

Analisis Overload Transformator Distribusi pada Gardu PD0681 di PT PLN (Persero) ULP Ampera

Bersiap Ginting¹, Yessi Marniati², Ariqah Rafila Putri³

Jurusan Teknik Elektro, Program Studi DIII Teknik Listrik, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang,
Indonesia, Indonesia^{1,2,3}

Email Korespondensi: ariqahrafilaputri@gmail.com

ARTICLE INFO

Article History:

Submitted 08-07-2026

Received 14-07-2026

Published 16-07-2026

Keywords:

Distribution Transformer,
Distribution Substation,
Overload,
Uprating.

Kata Kunci:

Transformator Distribusi,
Gardu Distribusi,
Beban Lebih,
Peningkatan Kapasitas.

ABSTRACT

The distribution transformer at PD0681 substation of PT PLN (Persero) ULP Ampera experienced an overload condition that could accelerate insulation aging and reduce the reliability of the electrical distribution system. This study aimed to analyze the transformer loading during peak load conditions and determine an appropriate solution based on SPLN No. 50 of 1997. The analysis was carried out using field measurements of current and voltage on each phase. The results showed that the transformer loading reached 105.74% of its rated capacity of 100 kVA, indicating an overload condition. As a solution, an uprating simulation was performed by increasing the transformer capacity to 160 KVA, which reduced the loading level to 66.09%, placing it within the safe operating range. In addition, load growth was projected using the Least Square method, showing that the transformer loading would reach 76.11% in 2030, which is still within the acceptable operating limit according to the applicable standard. Therefore, transformer uprating is considered an effective technical solution to improve the reliability and continuity of long-term power distribution.

ABSTRAK

Transformator distribusi pada gardu PD0681 milik PT PLN (Persero) ULP Ampera mengalami kondisi beban lebih (overload) yang dapat mempercepat penuaan isolasi dan menurunkan keandalan sistem distribusi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pembebanan transformator saat kondisi beban puncak dan menentukan solusi yang tepat berdasarkan SPLN No. 50 Tahun 1997. Analisis dilakukan menggunakan data pengukuran lapangan untuk arus dan tegangan pada setiap fase. Hasil analisis menunjukkan bahwa pembebanan transformator mencapai 105,74% dari kapasitas nominal 100 kVA, yang mengindikasikan terjadinya kondisi beban lebih. Sebagai solusi, dilakukan simulasi peningkatan kapasitas (uprating) transformator menjadi 160 kVA, yang menurunkan tingkat pembebanan menjadi 66,09%, sehingga berada dalam rentang operasi yang aman. Selain itu, proyeksi pertumbuhan beban menggunakan metode Least Square menunjukkan bahwa

pembebanan transformator akan mencapai 76,11% pada tahun 2030; angka ini masih berada dalam batas operasi yang dapat diterima menurut standar yang berlaku. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas transformator dinilai sebagai solusi teknis yang efektif untuk meningkatkan keandalan dan kontinuitas distribusi daya jangka panjang.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan utama yang mendukung berbagai aktivitas masyarakat, sektor industri, perdagangan, maupun pelayanan publik. Keandalan sistem distribusi tenaga listrik menjadi faktor penting dalam menjamin kontinuitas penyaluran energi kepada pelanggan. Salah satu komponen utama pada sistem distribusi adalah transformator distribusi yang berfungsi menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah agar dapat dimanfaatkan secara aman dan efisien. Oleh karena itu, kondisi operasi transformator harus dijaga agar tetap berada pada batas pembebanan yang diizinkan sehingga umur peralatan dan kualitas pelayanan tetap terpelihara.

Seiring meningkatnya jumlah pelanggan dan kebutuhan energi listrik, pembebanan transformator distribusi terus mengalami peningkatan. Apabila pembebanan melebihi kapasitas nominal (overload), temperatur lilitan transformator akan meningkat sehingga mempercepat penuaan isolasi, menurunkan efisiensi, meningkatkan rugi-rugi daya, serta memperbesar risiko terjadinya gangguan maupun kerusakan transformator. Kondisi tersebut berdampak langsung terhadap keandalan sistem distribusi dan kontinuitas pelayanan kepada pelanggan.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kondisi overload adalah melalui uprating transformator atau penggantian kapasitas transformator sesuai pertumbuhan beban. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode uprating mampu menurunkan persentase pembebanan transformator hingga berada pada batas operasi yang aman, sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem distribusi dalam jangka panjang. Selain itu, proyeksi pertumbuhan beban menggunakan metode Least Square dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas transformator yang sesuai dengan kebutuhan masa mendatang.

