

Penyeimbang Beban pada Gardu Distribusi dengan Metode *Fuzzy Logic* di Penyulang Lanosi ULP Tomoni PT.PLN (Persero)

Andi Wawan Indrawan¹, Syarifuddin², Purwito³, Ashar A.R⁴, Ahmad Rizal Sultan⁵, Anugrah Ilahi⁶

^{1,2,3,4,5,6} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri ujung Pandang

email: andi_wawan@poliupg.ac.id¹, : syarifuddin@poliupg.ac.id², : purwitopnup@poliupg.ac.id, :

ashar_ar@poliupg.ac.id, :rizal.sultan@poliupg.ac.id, : anugrah.ilahi1899@gmail.com



Abstract

Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki nilai rugi daya pada penghantar netral pada gardu distribusi GD 651.BB yang terdapat pada penyulang Lanosi ULP Tomoni PT.PLN (Persero) dengan cara melakukan penyeimbangan beban pada sisi sekunder gardu distribusi. Penyeimbangan beban gardu distribusi dilakukan dengan cara memindahkan hubungan fasa pada tiang sambungan dari fasa yang lebih ke fasa yang kurang. Penentuan fasa yang akan diseimbangkan dilakukan dengan mensimulasikan hasil penyeimbangan sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan menggunakan aplikasi Matlab. Metode penyeimbangan yang dilakukan menggunakan metode *fuzzy logic* berdasarkan besaran arus pada masing-masing fasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban dan rugi daya pada penghantar netral sebelum dilakukan penyeimbangan beban sebesar 35.14% (Buruk) dengan arus penghantar netral sebesar $44.56 \angle - 66.03^\circ A$. Sedangkan setelah dilakukan penyeimbangan beban dengan logika *fuzzy* maka nilai persentase ketidakseimbangan beban dan rugi daya pada penghantar netral yang diperoleh sebesar 1% (Baik) dengan arus pada penghantar netral sebesar $2.1 \angle - 151.61^\circ A$.

Keywords: Ketidakseimbangan beban, rugi daya pada penghantar netral, *Fuzzy Logic*, Matlab

I. PENDAHULUAN

Ketidakeimbangan beban pada gardu distribusi merupakan salah satu masalah yang umum dijumpai dalam pendistribusian energi listrik sekarang ini. Ketidakeimbangan beban menimbulkan banyak kerugian pada peralatan khususnya trafo salah satunya yaitu rugi daya pada penghantar netral keluaran trafo gardu distribusi.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi rugi-rugi daya pada penghantar netral adalah dengan cara menyeimbangkan beban pada sisi jaringan tegangan rendah keluaran gardu distribusi. Penyeimbangan ini dilakukan dengan cara memindahkan sejumlah beban yang terhubung pada fasa dengan pembebanan lebih besar ke fasa dengan pembebanan yang lebih sedikit. Metode ini juga biasa dikenal dengan *swapping phase*. Keseimbangan beban antar fasa diperlukan untuk menyamakan beban tiap fasanya serta mengurangi losses dan susut energi akibat adanya arus netral yang mengalir [1][2]. Hal ini juga penting guna menghasilkan sistem yang handal dan efisien.

Beberapa mekanisme pertukaran beban sebagai upaya menyeimbangkan beban antar fasa dapat ditemukan dalam literatur. Sebagai contoh untuk mengetahui apakah trafo dalam keadaan seimbang atau tidak, Peneliti [3]

mensimulasikan pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi-rugi arus netral dan suhu trafo menggunakan ETAP 12.6. Peneliti [4][5] merancang sebuah perangkat yang dapat memonitor besar arus tiap fasa pada trafo distribusi sisi sekunder. Sedangkan [6] merancang sebuah PHB_TR untuk mengatur pertukaran beban antar fasa. Peneliti [7] melakukan penyeimbangan dengan mempertimbangkan beban seimbang sehari-hari berdasarkan waktu beban puncak (WBP) dan waktu luar beban puncak (WLBP).

