

Analisis Dampak Operasi Pada Beban Puncak Terhadap Efisiensi Dan Penurunan Umur Transformator 60 MVA 150/20 kV

¹Saiful Duwi Agustian, ²Titiek Suheta, ³Rahman Ali

¹²³ Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Kota Surabaya

e-mail: saifulduwiagustiawan@gmail.com, hita@itats.ac.id

Abstract - Distribution transformers play an important role in maintaining the reliability of the power system, so efficiency analysis and remaining life prediction are crucial. Measurement results indicate that the efficiency of the four transformers ranges from 99–100%, with Transformers 1, 2, and 3 relatively stable, while Transformer 4 shows lower efficiency during certain hours. Remaining lifespan predictions using a Backpropagation Neural Network (BPNN) achieve accuracy of 97–100% with an MSE < 0.5. Estimates indicate that Transformer 1 has approximately 15.2 years remaining, Transformer 3 has 15.5 years, Transformer 4 has 11.2 years, and Transformer 2 has exceeded its operational lifespan. The novelty of this research lies in the integration of efficiency analysis and BPNN as a predictive monitoring system supporting predictive maintenance strategies to enhance transformer reliability.

Keywords — *Backpropagation Neural Network, Peak Load, Efficiency, Remaining Life, Transformer.*

Abstrak - Transformator distribusi berperan penting dalam menjaga keandalan sistem tenaga listrik sehingga analisis efisiensi dan prediksi sisa umur menjadi krusial. Hasil pengukuran menunjukkan efisiensi keempat transformator berada pada kisaran 99–100%, dengan Trafo 1, 2, dan 3 relatif stabil, sedangkan Trafo 4 lebih rendah pada beberapa jam tertentu. Prediksi sisa umur menggunakan Backpropagation Neural Network (BPNN) menghasilkan akurasi 97–100% dengan MSE < 0,5. Estimasi menunjukkan Trafo 1 sekitar 15,2 tahun, Trafo 3 15,5 tahun, Trafo 4 11,2 tahun, dan Trafo 2 telah melewati umur operasi. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi analisis efisiensi dan BPNN sebagai sistem monitoring prediktif yang mendukung strategi predictive maintenance untuk meningkatkan keandalan transformator..

Kata Kunci— *Backpropagation Neural Network, Beban Puncak, Efisiensi, Sisa Umur, Transformator.*

I. PENDAHULUAN

Transformator tenaga listrik merupakan komponen utama dalam sistem tenaga karena berfungsi menyalurkan daya dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah sesuai kebutuhan pengguna. Kinerja yang andal serta efisiensi transformator sangat berpengaruh terhadap mutu dan kontinuitas pasokan listrik [1][2]. Dalam pengoperasiannya, beban yang ditanggung transformator tidak bersifat tetap, melainkan berubah-ubah mengikuti pola konsumsi listrik masyarakat maupun industri. Kondisi paling krusial terjadi pada saat beban puncak, yaitu ketika permintaan listrik mencapai tingkat maksimum. Pada kondisi ini, transformator sering kali beroperasi mendekati bahkan melebihi kapasitas rancangannya. Hal tersebut menimbulkan peningkatan rugi-rugi daya, penurunan efisiensi, serta mempercepat proses degradasi isolasi akibat naiknya temperatur operasi [3][4][5].

Degradasi sistem isolasi akan mengakibatkan berkurangnya umur layanan transformator. Semakin sering transformator menghadapi beban puncak, semakin cepat pula proses penuaan (aging) terjadi, yang pada akhirnya dapat meningkatkan risiko kerusakan, menambah biaya perawatan, hingga mengganggu kontinuitas suplai tenaga listrik. Oleh karena itu, diperlukan analisis mengenai dampak operasi pada beban puncak terhadap efisiensi dan umur layanan transformator 60 MVA 150/20 kV sebagai dasar evaluasi kinerja dan strategi pengelolaan beban agar keandalan sistem tetap terjaga menggunakan *backpropagation neural network*.

