

STUDI TENTANG EFEK PURIFIKASI MINYAK TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR 70 MVA UNIT 2 DI PLTP GUNUNG SALAK

Tony Koerniawan^{1*}, Aas Wasri Hasanah², Alsyra Tasya Kurnia³,
Sandi Budi Kurniawan⁴, Satrio Yudho⁵, Andi Dyah Harum Hardyanti⁶, Evi Suhaevi⁷

^{1,2,3,4} Sekolah Vokasi, Institut Teknologi PLN

⁵Fakultas Telematika dan Energi, Institut Teknologi PLN

⁶Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Institut Teknologi PLN

⁷Teknik Elektro, Universitas Bung Karno

Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta Barat 11750.

Jl. Pegangsaan Timur No. 17A, Menteng, Jakarta Pusat 10310.

*Email: tony.koerniawan@itpln.ac.id

Abstrak

Transformator merupakan komponen yang sangat krusial dalam sistem kelistrikan, terutama pada pembangkit listrik, di mana kinerja operasionalnya sangat dipengaruhi oleh kualitas isolasi. Permasalahan yang sering terjadi adalah penurunan kualitas minyak isolasi akibat adanya kontaminan, yang dapat meningkatkan rugi-rugi energi dan menurunkan efisiensi transformator. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan pemeliharaan rutin pada transformator MV Unit 2 berkapasitas 70 MVA di PT PLN Indonesia Power PLTP Gunung Salak dengan menerapkan metode purifikasi minyak saat kegiatan overhaul. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan membandingkan data parameter minyak dan performa transformator sebelum dan sesudah proses purifikasi, yang meliputi tahapan penyaringan, pemanasan, dan pemvakuman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa purifikasi minyak mampu meningkatkan kualitas minyak isolasi, yang ditandai dengan penurunan kadar air sebesar 25%, peningkatan nilai breakdown voltage sebesar 60%, penurunan suhu minyak rata-rata sebesar 18,8%, serta penurunan rugi-rugi daya sebesar 20,39%. Secara keseluruhan, efisiensi transformator meningkat sebesar 5,79%, yang membuktikan bahwa purifikasi minyak berperan penting dalam menjaga keandalan dan efisiensi sistem tenaga listrik di PLTP Gunung Salak.

Kata Kunci : efisiensi, purifikasi, transformator, pemeliharaan, isolasi.

1. PENDAHULUAN

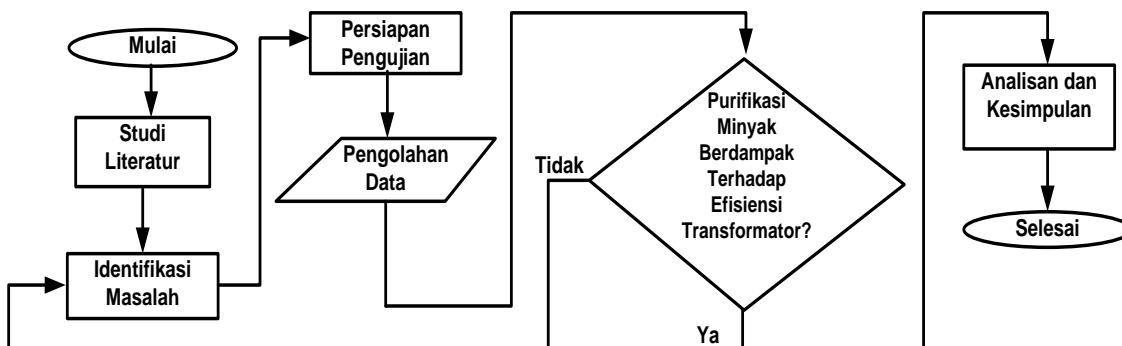
Kontaminasi minyak transformator merupakan faktor yang dapat menurunkan kemampuan isolasi, meningkatkan rugi-rugi inti dan tembaga, serta mengurangi efisiensi operasi transformator (Putri, 2020). Kondisi ini sangat penting diperhatikan di PLTP Gunung Salak unit pembangkit di bawah Unit Bisnis Pembangkitan Kamojang karena keandalan transformator berpengaruh langsung terhadap kontinuitas penyaluran daya dan performa sistem pembangkit (Sulistiyono, 2017). Berbagai studi menunjukkan bahwa kualitas minyak transformator memiliki peran krusial terhadap kinerja peralatan (Badaruddin, 2023), bahwa purifikasi minyak mampu meningkatkan tegangan tembus dan kualitas isolasi (Mubarok, 2023), serta bahwa efisiensi transformator dapat mencapai 99,91% pada kondisi operasi tertentu (Tomi, 2023). Namun, kajian yang secara khusus menilai dampak purifikasi minyak terhadap perubahan efisiensi transformator pada lingkungan pembangkit panas bumi masih terbatas, terutama pada unit operasi dengan karakteristik termal seperti di PLTP Gunung Salak.

