

TUGAS AKHIR
ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN
TERHADAP RUGI-RUGI DAYA TRAF0 3 FASA PADA
JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 KV DI PT. PLN
ULP RANTEPAO (STUDI KASUS: WILAYAH TONDON SI
BA'TA)

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



Oleh :
RIZAL SIMON KENDEK
1223214002

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 PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP RUGI-RUGI DAYA TRAFO 3 FASA PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 KV DI PT. PLN ULP RANTEPAO (STUDI KASUS: WILAYAH TONDON SI BA'TA)

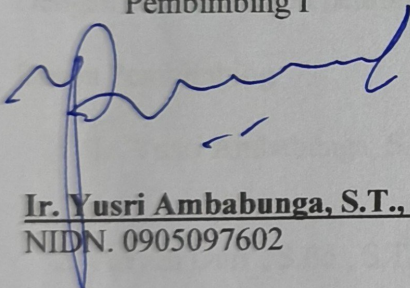
Nama : RIZAL SIMON KENDEK

NIM : 1223214002

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

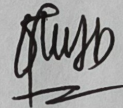
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Ir. Yusri Ambabunga, S.T., M.T.
NIDN. 0905097602

Pembimbing II



Ariyen Duri', S.Pd., S.T., M.T.
NUPTK.1734777678230102

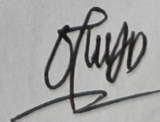
Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. H. Nura S.T., M.T., I.P.M., ASEAN Eng.
NIDN. 0902117802

Ketua Prodi Teknik Elektro



Ariyen Duri', S.Pd., S.T., M.T.
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 : RIZAL SIMON KENDEK

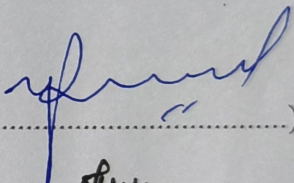
NIM : 1223214002

Judul : ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP RUGI-RUGI DAYA TRAF0 3 FASA PADA JARINGAN TEGANGAN MENENGAH (JTM) 20 KV DI PT. PLN ULP RANTEPAO (STUDI KASUS: WILAYAH TONDON SI BA'TA)

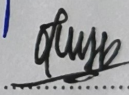
Dengan susunan dosen pembimbing dan penguji seminar sebagai berikut:

Dosen Pembimbing

1. Ir. Yusri Ambabunga, S.T., M.T.

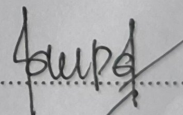
()

2. Ariyen Duri', S.Pd., S.T., M.T.

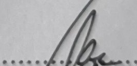
()

Dosen Penguji

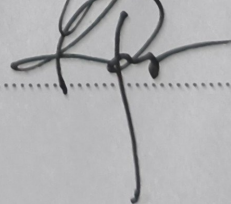
1. Ir. Martina Pineng, S.T., M.T.

()

2. Bergita Gela M. Saka, S.Si., M.Sc.

()

3. Lantana D. Rumpa, S.Kom., M.T.

()

ABSTRAK

Sistem distribusi tenaga listrik harus dijaga dalam kondisi seimbang antar fasa agar tetap stabil dan efisien. Di lapangan, ketidakseimbangan beban sering terjadi akibat distribusi pelanggan satu fasa yang tidak merata, yang berdampak pada peningkatan rugi daya dan potensi pemanasan berlebih pada transformator. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung dan menganalisis persentase ketidakseimbangan beban (%KB) pada transformator tiga fasa di Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV wilayah Tondon Si Ba'ta, serta menganalisis pengaruhnya terhadap kondisi operasi transformator berdasarkan standar SPLN. Data arus tiga fasa (I_R , I_S , I_T) pada sisi primer JTM 20 kV dikumpulkan selama 31 hari pada periode siang dan malam, kemudian dihitung menggunakan metode NEMA dan divalidasi melalui simulasi MATLAB Simulink. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata %KB sebesar 2,54% pada siang hari dan 5,06% pada malam hari, dengan Fasa R secara konsisten menanggung beban terbesar. Nilai %KB tertinggi tercatat sebesar 9,85% pada malam hari ke-28, masih di bawah batas standar SPLN sebesar 10%. Ketidakseimbangan beban juga terbukti berpengaruh terhadap rugi daya transformator, dengan rata-rata rugi daya sebesar 1.458,15 W pada siang hari dan 1.878,65 W pada malam hari, atau meningkat sekitar 28,84%, dengan rugi daya tertinggi sebesar 2.158,74 W pada malam hari ke-26. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun transformator masih beroperasi dalam batas standar SPLN, ketidakseimbangan beban tetap berkontribusi terhadap meningkatnya rugi daya, terutama pada kondisi beban puncak malam hari, sehingga redistribusi pelanggan dari Fasa R ke Fasa S atau T direkomendasikan untuk menjaga margin keamanan operasi transformator.

Kata kunci: ketidakseimbangan beban, rugi daya, transformator distribusi, JTM 20 kV, metode NEMA

ABSTRACT

Electric power distribution systems must be kept balanced across phases to remain stable and efficient. In the field, load unbalance frequently occurs due to uneven distribution of single-phase customers, resulting in increased power losses and a higher risk of transformer overheating. This study aims to calculate and analyze the percentage of load unbalance (%KB) in a three-phase distribution transformer on the 20 kV Medium Voltage Network (JTM) in the Tondon Si Ba'ta area, and to analyze its effect on the transformer's operating condition based on the SPLN standard. Three-phase current data (I_R , I_S , I_T) on the primary side of the 20 kV JTM were collected over 31 days during daytime and nighttime periods, then calculated using the NEMA method and validated through MATLAB Simulink simulation. The results show an average %KB of 2.54% during the day and 5.06% at night, with Phase R consistently carrying the largest load. The highest %KB recorded was 9.85% on night 28, still below the SPLN standard limit of 10%. Load unbalance was also found to affect transformer power losses, with an average loss of 1,458.15 W during the day and 1,878.65 W at night, an increase of approximately 28.84%, with the highest loss of 2,158.74 W recorded on night 26. These results indicate that although the transformer remained within SPLN standard limits, load unbalance still contributed to increased power losses, particularly during nighttime peak load conditions, so customer redistribution from Phase R to Phase S or T is recommended to maintain a safety margin in transformer operation.

