



Analisa Efisiensi Pada Transformator Daya 60 MVA Di Gardu Induk Babadan Sidoarjo

Ricky Markus Solossa

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Hadi Tasmono

Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Alamat: Jl. Semolowaru No.45, Menur Pumpungan, Kec. Sukolilo, Surabaya, Jawa Timur 600118

Korespondensi penulis: rickysolossa65@gmail.com

Abstrak. *Larger and better-quality electricity will be needed due to the increased economic growth of the industrial sector and the development of the city of Surabaya, especially in the Sidoarjo region. One of the devices whose efficiency needs to be improved in order to be able to conduct electricity sustainably is a transformer. The transformer that is often installed on the Mainstream or Distribution Guard, serves as a step-up and step-down transformer in power transmission. There were losses in the transformer from the current flowing through the copper wire, losses on the reverse flow of the iron core, and damage from the torque of the current on the iron kernel which caused the transformer to become less efficient. That's why the author took the title "Efficiency Analysis on 60 MVA Power Transformers in Babadan Sidoarjo's Mother's Ward" to refer to it. The objective is to determine the losses and efficiency resulting from the load imbalance that occurs between the phases on the 60 MVA Transformers in the Babadan Sidoarjo Innduk Gardu. The final results of the research conducted can show that the average loss value is (290,4 kW) and the percentage of the average value for efficiency is (99.49%).*

Keywords: *Efficiency, Losses, Load imbalances, Neutral Currents.*

Abstrak. Listrik yang lebih besar dan berkualitas akan dibutuhkan karena peningkatan pertumbuhan ekonomi sektor industri dan pengembangan kota Surabaya, khususnya di wilayah Sidoarjo. Salah satu peralatan yang efisiensinya harus dipertahankan agar dapat menyalurkan energi listrik secara berkelanjutan adalah transformator. Transformator yang sering dipasang pada Gardu Induk atau Gardu Distribusi, berfungsi sebagai transformator step-up dan step-down dalam transmisi daya. Ada rugi-rugi dalam transformator dari arus yang mengalir melalui kawat tembaga, rugi-rugi pada fluks bolak balik dari inti besi, dan kerusakan dari torsi arus pada inti besi yang menyebabkan transformator menjadi kurang efisien. Itulah sebabnya penulis mengambil judul "Analisis Efisiensi Pada Transformator Daya 60 MVA Di Gardu Induk Babadan Sidoarjo" yang mengacu pada hal itu. Tujuannya adalah untuk menentukan nilai kerugian (losses) dan efisiensi yang timbul dari ketidakseimbangan beban yang terjadi antara fasa Pada Transformator 60 MVA Di Gardu Innduk Babadan Sidoarjo. Hasil akhir dari penelitian yang dilakukan dapat menunjukkan bahwa nilai rata-rata losses sebesar (290,4 kW) dan persentase nilai rata-rata untuk efisiensi sebesar (99,49%).

Kata Kunci: Efisiensi, Rugi-rugi, Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral.

PENDAHULUAN

Saat ini, listrik adalah kebutuhan dasar manusia. Penelitian telah menunjukkan betapa pentingnya listrik untuk kehidupan sehari-hari manusia dan tanpa itu semua orang-orang akan mendapatkan efek negatif yang akan mengganggu aktivitas sehari-hari mereka[1].

Dengan mengurangi rugi-rugi (losses) dapat menghemat banyak biaya pada pasokan listrik saat sistem tenaga listrik yang terus berkembang. Tentu saja, ada manfaat tambahan lainnya seperti sistem yang dihasilkan dan kemampuan untuk menggunakan biaya pengeluaran modal pada transformator untuk ekspansi dan perbaikan sistem distribusi[2].

Pertumbuhan ekonomi di sektor industri yang meningkat dan kecepatan pembangunan di Surabaya khususnya di Wilayah Sidoarjo, akan mengakibatkan kebutuhan akan listrik yang lebih besar dan berkualitas lebih tinggi. Untuk memastikan bahwa listrik dapat disalurkan secara terus-menerus, maka efisiensi peralatan harus dipertahankan, dan salah satu peralatan seperti itu adalah transformator yang memiliki rugi-rugi (losses) baik rugi yang disebabkan arus yang mengalir pada kawat tembaga, rugi akibat fluks bolak-balik pada inti besi yang dapat berpengaruh pada nilai efisiensinya.

