TUGAS AKHIR

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SISI SEKUNDER TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV/400 V DI PT. PLN (PERSERO) ULP MAKALE

Oleh :

WILEN KASMIN
222 214 044

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TORAJA

2026

TUGAS AKHIR

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SISI SEKUNDER TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV/400 V DI PT. PLN (PERSERO) ULP MAKALE

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Teknik Elektro

Oleh :

WILEN KASMIN
222 214 044

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA TORAJA

2026

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Toraja.

Judul	:	ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SISI SEKUNDER TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV/400 V DI PT. PLN (PERSERO) ULP MAKALE
Nama	:	WILEN KASMIN
NIM	:	222214044
Program Studi	:	TEKNIK ELEKTRO

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Yusri Ambabunga, S.T., M.T.	**Lantana Dioren Rumpa, S.Kom., M.T.**
NIDN. 0905097602	NIDN. 0922108401

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik	Ketua Program Studi Teknik Elektro
Dr. Ir. Nitha, ST., MT., IPM., ASEAN. Eng	**Ariyen Duri' S.T., M.T.**
NIDN. 0902117802	NUPTK. 1734777678230102

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi sebagian syarat-syarat dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Toraja. Telah diseminarkan pada hari Rabu tanggal 19 Agustus 2026.

Nama :Wilen Kasmin

NIM :222214044

Judul :ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA SISI SEKUNDER TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV/400 V DI PT. PLN (PERSERO) ULP MAKALE

Dengan susunan dosen pembimbing dan dosen penguji sebagai berikut :

Dosen Pembimbing

1. Ir. Yusri Ambabunga, S. T., M. T. (.....)
2. Lantana Dioren Rumpa, S, Kom., M. T. (.....)

Dosen Penguji

1. Dr. Ir. Martina Pineng, S. T., M. T. (.....)
2. Bergita Gela M. Saka, S. Si., M. Sc. (.....)
3. Ariyen Duri', S. T., M. T. (.....)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini tidak terdapat karya yang telah di ajukan untuk memperolah gelar keserjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitkan oleh orang lain, kecuali di terbutkan secara tertulis diacu dalam naskah ini dan di sebutkan dalam daftar Pustaka

Rantepao,21 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan



Wilen Kasmin

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi merupakan salah satu permasalahan dalam sistem distribusi tenaga listrik yang dapat menyebabkan perbedaan arus antar fasa, meningkatnya arus pada penghantar netral, serta bertambahnya rugi-rugi daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketidakseimbangan beban antar fasa pada transformator distribusi 20 kV di sisi sekunder PT PLN (Persero) ULP Makale serta menganalisis pengaruh ketidakseimbangan tersebut terhadap rugi-rugi daya dan efisiensi transformator. Metode penelitian yang digunakan meliputi pengumpulan data hasil pengukuran arus fasa R, S, T dan netral, tegangan fasa-fasa dan fasa-netral, serta parameter transformator dan jaringan. Analisis dilakukan melalui perhitungan manual dan simulasi menggunakan software ETAP 19.0.1. Berdasarkan hasil pengukuran tanggal 04 April 2026, diperoleh arus fasa R sebesar 112 A, fasa S sebesar 26 A, dan fasa T sebesar 120 A dengan arus rata-rata sebesar 86 A. Hasil perhitungan menunjukkan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 46,5%, yang menunjukkan adanya perbedaan pembebanan yang cukup besar antar fasa. Arus netral hasil pengukuran sebesar 69 A menghasilkan rugi daya pada penghantar netral sekitar 1,83 kW. Dengan memperhitungkan rugi inti dan rugi tembaga, total rugi daya diperoleh sekitar 2,39 kW, sedangkan efisiensi transformator sekitar 95,4%. Hasil simulasi ETAP sebelum balancing menunjukkan arus fasa R, S, dan T masing-masing sebesar 113,0 A, 26,0 A, dan 121,1 A dengan arus netral sebesar 91,5 A. Setelah dilakukan balancing, arus fasa menjadi 86,9 A, 86,5 A, dan 86,5 A, sedangkan arus netral turun menjadi 0,4 A. Total rugi daya juga mengalami penurunan dari 0,8 kW menjadi 0,7 kW. Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketidakseimbangan beban berpengaruh terhadap arus netral dan rugi-rugi daya, sedangkan redistribusi beban antar fasa dapat memperbaiki keseimbangan pembebanan transformator.