Pada Gardu distribusi 651.BB di penyulang Lanosi ULP Tomoni PT.PLN (Persero) memiliki data ketidak seimbangan beban dalam persen sebesar 35.14 % [8]. Berdasarkan ketentuan *Health Index* ketidakseimbangan arus antara fasa [9], maka kondisi ketidakseimbangan pada gardu distribusi 651.BB berada pada kategori "buruk" ($\geq 25\%$).

Berdasarkan data ketidakseimbangan pada gardu distribusi 651.BB penyulang Lanosi, ULP Tomoni, PT. PLN (Persero) yang telah diuraikan sebelumnya, penulis tertarik untuk meneliti tentang penyeimbangan beban terhadap rugi daya pada penghantar netral gardu distribusi dengan menggunakan metode logika *fuzzy*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Transformator distribusi

Transformator merupakan peralatan kelistrikan yang dapat memindahkan energi listrik dari suatu rangkaian ke rangkaian listrik lainnya melalui belitan dan inti besi dengan memanfaatkan induksi elektromagnetik[10].

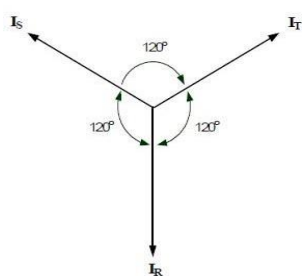
Transformator distribusi memiliki dua jenis tegangan yaitu tegangan primer dan tegangan sekunder. Tegangan primer adalah tegangan nominal sistem jaringan tegangan menengah 20 kV, dengan tegangan trafo 3 fasa sebesar 20 kV. Sedangkan tegangan sekunder pada keadaan tanpa beban adalah tegangan nominal sistem jaringan tegangan rendah yaitu 230/400 V untuk untuk sistem fase-tiga empat kawat.

Ketidakseimbangan beban

Ketidakseimbangan beban adalah suatu kondisi yang terjadi ketika salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami pembebanan yang berbeda. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut.

Suatu pembebanan transformator dikatakan dalam keadaan seimbang apabila memenuhi syarat berikut :

1. Ketiga vektor arus dari masing-masing fasa (R,S,T) mempunyai nilai yang sama besar.
2. Perbedaan sudut dari ketiga vektor fasa adalah sama yaitu 120°.



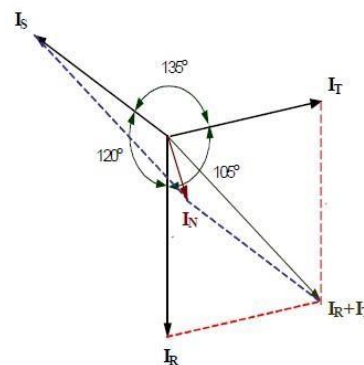
Gambar 1 Diagram fasor sistem tiga fasa beban seimbang[4]

Gambar 1 memperlihatkan diagram fasor sistem tiga fasa dalam keadaan seimbang dimana ketiga vector arus dari masing-masing fasa memiliki nilai yang sama dan beda sudut fasa yang sama yaitu 120°.

Sedangkan untuk pembebanan trafo yang tidak seimbang apabila :

1. Besar arus pada fasa R,S dan T sama tetapi beda sudut fasa tidak sama dengan 120°.
2. Beda sudut fasa ketiga fasa adalah 120° tetapi besar nilai arus pada fasa R, S dan T tidak sama.
3. Besar arus pada fasa R, S dan T tidak sama dan beda sudut fasa tidak sama dengan 120°

Diagram fasor Ketika pembebanan transformator tidak eimbang diperlihatkan pada gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2 Diagram fasor sistem tiga fasa beban tidak seimbang[11]

Jika I adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan yang tidak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$(1) \quad I_S = b \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$(2) \quad I_T = c \cdot I_{rata-rata} \quad \text{maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$(3)$$

