

ANALISIS EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 2500 KVA/11,5 KV PADA PABRIK KERTAS PT XYZ BERBASIS BEBAN OPERASIONAL MESIN PRODUKSI

Mila Khoirun Nisa¹⁾, Denny Irawan²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik
Jl. Sumatra No 101, Gresik 61121, Jawa Timur, Indonesia
E-mail : ¹⁾milanisa009@gmail.com, ²⁾den2mas@umg.ac.id

ABSTRAK

Transformator distribusi 2500 kVA/11,5 kV memiliki peran vital sebagai sumber suplai utama bagi mesin-mesin produksi di PT XYZ. Dalam operasi industri kertas yang sarat beban motor induksi dan fluktuasi proses, performa transformator sangat ditentukan oleh profil beban aktual. Penelitian ini menganalisis efisiensi transformator berdasarkan data pengukuran beban nyata selama periode 23–31 Maret 2025 menggunakan *Power Quality Analyzer*, disandingkan dengan evaluasi berbasis standar IEEE, IEC, dan SNI. Hasilnya menunjukkan beban rata-rata 967,05 kW dengan puncak 1.500,23 kW, dengan *power factor* konsisten 0,98 dan *load factor* 64,5. Efisiensi transformator berada pada rentang 98,99%-99,50%, dengan nilai optimal. Analisis efisiensi menunjukkan transformator mencapai performa maksimum 99,32% pada loading optimal 44,7%, memenuhi dan melebihi persyaratan standar IEC 60076, IEEE C57, dan SNI 04-3981-1995 dengan klasifikasi *high efficiency* Tier 2. Evaluasi teknis mengungkapkan ketidakseimbangan beban sangat baik (<3% pada 85% waktu operasi) dan stabilitas tegangan dalam toleransi 0,87%. Penelitian merekomendasikan optimasi load management, evaluasi rightsizing kapasitas transformator, dan implementasi energi management sistem untuk meningkatkan efisiensi ekonomis meskipun efisiensi teknis sudah *excellent*. Hasil penelitian berkontribusi pada strategi pengurangan kerugian energi dan peningkatan efisiensi sistem distribusi listrik di sektor industri kertas.

Kata kunci : transformator distribusi, efisiensi energi, beban operasional, pabrik kertas, *load factor*.

ABSTRACT

The 2500 kVA/11.5 kV distribution transformer plays a vital role as the main supply source for production machines at PT XYZ. In the paper industry operation which is heavily loaded with induction motors and process fluctuations, transformer performance is highly determined by the actual load profile. This study analyzes transformer efficiency based on real load measurement data during the period of March 23–31, 2025 using a Power Quality Analyzer, coupled with evaluations based on IEEE, IEC, and SNI standards. The results show an average load of 967.05 kW with a peak of 1,500.23 kW, with a consistent power factor of 0.98 and a load factor of 64.5. Transformer efficiency is in the range of 98.99%-99.50%, with an optimal value. Efficiency analysis shows the transformer achieved a maximum performance of 99.32% at an optimal loading of 44.7%, meeting and exceeding the requirements of IEC 60076, IEEE C57, and SNI 04-3981-1995 standards with a high efficiency Tier 2 classification. Technical evaluation revealed excellent load unbalance (<3% at 85% of operating time) and voltage stability within a tolerance of 0.87%. The study recommends optimizing load management, evaluating transformer capacity rightsizing, and implementing an energy management system to improve economic efficiency despite excellent technical efficiency. The

results contribute to strategies for reducing energy losses and improving the efficiency of electricity distribution systems in the paper industry sector.

Keywords: *distribution transformer, energy efficiency, operational load, paper mill, load factor.*

1. PENDAHULUAN

Dalam sistem tenaga listrik industri, transformator distribusi berperan penting untuk menyalurkan energi dari tegangan menengah ke tegangan rendah yang diperlukan operasi produksi. Di PT XYZ, transformator 2500 kVA/11,5 kV digunakan untuk melayani beban berkisar 10–15 MW per shift, dengan fluktuasi yang signifikan selama produksi. Variasi beban ini berdampak langsung terhadap efisiensi transformator karena perubahan arus dan tegangan yang mempengaruhi kerugian daya (losses) [1].

