

Analisis Penanggulangan *Overload* Transformator Distribusi dengan Metode *Uprating* di PT PLN (Persero) ULP Sutami

Nambi Anasta*

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Nusantara, Lampung
*nambisttnlampung@gmail.com

Abstrak— Persentase beban sebelum dilakukan uprating pada transformator menunjukkan angka sebesar 95%, yang mengindikasikan bahwa transformator berada dalam kondisi overload. Untuk mengatasi kondisi ini, diperlukan penanggulangan overload dengan menggunakan metode uprating. Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut: Untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang menyebabkan transformator mengalami overload, untuk menganalisis rugi-rugi daya dan efisiensi transformator sebelum dan sesudah uprating, serta untuk mengetahui metode yang efektif dalam menangani overload pada transformator distribusi. Hasil analisis dan perhitungan menunjukkan bahwa setelah penerapan metode uprating, persentase beban transformator menurun menjadi 73%, dengan penambahan daya sebesar 250 kVA pada transformator. Penurunan persentase beban ini dari angka awal sebesar 95,05% pada transformator berkapasitas 200 kVA menunjukkan perbaikan signifikan.

Article History:

Received: October 23, 2024

Revised: March 1, 2025

Accepted: March 9, 2025

Published: March 20, 2025

Kata Kunci—Beban Lebih, Overload, Presentase, Transformator Distribusi, Uprating.

DOI: 10.22441/jitkom.v9i1.002

I. PENDAHULUAN

Overload adalah masalah yang sering terjadi pada transformator distribusi dan dapat menyebabkan penurunan performa sistem kelistrikan secara signifikan [1]. Jika dibiarkan, kondisi ini berpotensi menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik akibat arus yang melebihi kapasitas sistem dan gangguan terhadap sistem proteksi [2]. Untuk menjaga keandalan sistem distribusi listrik, sangat penting untuk memperhatikan pembebanan transformator agar efisiensi tetap optimal dan kerusakan dapat dihindari [3].

Menurut standar SPLN dan praktik terbaik internasional, beban transformator sebaiknya dijaga di bawah 80% dari kapasitas nominalnya untuk mencegah pemanasan berlebih [4]. Dalam studi kasus ini, sebelum dilakukan uprating, beban transformator mencapai 95%, yang menunjukkan kondisi overload [5]. Beban yang melebihi kapasitas dapat menghasilkan panas berlebih yang merusak insulasi dan mempercepat degradasi komponen internal transformator [6].

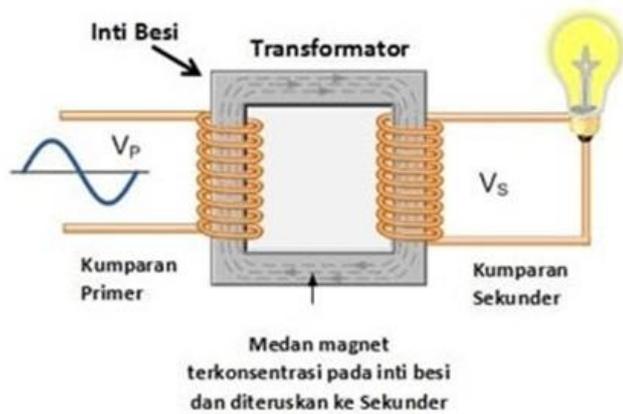
Overload yang berkepanjangan juga dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan memperpendek umur layanan transformator [7]. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi teknis seperti metode uprating untuk meningkatkan kapasitas kerja transformator tanpa perlu mengganti seluruh unit [8]. Uprating terbukti mampu meningkatkan batas operasi termal transformator dan mengurangi risiko gangguan sistem [9]. Dengan demikian, penerapan uprating sangat penting dalam menjaga efisiensi dan keandalan distribusi daya listrik secara berkelanjutan [10].

II. LITERATURE REVIEW

A. Definisi Transformator

Transformator adalah perangkat listrik statis yang berfungsi untuk mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian lainnya dengan cara mengubah nilai voltase tanpa mengubah frekuensi. Dikatakan sebagai peralatan statis karena tidak memiliki bagian yang bergerak atau berputar, berbeda dengan generator atau motor. Perubahan voltase dilakukan berdasarkan prinsip induksi elektro magnetik pada kumparan. Fenomena induksi elektro magnetik yang terjadi di dalam transformator melibatkan induksi diri dalam setiap kumparan, serta induksi mutual antara kumparan.

Secara sederhana, transformator terdiri dari tiga komponen utama: kumparan primer, kumparan sekunder, dan inti besi. Kumparan primer adalah bagian transformator yang terhubung dengan rangkaian sumber tenaga (sumber daya). Kumparan sekunder adalah bagian yang terhubung dengan rangkaian beban. Inti besi berfungsi untuk mengarahkan fluks magnetik dari kumparan primer agar masuk ke kumparan sekunder. Berikut ini adalah gambar skematik dari susunan transformator.

