

ANALISIS PERKIRAAN UMUR TRANSFORMATOR BERDASARKAN PEMBEBANAN DI ULP MATTOANGING MENGGUNAKAN METODE MONTSINGER

Muh. Arya Saputra¹, Udin Sidik Sidin², Andi Imran³

^{1,2,3}Universitas Negeri Makassar

Email: aryasaputramin@gmail.com¹, udin.sidik.sidin@unm.ac.id², andi_imran@unm.ac.id³

Abstrak: Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh transformator mengalami peningkatan beban tahunan dengan laju 2,61% hingga 4,58% per tahun. Kenaikan beban ini menyebabkan penurunan sisa umur operasional secara signifikan seiring waktu. Berdasarkan hasil perhitungan, transformator GT. MAR008 diperkirakan layak beroperasi hingga tahun 2030, GT. MAR015 hingga tahun 2028, GT. MAR043 hingga tahun 2031, GT. MAR046 hingga tahun 2029, dan GT. MAR048 hingga tahun 2035, menjadikannya unit dengan sisa umur terpanjang. Temuan ini menegaskan bahwa tren kenaikan beban yang terus berlanjut memiliki dampak langsung terhadap percepatan penuaan termal transformator. Penelitian ini merekomendasikan pemantauan beban secara berkala serta perencanaan pemeliharaan preventif untuk menjaga keandalan dan efisiensi operasi transformator di ULP Mattoanging.

Kata Kunci: Transformator Distribusi, Pembebanan, *Time Series*, Montsinger, Susut Umur.

Abstract: The results of the study indicate that all transformers experienced an annual load increase at a rate of 2.61% to 4.58% per year. This increase in load significantly reduced their remaining operational life over time. Based on the calculations, transformer GT. MAR008 is estimated to be operational until 2030, GT. MAR015 until 2028, GT. MAR043 until 2031, GT. MAR046 until 2029, and GT. MAR048 until 2035, making it the unit with the longest remaining life. These findings confirm that the continuous trend of increasing load has a direct impact on accelerated thermal aging of transformers. This study recommends regular load monitoring and preventive maintenance planning to maintain the efficiency and operational efficiency of transformers at the Mattoanging ULP.

Keywords: Distribution Transformer, Loading, *Time Series*, Montsinger, Age Loss.

PENDAHULUAN

Transformator distribusi merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menurunkan tegangan sebelum disalurkan kepada konsumen. Peningkatan konsumsi listrik nasional yang mencapai sekitar 5,3% per tahun berdampak langsung pada kenaikan beban operasional transformator. Kondisi pembebanan yang tinggi berpotensi meningkatkan suhu kerja peralatan, mempercepat degradasi isolasi, serta mengurangi umur pakai transformator apabila tidak dikelola dengan baik.

Metode Montsinger menyatakan bahwa setiap kenaikan suhu sekitar 8–10°C dapat mempercepat laju penuaan isolasi hingga dua kali lipat. Oleh karena itu, analisis hubungan antara pembebanan dan umur transformator menjadi aspek penting dalam menjaga keandalan sistem distribusi listrik. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pola pembebanan yang tidak stabil dapat menurunkan umur transformator secara signifikan dibandingkan dengan prediksi desain awal.

ULP Mattoanging dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik pertumbuhan beban pelanggan yang dinamis dan beragam. Analisis pada wilayah ini diharapkan mampu memberikan gambaran empiris mengenai dampak pembebanan terhadap umur transformator serta menghasilkan rekomendasi teknis bagi pengelolaan aset kelistrikan.

Rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi identifikasi pola pertumbuhan beban tahunan serta analisis pengaruhnya terhadap estimasi sisa umur operasional transformator. Tujuan penelitian adalah menganalisis tren pembebanan menggunakan metode *time series* dan memperkirakan kelayakan operasi transformator berdasarkan metode Montsinger. Hasil penelitian diharapkan memberikan manfaat teoretis dalam pengembangan kajian estimasi umur transformator serta manfaat praktis bagi peningkatan kualitas layanan listrik kepada masyarakat.

