

Analisis Efisiensi Transformator Daya di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Ulee Kareng

Afrizal Tomi¹⁾, Muliadi^{2*)}, Syukri³⁾

^{1, 2, 3)} Program Studi Teknik Elektro Universitas Iskandar Muda

Jl. Kampus UNIDA, Surien, Meuraxa, Kota Banda Aceh, Aceh 23234

*Corresponding author E-mail: muliadi.tripa@gmail.com

ABSTRACT

To convert electrical energy, supporting electrical equipment is needed, one of which is a transformer. The transformer is an essential component of the electricity system. The existence of a transformer is a significant invention that is very important in the advancement of electricity. The efficiency of a transformer is the ratio of output power and input power, where the size of the efficiency produced by the transformer is affected by the size of the load. Efficiency is also affected by the losses contained in the transformer. The losses contained in the transformer are core losses and copper losses, these losses in the transformer cause a difference in input power and output power, the greater the losses generated in the transformer, the greater the power loss in the transformer. The purpose of this study is to determine the magnitude of the losses and the value of the efficiency of the power transformer at PT PLN (Persero) Ulee Kareng Substation. The method used in this research is to study literature, collect data, and process data. Data processing is carried out using a mathematical method to obtain the nominal current on the primary and secondary sides of the transformer, the transformer input and output power, the total transformer losses, and the transformer efficiency. The result is that the transformer losses at the largest morning peak load are 26, 14 kW which occurred on the 1st at 10:00 WIB and the lowest losses were 17.23 kW which occurred on the 2nd at 10:00 WIB. At peak load, at night the biggest transformer losses are 24.97 kW which occurred on the 1st at 19:00 WIB while the lowest losses were 22.55 kW which occurred on the 5th at 19:00 WIB. The greatest transformer efficiency at morning peak load is 99.91% which appears on the 2nd at 10:00 WIB, the lowest transformer efficiency is 99.85% which occurs on the 4th at 10:00 WIB. At night peak load the highest efficiency of the transformer is 99.87% which occurs on the 2nd, 3rd and 5th at 19:00 WIB and the lowest efficiency is 99.86% which appears on the 1st and 4th at 19:00 WIB.

Keywords: Transformer, Substation, Efficiency, Power

ABSTRAK

Untuk mengkonversikan energi listrik diperlukan peralatan listrik pendukung, diantara nya adalah transformator. Transformator adalah komponen yang sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan. Keberadaan transformator merupakan penemuan besar yang sangat penting dalam kemajuan ketenagalistrikan. Efisiensi transformator merupakan perbandingan daya keluaran dan daya masukan, dimana besar kecilnya efisiensi yang dihasilkan transformator dipengaruhi besar kecilnya pembebanan. Efisiensi juga dipengaruhi oleh rugi-rugi yang terdapat pada transformator. Rugi-rugi yang terdapat pada transformator adalah rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga, rugi-rugi pada transformator ini menyebabkan perbedaan daya masukan dan daya keluaran, semakin besar rugi-rugi yang dihasilkan pada transformator maka semakin besar daya yang hilang pada transformator tersebut. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui besarnya rugi-rugi dan besarnya nilai efisiensi transformator daya di PT PLN (Persero) Gardu Induk Ulee Kareng. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian adalah dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data, dan pengolahan data. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode matematis untuk mendapatkan arus nominal pada sisi primer dan sekunder trafo, daya input dan output trafo, total rugi-rugi trafo, dan besar efisiensi trafo. Hasilnya didapatkan bahwa rugi-rugi transformator pada beban puncak pagi terbesar adalah 26,14 kW yang terjadi pada tanggal 1 pukul 10:00 WIB dan rugi-rugi terendah adalah 17,23 kW yang terjadi pada tanggal 2 pukul 10:00 WIB. Pada beban puncak malam rugi-rugi transformator terbesar adalah 24,97 kW yang terjadi pada tanggal 1 pukul 19:00 WIB sedangkan rugi-rugi terendah adalah 22,55 kW yang terjadi pada tanggal 5 pukul 19:00 WIB. Efisiensi transformator terbesar pada beban puncak pagi adalah 99,91% yang terjadi pada tanggal 2 pukul 10:00 WIB, efisiensi transformator terendah adalah 99,85% yang terjadi pada tanggal 4 pukul 10:00 WIB. Pada beban puncak malam efisiensi transformator terbesar adalah 99,87% yang terjadi pada tanggal 2, 3, dan 5 pukul 19:00 WIB dan efisiensi terendah adalah 99,86% yang terjadi pada tanggal 1 dan 4 pukul 19:00 WIB.

