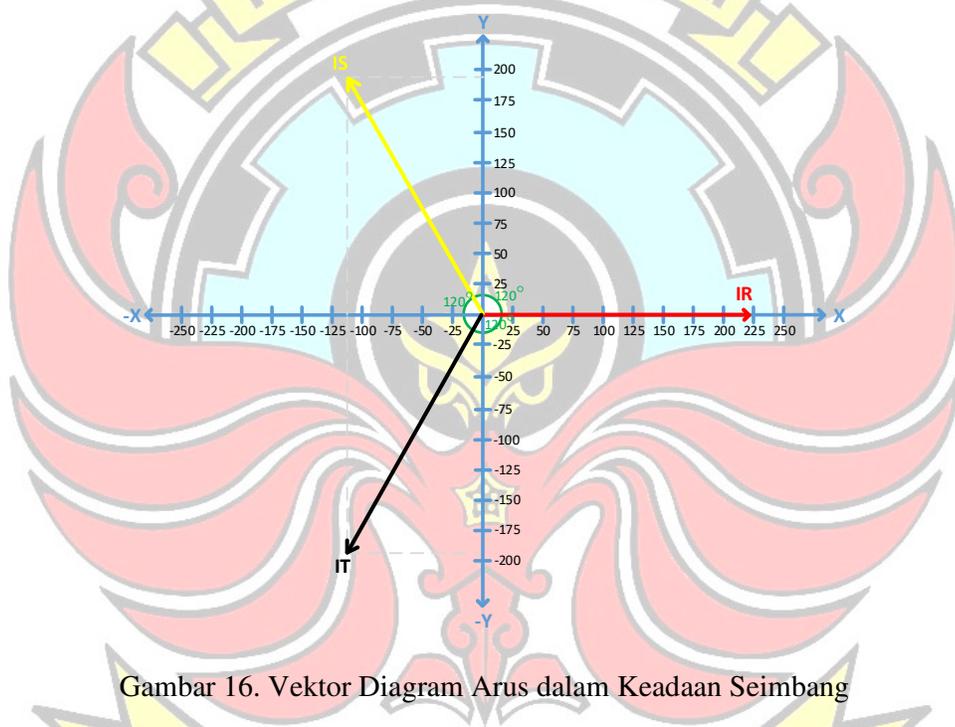
$$I_T = -111,5 - j 194,01$$

Untuk nilai arus netral ( $I_N$ ), diperoleh berdasarkan persamaan (7):

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

$$\begin{aligned}
&= (223 + j(0)) + (-111,5 + j194,01) + (-135 - j194,01) \\
&= (223 - 111,5 - 111,5) + j(194,01 - 194,01) \\
&= 0 + j0 \quad \rightarrow 0
\end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai rectangular pada masing-masing fasa, maka selanjutnya dapat digambarkan kedalam bentuk diagram arus pada gambar 16 berikut.



Gambar 16. Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Seimbang

Gambar 16 di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Dapat dilihat ketiga vektor arus hampir sama besar dan membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain. Dimana vektor arus pada fasa R adalah  $223 + j0$  dengan besar sudut antara fasa R dengan fasa S dan juga fasa R dengan fasa T masing-masing sebesar  $120^\circ$ . Vektor arus pada fasa S adalah  $-111,5 + j194,01$  dengan besar sudut antara fasa S dengan fasa R dan juga fasa S dengan fasa T

masing-masing sebesar  $120^\circ$ . Vektor arus pada fasa T adalah  $-115,5 - j194,01$  dengan besar sudut antara fasa T dengan fasa R dan juga fasa T dengan fasa S masing-masing sebesar  $120^\circ$ . Karena besar vektor arus hampir sama besar di mana pada fasa R = 223 A, S = -115,5 A, dan T = -115,5 A maka tidak timbul arus netral ( $I_N = 0$  A) pada vektor diagram arus tersebut dan dapat dikatakan seimbang.