TINJAUAN PUSTAKA

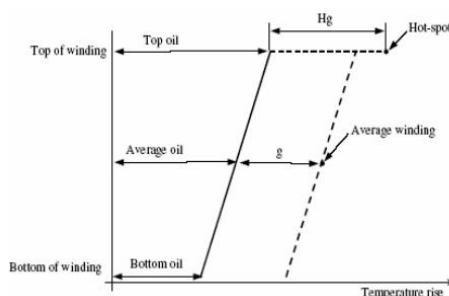
Transformator distribusi merupakan peralatan listrik statis yang berfungsi mengubah tingkat tegangan melalui induksi elektromagnetik dan berperan penting dalam menjaga keandalan penyaluran energi listrik kepada pelanggan (Novian & Kartini, 2023). Kinerja transformator sangat dipengaruhi oleh kondisi operasional, khususnya suhu kerja dan tingkat pembebanan, karena kedua faktor tersebut berkaitan langsung dengan degradasi isolasi (Gianto et al., 2023).

Metode Montsinger menyatakan bahwa setiap kenaikan suhu sekitar 8–10°C dapat mempercepat laju penuaan isolasi hingga dua kali lipat, sehingga umur transformator berpotensi berkurang lebih cepat dari desain awal. Studi Sofyan et al., (2023) menunjukkan bahwa metode ini mampu memberikan estimasi umur transformator dengan akurasi yang baik berdasarkan data historis pembebanan. Selain itu, Widagdo et al., (2024) menemukan bahwa ketidakstabilan pola beban dapat menurunkan umur transformator hingga 30% lebih cepat dibandingkan prediksi desain.

Standar IEC 354 juga menjelaskan bahwa transformator yang beroperasi pada kondisi nominal dengan temperatur lingkungan 20°C memiliki umur rata-rata sekitar 20 tahun, dimana pembebanan dan temperatur menjadi penyebab utama susut umur. Sejalan dengan itu, Burhan et al. (2023) menegaskan bahwa beban berlebih dan suhu sekitar merupakan faktor dominan yang mempengaruhi masa pakai transformator.

LANDASAN TEORI

Transformator distribusi berfungsi menyalurkan energi listrik dengan menurunkan tegangan melalui prinsip induksi elektromagnetik. Keandalan transformator sangat ditentukan oleh kondisi isolasi, karena degradasi isolasi merupakan penyebab utama penurunan kinerja dan kegagalan peralatan (Ruliyanto, 2020). Gambar 1, merupakan bentuk penyederhanaan dari sistem distribusi yang lebih kompleks, yang digunakan untuk memberikan ilustrasi mengenai potensi kenaikan suhu yang dapat terjadi.



Gambar 1 Diagram *Thermal* Transformator

Menurut standar IEC 354, transformator dapat mencapai usia operasi normal apabila secara terus-menerus dioperasikan dengan suhu titik panas (hotspot) sekitar 98°C dalam kondisi suhu lingkungan sebesar 20°C. Berdasarkan Tabel 1 jika suhu titik panas melebihi 98°C, maka masa pakai transformator akan berkurang lebih cepat, sehingga umur operasionalnya menjadi lebih pendek dari yang diharapkan. Standar ini juga menetapkan faktor pembebanan terus-menerus yang dirancang untuk menghasilkan suhu hotspot sekitar 98°C, tergantung pada suhu lingkungan dan jenis sistem pendingin yang digunakan (Purnomo et al., 2021). Dengan demikian, perhitungan kapasitas pembebanan berkelanjutan dapat disesuaikan berdasarkan kondisi suhu sekitar. Informasi mengenai pembebanan yang diperbolehkan sesuai suhu lingkungan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Pembebanan yang di izinkan pada suhu sekitar yang berbeda

<i>Ambient temperature (°C)</i>			-25	-20	-10	0	10	20	30	40
K24	<i>Distribution</i>	ONAN	1,37	1,33	1,25	1,17	1,09	1,00	0,91	0,81
	<i>Power Transformer</i>	ON	1,33	1,30	1,25	1,17	1,09	1,00	0,92	0,82
		OF	1,31	1,28	1,21	1,14	1,08	1,00	0,92	0,83
		OD	1,24	1,22	1,17	1,11	1,06	1,00	0,94	0,87

Penuaan isolasi transformator dipengaruhi oleh suhu operasional yang berkaitan langsung dengan tingkat pembebanan. Metode Montsinger menyatakan bahwa kenaikan temperatur sekitar 8–10°C dapat mempercepat laju penuaan isolasi hingga dua kali lipat, sehingga memperpendek umur transformator secara signifikan (Rosyidi et al., 2024). Standar IEC 354 menjelaskan bahwa transformator yang beroperasi pada kondisi nominal memiliki umur rata-rata sekitar 20 tahun, namun pembebanan berlebih dan peningkatan temperatur dapat mempercepat susut umur tersebut.