Berdasarkan hasil pengamatan di PT. PLN (Persero) ULP Ampera, transformator distribusi pada Gardu PD0681 mengalami pembebanan yang melebihi kapasitas nominal sehingga berpotensi mengalami kondisi overload. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis tingkat pembebanan transformator pada saat beban puncak, mengevaluasi kondisi overload berdasarkan ketentuan SPLN No. 50 Tahun 1997, serta menentukan alternatif penanganan yang tepat melalui uprating transformator guna meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

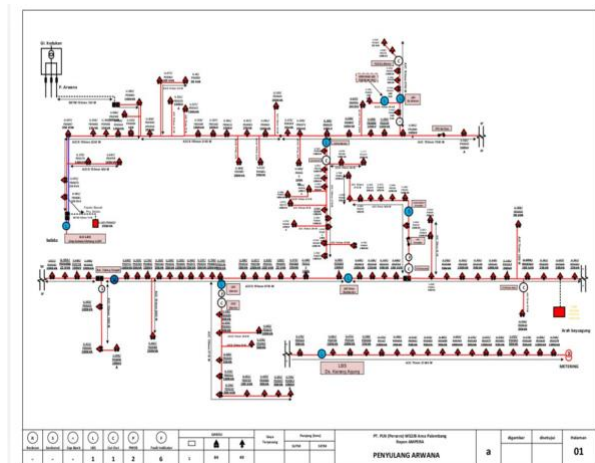
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif karena berfokus pada pengolahan dan analisis data numerik untuk mengetahui kondisi pembebanan serta kinerja transformator distribusi. Data yang digunakan meliputi data nameplate dan data operasional yang diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULP Ampera.

Pengumpulan data dilakukan melalui tiga tahapan, yaitu observasi, studi literatur, dan wawancara. Observasi dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan untuk memperoleh data seperti tegangan, arus, daya, dan faktor daya. Selanjutnya Studi literatur digunakan untuk memperkuat dasar teori yang berkaitan dengan transformator dan metode analisis yang digunakan. Sementara itu, wawancara dilakukan dengan teknisi, staf, serta dosen pembimbing untuk melengkapi dan mengklarifikasi data. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode perhitungan yang sesuai sehingga menghasilkan kesimpulan yang akurat dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Gardu PD0681

Gardu PD0681 adalah gardu portal yang terletak pada penyulang arwana. Gardu portal ini berada di Jl. Pu sei pinang kota palembang. Gardu ini menggunakan kabel AAAC (All Aluminium Alloy Conductor) $3 \times 70 \text{ mm}^2$. PD0681 memiliki daya pengenal sebesar 100 kVA dengan 1 jurusan.



Gambar 1. Single Line Diagram Gardu PD0681

Nameplate Transformator



Gambar 2. Nameplate Transformator

Tabel 1. Spesifikasi Transformator Distribusi

Parameter	Spesifikasi
Merek Transformator	MAXIMA
Standar Spesifikasi	SPLN D3.002-1:2020
Kapasitas	100 kVA
Frekuensi	50 Hz
Jumlah Fasa	3 Fasa
Tegangan Primer (HV)	20 kV (Tap 21 kV-18 kV)
Tegangan Sekunder (LV)	400 V
Vector Group	Dyn5
Arus Nominal HV	2,88 A
Arus Nominal LV	144,3 A
Sistem Pendingin	Onan
Jenis Minyak	Mineral Parafinik
Berat Total	675 kg
Berat Minyak	145 kg
Material Belitan	Aluminium (Al)
Impedansi	4%
Rugi-rugi (Tanpa Beban/Beban Penuh)	145 W / 1.420 W
Tahun Pembuatan	2021

Sumber: PT. PLN (Persero) ULP Ampera (2025).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Arus Transformator pada Beban Puncak

Fasa	Arus (A)
R	133,9
S	187,2
T	153,6
N	54,0

Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2025).

