



Analisis Efisiensi Trafo 20 kV/150 kV GT pada PT Indonesia Power PLTU Banten 2 Labuan Unit 1 dan 2 dalam Pengaruh Beban

Gera Nugraha^{1*}, Irwanto²

^{1, 2} Pendidikan Vokasional Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Indonesia

Alamat: Jl. Ciwaru Raya, Cipare, Kec. Serang, Kota Serang, Banten 42117

*Korespondensi penulis: 2283210045@untirta.ac.id

Abstract. A transformer is an electrical equipment that converts alternating current voltage from low voltage to high voltage or vice versa. At PT Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan, power transformers have an important role in the production of electrical energy and its continuity. The loading pattern of PT Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan varies, mainly due to usage. Residential sector consumers are the intended users of electrical energy. Transformer variable loads experience losses as a result. The loss of iron core can result in excessive heat and vibration in the transformer, thus lowering its efficiency level. This study aims to determine the effect of fluctuating loads on the efficiency value of transformers at PT Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan. By analyzing the ratio of incoming power to outgoing power and the amount of power lost, we can determine how much impact load changes have. Based on the analysis results, the most efficient load is at 08.00 and 12.00 with an efficiency value of 98.16% for unit 1, while for unit 2 it is at 07.00 and 09.00 with a value of 99.59%. The findings of the analysis allow us to draw the conclusion that the efficiency value is always changing as it decreases when the load fluctuates.

Keywords: Transformer, Efficiency, Generation, Load, Power.

Abstrak. Trafo adalah suatu peralatan listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari tegangan rendah menjadi tegangan tinggi atau sebaliknya. Di PT. Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan, trafo tenaga mempunyai peranan penting dalam produksi energi listrik dan kontinuitasnya. Pola pembebanan PT. Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan berbeda-beda, terutama karena pemakaian. Konsumen sektor perumahan merupakan pengguna energi listrik yang dituju. Beban variabel trafo mengalami rugi-rugi sebagai akibatnya. Hilangnya inti besi dapat mengakibatkan panas dan getaran berlebih pada transformator, sehingga menurunkan tingkat efisiensinya. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh beban fluktuatif terhadap nilai efisiensi trafo di PT. Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan. Dengan menganalisis rasio daya masuk terhadap daya keluar dan jumlah daya yang hilang, kita dapat menentukan seberapa besar dampak perubahan beban. Berdasarkan hasil analisis, beban yang paling efisien adalah di pukul pukul 08.00 dan 12.00 dengan nilai efisiensi sebesar 98,16% untuk unit 1, sedangkan untuk unit 2 ada pada pukul 07.00 dan 09.00 dengan nilai sebesar 99.59%. Temuan analisis memungkinkan kita untuk menarik kesimpulan bahwa nilai efisiensi selalu berubah-ubah karena menurun ketika beban berfluktuasi.

Kata Kunci: Transformator, Efisiensi, Pembangkit, Beban, Listrik

1. LATAR BELAKANG

Agar peradaban dapat memenuhi kebutuhannya, listrik merupakan sumber energi yang vital. Jumlah energi yang dikonsumsi suatu negara dapat digunakan sebagai indikator langsung sejauh mana pembangunan ekonomi dan sosial negara tersebut. Meningkatnya kebutuhan energi listrik akan menjadi pendorong terciptanya usaha-usaha yang memproduksi listrik untuk memenuhi kebutuhan dengan memanfaatkan berbagai sumber energi konvensional dan alternatif. Agar pembangkit listrik dapat menyuplai listrik ke konsumen, beban listrik harus “didukung” oleh pembangkit tersebut. Pada kenyataannya, dapat dikatakan bahwa pembangkit listrik mempunyai tanggung jawab eksklusif atas kebutuhan listrik. Banyak sekali contoh beban listrik di dalam rumah, seperti lampu, lemari es, mesin cuci, dan perangkat lainnya.

Terdapat berbagai jenis pembangkit listrik yang digunakan untuk menghasilkan listrik, antara lain pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU), dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU).