Kata Kunci: Transformator, Gardu induk, Efisiensi, Daya

I. PENDAHULUAN

Transformator daya merupakan salah satu perangkat listrik yang berfungsi untuk mengkonversi tegangan listrik dari tegangan tinggi menjadi tegangan rendah begitu juga sebaliknya [1]. Transformator adalah komponen yang sangat penting dalam sistem ketenagalistrikan terutama di dalam dunia industri, transformator sangat besar peranannya [2][3]. Pada umumnya terdapat dua kriteria transformator yang sering digunakan dalam dunia kelistrikan, yaitu transformator *step-up* yang berfungsi menaikkan tegangan dan transformator *step-down* sebagai penurun tegangan [4]. Kebanyakan dari transformator selalu terhubung dengan beban sehingga proses penyaluran daya listrik tidak bisa seratus persen karena adanya rugi-rugi dilakukan proses penyaluran daya ke beban. Rugi-rugi yang dimaksud antara lain rugi-rugi yang disebabkan arus mengalir pada kawat tembaga, rugi-rugi yang disebabkan *fluks* bolak balik pada inti besi sehingga dapat mengakibatkan berkurangnya efisiensi pada transformator [5][6][7].

Efisiensi transformator merupakan perbandingan daya keluaran (*output*) dan daya masukan (*input*), dimana kecil besarnya nilai efisiensi pada suatu transformator sangat dipengaruhi oleh kapasitas pembebanan [8][9]. Selain rugi-rugi tersebut, efisiensi juga dipengaruhi oleh rugi-rugi pada transformator itu sendiri seperti rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga. Rugi-rugi ini dapat juga menyebabkan perbedaan daya *input* dan daya *output*. Oleh sebab itu, besar kecilnya rugi-rugi yang terdapat pada transformator maka akan mengurangi jumlah daya keluaran pada transformator tersebut [10][11].

Pada Gardu Induk Ulee Kareng, terpasang satu buah transformator daya dengan kapasitas 60 MVA yang digunakan untuk mentransformasikan daya listrik ke penyulang (*feeder*) dan sudah dioperasikan lebih dari 2 (dua) tahun. Transformator daya tersebut sampai saat ini memiliki beban puncak sekitar 70% sehingga perlu mengetahui besarnya rugi-rugi dan mengetahui besarnya nilai efisiensi transformator daya tersebut. Ini dilakukan dengan menggunakan metode studi literatur dan menganalisis dengan menggunakan formula matematis.

Selanjutnya, manfaat dari penelitian ini adalah agar dapat menjaga kualitas penyaluran listrik sesuai dengan tegangan yang diizinkan sehingga dapat memenuhi kebutuhan konsumen dengan baik dan sesuai dengan harapan.

II. METODE

Penelitian ini dilakukan di Gardu Induk Ulee Kareng PT. PLN (Persero), Jl. Tungkop – Blang Bintang, Tungkop, Kabupaten Aceh Besar. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan studi literatur, pengumpulan data, dan pengolahan data dengan menggunakan formula matematis.