II. METODE PENELITIAN

A. Metode

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada transformator 60 MVA 150/20 kV. Data yang digunakan meliputi:

- Data pembebanan transformator

- Data spesifikasi Transformator
- Data suhu Lingkungan

Langkah-langkah penelitian meliputi:

- Pengumpulan Data melalui pencatatan beban harian dan data teknis transformator.
- Perhitungan Efisiensi [6][7][8].

$$\eta = \frac{\text{daya output}}{\text{daya input}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2)$$

$$P_{\text{input}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (3)$$

$$P_{\text{output}} = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (4)$$

- Normalisasi dan Denormalisasi
Berdasarkan hasil perhitungan pembebanan yang telah dilakukan, data input dan output perlu melalui proses normalisasi terlebih dahulu. Dalam penelitian ini, algoritma backpropagation menerapkan fungsi aktivasi sigmoid biner, sehingga data harus ditransformasi karena keluaran fungsi sigmoid berada pada rentang [0,1][9][10], proses ini dilakukan menggunakan rumus.

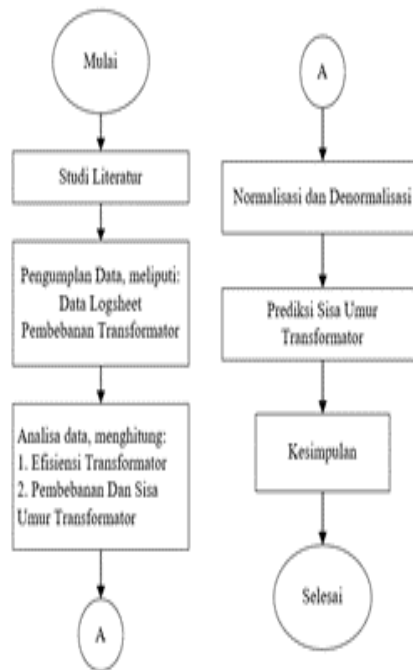
$$\text{normalisasi} = \frac{X - \text{Min}(x)}{\text{Max}(x) - \text{Min}(x)} \quad (5)$$

Proses denormalisasi menggunakan rumus:

$$X = x(\text{max}(x) - \text{min}(x)) + \text{min}(x) \quad (6)$$

- Prediksi umur trafo menggunakan backpropagation neural network.
Pada metode pertama, jaringan backpropagation menginisialisasi bobot secara acak tanpa mempertimbangkan faktor skala. Struktur jaringan backpropagation yang digunakan untuk memprediksi sisa umur transformator terdiri dari dua lapisan, yaitu satu lapisan tersembunyi dan satu lapisan keluaran. Data yang digunakan dalam simulasi backpropagation terdiri dari:
 1. Data input adalah data pembebanan.
 2. Data output adalah sisa umur transformator (tahun).

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perhitungan Efisiensi

Setiap fasa R S T masing-masing trafo dan hasilnya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisa Efisiensi Transformator

Jam	Efisiensi Rata-rata (%)			
	Trafo 1	Trafo 2	Trafo 3	Trafo 4
01.00	99.663	99.64	99.298	99.84
02.00	100.272	99.59	100.087	99.89
03.00	100.375	99.96	99.428	100.28
04.00	100.377	99.33	99.875	99.97
05.00	99.232	99.76	100.752	99.56
06.00	99.399	100.18	100.569	100.00
07.00	99.334	99.32	100.113	100.01
08.00	100.278	99.76	100.038	99.93
09.00	100.005	100.42	99.894	100.34
10.00	100.057	100.25	100.408	99.71
11.00	99.850	100.41	100.398	100.26
12.00	99.977	100.23	100.058	100.11
13.00	100.360	99.92	99.978	99.99
14.00	100.015	99.62	99.581	99.79
15.00	100.025	100.26	99.885	99.98

Jam	Efisiensi Rata-rata (%)			
	Trafo 1	Trafo 2	Trafo 3	Trafo 4
16.00	99.789	100.34	99.288	100.16
17.00	99.662	100.11	100.640	99.90
18.00	100.537	99.72	99.611	99.78
19.00	99.437	99.66	99.922	100.15
20.00	99.363	99.91	100.400	99.98
21.00	100.126	100.35	99.830	100.53
22.00	100.431	99.77	99.459	100.46
23.00	99.514	99.47	99.605	99.35
00.00	100.146	100.37	100.055	99.72

Berdasarkan hasil pada tabel 1 menunjukkan efisiensi transformator berada pada kisaran 99–100%, dengan nilai >100% akibat toleransi instrumen. Transformator 1–3 stabil, sementara transformator 4 sedikit lebih rendah pada beberapa jam sehingga perlu perhatian. Secara umum, sistem masih optimal dan hasil ini menegaskan pentingnya pemantauan efisiensi sebagai indikator dini penurunan performa.

