

Analisis Pengaruh Variasi Faktor Daya terhadap Efisiensi dan Regulasi Tegangan Transformator Distribusi Tiga Fasa 240 kVA Menggunakan MATLAB

Agung B Muljono^{1*}, M Rivadi Harjian²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram

ARTICLE INFO

Article history:

Received February 20, 2026

Revised February 26, 2026

Accepted February 28, 2026

Keywords:

Power factor;
Efficiency;
voltage regulation;
distribution transformer;
MATLAB.

ABSTRACT

Power factor is one of the key parameters affecting the performance of distribution transformers, particularly in terms of efficiency and voltage regulation. This study aims to analyze the effect of power factor variations on the efficiency and voltage regulation of a 240 kVA three-phase distribution transformer using MATLAB simulation. The power factor was varied from 0.8 lagging to 0.8 leading under the assumption of constant load power, allowing quantitative observation of performance changes. The simulation results show that the maximum efficiency of 98.334% is achieved at unity power factor ($\cos \phi = 1$). When the power factor decreases to 0.8, the efficiency drops to 97.927% for both lagging and leading conditions. This efficiency reduction is caused by the increase in load current as the $\cos \phi$ value decreases, which leads to higher copper losses (I^2R). Although the decrease in efficiency is relatively small, its impact can become significant in long-term operation. On the other hand, voltage regulation exhibits different trends under lagging and leading conditions. At 0.8 lagging power factor, the voltage regulation reaches 3.152% and decreases to 1.163% at unity power factor. Under leading conditions, the regulation becomes negative, reaching -1.307% at 0.8 power factor, indicating a voltage rise due to the dominance of the transformer's reactance component. Overall, operating the transformer at a power factor close to unity provides the most optimal performance in terms of efficiency and voltage stability, and it is essential in planning reactive power compensation in power distribution systems..

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)



Corresponding Author:

Agung Budi Muljono, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia

agungbm@unram.ac.id

Email: agungbm@unram.ac.id

1. PENDAHULUAN

Transformator merupakan salah satu komponen utama dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi mentransfer energi listrik antar rangkaian dengan level tegangan berbeda secara efisien melalui prinsip induksi elektromagnetik [1],[2]. Dalam sistem distribusi, transformator distribusi tiga fasa sebagai bagian dari transformator daya berperan vital dalam menurunkan tegangan dari jaringan tegangan menengah ke tegangan rendah sebelum disalurkan kepada konsumen [3],[4]. Kinerja transformator distribusi sangat menentukan kualitas tegangan, efisiensi energi, serta keandalan sistem secara keseluruhan [5].

Evaluasi unjuk kerja transformator umumnya dilakukan melalui pendekatan rangkaian ekuivalen yang parameternya diperoleh dari dua pengujian standar, yaitu uji tanpa beban (*Open-Circuit Test*) dan uji hubung singkat (*Short-Circuit Test*) [6]. Uji tanpa beban digunakan untuk menentukan rugi-rugi inti dan parameter cabang magnetisasi, sedangkan uji hubung singkat digunakan untuk memperoleh rugi tembaga serta impedansi seri ekuivalen transformator [7]. Parameter-parameter ini menjadi dasar dalam perhitungan efisiensi dan regulasi tegangan pada berbagai kondisi pembebanan.

Salah satu faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kinerja transformator adalah faktor daya beban. Variasi faktor daya menyebabkan perubahan arus yang mengalir pada kumparan, sehingga mempengaruhi

besar rugi tembaga, efisiensi, serta penurunan tegangan pada sisi keluaran [8],[9]. Pada kondisi faktor daya *lagging*, komponen reaktansi induktif cenderung meningkatkan penurunan tegangan sehingga regulasi bernilai positif, sedangkan pada kondisi *leading* dapat terjadi perbaikan profil tegangan bahkan menghasilkan regulasi negatif [10],[11],[12].