Kata Kunci: Ketidakseimbangan Beban, Transformator Distribusi, Rugi-Rugi Daya, Efisiensi, Balancing, ETAP 19.0.1.

ABSTRACT

Load imbalance in distribution transformers is one of the problems in electrical power distribution systems that can cause differences in phase currents, increased neutral current, and increased power losses. This study aims to determine the level of load imbalance between phases in the secondary side of a 20 kV distribution transformer at PT PLN (Persero) ULP Makale and to analyze the effect of load imbalance on power losses and transformer efficiency. The research method involved collecting measurement data of phase R, S, T, and neutral currents, phase-to-phase and phase-to-neutral voltages, as well as transformer and network parameters. The analysis was conducted through manual calculations and simulation using ETAP 19.0.1 software. Based on the measurement results on April 4, 2026, the phase currents were 112 A for phase R, 26 A for phase S, and 120 A for phase T, with an average current of 86 A. The calculation results showed a load imbalance percentage of 46.5%, indicating a significant difference in loading among the three phases. The measured neutral current was 69 A, resulting in approximately 1.83 kW of power loss in the neutral conductor. Considering the core and copper losses, the total power loss was approximately 2.39 kW, while the transformer efficiency was approximately 95.4%. The ETAP simulation before balancing showed phase currents of 113.0 A, 26.0 A, and 121.1 A for phases R, S, and T, respectively, with a neutral current of 91.5 A. After load balancing, the phase currents became 86.9 A, 86.5 A, and 86.5 A, while the neutral current decreased to 0.4 A. The total power loss also decreased from 0.8 kW to 0.7 kW. These results indicate that load imbalance affects neutral current and power losses, while load redistribution between phases can improve the load balance of the distribution transformer.

Keywords: *Load Imbalance, Distribution Transformer, Power Losses, Efficiency, Load Balancing, ETAP 19.0.1.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, penyertaan, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Sisi Sekunder Transformator Distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Makale". Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa penyelesaian penelitian tidak terlepas dari bantuan, dukungan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1 Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa memberikan kesehatan, kekuatan, hikmat, dan penyertaan kepada penulis selama proses perkuliahan hingga penyelesaian skripsi.
2 Orang tua tercinta, Ibu Merry Simon dan Ayah Kasmin Wurin, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, perhatian, serta bantuan selama penulis menempuh pendidikan.
3 Saudara-saudari penulis, Adytia Rapa' Kasmin, Albiwin Kasmin dan Ichelia Kasmin yang dengan tulus memberikan semangat, bantuan, dan mendoakan penulis selama ini.
4 Bapak Rektor Universitas Kristen Indonesia Toraja beserta seluruh jajaran yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menempuh pendidikan di Universitas Kristen Indonesia Toraja.

5 Ibu Dekan Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Toraja beserta seluruh jajaran yang telah memberikan dukungan selama proses pendidikan.

6 Bapak/Ibu Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia Toraja yang telah memberikan arahan dan dukungan selama penulis menjalani perkuliahan.

7 Bapak/Ibu dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan, koreksi, dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.

8 Seluruh dosen dan tenaga kependidikan Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan pelayanan selama penulis menempuh pendidikan.

9 Pihak PT PLN (Persero) ULP Makale yang telah memberikan kesempatan dan membantu penulis dalam memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian.