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Transformator pada Beban Puncak

Tegangan Fasa-Netral	Nilai (V)	Tegangan Fasa-Fasa	Nilai (V)
R - N	225,9	R - S	393,2
S - N	223,7	S - T	391,2
T - N	223,4	T - R	389,6

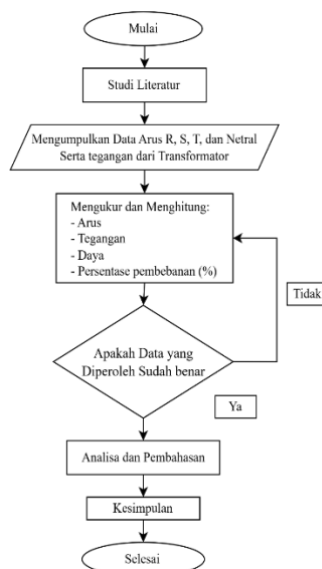
Sumber: Hasil pengukuran lapangan (2025).

Tabel 4. Data Beban Puncak Transformator Tahun 2023–2025

Tahun	Beban Puncak (kVA)
2023	93,25
2024	97,24
2025	101,40

Sumber: PT. PLN (Persero) ULP Ampera (2025).

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pembebanan Transformator Sebelum Uprating

Transformator pada gardu PD0681 ini mempunyai kapasitas transformator 100 kVA dan tegangan sekunder 400 V sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 I_{fl} &= \frac{S}{V \times \sqrt{3}} \\
 &= \frac{100.000}{400 \times \sqrt{3}} \\
 &= 144,34 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Kemudian untuk menghitung arus rata-rata beban transformator tersebut yaitu sebagai

berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$= \frac{133 + 187 + 153}{3} = 157,6 \text{ A}$$

Untuk menghitung pembebanan total transformator pada gardu PD0681, terlebih dahulu menghitung beban per fasa yaitu sebagai berikut:

Perhitungan beban per fasa:

1. Fasa R

$$S_R = V_{RN} \times I_R$$

$$= 225 \text{ V} \times 133 \text{ A}$$

$$= 29.925 \text{ VA} = 29,925 \text{ kVA}$$

2. Fasa S

$$S_S = V_{SN} \times I_S$$

$$= 223 \text{ V} \times 187 \text{ A}$$

$$= 41.701 \text{ VA} = 41,701 \text{ kVA}$$

3. Fasa T

$$S_T = V_{TN} \times I_T$$

$$= 223 \text{ V} \times 153 \text{ A}$$

$$= 34.119 \text{ VA} = 34,119 \text{ kVA}$$

Setelah didapat hasil perhitungan beban per fasa, selanjutnya menghitung beban total, yaitu:

$$S_{Total} = S_R + S_S + S_T$$

$$= 29,925 + 41,701 + 34,119$$

$$= 105,745 \text{ kVA}$$

Setelah hasil perhitungan beban total didapat, maka untuk menghitung persentase pembebanan sebelum dilakukan penaggulangan yaitu:

$$\%Pembebanan = \frac{S_{Total}}{S_{Transformator}} \times 100\%$$

$$= \frac{105,745}{100} \times 100\% = 105,74\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai persentase pembebanan transformator pada gardu PD0681 pada waktu beban puncak sebesar 105,74%, yang di mana persentase tersebut dinyatakan dalam kondisi *overload* karena melebihi batas maksimum yang ditetapkan berdasarkan SPLN 50 : Tahun 1997 bahwa nilai tersebut berada diatas standar yang ditetapkan yaitu 80%.

Tabel 5. Kriteria Pembebanan Maksimal Transformator Berdasarkan SPLN No. 50 Tahun 1997

Persentase Pembebanan	Status
$\leq 80\%$	Normal
$> 80\% - 90\%$	Waspada

> 90% Darurat

Sumber: SPLN No. 50 Tahun 1997.

