

LAPORAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS *UPRATING* TRANSFORMATOR GARDU DISTRIBUSI MA0072
PENYULANG BELAYU**



POLITEKNIK NEGERI BALI

Oleh:

**I PUTU GEDE MAHESA ADIRAMA ARDANA PUTRA WIJAYA
2115313079**

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK LISTRIK
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI BALI
2025**

ABSTRAK

I Putu Gede Mahesa Adirama Ardana Putra Wijaya

Perencanaan/Analisis Sistem

Analisis Uprating Transformator Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu

Peningkatan kebutuhan energi listrik di wilayah Bali menyebabkan beban pada sistem distribusi, khususnya pada gardu distribusi MA0072 Penyulang Belayu, mengalami overload dengan persentase pembebanan mencapai 154,4%. Kondisi ini menimbulkan gangguan dalam penyaluran daya ke pelanggan dan berpotensi menyebabkan pemadaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode uprating transformator sebagai solusi terhadap permasalahan overload tersebut. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data pengukuran arus dan tegangan, perhitungan daya terpakai, peramalan kebutuhan daya lima tahun ke depan (2026–2030) menggunakan regresi linier, serta analisis persentase pembebanan sebelum dan sesudah uprating. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan mengganti transformator dari kapasitas 25 kVA menjadi 100 kVA, persentase pembebanan dapat diturunkan hingga ke tingkat yang sesuai dengan standar PLN, yaitu di bawah 80%. Uprating transformator terbukti dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi dan kualitas pelayanan listrik kepada konsumen. Penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam perencanaan penguatan infrastruktur distribusi tenaga listrik di masa depan.

Kata kunci: Uprating transformator, gardu distribusi, pembebanan, overload, regresi linier, Penyulang Belayu.

ABSTRACT

I Putu Gede Mahesa Adirama Ardana Putra Wijaya

Planning/Analysis System

Transformer Uprating Analysis of Distribution Substation MA0072 on the Belayu Feeder

The increasing demand for electrical energy in Bali has caused an overload on the distribution system, particularly at distribution substation MA0072 on the Belayu feeder, with a load percentage reaching 154.4%. This condition leads to disturbances in power delivery to customers and increases the risk of outages. This study aims to analyze the effectiveness of the transformer uprating method as a solution to the overload issue. The methodology includes collecting current and voltage measurement data, calculating consumed power, forecasting future power demand for 2026–2030 using linear regression, and analyzing the load percentage before and after the uprating process. The results indicate that replacing the transformer from a 25 kVA unit to a 100 kVA unit successfully reduces the load percentage to a level below PLN's standard threshold of 80%. The uprating method effectively enhances the reliability of the power distribution system and improves service quality for customers. This research can serve as a reference for future distribution infrastructure planning.

Keywords: Transformer uprating, distribution substation, loading percentage, overload, linear regression, Belayu feeder.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	
HALAMAN DALAM	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN PUBLIKASI	iii
FORM PERNYATAAN PLAGIATRISME	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1 LATAR BELAKANG.....	I-1
1.2 Perumusan Masalah	I-2
1.3 Batasan Masalah	I-2
1.4 Tujuan	I-3
1.5 Manfaat	I-3
1.6 Sistematika Penulisan.....	I-3
BAB II TINJUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Tingkat Mutu Pelayanan Listrik	II-1
2.2 Gardu Distribusi	II-2
2.3 Macam – Macam Gardu Distribusi	II-2
2.4 Transformator	II-5
2.5 Transformator Distribusi	II-7
2.6 Jenis Jenis Trafo yang Umum Digunakan	II-8
2.7 Bagian-Bagian Transformator Distribusi.....	II-8
2.8 Standar Dan Syarat Pengoperasian Transformator	II-10
2.9 Gangguan pada Transformator Distribusi	II-12
2.10 Cara Mengatasi Gangguan Akibat Overload	II-13
2.11 Prinsip Kerja Transformator	II-14
2.12 Pembebanan Transformator	II-15
2.13 Overload Transformator	II-17
2.14 Dampak Dari Overload Transformator	II-17
2.15 Metode Uprating	II-19
2.16 Efisiensi Transformator	II-20
2.17 Rugi-Rugi Pada Transformator.....	II-21
2.18 Trafo 3 Fasa	II-22
2.19 Trafo 3 Fasa Seimbang	II-23
2.20 Trafo 3 Fasa Tidak Seimbang	II-25
2.21 Keseimbangan Trafo 3 Fasa	II-27
2.22 Daya Listrik.....	II-28
2.23 Peramalan (Forecasting)	II-30
2.24 Metode Regresi Linier	II-30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1 Metode Penelitian	III-1
3.2 Lokasi Penelitian	III-1
3.3 Sumber dan Data Penelitian	III-2