Penelitian berbasis simulasi ini menggunakan parameter rangkaian ekuivalen yang tidak diperoleh dari pengukuran langsung, tetapi mengacu pada data standar yang bersumber dari buku referensi parameter transformator [13]. Data tersebut meliputi daya nominal, tegangan uji hubung singkat (*short-circuit test*), serta data uji tanpa beban (*open-circuit test*) yang digunakan sebagai dasar perhitungan parameter rangkaian ekuivalen. Parameter yang diperoleh kemudian diimplementasikan ke dalam model simulasi menggunakan MATLAB untuk menganalisis efisiensi dan regulasi tegangan pada berbagai variasi faktor daya, sehingga evaluasi performa dapat dilakukan secara sistematis dengan tetap menjaga konsistensi model matematis.

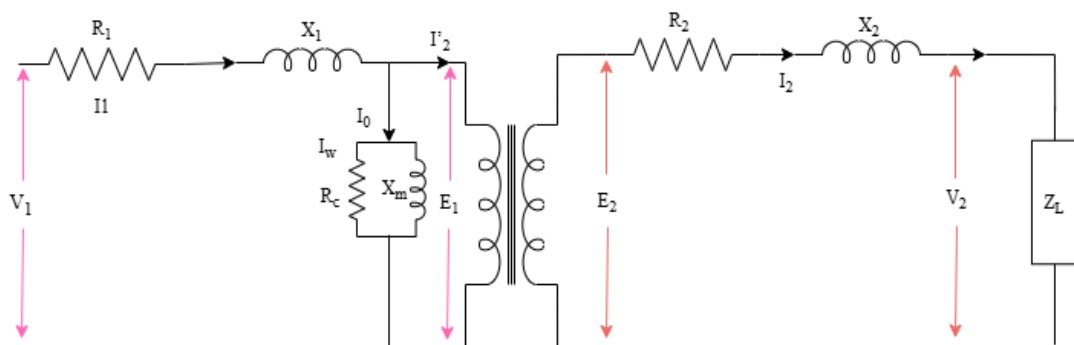
Kajian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi transformator pada berbagai variasi faktor daya, mengevaluasi regulasi tegangan pada kondisi *lagging* dan *leading*, serta memodelkan transformator distribusi tiga fasa 240 kVA berdasarkan parameter hasil uji *open-circuit* (OC) dan *short-circuit* (SC) melalui simulasi berbasis MATLAB. Hasil analisis diharapkan mampu menyajikan gambaran kuantitatif mengenai dinamika kinerja transformator akibat variasi faktor daya serta dapat dimanfaatkan sebagai acuan dalam proses evaluasi dan perencanaan sistem distribusi tenaga listrik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis simulasi dengan pemodelan rangkaian ekuivalen transformator untuk menganalisis kinerja pada kondisi tunak (*steady state*). Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB dengan parameter yang diturunkan dari data *open-circuit* dan *short-circuit test*. Pendekatan ini digunakan untuk mengevaluasi efisiensi dan regulasi tegangan transformator distribusi tiga fasa pada berbagai variasi faktor daya secara sistematis dan kuantitatif. Objek penelitian adalah transformator distribusi tiga fasa dengan daya nominal 240 kVA. Berdasarkan daya dan tegangan nominal tersebut, arus nominal pada sisi primer dan sekunder dihitung sebagai dasar penentuan kondisi pembebanan dalam simulasi.

2.1. Rangkaian Ekuivalen Transformator

Rangkaian ekuivalen transformator digunakan sebagai model analitis untuk mengevaluasi unjuk kerja transformator berdasarkan parameter listrik yang diperoleh dari pengujian OC dan SC. Cabang magnetisasi yang terdiri dari resistansi inti (R_c) dan reaktansi magnetisasi (X_m) merepresentasikan rugi inti dan kebutuhan arus magnetisasi, sedangkan impedansi seri ekuivalen (R_{eq} dan X_{eq}) merepresentasikan rugi tembaga serta reaktansi kebocoran kumparan sebagaimana pada Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian ekuivalen transformator

Parameter-parameter tersebut digunakan dalam model rangkaian ekuivalen untuk menghitung arus, daya keluaran, efisiensi, dan regulasi tegangan pada berbagai variasi faktor daya. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan fasor dan impedansi kompleks untuk mengevaluasi pengaruh perubahan faktor daya terhadap unjuk kerja transformator secara kuantitatif, sesuai pada tahapan formula sebagai berikut [14]:

1. Impedansi seri ekuivalen, pada Persamaan 1 :

$$\begin{aligned} R_{eq} &= R_1 + R'_2 \\ X_{eq} &= X_1 + X'_2 \\ Z_{eq} &= R_{eq} + jX_{eq} \end{aligned} \quad (1)$$

2. Persamaan tegangan :

$$\begin{aligned} V_1 &= E_1 + I_1(R_1 + jX_1) \\ V_2 &= E_2 - I_2(R_2 + jX_2) \\ V_1 &= V_2' + I_1 Z_{eq} \end{aligned} \quad (2)$$

3. Persamaan daya :

$$\begin{aligned} P_{in} &= V_1 I_1 \cos \varphi_1 \\ P_{out} &= V_2 I_2 \cos \varphi_2 \\ P_{loss} &= P_{core} + P_{cu} \\ P_{core} &= \frac{V_2^2}{R_c} \quad P_{cu} = I^2 R_{eq} \end{aligned} \quad (3)$$

4. Efisiensi Transformator :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{V_2 I_2 \cos \varphi}{V_2 I_2 \cos \varphi + P_{core} + I^2 R_{eq}} \times 100\% \quad (4)$$

5. Regulasi Tegangan :

$$VR(\%) = \frac{V_{nl} - V_{fl}}{V_{fl}} \times 100\% \approx \frac{I_2 (R_{eq} \cos \varphi \pm X_{eq} \sin \varphi)}{V_2} \times 100\% \quad (5)$$

6. Open-Circuit (OC) Test :

$$P_{oc} = V_{oc} I_{oc} \cos \varphi_0 \quad (6)$$

$$R_{oc} = \frac{V_{oc}^2}{P_{oc}} \quad (7)$$

$$X_o = \frac{V_{oc}}{\sqrt{I_{oc}^2 - \left(\frac{P_{oc}}{V_{oc}}\right)^2}} \quad (8)$$

7. Short-Circuit (SC) Test :

$$Z_{eq} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} \quad (9)$$

$$R_{eq} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} \quad (10)$$

$$X_{eq} = \sqrt{Z_{eq}^2 - R_{eq}^2} \quad (11)$$

2.2. Skenario Simulasi

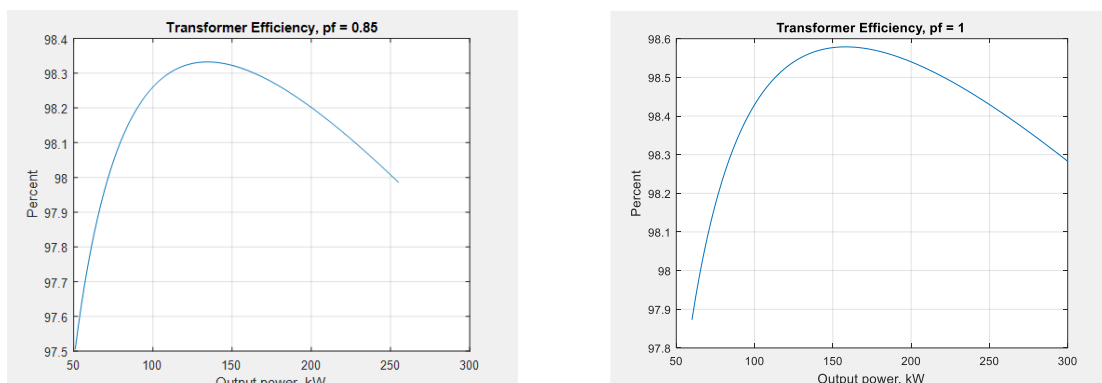
Simulasi dilakukan pada kondisi beban penuh dengan variasi faktor daya 0,8 *lagging*, 0,85 *lagging*, 0,9 *lagging*, 0,95 *lagging*, 1,0, 0,95 *leading*, 0,9 *leading*, 0,85 *leading* dan 0,8 *leading*. Pada setiap kondisi, nilai efisiensi dan regulasi tegangan dihitung berdasarkan model rangkaian ekuivalen, kemudian disajikan dalam bentuk kurva karakteristik hubungan faktor daya terhadap efisiensi dan regulasi tegangan untuk menganalisis pengaruh perubahan faktor daya terhadap kinerja transformator distribusi tiga fasa secara kuantitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan menyajikan analisis kinerja transformator berdasarkan data referensi transformator distribusi tiga fasa berkapasitas 240 kVA dengan tegangan 4800/240 V. Parameter rangkaian ekuivalen diturunkan dari data pengujian standar, yaitu open-circuit test dan short-circuit test. Pada uji tanpa beban diperoleh data $V_{oc} = 240$ V, $I_o = 10$ A dan $P_o = 1440$ W, yang digunakan untuk menentukan parameter cabang magnetisasi serta rugi inti transformator. Sementara itu, pada uji hubung singkat diperoleh $V_{sc} = 187,5$ V, $I_{sc} = 50$ A dan $P_{sc} = 2625$ W, yang menjadi dasar perhitungan impedansi seri ekuivalen untuk merepresentasikan rugi tembaga dan reaktansi kebocoran dengan menggunakan fungsi **trans** pada Matlab [13], didapatkan parameter dari model rangkaian ekuivalen trafo sebagai berikut :