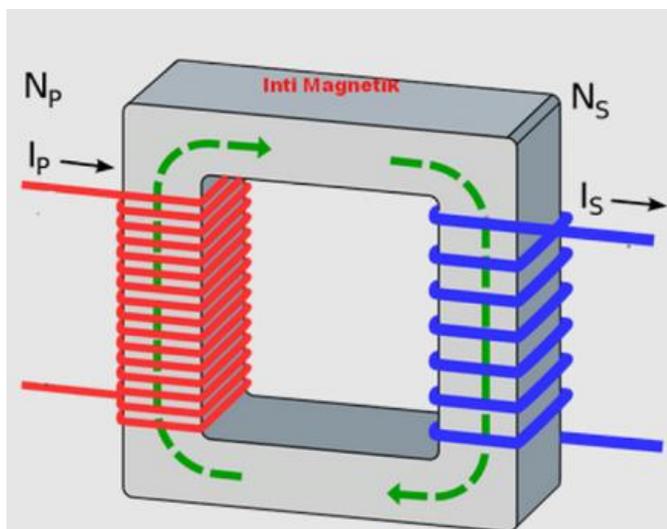


Gambar 1. Inti Transformator

B. Prinsip Kerja Transformator

Transformator beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Ketika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan AC (arus bolak-balik) dan kumparan sekunder dalam keadaan terbuka, arus yang mengalir dalam kumparan tersebut dikenal sebagai arus nol beban (I_0). Arus ini menghasilkan fluks magnetik yang berubah-ubah di dalam inti transformator. Sebagai perangkat listrik statis, transformator terdiri dari satu atau lebih kumparan yang, melalui proses induksi elektromagnetik, mengubah daya (arus dan tegangan) dari sistem AC (arus bolak-balik) menjadi sistem arus dan tegangan yang berbeda dengan frekuensi yang tetap.

Transformator beroperasi berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yang mencakup hukum Ampere dan hukum Faraday seperti yang digambarkan pada Gambar 2.2. Prinsip ini menyatakan bahwa perubahan arus atau medan listrik dapat menciptakan medan magnet, dan sebaliknya, perubahan medan magnet atau fluks magnetik dapat menghasilkan tegangan yang terinduksi.



Gambar 2. Induksi Magnet Pada Trafo

C. Kualitas Daya Listrik

Listrik yang berkualitas tinggi ditandai dengan tegangan dan frekuensi yang stabil sesuai dengan nilai nominalnya.

Dalam rentang yang ditetapkan, frekuensi harus tetap konstan dan mendekati nilai nominalnya. Masalah umum dalam kualitas daya adalah adanya fluktuasi pada tegangan, arus, dan frekuensi yang dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan.

Transmisi listrik dari generator ke konsumen harus dilakukan dalam parameter listrik yang sesuai, seperti tegangan, arus, frekuensi, dan bentuk gelombang. Penyimpangan yang tidak dapat diterima dari parameter-parameter ini dapat berdampak serius pada kualitas pasokan daya, menyebabkan operasi yang tidak efisien, dan bahkan merusak perangkat.

Kualitas daya juga sangat dipengaruhi oleh beban non-linear, beban yang tidak seimbang, dan distorsi harmonik yang melebihi standar. Pasokan daya yang buruk dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi beban dan bahkan menurunkan kapasitas generator.

D. Rugi Daya (Power Losses)

Rugi daya, atau power loss, merupakan energi yang hilang saat energi listrik ditransmisikan dari sumber utama ke beban. Selama proses transmisi dan distribusi listrik, sering kali terjadi kehilangan daya yang signifikan, yang disebabkan oleh kerugian dalam pengkabelan dan transformator yang digunakan. Kedua jenis kehilangan ini dapat memberikan dampak yang cukup besar yang berdampak besar pada kualitas daya dan tegangan yang diterima oleh pelanggan.

E. Pembebanan Transformator

Beban adalah sirkuit penggunaan akhir dari rangkaian listrik yang harus disuplai oleh sumber daya untuk diubah menjadi bentuk energi lain, seperti cahaya, panas, dan gerakan magnetik. Oleh karena itu, pasokan untuk beban harus dijaga secara terus-menerus agar sistem daya tetap dapat diandalkan. Untuk mencapai tingkat keandalan ini, sistem daya harus mampu menghadapi gangguan yang terjadi tanpa mematikan beban.

