

ANALISIS PENGARUH BEBAN PUNCAK TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK 150 KV WAYAME

Joelfandro Lelapary¹, Arnold J Kastanja², Mey Chyntia Yesaya³

^{1,2,3}(Teknologi Rekayasa Sistem Kelistrikan Minyak dan Gas – Politeknik Negeri Ambon)

joellelapary02@gmail.com¹, kastanjajemmy@gmail.com², meyyesaya@gmail.com³

Abstract - This research focuses on analyzing the impact of peak load on the efficiency of a 30 MVA transformer located at the Wayame 150 kV Substation. The study was conducted using single-line diagram representation as a study model. In data collection, three main variables serving as measurement parameters include voltage magnitude, load variation, and current intensity flowing through the transformer. This research analyzes the performance of two transformer units based on their operational efficiency during daytime and nighttime periods. On transformer 1, daytime measurements showed 99.649% efficiency at a minimum load of 5,4 MW, increasing to 99.687% at peak load of 6,5 MW. While at night, efficiency reached 99.654% with a minimum load of 5,6 MW and 99.726% at peak load of 7.5 MW. For transformer 2, daytime measurements recorded 99.555% efficiency at a minimum load of 4,1 MW and 99.632% at peak load of 5.1 MW. Meanwhile at night, efficiency was recorded at 99.561% with a minimum load of 4,2 MW and increased to 99.621% at peak load of 5,3 MW. The results show that both transformers have excellent efficiency levels above 99.5%, with efficiency tending to increase as the load increases. Transformer 1 consistently showed higher efficiency compared to transformer 2 under various loading conditions.

Keywords: *transformer, efficiency, peak load, transformer*

Abstrak – Penelitian ini berfokus pada analisis dampak pengaruh beban puncak terhadap tingkat efisiensi transformator berkapasitas 30 MVA yang terletak di Gardu Induk 150 kV Wayame. Studi dilakukan dengan menggunakan representasi diagram satu garis (single line diagram) sebagai model kajian. Dalam pengumpulan data, tiga variabel utama yang menjadi parameter pengukuran mencakup besaran tegangan, variasi beban, serta intensitas arus yang mengalir pada transformator

Penelitian ini menganalisis performa dua unit transformator (trafo) berdasarkan efisiensi operasionalnya pada periode siang dan malam hari. Pada trafo 1, pengukuran siang hari menunjukkan efisiensi 99,649% pada beban minimum 5,4 MW dan meningkat menjadi 99,687% saat beban puncak 6,5 MW. Sedangkan pada malam hari, efisiensi mencapai 99,654% dengan beban minimum 5,6 MW dan 99,726% pada beban puncak 7,5 MW. Untuk trafo 2, pengukuran siang hari mencatat efisiensi 99,555% pada beban minimum 4,1 MW dan 99,632% saat beban puncak 5,1 MW. Sementara pada malam hari, efisiensi tercatat 99,561% dengan beban minimum 4,2 MW dan meningkat menjadi 99,621% pada beban puncak 5,3 MW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua trafo memiliki tingkat efisiensi yang sangat baik di atas 99,5%, dengan kecenderungan peningkatan efisiensi seiring bertambahnya beban. Trafo 1 secara konsisten menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan trafo 2 dalam berbagai kondisi pembebanan.

Kata kunci: *transformator, efisiensi, beban puncak*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan penting dalam kehidupan modern yang mempengaruhi berbagai sektor, baik industri, komersial, maupun rumah tangga. Kebutuhan akan energi listrik yang andal dan efisien terus meningkat seiring dengan berkembangnya teknologi dan pertumbuhan ekonomi. Untuk memastikan pasokan listrik yang stabil, sistem tenaga listrik yang mencakup pembangkitan, transmisi, dan distribusi harus beroperasi secara optimal.