Shunt branch ref. to LV side		Shunt branch ref. to HV side	
$R_c =$	40.000 ohm	$R_c =$	16000.000 ohm
$X_m =$	30.000 ohm	$X_m =$	12000.000 ohm
Series branch ref. to LV side		Series branch ref. to HV side	
$Z_e =$	0.002625 + j 0.009000 ohm	$Z_e =$	1.050000 + j 3.600000 ohm

Hasil simulasi menunjukkan bahwa efisiensi transformator tidak bersifat konstan terhadap perubahan daya keluaran, melainkan membentuk pola kurva menyerupai parabola terbalik. Pada kedua kondisi faktor daya ($\text{pf} = 0,85$ dan $\text{pf} = 1$), efisiensi mengalami peningkatan seiring bertambahnya daya keluaran dari kondisi beban ringan hingga mendekati beban nominal, kemudian cenderung menurun kembali pada tingkat pembebanan yang lebih tinggi. Pola ini mencerminkan pengaruh kombinasi rugi inti yang relatif konstan dan rugi tembaga yang meningkat sebanding dengan kuadrat arus beban sebagaimana pada Gambar 2.



Gambar 2 Hubungan daya output terhadap efisiensi transformator

Parameter yang diperoleh selanjutnya diimplementasikan ke dalam model rangkaian ekuivalen per-fasa menggunakan MATLAB untuk mensimulasikan kondisi pembebanan penuh dengan variasi faktor daya. Simulasi dilakukan pada kondisi beban penuh dengan variasi faktor daya lagging dan *leading*. Nilai efisiensi dan regulasi tegangan yang diperoleh dari setiap kondisi operasi disajikan dalam bentuk Tabel 1 untuk memudahkan analisis perbandingan serta mengidentifikasi pengaruh perubahan faktor daya terhadap kinerja transformator secara kuantitatif.

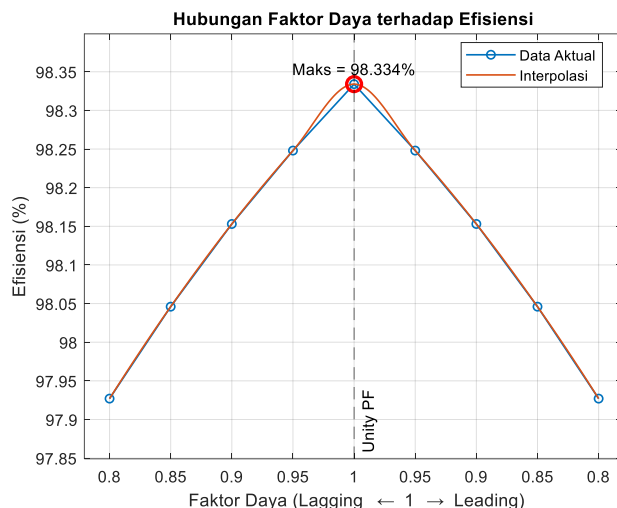
Tabel 1 Hasil efisiensi dan regulasi tegangan transformator untuk berbagai nilai faktor daya

