

Analysis Of Transformer Reliability And Loading At The New Cirata 150kv Substation

Muhammad Daud Rizky Siregar¹⁾; Dino Erivianto²⁾; Rahmaniar³⁾

^{1)2,3)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi

Email: ¹⁾ daudrizky95@gmail.com ; ²⁾ derivianto@gmail.com ; ³⁾ rahmaniar@dosen.pancabudi.ac.id

How to Cite :

Siregar, M, D, R., Erivianto, D., Rahmaniar. (2026). Analysis Of Transformer Reliability And Loading At The New Cirata 150kv Substation. Jurnal Media Computer Science, 5(2)

ARTICLE HISTORY

Received [22 Maret 2026]

Revised [28 April 2026]

Accepted [30 April 2026]

KEYWORDS

Power Transformers, Reliability, Loading.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Transformator merupakan komponen kritis dalam sistem transmisi tenaga listrik yang memerlukan monitoring keandalan dan analisis pembebanan secara berkala untuk memastikan operasi optimal. Penelitian ini menganalisis keandalan dan karakteristik pembebanan transformator daya 60 MVA di Gardu Induk Cirata Baru 150kV menggunakan data operasional bulan Juli 2025. Metodologi penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan analisis data SCADA dan visualisasi grafis. Hasil analisis menunjukkan transformator beroperasi dengan beban rata-rata 19,75 MVA (32,91% loading) dan beban puncak 20,40 MVA (34% loading) yang terjadi pada 17 Juli 2025 pukul 19:00 WIB. Faktor daya rata-rata mencapai 96,52% mengindikasikan efisiensi sistem yang sangat baik. Arus operasi rata-rata tercatat 551,77 A dengan tegangan operasi stabil di 20,49 kV. Margin kapasitas transformator sebesar 39,60 MVA (66%) memberikan ruang yang sangat memadai untuk pertumbuhan beban di masa depan. Proyeksi pertumbuhan beban dengan asumsi 5% per tahun menunjukkan transformator memiliki kapasitas yang memadai untuk melayani kebutuhan hingga minimal 15 tahun ke depan. Kondisi operasional yang jauh di bawah kapasitas nominal memberikan keandalan tinggi dan umur ekonomis yang panjang.

ABSTRACT

Transformers are critical components in power transmission systems that require regular reliability monitoring and load analysis to ensure optimal operation. This study analyzes the reliability and load characteristics of a 60 MVA power transformer at the Cirata Baru 150kV substation using operational data from July 2025. The research methodology used a quantitative approach with SCADA data analysis and graphical visualization. The analysis results show that the transformer operated with an average load of 19.75 MVA (32.91% loading) and a peak load of 20.40 MVA (34% loading) which occurred on July 17, 2025, at 19:00 WIB. The average power factor reached 96.52%, indicating excellent system efficiency. The average operating current was recorded at 551.77 A with a stable operating voltage of 20.49 kV. The transformer's capacity margin of 39.60 MVA (66%) provides ample room for future load growth. Load growth projections assuming 5% per year indicate that the transformer has sufficient capacity to serve needs for at least the next 15 years. Operational conditions well below nominal capacity provide high reliability and a long economic life.

PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan infrastruktur vital yang menunjang kehidupan masyarakat modern dan perkembangan industri. Dalam sistem tenaga listrik, gardu induk memiliki peranan yang sangat penting sebagai titik penghubung antara sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik. Gardu Induk Cirata Baru 150kV merupakan salah satu gardu induk strategis yang berfungsi menyalurkan energi listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Cirata ke berbagai wilayah konsumen di Jawa Barat. Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi di wilayah Jawa Barat, kebutuhan energi listrik terus meningkat dari tahun ke tahun. Peningkatan beban ini berpotensi memberikan tekanan yang lebih besar pada transformator di Gardu Induk Cirata Baru 150kV. Pembebanan yang berlebihan dapat mempercepat degradasi isolasi transformator, mengurangi umur operasional, dan meningkatkan risiko kegagalan peralatan. Kondisi operasi transformator yang optimal memerlukan analisis mendalam terhadap karakteristik pembebanan dan tingkat keandalan sistem (Dani & Erivianto, 2024).