Dengan I_R , I_S dan I_T berturut-turut adalah arus arus di fasa R, S dan T. koefisien a, b dan c dapat diketahui besarnya, dimana pada keadaan seimbang besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Sehingga rata-rata ketidakseimbangan (KT) beban dalam persen adalah :

$$\%KT = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \quad (4)$$

Pada sistem tiga fasa dengan pembebanan tiap fasa adalah sama atau seimbang untuk tiap

fasanya, maka persamaan arus netralnya adalah sebagai berikut :

$$\vec{I}_N = (I \cos 0^\circ + I \cos 120^\circ + I \cos 240^\circ) + j(I \sin 0^\circ + I \sin 120^\circ + I \sin 240^\circ) \quad (5)$$

$$\vec{I}_N = \left(I_R - \frac{1}{2}I_T - \frac{1}{2}I_S \right) + j \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}I_T + \frac{\sqrt{3}}{2}I_S \right) = 0 \quad (6)$$

Akibat adanya arus yang mengalir pada penghantar netral yang terhubung ke tanah menyebabkan rugi-rugi. Rugi pada penghantar netral merujuk pada persamaan 7 sebagai berikut;

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (7)$$

Mengalirnya arus pada fasa netral yang merupakan losses atau rugi daya bagi pihak penyedia listrik dapat diatasi dengan melakukan pertukaran beban antar fasanya[12]

Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Lutfi Zadeh seorang peneliti di Universitas California di Barkley dalam bidang ilmu komputer. Logika Fuzzy didasarkan pada pengamatan bahwa seseorang membuat keputusan berdasarkan informasi yang tidak tepat dan non numerik. Model *Fuzzy* adalah cara matematis yang mewakili ketidakjelasan dan informasi yang tidak akurat atau abu-abu. Model *fuzzy* ini memiliki kemampuan untuk mengenali, mewakili, menafsirkan dan memanipulasi serta memanfaatkan data dan informasi yang samara tau tidak pasti[13].

Cara kerja logika *fuzzy* terdiri dari beberapa langkah atau proses yaitu : *fuzzyfikasi*, basis pengetahuan *fuzzy*, Mesin inferensi dan *defuzzyfikasi* . Adapun penjelasan tentang proses-proses tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Fuzzyfikasi*
Fuzzyfikasi merupakan proses yang berfungsi untuk merubah suatu besaran analog menjadi *fuzzy* input.
2. Basis pengetahuan *fuzzy*
Pada pembentukan basis pengetahuan *fuzzy* berisi kumpulan aturan-aturan *fuzzy* dalam bentuk pernyataan *IF...THEN*.
3. Mesin Inferensi
Proses ini berfungsi untuk mencari suatu nilai *fuzzy* output dari *fuzzy* input. Proses dari mesin inferensi adalah suatu nilai *fuzzy* input yang berasal dari proses

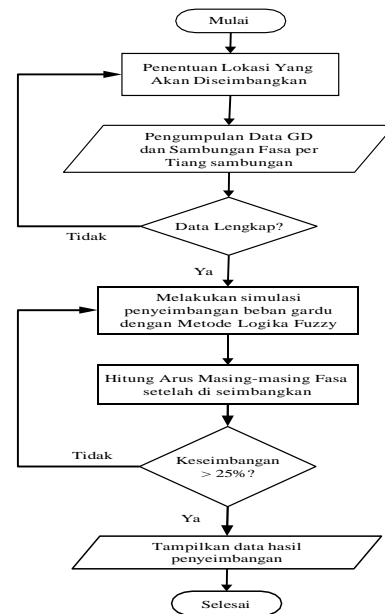
fuzzyfikasi kemudian dimasukkan ke dalam sebuah *rule* yang telah dibuat untuk dijadikan sebuah *fuzzy output*.