Faktor Daya	Efisiensi (%)	Regulasi Tegangan (%)	Keterangan
0,8	97,927	3,152	<i>lagging</i>
0,85	98,046	2,938	<i>lagging</i>
0,9	98,153	2,660	<i>lagging</i>
0,95	98,248	2,261	<i>lagging</i>
1	98,334	1,163	<i>unity</i>
0,95	98,248	-0,056	<i>leading</i>
0,9	98,153	-0,576	<i>leading</i>
0,85	98,046	-0,974	<i>leading</i>
0,8	97,927	-1,307	<i>leading</i>

Hasil simulasi disajikan dalam bentuk kurva karakteristik hubungan faktor daya terhadap efisiensi dan regulasi tegangan, sehingga kecenderungan perubahan performa transformator akibat variasi faktor daya dapat dianalisis secara kuantitatif serta diidentifikasi kondisi operasi yang menghasilkan efisiensi optimum dan regulasi tegangan terbaik.

3.1. Analisis Pengaruh Faktor Daya terhadap Efisiensi Transformator

Berdasarkan hasil simulasi pada Tabel 1, efisiensi transformator distribusi tiga fasa 240 kVA menunjukkan hubungan yang jelas terhadap variasi faktor daya. Efisiensi maksimum tercapai pada kondisi faktor daya *unity* ($\cos \phi = 1$) dengan nilai sebesar 98,334%. Ketika faktor daya menurun dari *unity* ke 0,95, 0,9, 0,85, hingga 0,8, efisiensi mengalami penurunan bertahap menjadi 97,927% pada faktor daya 0,8. Pola yang sama juga terjadi pada sisi *leading*, sehingga kurva efisiensi berbentuk simetris terhadap titik *unity* sebagaimana Gambar 3. Bentuk kurva yang simetris antara kondisi *lagging* dan *leading* mengindikasikan bahwa penurunan efisiensi dipengaruhi oleh besar nilai absolut faktor daya, bukan oleh jenis beban (induktif atau kapasitif). Hal ini menunjukkan, selama nilai $\cos \phi$ kurang dari satu, sistem akan mengalami peningkatan arus dan rugi daya.

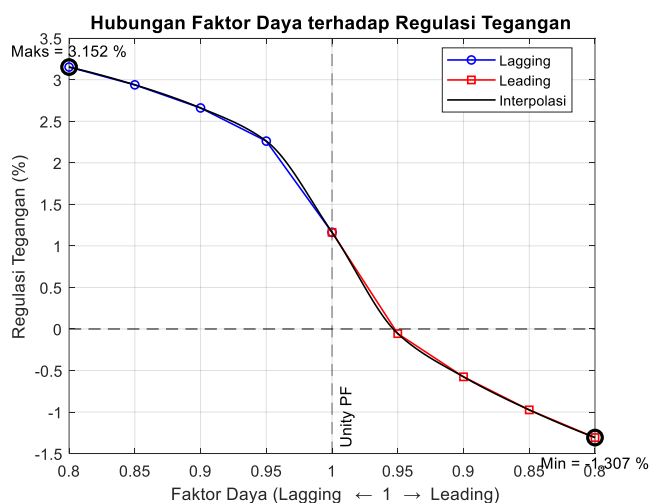


Gambar 3 Karakteristik variasi faktor daya terhadap efisiensi transformator

Secara kuantitatif, selisih efisiensi antara kondisi unity dan faktor daya 0,8 adalah sekitar 0,407%. Meskipun secara persentase terlihat kecil, kecenderungan ini menunjukkan bahwa efisiensi sistem sangat dipengaruhi oleh besarnya faktor daya. Penurunan efisiensi terjadi karena arus beban meningkat ketika nilai $\cos \phi$ menurun, dengan hubungan berbanding terbalik terhadap faktor daya. Peningkatan arus ini menyebabkan rugi-rugi tembaga (I^2R) bertambah secara kuadratik, sehingga total rugi daya meningkat dan efisiensi menurun.