Pada Kota Ambon, peningkatan permintaan energi listrik seiring dengan perkembangan ekonomi

dan populasi, menuntut sistem kelistrikan yang andal. Untuk menjamin pasokan listrik yang stabil dan memenuhi kebutuhan masyarakat, PLN telah membangun dan mengoperasikan Gardu Induk (GI) Wayame dengan kapasitas 30 Mega Volt Ampere (MVA). Beroperasinya Gardu Induk Wayame diharapkan dapat meningkatkan mutu dan keandalan pasokan listrik di wilayah Ambon, khususnya untuk daerah Wayame dan sampai dengan desa Allang

Keberadaan GI Wayame memberikan keuntungan, seperti peningkatan keandalan pasokan listrik dan kemudahan dalam pengaturan beban. Gardu Induk Wayame ini mempunyai 4 penyulang (Feeder) utama secara kontinyu dengan total beban mencapai 8 MW, yang merupakan 12 persen dari total beban puncak Sistem Ambon. Meskipun telah ada upaya untuk meningkatkan infrastruktur kelistrikan, tantangan tetap ada, terutama dalam hal efisiensi transformator pada saat beban puncak. Permasalahan yang sering timbul pada transformator di Gardu Induk akibat beban puncak dari suplai tenaga listrik yang terus menerus dan bertambah yang menyebabkan panas dari kumparan transformator sehingga menghasilkan rugi-rugi yang berupa rugi inti dan rugi tembaga. Rugi rugi daya yang dihasilkan transformator menimbulkan perbedaan daya masukan dan daya keluaran. pembebanan yang berlebih juga dapat berakibat menurunnya efisiensi transformator. Maka peneliti memfokuskan penelitian mengenai ‘Analisis Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator di Gardu Induk 150 KV Wayame’

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Transformator*

Transformator merupakan suatu peralatan mesin listrik statis yang beroperasi dengan induksi elektromagnetik. Transformator berfungsi untuk menyuplai energi dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya[5]. Adapun pada inti ferromagnetik terdapat lilitan sekunder dan primer. Tipe inti dan cangkang merupakan dua jenis konstruksi dari transformator [1]

2.2 *Prinsip Kerja Transformator*

Ketika kumparan primer diberi energi oleh arus bolak-balik, medan magnet atau fluks dihasilkan di sekitar kumparan. Kekuatan medan magnet dipengaruhi oleh jumlah arus yang mengalir melaluinya. Semakin besar arus, semakin besar medan magnet. Osilasi medan magnet di sekitar kumparan pertama (primer) menghasilkan gaya gerak listrik (EMF) pada kumparan kedua (sekunder) dan daya ditransfer dari primer ke sekunder. Dengan demikian terjadi perubahan level tegangan baik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi maupun dari tegangan tinggi ke tegangan rendah. Sementara inti besi dari sebuah transformator umumnya terdiri dari kumpulan lembaran besi tipis yang diisolasi dan diikat berlapis-lapis untuk memudahkan lewatnya fluks akibat arus dalam kumparan [2]

2.3 *Gardu Induk*

Gardu induk sebagai salah satu komponen pada sistem distribusi tenaga listrik memegang peranan yang sangat penting, karena merupakan terminal terhadap pelayanan tenaga listrik ke konsumen. Peranan dari gardu induk itu sendiri adalah menerima dan menyalurkan tenaga listrik (KVA, MVA) sesuai dengan kebutuhan pada tegangan tertentu (TET, TT dan TM).[3]

2.4 *Daya Semu*

Daya semu adalah daya yang dihasilkan oleh perkalian antara tegangan root mean square (rms) dan arus rms dalam suatu jaringan atau daya yang merupakan hasil penjumlahan trigonometri daya aktif (P) dan daya reaktif (Q). Satuan daya semu adalah volt ampere (VA) [4]

$$S = V \cdot I \quad (1)$$

Persamaan untuk mendapatkan nilai daya semu dalam sistem tiga fasa adalah:

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (2)$$

2.5 *Rugi-rugi Transformator*

Dasar ketika energi listrik yang masuk ke transformator tidak akan sama dengan energi listrik

yang akan dikeluarkan dari transformator. Hal tersebut disebabkan adanya rugi - rugi yaitu adanya arus yang hilang saat melewati trafo tersebut. Rugi-rugi tersebut dapat dibagi menjadi dua yaitu : rugi inti (P_{core}) dan rugi tembaga (P_{copper}). Ketika kondisi beban nol atau tidak berbeban, rugi - rugi yang didapat hanya rugi inti saja. perubahan beban tidak mempengaruhi rugi inti. Besarnya rugi inti ketika dari beban nol sampai beban penuh nilainya akan terus sama [5]