Transformator selalu dipantau karena peran pentingnya dalam pasokan listrik. Performa transformator dapat dipengaruhi oleh pembebanan pada transformator itu sendiri, hasilnya adalah penurunan efisiensi. Secara konstan, menurunnya efisiensi transformator dapat menyebabkan pasokan daya yang tidak memadai dan dalam kasus ekstrim bahkan merusak bagian transformator[3].

KAJIAN TEORITIS

Transformator daya digunakan untuk mengubah daya antara jaringan tanpa memerlukan jaringan untuk terhubung atau frekuensinya untuk diubah. Prinsip induksi timbal digunakan oleh lalu lintas daya, yang membutuhkan pasokan AC untuk berfungsi. Nilai transformator daya biasanya antara 33 kV dan 66 kV, 110 kV, 200 kV, dan 400 kV. Kontrol lalu lintas listrik mengubah tegangan jaringan ke untuk arus tanpa mempengaruhi pasokan listrik secara keseluruhan.

Kumparan primer dan kumparan sekunder, keduanya terdiri dari besi berlapis, mengelilingi inti besi di dalam transformator. Kumparan - kumparan ini tidak secara langsung terhubung satu sama lain dalam transformator. Kumparan primer terhubung ke salah satu kumparan yang menyediakan listrik, sementara kumparan lain memasok listrik ke beban yang terkoneksi[8].

Berdasarkan prinsip kerja pada hukum Ampere dan faraday bahwa “Arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik”.

Perhitungan Arus Beban Penuh

Bila dilihat pada daya transformator dari sisi tegangan tinggi (primer) maka dapat dirumuskan sebagai berikut ini :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \quad (1)$$

Dimana :

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer transformator (kV)

I = Arus primer (A)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (IFL) dan arus rata-rata (Iavr) bisa menggunakan persamaan rumus sebagai berikut ini :

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

$$IAVR = \frac{IR + IS + IT}{3} \quad (3)$$

Dimana :

IFL = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

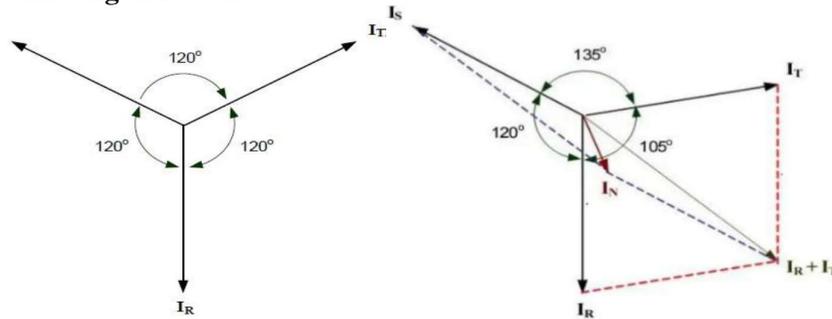
I_{AVR} = Arus rata-rata (A)

I = Arus perfasa (A)

Sehingga, dalam menentukan presentase pembebanan dari suatu transformator distribusi dapat menggunakan persamaan rumus berikut ini :

$$\% \text{pembebanan} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{\text{Beban Penuh}}} \times 100\% \quad (4)$$

Ketidakseimbangan Beban



Gambar 2. Diagram Vektor Beban Seimbang dan Tidak Seimbang

Dari gambar diatas terlihat Ketiga vektor tegangan atau arus (R,S,T) memiliki nilai sudut yang besarnya sama yaitu 120° , dan jika dijumlahkan maka ketiga vektor tersebut nilainya adalah akan menjadi nol (0) atau tidak ada arus netral yang muncul dikarenakan beban yang seimbang. Sedangkan dalam keadaan beban tidak seimbang maka besarnya nilai sudut dari ketiga vektor menjadi tidak sama[9].

$$\begin{aligned} I_a &= I_1 + I_2 + I_0 \\ I_b &= a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \\ I_c &= a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \end{aligned} \quad (5)$$

Losses Grounding (Rugi-rugi Akibat Arus Netral Yang Mengalir Ke Tanah)

Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator adalah sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara masing-masing fasanya (fasa R, fasa S, dan fasa T) di sisi sekunder dari pola lalu-lintas. Kerugian (*losses*) disebabkan oleh arus yang mengalir melalui penghantar netral transformator ke tanah. Rugi yang disebabkan oleh arus netral pada penghantar netral transformator dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (6)$$

Dimana:

P_G = Losses ground (W)

I_G = Arus netral yang mengalir ke tanah (A)

R_G = Tahanan pembumian netral trafo (Ω)

Core Losses (Rugi-rugi Inti Besi)