3.3.1	Sumber Data	III-2
3.3.2	Sumber Data Primer dan Sekunder	III-2
3.4	Instrumen Penelitian.....	III-2
3.5	Diagram Alir	III-4
3.5	Pengambilan Data.....	III-5
3.6	Pengolahan Data	III-5
3.7	Analisis Data	III-6
BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS		IV-1
4.1	Gambaran Umum	IV-1
4.2	Data transformator MA0072	IV-2
4.2.1	Spesifikasi Transformator Distribusi	IV-2
4.2.2	Data Pengukuran Arus dan Tegangan MI0479	IV-3
4.3	Pembahasan.....	IV-3
4.3.1	Perhitungan Daya Terpakai MA0072	IV-5
4.3.2	Perhitungan Peramalan Kebutuhan Daya Listrik Gardu Distribusi MA0072 Tahun 2026-2030	IV-5
4.3.3	Perhitungan Pemakaian Daya Listrik Maksimal Transformator Distribusi.....	IV-9
4.3.4	Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator	IV-9
4.3.4.1	Persentase Pembebanan Transformator Sebelum Dilakukan <i>Uprating</i>	IV-9
4.3.4.2	Persentase Pembebanan Transformator Setelah Dilakukan <i>Uprating</i>	IV-10
4.3.5	Pemeriksaan dan Pengujian Pasca Uprating	IV-12
4.3.5.1	Pemeriksaan Transformator dan Hasil Pasca Uprating.....	IV-14
4.3.5.2	Pengujian Transformator dan Hasil Pasca Uprating	IV-15
4.4	Analisa	IV-18
4.4.1	Daya Terpakai Sebelum <i>Uprating</i> Transformator.....	IV-19
4.4.2	Peramalan Kebutuhan Daya Listrik Tahun 2026-2030	IV-19
4.4.3	Persentase Pembebanan Transformator Sebelum <i>Uprating</i>	IV-20
4.4.4	Persentase Pembebanan Transformator Setelah <i>Uprating</i>	IV-20
4.4.5	Analisis Hasil Pemeriksaan dan Pengujian Transformator.....	IV-22
BAB V PENUTUP		V-1
5.1	Kesimpulan.....	V-1
5.2	Saran.....	V-2
DAFTAR PUSTAKA		V-3
LAMPIRAN.....		V-5