4. *Defuzzyfikasi*

Merupakan proses terakhir dari serangkaian proses *fuzzy*. Proses *defuzzyfikasi* ialah mengubah *output fuzzy* yang diperoleh dari mesin inferensi menjadi nilai tegas menggunakan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan saat dilakukan *fuzzyfikasi*.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di ULP Tomoni PT. PLN (Persero) sebagai lokasi bagian dari Praktek Kerja Lapangan mahasiswa sekaligus melakukan pengukuran dan pengumpulan data dari penyulang Lanosi GD 651.BB dan Politeknik Negeri Ujung Pandang untuk melakukan simulasi dan analisis data selama 3 bulan dari bulan Maret hingga Mei 2021. Adapun alur analisis peneltiian digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 3. Alur Penelitian

Dalam pelaksanaannya, penelitian diawali dengan mengenali obyek yang akan diteliti berupa observasi langsung (studi lapangan) untuk mendapatkan lokasi gardu distribusi yang tepat untuk di seimbangkan. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data dari gardu distribusi yang akan di seimbangkan dengan cara mengambil data penelitian yang

dibutuhkan secara langsung dari obyek yang akan diteliti, yaitu :

- a. Data trafo gardu distribusi
- b. Data beban gardu distribusi
- c. Data beban pelanggan per tiang sambungan



Gambar 4. Pengecekan data trafo, hubungan fasa dan arus beban pada tiang

Setelah data terkumpul, dilakukan simulasi penyeimbangan beban dimana pengambilan keputusan pemindahan beban dilakukan dengan menggunakan *fis editor* pada aplikasi matlab

Langkah terakhir adalah menganalisa data-data yang telah diperoleh baik sebelum dan setelah penyeimbangan dengan menggunakan logika *fuzzy* matlab

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Transformator

Data trafo dalam penelitian ini adalah berupa data spesifikasi trafo yang digunakan sebagai objek yaitu data trafo GD 651.BB dan data penghantar keluaran sisi tegangan rendah trafo ke gardu distribusi. Trafo distribusi yang akan disimulasikan untuk penyeimbangan beban antar fasa memiliki kapasitas yang tidak besar yaitu 50 kVA, standar SPLN 50:1997 dengan vektor Yzn5 dan Merk Startlite[8].



Gambar 5. Name Plate Trafo Distribusi GD 651BB

B. Data Beban dan Sambungan Fasa Per Tiang Sambungan

Data sambungan per fasa pada setiap tiang sambungan pada sisi sekunder trafo diperlihatkan pada tabel 1 berikut ;

Tabel 1 Data beban dan sambungan fasa per tiang sambungan[8]

No	No.Tiang	Ampere terpasang (A)		
		R	S	T
1	0	0	1.2	0
2	A1	0	0	4.8
3	A2	0	0.6	2.4
4	A3	0	0	0.6
5	A4	3.5	0	4.2
6	A5	14	0	1.2
7	A6	0	1.5	1.2
8	A7	2.8	0.9	0
9	C1	0	0	0.6
10	C1B1	14.7	0	0
11	C1B2	5.6	0.9	0
12	C1B3	0.7	2.1	3
13	C1B4	13.3	7.2	33
14	C2B1	4.2	0.6	0
15	C2	6.3	0	0
16	C3	0	10.8	0
17	C4	0	0	7.8
18	C5	0	0.6	0
19	C6	0	0	3

20	C8	0	0	2.4
21	C9	1.4	0	0
22	C9B1	0	0	5.4
23	C10B1	0	0	2.4
24	C11	1.4	0	1.2
25	Total	67.9	26.4	73.2

C. Pemindahan Fasa dengan Fuzzy Matlab

Variabel masukan dalam logika fuzzy untuk menentukan pemindahan fasa dalam penelitian ini adalah nilai total daya per fasa yang terdapat pada tabel 1, yang selanjutnya sebelum dimasukkan ke logika fuzzy nilai-nilai tersebut diubah terlebih dahulu kedalam bentuk persen.