Jadi, dilakukan simulasi uprating dengan meningkatkan kapasitas transformator. Simulasi ini dilakukan tanpa mengubah data beban eksisting, melainkan hanya mengubah kapasitas transformator dalam perhitungan untuk mengetahui penurunan persentase pembebanan. Jadi diperlukan kapasitas transformator yang lebih besar di mana menambah kapasitas dari 100 kVA menjadi 160 kVA.

Perhitungan Pembebanan Transformator Sesudah Uprating

$$\begin{aligned}\%Pemb\text{e}b\text{a}n &= \frac{S_{Total}}{S_{Transformator}} \times 100\% \\ &= \frac{105,745}{160} \times 100\% \\ &= 66,09\%\end{aligned}$$

Jadi, persentase pembebanan setelah dilakukan simulasi uprating transformator sebesar 66,09%, yang menunjukkan bahwa kondisi transformator pada gardu PD0681 sudah berada dalam kondisi normal atau tidak mengalami kondisi *overload*, yang di mana nilai persentase tersebut masih berada dibawah batas maksimum pembebanan yang telah ditetapkan. Sehingga kapasitas transformator 160 kVA dinilai mampu mengatasi permasalahan beban lebih.

Analisis Perbandingan Sebelum dan Sesudah Uprating

Tabel 6. Perbandingan Tingkat Pembebanan Transformator PD0681 Sebelum dan Sesudah Uprating

Kondisi Transformator	Kapasitas (kVA)	Beban (kVA)	Pemb\text{e}b\text{a}n (%)	Keterangan
Sebelum <i>uprating</i>	100	105,745	105,74	<i>Overload</i>
Sesudah <i>uprating</i>	160	105,745	66,09	Normal

Sumber: Hasil perhitungan peneliti (2025).

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa nilai pembebanan transformator pada gardu PD0681 sebesar 105,745 kVA. Nilai ini tidak mengalami perubahan karena analisis yang dilakukan merupakan simulasi uprating, dimana kondisi beban eksisting tetap sama dan tidak dipengaruhi oleh perubahan kapasitas transformator.

Dengan kondisi tersebut, sebelum dilakukan simulasi uprating tingkat pembebanan mencapai 105,74% sehingga termasuk dalam kondisi *overload*. Setelah dilakukan simulasi uprating, terjadi penurunan persentase pembebanan menjadi 66,09%.

Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas transformator dari 100 kVA menjadi 160 kVA mampu menurunkan tingkat pembebanan secara signifikan. Dengan demikian, kondisi transformator yang sebelumnya *overload* telah kembali berada dalam batas operasi yang aman serta memiliki cadangan kapasitas untuk mendukung pertumbuhan beban di masa mendatang.

Perhitungan Pertumbuhan Beban Transformator Pada Gardu PD0681

Data laju pertumbuhan beban puncak transformator pada gardu PD0681 pada tahun 2023-2025. Data historis tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter pada metode least square, sehingga diperoleh persamaan tren yang dapat digunakan untuk menganalisis pertumbuhan beban di masa mendatang.

Tabel 7. Parameter Metode Least Square

Tahun	Beban Puncak (kVA)	X	XY	X ²
2023	93,25	-1	-93,25	1
2024	97,24	0	0	0
2025	101,40	1	101,40	1
n=3	$\sum Y = 291,89$	$\sum X = 0$	$\sum XY = 8,15$	$\sum X^2 = 2$

Menghitung nilai perkembangan beban pada tahun-tahun sebagai berikut:

$$a = \frac{\sum Y}{n} = \frac{291,89}{3} = 97,30 \text{ kVA}$$

Untuk menghitung rata-rata laju pertumbuhan setiap tahunnya sebagai berikut:

$$b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} = \frac{8,15}{2} = 4,08 \text{ kVA}$$

Berdasarkan hasil perhitungan pertumbuhan beban transformator diatas diperoleh persamaan, dari persamaan tersebut dapat dicari beban tiap tahunnya sebagai berikut

$$Y_n = a + bx$$

$$Y_n = 97,30 + 4,08 \times X$$

Setelah mendapat persamaan diatas, selanjutnya bisa untuk mengetahui beban puncak pada gardu PD0681 di tahun-tahun yang akan datang dengan menggunakan persamaan diatas.