2. Menghitung Rasio Pembebanan [11]

$$K = \frac{\text{beban trafo}}{\text{kapasitas trafo}} = 0,7924$$

3. Temperatur *top oil* [12]

$$\theta_o = \left(\frac{1+RK^2}{1+R} \right)^x \times \Delta\theta_{or} = 40,869^\circ\text{C}$$

4. Menghitung selisih temperatur antara *hot spot* dengan *top oil* [13]

$$\Delta\theta_h = \Delta\theta_{h1} - \Delta\theta_{h2} = 15,850$$

5. Menghitung Temperatur *hot spot* [14]

$$(\theta_h) = \theta_o + \Delta\theta_h = 56,719$$

6. Laju Penuaan

$$V = 2^{\left(\frac{\theta_h - 98}{6} \right)} = 0,008490$$

7. Menghitung susut umur (L)

$$L = \sum_{n=1}^N V_n \times t_n = 0,491954$$

8. Perhitungan perkiraan umur[15]

$$\text{Sisa umur} = \frac{8760 - (L \times 365)}{8760} \times (20,55 - \text{tahun operasi}) = 15,23 \text{ tahun}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Trafo 1

Jam	K	θ_0 °C	$\Delta\theta_h$ °C	θ_h °C	V	L (jam/hari)	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.79	40.87	15.850	56.719	0.0085	0.4919	15.231
02.00	0.76	38.74	14.758	53.495	0.0059		
03.00	0.74	37.70	14.222	51.918	0.0049		
04.00	0.73	37.18	13.956	51.135	0.0045		
05.00	0.74	37.70	14.222	51.918	0.0049		
06.00	0.79	40.87	15.850	56.719	0.0085		
07.00	0.91	48.55	19.754	68.307	0.0324		
08.00	1.03	57.27	24.136	81.403	0.1470		
09.00	1.12	64.26	27.632	91.896	0.4941		
10.00	1.18	69.14	30.059	99.201	1.1487		
11.00	1.23	73.46	32.202	105.661	2.4233		
12.00	1.19	70.21	30.590	100.800	1.3822		
13.00	1.22	72.37	31.661	104.030	2.0069		
14.00	1.22	72.37	31.661	104.030	2.0069		
15.00	1.19	70.21	30.590	100.800	1.3822		
16.00	1.11	63.58	27.289	90.866	0.4386		
17.00	1.01	55.97	23.488	79.460	0.1174		
18.00	0.97	53.13	22.062	75.194	0.0717		
19.00	0.93	50.36	20.666	71.025	0.0443		
20.00	0.91	48.55	19.754	68.307	0.0323		
21.00	0.86	45.05	17.981	63.033	0.0176		
22.00	0.80	41.69	16.268	57.956	0.0098		
23.00	0.79	40.87	15.850	56.719	0.0085		
00.00	0.75	38.47	14.621	53.092	0.0056		

Pemantauan menunjukkan bahwa lonjakan suhu hotspot hingga 105,66°C pada jam ke-7 sampai ke-14 menyebabkan percepatan kehilangan umur trafo lebih dari 2 jam ekuivalen per jam, sedangkan pada jam lainnya suhu relatif rendah dengan laju penuaan kecil. Hal ini menegaskan pentingnya pengaturan beban dan pemantauan suhu untuk menjaga keandalan serta memperpanjang umur operasi trafo.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Trafo 2

Jam	K	θ_0 °C	$\Delta\theta_h$ °C	θ_h °C	V	L (jam/hari)	Sisa Umur (tahun)
01.00	1.06	59.88	25.45	85.33	0.231	8.5140	-6.743
02.00	1.02	56.94	23.97	80.90	0.139		
03.00	0.99	54.39	22.69	77.08	0.089		
04.00	0.97	53.13	22.06	75.19	0.072		
05.00	0.96	51.89	21.44	73.33	0.058		
06.00	0.97	53.13	22.06	75.19	0.072		
07.00	1.05	58.89	24.95	83.85	0.195		
08.00	1.15	67.03	29.01	96.04	0.797		
09.00	1.26	75.66	33.30	108.96	3.546		
10.00	1.33	81.29	36.08	117.373	9.376		
11.00	1.36	84.76	37.80	122.56	17.065		
12.00	1.3	84.76	37.80	122.56	17.065		
13.00	1.41	89.49	40.13	129.61	38.559		
14.00	1.46	89.49	40.13	129.61	38.559		
15.00	1.40	87.89	39.34	127.23	29.283		
16.00	1.36	83.98	37.41	121.39	14.918		
17.00	1.33	82.44	36.65	119.09	11.432		
18.00	1.32	80.91	35.89	116.81	8.779		
19.00	1.30	79.02	34.95	113.97	6.329		
20.00	1.27	76.78	33.85	110.62	4.2990		
21.00	1.23	73.46	32.20	105.66	2.4233		
22.00	1.14	65.99	28.49	94.48	0.6662		
23.00	1.07	60.55	25.78	86.33	0.2597		
00.00	1.02	56.30	23.65	79.95	0.1242		