10 Teman-teman mahasiswa Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan dukungan, motivasi, bantuan, dan kebersamaan selama proses perkuliahan dan penyusunan skripsi.

11 Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak demi penyempurnaan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, mahasiswa, akademisi, serta pihak terkait, khususnya dalam pengembangan

kajian mengenai ketidakseimbangan beban dan peningkatan kinerja transformator distribusi.

Penulis

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
TUGAS AKHIR ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR ..... **Error! Bookmark not defined.**
LEMBAR PERSETUJUAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
ABSTRAK vi
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xvi
BAB I ..... **Error! Bookmark not defined.**
PENDAHULUAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.1 Latar Belakang ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.2 Rumusan Masalah ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.3 Tujuan Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.4 Batasan Masalah ..... **Error! Bookmark not defined.**
1.5 Manfaat Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
BAB II ..... **Error! Bookmark not defined.**
TINJAUAN PUSTAKA ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik ..... **Error! Bookmark not defined.**
2.1.2 Fungsi Jaringan Distribusi Primer dan Sekunder **Error! Bookmark not defined.**
2.1.3 Konfigurasi Jaringan Distribusi di PT PLN (Persero)**Error! Bookmark not defined.**
2.1.4 Karakteristik Beban Pelanggan: Rumah Tangga, Bisnis, dan Sosial **Error! Bookmark not defined.**
2.2 Transformator Distribusi ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.2.1 Definisi dan Fungsi Transformator Distribusi .... **Error! Bookmark not defined.**

2.2.2 Prinsip Kerja Transformator ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.2.3 Parameter Teknis Transformator Distribusi..... **Error! Bookmark not defined.**

2.3 Beban Listrik pada Sistem Distribusi..... **Error! Bookmark not defined.**

2.3.1 Jenis Beban (Resistif, Induktif, Kapasitif)..... **Error! Bookmark not defined.**

2.3.2 Beban Satu Fasa dan Tiga Fasa..... **Error! Bookmark not defined.**

2.3.3 Pola Konsumsi Beban Pelanggan ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.4 Ketidakseimbangan Beban ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.4.1 Definisi Beban Seimbang dan Tidak Seimbang . **Error! Bookmark not defined.**

2.4.2 Penyebab Ketidakseimbangan Beban pada Jaringan PLN..... **Error! Bookmark not defined.**

2.5 Parameter Ketidakseimbangan Beban..... **Error! Bookmark not defined.**

2.5.1 Arus per Fasa ($I_{R,}$ $I_{S,}$ I_T) ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.5.2 Arus Netral (I_N) ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.5.3 Arus Beban Penuh Transformator (*Full Load*) ... **Error! Bookmark not defined.**

2.5.4 Persentase Ketidakseimbangan Beban . **Error! Bookmark not defined.**

2.6 Dampak Ketidakseimbangan Beban ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.6.1 Timbulnya Arus Netral ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.6.2 Pemanasan Lebih Pada Kumparan Trafo..... **Error! Bookmark not defined.**

2.6.3 Kenaikan Rugi-Rugi Daya ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.6.4 Penurunan Efisiensi Transformator..... **Error! Bookmark not defined.**