1. Rugi-rugi Tembaga (P_{cu})

Rugi tembaga adalah rugi yang disebabkan karena adanya arus beban yang mengalir pada kawat tembaga. Karena arus beban berubah-ubah, maka rugi tembaga juga tidak konstan, tergantung pada beban. Besarnya rugi-rugi tembaga pada setiap perubahan beban dapat ditentukan dengan persamaan [6]

$$P_{cu} = \left(\frac{S_2}{S_1} \right) \times P_{tl} \quad (3)$$

Keterangan :

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan tertentu

P_{tl} = Rugi tembaga beban penuh

S_2 = Beban yang dioperasikan (kVA)

S_1 = Nilai pengenalan (kVA)

2. Rugi-rugi Inti (P_i)

Tidak seperti rugi-rugi tembaga, rugi-rugi inti besi selalu konstan dalam kondisi normal, terlepas dari nilai perubahan beban. Nilai rugi-rugi besi biasanya tertera pada papan templet masing-masing transformator daya.

3. Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara keluar dari transformator (P_{out}) dengan daya listrik yang masuk pada transformator (P_{in}), transformator yang ideal efisiensinya 100%, tapi pada kenyataannya efisiensi transformator kurang dari 100%, hal ini dikarenakan rugi-rugi yang telah dijelaskan diatas, sehingga energi listrik menjadi energi panas atau gerak. Kemampuan daya suatu transformator adalah kemampuan daya keluarannya dengan demikian efisiensinya dihitung dengan perbandingan daya keluarannya menentukan besarnya presisi yang dikehendaki, semakin dilakukan presisi [7]

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum \text{rugi}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

η = Efisiensi transformator

P_{out} = Daya masukan

P_{in} = Daya keluaran

$\sum$ = Total rugi tembaga + rugi inti

III. METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada lokasi Gardu Induk Wayame 150 kv Kota Ambon, Provinsi Maluku. Sedangkan rencana penelitian secara terperinci dan tahapan atau proses yang dilakukan agar tujuan penelitian terlaksana dengan baik dan sesuai

Pada penelitian ini akan menganalisis seberapa pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Metode kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang berfokus pada pengumpulan dan analisis data dalam bentuk angka atau data numerik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1 Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Pada kota Ambon PLN telah membangun dan mengoperasikan Gardu Induk (GI) Wayame dengan kapasitas 30 Mega Volt Ampere (MVA). Beroperasinya Gardu Induk Wayame diharapkan dapat

meningkatkan mutu dan keandalan pasokan listrik di wilayah Ambon, khususnya untuk daerah Wayame dan sampai dengan desa Allang

GI Wayame ini sendiri mendapatkan suplai tenaga listrik dari GI Passo melalui jaringan transmisi 150 kV sepanjang 27,75 kms dengan jumlah tower 42 unit. Penelitian dan pengambilan data ini dilakukan di Gardu Induk 150 kV Wayame Area Ambon. Oleh karena pemakaian listrik yang terus bertambah yang menyebabkan beban listrik yang terus meningkat, maka penelitian ini berfokus pada 2 unit trafo dengan menghitung pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator.

Tabel 1 spesifikasi Transformator 1 dan 2

Transformator 1		Transformator 2	
Serial Number	3011160177	Serial Number	3011160177
Year	2018	Year	2018
Standard	IEC 60076	Standard	IEC 60076
Primary	150 Kv	Primary	150 Kv
Secondary	20 kV	Secondary	20 Kv
Frequency	50 Hz	Frequency	50 Hz
Rate power	30 MVA	Rate power	30 MVA
Cooling	ONAN/ONAF	Cooling	ONAN/ONAF
Load losses	62 kW	Load losses	62 kW
No-Load Losses	17 kW	No-Load Losses	17 kW

4.1.2 Data Beban

Mengingat konsistensi data selama periode observasi, Tabel 1 menyajikan rekapitulasi nilai rata-rata beban, arus, dan tegangan dari dua unit transformator selama periode 1-30 agustus hari pemantauan. Penyeragaman data dalam bentuk rata-rata ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran umum profil beban sebelum dianalisis lebih mendalam pada perhitungan efisiensi masing-masing transformator.