Analisis keandalan transformator meliputi evaluasi terhadap parameter-parameter seperti Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), availability, dan reliability index (Zega et al., n.d.). Sementara itu, analisis pembebanan mencakup evaluasi terhadap loading factor, load growth, thermal behavior, dan dampaknya terhadap umur transformator (Silvia Oktaviani, 2025). Pentingnya melakukan analisis keandalan dan pembebanan transformator di Gardu Induk Cirata Baru 150kV tidak hanya untuk memastikan operasi yang aman dan efisien saat ini, tetapi juga untuk perencanaan pemeliharaan preventif dan pengembangan sistem di masa depan (Dino Erivianto, Ahmad Dani, 2023). Hasil analisis ini dapat menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait strategi pemeliharaan, penggantian peralatan, dan peningkatan kapasitas sistem.

LANDASAN TEORI

Transformator sebagai komponen utama dalam gardu induk memiliki fungsi vital dalam mengubah tingkat tegangan transmisi 150 kV menjadi tegangan distribusi 20 kV (Rahmaniar, Pristisal Wibowo, 2022). Keandalan operasional transformator sangat menentukan kontinuitas pasokan listrik ke konsumen (Lewan et al., 2025) (Erivianto & Dani, 2024). Oleh karena itu, analisis keandalan dan pembebanan transformator secara berkala menjadi sangat penting untuk memastikan operasi yang optimal dan mengidentifikasi kebutuhan pemeliharaan atau pengembangan sistem (Saragih & Siagian, 2025) (Husein Habibi et al., 2025) (Rahmaniar, Khairul, Agus Junaidi, 2025). Analisis keandalan transformator menggunakan beberapa parameter penting yang dapat dihitung menggunakan rumus-rumus standar reliability engineering (Mughayat et al., 2025) (Rahmaniar et al., 2025). Parameter-parameter ini memberikan gambaran komprehensif tentang performa dan kondisi transformator selama periode operasional.

Parameter Keandalan

Mean Time Between Failure (MTBF) merupakan rata-rata waktu operasi normal antara dua kegagalan berturut-turut, dihitung dengan persamaan (Nur Fadilah Fatma, 2010):

$$MTBF = \text{Total Waktu Operasi} / \text{Jumlah Kegagalan} \quad (1)$$

Mean Time To Repair (MTTR) adalah rata-rata waktu yang diperlukan untuk memperbaiki sistem setelah mengalami kegagalan:

$$MTTR = \text{Total Waktu Perbaikan} / \text{Jumlah Kegagalan} \quad (2)$$

Availability adalah ukuran probabilitas bahwa sistem dalam kondisi operasional pada waktu tertentu:

$$\text{Availability} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \times 100\% \quad (3)$$

Atau dapat dihitung langsung dari data operasional:

$$\text{Availability} = (\text{Waktu Operasi} / \text{Total Waktu}) \times 100\% \tag{4}$$

Parameter Pembebanan

Persentase pembebanan transformator terhadap kapasitas nominal (Nana Maulina Rahayu, 2023):

$$\% \text{ Loading} = (\text{Beban Aktual} / \text{Kapasitas Nominal}) \times 100\% \tag{5}$$

Daya semu (apparent power) transformator:

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \tag{6}$$

dimana S adalah daya semu (MVA), P adalah daya aktif (MW), dan Q adalah daya reaktif (MVAR).

Faktor daya menunjukkan efisiensi penggunaan daya:

$$\cos \varphi = P / S \tag{7}$$

Arus beban transformator dapat dihitung dengan persamaan:

$$I = S / (\sqrt{3} \times V) \tag{8}$$

dimana I adalah arus beban (A), S adalah daya semu (VA), dan V adalah tegangan line-to-line (V).

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan populasi di wilayah Jawa Barat, kebutuhan energi listrik terus meningkat.