Pemantauan Trafo 2 menunjukkan lonjakan suhu hotspot hingga 129,61°C pada jam ke-8 sampai ke-15 dengan nilai K 1,41, yang menyebabkan kehilangan umur mencapai 38 jam dalam satu jam dan akumulasi sisa umur menjadi negatif. Kondisi ini menegaskan bahwa beban tinggi yang memicu kenaikan suhu secara signifikan mempercepat penuaan trafo, sehingga pengendalian suhu dan beban mutlak diperlukan untuk menjaga keandalan operasinya.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Trafo 3

Jam	K	θ_0 °C	$\Delta\theta_h$ °C	θ_h °C	V	L (jam/hari)	Sisa Umur (tahun)
01.00	0.75	38.47	14.62	53.09	0.0056	0.0043	15.547
02.00	0.73	36.93	13.83	50.75	0.0043		
03.00	0.70	35.41	13.04	48.46	0.0033		
04.00	0.69	34.67	12.66	47.33	0.0029		
05.00	0.66	33.22	11.90	45.12	0.0022		
06.00	0.62	31.12	10.80	41.92	0.0016		
07.00	0.60	29.99	10.21	40.20	0.0013		
08.00	0.62	31.12	10.80	41.92	0.0015		
09.00	0.66	33.22	11.90	45.12	0.0022		
10.00	0.69	34.67	12.66	47.33	0.0029		
11.00	0.72	36.16	13.43	49.60	0.0037		
12.00	0.72	36.67	13.69	50.36	0.0041		
13.00	0.73	36.93	13.83	50.75	0.0043		
14.00	0.73	37.43	14.09	51.52	0.0047		
15.00	0.73	36.93	13.83	50.75	0.0043		
16.00	0.72	36.16	13.43	49.60	0.0037		
17.00	0.73	36.93	13.83	50.75	0.0043		
18.00	0.78	40.06	15.44	55.50	0.0074		
19.00	0.78	40.06	15.44	55.50	0.0074		
20.00	0.78	40.06	15.44	55.50	0.0074		
21.00	0.78	39.80	15.30	55.10	0.0070		
22.00	0.78	40.06	15.44	55.50	0.0074		
23.00	0.75	38.21	14.49	52.70	0.0053		
00.00	0.72	36.16	13.43	49.60	0.0037		

Pemantauan Trafo 3 menunjukkan suhu hotspot stabil pada 40–55,5°C dengan nilai K <0,78 dan kehilangan umur per jam sangat kecil, mayoritas di bawah 0,007. Secara keseluruhan, total kehilangan umur harian rendah sehingga sisa umur tetap tinggi pada 15,5 tahun, menandakan kondisi trafo sangat baik dan beroperasi dalam batas aman.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Perkiraan Sisa Umur Trafo 4

Jam	K	θ_0 °C	$\Delta\theta_h$ °C	θ_h °C	V	L (jam/hari)	Sisa Umur (tahun)
01.00	1.10	62.90	26.95	89.86	0.3901	2.527	11.229
02.00	1.09	61.89	26.45	88.34	0.3274		
03.00	1.03	56.94	23.97	80.91	0.1389		
04.00	0.85	44.76	17.83	62.60	0.0167		
05.00	1.05	58.57	24.79	83.36	0.1842		
06.00	1.12	64.26	27.63	91.90	0.4941		
07.00	1.12	63.92	27.46	91.39	0.4659		
08.00	1.21	71.64	31.30	102.9	1.7703		
09.00	1.27	76.78	33.85	110.6	4.2989		
10.00	1.29	77.89	34.40	112.3	5.2089		
11.00	1.30	79.01	34.95	114.0	6.3291		
12.00	1.26	75.66	33.30	109.0	3.5455		
13.00	1.28	77.51	34.21	111.7	4.8838		
14.00	1.35	83.21	37.03	120.3	13.068		
15.00	1.30	79.01	34.95	114.0	6.3291		
16.00	1.26	75.66	33.30	109.0	3.5455		
17.00	1.22	72.37	31.66	104.0	2.0069		
18.00	1.26	75.29	33.11	108.4	3.3241		
19.00	1.19	70.21	30.59	100.8	1.3822		
20.00	1.17	68.08	29.53	97.61	0.9559		
21.00	1.17	68.08	29.53	97.61	0.9559		
22.00	1.14	65.30	28.15	93.44	0.5905		
23.00	1.07	59.88	25.45	85.33	0.2313		
00.00	1.05	58.89	24.95	83.85	0.1949		