Tabel 1 beban puncak rata -rata

Transformator	Waktu Beban Puncak	Arus (A) rata-rata	Tegangan (kV) rata-rata	Pout (MW) rata-rata
Trafo 1	Siang	23	150,5	5,8
	Malam	25	150,7	6,5
Trafo 2	Siang	18	150,3	4,4
	Malam	18	150,1	4,7

4.2. Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Perhitungan Rugi – rugi dan Efisiensi Transformator 1

1. Perhitungan daya semu

Data beban, tegangan dan arus transformator unit 1 diambil selama periode 1-30 agustus 2024, meliputi beban puncak siang dan malam. Data ini mencakup daya nyata (MW). Untuk menghitung rugi tembaga, diperlukan perhitungan daya semu menggunakan rumus pada persamaan (2). Sebagai contoh perhitungan, penulis akan menggunakan data tegangan (V) dan arus (I) pada transformator 1 pada tanggal 1 agustus 2024 (Tabel 7) beban puncak siang. Perhitungan selanjutnya akan dilakukan menggunakan Microsoft Excel.

$$\begin{aligned}
 S &= V \times I \times \sqrt{3} \\
 &= 150,5 \times 23 \times \sqrt{3} \\
 &= 5,987 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

S = Daya Semu (MVA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

2. Perhitungan Rugi-rugi Tembaga

Setelah mendapatkan nilai daya semu (MVA), rugi tembaga pada beban puncak siang dan malam untuk transformator dapat dihitung menggunakan rumus persamaan (3). Perhitungan ini diperlukan untuk menentukan rugi total dan efisiensi transformator. Sebagai contoh, penulis akan menunjukkan perhitungan menggunakan data beban puncak siang transformator pada tanggal 1 agustus (Tabel 7) beban puncak siang. Dengan nilai S2 didapat dari perhitungan daya semu dan nilai S1 di dapat dari spesifikasi transformator Perhitungan selanjutnya akan menggunakan Microsoft Excel."

$$\begin{aligned} P_{cu} &= \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 \times P_{tl} \\ &= \left(\frac{5,987}{30} \right)^2 \times 0,062 \\ &= 0,0024 \text{ MW} \end{aligned}$$

Keterangan :

P_{cu} = Rugi-rugi tembaga pada saat pembebanan tertentu

P_{tl} = Rugi tembaga beban penuh

S2 = Beban yang dioperasikan (MVA)

S1 = Nilai Pengenal (MVA)

3. Perhitungan Rugi-rugi Total

$$\begin{aligned} P_{total} &= P_{cu} + P_i \\ &= 0,0024 + 0,017 \\ &= 0,0194 \text{ MW} \end{aligned}$$

Keterangan :

P_{cu} = Rugi Tembaga

P_i = Rugi Inti

4. Perhitungan Efisiensi Transformator

Setelah mendapatkan nilai rugi total kita dapat menghitung efisiensi transformator Sehingga, efisiensi transformator dapat diketahui menggunakan rumus pada persamaan

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Rugi-rugi Total}} \times 100\% \\ &= \frac{5,7}{5,7 + 0,0194} \\ &= 99,660\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka di lakukan perhitungan nilai daya semu, rugi tembaga, rugi total dan efisiensi transformator 1 siang dan malam megggunakan micro soft exel dari tanggal 1 sampai 30 juni 2024 dapat dilihat di bawah ini:

Tabel 1 Hasil Perhitungan Beban Puncak Siang dan malam Pada Trafo 1

Transformator 1									
Jam 11.00 Wit					Jam 19.00 Wit				
Tgl	Pout (MW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)	Tgl	Put (MW)	Arus (A)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)
1	5,7	23	150,5	99,660	1	6	24	150,3	99,674
2	5,9	24	151,1	99,667	2	6,4	26	150,3	99,686
3	6	24	150,3	99,674	3	5,9	24	150,4	99,668
4	5,7	22	150,9	99,664	4	6,1	24	150,5	99,679
5	5,9	24	150,7	99,667	5	5,6	23	150,8	99,654
6	6,2	25	150,6	99,680	6	6,2	25	150,4	99,668
7	5,9	23	150,7	99,672	7	6,3	28	150,6	99,674
8	5,6	23	150,5	99,654	8	6,7	26	150,9	99,700

9	5,6	22	150,8	99,658	9	6,8	27	151,2	99,700
10	6,2	25	150	99,680	10	6,9	27	151,1	99,705
11	5,8	23	150,3	99,667	11	6,7	27	150,8	99,696
12	6,3	25	150,3	99,685	12	6,8	27	151,1	99,700
13	6,2	25	150	99,680	13	6,7	27	151,2	99,696
14	6,5	27	150,3	99,687	14	7,2	29	150,4	99,710
15	5,9	24	150,6	99,667	15	6,9	27	150,5	99,705
16	5,9	23	150,6	99,672	16	6,7	27	150,8	99,696
17	5,7	22	150,8	99,664	17	6,6	26	151,3	99,696
18	5,8	23	150,3	99,667	18	6,9	28	150,7	99,702
19	5,6	23	150,8	99,654	19	6,8	27	151,3	99,700
20	6,3	25	150,3	99,685	20	6,9	27	150,7	99,705
21	5,9	24	150,6	99,667	21	6,5	20	151,1	99,711
22	5,4	21	151,1	99,649	22	6,6	26	150,8	99,696
23	5,5	22	150,8	99,652	23	6,8	27	150,8	99,700
24	6,4	25	150,7	99,690	24	7,5	28	150,2	99,726
25	6	24	150,3	99,674	25	6,4	25	151,2	99,690
26	5,9	24	150,6	99,667	26	6,5	26	151,3	99,691
27	5,7	22	150,8	99,664	27	6,2	25	150,2	99,680
28	5,6	22	150,5	99,658	28	5,9	18	151,1	99,687
29	5,8	24	150,5	99,663	29	5,7	18	150,8	99,676
30	5,8	22	150,8	99,670	30	6,3	18	150,8	99,707

4.2.2 Perhitungan Rugi – rugi dan Efisiensi Transformator 2

1. Perhitungan Daya Semu

Perhitungan daya semu (MVA) diperlukann untuk menghitung rugi tembaga pada setiap bebannya, untuk menghitung daya semu (MVA) menggunakan rumus dari persamaan (2.10) nilai tegangan (V) dan arus (I) didapat dari tabel (4,5) beban puncak malam tanggal 1 juni :

$$\begin{aligned}
 S &= V \times I \times \sqrt{3} \\
 &= 150,2 \times 19 \times \sqrt{3} \\
 &= 4,942 \text{ MVA}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Rugi-rugi Tembaga

Setelah memperoleh nilai daya semu (MVA), maka rugi tembaga pada setiap beban puncak siang dan malam yang terjadi pada transformator dapat dihitung dari persamaan (2.12) dengan nilai S2 didapat dari perhitungan daya semu dan dan nilai S1 di dapat dari spesifikasi transformator :

$$\begin{aligned}
 P_{cu} &= \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 \times P_{cufl} \\
 &= \left(\frac{4,943}{30} \right)^2 \times 0,062 \\
 &= 0,0016 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Rugi-rugi Total

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= P_{cu} + P_i \\
 &= 0,0016 + 0,017 \\
 &= 0,0186 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Efisiensi Transformator

Setelah mendapatkan nilai rugi total kita dapat menghitung efisiensi transformator Sehingga, efisiensi transformator dapat diketahui menggunakan rumus pada persamaan(2.) :

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{Rugi-rugi Total}} \times 100
 \end{aligned}$$

$$= \frac{5,0}{5,0 + 0,0186}$$

$$= 99,629\%$$

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Beban Puncak Malam Pada Trafo 2