3.2. Analisis Pengaruh Faktor Daya terhadap Regulasi Tegangan

Hasil simulasi variasi faktor daya terhadap regulasi tegangan pada Tabel 1, menunjukkan bahwa perubahan faktor daya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai dan arah regulasi tegangan transformator. Berbeda dengan karakteristik efisiensi yang menunjukkan kurva simetris terhadap faktor daya unity, hasil simulasi regulasi tegangan memperlihatkan perilaku yang tidak simetris antara kondisi *lagging* dan *leading*. Pada sisi *lagging* (beban induktif), regulasi tegangan bernilai positif dan meningkat seiring penurunan faktor daya, dengan nilai maksimum 3,152% pada PF 0,8. Nilai ini kemudian menurun hingga 1,163% pada kondisi unity. Sebaliknya, pada sisi *leading* (beban kapasitif), regulasi tegangan menurun lebih lanjut hingga melewati nol dan menjadi negatif, mencapai -1,307% pada PF 0,8 *leading*, sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4 Karakteristik variasi faktor daya terhadap regulasi tegangan transformator

Perubahan karakteristik yang lebih signifikan terjadi ketika sistem beroperasi pada faktor daya *leading*. Nilai regulasi tegangan mengalami penurunan hingga mendekati nol pada PF 0,95 *leading* (-0,056%) dan terus menjadi negatif pada PF yang lebih rendah, yaitu secara berurutan -0,576% (0,9), -0,974% (0,85), dan

mencapai minimum $-1,307\%$ pada PF 0,8 *leading*. Nilai negatif ini menunjukkan terjadinya fenomena kenaikan tegangan pada sisi beban, sesuai dengan persamaan $VR \approx R \cos \varphi \pm X \sin \varphi$ di mana komponen beban resistif (R) berkontribusi terhadap penurunan tegangan secara proporsional terhadap $\cos \varphi$, sedangkan komponen reaktif (X) berpengaruh terhadap $\sin \varphi$. Pada kondisi *lagging* (beban induktif), komponen reaktansi memperbesar jatuh tegangan sehingga regulasi bernilai positif dan meningkat ketika faktor daya menurun. Sebaliknya, pada kondisi *leading* (beban kapasitif), komponen reaktansi bekerja berlawanan arah terhadap jatuh tegangan sehingga nilai regulasi berkurang bahkan menjadi negatif.

