



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Pengaruh Pergantian dan Uprating Transformator Distribusi 20 KV Terhadap Beban Sekunder Transformator

Fadhli Palaha^a, Machdalena^b, Adli Fajrian^c, Ermawati^d

^{a,b,c,d}Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Jl. Dirgantara No.4 Arengka Raya, Kota Pekanbaru

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 03 Desember 2025

Revisi Akhir: 13 Desember 2025

Diterbitkan *Online*: 30 Desember 2025

KATA KUNCI

Uprating, Transformator Distribusi, Efisiensi, Beban Sekunder, Ketidakseimbangan Beban

KORESPONDENSI

Telepon: 081371137720

E-mail: fadhlyyy@yahoo.com

ABSTRACT

Penelitian ini menganalisis pengaruh pergantian dan uprating transformator distribusi 20 kV terhadap beban sekunder transformator di PLN ULP Pasir Pengaraian. Uprating dilakukan pada trafo DD 23 dari kapasitas 100 kVA menjadi 200 kVA. Pengukuran meliputi arus, tegangan, efisiensi, rugi daya, serta ketidakseimbangan beban sebelum dan sesudah uprating. Hasil menunjukkan peningkatan efisiensi dari 96% menjadi 97,05%, penurunan rugi daya dari 20,9 W menjadi 18,92 W, serta penurunan unbalance load dari 79% menjadi 14%. Uprating terbukti efektif meningkatkan kinerja sistem distribusi, menurunkan rugi energi, dan memperpanjang umur transformator.

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan listrik yang signifikan akibat pertumbuhan ekonomi dan teknologi menuntut sistem distribusi tenaga listrik yang andal. Transformator distribusi menjadi salah satu komponen utama dalam menjaga stabilitas suplai daya. Namun, kelebihan beban (overload) pada transformator sering menyebabkan kerugian daya dan penurunan umur peralatan (Sitorus, 2024). Menurut standar SPLN, beban transformator idealnya tidak melebihi 80% dari kapasitas nominalnya. Untuk mengatasi hal tersebut, PLN melakukan pergantian atau uprating transformator guna meningkatkan kapasitas dan efisiensi sistem distribusi [19]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pergantian dan uprating transformator terhadap efisiensi, rugi daya, serta ketidakseimbangan beban pada sisi sekunder transformator distribusi 20 kV di PLN ULP Pasir Pengaraian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jaringan 20 kV menjadi 220/380 V sesuai kebutuhan konsumen. Uprating transformator dapat dilakukan melalui peningkatan sistem pendinginan atau penggantian komponen inti guna menambah kapasitas beban yang dapat ditangani [18]. Penelitian Fauziah (2021) menunjukkan bahwa uprating dapat menurunkan kondisi overload sebesar 30% dan meningkatkan efisiensi hingga 1,2%. Selain itu, standar IEEE 1159 merekomendasikan ketidakseimbangan beban maksimum sebesar 2% untuk menjaga kualitas daya [20].

Transformator distribusi merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi menurunkan tegangan dari jaringan distribusi primer (20 kV) ke tegangan rendah 220/380 V untuk disalurkan ke konsumen. Kinerja transformator dipengaruhi oleh kondisi beban, sistem pendinginan, serta kualitas material inti dan lilitan [18].

Rugi daya pada transformator umumnya terdiri dari rugi tembaga (*copper loss*) akibat arus beban dan rugi besi (*core loss*) akibat fluks magnetik pada inti besi. Nilai rugi daya meningkat seiring pertambahan arus dan ketidakseimbangan beban antar fasa [20]. Semakin tinggi ketidakseimbangan beban, semakin besar pula rugi energi dan penurunan efisiensi sistem.