Efisiensi transformator tidak bersifat statis; efisiensi maksimum umumnya tercapai pada tingkat beban tertentu. Ketidaksiharian antara kapasitas transformator dengan beban aktual dapat meningkatkan kerugian daya secara signifikan [2]. Selain itu, ketidakseimbangan dan fluktuasi beban dapat menimbulkan kerugian energi tinggi serta mempercepat penurunan kinerja transformator, sehingga diperlukan pemantauan profil beban secara real-time dan strategi operasi berbasis data [3]. Pengelolaan faktor daya juga penting; faktor daya rendah meningkatkan arus dan kerugian daya, berpotensi menyebabkan penalti bagi industri [4]. Pemeliharaan berkala, seperti perbaikan dan pembersihan, dapat meningkatkan efisiensi dan memperpanjang usia pakai transformator [5]. Namun, pemilihan kapasitas yang optimal perlu mempertimbangkan tidak hanya daya terpasang, tetapi juga karakteristik beban aktual dan faktor beban (load factor) mesin produksi agar transformator beroperasi secara efisien [6].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji efisiensi transformator distribusi dari berbagai perspektif. Setijasa dan Triyono (2023) melakukan perhitungan efisiensi transformator secara teoritis berdasarkan parameter nameplate tanpa menganalisis profil beban aktual [7]. Syukri et al. (2022) menganalisis pembebanan

transformator distribusi 20 kV pada jaringan listrik, namun tidak mengevaluasi efisiensi berbasis karakteristik beban operasional mesin produksi industri [8]. Adami et al. (2024) meneliti pengaruh beban terhadap efisiensi transformator kering 630 kVA, tetapi terbatas pada kapasitas lebih kecil dan tidak mengeksplorasi transformator berpendingin minyak pada skala industri besar [11].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi transformator 2500 kVA/11,5 kV berdasarkan karakteristik beban operasional riil di pabrik kertas, mengacu pada data aktual dan standar nasional serta internasional. Kebaruan penelitian ini meliputi: (1) penggunaan data pengukuran riil kontinu periode 23–31 Maret 2025 dengan Power Quality Analyzer, bukan perhitungan teoritis; (2) analisis spesifik pada industri kertas dengan karakteristik beban motor induksi besar dan fluktuasi proses produksi; (3) integrasi analisis load factor, diversity factor, dan klasifikasi pembebanan berbasis waktu untuk rekomendasi rightsizing kapasitas; (4) evaluasi komprehensif terhadap tiga standar sekaligus (IEC 60076, IEEE C57, SNI 04-3981-1995) dengan klasifikasi tier efficiency, guna mengisi celah kajian mengenai efisiensi berbasis performa beban riil.

2. METODE PENELITIAN

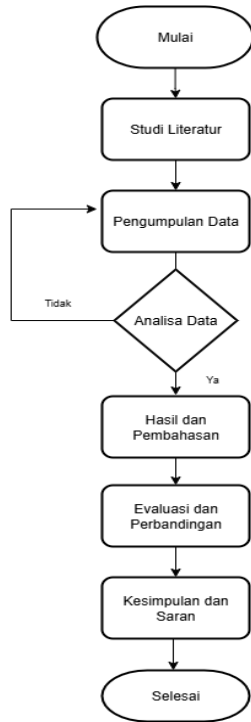
Dalam penelitian ini Metode yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus. Metode deskriptif kuantitatif adalah metode yang menggambarkan dan menginterpretasikan objek sesuai keadaan sebenarnya berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan. Objek dari penelitian ini adalah transformator distribusi 2500kVA/11.5kV di PT XYZ, khususnya dalam hubungan dengan beban operasional mesin produksi.

