

Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo 200 kVA

Wahyudi^{1*}, Budiman², Yani Ridal³

^{1,2)} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Ekasakti, Sumatera Barat

³⁾ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bung Hatta, Sumatera Barat

*Email: wy6335713@gmail.com

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa di pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses, yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Penambahan beban pada gardu distribusi di PT . PLN (Persero) ULP Lubuk Alung dalam kurun waktu tahun 2023 sampai dengan 2024 yang signifikan tanpa memperhitungkan pembagian beban trafo, dampaknya begitu terasa bagi konsumen, sehingga terjadinya kerugian tegangan maupun daya yang sangat besar. Data hasil pengukuran siang hari maupun malam hari (beban puncak) yang dilakukan pada gardu distribusi di PT . PLN (Persero) ULP Lubuk Alung, terlihat bahwa tegangan (V) dan arus (I), serta hasil perhitungan daya semu (S) tidak sama besar pada setiap fasa (R, S dan T). Berdasarkan hasil analisa, bahwa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses daya pada trafo distribusi di PT . PLN (Perseo) ULP Lubuk Alung diperoleh losses (rugi) daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P) pada siang hari sebesar 2,81% dan pada malam hari sebesar 7,24%. losses (rugi) daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG) pada siang hari sebesar 7,41% dan pada malam hari sebesar 8,67%.

Kata kunci: Losses, Ketidak seimbangan, Arus netral, Transformator.

1. PENDAHULUAN

PT.PLN (Persero) ULP Lubuk Alung merupakan salah satu perusahaan milik negara yang bertanggung jawab menyuplai dan mendistribusikan kebutuhan listrik untuk wilayah Sintuk Toboh Gadang dan sekitarnya [1]. Ketersediaan tenaga listrik telah menjadi sumber yang paling kuat untuk membantu perkembangan ekonomi, industri dan sosial dari negara mana pun. Tenaga listrik di transfer melalui jaringan transmisi yang mengirimkan sejumlah daya yang besar dari stasiun pembangkit ke pusat beban dan konsumen. Seiring dengan perkembangan ekonomi yang semakin pesat kebutuhan akan tenaga listrik juga semakin meningkat yang ditandai dengan adanya perkembangan baik dari jumlah penduduk, jumlah investasi dan perkembangan teknologi yang menggunakan tenaga listrik untuk melancarkan aktivitas manusia maka secara tidak langsung kehidupan manusia tergantung terhadap tenaga listrik, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri [2]. Seiring meningkatnya permintaan tenaga listrik, daya yang hilang juga akan meningkat. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam perluasan jaringan listrik salah satunya adalah menghitung kerugian secara akurat [3].

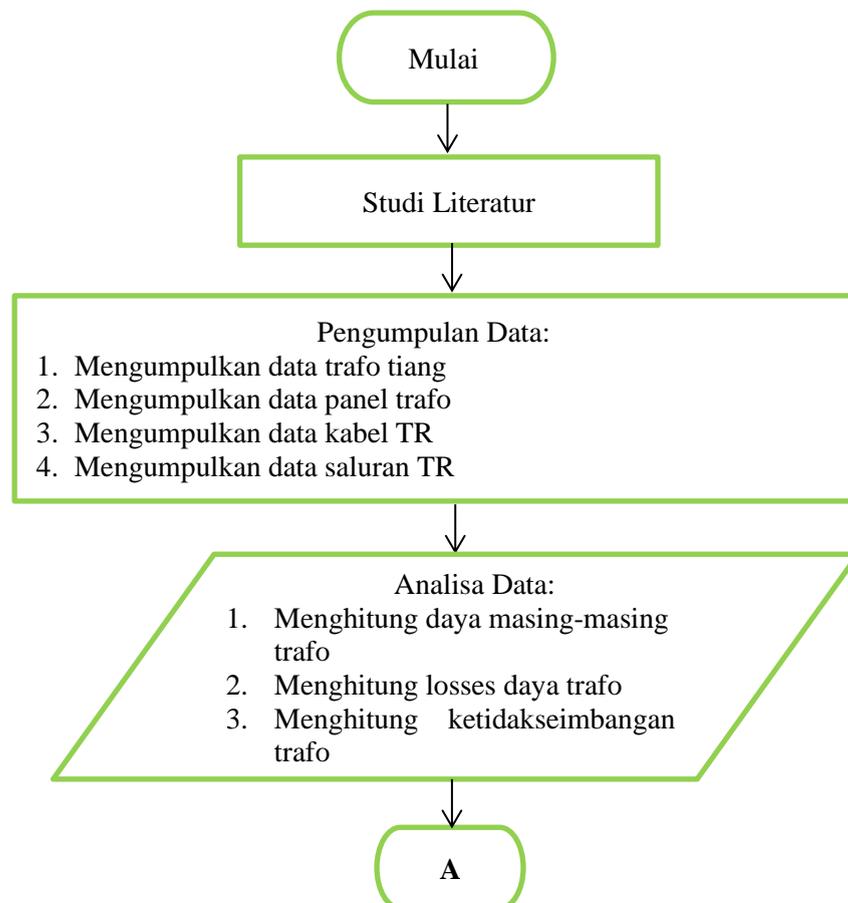
Sistem kelistrikan di Indonesia terdiri dari jaringan pembangkit, transmisi dan distribusi. Proses penyaluran tenaga listrik mengalami rugi-rugi daya antara lain, kerugian yang terjadi pada transmisi, sub jalur transmisi dan distribusi serta dalam transformator daya dan transformator distribusi, selain itu kerugian komersial memainkan peran penting dalam menentukan biaya energi yang digunakan oleh pengguna. PT.PLN (Persero) dituntut agar dapat menyediakan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen. Umumnya perencanaan pembagian beban trafo 3 fasa