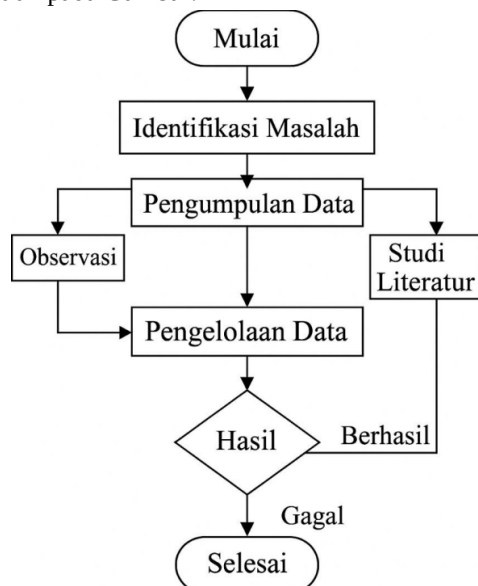
Menurut standar SPLN D3.002-1:2010, batas ketidakseimbangan beban maksimum yang diizinkan pada jaringan distribusi adalah 20%. Nilai di atas ambang tersebut dapat menimbulkan panas berlebih, mempercepat degradasi minyak trafo, dan menurunkan keandalan sistem. Oleh karena itu, penyeimbangan beban dan pengaturan kapasitas menjadi faktor utama dalam pemeliharaan transformator distribusi [19].

Metode uprating transformator adalah solusi teknis yang bertujuan meningkatkan kapasitas daya tanpa perlu mengganti seluruh unit. Uprating dapat dilakukan dengan memperbaiki sistem pendinginan, mengganti belitan, atau memodifikasi inti besi untuk mengurangi rugi energi dan menaikkan kapasitas nominal [16]. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa uprating dapat meningkatkan efisiensi hingga 1–2% dan menurunkan rugi daya hingga 30%.

Dengan demikian, berdasarkan berbagai literatur, uprating transformator merupakan langkah strategis dalam optimalisasi sistem distribusi tenaga listrik, terutama di wilayah dengan pertumbuhan beban tinggi. Kajian ini menjadi dasar dalam menganalisis pengaruh uprating terhadap efisiensi, rugi daya, dan ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi 20 kV.

3. METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini yang dapat dilihat pada bagan alir metodologi penelitian pada Gambar.



Gambar 1 Bagan Alir metodologi Penelitian

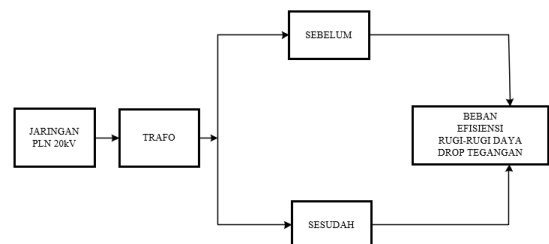
3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan (*field experiment*) untuk menganalisis pengaruh pergantian dan uprating transformator terhadap kinerja sistem distribusi tenaga listrik. Penelitian dilakukan di PLN ULP Pasir Pengaraian, Provinsi Riau, dengan objek utama transformator distribusi DD 23, yang diuprating dari kapasitas 100 kVA menjadi 200 kVA.

3.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilaksanakan melalui lima langkah utama:

1. Studi literatur untuk memperoleh teori dasar terkait efisiensi transformator, ketidakseimbangan beban, dan metode uprating.
2. Pengukuran awal dilakukan sebelum uprating untuk mengetahui kondisi eksisting.
3. Pelaksanaan uprating oleh pihak PLN mencakup penggantian inti besi dan peningkatan sistem pendinginan.
4. Pengukuran ulang setelah uprating menggunakan peralatan ukur yang sama.
5. Analisis data dilakukan dengan menghitung efisiensi, rugi daya, dan tingkat ketidakseimbangan beban sebelum dan sesudah uprating.



Gambar 2 Blok diagram Penelitian

3.3. Variabel Penelitian

Penelitian ini melibatkan tiga variabel utama:

- Efisiensi Transformator (η) — rasio antara daya keluaran dan daya masukan.
- Rugi Daya (P_{loss}) — energi listrik yang hilang akibat resistansi lilitan dan fluks magnetik inti.
- Ketidakseimbangan Beban (% Unbalance) — perbandingan antara selisih arus tertinggi dan rata-rata arus antar fasa.