1. Variabel masukan logika fuzzy matlab

Tabel 2 Variabel masukan fuzzy Matlab

No	Variabel masukan	Fungsi keanggotaan	Range	Range total
1	%IR	Kurang	0 - 85	0 - 200
		Seimbang	77.5 - 122.5	
		Lebih	115 - 200	
2	%IS	Kurang	0 - 85	0 - 200
		Seimbang	77.5 - 122.5	
		Lebih	115 - 200	
3	%IT	Kurang	0 - 85	0 - 200
		Seimbang	77.5 - 122.5	
		Lebih	115 - 200	

Adapun untuk mengubah nilai total beban per fasa pada tabel 1 ke dalam bentuk persen dilakukan dengan perhitungan berikut berikut:

- a. Mencari nilai rata-rata total beban

$$I_{\text{beban rata-rata}} = \frac{I_r + I_s + I_t}{3} = \frac{67.9 + 26.4 + 73.2}{3} = 55.834$$

- a. Mengubah nilai total fasa ke dalam bentuk persen

$$\%R = \frac{I_R}{I_{\text{beban rata-rata}}} \times 100\%$$

$$\%R = \frac{67.9}{55.83} \times 100\% = 122\%$$

$$\%S = \frac{I_s}{I_{\text{beban rata-rata}}} \times 100\%$$

$$\%S = \frac{26.4}{55.83} \times 100\% = 47\%$$

$$\%T = \frac{I_t}{I_{\text{beban rata-rata}}} \times 100\%$$

$$\%T = \frac{73.2}{55.83} \times 100\% = 131\%$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka diperoleh nilai masukan untuk logika fuzzy matlab untuk masukan arus beban r,s dan t dalam bentuk persen masing-masing adalah 122%, 47% dan 131%.

2. Variabel keluaran logika fuzzy

Variabel keluaran logika fuzzy pemindahan fasa pada penelitian ini adalah keluaran fasa R, keluaran fasa S dan keluaran fasa T. Adapun konfigurasi variabel keluaran logika fuzzy matlabnya dapat dilihat pada tabel 3 berikut;

Tabel 3 Keluaran logika fuzzy matlab

No	Variabel keluaran	Fungsi keanggotaan	Range	Range total
1	Out R	Dikurang	0 - 47	0 -
		Tetap	45 - 55	100
		Ditambah	53 - 100	
2	Out S	Dikurang	0 - 47	0 -
		Tetap	45 - 55	100
		Ditambah	53 - 100	
3	Out T	Dikurang	0 - 47	0 -
		Tetap	45 - 55	100
		Ditambah	53 - 100	

3. Hasil pemindahan fasa dengan logika fuzzy Matlab

Pada penelitian ini hasil fuzzy dilihat pada rule viewer fis editor Matlab dan diperoleh dengan memasukkan nilai masukan arus r, arus s dan arus t dalam persen yang telah diperoleh sebelumnya. Adapun hasil matlab pemindahan fasanya adalah sebagai berikut :

Tabel 4 Hasil fuzzy pemindahan fasa

No	Variabel keluaran	Hasil
1	Out R	22.3 Dikurang
2	Out S	77.9 Ditambah
3	Out T	22.1 Dikurang

D. Pemindahan beban

Setelah mendapatkan hasil fuzzy pemindahan fasa, maka selanjutnya penentuan

beban yang akan dipindah. Berdasarkan tabel 1 maka kelompok beban yang akan dipindah adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Beban yang dipindahkan hubungan fasanya

No	Nama Tiang	Arus pindah (A)
----	------------	-----------------

		R	S	T
1	C1B4	-13.3	+13.3	0
2	C4	0	+7.8	-7.8
3	C6	0	+3	-3
4	C9B1	0	+5.4	-5.4
5	Total	-13.30	29.5	-16.2

Berdasarkan tabel 5 maka dapat diperoleh nilai arus beban setelah penyeimbangan dengan cara menjumlahkan arus beban sebelum penyeimbangan pada tabel 1 dengan total arus beban yang dipindahkan.