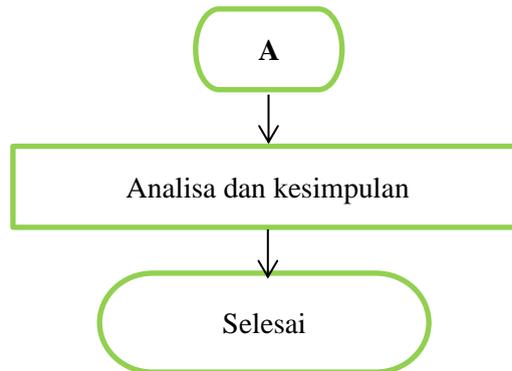
pada fasa R, S, T dirancang secara seimbang oleh PT.PLN (Persero), kenyataannya dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik seringkali terjadi pembagian beban pada ketiga fasa yang tidak merata sehingga menimbulkan beban yang tidak seimbang yang akhirnya berdampak pada penyediaan tenaga listrik [4]. Beban yang tidak seimbang tersebut terjadi karena ketidaksamaan pemakaian energi listrik. Akibat ketidaksamaan pemakaian beban di sisi pelanggan menyebabkan ketidakseimbangan beban antar fasanya, yaitu fasa R, S, dan T yang pada akhirnya muncul arus netral di trafo [5]. Aliran arus netral yang terjadi di trafo menyebabkan terjadinya losses, yaitu losses yang disebabkan pada penghantar netral trafo terdapat arus netral dan losses yang disebabkan arus netral yang mengalir ketanah. Arus netral yang berlebihan pada sistem distribusi dapat mengakibatkan menurunnya kualitas daya dan menimbulkan panas berlebih pada transformator [6].

Penelitian ini berada di PT.PLN (Persero) ULP Lubuk Alung dengan mengambil salah satu beban pada trafo distribusi berkapasitas 200 kVA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah jaringan distribusi di PT . PLN ULP Lubuk Alung sudah seimbang atau belum serta apa pengaruhnya arus netral dan losses yang timbul akibat dari beban yang tidak seimbang pada fasa R, S, T dan seberapa besar rugi-rugi yang terjadi, sehingga dapat dijadikan bahan evaluasi agar tidak merugikan PT . PLN (Persero).

2. METODE PENELITIAN

Adapun alur penelitian ini dapat dilihat pada gambar dibawah ini.