Jalur transmisi memindahkan energi listrik dari tempat produksi energi ke pusat distribusi menggunakan kabel tegangan tinggi 150 kV atau 500 kV. Tegangan pada tegangan transmisi sekunder akan diturunkan oleh trafo step down sebesar 70 kV, kemudian diturunkan lebih lanjut hingga tegangan distribusi primer gardu induk sebesar 20 kV. Tujuan dari trafo PLTU yang kadang juga disebut dengan trafo daya adalah untuk menaikkan tegangan generator sebelum disalurkan ke stasiun trafo. Tegangan selanjutnya diturunkan pada jalur distribusi (stasiun trafo) dengan menggunakan trafo penurun tegangan menengah disebut juga tegangan distribusi primer. Pola arus menunjukkan pertumbuhan tegangan distribusi primer 20 kV PLN. Listrik tersebut disalurkan melalui jaringan distribusi utama atau jaringan tegangan menengah (MVT), kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan rendah (JTR) ke jaringan listrik. Listrik tersebut kemudian didistribusikan kembali ke stasiun distribusi tegangan rendah masing-masing 380/220 volt. Rumah Pelanggan (konsumen) di PLN.

Banyak pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) telah dibangun di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat di kalangan industri dan masyarakat, sekaligus menjaga biaya produksi yang relatif rendah. PLTU ini menggunakan banyak batu bara untuk menghasilkan listrik dalam jumlah yang relatif besar. PLTU Banten 2 Labuan menjalankan pembangkit yang menggunakan mesin uap primer berbahan bakar batubara, termasuk dua unit berkapasitas 2 x 300 MW untuk memenuhi kebutuhan distribusi energi di Banten, dengan tujuan menyediakan sumber listrik yang andal dan efektif. Dalam produksi listrik di PLTU, sejumlah sistem utama antara lain dua boiler, sistem ventilasi, turbin uap, kondensor, pompa boiler, generator, trafo, dan gardu induk membantu proses konversi energi.

Kehadiran gardu induk merupakan salah satu elemen yang menunjang kehandalan pelayanan sistem tenaga listrik. Trafo merupakan suatu alat perantara yang mempunyai batas kapasitas maksimum dalam menyalurkan energi listrik. Nilai transformator, yang merupakan nilai yang tidak dapat dilampaui dalam kondisi kerja normal, menentukan batas kapasitas beban maksimumnya. Salah satu syarat utama dalam penyediaan dan penyaluran energi listrik kepada konsumen adalah tingkat keandalan sistem energi listrik yang tinggi. Kualitas dan keandalan pasokan listrik pada gardu induk 150 kV dapat ditingkatkan dengan memilih dan memasang peralatan listrik, seperti trafo distribusi, dengan kapasitas yang cukup untuk menutupi biaya tambahan akibat bertambahnya beban di wilayah layanan. Oleh karena itu, trafo tanur busur listrik 60 MVA perlu dirawat.

Trafo adalah perangkat yang menggunakan arus bolak-balik untuk mengubah inti besi menjadi magnet. Gaya gerak listrik (GGL) tercipta ketika magnet dilingkarkan di sekitar kumparan dan tegangan timbul di kedua ujung kumparan yang mengelilingi magnet. Trafo merupakan suatu mesin listrik statis yang dapat mengubah energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. Ini adalah jenis peralatan listrik. Itu juga dapat dilihat sebagai perangkat yang menggunakan induksi elektromagnetik dan kopling magnetik untuk mengubah tingkat tegangan bolak-balik. Dua belitan, belitan primer dan sekunder, serta inti besi membentuk transformator. Baik industri tenaga listrik maupun industri elektronik banyak menggunakan trafo. Transformator memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan terjangkau untuk setiap kebutuhan, seperti kebutuhan tegangan tinggi untuk membawa energi listrik melintasi jarak yang jauh.

Dalam bidang elektronika, trafo digunakan untuk memblokir arus searah (direct current) dan arus bolak-balik serta untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC. Mereka juga berfungsi sebagai perangkat resistif (impedansi masukan) antara sumber dan beban.