Sejalan dengan kondisi tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini ditetapkan pada kebutuhan untuk memahami sejauh mana proses purifikasi minyak berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi transformator pada Unit 2 PLTP Gunung Salak *pasca-overhaul* April 2025. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi perubahan kualitas minyak sebelum dan sesudah purifikasi serta menganalisis pengaruhnya terhadap efisiensi transformator sebagai bagian dari upaya penguatan keandalan dan efisiensi sistem pembangkitan panas bumi.

2. METODOLOGI

2.1. Diagram Alir Penelitian

Di bawah ini merupakan alur tahapan penelitian yang sesuai dengan latar belakang di atas.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur untuk mengumpulkan referensi terkait efisiensi transformator dan proses purifikasi minyak. Selanjutnya dilakukan identifikasi masalah serta persiapan pengujian guna menentukan metode dan alat yang digunakan. Data hasil pengujian kemudian masuk ke tahap pengolahan data untuk dianalisis apakah purifikasi minyak berpengaruh terhadap efisiensi transformator.

2.2. Minyak Transformator

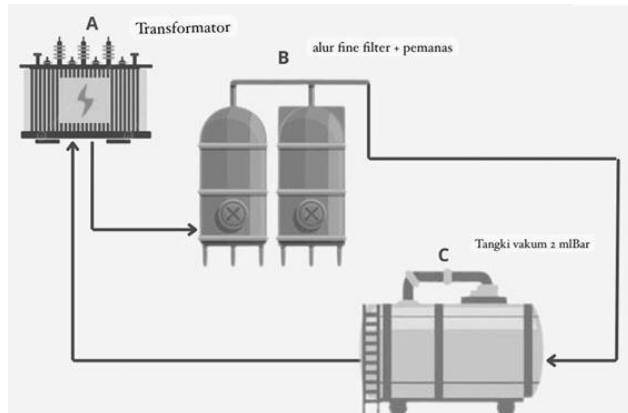
Minyak transformator merupakan isolasi cair yang berfungsi untuk memisahkan dan mendinginkan komponen di dalam transformator (Diantari, 2018). Sebagai media isolasi, minyak harus mampu menahan tegangan tinggi guna mencegah percikan listrik pada kumparan (Suherman, 2020). Selain berperan sebagai isolator, minyak juga berfungsi menyerap dan mengantarkan panas untuk menjaga suhu operasi serta melindungi transformator dari kegagalan (Sabari, 2014).

2.3. Purifikasi Minyak

Purifikasi minyak merupakan proses penghilangan kontaminan dari minyak isolasi, seperti udara, gas, partikel padat, serta bahan kimia yang tidak diinginkan (Sahwara, 2022). Pada minyak transformator, proses ini dilakukan menggunakan alat *high vacuum oil cleaner* untuk membersihkan atau mengurangi kontaminasi fisik berupa partikel padat, kelembapan, dan kandungan gas agar kualitas minyak tetap optimal.

2.4. Metode Purifikasi Minyak Transformator

Proses purifikasi oli trafo dilakukan secara berulang dan jumlah sirkulasi tergantung pada kondisi dan umur minyak. Menurut manual trafo, oli baru membutuhkan 2–3 sirkulasi, sedangkan oli lama memerlukan 4–6 sirkulasi. Dengan waktu ± 17 menit per liter untuk satu sirkulasi, proses purifikasi memakan waktu sekitar 34–51 menit untuk oli baru dan 68–102 menit untuk oli lama (Sahwara, 2022). Purifikasi penting karena minyak yang kualitasnya menurun, misalnya akibat peningkatan kadar air atau turunnya *breakdown voltage*, akan mengurangi kemampuan isolasi dan pendinginan, meningkatkan suhu operasi, mempercepat degradasi isolasi padat, menambah rugi-rugi, dan menurunkan efisiensi transformator (Pramudya, 2023). Siklus ini, jika tidak dihentikan melalui perawatan seperti purifikasi, akan memperpendek umur transformator.