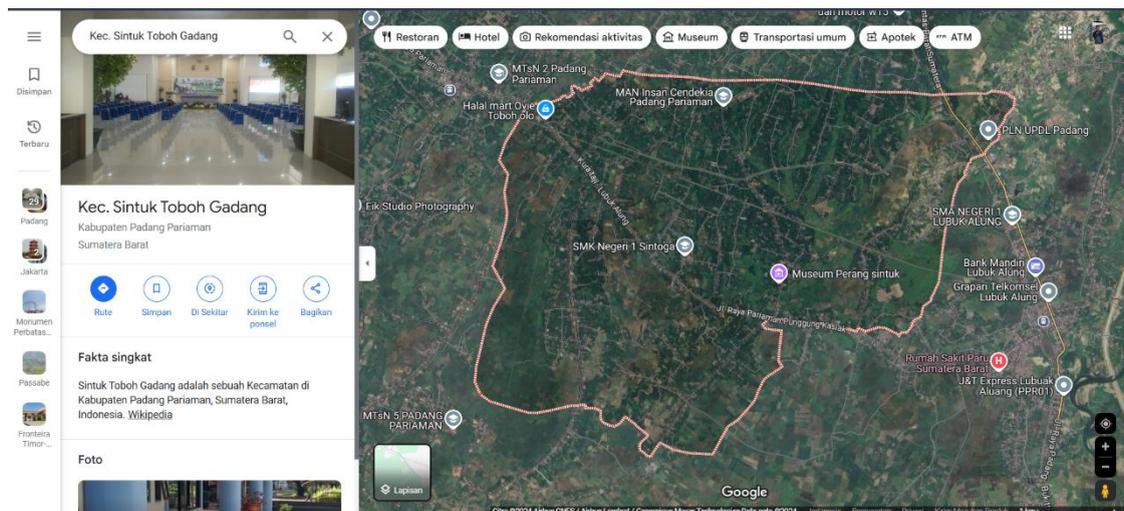
Gambar 1. Bagan alir penelitian

2.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian yang dilakukan adalah jenis kuantitatif pengumpulan data dengan cara perhitungan daya masing-masing trafo, Losses daya trafo, ketidak seimbangan trafo untuk mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo 200 kVA.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian pengambilan data di lakukan di Sintuk Toboh Gadang, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatra Barat. Penelitian ini untuk menjawab permasalahan di dalam penulisan skripsi ini yaitu, pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo 200 kva di PT . PLN. (Persero) ULP Lubuk Alung.



Gambar 2. Lokasi penelitian

2.3 Tahapan Analisa Data

Data yang telah diperoleh merupakan data-data spesifikasi peralatan yang berbentuk angka-angka, sehingga untuk mengolahnya menggunakan metode kuantitatif yang menggunakan rumus sebagai berikut:

- Ketidakseimbangan Pada Transformator

Pada transformator untuk menentukan beban seimbang dan tidak seimbang dapat di hitung sebagai berikut:

a. Mencari beban seimbang:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \quad (1)$$

Dimana:

P = Daya aktif (Watt)

V = Tegangan saluran trafo (V)

I = Arus (A)

b. Mencari beban tidak seimbang:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2)$$

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka: } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (3)$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka: } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (4)$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka: } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (5)$$

$$I_{Ketida\ seimbangan} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \quad (6)$$

Dimana:

I_R = Phasa R (A)

I_S = Phasa S (A)

I_T = Phasa T (A)

- Mencari daya masing-masing pada trafo

$$P_R = V_{RN} \times I_R \times \cos\phi_R \quad (7)$$

$$P_S = V_{SN} \times I_C \times \cos\phi_S \quad (8)$$

$$P_T = V_{TN} \times I_T \times \cos\phi_T \quad (9)$$

Dimana:

$P_R = P_S = P_T$ = Daya pada tiap phasa (Watt)

$V_{RN} = V_{SN} = V_{TN}$ = Tegangan phasa ke netral (V)

$\cos\phi = (0,85)$ paktor daya beban

- Mencari efisiensi trafo

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

Dimana:

η = Efisiensi trafo (%)

P_o = Daya output (Watt)

P_{in} = Daya input (Watt)

2.4 Alat Yang Digunakan

Dalam penelitian analisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada trafo 200 kVA, beberapa alat yang digunakan meliputi multimeter untuk mengukur tegangan dan arus, clamp meter untuk arus netral, oscilloscope untuk menganalisis bentuk gelombang, power analyzer untuk mengukur daya dan losses, serta data logger untuk pencatatan parameter listrik. Selain itu, transformator uji diperlukan untuk menguji karakteristik trafo, dan software simulasi dapat digunakan untuk memodelkan kondisi ketidakseimbangan beban, sehingga membantu memperoleh data yang akurat dan mendalam terkait fenomena yang diteliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data