F. Overload Transformator

Menurut PT.PLN (Persero), transformator distribusi dirancang agar tidak memuat lebih dari 80% atau di bawah 40% dari kapasitasnya. Jika beban melebihi nilai tersebut, transformator bisa mengalami kelebihan beban. Upaya dilakukan untuk memastikan bahwa penggunaan transformator tetap berada dalam batas yang aman. Ketika beban pada transformator terlalu tinggi, penggantian atau penambahan transformator perlu dilakukan.

Kelebihan beban dapat menyebabkan transformator menjadi terlalu panas, dan kabel tidak dapat menahan beban berlebih, yang menyebabkan akumulasi panas dan peningkatan suhu. Kenaikan suhu ini dapat merusak isolasi pada transformator. Transformator memiliki batasan dalam operasionalnya; jika digunakan secara terus-menerus di luar kapasitas, suhu di dalamnya akan meningkat, berpotensi merusak isolasi dan komponen lainnya. Selain itu, hal ini dapat memengaruhi kualitas daya yang dihasilkan, menyebabkan penurunan voltase di ujung rangkaian dan memperpendek umur transformator.

G. Metode Uprating Transformator

Metode uprating adalah cara untuk meningkatkan kapasitas daya transformator yang mengalami kelebihan beban. Pendekatan ini melibatkan penambahan daya pada transformator, yang sejalan dengan penelitian oleh [11] mengenai upaya menangani masalah kelebihan beban sebagai langkah perbaikan. Metode peningkatan kapasitas transformator ini bertujuan untuk mengatasi masalah beban berlebih dan merupakan solusi yang paling sederhana, tanpa perlu melakukan perubahan besar pada beban transformator itu sendiri. Setelah uprating diterapkan, pemantauan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja transformator dan dampaknya terhadap sistem distribusi. Parameter yang dipantau termasuk suhu transformator, frekuensi overload, dan stabilitas sistem distribusi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif. Metode kualitatif merupakan metode yang fokus pada pengamatan yang mendalam. Oleh karenanya, penggunaan metode kualitatif dalam penelitian dapat menghasilkan kajian atas suatu fenomena yang lebih komprehensif.

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan di PT. PLN (Persero) ULP Sutami. Langkah-langkah yang diambil untuk mengumpulkan data diperlukan untuk analisis manajemen kelebihan beban pada transformator distribusi. Data beban transformator dan kondisi operasional dikumpulkan dari PT PLN (Persero) ULP Sutami. Data ini mencakup beban puncak, faktor beban, dan frekuensi terjadinya overload.

B. Evaluasi Kapasitas Transformator

Analisis dilakukan untuk menentukan kapasitas transformator yang ada dan perbandingannya dengan beban yang ada. Evaluasi ini termasuk analisis termal, mekanis, dan elektris dari transformator yang ada.

Berdasarkan hasil evaluasi, metode uprating diterapkan pada transformator yang teridentifikasi sebagai tidak memadai. Ini termasuk peningkatan sistem pendinginan, penggunaan isolasi yang lebih baik, atau penambahan komponen untuk meningkatkan kapasitas.

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Analisis Data Beban

Di PT. PLN (Persero) ULP Sutami Tanjung Bintang, trafo distribusi KRGK 0136 merupakan salah satu trafo yang mengalami kelebihan beban, dengan pembagian beban yang telah ditetapkan setelah PLN Trafo Punulan Es terlampaui. Kelebihan ini mencapai lebih dari 80% dari kapasitas trafo. Untuk mengatasi masalah kelebihan beban, salah satu metode yang paling efektif adalah dengan menaikkan kapasitas trafo.

Berdasarkan pengukuran terakhir yang dilakukan di PT. PLN (Persero) ULP Sutami Tanjung Bintang pada 20 Januari 2022, diketahui bahwa feeder di Gardu Induk KRGK 0136 mengalami beban puncak dengan faktor beban sebesar 95%.

Persentase beban ini melebihi standar yang ditetapkan oleh PLN dan berada di bawah 80% dari kapasitas trafo. Oleh karena itu, dilakukan upaya untuk mengoptimalkan efisiensi kerja trafo dengan menerapkan metode trafo step up, agar trafo di Gardu Induk KRGK 0136 tidak mengalami kelebihan beban dan diharapkan efisiensinya menjadi lebih optimal.