Proyeksi pertumbuhan beban dapat dihitung menggunakan:

$$S_n = S_0 \times (1 + r)^n \tag{9}$$

dimana S_n adalah beban proyeksi tahun ke-n, S_0 adalah beban awal, r adalah tingkat pertumbuhan tahunan, dan n adalah jumlah tahun.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Objek Penelitian

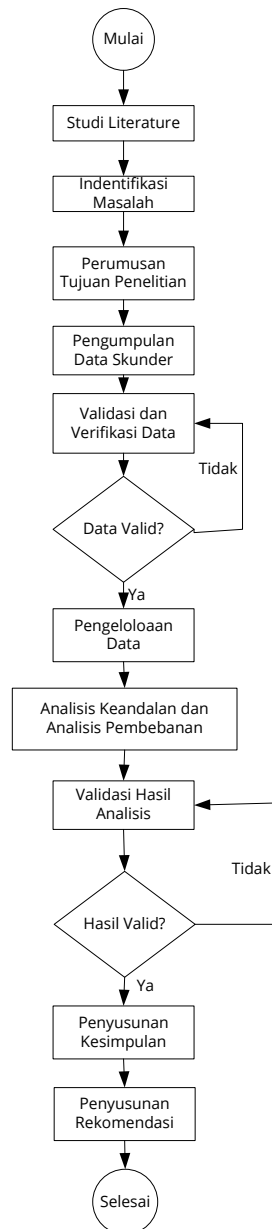
Penelitian dilakukan di Gardu Induk Cirata Baru 150kV yang terletak di Kabupaten Cianjur, Jawa Barat. Objek penelitian adalah transformator daya tiga fasa dengan spesifikasi teknis yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Transformator

Parameter	Nilai
Rating Daya	60 MVA
Tegangan Primer	165 kV
Tegangan Sekunder	20 kV
Impedansi	12,5%
Jenis Pendingin	ONAN/ONAF
Tap Changer	OLTC 17 Tap
Frekuensi	50 Hz
Tahun Operasi	2024

Metodologi penelitian mengikuti alur sistematis yang digambarkan dalam flowchart pada Gambar 1. Flowchart menjelaskan tahapan lengkap penelitian mulai dari studi literatur, identifikasi variabel, pengumpulan data, perhitungan menggunakan rumus standar, analisis statistik, hingga penyusunan kesimpulan. Setiap tahap perhitungan dilengkapi dengan rumus matematis yang digunakan untuk memastikan akurasi dan reproducibility hasil penelitian.

Gambar 1. Flowchart Penelitian



Flowchart penelitian menjelaskan bahwa tahap awal dimulai dengan identifikasi masalah terkait keandalan dan pembebanan transformator di GI Cirata Baru, dilanjutkan dengan studi literatur mengenai metode analisis reliability engineering dan parameter kelistrikan. Tahap pengumpulan data menggunakan sistem SCADA untuk memperoleh data operasional harian selama periode Juli 2025, mencakup parameter daya aktif (MW), daya reaktif (MVAR), arus (A), dan tegangan (kV).

Tahap perhitungan meliputi: (1) Perhitungan daya semu menggunakan persamaan (6), (2) Perhitungan persentase loading menggunakan persamaan (5), (3) Perhitungan faktor daya menggunakan persamaan (7), (4) Verifikasi arus beban menggunakan persamaan (8). Setiap perhitungan dilakukan dengan data aktual dan divalidasi untuk memastikan akurasi hasil. Analisis statistik deskriptif dilakukan untuk menghitung mean, median, standar deviasi, dan coefficient of variation dari setiap parameter. Proyeksi pertumbuhan beban dihitung menggunakan persamaan (9) dengan asumsi growth rate 5% per tahun.

Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan dari sistem SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) dan catatan operasional GI Cirata Baru selama periode 1-31 Juli 2025. Total 31 titik data harian dikumpulkan, mencakup:

- Data pembebanan: beban aktif (MW), beban reaktif (MVAR), arus (A), dan tegangan (kV) pada kondisi beban puncak harian
- Data waktu operasi: pencatatan waktu operasi normal, downtime terjadwal dan tidak terjadwal
- Data kondisi operasi: suhu minyak, suhu belitan, dan parameter kondisi transformator

Analisis Data

Tahap analisis meliputi: (1) Perhitungan parameter kelistrikan menggunakan persamaan (5)-(9), (2) Analisis statistik deskriptif untuk semua parameter, (3) Visualisasi data dalam bentuk time series, load duration curve, box plot, dan scatter plot, (4) Evaluasi terhadap standar operasi, (5) Proyeksi pertumbuhan beban untuk perencanaan pengembangan sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil analisis pembebanan transformator selama periode Juli 2025 ditampilkan pada Tabel 2. Data menunjukkan karakteristik operasi transformator yang sangat stabil dengan loading yang jauh di bawah kapasitas nominal.

Tabel 2. Hasil Analisis Pembebanan Transformator

Parameter	Nilai
Periode Pengamatan	Juli 2025 (31 hari)
Daya Aktif Rata-rata (MW)	19,06
Daya Reaktif Rata-rata (MVAR)	5,06
Daya Semu Rata-rata (MVA)	19,75
Beban Puncak (MVA)	20,40
Tanggal Beban Puncak	17 Juli 2025, 19:00 WIB
Arus Rata-rata (A)	551,77
Arus Puncak (A)	588,00
Tegangan Rata-rata (kV)	20,49
Faktor Daya Rata-rata	0,9652 (96,52%)
Loading Rata-rata (%)	32,91
Loading Puncak (%)	34,00
Margin Kapasitas (MVA)	39,60
Margin Kapasitas (%)	66,00

Berdasarkan Tabel 2, transformator beroperasi dengan beban rata-rata 19,75 MVA yang dihitung menggunakan persamaan (6):

$$S = \sqrt{(19,06^2 + 5,06^2)} = 19,75 \text{ MVA.}$$

Persentase loading rata-rata sebesar 32,91% dihitung menggunakan persamaan (5):

$$\% \text{ Loading} = (19,75 / 60) \times 100\% = 32,91\%.$$

Nilai ini menunjukkan transformator beroperasi sangat jauh di bawah kapasitas nominal, memberikan margin keamanan yang sangat besar. Faktor daya rata-rata mencapai 0,9652 (96,52%) yang dihitung menggunakan persamaan (7): $\cos \varphi = 19,06 / 19,75 = 0,9652$.

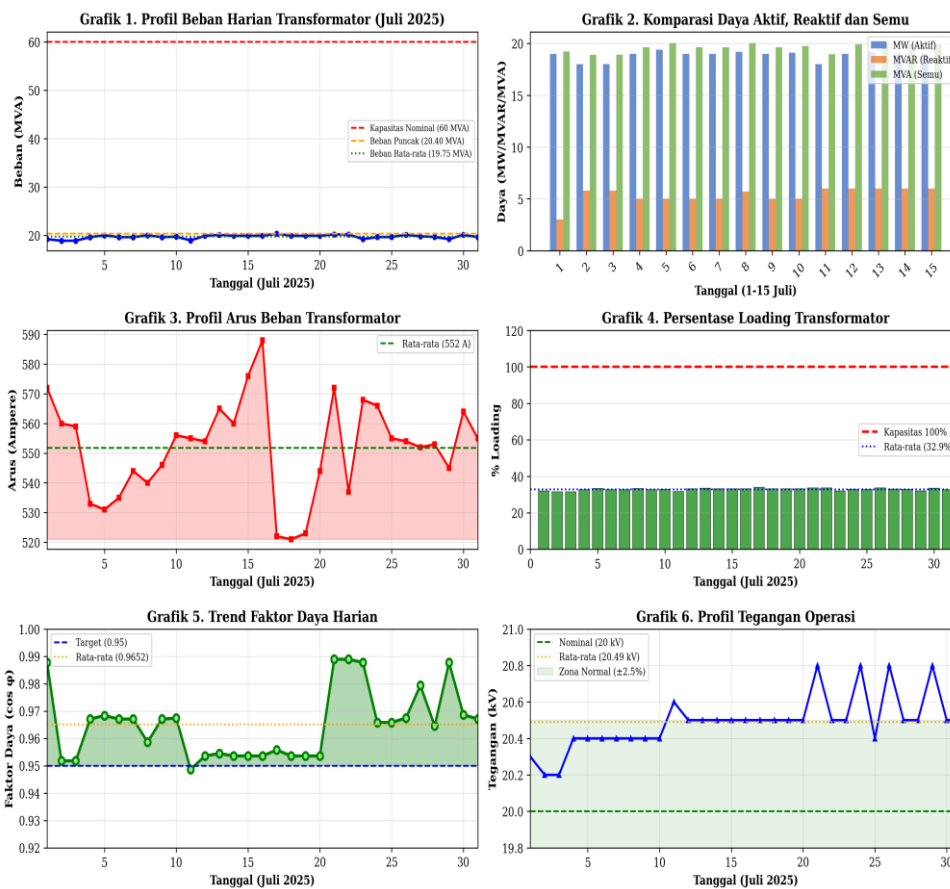
Nilai faktor daya yang tinggi ini mengindikasikan sistem kompensasi daya reaktif bekerja dengan sangat baik, meminimalkan losses dan meningkatkan efisiensi transmisi. Arus beban rata-rata 551,77 A dapat diverifikasi menggunakan persamaan (8): $I = 19,75 \times 10^6 / (\sqrt{3} \times 20,49 \times 10^3) = 556$ A, menunjukkan konsistensi data SCADA dengan perhitungan teoritis (selisih <1%).