- Arus fasa R setelah penyeimbangan

$$I_{r\ seimbang} = 67.9 - 13.30$$

$$I_{r\ seimbang} = 54.6\ A$$

- Arus fasa S setelah penyeimbangan

$$I_{r\ seimbang} = 26.4 + 29.5$$

$$I_{r\ seimbang} = 55.9\ A$$

- Arus fasa T setelah penyeimbangan

$$I_{r\ seimbang} = 73.2 - 16.2$$

$$I_{r\ seimbang} = 57\ A$$

Berdasarkan perhitungan arus beban setelah penyeimbangan beban, maka diperoleh hasil arus beban fasa R, fasa S dan fasa T setelah penyeimbangan masing-masing sebesar 54.6 A, 55.9 A dan 57 A.

E. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban Sebelum Penyeimbangan

1. Perhitungan Koefisien a, b dan c

Perhitungan koefisien a, b dan c untuk mendapatkan nilai persentase ketidakseimbangan beban dilakukan dengan menggunakan persamaan 1, persamaan 2 dan persamaan 2.3

$$a = \frac{67.9}{55.83} = 1.22$$

$$b = \frac{26.4}{55.83} = 0.47$$

$$c = \frac{73.2}{55.83} = 1.31$$

2. Persentase ketidak seimbangan beban sebelum penyeimbangan beban

Dengan nilai koefisien a,b dan c yang telah diperoleh pada perhitungan sebelumnya maka dapat dicari nilai besar persentase ketidakseimbangan beban dengan menggunakan persamaan 4.

$$\%U_{bl\ sebelum\ seimbang} = \frac{\{[1.22-1]+[0.47-1]+[1.31-1]\}}{3} \times 100\%$$

$$\%U_{bl\ sebelum\ seimbang} = 35.14\%$$

Berdasarkan perhitungan persentase ketidakseimbangan beban sebelum penyeimbangan beban maka didapatkan nilai persentase ketidakseimbangan beban 35.14%.

F. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban Setelah Penyeimbangan Beban

1. Perhitungan koefisien a, b dan c

$$a = \frac{54.6}{55.83} = 0.98$$

$$b = \frac{55.83}{57} = 1.00$$

$$c = \frac{55.83}{55.83} = 1.02$$

2. Persentase ketidakseimbangan beban setelah penyeimbangan beban

$$\%U_{bl\ setelah\ seimbang} = \frac{\{[0.98-1]+[1-1]+[1.02-1]\}}{3} \times 100\%$$

$$\%U_{bl\ setelah\ penyeimbangan\ beban} = 1\%$$

Berdasarkan perhitungan persentase ketidakseimbangan beban setelah penyeimbangan beban maka didapatkan nilai persentase ketidakseimbangan beban sebesar 1 %.

G. Perhitungan Rugi Daya Pada Penghantar Netral Sebelum dan Setelah Penyeimbangan Beban

1. Perhitungan arus netral sebelum dan setelah penyeimbangan beban.

- a. Arus netral sebelum penyeimbangan beban

$$I_{n\ sebelum\ penyeimbangan} = (67.9 - \frac{1}{2}73.2 - \frac{1}{2}26.4) + j(-\frac{\sqrt{3}}{2}73.2 + \frac{\sqrt{3}}{2}26.4) = 18.1 - j40.72 = 44.56\angle - 66.03^\circ\ A$$

- b. Arus netral setelah penyeimbangan beban

$$I_{n\ setelah\ penyeimbangan} = (54.6 - \frac{1}{2}57 - \frac{1}{2}55.9) + j(-\frac{\sqrt{3}}{2}57 + \frac{\sqrt{3}}{2}55.9) = -1.85 - j1 = 2.1\angle - 151.61^\circ\ A$$

2. Rugi daya pada penghantar netral sebelum dan setelah penyeimbangan beban dengan kabel penghantar netral yang digunakan adalah kabel NYY 1x 50 mm², resistansi jenis 0.464 Ω/km, dan panjang penghantar 6 m.