Trafo adalah perangkat listrik yang mengubah tegangan bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat lainnya menggunakan kopling magnet. Ia bekerja pada konsep induksi elektromagnetik. Dua belitan, belitan primer dan sekunder, serta inti besi membentuk transformator. Salah satu faktor kunci yang berkontribusi terhadap meluasnya penggunaan arus bolak-balik dalam pembangkitan dan distribusi listrik adalah ketersediaan trafo yang murah dan dapat diandalkan sehingga memungkinkan pengguna memilih tegangan yang paling tepat dan hemat biaya untuk setiap aplikasi. Pengoperasian trafo didasarkan pada hukum Ampere dan hukum Faraday yang menunjukkan bahwa arus listrik dapat menghasilkan medan magnet dan medan magnet dapat menghasilkan arus listrik.

2. KAJIAN TEORITIS

Indonesia merupakan negara berkembang dengan pertumbuhan industri dan populasi yang kuat, sehingga mengakibatkan peningkatan konsumsi listrik dan mengharuskan PLN untuk memasok listrik secara konsisten (Suryana, 2012).

Dalam menyalurkan tenaga listrik, trafo atau trafo merupakan komponen krusial dalam jaringan distribusi. Fungsi trafo ini adalah untuk menyalurkan energi listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Data beban puncak listrik merupakan energi listrik terbanyak yang diukur dalam jangka waktu tertentu, misalnya sehari, seminggu, atau sebulan (Priyosusilo, 2012).

Trafo mengalami rugi-rugi akibat beban yang bervariasi tersebut. Rugi-rugi dan kebocoran inti dan belitan yang terjadi pada saat trafo diberi daya merupakan sumber panas yang menaikkan temperatur belitan dan oli trafo (Srinivasan & Krishnan, 2012).

Kinerja trafo ditentukan oleh karakteristik rugi-rugi daya yang terjadi pada trafo. Efisiensi trafo dapat menurun akibat panas berlebih dan getaran berlebihan yang disebabkan oleh hilangnya inti besi (Prayogi et al., 2023).

Transformator merupakan peralatan listrik statis berbasis induksi elektromagnetik. Dengan perbandingan tegangan antara sisi utama dan sisi sekunder yang berbanding terbalik dengan perbandingan arus dan sebanding dengan jumlah belitan, maka fungsi trafo adalah untuk mentransfer listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian lainnya (Bagia & Parsa, 2018).

Trafo adalah suatu jenis alat listrik yang mengubah dan memindahkan energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian lain dengan menggunakan kumparan magnet dan prinsip induksi elektromagnetik (Badaruddin, 2016).

Efisiensi trafo ditentukan dengan membandingkan daya listrik yang masuk trafo (input) dengan daya listrik yang keluar trafo (output). Meskipun efisiensi trafo dalam praktiknya kurang dari 100%, trafo yang sempurna akan memiliki efisiensi 100%. Kerugian yang disebutkan sebelumnya, khususnya transformasi energi listrik menjadi energi panas atau gerak, adalah penyebabnya (Bayu Tiasmoro et al., 2021).

Apabila arus bolak-balik mengalir melalui salah satu kumparan trafo maka akan berdampak pada jumlah garis medan magnet. Akibatnya induksi terjadi pada sisi primer. Sisi sekunder mendapat garis-garis medan magnet dari sisi primer dengan amplitudo yang berubah-ubah akibat induksi, demikian pula yang terjadi pada sisi sekunder dan menyebabkan perbedaan tegangan antara kedua ujungnya (Sentosa Setiadji et al., 2008).

Trafo adalah salah satu jenis peralatan listrik yang mengubah dan mentransmisikan energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya dengan menggunakan prinsip induksi diri elektromagnetik. Tiga bagian dasar transformator adalah inti besi, kumparan sekunder, dan kumparan primer (Faujiriyanto & Jamaaluddin, 2020).