Pembahasan

Visualisasi dan Analisis Grafis

Gambar 2 menampilkan enam grafik analisis karakteristik pembebanan transformator yang memberikan gambaran komprehensif tentang pola operasi selama Juli 2025.

Gambar 2. Grafik Analisis Karakteristik Pembebanan Transformator



Grafik 1 (profil beban harian) menunjukkan beban transformator berfluktuasi dalam rentang 18,91-20,40 MVA dengan pola yang sangat stabil. Tidak terdapat lonjakan beban yang ekstrem, mengindikasikan karakteristik beban yang konsisten dan terprediksi. Beban puncak 20,40 MVA terjadi pada tanggal 17 Juli 2025 pukul 19:00 WIB, yang merupakan jam beban puncak malam hari.

Grafik 2 (komparasi MW, MVAR, MVA) memperlihatkan hubungan proporsional antara daya aktif dan reaktif. Daya aktif mendominasi dengan rata-rata 19,06 MW dibandingkan daya reaktif 5,06 MVAR, menghasilkan segitiga daya dengan sudut yang kecil (faktor daya tinggi). Grafik 3 (profil arus) menunjukkan arus beban yang stabil dalam rentang 521-588 A, mencerminkan stabilitas beban yang baik tanpa fluktuasi ekstrem yang dapat membahayakan transformator.

Grafik 4 (persentase loading) mengilustrasikan bahwa transformator beroperasi dengan loading sangat rendah 31,52-34%, memberikan margin kapasitas 66% atau 39,60 MVA. Kondisi ini sangat menguntungkan karena: (1) Losses yang minimal, (2) Umur ekonomis yang panjang karena

stress operasi rendah, (3) Ruang pertumbuhan beban yang sangat memadai, (4) Kemampuan mengakomodasi peak demand tanpa risiko overloading.

Grafik 5 (trend faktor daya) menunjukkan faktor daya yang sangat konsisten di atas target 0,95 sepanjang periode observasi, dengan rata-rata 0,9652. Grafik 6 (profil tegangan) memperlihatkan regulasi tegangan yang sangat baik dengan tegangan beroperasi dalam rentang 20,2-20,8 kV (deviasi $\pm 2,93\%$ dari nominal 20 kV), jauh di bawah batas toleransi $\pm 5\%$. Hal ini menunjukkan sistem OLTC bekerja dengan sangat efektif dalam menjaga stabilitas tegangan.