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Gardu beton	II-2
Gambar 2.2. Gardu kios	II-3
Gambar 2.3. Gardu portal	II-4
Gambar 2.4. Gardu cantol.....	II-5
Gambar 2.5. Rangkaian Trafo.....	II-14
Gambar 2.6. Rangkaian Trafo Berbeban.....	II-15
Gambar 2.7. Trafo 3 Fasa	II-23
Gambar 2.8. Trafo 3 Fasa Seimbang	II-24
Gambar 2.9. Trafo 3 Fasa Tidak Seimbang	II-26
Gambar 3.1 SLD Penyulang Belayu.....	III-1
Gambar 3.2 Clamp meter yang digunakan	III-2
Gambar 3.3 Diagram alir	III-4
Gambar 4.1 Gardu Distribusi MA0072.....	IV-1
Gambar 4.2. Nameplate Trafo.....	IV-12
Gambar 4.3. Pengambilan Data Tegangan Ujung Jurusan A	IV-12
Gambar 4.4. Pengambilan Data Tegangan Ujung Jurusan B	IV-13
Gambar 4.5 Grafik Daya Terpakai MA0072 Tahun 2021-2025	IV-19
Gambar 4.6 Grafik Peramalan Kebutuhan Daya Listrik MA0072 Tahun 2026-2030	IV-20
Gambar 4.7 Grafik persentase pembebanan MA0072 Sebelum Uprating.....	IV-20
Gambar 4.8 Grafik Persentase Pembebanan LWBP Setelah Uprating	IV-21
Gambar 4.9 Grafik persentase pembebanan WBP Setelah Uprating	IV-22

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi Trafo Sebelum Uprating	II-7
Tabel 2.2 Pengaruh Pembebanan dan Faktor Daya Terhadap Efisiensi	II-16
Tabel 2.3 Kategori Pembebanan Transformator Terhadap Kapasitas	II-17
Tabel 4.1 Spesifikasi Trafo Sebelum Uprating	IV-2
Tabel 4.2 Data Pengukuran Arus Dan Tegangan Gardu MA0072 2021-2025	IV-3
Tabel 4.3 Data Pengukuran Arus Dan Tegangan Gardu MA0072 2021-2025	IV-3
Tabel 4.4 Daya Terpakai LWBP Dan WBP Pada Tahun 2021-2025.....	IV-5
Tabel 4.5 Koefisien Perhitungan Peramalan Kebutuhan Daya Listrik Pada Tahun 2026-2030 Kondisi LWBP	IV-5
Tabel 4.6 Koefisien Perhitungan Peramalan Kebutuhan Daya Listrik Pada Tahun 2026-2030 Kondisi WBP	IV-7
Tabel 4.7 Peramalan Kebutuhan Daya Listrik Tahun 2026-2030	IV-8
Tabel 4.8 Pemakaian Daya Maksimal Transformator Berkapasitas 50 kVA dan 100 kVA.....	IV-9
Tabel 4.9 Persentase Pembebanan LWBP dan WBP pada tahun 2021-2024.....	IV-10
Tabel 4.10 Persentase Pembebanan LWBP dan WBP Setelah Uprating	IV-10
Tabel 4.11 Persentase Pembebanan Transformator Berdasarkan Peramalan Daya LWBP	IV-11
Tabel 4.12 Persentase Pembebanan Transformator Berdasarkan Peramalan Daya WBP.....	IV-11
Tabel 4.13 Hasil Pengukuran LV Board Gardu MA 0072 WBP	IV-13
Tabel 4.14 Hasil Pengukuran Tegangan Ujung Gardu MA 0072 Siang	IV-13
Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Tegangan Ujung Gardu MA 0072 WBP.....	IV-13
Tabel 4.16 Hasil Pengukuran Gardu MA 0072 Pasca <i>Uprating</i>	IV-14
Tabel 4.17 Rugi Daya,Rugi Besi,Dan Rugi Tembaga Gardu MA 0072	IV-18
Tabel 4.18 Rugi Daya,Rugi Besi,Dan Rugi Tembaga Gardu MA 0072	IV-22

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan kebutuhan energi listrik hingga saat ini semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk sebagai konsumen listrik yang juga semakin bertambah. Hal ini menyebabkan pentingnya menjaga mutu pelayanan energi listrik. Sebagaimana yang kita ketahui bersama perkembangan teknologi yang semakin maju sangat bergantung pada pelayanan listrik yang baik yang andal [1]. Selain keandalan ada beberapa parameter kualitas listrik yang diberikan oleh PLN kepada konsumen seperti parameter tegangan yang diberikan harus stabil dan berada dalam toleransi yang ditetapkan oleh PLN yaitu sekitar $\pm 5\%$ dari nilai nominalnya. Oleh sebab itu PT PLN (Persero) Distribusi Bali khususnya PT PLN (Persero) ULP Tabanan harus mampu menjawab tantangan tersebut, salah satunya dengan cara melakukan uprating transformator distribusi untuk mengantisipasi terjadinya overload pada transformator.