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ Unbalance Load} = \frac{I_{\text{Max}} - I_{\text{Rata}}}{I_{\text{rata}}} \times 100\% \quad (2)$$

3.4 Perhitungan Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan

tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut: [1 - 5]

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (3)$$

dimana:

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala-jala (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus :

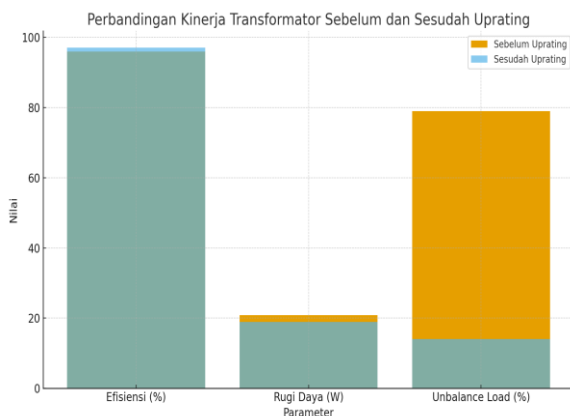
$$I_f = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (4)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pengukuran sebelum dan sesudah proses uprating transformator distribusi DD 23 di PLN ULP Pasir Pengaraian. Parameter utama yang dianalisis meliputi efisiensi, rugi daya, dan ketidakseimbangan beban. Hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data Perbandingan Kinerja Transformator

Parameter	Satuan	Sebelum Uprating	Sesudah Uprating
Efisiensi	%	96.00	97.05
Rugi Daya	W	20.90	18.92
Ketidakseimbangan Beban	%	79	14



Gambar 3 grafik perbandingan kerja trafo

Berdasarkan hasil analisis, uprating transformator menyebabkan peningkatan efisiensi sebesar 1,05%, penurunan rugi daya sebesar 1,98 W, dan penurunan ketidakseimbangan beban sebesar 65%. Hal ini menunjukkan bahwa uprating tidak hanya meningkatkan kemampuan trafo menyalurkan daya secara stabil, tetapi juga mengurangi risiko panas berlebih dan kerusakan isolasi. Efisiensi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa energi listrik yang hilang dalam bentuk panas menjadi lebih kecil, sehingga meningkatkan keandalan sistem distribusi [17].

4.1. Analisis Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator mengalami peningkatan dari 96% menjadi 97,05% setelah dilakukan uprating. Peningkatan sebesar 1,05% ini disebabkan oleh:

1. Penurunan arus beban relatif, karena transformator baru berkapasitas 200 kVA memiliki kemampuan menampung beban yang lebih besar dibanding transformator lama.
2. Penurunan rugi tembaga (copper loss) yang proporsional terhadap penurunan arus (I^2R).
3. Kinerja pendinginan yang lebih optimal, menurunkan kenaikan suhu lilitan dan resistansi.

Transformator memiliki efisiensi maksimum pada rentang beban 40–70% dari kapasitas nominal. Setelah uprating, transformator DD 23 kembali beroperasi pada zona efisiensi tersebut.

4.2. Analisis Rugi Daya (Losses)

Rugi daya transformator menurun dari 20,9 W menjadi 18,92 W, atau terjadi penurunan sebesar 9%. Penurunan rugi daya dicapai akibat:

- Penurunan arus pada tiap fasa, sehingga I^2R losses menjadi lebih kecil.
- Penurunan temperatur inti dan lilitan setelah kapasitas transformator ditingkatkan.
- Kinerja pendinginan yang lebih baik, mengurangi kenaikan resistansi akibat panas.