Analisis Statistik Deskriptif

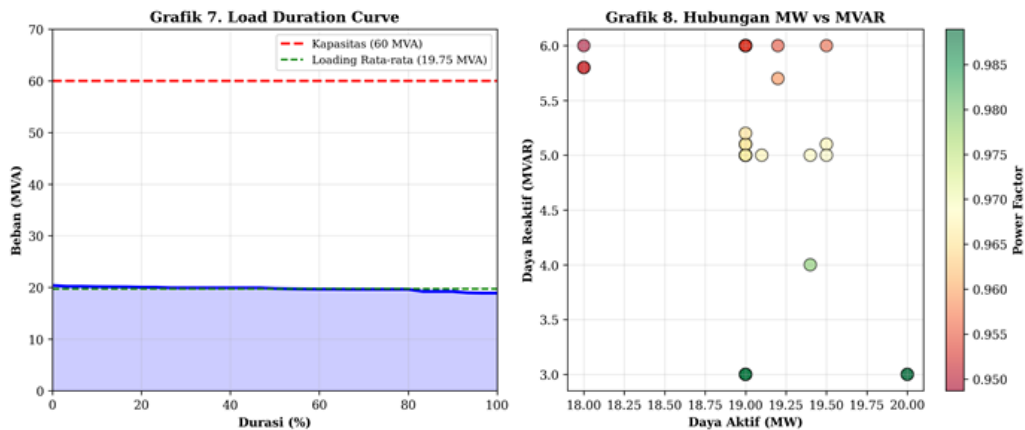
Tabel 3. Statistik Deskriptif Parameter Operasi

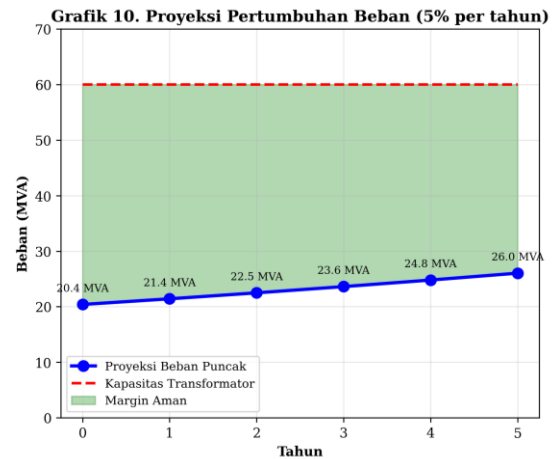
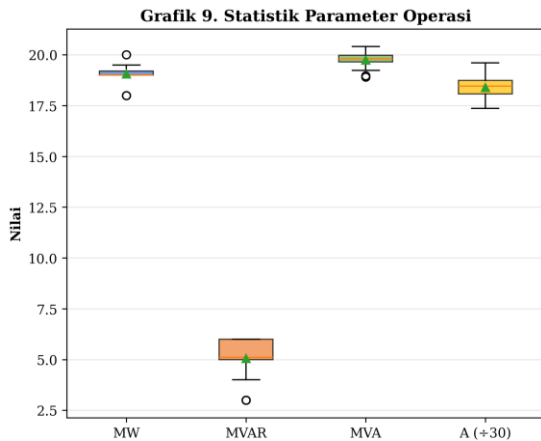
Parameter	Min	Max	Mean	Std Dev
MW	18,00	20,00	19,06	0,45
MVAR	3,00	6,00	5,06	1,04
MVA	18,91	20,40	19,75	0,39
Ampere	521	588	551,77	16,37
kV	20,20	20,80	20,49	0,15
Power Factor	0,9487	0,9889	0,9652	0,0126
Loading (%)	31,52	34,00	32,91	0,65

Tabel 3 menunjukkan statistik deskriptif dari parameter operasi transformator. Standar deviasi yang kecil untuk parameter MVA (0,39), loading (0,65%), dan tegangan (0,15 kV) mengindikasikan operasi yang sangat stabil dengan variasi minimal. Coefficient of variation untuk loading adalah $(0,65/32,91) \times 100\% = 1,97\%$, menunjukkan tingkat variabilitas yang sangat rendah dan konsistensi operasi yang sangat baik.