Keandalan gardu distribusi ditentukan oleh beberapa parameter, yang pertama yaitu SAIDI dan SAIFI. Kedua ada kualitas tegangan yang dimana tegangan yang diterima pelanggan harus sesuai standar yaitu $\pm 5 - 10\%$ [2]. Ketiga yaitu kapasitas trafo dan beban yang dimana rasio beban trafo harus sesuai standar yaitu $< 80\%$. Keempat yaitu rugi-rugi jaringan yang dimana kehilangan energi listrik akibat tahanan konduktor, dan arus bocor. Tidak terpenuhinya parameter kesatu akan berdampak [2]. Tidak terpenuhinya parameter kedua akan berdampak tegangan bisa terlalu rendah yang menyebabkan peralatan motor listrik cepat panas [3]. Tidak terpenuhinya parameter ketiga akan berdampak trafo bekerja dalam kondisi overload dan menyebabkan umur trafo pendek. Tidak terpenuhinya parameter keempat akan berdampak rugi-rugi energi tinggi yang menyebabkan efisiensi rendah dan menurunkan keandalan sistem.

Kenyataan dilapangan ditemui pada salah satu jaringan Penyulang Belayu disalah satu wilayah Desa Batannyuh dibuat percabangan untuk mensuplai daya pada gardu distribusi MA0072. Menurut data inspeksi Gardu Distribusi ULP Tabanan tahun 2024, pada Penyulang Belayu terdapat 75 transformator distribusi yang aktif beroperasi. Salah satu dari transformator tersebut adalah transformator pada gardu distribusi MA0072 yang berada di Desa Batannyuh, Marga. Besarnya nilai pembebanan pada transformator ini mencapai 154,4% saat kondisi Waktu Beban Puncak (WBP). Pembebanan transformator

yang cukup baik ketika beban idealnya 60%-80% terhadap kapasitasnya[4]. Untuk menangani gangguan yang sering terjadi maka diperlukan transformator yang mampu untuk mensuplai beban pelanggan yang ada pada gardu tersebut. Untuk dapat meningkatkan kualitas daya di sepanjang saluran Penyulang Belayu, maka PT PLN (Persero) melakukan metode penggantian transformator dari daya 25 kVA dengan persentase pembebanan 154,4% ke transformator yang mempunyai daya 100 kVA. Penggantian transformator ini dilakukan agar nantinya bisa mengurangi terjadinya gangguan seperti *short circuit*, *overload*, rugi-rugi daya pada trafo, penurunan tegangan pada tegangan ujung sehingga pelanggan di ujung jaringan menerima tegangan yang rendah, sehingga dapat menurunkan potensi terjadinya pemadaman tiap tahun yang dapat mengganggu kenyamanan pelanggan. Setelah dilakukannya uprating PLN hanya melakukan tindakan pemeriksaan berupa pemeriksaan pada PHB-TR dan tegangan ujung pada pelanggan dengan hasil persentase pada gardu distribusi mengalami penurunan pembebanan, dan pengujian dengan phase sequence dengan hasil urutan fasa mengarah kekanan yang berarti sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PLN. Berdasarkan hasil pemeriksaan dan pengujian tersebut maka ada pemeriksaan lanjutan seperti pemeriksaan grounding yang toleransi sekitar $<5 \Omega$ dan pengecekan kondisi trafo seperti bushing trafo, arrester dan fco dan pengujian lanjutan seperti pengujian isolasi trafo dan kabel, dan pengujian rasio trafo dengan mengecek kesesuaian rasio tegangan primer dan sekunder setelah uprating sehingga analisa hasil uprating seperti peningkatan kestabilan tegangan, keandalan sistem proteksi, serta penurunan frekuensi gangguan dapat dijadikan acuan dalam menilai keberhasilan uprating gardu distribusi MA0072. Dengan demikian analisis uprating transformator pada gardu distribusi menjadi penting untuk memastikan keandalan pasokan listrik, mengatasi gangguan akibat overload, serta mengoptimalkan investasi dan biaya operasional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sejauh mana uprating dapat diterapkan pada transformator gardu distribusi, faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilannya, serta dampaknya terhadap kinerja sistem distribusi secara keseluruhan.