Hasil ini sesuai dengan teori rugi daya yang menyatakan bahwa rugi tembaga meningkat secara kuadratik terhadap arus beban

4.3. Analisis Ketidakseimbangan Beban

Nilai ketidakseimbangan beban turun drastis dari 79% menjadi 14% setelah proses uprating dan redistribusi beban. Penurunan ini sangat signifikan dan berdampak langsung pada:

1. Pengurangan arus netral yang sebelumnya sangat tinggi.
2. Pengurangan panas berlebih pada salah satu fasa.
3. Kestabilan tegangan antar fasa menjadi lebih baik.
4. Penurunan total losses, karena unbalance meningkatkan konsumsi daya.

Nilai 14% telah memenuhi batas standar SPLN D3.002-1:2010, yaitu maksimum 20%. Dengan demikian, transformator sudah berada dalam kondisi operasi yang aman dan stabil.

4.4. Dampak Uprating terhadap Kinerja Sistem Distribusi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa uprating transformator dari 100 kVA menjadi 200 kVA memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Meningkatkan keandalan transformator dengan menurunkan potensi overload.
2. Mengurangi rugi energi, sehingga meningkatkan efisiensi sistem distribusi.
3. Menurunkan ketidakseimbangan beban, yang penting untuk kualitas tegangan.
4. Mengurangi panas berlebih, meningkatkan umur pakai transformator.
5. Meningkatkan kualitas pasokan listrik ke pelanggan, terutama pada daerah beban tinggi.

Secara keseluruhan, uprating terbukti menjadi strategi **efektif dan ekonomis** untuk meningkatkan performa sistem distribusi tanpa mengganti jaringan secara keseluruhan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis sebelum dan sesudah uprating transformator distribusi DD 23 di PLN ULP Pasir Pengaraian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Uprating transformator dari 100 kVA menjadi 200 kVA terbukti meningkatkan efisiensi sistem distribusi. Efisiensi meningkat dari 96,00% menjadi 97,05%, atau mengalami kenaikan sebesar 1,05%. Peningkatan ini terjadi akibat menurunnya arus beban relatif sehingga rugi tembaga (I^2R losses) berkurang.
2. Rugi daya transformator mengalami penurunan signifikan setelah uprating. Nilai rugi daya menurun dari 20,90 W menjadi 18,92 W, atau terjadi pengurangan sebesar 9%, yang menunjukkan peningkatan performa energi transformator terutama pada kondisi beban tinggi.
3. Ketidakseimbangan beban berkurang drastis dari 79% menjadi 14%. Penurunan sebesar 65% ini menunjukkan bahwa redistribusi beban antar fasa berjalan efektif, serta kapasitas transformator yang meningkat membantu menstabilkan arus dan menurunkan arus netral.
4. Uprating memberikan dampak positif terhadap keandalan dan umur transformator. Penurunan arus per fasa, peningkatan stabilitas suhu, dan perbaikan keseimbangan fasa berdampak pada menurunnya pemanasan berlebih dan memperpanjang umur peralatan.
5. Uprating merupakan solusi teknis dan ekonomis untuk mengatasi overload pada jaringan distribusi tanpa perlu mengganti seluruh infrastruktur. Penerapan metode ini sangat

relevan bagi wilayah dengan pertumbuhan beban tinggi dan terbatasnya anggaran investasi baru.