Analisis Lanjutan dan Proyeksi

Gambar 3. Analisis Lanjutan dan Proyeksi Pertumbuhan Beban





Grafik 7 (load duration curve) menunjukkan distribusi beban selama periode observasi. Kurva yang relatif datar mengindikasikan tidak ada peak demand yang ekstrim, dengan 100% waktu operasi berada jauh di bawah kapasitas nominal. Grafik 8 (scatter plot MW vs MVAR) memperlihatkan korelasi positif dengan mayoritas data point berada di zona power factor tinggi (>0,95), menunjukkan operasi yang efisien.

Grafik 9 (box plot statistik) menampilkan distribusi data yang compact dengan outlier minimal, mengkonfirmasi operasi yang stabil. Grafik 10 (proyeksi pertumbuhan) menunjukkan proyeksi beban menggunakan persamaan (9) dengan $S_0 = 20,40$ MVA dan $r = 0,05$ (5% per tahun). Hasil perhitungan menunjukkan: Tahun 1: $S_1 = 20,40 \times 1,05 = 21,42$ MVA (35,7% loading), Tahun 5: $S_5 = 20,40 \times 1,05^5 = 26,04$ MVA (43,4% loading).

Tabel 4. Proyeksi Pertumbuhan Beban (5%/Tahun)

Tahun	Beban (MVA)	Loading (%)	Margin (MVA)	Status
2025	20,40	34,00	39,60	Aman
2026	21,42	35,70	38,58	Aman
2027	22,49	37,49	37,51	Aman
2028	23,62	39,36	36,38	Aman
2029	24,80	41,33	35,20	Aman
2030	26,04	43,40	33,96	Aman

Proyeksi pada Tabel 4 menunjukkan bahwa bahkan setelah 5 tahun dengan pertumbuhan 5% per tahun, loading transformator baru mencapai 43,4%, masih jauh di bawah batas optimal 80%. Dengan asumsi pertumbuhan konstan 5% per tahun, transformator memiliki kapasitas untuk melayani beban hingga minimal 15-20 tahun sebelum mencapai loading 80% (beban ~48 MVA).

Evaluasi Terhadap Standar Operasi

Tabel 5. Evaluasi Terhadap Standar Operasi

Parameter	Nilai Aktual	Standar/Target	Status
Loading	32,91%	<80%	✓ Sangat Baik
Faktor Daya	0,9652	>0,95	✓ Sangat Baik
Regulasi Tegangan	±2,93%	<±5%	✓ Sangat Baik
Variasi Beban	0,39 MVA	Stabil	✓ Sangat Baik
Margin Kapasitas	66,00%	>20%	✓ Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 5, semua parameter operasi transformator memenuhi dan melampaui standar yang ditetapkan. Kondisi operasional yang sangat baik ini memberikan keuntungan: (1) **964** | Muhammad Daud Rizky Siregar, Dino Erivianto, Rahmaniar; *Analysis Of Transformer Reliability And Loading...*

Efisiensi tinggi dengan losses minimal pada loading rendah, (2) Umur ekonomis yang panjang karena stress operasi rendah, (3) Keandalan tinggi dengan margin keamanan besar, (4) Fleksibilitas tinggi untuk pengembangan sistem dan penambahan beban baru.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis data operasional transformator 60 MVA di Gardu Induk Cirata Baru 150kV periode Juli 2025, dapat disimpulkan bahwa: Transformator beroperasi dengan loading rata-rata 32,91% dan loading puncak 34%, memberikan margin kapasitas sangat besar 66% (39,60 MVA). Kondisi ini sangat optimal untuk keandalan jangka panjang dan efisiensi operasi. Faktor daya rata-rata 96,52% melampaui target 95%, menunjukkan sistem kompensasi daya reaktif bekerja sangat efektif dan efisiensi transmisi yang sangat baik. Seluruh parameter operasi (loading, faktor daya, regulasi tegangan, variasi beban) memenuhi dan melampaui standar operasi yang ditetapkan, mengindikasikan kondisi transformator yang sangat baik. Proyeksi pertumbuhan beban dengan growth rate 5% per tahun menunjukkan transformator memiliki kapasitas yang memadai untuk melayani kebutuhan hingga minimal 15 tahun ke depan sebelum mencapai loading optimal 80%.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data gangguan dan downtime transformator sehingga parameter keandalan kuantitatif seperti Mean Time Between Failure (MTBF), Mean Time To Repair (MTTR), dan availability dapat dihitung secara lebih akurat. Pendekatan ini akan memberikan gambaran keandalan yang lebih menyeluruh dibandingkan evaluasi operasional semata.