#### 4.7 Perhitungan Rugi-Rugi Daya dalam Keadaan Beban Seimbang

Untuk menghitung besar rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar netral dan fasa digunakan persamaan (8).

1. Rugi-rugi daya pada penghantar netral

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 0^2 \times 0,599 \\ &= 0 \text{ W} \end{aligned}$$

2. Rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar fasa

Perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar fasa dalam keadaan beban seimbang juga dilakukan seperti pada gambar 15 halaman 36. Untuk menghitung besar rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar fasa digunakan persamaan (8).

- a. Untuk zone 1 (100%)

Pada zone 1 arus yang digunakan merupakan 100% dari arus rata-rata pengukuran, yakni:

$$I_R = I_S = I_T = 223 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_1 &= 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L_1 \\ &= 3 \times (223)^2 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3 \times 49729 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 9544,9 \text{ W} \rightarrow 9,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

b. Untuk zone 2 (80%)

Pada zone 2 arus yang digunakan merupakan 80% dari arus rata-rata pengukuran, yakni:

$$I_R = I_S = I_T = 80 \% \text{ dari } 223 \text{ A} = 178,4 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_2 &= 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L_2 \\ &= 3 \times (178,4)^2 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3 \times 31826,6 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 6108,8 \text{ W} \rightarrow 6,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

c. Untuk zone 3 (60%)

Pada zone 3 arus yang digunakan merupakan 60% dari arus rata-rata pengukuran, yakni:

$$I_R = I_S = I_T = 60 \% \text{ dari } 223 \text{ A} = 133,8 \text{ A.}$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_3 &= 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L_3 \\ &= 3 \times (133,8)^2 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3 \times 17902,4 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3436,2 \text{ W} \rightarrow 3,4 \text{ kW} \end{aligned}$$

d. Untuk zone 4 (40%)

Pada zone 4 arus yang digunakan merupakan 40% dari arus rata-rata pengukuran, yakni:

$$I_R = I_S = I_T = 40 \% \text{ dari } 223 \text{ A} = 89,2 \text{ A} .$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_4 &= 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L_4 \\ &= 3 \times (89,2)^2 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3 \times 7956,6 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 1527,2 \text{ W} \rightarrow 1,5 \text{ kW} \end{aligned}$$

e. Untuk zone 5 (20%)

Pada zone 5 arus yang digunakan merupakan 20% dari arus rata-rata pengukuran, yakni:

$$I_R = I_S = I_T = 20 \% \text{ dari } 223 \text{ A} = 44,6 \text{ A} .$$

Sehingga perhitungan rugi-rugi daya sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_5 &= 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L_5 \\ &= 3 \times (44,6)^2 \times 0,457 \times 0,14 \\ &= 3 \times 1989,2 \times 0,457 \times 0,14 \end{aligned}$$

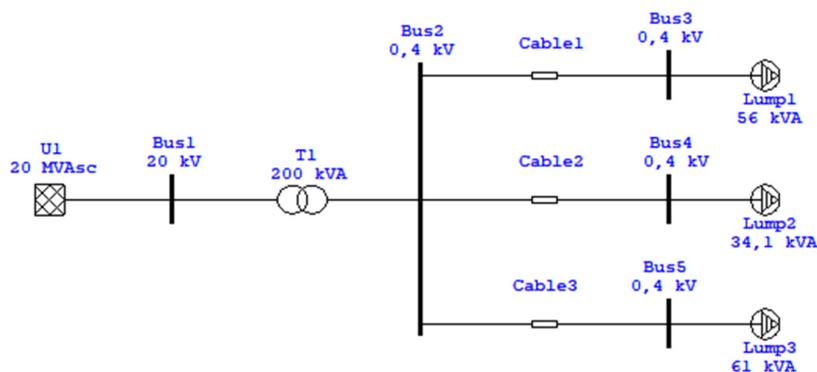
$$= 381,8 \text{ W} \rightarrow 0,3 \text{ kW}$$