Berdasarkan SPLN 20-1:1990 tentang pedoman pembebanan transformator, peralatan transformator di Indonesia umumnya dirancang untuk beroperasi pada suhu lingkungan maksimum sebesar 40°C. Suhu rata-rata harian di Indonesia berkisar sekitar 30°C dan relatif sejalan dengan rata-rata suhu tahunan. Kondisi termal tersebut dijadikan sebagai acuan dalam proses perancangan dan pengoperasian transformator guna menjaga kinerja tetap optimal serta memastikan umur layanan sesuai dengan karakteristik iklim tropis.

Tabel 2 Susut Umur Akibat Kenaikan Suhu

$\theta h(^{\circ}C)$	Susut Umur (p.u)	Perkiraan Umur (Tahun)
80	0,125	>20
86	0,25	>20
92	0,5	>20
98	1	20
104	2	10
110	4	5

116	8	2,5
122	16	1,25
128	32	0,625
134	64	0,5125
140	128	0,15625

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan adanya variasi pandangan terkait besarnya laju penyusutan umur transformator pada tingkat suhu tertentu. Meskipun demikian, terdapat kesepakatan bahwa pada rentang suhu 80°C hingga 140°C, laju penuaan transformator akan meningkat dua kali lipat setiap kenaikan suhu sebesar 6°C. Ketentuan ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pelaksanaan penelitian ini (Wijaya & Pramono, 2025).

a. Metode *Time Series*

Dalam analisis ini, peramalan beban untuk tahun-tahun mendatang akan dihitung menggunakan metode *time series*. Salah satu komponen utama yang digunakan dalam perhitungan peramalan beban adalah komponen tren. Untuk menentukan komponen tren tersebut, dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Y_t = a + b.X \tag{3.1}$$

Keterangan:

- Y_t = komponen trend
- a, b = koefisien regresi
- X = waktu pengambilan data

Simbol a dan b adalah koefisien regresi, dan nilai-nilai dari koefisien-koefisien regresi ini dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$b = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \tag{3.2}$$

$$a = Y_1 - bX_1$$

Keterangan:

- X = waktu (tahun) pengambilan data
- Y = data pembebanan

b. Metode Montsinger

Metode Montsinger memberikan pendekatan yang lebih presisi dalam memperkirakan suhu belitan transformator serta menganalisis sisa umurnya dengan mempertimbangkan berbagai kondisi pembebanan dan suhu operasional (Burhan et al., 2023). Untuk menghitung suhu titik panas pada pembebanan 100%, dapat digunakan persamaan 2.4 hingga 2.5 berikut:

$$\theta_h \text{ pada pembebanan } 100\% = \frac{98^\circ\text{C} \times 100\%}{\% \text{ faktor pembebanan}} \quad (3.3)$$

$$\theta_h = \text{beban transformator } (\%) \times \theta_{\text{pada pembebanan } 100\%} \quad (3.4)$$

Nilai relatif dari umur pemakaian didefinisikan menggunakan persamaan berikut:

$$V_{p.u} = 2 \frac{\theta_h - 98^\circ\text{C}}{6} \quad (3.5)$$

Keterangan :

$V_{p.u}$: nilai kecepatan relatif dari umur pemakaian ($p.u$)

θ_h : suhu belitan ($^\circ\text{C}$)

98°C : standar normal suhu hotspot dengan suhu lingkungan (30°C)

Perkiraan umur transformator pada tahun ke:

$$n_{\text{sisa}} = \frac{n_{\text{normal}}}{V_{p.u}} \quad (3.6)$$

Keterangan:

n_{sisa} : Sisa umur transformator

n_{normal} : 20 tahun (standar IEC)

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan fokus pada analisis data numerik berupa beban listrik dan suhu operasi transformator. Penelitian dilaksanakan di PLN ULP Mattoanging Kota Makassar selama empat bulan, yaitu dari Juli hingga Oktober 2025.