A. Data Penelitian

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode matematis untuk mendapatkan arus nominal pada sisi primer dan sekunder trafo, daya input dan output trafo, total rugi-rugi trafo, dan besar efisiensi trafo. Adapun data-data yang dimaksud yaitu:

1. Spesifikasi transformator daya

TABEL 1. SPESIFIKASI TRANSFORMATOR DAYA

Transformator Daya	
Merk	UNINDO
No	P060LEC898
Type	OIL IMMERSSED
Year of Manufacture	2020
Standard	IEC 60076
Rated Power	36 / 60 MVA
Rated of Coling	ONAN/ONAF
Rated Frequency	50 Hz
No of Phases	3
Vector Diagram	Ynyn0+d
Short Circuit Current Cap (2 sec)	HV: 40 kA/LV: 25 kA

2. Data beban puncak pagi hari

TABEL 2. DATA BEBAN PUNCAK PAGI HARI

Tanggal	Jam	Vs	Is	Pout
		(kV)	(A)	(MW)
1	10:00	20,8	943	32,9
2	10:00	20,7	942	32,8
3	10:00	20,6	931	31,9
4	10:00	20,7	803	27,9
5	10:00	20,5	721	25,1

3. Data beban puncak malam hari

TABEL 3. DATA BEBAN PUNCAK MALAM HARI

Tanggal	Jam	Vs	Is	Pout
		(kV)	(A)	(MW)
1	19:00	20,6	908	32,5
2	19:00	20,9	920	33,1
3	19:00	20,7	930	32,3
4	19:00	20,8	844	30,2
5	19:00	20,9	816	29,3

4. Data rugi-rugi saat beban puncak pagi

TABEL 4. DATA RUGI INTI SAAT BEBAN PUNCAK PAGI

Tanggal	Jam	Phasa 1	Phasa 2	Phasa 3
		(kW)		
1	10:00	2,34	2,11	2,08
2	10:00	1,81	1,93	1,97
3	10:00	1,68	1,55	1,70
4	10:00	2,03	2,20	2,11
5	10:00	1,61	1,54	1,34

5. Data rugi-rugi saat beban puncak malam

TABEL 5. DATA RUGI INTI SAAT BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Phasa 1	Phasa 2	Phasa 3
		(kW)		
1	19:00	2,02	2,04	2,20
2	19:00	1,91	1,88	1,91
3	19:00	1,71	1,89	1,91
4	19:00	2,11	2,15	2,23
5	19:00	1,79	1,90	1,80

B. Metode Analisis

Untuk mendapatkan efisiensi transformator, perlu dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

1. Perhitungan hambatan

Hambatan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [7][8]

$$R = V/I \tag{1}$$

Di mana :

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

2. Perhitungan rugi-rugi inti (Pi)

Rugi inti sebuah transformator terdiri dari rugi *hysteresis* dan rugi arus pusar (*Eddy Current*), dengan rumus [12]:

$$P_i = P_h + P_e \tag{2}$$

Dengan Pi adalah rugi daya inti pada transformator yang diperoleh dari percobaan tanpa beban (*Open Circuit Current*). Ph adalah rugi *hysteresis* yang terjadi akibat gesekan antara molekul-molekul logam inti dalam menyesuaikan diri dengan perubahan arah *fluks* magnet. Besar rugi *hysteresis* dapat dituliskan dengan rumus:

$$P_h = K_h \times B_m^x \times f \tag{3}$$

Dengan:

Kh = Konstanta hysteresis yang bergantung pada bahan dan volume inti.