Jadi, didapatkan besar rugi-rugi daya pada penghantar fasa adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P &= P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 \\ &= 9544,9 \text{ W} + 6108,8 \text{ W} + 3436,2 \text{ W} + 1527,2 \text{ W} + 381,8 \text{ W} \\ &= 20995,9 \text{ W} \rightarrow 20,9 \text{ kW} \end{aligned}$$

#### 4.8 Menghitung Rugi-Rugi Daya pada ETAP 12.6.0

Setelah menghitung besar rugi-rugi daya dan jatuh tegangan dalam keadaan beban tidak seimbang dan beban seimbang secara manual, maka selanjutnya adalah menghitung besar rugi-rugi daya menggunakan simulasi ETAP 12.6.0. Simulasi ini berguna untuk membantu perhitungan nilai rugi-rugi daya dengan cepat. Untuk melihat tingkat keakuratan simulasi, perlu membandingkan nilai yang telah diperoleh dari perhitungan manual dengan hasil simulasi. Agar simulasi yang dilakukan dapat berjalan, perlu dibuat *single line diagram* dengan memasukkan data-data yang ada pada tabel 2 dan tabel 3 halaman 30 dan 31.



Gambar 17. *Single Line Diagram* dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang

Project:  
Location:  
Contract:  
Engineer:  
Filename: SimulasiRugi-RugiDaya

**ETAP**  
12.6.0H  
Study Case: LF

Page: 1  
Date: 26-08-2021  
SN:  
Revision: Base  
Config.: Normal

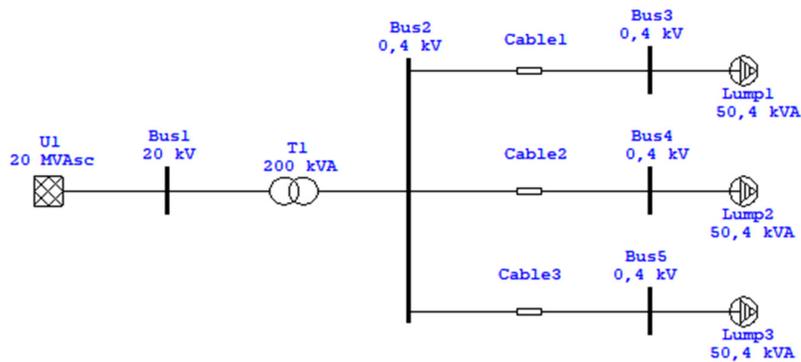
**Branch Losses Summary Report**

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1	0.120	0.066	-0.118	-0.063	2.1	3.1	100.0	97.6	2.42
Cable1	0.044	0.023	-0.035	-0.022	8.2	1.1	97.6	82.5	15.11
Cable2	0.027	0.015	-0.024	-0.015	3.2	0.4	97.6	88.1	9.45
Cable3	0.047	0.025	-0.038	-0.023	9.6	1.3	97.6	81.2	16.37
					23.1	5.9			

Gambar 18. Data Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang

Gambar 17 dan gambar 18 merupakan *single line diagram* dan data hasil simulasi ETAP 12.6.0 dalam keadaan beban tidak seimbang. Dari gambar 18 di atas, dapat dilihat bahwa besar rugi-rugi daya dalam keadaan beban tidak seimbang adalah 23,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 16,37 %.

Adapun *single line diagram* dan data hasil simulasi dalam keadaan beban seimbang dapat dilihat pada gambar 19 dan gambar 20 berikut.