2.1 Langkah-langkah Pengerjaan Tugas

Akhir

langkah pengerjaan tugas akhir “Analisis efisiensi transformator distribusi

2500kVA/11,5kV dipabrik kertas PT XYZ berbasis beban operasional mesin produksi” adapun diagram alir ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir

Perhitungan arus nominal

Arus nominal sisi primer:

$$i_{p(rated)} = \frac{S_n}{(\sqrt{3} \times V_p)}$$

Dimana:

- $i_{p(rated)}$ = arus nominal sisi primer (A)
- S_n = daya nominal transformator (kVA)
- V_p = tegangan sisi primer (kV)
- $\sqrt{3}$ = konstanta untuk sistem tiga fasa (1,732)

Arus nominal sisi sekunder:

$$i_{s(rated)} = \frac{S_n}{(\sqrt{3} \times V_s)}$$

Dimana:

- $i_{s(rated)}$ = arus nominal sisi sekunder (A)
- S_n = daya nominal transformator (kVA)
- V_p = tegangan sisi primer (kV)
- $\sqrt{3}$ = konstanta untuk sistem tiga fasa (1,732)

2.2 Perhitungan Rugi-Rugi daya

Rugi-rugi inti (tetap): 3.75 kW

Rugi-rugi tembaga pada beban :

$$P_{cu} = P_{cu,rated} \times \left(\frac{S}{S_n}\right)^2$$

Dimana:

- P_{cu} = rugi-rugi tembaga aktual pada kondisi pembebanan tertentu (kW)
- $P_{cu,rated}$ = rugi-rugi tembaga pada beban penuh/rated (kW)
- S = daya semu aktual/beban aktual (kVA)
- S_n = daya semu nominal transformator (kVA)

2.3 Efisiensi

Efisiensi transformator dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\%$$

Dimana:

- η = efisiensi transformator (%)
- P_{out} = daya keluaran/daya aktif yang disalurkan (kW)
- P_{loss} = total rugi-rugi daya transformator (kW)

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisa Data Beban Operasional Transformator

Pengukuran dilakukan selama 23-31 Maret 2025 dengan interval 30 menit, data sebagai berikut:

- Daya Aktif (P): Maksimum 1.500,23 kW, Minimum 64,29 kW, Rata-rata 967,05 kW
- Daya Reaktif (Q): Maksimum 90,01 kVAr, Minimum 3,86 kVAr, Rata-rata 58,02 kVAr
- Daya Semu (S): 1.502,93 kVA dengan Power Factor 0,98
- Verifikasi: $S = P/PF = 1.531,87$ kVA

Pola Fluktuasi Beban transformator

Berdasarkan hasil pengukuran, karakteristik beban transformator menunjukkan pola yang konsisten dengan jam operasional pabrik. Fluktuasi beban harian dapat dikelompokkan menjadi empat periode waktu dengan tingkat pembebanan yang

berbeda, sebagaimana ditunjukkan pada table 1 berikut:

Tabel 1 Fluktuasi Beban Harian

Waktu	Rata-rata P	Rata-rata Q	Karakteristik
00:00-06:00	1.085,4	65,1	Beban sedang
06:00-12:00	1.142,8	68,6	Beban meningkat
12:00-18:00	1.715,6	70,5	Beban puncak
18:00-24:00	1.068,2	64,1	Beban menurun

Pola beban menunjukkan sistem mencapai beban puncak pada periode siang hari (12:00-18:00) dengan rata-rata 1.715,6 kW, sedangkan beban terendah pada malam hari (18:00-24:00) dengan rata-rata 1.068,2 kW. Beban puncak siang hari disebabkan operasi simultan mesin-mesin produksi kritikal meliputi paper machine pada kecepatan maksimum, refiner dengan beban tinggi, serta sistem pumping dan vacuum kontinyu.

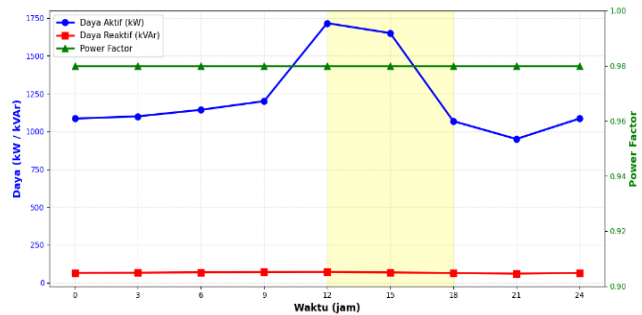
Beban terendah malam hari terjadi karena pengurangan kecepatan operasi atau shutdown sebagian unit non-esensial sesuai jadwal pemeliharaan. Paper machine utama tetap beroperasi pada reduced speed, sementara refiner dan unit auxiliaries beroperasi bergantian atau mode standby, disesuaikan dengan scheduling produksi dan optimasi biaya operasional. Selama periode pengukuran, terdapat beberapa kejadian abnormal disajikan dalam bentuk table 2 yang perlu dicatat sebagai berikut:

Tabel 2 Kondisi Abnormal

Tanggal	Waktu	Kondisi	Keterangan
7 Maret	20:30	Drip drastic ke 75,67 kW	Indikasi gangguan proses
28 Maret	06:00	Lonjakan arus 721,1 A	Starting serentak setelah shutdown

31 Maret - Penurunan *Shutdown* terencana (835,80 kW – 245,29 kW)

Grafik dari hasil diatas dapat lihat pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Fluktuasi Beban Harian

Load Factor dan Diversity Factor

Load Factor merepresentasikan tingkat konsistensi pembebanan terhadap kapasitas maksimum sistem, sedangkan Diversity Factor menunjukkan rasio antara jumlah beban individual dengan beban maksimum sistem. Hasil perhitungan keduanya adalah:

Load Factor:

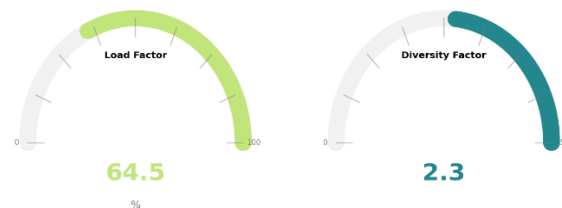
$$LF = \left(\frac{967,05}{1.500,23} \right) \times 100\%$$

Load Factor = 64,5%

Diversity Factor

$$DF = \frac{3.485,3}{1.500,23} = 2,32$$

Dari hasil perhitungan load factory dan diversity dapat dilihat pada gambar 3 berikut:



Gambar 3 Load factor dan Diversity factor

Pada gambar 2 Factor sebesar 2,32 mengindikasikan bahwa tidak semua beban beroperasi pada kapasitas maksimum secara bersamaan, yang merupakan kondisi normal dalam sistem distribusi.

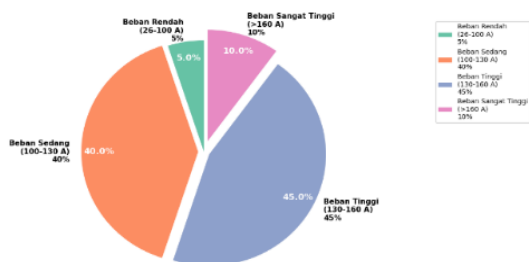
Karakteristik Beban

Untuk mengidentifikasi pola operasi transformator, tingkat pembebanan diklasifikasikan berdasarkan rentang arus yang terjadi selama periode pengukuran. Distribusi pembebanan selama periode pengamatan dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Tabel 3 Klasifikasi Tingkat Pembebanan

Kategori	Range loading	Frekuensi	Presentase
Beban Rendah	26,4 A- 100 A	4,5 jam	5%
Beban Sedang	100 A- 130 A	11 jam	40%
Beban Tinggi	130 A- 160 A	7 jam	45%
Beban Sangat Tinggi	> 160 A	1 jam	10%

Dari table 2 Data menunjukkan bahwa transformator mayoritas beroperasi pada kategori beban tinggi (45%) dan beban sedang (40%), yang merupakan kondisi operasi normal dan efisien. Berikut adalah grafik gambar 4 yang menunjukkan hasil dari table 2.