Rugi (*losses*) histeris dan arus eddy adalah dua jenis kerugian yang dapat diukur melalui percobaan atau tes tanpa adanya beban yang membentuk kerugian inti dari transformator. Jika tidak ada beban, rugi histeris adalah rugi akibat aliran balik dari inti besi, sedangkan rugi arus eddy adalah hilangkan akibat arus torsi yang bertindak pada inti besi[11]. Rugi (*losses*) pada inti besi transformator dapat dihitung dengan menggunakan persamaan rumus berikut ini :

$$P_{fe} = P_h + P_e \quad (7)$$

Dimana :

P_{fe} = Losses inti transformator (W)

P_h = Losses histerisis (W)

P_e = Losses arus eddy (W)

Copper Losses (Rugi-rugi Tembaga)

Jumlah rugi-rugi (losses) pada kawat tembaga yang hilang akan meningkat seiring dengan meningkatnya muatan saat pembebanan, karena rugi-rugi pada kawat tembaga secara langsung berkaitan dengan berat muatan. Rumus berikut dapat digunakan untuk menghitung rugi-rugi (losses) pada kawat tembaga transformator :

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \tag{8}$$

Dimana :

P_{cu} = Losses tembaga (W)

I = Arus (A)

R = Resistansi (Ω)

Efisiensi

Perbandingan antara daya keluaran yang terpakai dan daya masukan atau keseluruhan daya adalah pengertian efisiensi transformator. Dimana daya input adalah daya keluaran ditambah rugi-rugi[13]. Untuk menghitung efisiensi pada transformator dapat menggunakan persamaan rumu di bawah ini :

$$P_{in} = P_{out} + P_{total} \tag{9}$$

Dimana :

P_{in} = Daya input (W)

P_{out} = Daya output (W)

P_{total} = Rugi total (W)

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss} \tag{10}$$

Dimana :

P_{out} = Daya output Pembebanan (W)

P_{in} = Daya input (W)

P_{loss} = Losses pembebanan (W)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{11}$$

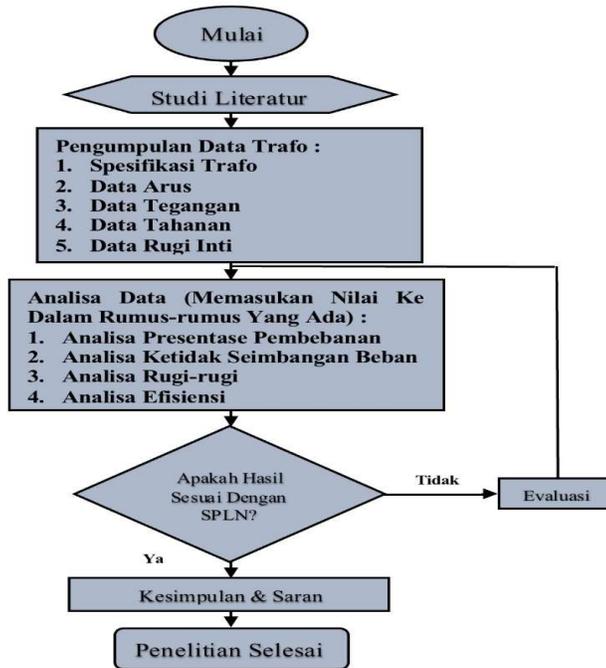
Dimana :

η = Persen efisiensi

P_{out} = Daya output (W)

P_{in} = Daya input (W)

METODE PENELITIAN



Saat ini, penulis melakukan penelitian dan mengumpulkan literatur tentang analisa rugi-rugi (losses) transformator dari berbagai referensi ilmiah dan sumber, termasuk analisis sistem listrik yang terdapat pada buku-buku, artikel dari situs website, dan jurnal ilmiah yang mungkin menjadi sumber data. Seperti yang dijelaskan dalam studi literatur Bab 2.

Tabel 1. Spesifikasi Transformator

Nama Pabrik	B&D
Daya	60 MVA
Fasa	3
Tegangan Primer	150 KV
Tegangan Sekunder	20 KV
Impedansi	12,05%
Frequensy	50 Hz
Type Of Colling	ONAF
Vektor Grup	Ynyn0+d
NGR	40 Ohm

Tabel 2. Data Pengukuran Trafo

Waktu	Data Arus				Data Tegangan			Data Rugi Inti		
	IR (A)	IS (A)	IT (A)	IG (A)	R-S (kV)	S-T (kV)	T-R (kV)	Fasa 1 (kW)	Fasa 2 (kW)	Fasa 3 (kW)
Siang	1.245	1.231	1.223	8	20,8	20,7	20,7	2,34	2,11	2,08
Malam	1.122	1.108	1.110	5	20,5	20,2	20,2	2,02	2,04	2,20

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisa Pembebanan Trafo

Perhitungan arus pembebanan penuh dan arus rata-rata menggunakan persamaan (2),(3), dan (4).