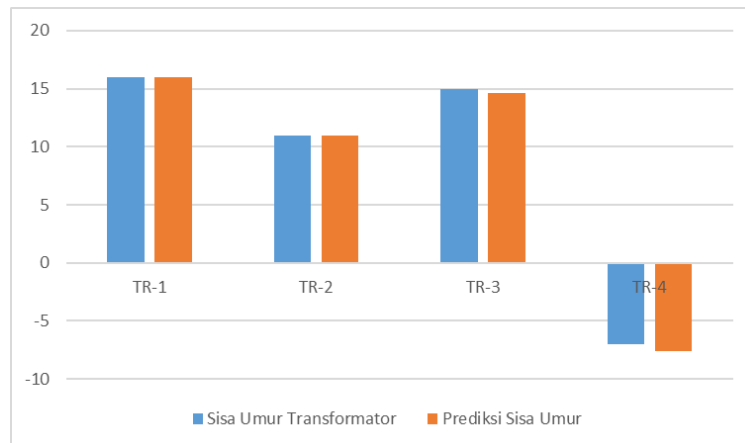
Trafo 4 menunjukkan fluktuasi suhu signifikan dengan lonjakan hotspot di atas 120°C pada jam ke-8 hingga 15, sehingga kehilangan umur harian meningkat drastis hingga tersisa sekitar 11,2 tahun dari usia awal 20 tahun. Kondisi ini menegaskan bahwa beban berat dan suhu kerja tinggi mempercepat degradasi isolasi, sehingga diperlukan penanganan untuk mencegah penurunan umur operasi lebih lanjut.

9. Hasil prediksi sisa umur menggunakan backpropagation neural network

Tabel 6. Hasil Prediksi dan Analisa Sisa umur Trafo

Transformator	Sisa Umur	Prediksi Sisa Umur	Akurasi (%)	MSE
1	16	16	100.00%	0
2	11	11	100.00%	0
3	15	14.609	97.39%	0.153
4	-7	-7.6408	109.15%	0.411

Hasil prediksi menunjukkan tingkat akurasi yang sangat baik dengan dua trafo mencapai 100% dan dua lainnya di atas 97%, serta nilai MSE yang sangat kecil (<0,5). Hal ini menandakan bahwa model prediksi mampu merepresentasikan sisa umur transformator dengan tingkat kesalahan yang rendah.



Gambar 2. Grafik Prediksi dan Analisis Sisa Umur Trafo

Grafik menunjukkan bahwa model prediksi sisa umur bekerja sangat baik dengan akurasi tinggi, di mana TR-1 dan TR-2 hampir sama persis dengan nilai aktual, TR-3 sedikit berbeda namun tetap akurat, sedangkan TR-4 yang sudah melewati masa pakai juga diprediksi dengan nilai mendekati aktual. Secara keseluruhan, hasil prediksi konsisten dan dapat diandalkan untuk memperkirakan sisa umur transformator.