Gulungan primer transformator adalah komponen yang dihubungkan ke rangkaian daya. Gulungan sekunder transformator merupakan komponen yang dihubungkan dengan rangkaian beban. Seluruh fluks magnet yang dihasilkan oleh kumparan primer diarahkan ke kumparan sekunder oleh inti besi transformator (Wiharja, 2009).

Sumber tegangan AC yang dihubungkan dengan kumparan primer suatu transformator menyebabkan arus kumparan primer berubah-ubah sehingga menimbulkan medan magnet yang berfluktuasi. Variasi medan magnet menyebabkan timbulnya gaya gerak listrik induksi pada kedua ujung kumparan sekunder. Gaya ini diperkuat dengan adanya inti besi dan kemudian disalurkan melalui inti besi ke kumparan sekunder. Induktansi timbal balik adalah nama dari fenomena ini. Medan magnet yang diakibatkan oleh perubahan polaritas arus kumparan primer pada transformator di bawah ini juga akan berubah arah, sehingga menyebabkan arus kumparan sekunder juga berubah polaritasnya (Tobing, 2003).

3. METODE PENELITIAN

Investigasi yang berlangsung selama satu bulan, yakni 3 Juli hingga 31 Juli 2023 ini dilakukan di wilayah unit PLTU Banten 2 Labuan OMU dengan melihat kinerja unit trafo GT 1 dan GT 2 di sana. Kali ini pendekatan kualitatif yang dipadukan dengan metode deskriptif dipilih sebagai metodologi penelitian. Meminta seseorang atau sekelompok orang untuk menggambarkan kehidupannya kemudian melihat peristiwa dan fenomena yang terjadi dalam kehidupan tersebut sama-sama merupakan strategi penelitian deskriptif. Peneliti kemudian menceritakan informasi tersebut dengan menggunakan kronologi yang bersifat deskriptif.

Observasi langsung, wawancara, dan penelitian dokumen merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh data. Konversi Unit 1 dan 2 PT. Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan menjadi lokasi pengamatan. Para pemimpin regional dan pengawas industri ditanyai. Setelah itu pengawas industri dan pengawas mendiskusikan hasil observasi dan wawancara. Serupa dengan itu, penulis mencari berbagai referensi pada publikasi yang membahas pokok bahasan selama melakukan penelitian kepustakaan. Hasil diskusi kemudian dijadikan data persiapan penelitian. Dan juga menggunakan studi pustaka yang dimana meneliti, membaca, dan menganalisis berbagai buku referensi dan jurnal penelitian tentang transformator memungkinkan penulis mengumpulkan semua data yang diperlukan untuk menjawab pertanyaan yang diteliti.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Generator Transformer

Name	Main transformer
Model	SFP10-370000/150
Rated capacity	370000 KVA
Rated voltage	$150 \pm 4 \times 2.5\%$ / 20 kV
Rated frequency	50 HZ

Connection symbol	YNd1
Working Condition	Outdoor type
Insulation level	HV Terminal LI/AC 950/395 KV
	Terminal of HV neutral LI/AC 400/200 KV
	LV Terminal LI/AC 145/55KV
Phase number	Three-phase
Altitude	<100m
Cooling methode	OFAF
Cooler	18 fans and 6 oil pumps
Weight of upper tank	24000 KG
Weight of oil	60000 KG
Weight of active part	190000 KG
Weight of transportation with N ₂	234000 KG
Total Weight	299000 KG
Oil level temperature rise	55 K
Manufacturer	Xi'an XD Transformer Co.,Ltd

Untuk mencari nilai efisiensi dari sebuah Transformator, menggunakan rumus sebagai berikut:

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

Dan untuk mencari daya input, menggunakan rumus berikut:

$$P_{in} = P_{gen} - P_{uat} \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

η = Efisiensi transformator

P_{out} = Power keluaran transformator

P_{in} = Power masukan transformator

P_{gen} = Power generator

P_{uat} = Unit Auxilary Transformator

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Operasi Transformator GT unit 1 dan 2 PT. Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan. Tujuan pengumpulan data operasional adalah untuk mengumpulkan data yang diperlukan untuk proses komputasi. Saat sistem berjalan, Departemen Perencanaan dan Pengendalian Operasional (Rendal Op) yang bertugas memproses data operasional bekerja sama dengan departemen lain untuk mengumpulkan data operasional. Pada tanggal 6 Agustus 2022 pukul 01:00 s/d 12:00 digunakan data operasional trafo Unit 1 dan 2 dalam perhitungan.