Diketahui :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

$$= \frac{60.000.000}{\sqrt{3} \cdot 20.000}$$

$$= 1.732 \text{ A}$$

Perhitungan arus pembebanan pada siang hari :

$$I_{AVR} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$= \frac{1245 + 1231 + 1223}{3}$$

$$= 1.233 \text{ A}$$

Sehingga presentase dari pembebanan transformator pada siang hari adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Pembebanan trafo} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{1.233}{1.732} \times 100 \%$$

$$= 71,1 \%$$

Perhitungan arus pembebanan pada malam hari :

$$I_{AVR} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

$$= \frac{1.122 + 1.108 + 1.110}{3}$$

$$= 1.113 \text{ A}$$

Sehingga presentase dari pembebanan transformator pada malam hari adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Pembebanan trafo} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100 \% = \frac{1.113}{1.732} \times 100 \%$$

$$= 64,2 \%$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat diamati bahwa persentase 71,1% pada saat beban penuh transformator terjadi pada siang hari.

Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Perhitungan Ketidakseimbangan beban ini dapat menggunakan persamaan (5).

Perhitungan ketidakseimbangan beban pada siang hari :

$$I_R = a.I \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{1245}{1233} = 1,009$$

$$I_S = b.I \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{1231}{1233} = 0,998$$

$$I_T = c.I \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{1223}{1233} = 0,991$$

Besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1 pada saat keadaan seimbang. Sehingga, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut :

$$\%K = \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{|1,009-1| + |0,998-1| + |0,991-1|}{3} \times 100\%$$

$$= 0,66 \%$$

Perhitungan ketidakseimbangan beban pada malam hari :

$$I_R = a.I \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{1122}{1113} = 1,008$$

$$I_S = b.I \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{1108}{1113} = 0,995$$

$$I_T = c.I \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{1110}{1113} = 0,997$$

Besarnya koefisien a, b, dan c adalah 1 pada saat keadaan seimbang. Sehingga, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \%K &= \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\% \\ &= \frac{|1,008-1| + |0,995-1| + |0,997-1|}{3} \times 100\% \\ &= 0,53 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai ketidakeimbangan beban tertinggi arus pada transformator terjadi pada siang hari yaitu sebesar 0,66 %

Perhitungan Rugi-rugi

Perhitungan Rugi-rugi dapat menggunakan persamaan (6), (7), dan (8).

Perhitungan Rugi-rugi pada siang hari :

Losses Ground (Arus Netral yang mengalir ke tanah):

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$\begin{aligned} R_G &= \frac{\rho \cdot \ell}{A} \\ &= \frac{1,68 \times 10^{-8} \cdot 10}{150 \times 10^{-6}} \\ &= 0,00124 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_G &= (8)^2 \times 0,00124 \\ &= 64 \times 0,00124 \\ &= 0,079 \text{ W} = 0,000079 \text{ kW} \end{aligned}$$

Losses Besi pada siang hari :

$$\begin{aligned} P_i &= \text{Phasa 1} + \text{Phasa 2} + \text{Phasa 3} \\ &= 2,34 + 2,11 + 2,08 \\ &= 6,53 \text{ kW} \end{aligned}$$

Losses Tembaga pada siang hari :

$$P_{CU} = 3 \times I^2 \times R$$

$$\begin{aligned} P_{CU} &= (I_R^2 \times R) + (I_S^2 \times R) + (I_T^2 \times R) \\ &= (1.245^2 \times 0,068) + (1.231^2 \times 0,068) + (1.223^2 \times 0,068) \\ &= (1.550.025 \times 0,068) + (1.515.361 \times 0,068) + (1.495.729 \times 0,068) \\ &= 105.401,7 + 103.044,5 + 101.709,5 \\ &= 310.155,7 \text{ W} = 310,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga total dari keseluruhan Losses (rugi-rugi) pada siang hari adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_{Loss} &= P_i + P_{cu} + P_G \\ P_{Loss} &= 6.220 + 310.155,7 + 0,079 \\ &= 316.375,7 \text{ W} = 316,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga presentase Losses (rugi-rugi) pada siang hari adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \%P_L &= \frac{P_L}{P} \times 100\% \\ &= \frac{316.375,7}{60.096.000} \times 100\% \\ &= 0,52\% \end{aligned}$$