Kondisi terakhir sebelum terjadinya gangguan akibat kelebihan beban pada trafo distribusi di Gardu Induk KRGK 0136 dapat saya konfirmasi dengan data pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Kondisi Gardu Induk KRGK 0136 yang diukur pada Tanggal 15 Mei 2022

No. Gardu	Tanggal Pengukuran	Kapasitas (kVA)	Beban Trafo		Kondisi Trafo Distribusi	Saran Tindakan
			kVA	%		
KRGK 0136	15 Mei 2022	200 KVA	167	83,51	Normal	

Keadaan terakhir Gardu Induk KRGK 0136 yang diukur pada 15 Mei 2022 menunjukkan bahwa trafo telah beroperasi dalam kondisi normal selama tiga bulan terakhir. Namun, persentase beban mengalami peningkatan, dengan standar PLN sebesar 83,51% pada beban trafo 167 kVA. Meskipun kondisi ini melebihi kapasitas normal yang ditetapkan oleh PLN, hal tersebut masih dianggap dalam batas normal.

Data menunjukkan bahwa beberapa transformator di ULP Sutami sering mengalami overload, terutama selama periode beban puncak. Analisis kapasitas transformator yang ada menunjukkan bahwa beberapa unit beroperasi pada batas kapasitasnya.

B. Implementasi Uprating

Penerapan metode uprating, seperti peningkatan kapasitas pendinginan dan penggunaan material isolasi yang lebih baik, berhasil meningkatkan kapasitas operasional transformator. Transformator yang telah diperbarui menunjukkan pengurangan signifikan dalam frekuensi overload.

C. Kondisi Pembebanan Transformator Sebelum Uprating

Kapasitas pengubah penyulang KRGK 0136 ialah 200 kVA. Untuk mengukur arus nominal/ arus beban penuh menggunakan persamaan 1 berikut:

$$I_{fl} = \frac{\text{Kapasitas Transformator} \times 1000}{\text{Tegangan Kirim (V)}\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$I_{fl} = \frac{200 \times 1000}{400v \times \sqrt{3}}$$

$$I_{fl} = \frac{200000}{400x\sqrt{3}}$$

$$I_{fl} = 288,67 \text{ A}$$

Kemudian untuk mengukur arus beban rata-rata, kita dapat menggunakan persamaan 2 berikut ini:

$$I_{rata-rata} = \frac{(IR + IS + IT)}{3} \quad (2)$$

$$I_{rata-rata} = \frac{(I275 + 269 + 285)}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 276,3 A$$

Untuk mengukur hasil jumlah beban dalam penyulang KRGK 0136, beban setiap fasa harus dihitung terlebih dahulu. Hasil perhitungan beban fasa dapat dilihat seperti berikut:

$$S_R = I_{RTot} \times V_{RN} \quad (3)$$

$$S_R = 275 \times 229$$

$$S_R = 62975 VA = 62,975 kVA$$

$$S_S = I_{STot} \times V_{SN} \quad (4)$$

$$S_S = 269 \times 229$$

$$S_S = 61601 VA = 61,601 kVA$$

$$S_T = I_{TTot} \times V_{TN} \quad (5)$$

$$S_T = 285 \times 230$$

$$S_T = 65550 VA = 65,55 kVA$$

Setelah mendapatkan hasil pengukuran beban per fasa R, S dan T barulah dapat menghitung beban total sebagai berikut :

$$S_{Total} = S_R + S_S + S_T \quad (6)$$

$$S_{Total} = 62,975 + 61,601 + 65,55$$

$$S_{Total} = 190,126 kVA$$

Setelah dilakukan perhitungan total beban sesuai data sebelum trafo diupgrade, maka hasil persentase (%) beban sebelum trafo dipasang dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{\text{Total Daya Beban}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{190,126 \text{ kVA}}{200 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{Pembebanan} = 95\%$$

Setelah menghitung persentase pembebanan sebelum peningkatan daya pada trafo, diperoleh bahwa persentase pembebanan trafo mencapai 95%, yang menunjukkan bahwa trafo dalam kondisi kelebihan beban. Oleh karena itu, langkah selanjutnya yang perlu diambil adalah melakukan tindakan untuk mengurangi gangguan akibat kelebihan beban di Gardu Induk KRGK 0136.

D. Perhitungan Rugi-Rugi Daya untuk Mengetahui Nilai Efisiensi Sebelum Uprating

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada 20 Juni 2022, diketahui bahwa di Penyulang Es pada Gardu Induk KRGK 0136, beban puncak mencapai 95%, di mana transformator distribusi melebihi batas peraturan yang ditetapkan oleh SPLN, yaitu lebih dari 80% dari kapasitas trafo. Kondisi ini mengakibatkan penggunaan efisiensi trafo yang tinggi. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mengoptimalkan efisiensi kerja trafo dengan cara menaikkan kapasitas trafo, sehingga trafo di Gardu Induk KRGK 0136 tidak mengalami kelebihan beban dan diharapkan dapat beroperasi dengan lebih efisien.