4.1 Data Operasi dan Perhitungan Efisiensi Transformator Unit 1

Tabel 2. Data Operasi Transformator Unit 1

UNIT 1			
Jam	Pgen* (MW)	Puat* (MW)	Pout* (MW)
01.00	108.30	5.15	100.64
02.00	108.98	5.33	101.07
03.00	108.30	4.97	100.82
04.00	108.36	4.95	100.94
05.00	108.44	4.95	100.96
06.00	123.60	5.13	115.79
07.00	122.90	5.21	114.93
08.00	147.68	5.67	138.74
09.00	147.79	5.55	139.29
10.00	148.89	5.58	140.49
11.00	149.05	5.54	140.58
12.00	147.08	5.49	138.99

Contoh perhitungan untuk mengukur power masukan Transformator GT adalah pada pukul 01.00 pada tranfo GT unit 1

$$\begin{aligned}
 \text{Pin} &= \mathbf{P_{gen} - P_{uat}} \\
 &= 108.30 - 5.15 \\
 &= 103,15 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Dan mengukur efisiensi transformator unit 1 untuk data pada pukul 01:00 WIB.

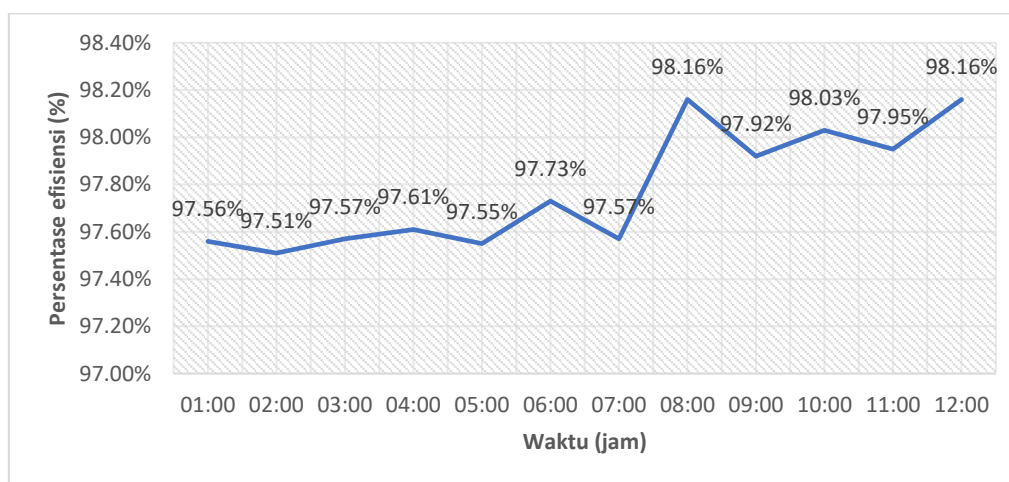
$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{100.64}{103,15} \times 100\% \\
 &= 97,56\%
 \end{aligned}$$

Tabel 3 dibawah ini menunjukkan hasil perhitungan nilai efisiensi trafo 1 dalam periode 12 jam dengan menggunakan rumus diatas.