Berdasarkan permasalahan diatas, maka penelitian ini dilaksanakan dengan judul "ANALISIS UPRATING TRANSFORMATOR GARDU DISTRIBUSI MA0072 PENYULANG BELAYU". Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas tegangan dan pelayanan di sepanjang saluran Penyulang Belayu sehingga dapat menguntungkan bagi pihak PT PLN (Persero) dan konsumen.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan dari latar belakang tersebut, adapun beberapa masalah yang akan dianalisa dalam tugas akhir ini diantaranya :

- a. Berapa besar presentase pembebanan transformator sebelum dilakukan uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu?
- b. Berapa kapasitas transformator Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu yang tepat digunakan untuk menggantikan transformator sebelumnya ?
- c. Berapa besar presentase pembebanan transformator setelah dilakukan uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu?
- d. Apakah setelah dilakukannya uprating presentase pembebanan transformator dapat memenuhi standar yang diharapkan Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu?
- e. Bagaimana Pemeriksaan dan Pengujian pasca uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu?

1.3 Batasan Masalah

Berkaitan dengan latar belakang diatas, untuk menghindari dari meluasnya pembahasan diluar permasalahan, maka penulis membatasi permasalahan yang akan dibahas sebagai berikut :

- a. Penulis hanya membahas persentase pembebanan sebelum dan sesudah dilakukannya uprating pada gardu distribusi MA0072
- b. Penulis hanya membahas kapasitas transformator yang digunakan pada saat uprating pada gardu distribusi MA0072
- c. Penulis hanya membahas perbandingan persentase pembebanan sebelum dan sesudah dilakukannya uprating pada gardu distribusi MA0072

1.4 Tujuan

Adapun beberapa tujuan menganalisa masalah diatas diantaranya:

- a. Untuk menganalisis besar persentase pembebanan transformator sebelum dilakukan uprating pada gardu distribusi MA0072
- b. Untuk menganalisis besar persentase pembebanan transformator setelah dilakukan uprating pada gardu distribusi MA0072
- c. Untuk menganalisis daya transformator yang tepat untuk digunakan pada gardu distribusi MA0072

- d. Untuk menganalisis perbandingan persentase pembebanan sebelum dan sesudah dilakukannya uprating pada gardu distribusi MA0072
- e. Untuk menganalisis kesesuaian hasil uprating berdasarkan data hasil pemeriksaan dan pengujian pasca uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini antara lain :

- a. Dapat mengetahui cara menganalisa perencanaan uprating transformator, serta mengetahui cara menentukan kapasitas transformator yang akan digunakan.
- b. Dapat menjadi referensi pemilihan kapasitas transformator dalam pekerjaan perencanaan uprating transformator.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan oleh penulis dalam tugas akhir ini terdiri dari 5 BAB yang masing-masing isinya berbeda namun terkait satu dengan yang lainnya. Perinciannya adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi latar belakang, masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini berisi teori sistem distribusi, teori transformator, peramalan kebutuhan daya listrik, persentase pembebanan transformator dan teori-teori lainnya yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dibahas

BAB II METODELOGI

Pada bab ini berisi tentang metodologi penelitian, lokasi penelitian, diagram alir, pengambilan data, jenis data, sumber data, pengolahan data dan analisis data.