Gambar 19. *Single Line Diagram* dalam Keadaan Beban Seimbang

Project:	<b>ETAP</b>	Page:	1
Location:	12.6.0H	Date:	26-08-2021
Contract:		SN:	
Engineer:	Study Case: LF	Revision:	Base
Filename: SimulasiRugi-RugiDaya		Config.:	Normal

**Branch Losses Summary Report**

CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		Vd % Drop in Vmag
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To	
T1	0.120	0.067	-0.118	-0.063	2.1	3.1	100.0	97.6	2.43
Cable1	0.039	0.021	-0.033	-0.020	6.7	0.9	97.6	83.9	13.69
Cable2	0.039	0.021	-0.033	-0.020	6.7	0.9	97.6	83.9	13.69
Cable3	0.039	0.021	-0.033	-0.020	6.7	0.9	97.6	83.9	13.69
					22.3	5.8			

Gambar 20. Data Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Seimbang

Gambar 20 di atas merupakan hasil simulasi dalam keadaan beban seimbang. Pada gambar tersebut, dapat dilihat besar rugi-rugi daya dalam keadaan beban seimbang adalah 22,3 kW dengan jatuh tegangan sebesar 13,69%.

#### 4.9 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran pada Selasa, 09 Maret 2021 pukul 20:00

WITA, didapatkan hasil bahwa gardu GOT. AJ mengalami ketidakseimbangan beban. Pengukuran dilakukan saat WBP (Waktu Beban Puncak) dikarenakan karakteristik beban pelanggan GOT. AJ adalah beban rumah tangga. Seperti yang telah diketahui, bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada transformator yang dapat ditoleransi adalah 20%. Sedangkan besar ketidakseimbangan beban pada gardu GOT. AJ adalah 21,3% dengan arus netral yang timbul akibat ketidakseimbangan beban sebesar 110 A.

Ketidakseimbangan beban membuat rugi-rugi daya akan semakin besar. Rugi-rugi daya yang dimaksud adalah rugi-rugi daya pada penghantar netral dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa. Berdasarkan hasil perhitungan manual, didapatkan nilai rugi-rugi daya pada penghantar netral sebesar 7,3 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa sebesar 22,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 20,3%. Nilai rugi-rugi daya pada penghantar fasa berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 23,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 16,37%.

Adapun besar rugi-rugi daya pada penghantar netral berdasarkan hasil perhitungan manual dalam keadaan beban seimbang adalah 0 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa adalah 20,9 kW. Sedangkan besar rugi-rugi daya pada penghantar fasa berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 22,3 kW dengan jatuh tegangan sebesar 13,69%.

Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa besar rugi-rugi daya dalam keadaan beban tidak seimbang dan keadaan beban seimbang mengalami penurunan. Selisih

rugi-rugi daya antara beban tidak seimbang dengan beban seimbang adalah 1,2 kW untuk perhitungan manual dan 0,8 kW untuk simulasi ETAP 12.6.0. Hal ini membuktikan bahwa ketidakseimbangan beban dapat memperbesar nilai rugi-rugi daya. Perbedaan antara perhitungan manual dengan simulasi ETAP 12.6.0 disebabkan karena pada aplikasi ETAP 12.6.0 data-data yang dimasukkan lebih rinci. Untuk lebih jelasnya, perbandingan rugi-rugi daya berdasarkan hasil perhitungan dan hasil simulasi dalam keadaan beban tidak seimbang dan beban seimbang dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Perbandingan Rugi-Rugi Daya berdasarkan Hasil Perhitungan dan Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Tidak Seimbangan dan Beban Seimbang

Kode Gardu	Lokasi Gardu	Rugi-Rugi Daya (kW)					
		Beban Tidak Seimbang		Beban Seimbang		Selisih	
		Manual	ETAP 12.6	Manual	ETAP 12.6	Manual	ETAP 12.6
GOT. AJ	Jl. Matahari	22,1	23,1	20,9	22,3	1,2	0,8