Tahapan analisis dimulai dari pengumpulan data pembebanan dan tahun operasi transformator, dilanjutkan dengan peramalan persentase beban menggunakan model tren. Hasil peramalan kemudian digunakan untuk menghitung percepatan penuaan isolasi berdasarkan estimasi suhu hotspot. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang sistematis terhadap kondisi transformator serta mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam perencanaan pemeliharaan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan data pembebanan yang telah diperoleh di bawah, langkah selanjutnya adalah melakukan peramalan beban transformator untuk beberapa tahun mendatang. Data yang akan digunakan 5 unit transformator dengan data pengukuran diambil 2 tahun terakhir dengan pembebanan yang berbeda-beda. Dapat dilihat transformator yang menjadi sampel penelitian mulai tahun 2024 hingga 2025 dengan gardu dari penyulang yang sama pada Tabel 3. Peramalan ini akan didasarkan pada data dari tahun 2024 hingga 2025, yang akan digunakan sebagai dasar untuk meramalkan beban pada tahun-tahun berikutnya menggunakan metode *time series* atau deret waktu. Selain itu, dilakukan perhitungan susut usia transformator menggunakan metode Montsinger. Hasil dari perhitungan ini akan memberikan perkiraan berapa sisa usia transformator yang tersisa berdasarkan tingkat pembebanan yang ada. Dengan demikian, penelitian ini akan memberikan informasi yang lebih rinci mengenai peramalan beban transformator dan perkiraan masa pakai yang tersisa berdasarkan perhitungan dengan metode *time series* dan metode Montsinger.

Tabel 3 Data Pembebanan Transformator 2 Tahun Terakhir

Data Pembebanan Transformator 2 Tahun Terakhir					
No.	Gardu	kVA 3 ϕ	Tahun Pemasangan	Beban (%)	
				2024	2025
1.	GT. MAR008	100	2016	67,09	71,57
2.	GT. MAR015	160	2017	75,71	80,00
3.	GT. MAR043	100	2018	61,33	65,90
4.	GT. MAR046	200	2017	71,51	76,02
5.	GT. MAR048	250	2019	64,00	66,61

a. Time Series

Untuk melakukan peramalan beban di perlukan data komponen trend seperti pada tabel 4, yang akan digunakan untuk melakukan peramalan beban dengan menggunakan persamaan 3.1, sampai 3.2.

Tabel 4 Komponen Trend Beban Gardu GT. MAR008

Tahun	Data Pembebanan (%)	Tahun
	Y	Ke (X)
2024	67,09	0
2025	71,57	1

Setelah mendapatkan nilai komponen tren seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4, langkah selanjutnya adalah memasukkannya ke dalam persamaan yang digunakan untuk melakukan peramalan beban pada tahun-tahun berikutnya. Persamaan (3.1) digunakan untuk menentukan komponen tren pada transformator untuk periode mendatang, sedangkan persamaan (3.2) berfungsi untuk menghitung nilai koefisien regresinya.

$$Y_t = a + b.X$$

Berdasarkan persamaan di atas, nilai a dan b merupakan koefisien regresi. Koefisien tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.2) sebagai berikut:

$$b = (Y_2 - Y_1) / (X_2 - X_1)$$

$$b = (71,57 - 67,09) / (1 - 0)$$

$$b = 4,48$$

Kemudian untuk koefisien a diperoleh dengan persamaan berikut:

$$a = Y_1 - bX_1$$

$$a = 67,09 - 4,48(0)$$

$$a = 67,09$$

Setelah nilai koefisien a dan b diperoleh, keduanya dimasukkan ke dalam persamaan yang telah ditentukan. Selanjutnya, dilakukan perhitungan untuk meramalkan beban pada tahun-tahun berikutnya menggunakan persamaan (3.1) berikut ini.

$$Y_t = 67,09 + 4,48.X$$

Setelah melakukan perhitungan peramalan beban untuk tahun-tahun berikutnya dengan menggunakan persamaan di atas, diperoleh hasil perkiraan beban yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Peramalan Beban Transformator