Dengan demikian, uprating transformator dapat direkomendasikan sebagai strategi efektif dalam meningkatkan efisiensi energi, keandalan sistem distribusi, dan kualitas pelayanan listrik kepada pelanggan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. P. Rahayu and B. Setiadi, "Rancang Bangun Alat Monitoring Ketidakseimbangan Beban pada Sistem Instalasi 3-Fasa Berbasis Mikrokontroler," *Pros. Ind. Res. ...*, pp. 13–14, 2022, [Online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4318>
- [2] I. G. Budiya, I. W. Artha Wijaya, and T. G. Indra Partha, "Rugi – Rugi Daya Akibat Pengaruh Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Efektifitas Penggunaan Daya Terpasang," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 260, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p29.
- [3] J. Sentosa Setiadi, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi," *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [4] Muliadi, Syukri, T. M. Asyadi, and A. Salim, "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Penyulang Mibo Rayon Merduati," *Aceh J. Electr. ...*, vol. 2, no. 2, pp. 7–12, 2022.
- [5] R. Tandioga and M. Mulyadi, "TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR TIGA FASA DI PT . PLN (Persero) RAYON MAKASSAR TIMUR , PENYULANG KIMA," 2014.
- [6] P. Mandarani, "Perancangan Aplikasi Sistem Monitoring Beban Trafo Berbasis Android Pada Pt. Pln (Persero)," *J. Teknoif Tek. Inform. Inst. Teknol. Padang*, vol. 9, no. 2, pp. 73–81, 2021, doi: 10.21063/jtif.2021.v9.2.73-81.
- [7] M. B. Tri, "Perancangan Sistem Informasi Management Siswa Berprestasi Berbasis Android Pada Smk Pgri Rawalumbu," *J. Sains Teknol. Fak. Tek.*, vol. X, no. 2, pp. 30–39, 2020.
- [8] S. Utomo, A. A. Nugroho, and M. Khosyi'in, "Sistem Tapping Fasa Keseimbangan Beban Berbasis Internet of Things," *Avitec*, vol. 4, no. 2, p. 165, 2022, doi: 10.28989/avitec.v4i2.1283.
- [9] O. Zebua, E. Komalasari, S. Alam, and A. Aldiansyah, "Rancang Bangun Alat

- Monitoring Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Berbasis Internet of Things,” *Electrician*, vol. 15, no. 2, pp. 146–152, 2021, doi: 10.23960/elc.v15n2.2203.
- [10] D. Pratama and A. Asnil, “Sistem Monitoring Panel Surya Secara Realtime Berbasis Arduino Uno,” *MSI Trans. Educ.*, vol. 2, no. 1, pp. 19–32, 2021, doi: 10.46574/mted.v2i1.46.
- [11] A. B. Pulungan and S. R. Putri, “Data Logger berbasis IC Multiplexer untuk Pengukuran Arus dan Tegangan pada Panel Surya Skala Besar,” *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 1, p. 151, 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i1.116822.
- [12] R. Putri, D. Pratama, A. Hasibuan, M. Abdul Muthalib, and N. Sitti Nurfebruary, “Evaluation of Technical Shrinkage of Express Extension PL 03 and LW 09 at PLN Lhoksukon Using ETAP Software,” *Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 88–96, 2023, doi: 10.52088/ijesty.v3i2.458.
- [13] F. Salafa, L. Hayat, and M. Anwar, “Jurnal Riset Rekayasa Elektro,” *J. Ris. Rekayasa Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 1–9, 2020.
- [14] E. SETIAWAN, G. ANINDITA, A. SYAHID, and I. RACHMAN, “Monitoring Keseimbangan Distribusi Beban Transformator untuk Meminimalisasi Terjadinya Rugi Energi,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 2, p. 297, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i2.297.
- [15] Adam, D. & Prabowo, A. (2019). Analisis Kinerja Transformator Distribusi. *Jurnal Energi Listrik*.
- [16] Dini Fauziah (2021). Penanggulangan Overload Transformator Distribusi dengan Metode Uprating di Gardu PNBS 20 kV ULP Pangandaran.
- [17] I. W. Sugara Yasa et al. (2023). Mengatasi Overload pada Transformator Gardu Distribusi dengan Metode Uprating.
- [18] Krishnamoorthy, R. & Jayabal, R. (2015). Transformer Load Management for Efficient Distribution. *IEEE Transactions on Power Delivery*.
- [19] Nugroho, R. & Kusmantoro, D. (2024). Evaluasi Efisiensi Transformator Distribusi pada Sistem Tenaga Listrik 20 kV.
- [20] Zhang, Y. et al. (2020). Impact of Load Imbalance on Distribution Transformer Performance. *IEEE Access*