## BAB V

## PENUTUP

## 5.1 Kesimpulan

1. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang berdasarkan hasil perhitungan manual pada penghantar netral sebesar 7,3 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa sebesar 22,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 20,3%. Sedangkan rugi-rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 23,1 kW dengan jatuh tegangan sebesar 16,37%.
2. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban seimbang berdasarkan hasil perhitungan manual pada penghantar netral sebesar 0 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar fasa 20,9 kW. Sedangkan rugi-rugi daya berdasarkan hasil simulasi ETAP 12.6.0 adalah 22,3 kW dengan jatuh tegangan sebesar 13,69%.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, sebaiknya pihak PT. PLN (Persero) menindaklanjuti gardu yang memiliki besar ketidakseimbangan beban melebihi 20% dengan melakukan rekonfigurasi Sambungan Rumah (SR) agar beban menjadi seimbang dan dapat meminimalisir rugi-rugi daya dan jatuh tegangan.

## DAFTAR PUSTAKA

Badaruddin. 2012. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan

Losses pada Trafo Distribusi Proyek Rusunami Gading Icon. Laporan Penelitian Internal. Jakarta: Universitas Mercu Buana.

Fatimah dkk. 2018. Analisis Drop Tegangan pada Jaringan Tegangan Menengah dengan Menggunakan Simulasi Program ETAP 12.6.0. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*.

IEEE Std 446-1995, IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications.

Kurnia, Uti. 2017. Sistem Tenaga Listrik. Politeknik Negeri KETAP 12.6.0ang.

Latupeirissa, H. L. 2010. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Daya pada Trafo Distribusi Gardu KP-01 Desa Hative Kecil. *Jurnal Simetrik*.

SPLN 64. 1985. Kriteria Desain Enjiniring Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Perusahaan Listrik Negara.

SPLN 72. 1987. Spesifikasi Desain untuk Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dan Jaringan Tegangan Rendah (JTR). Perusahaan Listrik Negara.

Suhadi dkk. 2008a. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid I. Buku Ajar SMK. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

Suhadi dkk. 2008b. Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid III. Buku Ajar SMK. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.

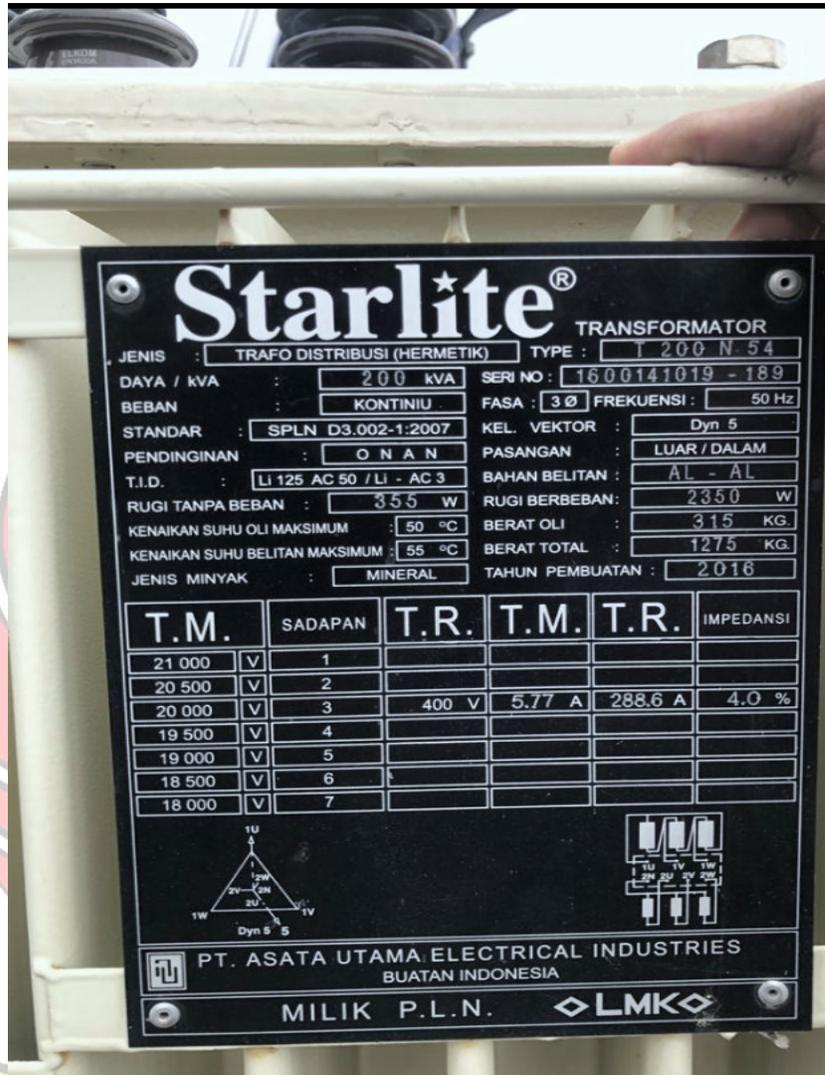
PT. PLN (Persero). 2010. Buku 4 *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. Jakarta.