Gambar 2. Proses purifikasi minyak transformator

Purifikasi minyak transformator meliputi tiga tahap utama seperti pada gambar 2 yaitu: penyaringan, pemanasan, dan pemvakuman (Bambang, 2019). Pada tahap penyaringan, minyak yang telah dipisahkan dari kelembapan dan asam dialirkan melalui *filter*, termasuk *filter* halus 10 mikron, untuk menangkap partikel halus dan kotoran. Penyaringan dilakukan dua kali, pertama saat *filtering* awal dan kedua setelah pemvakuman, dengan *filter* dibersihkan atau diganti sesuai kebutuhan. Tahap pemanasan dilakukan secara bertahap hingga $\pm 50^{\circ}\text{C}$ di ruang vakum, sehingga air dan gas terlarut menguap tanpa merusak minyak, sekaligus menurunkan kelembapan dan meningkatkan kualitas isolasi. Pada tahap pemvakuman, minyak diempatkan dalam 206 vakum dengan tekanan sekitar 2 mlBar agar gas terlarut dan air menguap lebih cepat pada suhu rendah. Selama proses ini, tekanan dan suhu dipantau untuk menjaga keamanan dan efektivitas, sehingga setelah pemvakuman, minyak siap untuk penyaringan akhir dan digunakan kembali.

2.5. Breakdown Voltage

Breakdown voltage atau tegangan tembus merupakan tegangan maksimum yang dapat diterapkan pada bahan isolasi sebelum kehilangan sifat isolatifnya dan menjadi konduktif akibat kerusakan dielektrik (Dolok, 2016). Hal ini terjadi ketika medan listrik melebihi kekuatan kritis material, menyebabkan loncatan listrik (*discharge*) akibat terlepasnya elektron bebas. Fenomena ini penting dalam teknik listrik, terutama untuk desain dan pengujian bahan isolasi seperti minyak trafo, gas SF₆, resin epoksi, dan udara pada saluran tegangan tinggi, karena dielektrik memiliki sifat-sifat kelistrikan tertentu (Kunto, 2008). Pengujian *breakdown voltage* dilakukan untuk menilai kualitas serta kemurnian minyak isolasi melalui sampel minyak hasil purifikasi yang diuji dalam sel dengan elektroda silinder 5 mm × 50 mm berjarak 2,5 mm (Pasra, 2023). Data hasil uji digunakan untuk mengevaluasi efektivitas purifikasi dan memastikan minyak memenuhi standar agar operasi peralatan listrik tetap aman dan efisien.

2.6. Teknik Analisis Data

Untuk menganalisa data yang ada pada penelitian ini, penulis menggunakan metode kuantitatif. Dengan data-data yang sudah dikumpulkan, untuk mengetahui nilai efisiensi sebelum dan setelah dilakukannya purifikasi minyak, penulis juga melakukan penghitungan dan pengujian pada pengolahan data. Sebelum menghitung efisiensi, penulis juga mendapatkan data rata-rata dari pembebahan transformator. Untuk mengetahui efisiensi suatu transformator ini, menggunakan persamaan (Guru, 2001) :

$$n = \frac{P_{(out)}}{P_{(in)}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Total losses} = \text{No load losses} + \text{Load losses} \quad (2)$$

$$\text{Load losses} = \text{Primary losses} + \text{Secondary losses} \quad (3)$$