Bm = Rapat fluksi maksimum (Tesla)

x = Faktor stenmetz yang bergantung dari jenis bahan (1,6-2,0)

f = Frekuensi kerja (Hz)

Sedangkan rugi yang diakibatkan arus pusar Pe terjadi akibat adanya aliran arus induksi di dalam logam inti, rumusnya :

$$P_e = K_e \times B_m^2 \times f^2 \tag{4}$$

3. Perhitungan daya semu (S) dan daya keluaran pada 1 phasa (Po)

Daya semu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [13]

$$P_o = V.I.Cos\varphi \tag{5}$$

Di mana :

V = Tegangan listrik (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Untuk mendapatkan nilai Cos φ, dapat dihitung dengan persamaan:

$$Cos\varphi = \frac{P_{out} (MW)}{S (MVA)} \tag{6}$$

Sedangkan nilai S, dapat dihitung dengan persamaan[14]:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \tag{7}$$

Sehingga,

$$Cos\varphi = \frac{P_{out} (MW)}{S} \tag{8}$$

Maka,

$$P_o = V.I.Cos\varphi \tag{9}$$

4. Perhitungan rugi-rugi tembaga (Pcu)

Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [15]

$$P_{cu} = I_1^2 \times R_1 \tag{10}$$

Dimana:

I = Arus listrik (ampere)

R = Hambatan (Ω)

5. Perhitungan Efisiensi

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + \text{rugi total}} \times 100\% \tag{11}$$

6. Rugi Transformator

Salah satu penyebab nilai efisiensi tidak mencapai 100 % adalah karena adanya rugi tembaga dan rugi inti. Jadi, perhitungan rugi-rugi total transformator sebagai berikut [11]:

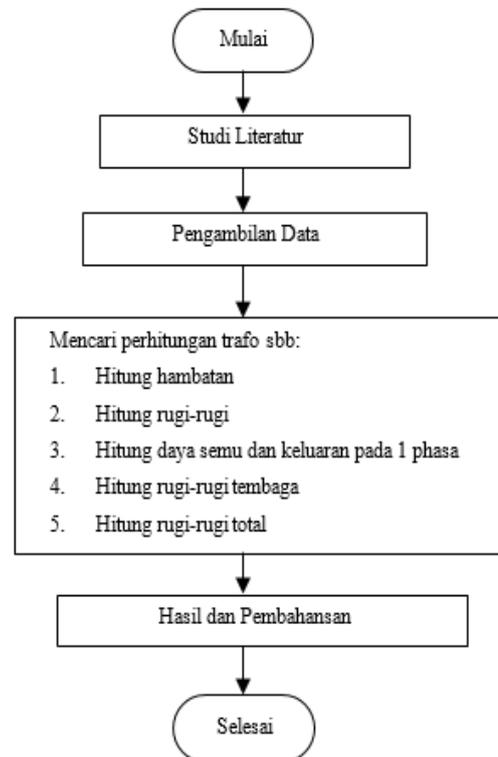
$$\text{Rugi total} = P_i + P_{cu} \tag{12}$$

Di mana:

Pi = Rugi Inti

Pcu = Rugi Tembaga

C. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pehitungan Transformator

Untuk mendapatkan efisiensi transformator, perlu dilakukan perhitungan-perhitungan sebagai berikut:

1. Perhitungan hambatan

Berdasarkan Tabel (2 dan 3), maka nilai hambatan pada transformator ketika beban puncak didapatkan dengan menggunakan persamaan (1):

Diketahui:

$$V = 20,8 \text{ kV}$$

$$I = 943 \text{ Amp}$$

Maka didapatkan:

$$R = V/I$$

$$R = 20,8/943$$

$$R = 0,022057 \text{ k}\Omega$$

$$R \approx 22.06 \Omega$$

Jadi, dengan cara yang sama nilai hambatan pada beban puncak pagi hari dan malam hari ditunjukkan pada Tabel (6 dan 7).