Keywords: load unbalance, power losses, distribution transformer, 20 kV medium voltage network, NEMA method

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	0
HALAMAN DEPAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Sistem Tenaga Listrik.....	6
2.1.1 Sistem Pembangkit Tenaga Listrik.....	7
2.1.2 Sistem Transmisi	7
2.1.3 Sistem Distribusi	7
2.1.4 Kestabilan dan Keandalan Sistem Tenaga Listrik	8
2.2 Transformator.....	8
2.2.1 Komponen-Komponen Transformator Distribusi	9
2.2.2 Jenis-Jenis Transformator.....	11
2.3 Jaringan Tegangan Menengah (JTM).....	14

2.3.1 Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)	14
2.3.2 Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM)	15
2.4 Perhitungan Daya	16
2.4.1 Daya Aktif (P)	16
2.4.2 Daya Semu (S)	17
2.4.3 Daya Reaktif (Q)	17
2.5 Rugi Daya (Losses)	18
2.6 Ketidakseimbangan Beban (<i>Load Unbalance</i>)	19
2.7 Dampak Ketidakseimbangan Beban pada Transformator	22
2.8 Penelitian Terkait	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat	27
3.2 Objek penelitian	27
3.3 Variabel Penelitian	28
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.5 Prosedur Penelitian	28
3.6 Metode Analisis Data	31
3.7 Diagram Alir Penelitian (Flow Chart)	33
3.8 JADWAL PENELITIAN	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Data Pengukuran Arus JTM 20 kV	35
4.2 Metodologi Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban (%KB)	38
4.3 Pemodelan Simulasi Ketidakseimbangan Beban dengan MATLAB Simulink	42
4.4 Hasil Simulasi dan Perhitungan Ketidakseimbangan Beban	44
4.5 Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Kondisi Operasi Transformator	51
4.6 Analisis Distribusi Arus Antar Fasa	53
4.7 Evaluasi terhadap Standar SPLN	54
4.8 Perhitungan Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban	55
4.9 Pembahasan	60

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 Kesimpulan	63
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN.....	68

Tabel 4.1 Diagram Transmisi Rangkaian Rangkaian.....	68
Tabel 4.2 Data Pengukuran Daya Tiga Fasa dan Tiga Tegangan.....	69
Tabel 4.3 Hasil Kalkulasi Rangkaian Rangkaian.....	70
Tabel 4.4 Parameter Model Rangkaian.....	71
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Rangkaian Rangkaian.....	72
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Kalkulasi Rangkaian Rangkaian.....	73
Model dan Simulasi MATLAB Simulink	74
Tabel 4.7 Pengaruh Kalkulasi Rangkaian Rangkaian.....	75
Transformasi.....	76
Tabel 4.8 Rangkaian Arus Per Fasa dan Daya Tiga Fasa.....	77
Tabel 4.9 Rangkaian Kalkulasi Rangkaian Rangkaian.....	78
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Daya Tiga Fasa.....	79
Tabel 4.11 Rangkaian Rangkaian Rangkaian Rangkaian.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	23
Tabel 3. 1 Alat dan Bahan Penelitian.....	28
Tabel 3. 2 Jadwal Penelitian	34
Tabel 4.1 Nameplate Transformator Distribusi 100 kVA	35
Tabel 4.2 Data Pengukuran Arus Tiga Fasa Sisi JTM 20 kV (31 Hari)	36
Tabel 4.3 Hasil Ketidakseimbangan Beban (%KB)	40
Tabel 4.4 Parameter Model Simulink	43
Tabel 4.5 Hasil Simulasi Ketidakseimbangan Beban (%KB) Matlab	47
Tabel 4. 6 Selisih Persentase Ketidakseimbangan Beban (%KB) Hasil Perhitungan Manual dan Simulasi MATLAB Simulink.....	49
Tabel 4.7 Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Kondisi Operasi Transformator	51
Tabel 4.8 Rata-rata Arus Per Fasa dan Deviasi Selama 31 Hari	53
Tabel 4.9 Rekapitulasi Ketidakseimbangan Beban dan Evaluasi Standar SPLN.....	54
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban.....	56
Tabel 4.11 Rekapitulasi Rugi Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban	59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem tenaga listrik	6
Gambar 2. 2 Trafo.....	9
Gambar 2. 3 Jaringan Tegangan Menengah (JTM)	14
Gambar 2. 4 vektor diagram arus dalam keadaan seimbang	19
Gambar 2. 5 vektor diagram arus yang tidak seimbang.....	20
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Penelitian.....	27
Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian	33
Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Arus R, S, dan T	38
Gambar 4. 2 Topologi Model Simulink di Matlab	42
Gambar 4. 3 Hasil simulasi Simulink Matlab	44
Gambar 4. 4 Hasil Simulasi Ketidakseimbangan H-1 Siang	45
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Ketidakseimbangan H-1 Malam.....	46
Gambar 4. 6 Grafik Rugi Daya pada simulasi Matlab.....	59