2.7 Standar dan Toleransi Ketidakseimbangan Beban ..... **Error! Bookmark not defined.**

2.7.1 SPLN No. 0017:2014..... **Error! Bookmark not defined.**

2.8 Penelitian Terkait Terdahulu ..... **Error! Bookmark not defined.**

BAB III..... **Error! Bookmark not defined.**

METODOLOGI PENELITIAN..... **Error! Bookmark not defined.**

3.1 Waktu dan Tempat ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.1.1 Waktu ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.1.2 Tempat..... **Error! Bookmark not defined.**
3.2 Alat dan Bahan ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.2.1 Alat..... **Error! Bookmark not defined.**
3.2.2 Bahan..... **Error! Bookmark not defined.**
3.3 Variabel dan Desain Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.3.1 Variabel Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**
3.3.2 Desain Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**
3.4 Prosedur Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**
3.4.1 Tahap Persiapan ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.4.2 Tahap Pengukuran Lapangan..... **Error! Bookmark not defined.**
3.4.3 Tahap Pengolahan Data..... **Error! Bookmark not defined.**
3.5 Bagan Alir Penelitian ..... **Error! Bookmark not defined.**
3.6 Jadwal Penelitian..... **Error! Bookmark not defined.**
BAB IV ..... **Error! Bookmark not defined.**
HASIL DAN PEMBAHASAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.1 Deskripsi Umum..... **Error! Bookmark not defined.**
4.2 Data Trasformator GD 620.AD..... **Error! Bookmark not defined.**
4.3 Hasil Pengukuran Beban GD 620.AD..... **Error! Bookmark not defined.**
4.4 Perhitungan Arus Rata-rata ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.5 Perhitungan Arus Beban Penuh..... **Error! Bookmark not defined.**
4.6 Perhitungan Daya Aktif Output Transformator..... **Error! Bookmark not defined.**
4.7 Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban... **Error! Bookmark not defined.**
4.8 Perhitungan Rugi-Rugi Daya pada Transformator..... **Error! Bookmark not defined.**
4.8.1 Rugi Daya pada Penghantar Netral..... **Error! Bookmark not defined.**
4.8.2 Rugi Tembaga Transformator..... **Error! Bookmark not defined.**
4.8.3 Total Rugi Daya Transformator..... **Error! Bookmark not defined.**

4.8.4 Efesiensi Transformator ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.9 Solusi Penyeimbangan Beban ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.9.1 Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban...**Error! Bookmark not defined.**
4.9.2 Rugi Daya pada Penghantar Netral ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.10 Simulasi ETAP Kondisi Beban Tidak Seimbang ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.11 Simulasi ETAP Setelah Balancing ..... **Error! Bookmark not defined.**
4.12 Pembahasan ..... **Error! Bookmark not defined.**
BAB V ..... **Error! Bookmark not defined.**
KESIMPULAN DAN SARAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.1 Kesimpulan ..... **Error! Bookmark not defined.**
5.2 Saran ..... **Error! Bookmark not defined.**
DAFTAR PUSTAKA ..... **Error! Bookmark not defined.**
LAMPIRAN ..... **Error! Bookmark not defined.**
RIWAYAT HIDUP ..... **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Terdahulu ……26
Tabel 3.1 Jadwal Penelitian ……...36
Tabel 4.1 Spesifikasi Transformatro GD 620.AD ……..……38
Tabel 4.2 Data Penghantar JTR (NFA2X) Berdasarkan SPLN No. 64 Tahun 1985.38
Tabel 4.3 Data Pengukuran Lapangan ……..……39
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Beban Tidak Seimbang ……47
Tabel 4.5 Hasil Simulasi ETAP pada Kondisi Beban Tidak Seimbang ……..……..53
Tabel 4.6 Hasil Simulasi ETAP pada Kondisi Beban Seimbang …….……56
Tabel 4.7 Perbandingan Sebelum dan Setelah Balancing …….……56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Seimbang ..…...…….16
Gambar 2.2 Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Tidak Seimbang ……..……..17
Gambar 3.1 Maps PT. PLN (Persero) ULP Makale ...…….……..30
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian ……...……..35
Gambar 4.1 Single Line Diagram ……...…..…….37
Gambar 4.2 Vektor Diagram Arus dalam Keadaan Seimbang ……..50
Gambar 4.3 Single Line Diagram ETAP Keadaan Beban Tidak Seimbang ……..52
Gambar 4.4 Data Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Tidak Seimbang …...……52
Gambar 4.5 Single Line Diagram Setelah Balancing …...…….54
Gambar 4.6 Data Hasil Simulasi dalam Keadaan Beban Seimbang ……..……55