Gambar 4 Distribusi kategori beban

3.2 Analisis Kinerja Transformator

Spesifikasi Transformator

Analisis kinerja transformator didasarkan pada spesifikasi teknis yang tercantum pada nameplate. Transformator yang digunakan merupakan unit

distribusi berkapasitas 2500 kVA dengan sistem pendingin ONAN (Oil Natural Air Natural). Spesifikasi lengkap transformator disajikan dalam table 4 berikut:

Tabel 4 Distribusi Kategori Beban

Parameter	Nilai	Satuan
Rated Power	2500	kVA
Tegangan Primer	11,5	kV
Tegangan Sekunder	400	V
Arus Rated Sekunder	125,5	A
Impedansi	6	%
Rugi Tembaga	18,75	kW
Rugi Besi	3,75	kW
Jenis Pendingin	ONAN	-

Tingkat Pembebanan (Loading)

Tingkat pembebanan (loading) merupakan indikator penting untuk menilai utilisasi kapasitas transformator. Loading dihitung dengan membandingkan daya semu aktual terhadap kapasitas nominal transformator. Hasil perhitungan loading pada berbagai kondisi operasi disajikan dalam tabel 5 berikut:

Tabel 5 Tingkat Pembebanan Loading

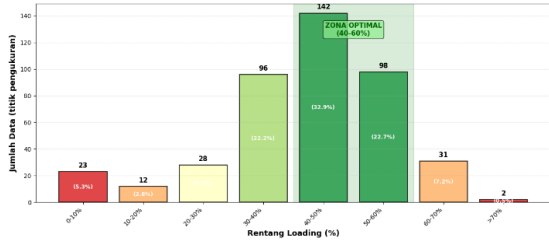
Kondisi	S (kVA)	%Loading	Status
Maksimum	1.502,93	60,1%	Near rated
Rata-rata	968,84	38,8%	Optimal
Minimum	64,41	2,6%	Sangat rendah

Distribusi Loading:

- 0-40%: 159 data (36,8%) – optimal bawah
- 40-60%: 240 data (55,6%) – Zona optimal
- 60-70%: 31 data (7,3%) – Near rated
- >70% : 2 data (0,5%) – High load

Sebagian besar data (92,4%) menunjukkan kondisi operasi yang aman dan optimal, dengan lebih dari setengahnya (55,6%) berada di zona optimal (40-60%). Hanya sedikit data (7,8%) yang menunjukkan beban tinggi, dan kondisi *high load* (>70%) sangat jarang terjadi

(0,5%). Ini mengindikasikan kinerja sistem yang sangat baik dengan margin keamanan yang memadai. Dari presentase distribusi loading dapat di tampilkan grafik yang dapat di lihat pada gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5 Distribusi Loading Transformator

Rugi-rugi Transformator

Rugi-rugi transformator terdiri dari dua komponen utama: rugi inti (core loss) yang bersifat konstan dan rugi tembaga (copper loss) yang berubah sesuai kuadrat beban. Pemahaman tentang komposisi rugi-rugi ini penting untuk evaluasi efisiensi dan biaya operasional

- Rugi inti (P_{core}) = 3,75 kW
- Rugi tembaga (P_{cu}) = 18,75 kW

Hasil keseluruhan dari perhitungan rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga disajikan dalam tabel 6 sebagai berikut:

Tabel 6 Rugi-Rugi Transformator

Loadin g %	S (kVA)	Pcor e (kW)	Pcu (kW)	Ptota l (kW)	Losse s (%) dari (pout)
2,6	64,4	3,75	0,01	3,76	5,85 %
25	625	3,75	1,17	4,92	0,80 %
38,8	968,8	3,75	2,83	6,58	0,68 %
50	1.250	3,75	4,69	8,44	0,69 %
60,1	1.502,9	3,75	6,77	10,52	0,70 %
75	1.875	3,75	10,55	14,30	0,78 %
100	2,500	3,75	18,75	22,50	0,90 %

Efisiensi Transformator

Transformator merupakan parameter krusial yang menunjukkan seberapa efektif transformator mengkonversi daya input menjadi daya output. Efisiensi dihitung menggunakan formula:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan efisiensi pada berbagai kondisi pembebanan menunjukkan bahwa transformator beroperasi dengan efisiensi yang sangat tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 7 berikut:

Tabel 7 Efisiensi Transformator

Loading %	P_out	P_lo ss	Efisien si	Status
38,8% (avg)	967,05	6,58	99,32 %	Optimal
44,7% (opt)	1.095,15	7,50	99,32 %	Maksim um
60,1% (max)	1.500,23	10,52	99,30 %	Excellen t
100%	2,450	22,50	99,09 %	Good