TABEL 6. NILAI HAMBATAN PADA BEBAN PUNCAK PAGI

Tanggal	Jam	Vs	Is	R
		(kV)	(A)	(Ω)
1	10:00	20,8	943	22.06
2	10:00	20,7	942	21.98
3	10:00	20,6	931	22.13
4	10:00	20,7	803	25.78
5	10:00	20,5	721	28.43

TABEL 7. NILAI HAMBATAN PADA BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Vs	Is	R
		(kV)	(A)	(Ω)
1	19:00	20,6	908	22.69
2	19:00	20,9	920	22.72
3	19:00	20,7	930	22.26
4	19:00	20,8	844	24.65
5	19:00	20,9	816	25.61

Dari Tabel 6 dan 7 menunjukkan bahwa besar kecilnya nilai hambatan pada transformator sangat dipengaruhi oleh kecil besarnya tegangan dan kapasitas beban yang dilayani oleh transformator tersebut. Jadi, dapat disimpulkan bahwa jumlah tegangan dan kapasitas pemakaian beban dapat mempengaruhi daya pada transformator.

2. Perhitungan rugi inti (Pi)

Berdasarkan Tabel (4 dan 5), maka nilai rugi inti transformator pada beban puncak didapatkan dengan menjumlahkan semua nilai Pi yang terdapat di fasa 1, 2, dan 3. Hasil selengkapnya ditunjukkan pada Tabel (8 dan 9).

TABEL 8. RUGI INTI PADA BEBAN PUNCAK PAGI

Tanggal	Jam	Phasa 1	Phasa 2	Phasa 3	Pi
		(kW)			(kW)
1	10:00	2,34	2,11	2,08	6,53

2	10:00	1,81	1,93	1,97	5,71
3	10:00	1,68	1,55	1,70	4,93
4	10:00	2,03	2,20	2,11	6,34
5	10:00	1,61	1,54	1,34	4,48

TABEL 9. RUGI INTI PADA BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Phasa 1	Phasa 2	Phasa 3	Pi
		(kW)			(kW)
1	19:00	2,02	2,04	2,20	6,26
2	19:00	1,91	1,88	1,91	5,69
3	19:00	1,71	1,89	1,91	5,51
4	19:00	2,11	2,15	2,23	6,48
5	19:00	1,79	1,90	1,80	5,49

Dari Tabel 8 dan 9 menunjukkan bahwa rata-rata rugi inti pada transformator daya di waktu beban puncak pagi dan malam hari dari tanggal 1 sampai dengan 5 masing-masing sebesar 5,6 kW dan 5,8 kW. Jadi lebih besar rugi inti yang terjadi pada beban puncak di waktu malam hari sebesar 0,2 kW, ini dikarenakan pemakaian beban pada malam hari cenderung lebih besar dibandingkan pada beban puncak pagi hari.

3. Perhitungan daya semu (S) dan daya keluaran pada 1 fasa (Po)

Berdasarkan data pada Tabel (2 dan 3), maka daya semu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5):

Diketahui:

$$V_{L-L} = 20.8 \text{ kV}$$

$$I = 943 \text{ Amp}$$

Maka didapatkan nilai S sebesar:

$$S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I$$

$$S = \sqrt{3} \times 20.8 \times 943$$

$$S = 33.932,91 \text{ kVA}$$

$$S \approx 33,93 \text{ MVA}$$

Sehingga nilai $\cos \phi$ dapat dihitung sesuai dengan persamaan (6):

$$\cos \phi = \frac{P_{Out}}{S}$$

$$\cos \phi = \frac{32,9 \text{ MW}}{33,93 \text{ MVA}}$$

$$\cos \phi = 0,97$$

Setelah didapatkan nilai $\cos \phi$, maka nilai daya keluaran pada 1 fasa (Po) dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_o = V.I.\cos \phi$$

$$P_o = 20,8 \text{ kV} \times 943 \text{ Amp} \times 0,97$$

$$P_o = 19.025.97 \text{ W}$$

$$P_o \approx 19,026 \text{ MW}$$

Dengan cara yang sama, daya semu selengkapnya ditunjukkan pada Tabel (10 dan 11) berikut ini.