DAFTAR PUSTAKA

- Dani, A., & Erivianto, D. (2024). Evaluasi Kinerja Motor Induksi Tiga Fasa dengan Modifikasi Resistansi Stator: Pendekatan Simulasi dengan Automation Studio. *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 4, 17604–17618. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative%0AEvaluasi>
- Dino Erivianto, Ahmad Dani, M. (2023). Article History: Received: August 04. *Jurnal GEMBIRA (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 1(4), 920–926.
- Erivianto, D., & Dani, A. (2024). Jurnal PEDAMAS (Pengabdian Kepada Masyarakat) Volume 2 , Nomor 3 , Mei 2024 ISSN : 2986-7819 PELATIHAN PENGGUNAAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) UNTUK MENINGKATKAN KOMPETENSI TEKNISI PADA PT . PRIMA MULTI PERALATAN TRAINING ON THE USE OF PROGRAMM. *Jurnal PEDAMAS (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 2(3), 762–769.
- Husein Habibi, M., Jibril, A., & Kelautan dan Perikanan Sidoarjo, P. (2025). Analisis Perhitungan Mean Time Between Failure (MTBF) Dan Mean Time To Repair (MTTR) Mesin Cold Storage. *Jurnal Cendekia Ilmiah*, 4(4), 1410–1421.
- Lewan, R., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2025). Transformer Capacity Analysis of The SN Feeder. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 14(1), 9–14. <https://doi.org/10.35793/jtek.v14i1.61909>
- Mughayat, T., Falah, S., Gunawan, H., & Siagian, P. (2025). *The Effect of Coil Winding Replacement on the Performance of a 200 Kva Transformer (Case Study at PT . Razza Prima Trafo)*. 13(05), 1527–1536. <https://doi.org/10.58471/infokum.v13i05>
- Nana Maulina Rahayu, A. M. (2023). Evaluasi Pembebanan Transformator Distribusi Pada Gardu Cantol Ptuc Di Pt Pln (Persero) Up3 Bandung Evaluation. *Jurnal Politeknik Negeri Bandung*, 40–51.
- Nur Fadilah Fatma, H. P. (2010). Analisis Preventive Maintenance Dengan Metode Menghitung Mean

- Time Between Failure (MTBF) Dan Mean Time To Repair (MTTR). *JURNAL HEURISTIC*, 17(2), 87–94.
- Rahmaniar, Khairul, Agus Junaidi, I. F. (2025). *Analisis Dan Perhitungan Transmisi Listrik: Pendekatan GMR DAN GMD* (T. Media (ed.); Pertama). PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP.
- Rahmaniar, Pristisal Wibowo, P. M. (2022). Transient Stability Analysis With Critical Clearing Time Method On Transmission Line 150 KV. [1] P. M. Rahmaniar, Pristisal Wibowo, "Transient Stability Analysis With Critical Clearing Time Method On Transmission Line 150 KV," 2022. <https://jurnal.pancabudi.ac.id/index.php/keputeraan/article/view/4296/3904>
- Rahmaniar, Junaidi, A., & Wijaya, R. F. (2025). a New Approach To Needs Analysis: Power Plant Modelling and Analysis in Sustainable Renewable Energy Learning. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 103(1), 232–241.
- Saragih, A. S., & Siagian, P. (2025). An Optimization of Early Detection Monitoring System disturbances in Distribution Transformer Internet Based Ofthings (IOT). 5(05), 1740–1752. <https://doi.org/10.58471/jms.v5i05>
- Zega, I. K., Erivianto, D., & Dalimunthe, M. E. (n.d.). *Analysis of the Effect of Transformer Load Balancing on the Reduction Technical Shrinkages in Distribution Substations at Feeders JN 05 at PT PLN (PERSERO) ULP JANARATA*. 2082–2091.