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Pengukuran Transformator *Feeder* Kartini

NO	KODE GARDU	ALAMAT / LOKASI GARDU	DATA TRAF0			TANGGAL UKUR	JAM	PENAMPANG	DATA PENGUKURAN				TEGANGAN (volt)			BEBAN (kVA)		
			KAPASITAS		TEGANGAN				ARUS (ampere)				PHB F-N	PHB F-F	UJUN G-F-N	R	S	T
			1F kVA	3F kVA	Primer / Sekunder				R	S	T	N						
1	GOT.H	JL KAKAP		200	20000/400	1 Mar 2021	19:51	LVTC 3x70+50 mm2	204	196	194	75	229	399	224	46.72	44.88	44.43
2	GOT.X	JL EMMY SAELAN		160	20000/400	1 Mar 2021	19:42	LVTC 3x70+50 mm2	136	127	146	67	241	406	229	32.78	30.61	35.19
3	GOT.AJ	JL MATAHARI		200	20000/400	9 Mar 2021	20:00	LVTC 3x70+50 mm2	248	151	270	110	226	396	180	56.048	34.126	61.02
4	GOT.EI	JL KEMUNING		50	20000/400	12 Mar 2021	20:09	LVTC 3x70+50 mm2	6	40	32	26	236	410	230	1.42	9.44	7.55
5	GOT.C	JL MONGONSIDI		160	20000/400	12 Mar 2021	20:14	LVTC 3x70+50 mm2	188	128	106	86	234	410	225	43.99	29.95	24.80
6	GOT.K	JL AMBO DONDI		200	20000/400	12 Mar 2021	20:36	LVTC 3x70+50 mm2	198	142	132	87	229	392	224	45.34	32.52	30.23
7	GOT.B	HASANUDDIN		200	20000/400	12 Mar 2021	19:14	LVTC 3x70+50 mm2	161	189	152	66	231	403	224	37.19	43.66	35.11
8	GOT.CC	HASANUDDIN 2		200	20000/400	12 Mar 2021	19:15	LVTC 3x70+50 mm2	106	137	104	56	226	393	229	23.96	30.96	23.50
9	GOT.A	JL AHMAD YANI		200	20000/400	12 Mar 2021	19:23	LVTC 3x70+50 mm2	135	126	118	57	231	406	225	31.18	29.11	27.26
10	GOT.CI	JL ANGGREK		160	20000/400	12 Mar 2021	19:28	LVTC 3x70+50 mm2	125	134	89	53	236	415	230	29.50	31.62	21.00
11	GOT.AQ	JL MARANNUE		160	20000/400	12 Mar 2021	15:59	LVTC 3x70+50 mm2	66	71	66	2	226	394	225	14.92	16.05	14.92
12	GOT.N	KP. BORIALO		200	20000/400	12 Mar 2021	19:39	LVTC 3x70+50 mm3	118	130	114	46	238	415	231	28.08	30.94	27.13
13	GOT.O	KP. PALIA	50		20000/231	12 Mar 2021	20:30	LVTC 2x35 mm2	0	105	0	104	232	0	228	0.00	24.36	0.00
14	GOT.AU	KP. PALIA		50	20000/400	12 Mar 2021	19:55	LVTC 3x35+25 mm2	20	23	37	23	239	416	236	4.78	5.50	8.84
15	GOT.BG	PERTAMINA PALIA		25	20000/400	15 Mar 2021	19:49	LVTC 3x35+25 mm2	4	4	8	8	225	396	224	0.90	0.90	1.80