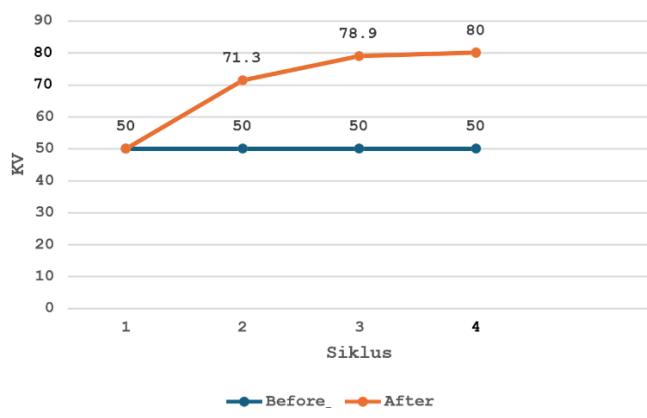
$$Primary\ losses = 3 \times I_p^2 \times R_p \times Safety\ factor \quad (4)$$

$$Secondary\ losses = 3 \times I_s^2 \times R_s \times Safety\ factor \quad (5)$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{V_s}{V_p} \rightarrow I_p = I_s \times \frac{V_s}{V_p} \quad (6)$$

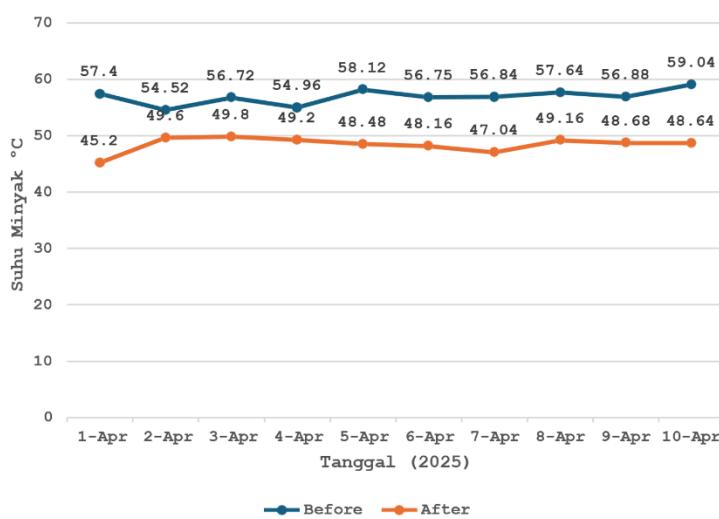
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Purifikasi Minyak Transformator



Gambar 3. Grafik hasil pengujian *breakdown voltage*

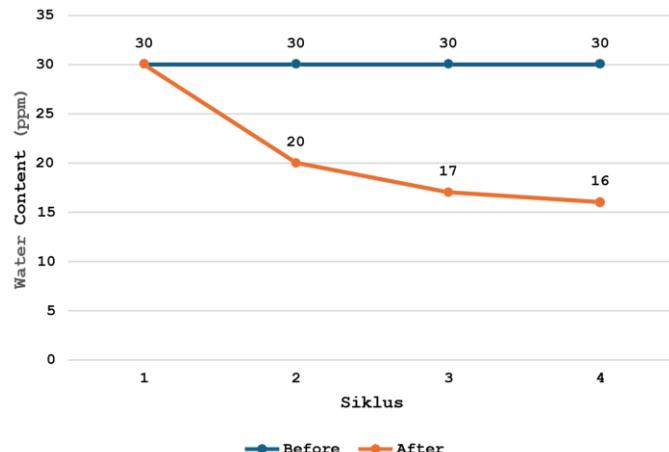
Berdasarkan gambar 3, nilai *breakdown voltage* (BDV) minyak transformator setelah proses purifikasi meningkat signifikan dari 50 kV menjadi 80 kV, atau naik sekitar 60%. Peningkatan ini mencerminkan perbaikan mendasar pada sifat dielektrik minyak, sehingga mampu menahan tegangan lebih besar sebelum terjadi kegagalan isolasi. Secara kausal, hal ini menunjukkan bahwa proses purifikasi berhasil mengurangi faktor-faktor yang memicu ionisasi, seperti kadar air dan kontaminan. Dengan BDV yang lebih tinggi, risiko percikan listrik dan kerusakan kumparan berkurang, sehingga transformator dapat beroperasi lebih aman dan efisien.