TABEL 10. DAYA SEMU PADA BEBAN PUNCAK PAGI

Tanggal	Jam	Vs	Is	Pout	S	Cos φ	Po
		(V)	(A)	(MW)	(MVA)		(MW)
1	10:00	20,8	943	32,9	33,97	0,97	19,026
2	10:00	20,7	942	32,8	33,77	0,97	18,914
3	10:00	20,6	931	31,9	33,22	0,96	18,411
4	10:00	20,7	803	27,9	28,79	0,97	16,123
5	10:00	20,5	721	25,1	25,60	0,98	14,485

TABEL 11. DAYA SEMU PADA BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Vs	Is	Pout	S	Cos φ	Po
		(V)	(A)	(MW)	(MVA)		(MW)
1	19:00	20,6	908	32,5	32,40	1,00	18,705
2	19:00	20,9	920	33,1	33,30	1,00	19,228
3	19:00	20,7	930	32,3	33,34	0,97	18,673
4	19:00	20,8	844	30,2	30,41	1,00	17,555
5	19:00	20,9	816	29,3	29,54	1,00	17,054

Dari Tabel 10 dan 11 menunjukkan bahwa rata-rata daya semu pada transformator daya diwaktu beban puncak pagi dan malam hari dari tanggal 1 sampai dengan 5 November 2022, yaitu masing-masing sebesar 1,39 MW dan 18,24 MW. Jadi, daya semu pada beban puncak di waktu malam hari lebih besar 0,85 MW dibandingkan daya semu diwaktu beban puncak pagi hari.

4. Perhitungan rugi tembaga (Pcu)

Rugi tembaga yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.29). Berdasarkan data pada Tabel (6 dan 7), maka diketahui:

$$I = 943 \text{ Amp}$$

$$R = 22,057 \Omega$$

Jadi, rugi-rugi daya (P_{cu}) didapatkan:

$$P_{cu} = I_1^2 \times R_1$$

$$P_{cu} = 943^2 \times 22,057$$

$$P_{cu} = 19.614,17 \times 10^3 \text{ W}$$

$$P_{cu} \approx 19,61 \text{ kW}$$

Dengan cara yang sama, maka nilai P_{cu} pada data tanggal berikutnya didapatkan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12 dan 13.

TABEL 12 RUGI TEMBAGA PADA BEBAN PUNCAK PAGI

Tanggal	Jam	Is	R	Pcu
		(Amp)	(Ω)	(kW)
1	10:00	943	22,06	19,61
2	10:00	942	21,98	11,51
3	10:00	931	22,13	19,18
4	10:00	803	25,78	16,62
5	10:00	721	28,43	14,78

TABEL 13 RUGI TEMBAGA PADA BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Is	R	Pcu
		(Amp)	(Ω)	(kW)
1	19:00	908	22,69	18,71
2	19:00	920	22,72	19,23
3	19:00	930	22,26	19,25
4	19:00	844	24,65	17,56
5	19:00	816	25,61	17,05

Dari Tabel 12 dan 13 menunjukkan bahwa rata-rata rugi tembaga pada transformator daya di waktu beban puncak pagi dan malam hari dari tanggal 1 sampai dengan 5 November 2022 masing-masing sebesar 16,34 kW dan 18,36 kW. Jadi lebih besar rugi tembaga yang terjadi pada beban puncak di waktu malam hari sebesar 2,02 kW dibandingkan pada beban puncak pagi hari.

5. Rugi Transformator

Selanjutnya, dengan menggunakan persamaan (12), maka rugi total pada transformator didapatkan:

Diketahui:

$$P_i = 6,53 \text{ KW}$$

$$P_{cu} = 19,61 \text{ KW}$$

Maka,

$$Rugi \text{ total} = P_i + P_{cu}$$

$$Rugi \text{ total} = 6,53 \text{ KW} + 19,61 \text{ kW}$$

$$= 26,14 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama didapat hasil pada data P_i (Tabel 8 dan 9) serta P_{cu} (Tabel 12 dan 13), maka hasil selanjutnya seperti pada Tabel 14 dan Tabel 15 berikut.