Perhitungan Rugi-rugi Pada Malam Hari :

Losses Ground (Arus Netral yang mengalir ke tanah) :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

$$\begin{aligned} R_G &= \frac{\rho \cdot \ell}{A} \\ &= \frac{1,68 \times 10^{-8} \cdot 10}{150 \times 10^{-6}} \\ &= 0,00124 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_G &= (5)^2 \times 0,00124 \\ &= 25 \times 0,00124 \end{aligned}$$

$$= 0,031 \text{ W} = 0,000031 \text{ kW}$$

Losses Besi :

$$\begin{aligned} P_i &= \text{Phasa 1} + \text{Phasa 2} + \text{Phasa 3} \\ &= 2,02 + 2,0 + 2,20 \\ &= 6,22 \text{ kW} \end{aligned}$$

Losses Tembaga :

$$P_{CU} = 3 \times I^2 \times R$$

$$\begin{aligned} P_{CU} &= (I_R^2 \times R) + (I_S^2 \times R) + (I_T^2 \times R) \\ &= (1.122^2 \times 0,068) + (1.108^2 \times 0,068) + (1.110^2 \times 0,068) \\ &= (1.258.884 \times 0,068) + (1.227.664 \times 0,068) + (1.232.1000 \times 0,068) \\ &= 85.604,1 + 83.481,1 + 83.782,8 \\ &= 252.868 \text{ W} = 252,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga total dari keseluruhan Losses (rugi-rugi) adalah sebagai berikut :

$$P_{Loss} = P_i + P_{cu} + P_G$$

$$\begin{aligned} P_{Loss} &= 6.530 + 252.868 + 0,031 \\ &= 259.398 \text{ Watt} = 259,3 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehingga presentase Losses (rugi-rugi) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \%P_L &= \frac{P_L}{P} \times 100\% \\ &= \frac{259.398}{60.096.000} \times 100\% \\ &= 0,43\% \end{aligned}$$

Dari analisa perhitungan diatas, terlihat bahwa *Losses Ground* (Arus Netral yang mengalir ke tanah) tertinggi terjadi pada siang hari yaitu sebesar 0,89 Watt, Presentase *Losses Besi* tertinggi terjadi pada siang hari yaitu sebesar 6,53 kW, dan untuk Presentase *Losses Tembaga* tertinggi terjadipada waktu siang hari yaitu sebesar 310,1 kW. Sedangkan, untuk Presentase Total *Losses*.

Perhitungan Efisiensi

Perhitungan efisiensi dapat menggunakan persamaan (9), (10), dan (11).

Perhitungan Efisiensi pada siang hari :

Daya Output Pembebanan :

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss}$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= 57.014.782,5 - 316.376,5 \\ &= 56.698.406,8 \text{ W} = 56,6 \text{ MW} \end{aligned}$$

Maka Presentase Nilai Efisiensi adalah :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ \eta &= \frac{56.698.406,8}{57.014.782,5} \times 100\% \\ &= 99,44 \% \end{aligned}$$

Perhitungan Efisiensi pada malam hari :

Daya Output Pembebanan :

$$P_{out} = P_{in} - P_{loss}$$

$$\begin{aligned} P_{out} &= 57.014.782,5 - 259.398 \\ &= 56.755.384 \text{ W} = 56,7 \text{ MW} \end{aligned}$$

Maka Presentase Nilai Efisiensi adalah :

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ \eta &= \frac{56.755.384}{57.014.782,5} \times 100\% \\ &= 99,54 \% \end{aligned}$$

Dari analisa efisiensi pada transformator 60 MVA di atas dengan Persentase Efisiensi terjadi waktu adalah sebesar 99,54% dalam keadaan masih bagus, sesuai dengan Standard SPLN(19997:67) untuk Efisiensi Transformator adalah 99,57%.