Gambar 4. Grafik perbandingan suhu minyak transformator

Penurunan suhu minyak yang ditunjukkan pada gambar 4, dari rata-rata 56–59°C menjadi 47–49°C, mendukung peningkatan BDV yang telah terjadi. Secara analitis, suhu tinggi dalam minyak biasanya disebabkan oleh rugi-rugi dielektrik dan arus bocor yang memicu pelepasan energi panas. Dengan meningkatnya BDV, jalur konduksi berkurang, sehingga energi yang hilang dalam bentuk

panas juga menurun. Proses sirkulasi dan pendinginan selama perawatan memperkuat efek ini, menciptakan kondisi termal yang lebih stabil. Penurunan suhu tidak hanya mengurangi risiko degradasi minyak, tetapi juga memperlambat penuaan isolasi padat, sehingga umur transformator dapat diperpanjang.



Gambar 5. Grafik hasil water content

Penurunan kadar air yang terlihat pada gambar 5, dari 30 ppm menjadi 16 ppm, merupakan faktor utama keberhasilan purifikasi. Air dalam minyak bersifat konduktif dan mempercepat proses ionisasi, sehingga keberadaannya menurunkan kekuatan dielektrik. Dengan berkurangnya kadar air, jumlah molekul polar yang memicu arus bocor berkurang drastis, sehingga minyak mampu menahan tegangan lebih tinggi tanpa terjadi *breakdown*. Selain itu, penghilangan partikel kontaminan membuat minyak lebih homogen, mengurangi titik lemah yang dapat memicu pelepasan muatan. Secara keseluruhan, penurunan kadar air tidak hanya meningkatkan BDV, tetapi juga menurunkan suhu melalui pengurangan rugi-rugi energi. Hal ini membuktikan bahwa purifikasi minyak transformator efektif dalam meningkatkan kualitas isolasi, menjaga kestabilan termal, dan memperpanjang umur operasi transformator.

3.2 Hasil Analisa Perbandingan Efisiensi Transformator

Berdasarkan data *manual book*, diperoleh nilai ketetapan: *safety factor* 1,143; resistansi primer 0,339983013 Ω ; resistansi sekunder 0,000389193 Ω ; dan *no-load losses* 2 kW, dengan rasio tegangan transformator 2BAT sebesar 11,8 kV/150 kV. Hasil monitoring menunjukkan arus sekunder rata-rata sebelum purifikasi 2950 A dan menurun menjadi 2829 A setelah purifikasi. Daya keluaran meningkat dari 59,178 MW menjadi 60,457 MW. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (6), arus primer sebelum purifikasi sebesar 37,495 A, sehingga *primary losses* dan *secondary losses* (persamaan (4) dan (5)) masing-masing 1,68 kW dan 11,918 kW. *Load losses* (persamaan (3)) sebesar 13,598 kW, sehingga total *losses* sebelum purifikasi (persamaan (2)) mencapai 15,598 kW. Efisiensi transformator sebelum purifikasi dihitung 79,12% sesuai persamaan (1). Perhitungan serupa dilakukan untuk kondisi setelah purifikasi, dengan hasil ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan efisiensi transformator 2BAT

Kondisi	Output (kW)	Losses (kW)	Input (kW)	Efisiensi (%)
Sebelum Purifikasi	59,178	15,598	74,776	79,12 %
Setelah Purifikasi	60,037	12,49	72,257	83,7 %

Berdasarkan tabel 1, proses purifikasi minyak pada transformator 2BAT memberikan dampak signifikan terhadap kinerja transformator. Sebelum purifikasi, daya keluaran (*output*) tercatat sebesar 59,178 kW dengan rugi-rugi daya mencapai 15,598 kW, sehingga efisiensi transformator hanya

79,12%. Setelah dilakukan purifikasi, daya keluaran meningkat menjadi 60,037 kW, sementara rugi-rugi daya turun menjadi 12,49 kW, dan efisiensi naik menjadi 83,7%. Penurunan rugi-rugi sebesar 20,39% serta peningkatan efisiensi sebesar 5,79% menunjukkan bahwa purifikasi minyak mampu mengurangi resistansi internal dan kehilangan energi selama proses operasi. Selain itu, penurunan input daya dari 74,776 kW menjadi 72,257 kW mengindikasikan bahwa transformator bekerja lebih efisien dengan energi yang lebih sedikit untuk menghasilkan daya keluaran yang lebih besar. Secara keseluruhan, data pada tabel 1 membuktikan bahwa purifikasi minyak tidak hanya meningkatkan kualitas isolasi, tetapi juga memperbaiki performa transformator dalam mengonversi daya secara optimal.