Tabel 3. Data hasil perhitungan Transformator Unit 1

UNIT 1					
Jam	Pgen* (MW)	Puat* (MW)	Pout* (MW)	Pin (MW)	η (%)
01.00	108.30	5.15	100.64	103.15	97.56%
02.00	108.98	5.33	101.07	103.65	97.51%
03.00	108.30	4.97	100.82	103.33	97.57%
04.00	108.36	4.95	100.94	103.41	97.61%
05.00	108.44	4.95	100.96	103.49	97.55%
06.00	123.60	5.13	115.79	118.47	97.73%
07.00	122.90	5.21	114.93	117.79	97.57%
08.00	147.68	5.67	138.74	141.33	98.16%
09.00	147.79	5.55	139.29	142.24	97.92%
10.00	148.89	5.58	140.49	143.31	98.03%
11.00	149.05	5.54	140.58	143.51	97.95%
12.00	147.08	5.49	138.99	141.59	98.16%

Dan berikut adalah grafik efisiensi dari Transformator GT unit 1



Gambar 1. Grafik Efisiensi Transformator GT Unit 1

4.2 Data Operasi dan Perhitungan Efisiensi Transformator unit 2

Tabel 4. Data Operasi Transformator Unit 2

UNIT 2			
Jam	Pgen* (MW)	Puat* (MW)	Pout* (MW)
01.00	103.04	0.01	102.48
02.00	102.74	0.01	102.26
03.00	103.45	0.01	102.94
04.00	103.21	0.01	102.75
05.00	103.22	0.01	102.74
06.00	115.45	0.01	114.89
07.00	115.89	0.01	115.31
08.00	139.86	0.01	138.95
09.00	136.62	0.01	136.06
10.00	138.96	0.01	138.37
11.00	140.44	0.01	139.67
12.00	143.86	0.01	143.00

Contoh perhitungan Pinnya adalah data pada pukul 01:00 WIB untuk transformator unit 2

$$\begin{aligned} \text{Pin} &= \mathbf{P_{gen} - P_{uat}} \\ &= 103.04 - 0.01 \\ &= 103,04 \text{ MW} \end{aligned}$$

Contoh untuk mencari nilai efisiensi adalah pada pukul 01.00 pada tranfo GT unit 2

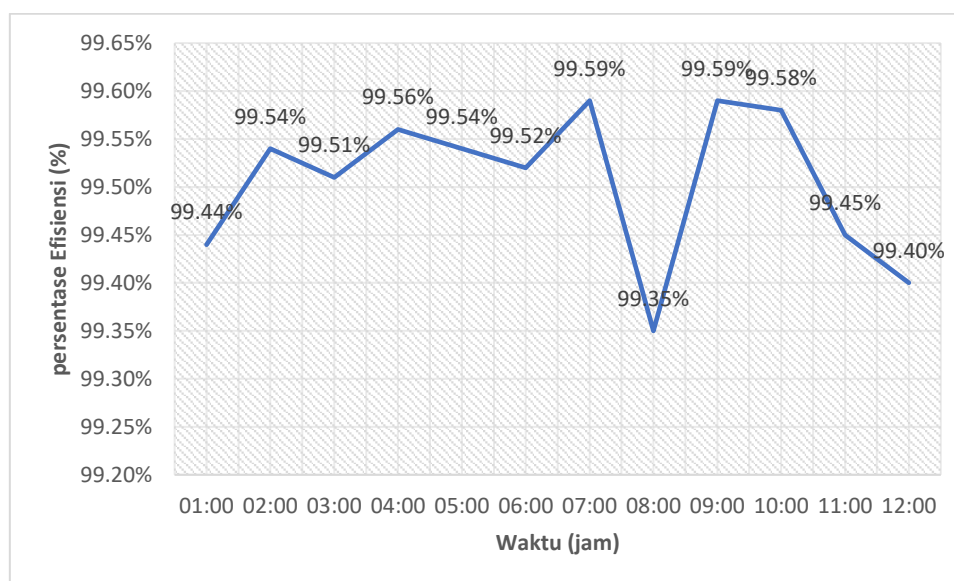
$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{102,48}{103,04} \times 100\% \\ &= 99,44\% \end{aligned}$$

Tabel 5 dibawah ini menunjukkan hasil perhitungan nilai efisiensi trafo 2 dalam periode 12 jam dengan menggunakan rumus diatas.