Tabel 3. Hasil Perhitungan

Waktu	Pembebanan Transformator (%)	Ketidakseimbangan Beban (%)	Losses Arus Ground (W)	Losses Besi (kW)	Losses Tembaga (kW)	Efisiensi (%)
Siang	71,2	0,66	0,079	6,53	310,1	99,44
Malam	64,2	0,53	0,031	6,22	252,8	99,54

Dari hasil analisa menggunakan persamaan yang telah ada, maka didapatkan hasil bahwa Transformator Daya 60 MVA Gardu Induk Babadan Sidoarjo mengalami penurunan nilai Efisiensi dimana seharusnya $P_{out} : P_{in} = 1$ (daya keluaran di bagi dengan daya ke masukan sama dengan satu) menjadi $P_{out} : P_{in} = \neq$ (daya keluaran di bagi dengan daya ke masukan tidak sama dengan satu). Peningkatan ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi yang terjadi dapat menyebabkan meningkatkan nilai efisiensi pada transformator

KESIMPULAN

Berasarkan hasil yang telah dijabarkan tentang analisis efisiensi yang terjadi pada transformator daya di Gardu Induk Babadan Sidoarjo, sehingga penelitian ini dapat menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai efisiensi turun seiring dengan semakin besarnya beban pada transformator. Oleh karena itu, semakin besar beban pada transformator maka efisiensi yang di hasilkan akan semakin kecil.
2. Dari penelitian yang dilakukan, hasil akhir yang didapatkan menunjukkan bahwa nilai rata-rata *Losses* sebesar (290,4 kW) dan persentase nilai rata-rata untuk efisiensi sebesar (99,49%).
3. Menurut Standard Perusahaan Listrik Negara (SPLN 19997:67) untuk Efisiensi Transformator adalah 99,57%, maka persentase efisiensi transformator daya di Gardu Induk Babadan Sidoarjo berada dalam index kategori yang cukup baik (> 0,51%).
4. Adapun cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi transformator yaitu inti dari transformator harus ditingkatkan untuk mengurangi nilai *Losses* (besi dan tembaga) dan melakukan penyeimbangan dengan menambah atau mengurangi beban setiap fasa R,S,T untuk mengurangi nilai *Losses* akibat terjadinya ketidakseimbangan beban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zulkhulaifah, Bakhtiar, and H. Rudito, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan BebanTrafo Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakukkang Makassar," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, no. September, pp. 1–6, 2021.
- [2] D. Metode, P. Program, M. Di, and P. T. Pln, "Analisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi daya dan efisiensi pada transformator distribusi dengan metode perhitungan program matlab di pt. pln (persero) area kabupaten ngawi," 2022.

- [3] N. Made Omiku Radha Saraswati *et al.*, “SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Penghantar Netral Akibat Sistem Tidak Seimbang dan Efisiensi Transformator Distribusi Rayon Ngagel,” *SNESTIK Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika*, pp. 121–128, 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/snestikdanhttps://snestik.itats.ac.id>
- [4] A. NUGROHO, “ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFODISTRIBUSI (STUDI KASUS PADA PT. PLN (Persero) RAYON KARTASURA),” *Anal. PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRAFODistrib. (Stud. KASUS PADA PT. PLN RAYON KARTASURA)*, 2019.
- [5] E. Suyandi *et al.*, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Area Rayon Yogyakarta Kota Di Pt. Pln (Persero) Apj Gedong Kuning Yogyakarta,” *J. Elektr.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–10, 2017.
- [6] I. P. G. Kartika, I. K. Wijaya, and I. M. Mataram, “Analisis Beban Takseimbang Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Efisiensi Transformator KI0005 Jaringan Distribusi Sekunder Pada Penyulang Klungkung,” *J. SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 310, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p40.
- [8] M. A. Siregar, “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru,” *UIN Suska Riau*, p. 16, 2013, [Online]. Available: <https://docplayer.info/29666028-Analisis-ketidakeimbangan-beban-pada-transformator-distribusi-di-pt-pln-persero-rayon-panam-pekanbaru-tugas-akhir.html>
- [9] R. Syahputra Srg and R. Harahap, “Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban,” *J. Electr. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 79–85, 2017.
- [10] P. Mangera, “ANALISIS PERHITUNGAN WAKTU PEMAKAIAN TRANSFORMATOR JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV LINE KOMPI C PADA PT. PLN (Persero) WILAYAH P2B AREA MERAUKE,” *Mustek Anim Ha*, vol. 9, no. 01, pp. 19–28, 2020, doi: 10.35724/mustek.v9i01.3245.
- [11] L. L. Grigsby, “Power system stability and control,” *Power Syst. Stab. Control. Third Ed.*, vol. 46, no. 0, pp. 1–450, 2017, doi: 10.4324/b12113.
- [12] J. Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi,” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [13] H. L. Latupeirissa, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi,” *J. Simetrik*, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2017, doi: 10.31959/js.v7i2.43.