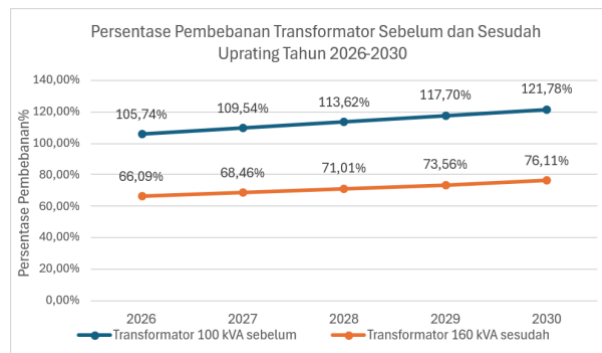
4. Perhitungan perkiraan pembebanan pada tahun 2026
 $Y_{2026} = 97,30 + 4,08 \times 2 = 105,46 \text{ kVA}$
5. Perhitungan perkiraan pembebanan pada tahun 2027
 $Y_{2027} = 97,30 + 4,08 \times 3 = 109,54 \text{ kVA}$
6. Perhitungan perkiraan pembebanan pada tahun 2028
 $Y_{2028} = 97,30 + 4,08 \times 4 = 113,62 \text{ kVA}$
4. Perhitungan perkiraan pembebanan pada tahun 2029
 $Y_{2029} = 97,30 + 4,08 \times 4 = 117,70 \text{ kVA}$
5. Perhitungan perkiraan pembebanan pada tahun 2030
 $Y_{2030} = 97,30 + 4,08 \times 4 = 121,78 \text{ kVA}$

Tabel 8. Hasil Perhitungan Pertumbuhan Beban Transformator Gardu PD0681 Menggunakan Metode Least Square

Tahun	X	Perkiraan (kVA)	Beban	%Pembelianan Transformator 100 kVA	%Pembelianan Transformator 160 kVA
2026	2	105,74		105,74%	66,09%
2027	3	109,54		109,54%	68,46%
2028	4	113,62		113,62%	71,01%
2029	5	117,70		117,70%	73,56%
2030	6	121,78		121,78%	76,11%

Berdasarkan hasil perhitungan proyeksi menggunakan metode least square, persentase pembebanan transformator menunjukkan tren peningkatan hingga mencapai 121,78 kVA pada tahun 2030. Jika dibandingkan dengan kapasitas transformator eksisting sebesar 100 kVA, seluruh nilai pembebanan telah melampaui kapasitas, sehingga transformator mengalami kondisi *overload*.

Setelah dilakukan simulasi uprating menjadi 160 kVA, persentase pembebanan berada pada kisaran 66% hingga 76%, yang masih berada dalam batas operasi yang diizinkan. Dengan demikian, uprating transformator menjadi 160 kVA dinilai mampu mengatasi kondisi *overload* serta meningkatkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.



Gambar 4. Grafik Persentase Pembebanan Transformator Sebelum dan Sesudah

Grafik tersebut memperlihatkan perbedaan kondisi operasi transformator antara kapasitas awal dan setelah dilakukan penyesuaian. Pada kapasitas awal, nilai yang ditampilkan berada pada tingkat yang relatif tinggi dan terus bertambah setiap tahun, yang menunjukkan beban kerja yang semakin berat. Berbeda dengan kondisi setelah peningkatan kapasitas, nilai yang dihasilkan berada pada posisi yang lebih rendah sehingga memberikan ruang operasi yang lebih longgar. Selisih antara kedua kurva ini menggambarkan bahwa perubahan kapasitas memberikan pengaruh signifikan dalam menurunkan tingkat pembebanan serta menjaga kinerja transformator tetap stabil seiring pertumbuhan kebutuhan daya.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa transformator distribusi pada Gardu PD0681 PT. PLN (Persero) ULP Ampera mengalami pembebanan sebesar 105,74% dari kapasitas nominal 100

kVA, sehingga termasuk dalam kondisi overload. Berdasarkan SPLN No. 50 Tahun 1997, kondisi tersebut telah melampaui batas pembebanan yang direkomendasikan sehingga berpotensi meningkatkan temperatur kerja transformator. Peningkatan temperatur akan mempercepat proses penuaan isolasi, meningkatkan rugi-rugi daya, serta menurunkan umur pakai transformator apabila berlangsung secara terus-menerus (Ramli, 2021). Kondisi ini juga dapat memengaruhi kontinuitas penyaluran tenaga listrik karena transformator bekerja di luar batas operasi yang aman (Syahputra, 2016).