Tahun	Pembebanan (%)				
	GT. MAR008	GT. MAR015	GT. MAR043	GT. MAR046	GT. MAR048
2024	67,09	75,71	61,33	71,51	64,00
2025	71,57	80,00	65,90	76,02	66,61
2026	76,05	84,29	70,47	80,53	69,22
2027	80,53	88,58	75,04	85,04	71,83
2028	85,01	92,87	79,61	89,55	74,44
2029	89,49	97,16	84,18	94,06	77,05
2030	93,97	101,45	88,75	98,57	79,66
2031	98,48	105,74	93,22	103,08	82,27
2032	107,41	110,03	97,89	107,59	84,88
2033	111,89	114,32	102,46	112,10	87,49
2034	116,37	118,61	107,03	116,61	90,10
2035	120,85	122,90	111,60	121,12	92,71
2036	125,33	127,19	116,17	125,63	95,32
2037	129,81	131,48	120,74	130,14	97,93

b. Montsinger

Dalam standar IEC 354, dijelaskan bahwa transformator akan mencapai masa pakai yang normal jika terus-menerus diberi beban dengan suhu titik panas (hotspot) sekitar 98°C,

pembebanan yang di izinkan secara terus menerus untuk suhu sekitar 30° dapat di bebani sebesar 91%, suhu belitan yang diperoleh pada pembebanan 100% dari rating daya transformator dengan menggunakan persamaan 3.3 berikut.

$$\theta_h \text{ pada pembebanan } 100\% = \frac{98^{\circ}\text{C}}{91\%} \times 100\% = 107,7^{\circ}\text{C}$$

Pada pembebanan tahun 2025 dengan pembebanan 71,57% kemudian dilakukan persamaan 3.4 untuk mendapatkan nilai hotspot pada transformator GT. MAR008 seperti berikut:

$$\begin{aligned} \theta_h &= 71,57\% \times 107,7^{\circ}\text{C} \\ \theta_h &= 77,08^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

Kemudian setelah nilai hotspot diperoleh, nilainya dimasukkan ke metode montsinger yang ada pada persamaan 3.5 digunakan untuk memperoleh nilai kecepatan relatif transformator sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{p.u} &= 2^{\frac{\theta_h - 98^{\circ}\text{C}}{6}} \\ V_{p.u} &= 2^{\frac{77,08^{\circ}\text{C} - 98^{\circ}\text{C}}{6}} \\ V_{p.u} &= 0,0892 \end{aligned}$$

Setelah memperoleh nilai kecepatan susut umur per unit ($V_{p.u}$) seperti di atas, langkah selanjutnya untuk mengestimasi masa pakai transformator pada gardu GT. MAR008 menggunakan persamaan yang ada pada 3.6 seperti berikut.

$$\begin{aligned} n_{sisa} &= \frac{n_{normal}}{V_{p.u}} \\ n_{sisa} &= \frac{20}{0,0892} \\ n_{sisa} &= 224,21 \end{aligned}$$

Kemudian diperkirakan umur transformator GT. MAR008 pada tahun 2025 untuk pembebanan 77,08% diperoleh usia transformator adalah 224,21 tahun. Dengan menggunakan persamaan sebelumnya sehingga diperoleh hasil perkiraan sisa umur transformator dari tahun 2024 hingga 2037 dapat dilihat pada tabel 6, berikut ini.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Sisa Umur Transformator Menggunakan Metode Montsinger

Tahun	Data Pembebanan (%)	Suhu <i>Hotspot</i> (°C)	V (p.u)	Sisa Umur (Tahun)
2024	67,09	72,25	0,0511	391,66
2025	71,57	77,08	0,0892	224,21
2026	76,05	81,90	0,1557	128,47
2027	80,53	86,72	0,2718	73,58
2028	85,01	91,55	0,4746	42,14
2029	89,49	96,37	0,8287	24,13
2030	93,97	101,2	1,4470	13,82
2031	98,48	106,06	2,5360	7,89
2032	107,41	115,67	7,7028	2,60
2033	111,89	120,5	13,4496	1,49
2034	116,37	125,32	23,4837	0,85
2035	120,85	130,15	41,0040	0,49
2036	125,33	134,97	71,5954	0,28
2037	129,81	139,8	125,0098	0,16

c. Hasil

Hasil analisis berdasarkan teori diatas dan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, maka diperoleh data berupa estimasi waktu layak operasi masing-masing transformator. Estimasi tersebut diperoleh melalui proses peramalan beban menggunakan metode *Time Series* serta perhitungan susut umur transformator dengan menerapkan metode Montsinger yang diimplementasikan melalui program MATLAB. Hasil integrasi kedua metode tersebut menghasilkan informasi mengenai perkiraan sisa umur transformator pada setiap gardu distribusi, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Perkiraan Layak Pakai Transformator.