Kehilangan daya dalam saluran terjadi akibat adanya komponen resistansi dan reaktansi, yang mengakibatkan hilangnya daya aktif dan reaktif. Kehilangan daya aktif yang terjadi pada bagian resistansi saluran distribusi terbuang dalam bentuk energi. Total rugi-rugi daya pada setiap komponen dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P = \frac{1}{3} (IR^2 + IS^2 + IT^2 + IN^2) \times R \times L \quad (8)$$

Jadi, untuk perhitungan rugi-rugi daya pada setiap komponen dapat di hitung seperti berikut ini:

$$\Delta P \text{ Jurusan L1} = \frac{1}{3} (71^2 + 84^2 + 43^2 + 48^2) \times 0,14 \times 0,225$$

$$= 170,625 W$$

$$\Delta P \text{ Jurusan L2} = \frac{1}{3} (42^2 + 8^2 + 27^2 + 30^2) \times 0,22 \times 0,350$$

$$= 88,792 W$$

$$\Delta P \text{ Jurusan L3} = \frac{1}{3} (42^2 + 8^2 + 27^2 + 30^2) \times 0,22 \times 0,350$$

$$= 2.225,109 W$$

$$\Delta P \text{ Jurusan L4} = \frac{1}{3} (12^2 + 19^2 + 44^2 + 33^2) \times 0,26 \times 0,6$$

$$= 183,56 W$$

Setelah memperoleh nilai rugi daya sebelum *uprating* transformator untuk setiap jalur, langkah selanjutnya adalah menghitung total rugi daya yang dihasilkan. Hal ini dilakukan untuk menilai rugi daya secara keseluruhan di Gardu Induk KRGK 0136 dalam kondisi sebelum dilakukan *uprating* transformator, yang dimana didapatkan sesuai dengan persamaan 9 berikut:

$$\Delta P \text{ Total} = \Delta P \text{ Jurusan L1} + \Delta P \text{ Jurusan L2} + \Delta P \text{ Jurusan L3} + \Delta P \text{ Jurusan L4} \quad (9)$$

$$\Delta P \text{ Total} = 170,625 + 88,729 + 2.225,109 + 183,56$$

$$\Delta P \text{ Total} = 2.668,023 W = 2,668 kW$$

Oleh karena itu, untuk menentukan nilai efisiensi suatu transformator, perhitungan dilakukan sesuai dengan informasi yang terdapat pada nameplate transformator tersebut. Diketahui bahwa transformator dengan kapasitas 200 kVA memiliki beban sebesar 190,126 kVA dan mengalami rugi daya sebesar 2,668,023 W atau 2,668 kW. Dengan mengonversi kW ke kVA, diperoleh hasil $2,668/0,8 = 3,336$ kVA. Hasil ini didapatkan menggunakan persamaan tersebut.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (10)$$

$$\eta = \frac{S_{out}}{P_{out} + (\text{Rugi} - \text{rugi})} \times 100\% \quad (11)$$

$$\eta = \frac{190,126}{190,126 + 3,335} \times 100\%$$

$$\eta = 98,27\%$$

E. Kondisi Pembebanan Transformator Setelah Uprating

Setelah dilakukan peningkatan kapasitas, transformator di Gardu Induk KRGK 0136 kini memiliki kapasitas 250 kVA. Untuk menghitung arus nominal atau arus beban penuhnya, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

$$I_{fl} = \frac{\text{Kapasitas Transformator} \times 1000}{\text{Tegangan Kirim (V)} \sqrt{3}}$$

$$= \frac{250 \times 1000}{400 \text{V} \times \sqrt{3}}$$

$$= \frac{250000}{400 \sqrt{3}}$$

$$= 360,8 \text{ A}$$

Kemudian perhitungan arus beban rata-rata dilakukan jika sehabis menaikkan tegangan maka perhitungannya sebagai berikut:

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

$$= \frac{(264 + 259 + 277)}{3}$$

$$= 266,6 \text{ A}$$

Perhitungan beban transformator setiap fasa setelah terjadi kenaikan tegangan transformator di gardu induk KRGK 0136.

Perhitungan beban per fasa:

$$S_R = I_{RTot} \times V_{RN}$$

$$S_R = 264 \times 227$$

$$S_R = 59928 \text{ VA} = 59,928 \text{ kVA}$$

$$S_S = I_{STot} \times V_{SN}$$

$$S_S = 259 \times 230$$

$$S_S = 59570 \text{ VA} = 59,570 \text{ kVA}$$

$$S_T = I_{TTot} \times V_{TN}$$

$$S_T = 277 \times 229$$

$$S_T = 63433 \text{ VA} = 63,433 \text{ kVA}$$

Setelah mendapat hasil perhitungan beban per fasa R, S dan T di atas, barulah menghitung jumlah beban yang disalurkan:

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

$$S_{Total} = 59,928 + 59,570 + 63,433$$

$$S_{Total} = 182,931 \text{ kVA}$$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{\text{Total Daya Beban}}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{182,9316 \text{ kVA}}{250 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Pembebanan} = 73\%$$

Setelah menghitung persentase beban pada transformator setelah peningkatan kapasitas, hasilnya menunjukkan bahwa transformator KRGK 0136 telah kembali ke kondisi normal dan tidak mengalami kelebihan beban. Persentase beban pada transformator kini tidak melebihi batas standar yang telah ditetapkan sebelumnya, yaitu 73%.