IV. KESIMPULAN

1. Efisiensi keempat transformator berada pada kisaran 99–100%, dengan fluktuasi kecil akibat toleransi instrumen dan faktor daya. Trafo 1, 2, dan 3 relatif stabil, sedangkan Trafo 4 menunjukkan efisiensi lebih rendah pada beberapa jam tertentu, sehingga perlu dilakukan pemantauan berkala untuk mencegah penurunan kinerja lebih lanjut. Selain itu, evaluasi kondisi beban dan sistem pendingin juga penting dilakukan pada Trafo 4 agar efisiensi tetap terjaga dan potensi kerusakan dapat diantisipasi sejak dini.
2. Prediksi sisa umur dengan *Backpropagation Neural Network* (BPNN) menunjukkan akurasi tinggi (97–100%) dengan MSE yang sangat kecil. Estimasi sisa umur Trafo 1 sekitar 15,2 tahun, Trafo 3 sebesar 15,5 tahun, Trafo 4 sekitar 11,2 tahun, sedangkan Trafo 2 telah melewati umur operasinya. Oleh karena itu, diperlukan tindakan pemeliharaan pada Trafo 2 dan 4, sementara metode BPNN direkomendasikan sebagai sistem monitoring berkelanjutan yang dapat membantu menjaga keandalan dan memperpanjang masa operasi transformator.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Kamil and A. Indarto, "OPTIMASI UMUR TRANSFORMATOR MELALUI PENINGKATAN KINERJA PENDINGIN MINYAK TRANSFORMATOR DENGAN MENGGUNAKAN METODE ' SMART COOLING ' Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Volume 5 Tahun 2020," vol. 5, 2021.
- [2] A. Herawati and Sofyan, "Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7," *Amplifier*, vol. 5, no. 2, pp. 76–81, 2015.
- [3] Y. Y. Rizki and E. Ervianto, "Perkiraan umur transformator berdasarkan pengaruh pembebanan dan temperatur lingkungan menggunakan metode trend linear," *Jom Fteknik*, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [4] S. A. Nugroho, A. J. Taufiq, and D. N. Kusuma Hardani, "Perhitungan Perkiraan Umur Transformator Akibat Pengaruh Pembebanan Dan Suhu Lingkungan," *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 11–16, 2019, doi: 10.30595/jrre.v1i1.4923.
- [5] A. Anca, B. Bakhtiar, and R. L, "Studi Pengaruh Beban Puncak Terhadap Susut Umur Transformator di PT.PLN(Persero) Rayon daya," *J. Teknol. Elekterika*, vol. 3, no. 2, p. 80, 2019, doi: 10.31963/elekterika.v3i2.1550.
- [6] A. A. Rohman, "Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi dan Umur Transformator Daya 30 mVA DI PT. PLN (PERSERO) GARDU INDUK 150 kV Blora," *J. Mhs.*, pp. 1–12, 2022.

-
- [7] M. R. Firmansyah, G. Budiono, and R. S. Widagdo, "Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 mVA di GIS 150/20 kV Simpang," *Semin. Nas. Has. dan Ris. Pengabd.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2024.
 - [8] I. Bayu Tiasmoro, Wirentake, and P. Ali Topan, "PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI DAN SUSUT UMUR TRANSFORMATOR STEP UP 6kV / 70kV DI PLTU SUMBAWA BARAT UNIT 1 DAN 2 2×7 MW PT.PLN (PERSERO) UPK TAMBORA," *J. TAMBORA*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2021, doi: 10.36761/jt.v5i2.1099.
 - [9] N. E. Setiawati, M. Munir, T. Wati, and I. Masfufiah, "Prediksi Sisa Umur Transformator Menggunakan Metode Backpropagation," vol. 4, pp. 1–6, 2021.
 - [10] I. G. Suputra and I. P. Sutawinaya, "Perancangan Software Menghitung Penyusutan Umur Penyulang Perumnas," vol. 14, no. 3, pp. 170–176, 2014.
 - [11] A. Hermawan, R. Sutjipto, S. Irmadhani Hidayat, and F. Berlian Suryaningtyas, "Studi Pengaruh Pembebanan sebagai Dasar Scheduling Maintenance untuk Meminimalisir Susut Umur Transformator 1 GI Blimbing," *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 33–38, 2020, doi: 10.33795/elposys.v7i3.16.
 - [12] A. S. Gianto *et al.*, "Perhitungan Penurunan Umur Transformator," *JETri*, vol. 13, no. 1, pp. 15–37, 2015.
 - [13] B. Priyandono, "Analisis Usia Trafo Daya Guna Keandalan Jaringan Distribusi," pp. 1–9, 2020.
 - [14] R. S. Arrad Ghani Safitra, Lohdy Diana, "Analisa Umur Pakai Transformator Distribusi 20 KV Di PT. PLN Cabang Ambon," *J. Simetrik*, vol. 8, no. 2, pp. 139–144, 2018.
 - [15] S. A. N. dan A. J. Taufiq, "ANALISIS PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP UMUR TRANSFORMATOR DAYA," *Tek. Elektro*, vol. 5, no. 1, pp. 54–58, 2020.