TABEL 14. RUGI TRANSFORMATOR BEBAN PUNCAK SIANG

Tanggal	Jam	Pi (kW)	Pcu (kW)	Rugi Total (kW)
1	10:00	6,53	19,61	26,14
2	10:00	5,71	11,51	17,23
3	10:00	4,93	19,18	24,11
4	10:00	6,34	16,62	22,96
5	10:00	4,48	14,78	19,26

TABEL 14. RUGI TRANSFORMATOR BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Pi (kW)	Pcu (kW)	Rugi Total (kW)
1	19:00	6,26	18,71	24,97
2	19:00	5,69	19,23	24,92
3	19:00	5,51	19,25	24,76
4	19:00	6,48	17,56	24,04
5	19:00	5,49	17,05	22,55

Dari Tabel 13 dan 14 menunjukkan bahwa rugi-rugi transformator pada beban puncak pagi terbesar

adalah 26,14 kW yang terjadi pada tanggal 1 November 2022 pukul 10:00 WIB dan rugi-rugi terendah adalah 17,23 kW yang terjadi pada tanggal 2 pukul 10:00 WIB. Selanjutnya, pada beban puncak malam rugi-rugi transformator terbesar adalah 24,97 kW yang terjadi pada tanggal 1 November 2022 pukul 19:00 WIB sedangkan rugi-rugi terendah adalah 22,55 kW yang terjadi pada tanggal 5 November 2022 pukul 19:00 WIB. Jadi, rata-rata rugi total pada transformator daya di waktu beban puncak pagi dan malam hari dari tanggal 1 sampai dengan 5 November 2022 masing-masing sebesar 21,94 kW dan 24,25 kW. Rata-rata rugi total pada transformator lebih besar di waktu beban puncak malam dibandingkan dengan di rata-rata rugi total di waktu beban puncak pagi hari yaitu sebesar 2,31 kW.

6. Perhitungan Efisiensi

Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan (11), diketahui:

$$P_o = 19,026 \text{ MW} = 19.026 \text{ kW}$$

$$\text{Rugi total} = 26,143 \text{ kW}$$

Maka,

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + \text{rugi total}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{19.026 \text{ kW}}{19.026 \text{ kW} + 26,14 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$= 99,863 \%$$

Dengan perhitungan yang sama untuk data perhitungan efisiensi pada Tabel 15 dan 16 berikut:

TABEL 15. PERHITUNGAN EFISIENSI BEBAN PUNCAK PAGI

Tanggal	Jam	Po (kW)	Rugi Total (kW)	Efisiensi (%)
1	10:00	19.026	26,14	99,86
2	10:00	18.914	17,23	99,91
3	10:00	18.411	24,11	99,87
4	10:00	16.123	22,96	99,85
5	10:00	14.485	19,26	99,86

TABEL 16. PERHITUNGAN EFISIENSI BEBAN PUNCAK MALAM

Tanggal	Jam	Po (kW)	Rugi Total (kW)	Efisiensi (%)
1	19:00	18.705	24,97	99,86
2	19:00	19.228	24,92	99,87
3	19:00	18.673	24,76	99,87
4	19:00	17.555	24,04	99,86
5	19:00	17.054	22,55	99,87

Dari Tabel 15 menunjukkan bahwa efisiensi transformator terbesar pada beban puncak pagi adalah 99,91% yang terjadi pada tanggal 2 November 2022 pukul 10:00 WIB, efisiensi transformator terendah adalah 99,85% yang terjadi pada tanggal 4 November 2022 pukul 10:00 WIB. Pada Tabel 16 menunjukkan bahwa ketika beban puncak malam efisiensi transformator terbesar adalah 99,87% yang terjadi pada tanggal 2, 3, dan 5 November 2022 pukul 19:00 WIB dan efisiensi terendah adalah 99,86% yang terjadi pada tanggal 1 dan 4 November 2022 pukul 19:00 WIB. Jadi, dapat disimpulkan bahwa rata-rata persentase efisiensi pada transformator baik pada beban puncak pagi maupun malam sama-sama sebesar 99,87%.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisis, maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata rugi total pada transformator daya di waktu beban puncak pagi dan malam hari dari tanggal 1 sampai dengan 5 November 2022 masing-masing sebesar 21,94 kW dan 24,25 kW. Besar rata-rata nilai efisiensi pada transformator daya baik ketika beban puncak pagi maupun malam mulai dari tanggal 1 sampai dengan 5 sama-sama sebesar 99,87%.