Tabel 5. Data hasil perhitungan Transformator Unit 2

UNIT 2					
Jam	Pgen* (MW)	Puat* (MW)	Pout* (MW)	Pin (MW)	η %
01.00	103.04	0.01	102.48	103.03	99,44%
02.00	102.74	0.01	102.26	102.73	99,54%
03.00	103.45	0.01	102.94	103.44	99,51%
04.00	103.21	0.01	102.75	103.20	99,56%
05.00	103.22	0.01	102.74	103.21	99,54%
06.00	115.45	0.01	114.89	115.44	99,52%
07.00	115.89	0.01	115.31	115.88	99,59%
08.00	139.86	0.01	138.95	139.85	99,35%
09.00	136.62	0.01	136.06	136.61	99,59%
10.00	138.96	0.01	138.37	138.95	99,58%
11.00	140.44	0.01	139.67	140.43	99,45%
12.00	143.86	0.01	143.00	143.85	99,40%

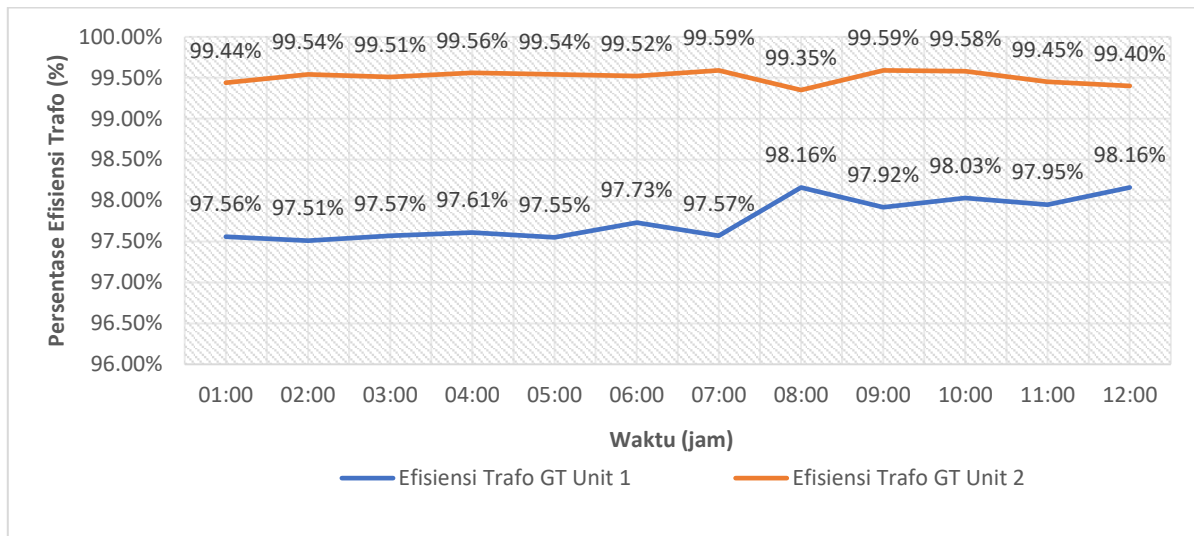
Dan berikut adalah grafik efisiensi dari Transformator GT unit 1