BAB IV PEMBAHASAN DAN ANALISIS

Pada bab ini berisi tentang gambaran umum gardu distribusi MA0072, data pengukuran gardu distribusi MA0072, perhitungan daya terpakai di gardu distribusi MA0072, dan perhitungan persentase pembebanan transformator MA0072 tahun 2021-2025.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan permasalahan yang dibahas dan saran-saran yang dapat bermanfaat bagi pembaca.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat ditarik dari pembahasan dan analisis yang telah dipaparkan adalah :

- a. Besar presentase pembebanan transformator sebelum dilakukan uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu 154,4% kondisi WBP.
- b. Kapasitas transformator Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu yang tepat digunakan untuk menggantikan transformator sebelumnya yaitu 50 kVA.
- c. Besar presentase pembebanan transformator setelah dilakukan uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu adalah sebesar 39% , presentase pembebanan ini dibandingkan dengan standar PLN yang berlaku termasuk dalam kategori terlalu rendah karena ideal dari persentase pembebanan trafo yaitu 60-80%.
- d. Setelah dilakukannya uprating presentase pembebanan transformator terlalu rendah dibandingkan dengan standar yang diharapkan Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu.
- e. Berdasarkan pemeriksaan dan Pengujian pasca uprating Gardu Distribusi MA0072 Penyulang Belayu diperoleh hasil efisiensi trafo rugi tembaga meningkat sangat besar dan efisiensi menurun drastis ($< 95\%$). Sesudah uprating beban hanya 39,5 %, rugi-rugi total hanya sekitar 432 W. Efisiensi meningkat menjadi 99,99 %, sesuai standar PLN (umumnya $\geq 98\%$ untuk trafo distribusi), sehingga trafo bekerja lebih ringan, umur pakai lebih panjang, dan kualitas suplai ke konsumen lebih baik.

5.2. Saran

- a. Berdasarkan hasil analisa di atas, maka penulis menyarankan untuk menjadikan transformator dengan kapasitas 50 KVA sebagai pilihan dalam menentukan kapasitas transformator pengganti yang ideal karena berdasarkan peramalan kebutuhan daya listrik hingga tahun 2030 dan dalam regulasi PLN yaitu Edaran Direksi Nomor : 0017.E/DIR/2014 menyatakan bahwa transformator akan beroperasi dengan cukup baik apabila persentase pembebanan nya dibawah nilai 80%.