- Data Spesifikasi Transformator

Tabel 1. Data Spesifikasi Transformator

No	Data Trafo	Satuan
1	Buatan pabrik	TRAFINDO
2	Tipe	Outdoor
3	Daya	200 KVA
4	Tegangan kerja	20 KV/ 400V
5	Arus	10-500 A
6	Hubungan	Dyn5
7	Impedansi	4%
8	Jumlah trafo	1 x 3 phasa

- Data Pengukuran

Tabel 2. Hasil Pengukuran Siang Hari

phasa	Vp-n (Volt)	I (Ampere)	R (Ohm)
R	230	278,4	
S	230	231,9	
T	231	178,3	
IN		121,7A	
IG		57,6 A	
RG			3,8 Ω

Tabel 3. Hasil Pengukuran Malam Hari

phasa	Vp-n (Volt)	I (Ampere)	R (Ohm)
R	229	311,5	
S	230	273,1	
T	230	238,3	
IN		162,7 A	
IG		62,3 A	
RG			3,8 Ω

Ukuran kawat penghantar netral trafo adalah 50 mm² (AAAC) dengan R= 0,6842 Ω / km, sedangkan untuk kawat penghantar fahasa nya adalah 70 mm² dengan R = 0,5049 Ω.

3.2 Perhitungan

- Menentukan pembebanan trafo

➤ Arus beban penuh trafo

Perhitungan beban penuh trafo distribusi

$$S = 200 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV Phasa-phasa}$$

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

$$= \frac{200000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 288,68 \text{ A}$$

➤ Arus rata-rata trafo

a. Pada siang hari

$$I_R = 278,4 \text{ A}$$

$$I_S = 231,9 \text{ A}$$

$$I_T = 178,5 \text{ A}$$

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

$$= \frac{278,4 + 231,9 + 178,4}{3} = 229,56 \text{ A}$$

b. Pada malam hari

$$I_R = 311,5 \text{ A}$$

$$I_S = 273,1 \text{ A}$$

$$I_T = 238,3 \text{ A}$$

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

$$= \frac{311,5 + 273,1 + 238,3}{3} = 274,3 \text{ A}$$

c. Peresentasi pembebanan trafo

d. Pada siang hari

$$\%_{TL} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{229,56}{288,68} \times 100\% = 79,52\%$$

e. Pada malam hari

$$\%_{TL} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{274,3}{288,68} \times 100\% = 95,01\%$$

- Menentukan NH fuse

Untuk menentukan besarnya NH Fuse maka harus dihitung besarnya arus beban penuh dan berdasarkan data pada tabel adalah sebagai berikut:

$$I_{FL} = S / (\sqrt{3} \cdot V)$$

$$I_{FL} = 200 \text{ KVA} / (\sqrt{3} \cdot 380 \text{ V})$$

$$= 303,817 \text{ A}$$

NH Fuse yang dipilih sesuai SPLN dengan ranting 315 A Untuk jurusan utama atau (incoming).

- Perhitungan panjang saluran

Panjang nya saluran kabel keluaran panel trafo dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} L &= \text{jumlah tiang TR} \cdot 50 \\ &= 8 \times 50 \text{ M} \\ &= 400 \text{ M} \\ &= 0,4 \text{ km} \end{aligned}$$

Menghitung nilai losses pada saluran penghantar

$$\begin{aligned} PL &= \sqrt{3} \cdot I_2 \cdot R \cdot L \\ &= \sqrt{3} \cdot 229,56 \cdot 0,443 \cdot 400 \\ &= 7037,99 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Menentukan daya pada trafo

Untuk menghitung nilai daya trafo dapat di hitung sebagai berikut:

➤ Pada siang hari

$$S_R = V_{RN} \cdot I_R = 230 \times 278,4 = 63.940 \text{ VA}$$

$$S_S = V_{SN} \cdot I_S = 230 \times 231,9 = 53.130 \text{ VA}$$

$$S_T = V_{TN} \cdot I_T = 231 \times 178,4 = 41.210 \text{ VA}$$

$$S_{3\phi} = S_R + S_S + S_T = 63.940 + 53.130 + 41.210 = 158.280 \text{ VA}$$

$$\begin{aligned} IN &= [(I_R^2 + I_S^2 + I_T^2) - (I_R \cdot I_S + I_R \cdot I_T + I_S \cdot I_T)]^{1/2} \\ &= [(278,4^2 + 231,9^2 + 178,4^2) - (278,4 \cdot 231,9 + 278,4 \cdot 178,3 + 231,9 \cdot 178,3)]^{1/2} \\ &= [163110,73 - 155547,45]^{1/2} = [7563,28]^{1/2} = 15125,5 \text{ A} \end{aligned}$$