F. Perhitungan Rugi-Rugi Daya untuk Mengetahui Nilai Efisiensi Setelah Uprating

Setelah melakukan uprating pada transformator di Gardu Induk KRGK 0136, perhitungan dilakukan untuk membandingkan rugi daya antara transformator 200 kVA dan 250 kVA, di mana beban pada transformator tersebut adalah sebesar 182,931 kVA. Dengan mempertimbangkan perbandingan nilai arus di setiap jalur setelah uprating, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai rugi daya pada transformator distribusi KRGK 0136 setelah peningkatan kapasitas.

$$\Delta P_{\text{Jurusan L1}} = \frac{1}{3}(73^2 + 79^2 + 41^2 + 49^2) \times 0,14 \times 0,225$$

$$= 164,346 \text{ W}$$

$$\Delta P_{\text{Jurusan L2}} = \frac{1}{3}(45^2 + 8^2 + 24^2 + 45^2) \times 0,22 \times 0,350$$

$$= 120,376 \text{ W}$$

$$\Delta P_{\text{Jurusan L3}} = \frac{1}{3}(138^2 + 153^2 + 157^2 + 34^2) \times 0,19 \times 0,450$$

$$= 1.945,353 \text{ W}$$

$$\Delta P_{\text{Jurusan L4}} = \frac{1}{3}(8^2 + 19^2 + 55^2 + 39^2) \times 0,26 \times 0,6$$

$$= 258,492 \text{ W}$$

Setelah memperoleh nilai rugi daya untuk setiap jalur sebelum uprating transformator, langkah selanjutnya adalah menghitung total rugi daya yang dihasilkan. Hal ini dilakukan untuk menilai kehilangan daya secara keseluruhan di Gardu Induk KRGK 0136 setelah uprating. Dengan menggunakan persamaan yang ada di bawah ini, diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_{\text{Jurusan L1}} + \Delta P_{\text{Jurusan L2}} + \Delta P_{\text{Jurusan L3}} + \Delta P_{\text{Jurusan L4}} \quad (9)$$

$$\Delta P \text{ Total} = 163,346 + 120,376 + 1.945,353 + 258,492$$

$$\Delta P \text{ Total} = 2.488,567 \text{ W} = 2,488 \text{ kW}$$

Untuk menentukan magnitudo efisiensi setelah melakukan peningkatan kapasitas transformator, ditemukan bahwa kehilangan daya setelah uprating bernilai 2,488,567 W atau 2,488 kW. Dalam hal ini, kW dapat dikonversi menjadi kVA dengan rumus $2,488/0,8 = 3,11 \text{ kVA}$, yang berkorespondensi dengan beban 182,931 kVA. Untuk perhitungan lebih lanjut, Anda dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{S_{out}}{P_{out} + (Rugi - rugi)} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{182,931}{182,931 + 3,11} \times 100\%$$

$$\eta = 98,32\%$$

G. Perbandingan Persentase Pembebanan Sebelum dan Sesudah Uprating

Berdasarkan data pengukuran beban transformator sebelum dan setelah uprating di Gardu Distribusi KRGK 0136 milik PT. PLN (Persero) ULP Sutami Tanjung Bintang, hasil perhitungan menunjukkan pembebanan transformator pada fase R sebesar 62,975 kVA, fase S sebesar 61,607 kVA, dan fase T sebesar 65,55 kVA. Persentase pembebanan daya transformator mencapai 95%, yang melebihi batas standar PLN sebesar 80% dari kapasitas transformator.

Dengan demikian, kondisi pembebanan tersebut dapat dianggap sebagai kelebihan beban (overload). Oleh karena itu, metode uprating transformator diterapkan untuk mengatasi masalah kelebihan beban di Gardu Distribusi KRGK 0136. Di bawah ini terdapat tabel yang menunjukkan hasil pembebanan transformator sebelum peningkatan kapasitas di Gardu Induk KRGK 0136.