16	GOT.P	KP. KANNI	50		20000/231	15 Mar 2021	20:02	LVTC 2x35 mm2	110	0	0	114	239	0	233	26.29	0.00	0.00
17	GOT.AH	KOMP. POLEKO		100	20000/400	15 Mar 2021	19:45	LVTC 3x70+50 mm2	36	41	60	26	232	407	229	8.35	9.51	13.92
18	GOT.AC	KP. SALO	50		20000/231	15 Mar 2021	19:22	LVTC 2x35 mm2	108	0	0	112	241	0	235	26.03	0.00	0.00
19	GOT.BI	JL KANDEA		200	20000/400	15 Mar 2021	19:34	LVTC 3x70+50 mm2	216	216	175	107	234	408	227	50.54	50.54	40.95
20	GOT.EE	JL KANDEA		50	20000/400	15 Mar 2021	19:38	LVTC 3x70+50 mm2	17	17	24	7	235	408	229	4.00	4.00	5.64
21	GOT.BP	JL PATIMURA		200	20000/400	15 Mar 2021	20:47	LVTC 3x70+50 mm2	171	206	174	38	234	409	226	40.01	48.20	40.72
22	GOT.BQ	JL EMMY SAELAN		160	20000/400	15 Mar 2021	20:25	LVTC 3x70+50 mm2	130	110	156	56	235	413	228	30.55	25.85	36.66
23	GOT.BR	JL SALO		100	20000/400	15 Mar 2021	19:18	LVTC 3x70+50mm2	70	10	80	71	236	414	230	16.52	2.36	18.88
24	GOT.BW	KP KANNI	50		20000/231	20 Mar 2021	20:06	LVTC 2x50 mm2	0	140	0	137	226	0	223	0.00	31.64	0.00
25	GOT.BZ	JL MONGINSIDI		100	20000/400	20 Mar 2021	20:18	LVTC 3x70+50 mm2	82	76	53	43	241	420	235	19.76	18.32	12.77
26	GOT.CA	JL MONGINSIDI		160	20000/400	20 Mar 2021	19:46	LVTC 3x70+50 mm2	143	119	90	64	241	420	227	34.46	28.68	21.69
27	GOT.CS	JL AMBO DONDI		160	20000/400	20 Mar 2021	10:58	LVTC 3x70+50 mm2	0	3	6	5	234	408	231	0.00	0.70	1.40
28	GOT.CT	JL PATIMURA		100	20000/400	20 Mar 2021	20:40	LVTC 3x70+50 mm2	62	64	64	33	235	410	228	14.57	15.04	15.04
29	GOT.DO	STM BARAMULI		25	20000/400	20 Mar 2021	19:34	LVTC 3x70+50 mm2	14	10	17	11	237	416	235	3.32	2.37	4.03
30	GOT.FY	PINRANG-POLMAN		100	20000/400	20 Mar 2021	19:59	LVTC 3x70+50mm2	14	22	28	17	239	417	236	3.35	5.26	6.69
31	GOT.GK	JL SALO		160	20000/400	20 Mar 2021	16:14	LVTC 3x70+50mm2	100	130	120	3	234	415	231	23.40	30.42	28.08
32	GOT.GR	JL IMAM BONJOL		100	20000/400	20 Mar 2021	19:17	LVTC 3x70+50mm2	85	72	78	15	237	415	229	20.15	17.06	18.49
33	GOT.GI	JL KESEHATAN		100	20000/400	20 Mar 2021	10:16	NYV 3X70mm2	55	60	82	23	231	404	229	12.71	13.86	18.94
34	GOT.GZ	KP.KANNI		100	20000/400	20 Mar 2021	20:19	NYV 3X70mm2	7	25	27	4	236	412	234	1.65	5.90	6.37