Efisiensi Maksimum Teoris terjadi pada loading 44,7% saat $P_{core} = P_{cu} = 3,75$ kW menghasilkan = 99,32%

3.3 Evaluasi Standart Tenknis

Untuk memastikan bahwa transformator memenuhi standar internasional dan nasional, dilakukan evaluasi kesesuaian terhadap parameter-parameter yang ditetapkan oleh IEC 60076, IEEE C57, dan SNI 04-3981. Hasil evaluasi compliance disajikan dalam tabel 8 berikut:

Tabel 8 Evaluasi Standart Teknis

Parameter	Aktual	status
Efisiensi 50%	99,32%	✓✓ Excellent
Efisiensi 100%	99,09%	✓✓ Excellent

No-Load Loss	3,75 kW	✓ Memenuhi
Load Loss	18,75 kW	✓ Memenuhi
Power Factor	0,98	✓✓ Excellent

Hasil menunjukkan bahwa semua parameter transformator tidak hanya memenuhi standar minimum, tetapi berada pada kategori "Excellent" untuk sebagian besar aspek. Hal ini mengindikasikan bahwa transformator beroperasi dengan kinerja yang sangat baik dan sesuai dengan best practice dalam industri.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis efisiensi transformator distribusi 2500 kVA/11,5 kV pada PT Dayasa Aria Prima periode 23–31 Maret 2025, transformator beroperasi dengan kinerja teknis sangat baik dan memenuhi standar IEC 60076, IEEE C57, dan SNI 04-3981-1995. Beban operasional menunjukkan daya aktif rata-rata 967,05 kW dengan puncak 1.500,23 kW, power factor konsisten 0,98, dan load factor 64,5%. Transformator mencapai efisiensi maksimum 99,32% pada loading optimal 44,7%, dengan efisiensi beban puncak 99,30% dan rata-rata 99,32%.

Pada kondisi high load (>70%), efisiensi menurun menjadi 99,23% pada loading 75% dan 99,09% pada loading 100% akibat peningkatan rugi tembaga yang berbanding kuadrat dengan arus beban. Rugi tembaga meningkat dari 3,75 kW pada loading optimal menjadi 10,55 kW (75%) dan 18,75 kW (100%). Namun, kondisi high load hanya terjadi 0,5% waktu operasi, sehingga dampaknya minimal. Tingkat pembebanan rata-rata 38,8% mengindikasikan underutilization signifikan dengan 69,7% waktu operasi pada rentang 0–50% loading. Ketidakseimbangan beban sangat baik (<3% pada 85% waktu operasi) dengan deviasi tegangan 0,87%, menunjukkan meskipun efisiensi teknis excellent, terdapat potensi inefisiensi ekonomis akibat oversizing kapasitas transformator.

4.2 Saran

Untuk mengoptimalkan kinerja sistem, disarankan dalam jangka pendek melakukan optimasi load management untuk meningkatkan load factor di atas 70% dan implementasi monitoring real-time sesuai IEC 61850. Khusus untuk kondisi high load yang jarang terjadi, perlu diterapkan strategi soft-starting atau sequencing pada motor untuk mengurangi beban puncak dan meminimalkan stress transformator. Dalam jangka menengah, sangat direkomendasikan studi kelayakan rightsizing dengan transformator kapasitas 1600–2000 kVA yang lebih sesuai profil beban aktual, atau penerapan konfigurasi paralel dua transformator lebih kecil untuk operasi efisien saat beban rendah. Mengingat high load hanya 0,5% waktu operasi, kapasitas lebih kecil akan meningkatkan rata-rata loading ke zona optimal 50–70% dan mengurangi rugi inti konstan.