Tabel 2. Pembebanan Transformator Sebelum dilakukan Uprating Transformator

Jurusan	Arus Jurusan				Persentase Pembebanan Daya Transformator(%)
	R	S	T	N	
A	71,00	84,00	43,00	48,00	95%
B	42,00	8,00	27,00	30,00	
C	150,00	158,00	171,00	37,00	
D	12,00	19,00	44,00	33,00	
Daya(kVA)	62,975	61,607	65,55	-	
Daya Total Transformator (kVA)	190,132				

Setelah menghitung pembebanan transformator setelah uprating, diperoleh nilai pembebanan per fase sebagai berikut:

fase R sebesar 59,928 kVA, fase S sebesar 59,570 kVA, dan fase T sebesar 63,433 kVA. Dengan persentase pembebanan daya transformator sebesar 73%, transformator tersebut kini sudah tidak mengalami overload lagi, karena persentase pembebanan berada di bawah 80%. Berikut ini adalah tabel yang menunjukkan hasil pembebanan transformator setelah dilakukan uprating di Gardu Distribusi KRGK 0136.

Tabel 3. Pembebanan Transformator Sesudah dilakukan Uprating Transformator

Jurusan	Arus Jurusan				Persentase Pembebanan Daya Transformator(%)
	R	S	T	N	
A	73	79	41	49	73%
B	45	8	24	45	
C	138	153	157	34	
D	8	19	55	39	
Daya(kVA)	59,928	59,570	63,433	-	
Daya Total Transformator (kVA)	182,931				

Beban pada transformator setelah peningkatan kapasitas menunjukkan penggunaan sebesar 73%, berdasarkan perbandingan dalam tabel di atas. Ini berarti transformator tersebut dapat dikategorikan sebagai transformator yang dalam kondisi baik sesuai dengan standar PLN, karena berada di bawah 80%.

Berdasarkan peraturan yang ada, beban maksimum yang diperbolehkan untuk sebuah transformator adalah 80% dari kapasitasnya. Hal ini menjadikan transformator KRGK 0136 dikategorikan sebagai transformator yang mengalami kelebihan beban, karena beban yang ada telah melebihi 95%. Untuk menjaga kelangsungan distribusi daya dan kualitas layanan kepada pelanggan, PLN telah mengambil langkah-langkah perbaikan yang diperlukan untuk mengatasi masalah kelebihan beban ini.

Namun, dalam penelitian ini, penulis hanya menganalisis satu transformator, yaitu KRGK 0136, yang mengalami masalah kelebihan beban. Dari studi yang dilakukan, ditemukan bahwa kelebihan beban pada transformator dapat diatasi melalui tiga metode: menambah daya, memasang plug-in transformer, dan memindahkan jalur. Meskipun demikian, untuk mengatasi kelebihan beban pada transformator KRGK 0136, dilakukan peningkatan kapasitas agar masalah ini dapat teratasi.

Sesuai dengan data pengukuran beban transformator sebelum dan setelah uprating di Gardu Distribusi KRGK 0136. Penyulang Es area PT. PLN (Persero) ULP Sutami Tanjung Bintang, hasil perhitungan menunjukkan pembebanan transformator per fase sebelum uprating adalah sebagai berikut: fase R sebesar 62,975 kVA, fase S sebesar 61,607 kVA, dan fase T sebesar 65,55 kVA. Persentase pembebanan daya mencapai 95%, yang sudah melebihi batas standar PLN sebesar 80% dari kapasitas transformator. Dengan demikian, kondisi pembebanan ini menunjukkan bahwa transformator telah mengalami overload.

Oleh karena itu, dilakukan upgrading transformator untuk mengatasi masalah kelebihan beban di Gardu Distribusi KRGK 0136. Setelah upgrading, hasil perhitungan pembebanan per fase adalah: fase R sebesar 59,928 kVA, fase S sebesar 59,570 kVA, dan fase T sebesar 63,433 kVA, dengan persentase pembebanan daya sebesar 73%. Ini berarti bahwa setelah upgrading, transformator tidak lagi mengalami overload, karena persentase beban berada di bawah 80%.

Berdasarkan perbandingan tersebut, pembebanan transformator setelah upgrading terukur pada 73%, yang menunjukkan kondisi baik dan sesuai dengan standar di bawah 80%. Dengan demikian, setelah dilakukan upgrading, transformator dapat dikatakan berfungsi dengan baik, memungkinkan penyaluran listrik dari Gardu KRGK 0136 berjalan lancar hingga sampai ke pelanggan.

Peneliti menemukan bahwa pihak PT. PLN (Persero) ULP Sutami Tanjung Bintang melakukan tindakan lanjutan dengan menerapkan metode upgrading, yaitu dengan meningkatkan kapasitas transformator dari 200 kVA menjadi 250 kVA. Ini sejalan dengan penelitian oleh Samsurizal & Hadinoto (2020), yang menyatakan bahwa salah satu solusi untuk mengatasi masalah overload adalah melalui metode upgrading. Metode ini efektif dalam menangani kasus overload pada transformator dan merupakan pendekatan yang paling sederhana, tanpa memerlukan persyaratan tambahan untuk mengatasi masalah tersebut.