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian Nugraha dan Fauziah (2021) yang menyatakan bahwa transformator distribusi dengan tingkat pembebanan melebihi kapasitas nominal memerlukan tindakan teknis berupa uprating agar keandalan sistem distribusi tetap terjaga. Penelitian Mertasana (2015) juga melaporkan bahwa pembebanan yang tinggi menyebabkan transformator bekerja pada suhu yang lebih besar sehingga mempercepat degradasi isolasi dan meningkatkan risiko gangguan operasi.

Berdasarkan hasil simulasi, peningkatan kapasitas transformator dari 100 kVA menjadi 160 kVA mampu menurunkan persentase pembebanan menjadi 66,09%, sehingga transformator kembali berada pada kategori operasi normal. Penurunan persentase pembebanan tersebut menunjukkan bahwa kapasitas transformator yang lebih besar mampu menyediakan cadangan daya (reserve capacity) sehingga transformator tidak lagi bekerja mendekati batas kemampuannya. Dengan demikian, kenaikan temperatur operasi dapat diminimalkan dan umur isolasi transformator menjadi lebih panjang (PT PLN (Persero), 2010).

Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Prasetyo et al. (2025) yang menyatakan bahwa penurunan tingkat pembebanan berpengaruh terhadap peningkatan umur pakai transformator karena suhu operasi menjadi lebih rendah. Penelitian Ondrialdi dan Situmeang (2020) juga menjelaskan bahwa pembebanan yang berada dalam batas normal berkontribusi terhadap terjaganya kualitas sistem isolasi transformator sehingga risiko kegagalan operasi dapat ditekan.

Selain mengevaluasi kondisi pembebanan saat ini, penelitian ini juga melakukan proyeksi pertumbuhan beban menggunakan metode Least Square. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban transformator diperkirakan meningkat hingga 121,78 kVA pada tahun 2030. Apabila tetap menggunakan transformator berkapasitas 100 kVA, maka transformator akan terus mengalami kondisi overload. Namun, setelah dilakukan simulasi uprating menjadi 160 kVA, persentase pembebanan pada tahun 2030 diproyeksikan hanya mencapai 76,11%, sehingga masih berada pada kategori aman sesuai standar SPLN No. 50 Tahun 1997.

Hasil proyeksi tersebut mendukung penelitian Tondok et al. (2019) yang menyatakan bahwa perencanaan kapasitas transformator harus mempertimbangkan pertumbuhan beban agar transformator tetap mampu melayani kebutuhan pelanggan dalam jangka panjang. Penelitian Pramono et al. (2018) juga menjelaskan bahwa evaluasi pembebanan secara berkala merupakan langkah penting dalam menjaga keandalan sistem distribusi serta mengurangi potensi gangguan akibat beban lebih.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa metode uprating transformator merupakan solusi teknis yang efektif untuk mengatasi kondisi overload pada Gardu PD0681. Selain mampu menurunkan tingkat pembebanan hingga berada pada kategori aman, uprating juga memberikan ruang bagi pertumbuhan beban di masa mendatang tanpa mengurangi keandalan sistem distribusi tenaga listrik. Oleh karena itu, penerapan uprating dapat menjadi salah satu strategi yang direkomendasikan bagi PT. PLN (Persero) dalam mengantisipasi peningkatan kebutuhan energi listrik pada wilayah dengan pertumbuhan beban yang terus meningkat.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, transformator distribusi pada gardu PD0681 PT. PLN (Persero) ULP Ampera mengalami kondisi overload dengan tingkat pembebanan sebesar 105,74% atau 105,745 kVA pada transformator berkapasitas 100 kVA. Nilai tersebut telah melampaui batas pembebanan yang direkomendasikan dalam SPLN No. 50 Tahun 1997, sehingga transformator bekerja di atas kapasitas nominalnya. Kondisi ini berpotensi meningkatkan temperatur operasi, mempercepat penuaan isolasi, serta menurunkan keandalan sistem distribusi tenaga listrik apabila dibiarkan berlangsung dalam jangka waktu yang lama.