Dalam jangka panjang, perlu integrasi kapasitas transformator dengan master plan produksi, evaluasi distributed generation atau energy storage untuk peak shaving, dan penerapan energy management system ISO 50001. Instalasi kompensasi daya reaktif advance dan harmonic filter dapat menjaga efisiensi tinggi pada beban puncak dengan menekan rugi tembaga. Pertahankan power factor >0,95 dan ketidakseimbangan <3%, serta lakukan preventive maintenance berkala. Implementasi rekomendasi ini diharapkan meningkatkan efisiensi ekonomis 15–20%, memperpanjang umur transformator dengan mengurangi thermal stress dari operasi high load, serta mendukung kebijakan efisiensi energi nasional di sektor industry.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. Paminto, R. Surya Sitorus, R. Firmansyah, and N. Sahari Laili, "Kajian Efisiensi Energi di Industri Pulp dan Kertas," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 13, no. 1, p. 1, 2020, doi: 10.24843/jem.2020.v13.i01.p01.

- [2] T. Daya, M. V. A. Pltmg, J. M. Huwae, M. A. F. Haurissa, and H. L. Latupeirissa, “Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi,” pp. 1–7.
- [3] N. Lembang, “Jurnal Informasi, Sains dan Teknologi,” vol. 6, no. 2, pp. 56–68, 2023.
- [4] I. W. Utama and D. Candra, “Analisis Perbaikan Faktor Daya Pada Tranformator 2500KVA/400V di Bandar Udara I Gusti Ngurah Rai Bali,” *J. Ilm. Telsinas Elektro, Sipil dan Tek. Inf.*, vol. 6, no. 1, pp. 37–45, 2023, doi: 10.38043/telsinas.v6i1.4321.
- [5] P. D. Purifikasi and A. Triyanto, “Analisis Performa Transformator 2500 kVA Setelah,” vol. 2, no. 12, pp. 3283–3288, 2023.
- [6] I. M. A. Nugraha and I. G. M. N. Desnanjaya, “Penempatan Dan Pemilihan Kapasitas Transformator Distribusi Secara Optimal Pada Penyulang Perumnas,” *J. Resist. (Rekayasa Sist. Komputer)*, vol. 4, no. 1, pp. 33–44, 2021, doi: 10.31598/jurnalresistor.v4i1.722.
- [7] H. Setijasa and Triyono, “Perhitungan Efisiensi Transformator,” *Orbith*, vol. 19, no. 3, pp. 315–323, 2023.
- [8] S. Syukri, T. M. Asyadi, M. Muliadi, and F. Moesnadi, “Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249,” *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 202–206, 2022, doi: 10.37905/jjee.v4i2.14500.
- [9] A. Sutowo, A. Sofwan, and B. A. Pandowo, “Analisa dan Pengujian Kenaikan Suhu pada Minyak Ester Sintetis pada Transformator Distribusi 20 / 0 , 4 kV Kapasitas Daya 2500 kVA,” vol. 34, no. 3, pp. 69–75, 2024.
- [10] M. Mustari, R. Kurniawan, and R. Ramlan, “Analisis Efisiensi Transformator Dalam Pembangkit Listrik Di PT. PLN Indonesia Power UPDK Keramasan,” *J. Penelit. Sains*, vol. 26, no. 2, p. 137, 2024, doi: 10.56064/jps.v26i2.944.
- [11] R. A. Adami, C. G. Irianto, T. Kartika, and I. Kasim, “ANALISIS PENGARUH BEBAN TERHADAP EFISIENSI DAN SUSUT UMUR TRANSFORMATOR KERING 630KVA DI MODA RAYA TERPADU JAKARTA,” no. 4, 2024, doi: 10.14710/transmisi.26.4.185-191.
- [12] F. N. Azizah and B. Nugraha, “Analisis Pengaruh Refiner Time Terhadap Quality Tissue (Studi Kasus di PT Pindo Deli Pulp and Paper Mills 2) Analisis Pengaruh Refiner Time terhadap Quality Tissue (Studi Kasus di PT Pindo Deli Pulp and Paper Mills 2),” no. January, 2025, doi: 10.28989/angkasa.v13i1.916.
- [13] N. M. Susantini et al., “Perbanding an Specific Refining Energy pada Mesin Refiner Jenis Double Disk dengan Conical : Studi Kasus pada Pembuatan Kertas Tulis Cetak Comparison of Specific Refining Energy in Double Disk Type Refiner Machine with Conical : A Case Study on Printing Writing Paper Manufacturing,” vol. 16, no. 2, pp. 77–84, 2024.