Transformator 2									
Jam 12.00 Wit					Jam 19.30 Wit				
Tgl	Pout (mw)	Arus (A)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)	Tgl	Pout (mw)	Arus (A)	Tegangan (V)	Efisiensi (%)
1	5	17	151,1	99,635	1	5	19	150,2	99,629
2	4,3	17	150,1	99,576	2	4,9	17	150,1	99,627
3	4,5	18	150,5	99,59	3	4,6	19	150,4	99,597
4	4,6	19	150,1	99,597	4	4,9	20	150,6	99,617
5	4,2	17	150,7	99,566	5	4,3	20	150,1	99,564
6	4,3	19	150,4	99,569	6	5	20	150,1	99,625
7	5	20	150,6	99,625	7	4,2	18	150,7	99,561
8	4,4	18	150,2	99,585	8	5,1	20	150,1	99,632
9	4,3	17	150,7	99,612	9	4,2	17	150	99,566
10	4,5	18	150,4	99,55	10	4,4	18	150,2	99,581
11	4,3	18	150,8	99,571	11	4,3	18	150,1	99,571
12	4,4	18	150,3	99,581	12	4,5	18	150,6	99,59
13	4,2	18	150,4	99,561	13	4,7	18	150	99,607
14	4,2	19	150,1	99,559	14	5,2	19	150,1	99,643
15	4,5	17	151,2	99,532	15	4,3	17	150,7	99,576
16	4,7	19	150,4	99,605	16	5,2	16	150,4	99,653
17	4,3	18	150,7	99,571	17	4,3	16	150,1	99,58
18	4,5	18	150,6	99,59	18	4,8	17	149,7	99,62
19	4,8	18	150,8	99,616	19	4,9	18	150,7	99,623
20	4,7	18	150,1	99,607	20	4,7	17	150	99,612
21	4,1	17	150,5	99,555	21	5,3	19	150,4	99,65
22	4,3	17	150,1	99,576	22	5	20	150,1	99,6254
23	4,3	17	150,1	99,576	23	4,9	19	150,4	99,621
24	5,1	20	150,1	99,632	24	4,6	18	150	99,599
25	4,5	18	150,4	99,59	25	4,8	19	150,3	99,614
26	4,2	18	150,3	99,561	26	4,2	18	150,3	99,561
27	4,6	18	149,7	99,599	27	4,5	18	149,7	99,59
28	4,2	17	150	99,566	28	5,1	19	149,4	99,636
29	4,3	19	149,3	99,569	29	4,6	18	150,8	99,599
30	4,4	18	150,2	99,581	30	4,5	16	149,1	99,599

4.3 Implementasi

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada Transformator 1 dan Transformator 2, dapat dibuktikan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara beban puncak dengan rugi-rugi dan efisiensi pada transformator. Pengamatan menunjukkan bahwa perubahan beban puncak secara langsung mempengaruhi kinerja transformator secara keseluruhan.

Sesuai dengan standar IEC 60076 yang mencakup desain, manufaktur, pengujian dan kommissioning transformator ini, menetapkan batas efisiensi pengoprasian transformator sebagai berikut

Load	100%	75 %	50%	25%
PF0,8	99,36	99,48	99,56	99,54
PF 1,0	99,49	99,65	99,65	99,64

1. Beban Rendah (<50%)

Pada saat pembebanan rendah, efisiensi transformator cenderung rendah. Ini terjadi karena rugi inti tetap atau konstan, sedangkan rugi tembaga yang tergantung pada arus beban lebih kecil. Karena rugi inti

2. Beban Optimal (50-75%)

Efisiensi transformator mencapai titik optimal pada kisaran pembebanan ini. Pada level ini, rugi inti dan rugi tembaga seimbang. Dengan kata lain, rugi tembaga yang meningkat sering dengan beban menyibangkan rugi inti, sehingga efisiensi menajai maksimal.