No.	Kode Gardu	Tahun Pengoperasian	Hasil Perkiraan Layak Operasi
1.	GT. MAR008	2016	2030

2.	GT. MAR015	2017	2028
3.	GT. MAR043	2018	2031
4.	GT. MAR046	2017	2029
5.	GT. MAR048	2019	2035

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Setelah dilakukan perhitungan peramalan beban menggunakan metode *time series*, diperoleh data perubahan beban tahunan pada masing-masing gardu transformator. Hasil analisis menunjukkan bahwa laju kenaikan beban per tahun sebesar 4,48% untuk GT. MAR008, 4,29% untuk GT. MAR015, 4,58% untuk GT. MAR043, 4,51% untuk GT. MAR046, serta 2,61% untuk GT. MAR048.
2. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, diperoleh estimasi sisa umur operasional masing-masing transformator sebagai berikut: Gardu GT. MAR008 diperkirakan masih dapat beroperasi hingga tahun 2030, sedangkan Gardu GT. MAR015 diperkirakan layak digunakan hingga tahun 2028. Gardu GT. MAR043 memiliki estimasi umur pakai hingga tahun 2031, sementara Gardu GT. MAR046 diperkirakan masih dapat berfungsi dengan baik hingga tahun 2029. Adapun Gardu GT. MAR048 diprediksi memiliki sisa umur paling panjang, yaitu hingga tahun 2035. Seluruh estimasi tersebut diperoleh berdasarkan hasil peramalan pembebanan tahunan yang sebelumnya telah dihitung menggunakan metode *time series*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar PLN ULP Mattoanging melakukan pemantauan beban transformator secara berkala untuk memastikan kesesuaian antara hasil peramalan beban dengan kondisi aktual di lapangan, sehingga estimasi umur transformator dapat diperbarui secara berkelanjutan. Transformator yang menunjukkan penurunan umur signifikan berdasarkan perhitungan metode Montsinger sebaiknya diprioritaskan dalam program pemeliharaan preventif atau rencana penggantian, terutama jika tingkat pembebanannya terus mendekati kapasitas nominal.

DAFTAR PUSTAKA

- Burhan, Rizal Sultan, A., & Achmad, A. (2023). *Analisis Perkiraan Umur Transformator Distribusi Terhadap Pembebanan Di Ulp Mattirotasi Dengan Metode Montsinger*.
- Gianto, R., Hadari Nawawi, J. H., & Barat, K. (2023). *Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Menggunakan Metode Gabungan*. 11(3). <https://doi.org/10.26418/justin.v11i3>
- Novian, A., & Kartini, U. T. (2023). *Peramalan Loss Of Life Transformator Berdasarkan Loading dan Temperature Menggunakan Deep Learning-LSTM di Gardu Induk 150 KV Buduran*.
- Purnomo, H., Suyono, H., & Hasanah, R. N. (2021). Peramalan Beban Jangka Pendek Sistem Kelistrikan Kota Batu Menggunakan Deep Learning Long Short-Term Memory. *Transmisi*, 23(3), 97–102. <https://doi.org/10.14710/transmisi.23.3.97-102>
- Rosyidi, N. A., Andika, G., Supriyadi, E., & Teknik Elektro, J. (2024). *Analisa Penurunan Usia Transformator 1250 kVA Akibat Pembebanan pada Transformator di Rumah Sakit Swasta*. <https://doi.org/10.37277/stch.v34i1.1997>
- Ruliyanto. (2020). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat. *Jurnal Ilmiah GIGA*, 23(1), 2020–2047.
- Sofyan, S., Faraby, M. D., Naim, K., Idris, A. R., Akhmad, S. S., & Firmansyah, H. (2023). Analysis of estimated age of distribution transformer against loading at ULP Panakkukang with the montsinger method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2596(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2596/1/012054>
- Widagdo, R. S., Slamet, P., & Ubaidillah, M. (2024). Prediction of Transformer Age Based on Temperature Due to Loading Using Linear Trend Method: Case Study of 60 MVA Transformer. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.30871/jaee.v8i1.6999>
- Wijaya, F. D., & Pramono, W. B. (2025). *Transformator Daya Listrik: Desain-Instalasi-Proteksi-Aplikas-Pemeliharaan dan Troubleshooting*. UGM PRESS.