Lampiran 2. Nameplate Transformator Distribusi pada Gardu GOT. AJ



Lampiran 3. Gardu Distribusi GOT. AJ



Lampiran 4. Pengukuran GOT, AJ dan Pengukuran Tegangan Ujung



**LEMBAR CATATAN KONSULTASI/ASISTENSI SKRIPSI**  
**RPL D4 TEKNIK LISTRIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

Nama /No. Induk Mahasiswa : IRAWATI BURSA / 421 20 082  
 Judul Skripsi : ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER  
 Pembimbing : 1 RUSLAN L, S.T., M.T.  
 2 NIRWAN A. NOOR, S.T., M.T.

No.	Tgl	Uraian/Anjuran Pembimbing I	Tgl	Uraian/Anjuran Pembimbing II	Tanda Tangan	
					PB I	PB II
1.	25/08 2021	Pendahuluan				
2.	25/08 2021	Intisari				
3.	26/08 2021	Kata pengantar				
4.	27/08 2021	Bab 2. Teori dasar				
5.	30/08 2021	Daftar isi				
6.	30/08 2021	Metode penelitian				
7.	31/08 2021	Analisa				
8.	31/08 2021	kesimpulan				
9.						
10.						
11.					 	
12.						

**LEMBAR CATATAN KONSULTASI/ASISTENSI SKRIPSI**  
**RPL D4 TEKNIK LISTRIK JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**

Nama/No.Induk Mahasiswa : Irawati Bursa/42120082

Judul Skripsi : Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan Distribusi Sekunder di PT. PLN (Persero) ULP Watang Sawitto

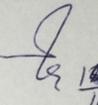
Pembimbing : 1. Ruslan L, S.T., M.T.  
 2. Nirwan A. Noor, S.T., M.T.

No.	Tgl	Uraian/Anjuran Pembimbing I	Tgl	Uraian/Anjuran Pembimbing II	Tanda Tangan	
					PB I	PB II
1.			12/08/ 2021	Perbaiki Rumusan Masalah dan Tujuan		
2.			13/08/ 2021	Tambahkan Teori Dasar		
3.			16/08/ 2021	Perbaiki Flow chart		
4.			18/08/ 2021	Tambahkan SLD		
5.			19/08/ 2021	Perbaiki spasi antar sub bab		
6.			20/08/ 2021	Tabel 3 pada sub bab 4.4 dipindah ke bab 2		
7.			23/08/ 2021	Beban jangan dibuat terpusat		
8.			24/08/ 2021	ACC. Lanjut Pembimbing I		
9.						
10.						
11.						
12.						

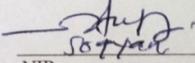
**LAMPIRAN BERITA ACARA PELAKSANAAN  
UJIAN SIDANG SKRIPSI**

Nama Mahasiswa : Indwati Bursa  
NIM : 421 20 082

Catatan/Daftar Revisi Penguji:

No.	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1	Alamsyah Achmad	- Lampirkan data <del>penda</del> yg diperoleh - Jelaskan cara pembagian zona	
2	Satpauz	Hitung ulang Bab IV	 11/11/2021 $\frac{\text{Truji jar} - \text{TRN} = 0}{-}$

Makassar, 03-09-2021  
Sekretaris Penguji

  
NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasi secepatnya ke bagian Akademik.