Gambar 2. Grafik Efisiensi Transformator GT Unit

4.3 Perbandingan Efisiensi Trafo GT antara unit 1 dan unit di UJP PLTU Banten 2

Labuan



Gambar 3. Grafik perbandingan Efisiensi Tranformator GT Unit 1 dan 2

Pada tanggal 6 Agustus 2022, pukul 01:00 hingga 12:00, data ini menghitung nilai efisiensi transformator setiap jam selama periode 12 jam. Nilai efisiensi terendah terdapat pada pukul 02.00 nilai efisiensi Unit 1 sebesar 97,51% dan pada pukul 08.00 nilai efisiensi Unit 2 sebesar 99,35%. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai efisiensi tertinggi pada trafo unit 1 adalah pada pukul 08.00 dan 12.00 dengan nilai sebesar 98,16%, dan untuk unit 2 pada pukul 07.00 dan 09.00 dengan nilai sebesar 99.59%.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisa trafo GT 1 dan 2 UJP PLTU Banten 2 Labuan OMU dapat disimpulkan nilai efisiensi yang baik adalah 100%, namun karena adanya rugi-rugi inti khususnya rugi-rugi histeresis dan rugi-rugi arus eddy maka nilai efisiensi trafo kurang dari 100% maka rugi-rugi tersebut diubah menjadi panas. 98,18% pada unit 1 dan 98,71% pada unit 2, nilai ini sangat baik untuk nilai efisiensi trafo. Trafo unit 2 mempunyai unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan trafo unit 1 PT. Indonesia Power UJP PLTU Banten 2 Labuan. Nilai efisiensi rata-rata trafo GT 1 satuannya adalah 97,78%, sedangkan rata-rata nilai efisiensi trafo unit GT 2 adalah 99,51%. Nilai efisiensi rata-rata trafo GT unit 1 dan 2 adalah sebesar 98,64%. Rugi-rugi histeresis dan rugi-rugi arus eddy membuat nilai efisiensi tidak mencapai 100% sehingga menghasilkan nilai efisiensi transformator yang kurang dari 100

DAFTAR PUSTAKA

- Badaruddin, F. A. F. (2016). *Analisa minyak transformator pada transformator tiga fasa di PT X*.
- Bagia, I. N., & Parsa, I. M. (2018). *Motor-motor listrik* (Vol. 1, No. 1, pp. 1–104). CV. Rasi Terbit.
- Bayu Tiasmoro, I., Wirentake, & Topan, P. A. (2021). Pengaruh pembebanan terhadap efisiensi dan susut umur transformator step up 6kV / 70kV di PLTU Sumbawa Barat Unit 1 dan 2 2×7 MW PT. PLN (Persero) UPK Tambora. *Jurnal TAMBORA*, 5(2), 1–7. <https://doi.org/10.36761/jt.v5i2.1099>
- Faujiriyanto, S., & Jamaaluddin, I. (2020). Perhitungan penggunaan transformator untuk menghindari kerugian dalam proses pembuatan transformator (pp. 4–7).
- Husnayain, F., Latif, M., & Garniwa, I. (2015). Transformer oil lifetime prediction using the Arrhenius law based on physical and electrical characteristics. *International Conference on Quality in Research (QiR)*, 115–120.
- Prayogi, N., Widiastuti, I., & Haddin, M. (2023). Pengaruh beban puncak terhadap efisiensi transformator 60 MVA di gardu induk 150/20 kV Sanggrahan. *Cyclotron*, 6(1), 1–7.
- Priyosusilo, L. (2012). Pemodelan beban puncak gardu induk Wates dengan program aplikasi Microsoft Excel. *Prosiding Seminar Nasional*, November, 114–117.
- Sentosa Setiadji, J., Machmudsyah, T., & Isnanto, Y. (2008). Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo distribusi. *Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 68–73. <https://doi.org/10.9744/jte.7.2.68-73>
- Setiawati, N. E. (2019). *Prediksi sisa umur transformator distribusi menggunakan metode neuro wavelet* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- Siburian, J. (2019). Karakteristik transformator. *Jurnal Teknologi Energi Uda*, 8(1), 21–28.
- Srinivasan, M., & Krishnan, A. (2012). Prediction of transformer insulation life with an effect of environmental variables. *International Journal of Computer Applications*, 55(5), 43–48. <https://doi.org/10.5120/8755-2658>
- Sulasno. (2009). *Teknik konversi energi listrik dan sistem pengaturan*. Graha Ilmu.
- Suryana, A. J. (2012). *Analisis keandalan transformator distribusi menggunakan indikator tegangan regulasi dan efisiensi transformator (Studi kasus pada PT. PLN APJ Jember)* [Skripsi, tidak dipublikasikan].
- Tobing, B. L. (2003). *Peralatan tegangan tinggi*. Gramedia Pustaka Utama.
- Wiharja, U. (2009). *Ujang Wiharja, MT*.