4. KESIMPULAN

Ujuk kerja transformator distribusi 3 fasa 240 kVA dipengaruhi oleh keseimbangan antara rugi inti yang relatif konstan dan rugi tembaga (I^2R) yang meningkat sebanding dengan kuadrat arus beban. Hasil simulasi menunjukkan efisiensi maksimum sebesar 98,334% dicapai pada faktor daya unity ($\cos \varphi = 1$). Ketika faktor daya menurun hingga 0,8, baik pada kondisi *lagging* maupun *leading*, efisiensi turun menjadi 97,927% akibat peningkatan arus beban dan rugi tembaga. Karakteristik efisiensi bersifat simetris terhadap unity karena hanya dipengaruhi oleh besar arus. Sebaliknya, regulasi tegangan menunjukkan pola tidak simetris. Pada faktor daya 0,8 *lagging*, regulasi meningkat hingga 3,152%, dan menurun menjadi 1,163% pada unity. Pada kondisi 0,8 *leading*, regulasi berubah menjadi negatif sebesar $-1,307\%$, yang menandakan kenaikan tegangan akibat dominasi komponen reaktansi. Dengan demikian, performa optimal transformator dicapai pada faktor daya mendekati unity, yang memberikan efisiensi tertinggi serta regulasi tegangan yang lebih stabil.).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. W. P et al., *Dinamika Sistem Tenaga Listrik*, vol. 1, no. 3. Yayasan Kita Menulis, 2024.
- [2] G. Nugraha and Irwanto, "Analisis Efisiensi Trafo 20 kV/150 kV GT pada PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan Unit 1 dan 2 dalam Pengaruh Beban," *J. Elektron. dan Tek. Inform. Terap.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–10, 2025.
- [3] D. F. Iman, P. Khaerunnisa, H. M. Fitri, and D. Aribowo, "Analisis Operasional Sistem Distribusi Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah di Gardu Induk Serang," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 7, no. 2, p. 66, 2024, doi: 10.33087/jepca.v7i2.119.
- [4] I. T. Innaufal, S. Anisah, and Hamdani, "Optimasi Tegangan Dengan Manuver Penyulang Pluto Dan Jupiter Melalui Sistem Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) Pada PLN ULP Tanjung Batu," *AKSELERASI J. Ilm. Nas.*, vol. 6, no. 3, pp. 55–67, 2024, doi: 10.54783/jin.v6i3.1067.
- [5] V.-C. Gheorghe and R. Burlică, "Performance Improvement of Distribution Transformers for the Energy System," *Bull. Polytech. Inst. Iași. Electr. Eng. Power Eng. Electron. Sect.*, vol. 70, no. 1, pp. 21–34, 2024, doi: 10.2478/bipie-2024-0002.
- [6] S. H. Juliatiza, A. Riqziawan, and J. Furqani, "Parameter Estimation of Three-Phase Transformers Under Full Load Condition by Using Open Delta Method," *Int. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 17, no. 3, pp. 484–500, 2025, doi: 10.15676/ijeei.2025.17.3.7.
- [7] Osamah Jaber Ghayyib, "Equivalent Circuit of a Transformer," https://Circuitglobe.Com/Equivalent-Circuit-of-a-Transformer.Html#Google_Vignette, 2025.
- [8] F. Ramadhan et al., "Analysis of Characteristics of Three Phase Transformer Using MATLAB," *J. Ecotipe (Electronic, Control. Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 95–102, 2025, doi: 10.33019/jurnalecotipe.v12i1.4534.
- [9] S. Neje and P. S. A. Wadekar, "Load Variation Effects on Power Transformer Efficiency: A MATLAB Simulation," *Int. Adv. Res. J. Sci. Eng. Technol.*, vol. 12, no. 3, pp. 270–274, 2025, doi: 10.17148/IARJSET.2025.12336.
- [10] S. Jamilah, I. Usrah, A. Chobir, T. Elektro, F. Teknik, and U. Siliwangi, "Analisis Pengaruh Perubahan Faktor Daya Dari Lagging Menjadi Leading Di Favehotel," *J. ENERGY Electr. Eng.*, vol. 04, no. 01, pp. 6–12, 2022.
- [11] M. Haro-Larrode, "Variable Reactance Criteria to Mitigate Voltage Deviations in Power Transformers in Light- and Over-Load Conditions," *Machines*, vol. 11, no. 8, 2023, doi: 10.3390/machines11080797.
- [12] E. Inciroğlu, "Energy efficiency in Turkey," *Eceee Ind. Summer Study Proc.*, vol. 2016-September, 2016.
- [13] H. Saadat, *Power System Analysis*. McGraw Hill Publishing Company, 1999.
- [14] S. V. Kulkarni and S. A. Khaparde, *Transformer Engineering*. 2017. doi: 10.1201/b13011.

BIOGRAPHY OF AUTHORS

	Agung Budi Muljono, lahir pada bulan Februari 1971 di Purwodadi Grobogan Jawa Tengah Memperoleh gelar Sarjana Teknik dari ITN Malang tahun 1996 dan Magister Teknik di bidang Teknik Elektro dari Universitas Gadjah Mada tahun 2000. Sebagai staff pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram sejak tahun 1998 sampai sekarang. Minat utama penelitiannya adalah dinamika dan stabilitas sistem tenaga, transmisi dan distribusi tenaga listrik, sistem HVDC, Energi terbarukan, sistem pembangkit DG dan aplikasi AI dalam sistem tenaga listrik
	Muhammad Rivaldi Harjian, lahir pada bulan Oktober 1997 di Mataram Nusa Tenggara Barat, memperoleh gelar Sarjana Teknik dari Universitas Mataram pada tahun 2021 dan Magister Teknik di bidang Teknik Elektro dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2023. Sebagai staff pengajar di Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram sejak tahun 2024 sampai sekarang. Minat utama penelitiannya adalah aliran daya, optimasi, energi terbarukan, dan keandalan sistem distribusi, serta aplikasi kecerdasan buatan pada sistem tenaga listrik.