3. Beban Tinggi (>75%)

Ketika pembebanan lebih dari 75%, efisiensi transformator mulai menurun. Ini terjadi karena rugi tembaga meningkat secara signifikan dengan meningkatnya arus beban (karena karena rugi rugi dengan besarnya arus). Rugi-rugi ini menyebabkan peningkatan panas dan

Berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 1997:67), nilai efisiensi transformator yang optimal adalah 99,47%. Hasil analisis menunjukkan bahwa efisiensi transformator unit 1 masih dalam kategori baik karena sesuai dengan standar yang ditetapkan, hal ini mengindikasikan bahwa beban puncak siang dan malam pada transformator unit 1 beroperasi dalam kondisi optimal. Sementara itu, pada transformator unit 2 juga sama masi dalam kondisi optimal dan efisiensi juga masi sesuai standar SPLN walaupun efisiensi lebih renda di bandikan transformator unit 1

V. PENUTUP

Berdasarkan Analisis selama melakukan penelitian dan hasil perhitungan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Beban puncak memberikan pengaruh terhadap rugi-rugi yang terjadi pada transformator di Gardu Induk 150 kV Wayame, walaupun dampak yang ditimbulkan relatif kecil. Hal ini dapat dilihat dari kinerja transformator yang tetap beroperasi secara efisien pada saat beban puncak, yang dibuktikan dengan nilai efisiensi yang sangat tinggi yaitu stabil diangka 99%. Efisiensi trafo mencapai titik optimal pada pemababan rentang 50-75% karena pada kisaran pembebanan ini. Pada level ini, rugi rugi inti dan rugi tembaga seimbang. Dengan kata lain, rugi tembaga yang meningkat sering dengan beban menyibangkan rugi inti, sehingga efisiensi menajai maksimal.
2. Pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator menunjukkan hasil yang baik pada kedua unit transformator. Transformator Unit 1 memperlihatkan efisiensi yang sangat baik dengan nilai efisiensi mencapai 99,665% pada beban puncak siang rata-rata sebesar 5,8 MW, dan meningkat menjadi 99,693% pada beban puncak malam rata-rata sebesar 6,5 MW. Demikian pula dengan Transformator Unit 2 yang juga menunjukkan kinerja optimal, dimana pada beban puncak siang rata-rata sebesar 4,4 MW mencapai efisiensi 99,583%, dan pada beban puncak malam dengan pembebanan rata-rata 4,7 MW menghasilkan efisiensi sebesar 99,605%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Aidil and M. Syukri, "Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya Di Gardu Induk Lambaro," *J. Komputer, Inf. Teknol. dan Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [2] D. Saefulloh, "Perencanaan pengembangan gardu induk untuk 10 tahun ke depan," *Tek. Elektro Univ. Diponegoro*, pp. 1–8, 2013, [Online]. Available: <http://eprints.undip.ac.id/25821/>
- [3] C. Arifin, "Studi Analisa Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Beban Lebih Di Pt. Pln (Persero) Area Kediri Upj Rayon Srengat Blitar," *J. Qua Tek.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–15, 2017, doi: 10.35457/quateknika.v7i2.238.
- [4] L. Yendi, E., & Sigit, "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan. Jurnal Sains & Teknologi Fakultas Teknik, 11(1), 103-113.," *Angew. Chemie Int. Ed. 6(11)*, 951–952., vol. 42, no. 2, p. 283, 2021, [Online]. Available: http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27148/tde-08102007-211215/publico/Hiperterrorismo_e_midia_na_comunicacao_politica.pdf
- [5] H. Elnizar, H. Gusmedi, and O. Zebua, "Analisis Rugi-Rugi (Losses) Transformator Daya 150/20 KV di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Sutami ULTG Tarahan," *Electrician*, vol. 15, no. 2, pp. 116–126, 2021,



- doi: 10.23960/elc.v15n2.2197.
- [6] N. Prayogi, I. Widiastuti, dan Muhamad Haddin, T. Elektro, and U. Islam Sultan Agung Jl Raya Kaligawe Km, "CYCLOTRON: Jurnal Teknik Elektro Pengaruh Beban Puncak Terhadap Efisiensi Transformator 60 MVA di Gardu Induk 150/20 KV Sanggrahan," 2023.
- [7] I. B. Tiasmoro and P. A. Topan, "Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Dan Susut Umur Transformator Step Up 6kv / 70kv Di Pltu Sumbawa Barat," vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2021.