V. KESIMPULAN

Beban transformator per fase tercatat sebesar 62,975 kVA untuk fase R, 61,607 kVA untuk fase S, dan 65,55 kVA untuk fase T, dengan persentase pembebanan daya mencapai 95%. Ini melebihi batas standar PLN yang ditetapkan sebesar 80% dari kapasitas transformator.

Salah satu solusi untuk menangani overload pada transformator adalah dengan menerapkan metode upgrading. Metode ini sangat sesuai untuk Gardu KRGK 0136, karena memungkinkan penambahan kapasitas transformator tanpa memerlukan lahan atau material tambahan yang luas. Selain itu, metode ini juga dikenal sebagai pendekatan yang paling efisien dan ekonomis.

Dari hasil analisis dan perhitungan, setelah menerapkan metode ini, persentase pembebanan transformator berkurang

menjadi 73% setelah meningkatkan daya transformator menjadi 250 kVA. Ini merupakan penurunan signifikan dari pembebanan sebelumnya yang mencapai 95,05% pada kapasitas transformator 200 kVA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Wang, M. Zhou, & H. Mei, "Towards a degradation-based mechanism for adaptive overload control", *Science China Information Sciences*, vol. 55, no. 12, p. 2708-2722, 2012. <https://doi.org/10.1007/s11432-012-4738-9>.
- [2] A. Nebey, "Automatic load sharing of distribution transformer for overload protection", *BMC Research Notes*, vol. 13, no. 1, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4880-1>.
- [3] S. Syukri, T. Asyadi, M. Muliadi, & F. Moesnadi, "Analisa pembebanan transformator distribusi 20 kv pada penyulang ls5 gardu lsa 249", *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 2, p. 202-206, 2022. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i2.14500>.
- [4] C. Anshar, "Studi analisa perkiraan umur transformator distribusi 20 kv akibat pembebanan", *Jurnal Teknik Komputer Agroteknologi dan Sains*, vol. 1, no. 2, p. 247-253, 2023. <https://doi.org/10.56248/marostek.v1i2.26>.
- [5] U. Situmeang, A. Pangestu, and M. Monice, "Evaluasi Upgrading Transformator Distribusi 20 KV pada Penyulang Kelinci di PT. PLN (Persero) ULP Rumbai", *JST*, vol. 11, no. 2, pp. 704-709, Dec. 2024.
- [6] M. T. Nugraha and D. Fauziah, "Analisis Overload Transformator Distribusi di Gardu SKMR ULP3 Kabupaten Garut," *Prosiding Seminar Nasional Energi, Telekomunikasi dan Otomasi (SNETO)*, pp. 89-89, 2023.
- [7] I. B. Tiasmoro, N. Wirentake, and P. A. Topan, "PENGARUH PEMBEBANAN TERHADAP EFISIENSI DAN SUSUT UMUR TRANSFORMATOR STEP UP 6kV / 70kV DI PLTU SUMBAWA BARAT UNIT 1 DAN 2 2x7 MW PT.PLN (PERSERO) UPK TAMBORA," *Jurnal Tambora*, vol. 5, no. 2, pp. 1-7, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.36761/jt.v5i2.1099>.
- [8] I. M. Parsa and A. Abel, "ANALISIS METODE UPGRADING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI TERHADAP OVERLOAD di PT.PLN ULP KUPANG", *jurnal_teknologi*, vol. 18, no. 1, pp. 1-9, May 2024.
- [9] Nor, S., Kadir, M., Ariffin, A., Osman, M., Rahman, M., & Zainuddin, N. (2021). Issues and challenges in voltage upgrading for sustainable power operation: a case study of a 132 kv transmission line system in malaysia. *Sustainability*, 13(19), 10776. <https://doi.org/10.3390/su131910776>.
- [10] I. W. S. Yasa, "MENGATASI TRANSFORMATOR OVERLOAD DENGAN METODE UPGRADING TRANSFORMATOR PADA GARDU DISTRIBUSI," *Jurnal Kajian Teknik Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 82-91, Aug. 2023, doi: <https://doi.org/10.52447/jkte.v8i2.6745>.
- [11] S. Samsurizal, and B. Hadinoto. "Studi Analisis Dampak Overload Transformator terhadap Kualitas Daya di PT. PLN(Persero) Up3 Pondok Gede." *Kilat*, vol. 9, no. 1, 2020, doi: [10.33322/kilat.v9i1.784](https://doi.org/10.33322/kilat.v9i1.784).