➤ Pada malam hari

$$S_R = 229 \times 311,5 = 71.333 \text{ VA}$$

$$S_S = 230 \times 273,1 = 62.813 \text{ VA}$$

$$S_T = 230 \times 238,3 = 54.809 \text{ VA}$$

$$S_{3\phi} = 71.333 + 62.813 + 54.809 = 188.955 \text{ VA}$$

- Ketidakseimbangan beban trafo

➤ Pada siang hari

Koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besar arus fhasa dalam keadaan seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$)

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{278,4}{229,56} = 1,21 \text{ A}$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{231,9}{229,56} = 1,01 \text{ A}$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{178,4}{229,56} = 0,77 \text{ A}$$

Dalam keadan seimbang besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam%) adalah:

$$\begin{aligned} &= \frac{(|a-1| + |b-1| + |c-1|)}{3} \times 100\% \\ &= \frac{(|1,21-1| + |1,01-1| + |0,77-1|)}{3} \times 100\% = 15\% \end{aligned}$$

➤ Pada malam hari

Koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fhasa dalam keadaan seimbang sama dengan nya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$).

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{311,5}{274,3} = 1,13 \text{ A}$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{273,1}{274,3} = 0,99 \text{ A}$$

$$I_T = c. I_{rata-rata}, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{238,3}{274,3} = 0,86 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien, a,b dan c adalah 1. Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam%) adalah:

$$\begin{aligned} &= \frac{(|a-1|+|b-1|+|c-1|)}{3} \times 100\% \\ &= \frac{(|1,13-1|+|0,99-1|+|0,86-1|)}{3} \times 100\% = 9\% \end{aligned}$$

- Losses akibat adanya arus pada penghantar netral

➤ Luas penampang penghantar netral 50 mm²

a. Pada siang hari

Dari hasil pengukuran losses akibat adanya arus pada penghantar netral trafo dapat di hitung besarnya yaitu:

$$I_N = 121,7 \text{ A}$$

$$R_N = 0,6842 \Omega$$

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \times R_N \times L \\ &= 121,7^2 \times 0,6842 \times 0,4 \\ &= 4762,79 \text{ Watt} \\ &= 4,76 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dimana daya aktif trafo (p)

$$P = S. \cos\phi, \text{ dimana } \cos\phi \text{ yang digunakan adalah } 0,85$$

$$P = 200 \cdot 0,85 = 170 \text{ kW}$$

Sehinga presentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{4,79}{170} \times 100\% = 2,81\%$$

b. Pada malam hari

Dari tabel pengukuran losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat di hitung besarnya yaitu:

$$\begin{aligned} P_N &= (162,7)^2 \times 0,6842 \times 0,4 \\ &= 7244,66 \text{ Watt} \\ &= 7,24 \text{ kW} \end{aligned}$$

Sehinga presentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar trafo adalah:

$$\begin{aligned} P_N &= \frac{7,24}{170} \times 100\% \\ &= 4,25\% \end{aligned}$$

➤ Luas penampang penghantar fhasa 70 mm²

$$P_{LR} = 278,4^2 \cdot 0,5049 \cdot 0,4 = 15653,2 \text{ Watt}$$

$$P_{LS} = 231,92 \cdot 0,5049 \cdot 0,4 = 10862,7 \text{ Watt}$$

$$P_{LT} = 178,3 \cdot 0,5049 \cdot 0,4 = 6420,4 \text{ Watt}$$

$$P_L = 15653,2 + 10862,7 + 6420,4 = 32936,3 \text{ Watt}$$

a) Pada siang hari

Dari tabel pengukuran losses akibat adanya arus pada penghantar netral dapat di hitung besaran ,yaitu:

$$I_N = 121,7 \text{ A}$$

$$P_N = 0,5049 \Omega$$

$$P_N = I_N^2 \times R_N \times L$$

$$= 121,7^2 \times 0,5049 \times 0,4 = 2991,20 \text{ Watt} = 2,99 \text{ kW}$$

Sehinga presentase losses akibat adanya arus pada penghantar netral yaitu:

$$P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$= \frac{2,99}{170} \times 100\% = 1,75 \%$$

b) Pada malam hari

Losses akibat adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya yaitu:

$$P_N = I_N^2 \times R_N \times L$$

$$= 162,7^2 \times 0,5049 \times 0,4$$

$$= 5436,14 \text{ Watt} = 5,43 \text{ kW}$$

Sehingga presentase losses akiabat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah:

$$P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\%$$

$$= \frac{5,43}{170} \times 100\%$$

$$= 3,19\%$$

- Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah

a. Pada siang hari

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

$$= 57,6 \times 3,8$$

$$= 12607,48 \text{ Watt}$$

$$= 12,60 \text{ kW}$$

Dengan demikian presentase lossesnya adalah:

$$P_G = \frac{12,60}{170} \times 100\%$$

$$= 7,41\%$$

b. Pada malam hari

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

$$= 62,3^2 \times 3,8$$

$$= 14748,90 \text{ Watt}$$

$$= 14,74 \text{ kW}$$

Demikian presentasenya losses nya

$$P_G = \frac{P_G}{P} \times 100\%$$

$$= \frac{14,74}{170} \times 100\%$$

$$= 8,67\%$$

- Analisa

Dari hasil analisa data pada bab IV maka di dapatkan lah perbandingan losses pada trafo seperti tabel di bawah ini.

Tabel 4. Perbandingan Losses Pada Trafo Distribusi

R_N (Ω)	waktu	Ketidak seimbangan beban(%)	I_N (A)	I_G (A)	P_N (kW)	P_N (%)	P_G (kW)	P_G (%)
0,6842 (50mm ²)	siang	15	121,7	57,6	4,76	2,81	12,60	7,41
	malm	9,33	162,7	62,3	7,24	4,25	14,74	8,67

0,5049 (70mm ²)	siang	15	121,7	52,6	2,99	1,75	12,60	7,41
	malam	9,33	162,7	62,6	5,43	3,19	14,74	8,67

Pada tabel 4.4 terlihat bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (1) maka semakin besar losses pada penghantar netral trafo (P). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah (I_N) maka semakin besar losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (P_G). Dengan semakin besar arus netral dan di trafo maka efisiensi trafo menjadi turun. Bila ukuran kawat penghantar netral dibuat sama dengan kawat penghantar phasanya (70 mm²) maka losses arus netral mengecil.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data di atas, terlihat bahwa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses daya pada trafo distribusi gardu PT . PLN (Persero) ULP Lubuk Alung dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Losses (rugi) daya akibat adanya arus pada penghantar netral (PN)
 - Pada siang hari losses daya akibat adanya arus pada penghantar netral (P) sebesar 2,81%.
 - Pada malam hari losses daya akibat adanya arus pada penghantar netral (Ps) sebesar 7,24%.
2. Losses (rugi) daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG)
 - Pada siang hari losses daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG) sebesar 7,41%.
 - Pada malam hari losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG) sebesar 8,67 %.

4.2 Saran

Berdasarkan pembahasan dan analisa hasil serta kesimpulan, maka disarankan sebagai berikut:

1. Salah satu cara mengatasi losses arus netral adalah dengan membuat sama ukuran penghantar netral dan phasa.
2. Untuk penambahan beban di waktu-waktu yang akan datang, perlu diperhatikan kapasitas trafo yang terpasang, dengan tujuan agar pemakaian beban tidak melebihi kemampuan trafo.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Wirawan and M. I. Arsyad, 'ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PENYULANG PANGSUMA PT. PLN (PERSERO) RAYON MEMPAWAH'.
- [2] R. Khomarudin and L. Subekti, 'Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban dan Harmonisa Terhadap Arus Netral Pada Trafo Distribusi 8 Kapasitas 500 KVA di PPSDM Migas Cepu', *J. List. Instrumentasi Dan Elektron. Terap. JuLIET*, vol. 1, no. 2, Jan. 2021, doi: 10.22146/juliet.v1i2.59560.
- [3] M. D. Tobi, 'ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL DAN LOSSES PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT PLN (PERSERO) AREA SORONG', *Electro Luceat*, vol. 4,

- no. 1, p. 5, Jul. 2018, doi: 10.32531/jelekn.v4i1.80.
- [4] R. Ruliyanto, 'Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat', *J. Ilm. Giga*, vol. 23, no. 1, p. 27, Jul. 2020, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [5] 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, Jan. 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [6] E. Julianto, 'STUDI PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV PT PLN (PERSERO) CABANG PONTIANAK'.