REFERENSI

- [1] K. Ababil, "Analisa Perbandingan Kelayakan Tahanan Isolasi Transformator Daya Menggunakan Pengujian Indeks Polaritas, Tangen Delta, BDV (Breakdown Voltage), dan Rasio Tegangan di Gardu Induk 150 kV Ulee Kareng," Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry, 2023.
- [2] F. Husni, Syukri, Muliadi, and T. M. Asyadi, "Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Di Gedung Pasca Sarjana Universitas Iskandar Muda," vol. 2, no. 1, pp. 19–24, 2022.
- [3] R. Aziz, "Analisis Penyetelan Rele Diferensial Sebagai Sistem Proteksi Transformator 60 MVA Di Gardu Induk Jajar 150kV/22kV," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2022.
- [4] E. Kurniawan, Purwoharjono, and Z. Abidin, "Peramalan Beban Pada Gardu Induk PT.PLN (Persero) UP3B Kalimantan Barat," J. Electr. Eng. Energy, Inf. Technol., vol. 2, no. 1, 2022.
- [5] Susilo et al., "Analysis Efficiency Performance Capability Transformator," J. Educ. Eng. Environ., vol. 1, no. 1, pp. 7–11, 2022.
- [6] M. Nafi, "Studi Pengamanan Transformator Daya 8000 kVA Dari Gangguan Arus Lebih Pada PT PLN (Persero) ULPLTD Lueng Bata," vol. 2, pp. 5–9, 2022.
- [7] R. Tandioaga and M. Mulyadi, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa Di PT. PLN (Persero) Rayon Makassar Timur, Penyulang Kima," 2018.
- [8] J. Antarnusa, Studi efisiensi transformator daya di gardu induk mojosongo 150 kv. 2022.
- [9] B. Irawan and W. Sunanda, "Unjuk Kerja Transformator Daya Pada Gardu Induk Sistem Kelistrikan Pulau Bangka," Transmisi, vol. 22, no. 2, pp. 51–55, 2020, doi: 10.14710/transmisi.22.2.51-55.
- [10] T. E. Transformator and D. A. N. Mva, "Analisis Pengaruh Beban Puncak Feeder," vol. 11, no. 2, pp. 52–64, 2018.
- [11] M. Fadhliyansyah, "Analisis Perhitungan Rugi-Rugi Transformator Akibat Harmonisa (Studi Kasus Gardu Distribusi Smti Pontianak)," Trafodaya., vol. 0, no. 6, pp. 1–7, 2017.
- [12] H. Rudito, P. Negeri, and U. Pandang, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakukkang Makassar," no. September, pp. 6–11, 2021.
- [13] R. A. Zulmi et al., "Analisa Perbaikan Faktor Daya Sistem Kelistrikan," J. Sport. J. Penelit. Pembelajaran, vol. 2, no. 6, pp. 24–29, 2018.
- [14] T. A. A. Maulana, R. S. Lubis, and I. D. Sara, "Analisis Jatuh Tegangan Distribusi Primer 20kV pada Penyulang Ulee Kareng PT. PLN (Persero) Banda Aceh," Semin. Nas. dan Expo Tek. Elektro, pp. 82–89, 2019.
- [15] H. Budi Utomo, Sunarto, and E. Fadhlurohman, "Analisa Perancangan Filter Pasif dan Efisiensi Transformator Daya Akibat Harmonisa dengan Menggunakan Matlab," pp. 4–5, 2021.