Sebagai upaya penanggulangan, dilakukan simulasi uprating kapasitas transformator dari 100 kVA menjadi 160 kVA, yang berhasil menurunkan tingkat pembebanan menjadi 66,09% sehingga transformator dapat beroperasi dalam kondisi normal dan aman. Selain itu, hasil proyeksi pertumbuhan beban menggunakan metode Least Square menunjukkan bahwa hingga tahun 2030 tingkat pembebanan diperkirakan mencapai 76,11%, yang masih berada di bawah batas operasi yang direkomendasikan. Dengan demikian, uprating transformator menjadi 160 kVA merupakan solusi yang efektif untuk mengatasi kondisi overload sekaligus mendukung keandalan sistem distribusi tenaga listrik di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, A. (2010). Analisis keandalan sistem jaringan distribusi udara 20 kV (Aplikasi di Gardu Induk Gelugur TD 2 Kota Medan Sumatera Utara). <https://share.google/7iSDQ3RwzyES2NNJZ>
- Kato Electrical. (2023). Understanding the dangers, prevention, and handling of an overloaded circuit. <https://www.katoelectrical.com/blog-1/overloaded-circuit>
- Mertasana, P. A. (2015). Upaya mengatasi beban lebih pada gardu distribusi 160 kVA pada penyulang Kelan Tuban [Skripsi, Universitas Udayana].
- Nugraha, M. T., & Fauziah, D. (2021). Penanggulangan overload transformator distribusi dengan metode uprating di gardu PNBS 20 kV ULP Pangandaran. Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi (SNETO).

- Ondrialdi, R., & Situmeang. (2020). Analisis pengujian kualitas isolasi transformator daya di PT. Indah Kiat Pulp and Paper Perawang. *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, 4(2), 72–81.
- Pramono, T. J., Hajar, I., & Wahyuni, S. (2018). Studi analisis gangguan perangkat hubung bagi tegangan rendah dan upaya mengatasinya di PLN Area Tanjung Priok. *Energi dan Kelistrikan*, 9(1), 51–59.
- Prasetyo, Y., Tanjung, A., & Situmeang. (2025). Analisis masa pakai transformator distribusi berdasarkan pengaruh pembebanan di PT. PLN (Persero) Rayon Panam. *SainETIn: Jurnal Sains, Energi, Teknologi, dan Industri*, 10(1), 30–37.
- PT PLN (Persero). (2010). Buku 4: Standar konstruksi gardu distribusi dan gardu hubung tenaga listrik. PT PLN (Persero).
- Ramli, M. A. (2021). Studi analisis dampak overload transformator terhadap kualitas daya di PT. PLN (Persero) ULP Pangkep [Skripsi].
- Saputra, A. (2010). Analisis kualitas daya listrik. <https://repository.itpln.ac.id/id/eprint/6023/5/BAB%202>
- Sogen, M. D. T. (2018). Analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Area Sorong. *Jurnal Electro Luceat*, 4(1).
- Studylib. (2013). SPLN 50:1997 spesifikasi transformator distribusi. <https://studylib.net/doc/27798500/spln-50-1997-spesifikasi-trafo-distribusi>
- Sumardjati, P., dkk. (2008). Teknik pemanfaatan tenaga listrik (Jilid 3). Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan.
- Syahputra, R. (2016). Transmisi dan distribusi tenaga listrik. LP3M UMY.
- Tondok, Y. P., Patras, L. S., & Lisi, F. (2019). Perencanaan transformator distribusi 125 kVA. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 8(2), 83–92.
- Zuhal. (2000). Dasar teknik tenaga listrik dan elektronika daya. PT Gramedia Pustaka Utama.