4. KESIMPULAN

Transformator 2BAT 70 MVA menunjukkan kontaminasi minyak isolasi sebelum purifikasi, ditandai dengan BDV rendah (50 kV/2,5 mm) dan suhu tinggi (57,4–59,04 °C). Setelah purifikasi kualitas minyak meningkat BDV naik 60% menjadi 80 kV/2,5 mm, suhu turun 18,8% menjadi 47,5 °C, dan kadar air berkurang 25% menjadi 16 ppm. Perbaikan ini meningkatkan efisiensi transformator dari 79,12% menjadi 83,7% dan menurunkan rugi-rugi dari 15,598 kW menjadi 12,49 kW (20,39%), menunjukkan bahwa purifikasi minyak efektif meningkatkan kinerja, efisiensi, dan keandalan transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Badaruddin, & Firdianto, F. A. (2016). Analisa minyak transformator pada transformator tiga fasa di PT X. *Jurnal Teknologi Elektro*, Universitas Mercu Buana.
- Bambang Djaja. (2019). *Transformer purification: Process for maintaining transformer*.
- Dolok Saribu, D. H., & Firdaus. (2016). Analisis karakteristik breakdown voltage pada dielektrik minyak transformator 45 MVA dengan suhu operasi yang bervariasi di Pusat Listrik Kota Panjang. Universitas Sumatera Utara.
- Diantari, R. A., Sofwan, A., & Susanty, A. (2018). Analisis tegangan tembus minyak jarak dan minyak Shell Diala B sebagai isolasi cair transformator. *Jurnal Teknik Elektro*, Universitas Diponegoro.
- Guru, B. S., & Hiziroglu, H. R. (2001). *Electric machinery and transformers* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Kunto Wibowo, W. Y., & Syakur, A. (2008). Analisis karakteristik breakdown voltage pada dielektrik minyak Shell Diala B pada suhu 30°C–130°C. *Diponegoro University Journal*, 3(1), 1–11.
- Mubarok, H. K. (2023). Analisis pengaruh purifikasi (filtering) terhadap kualitas tegangan tembus minyak transformator. *JETI (Jurnal Elektro dan Teknologi Informasi)*, 2(1), 1–6.
- Pasra, N., Firmansyah, D., Mauriraya, K. T., & Fernandes, A. (2023). Pengujian minyak transformator dengan uji tegangan tembus pada main transformator GT 1.2 PT. PLN Indonesia Power Cilegon PGU. *Prosiding SENTER 2023*, 51–58.
- Pramudya, F., Fauzan, & Subhan. (2023). Studi proses purifikasi dan rekonsiliasi minyak transformator dengan penambahan senyawa fenol pada PT PLN (Persero) UPT Banda Aceh UIP3B Sumatera. *Jurnal Teknik Elektro*, Universitas Syiah Kuala.
- Putri, A. M., Yassir, & Maimun. (2020). Studi pengaruh pembebanan terhadap efisiensi transformator 66 MVA di PLTNG Sumbagut 2 Peaker 250 MW. *Jurnal Tektro*, 4(2), 118.
- Sabari, S., & Suhardi. (2014). Fungsi minyak isolasi pada transformator yang berkapasitas besar. Politeknik Harapan Bersama Tegal.
- Sahwara, A., & Hariyanto, N. (2022). Filterisasi minyak transformator untuk peningkatan kualitas di unit layanan transmisi Gardu Induk Bandung Barat.
- Sulistiyono, S., & Nur Azis, H. (2017). Analisis pengaruh masa operasional terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi di PT. PLN (Persero). *Jurnal Teknik Mesin*, 5(4), 40.
- Suherman, E., & Akbar, M. (2020). Analisis karakteristik minyak transformator Starlite 400 kVA terhadap tegangan tembus. Universitas Darma Persada.

Tomi, A., Muliadi, & Syukri. (2023). Analisis efisiensi transformator daya di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ulee Kareng Aceh. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 3(1), 8–13.