- b. Untuk hasil peramalan yang lebih akurat, sebaiknya yang menjadi pertimbangan tidak cukup dari historis daya terpakai saja. Perlu dipertimbangkan juga faktor-faktor lainnya seperti faktor pertumbuhan ekonomi, faktor karakteristik masyarakat, dan lain-lain
- c. Untuk memastikan trafo dapat beroperasi memenuhi standar, maka PLN hendaknya melakukan pemeriksaan dan pengujian, sehingga dapat dipenuhinya Mutu Pelayanan PLN sesuai Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor : 185.K/Tl.04/DJL.3/2024 Tanggal : 1 April 2024 Tentang Besaran Tingkat Mutu Pelayanan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2024 .
- d. Untuk memastikan keseimbangan beban pada trafo memenuhi standar dan tidak merugikan pelanggan,sebaiknya pihak PLN melakukan penyeimbangan beban antar fasa pada pelanggan tegangan ujung dan pada pelanggan yang terdekat dengan gardu agar tidak terjadinya kelebihan beban maupun drop voltage pada beban yang menyebabkan kerugian ekonomis pada pelanggan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O.Gede, "OVERBLAST," https://Repository.Pnb.Ac.Id/14361/1/RAMA_20403_2115313080_0004046513_0017078006_part.Pdf, 2024.
- [2] B. Sukmawati, "Analysis of The Reliability of The 20 kV Distribution System of PT PLN Persero ULP Tarakan Using Root Cause Problem Solving Methods.," *Journal of Emerging Supply Chain, Clean Energy, and Process Engineering*, vol. 2, no. 2, Oct. 2023.
- [3] M. Parol, J. Wasilewski, T. Wojtowicz, B. Arendarski, and B. Arendarski, "Reliability Analysis of MV Electric Distribution Networks Including Distributed Generation and ICT Infrastructure," *Energies (Basel)*, vol. 15, no. 4, p. 5311, 2022.
- [4] E. D. P. P. (Persero), *Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset*, No: 0017.E. Jakarta, 2014.
- [5] Kementerian ESDM Republik Indonesia, *Tingkat Mutu Pelayanan (TMP) PT PLN (Persero)*. Bogor: Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2022 (Dasar hukum: Permen ESDM No.27 Tahun 2017 jo No.18 Tahun 2019).
- [6] D. Suswanto, "Sistem Distribusi TL," <https://Daman48.Wordpress.Com/Wp-Content/Uploads/2010/11/Materi-9-Gardu-Distribusi.Pdf>.
- [7] R. R, *Mutasi Transformator Untuk Mencegah Terjadinya Gangguan Beban Lebih Di PT. PLN (Persero) ULP Tambun*. Jakarta: Institut Teknologi – PLN, 2020.
- [8] S. Diki, "Rugi-Rugi Trafo," <https://Www.Scribd.Com/Document/396573159/Rugi-Rugi-Pada-Transformator>, 2022.
- [9] P. Jason, S. I, and S. D, "Analisis ketidakseimbangan beban," <https://Repository.Pnb.Ac.Id/3008/>, 2022.
- [10] Ratno Wibowo and S. W, *Buku 4 Standar konstruksi gardu distribusi dan gardu hubung tenaga listrik*. PT PLN (Persero), 210AD.
- [11] K. B. Distribusi, *SPLN D3.002-1 Spesifikasi Transformator Distribusi*. Jakarta: PT PLN (Persero), 2007.
- [12] SPLN NO 50 1997, "SPLN NO 50 1," <https://Pdfcoffee.Com/Spln-50-1997-Spesifikasi-Trafo-Distribusi-3-Pdf-Free.Html>.
- [13] Daelim Transformer, "The Harm of Outlet Short-Circuit Faults to Power Transformers," Jun. 2024.
- [14] Zuhail, "Dasar Teknik TL," <https://Www.Scribd.Com/Document/404640889/334930675-Dasar-Tenaga-Listrik-Elektronika-Daya-by-Zuhail-Pdf-Pdf>, 2000.
- [15] M. Parsa and A. C. A, "Analisis uprating trafo ulp kupang," https://Ejurnal.Undana.Ac.Id/Index.Php/Jurnal_teknologi/Article/View/16414.

- [16] PLN, “Pedoman Teknik Transformator Distribusi,” *PT PLN (Persero)*.
- [17] T. A and S. Muliadi, “Analisis Efisiensi Transformator,” <https://ejournal.unida-aceh.ac.id/index.php/Ajeetech/Article/View/538>., 2023.
- [18] Risma.S, “Faktor yang mempengaruhi efisiensi transformator,” <https://www.kapitareka.com/artikel/faktor-faktor-yang-mempengaruhi-efisiensi-transformator/>..
- [19] T. D. M. Pandiangan, A. Afiqadli, J. Napitupulu, and J. Jumari, “Analisa Unjuk Kerja Transformator Tiga Fasa Gardu Induk Pematangsiantar Pt Pln (Persero),” *Jurnal Teknologi Energi Uda: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 24–35, 2023.
- [20] S. S. J, M. T, and I. Y, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi,” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2008.
- [21] G. N. Ayuni and D. Fitriana, “Penerapan metode regresi linier untuk prediksi penjualan properti pada PT XYZ,” *Institut Teknologi Harapan Bangsa*, 2019.
- [22] A. A. Muhartini, O. Sahroni, S. D. Rahmawati, T. Febrianti, and I. Mahuda, “Analisis peramalan jumlah penerimaan mahasiswa baru dengan menggunakan metode regresi linear sederhana ,” 2021.