- a. Perhitungan rugi daya pada penghantar netral sebelum penyeimbangan beban

$$\begin{aligned}
 P_{N\text{sebelum}} &= (44.56 \angle - 66.03^\circ)^2 \times (0.464 \times \frac{6}{1000}) \\
 &= 1985.594 \angle - 131.88^\circ \times 0.0028 \\
 &= 5.53 \angle - 132.06^\circ \text{ Watt} \\
 &= -3.7 - j4.12 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

- b. Perhitungan rugi daya pada penghantar netral setelah penyeimbangan beban

$$\begin{aligned}
 P_{N\text{setelah}} &= (2.1 \angle - 151.61^\circ)^2 \times (0.464 \times \frac{6}{1000}) \\
 &= 4.41 \angle - 303.22^\circ \times 0.0028 \\
 &= 0.001 \angle - 303.11^\circ \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan rugi daya pada penghantar netral sebelum penyeimbangan sebesar $5.53 \angle - 132.06^\circ \text{ Watt}$ dan setelah penyeimbangan beban adalah sebesar $0.001 \angle - 303.11^\circ \text{ Watt}$.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Setelah dilakukan penyeimbangan beban dengan menukar beban pada tiang C1B4, C4,C6 dan C9B1, nilai persentase ketidakseimbangan beban pada GD 651.BB menjadi berkurang yang sebelumnya dari 35,14% yang berdasarkan *health index* trafo PLN berada dalam kategori buruk (>25%) menjadi hanya 1 % atau berada dalam kategori baik (<10%).
2. Arus Netral pada penghantar netral di GD 651.BB menjadi berkurang yang sebelum penyeimbangan beban adalah sebesar $44.56 \angle - 66.03^\circ \text{ A}$ menjadi hanya $2.1 \angle - 151.61^\circ \text{ A}$ setelah dilakukan penyeimbangan.
3. Semakin besar beban dan kapasitas Trafo Distribusi yang melayani beban juga berpengaruh terhadap rugi daya yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] G. Grigoras, B. C. Neagu, and F. Scarlatache, "Estimation of energy losses in distribution transformers using a fuzzy approach," *2016 Int. Symp. Fundam. Electr. Eng. ISFEE 2016*, pp. 1–6, 2016, doi: 10.1109/ISFEE.2016.7803183.
- [2] Antonov and D. Aprinaldo, "Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi (Aplikasi Feerder Sikakap)," *J. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 65–70, 2015, [Online]. Available: <https://ejournal.itp.ac.id/index.php/telekro/article/view/1391>.
- [3] D. S. W. Jayabadi, B. Winardi, and M. Facta, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 Gi Srdol Terhadap Rugi-Rugi Akibat Arus Netral Dan Suhu Trafo Menggunakan Etap 12.6.0," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 4, pp. 425–431, Jul. 2017, doi: 10.14710/TRANSIENT.5.4.425-431.
- [4] E. Setiawan, G. Anindita, A. Syahid, and I. Rachman, "Monitoring Keseimbangan Distribusi Beban Transformator untuk Meminimalisasi Terjadinya Rugi Energi," *ELKOMIKA*, vol. 7, no. 2, pp. 297–307, 2019, doi: <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v7i2.297>.
- [5] A. W. Indrawan, A. Alimin, N. A. Noor, and ..., "Perancangan Alat Monitoring dan Sistem Kendali Ketidakseimbangan Beban Melalui Power Line Carrier pada Jaringan Listrik Perumahan," ... *Tek. Elektro dan ...*, no. November, pp. 106–112, 2017, [Online]. Available: http://repository.poliupg.ac.id/1858/%0Ahttp://repository.poliupg.ac.id/1858/1/SNTEI2017_wawan.pdf.
- [6] H. Muchtar and Y. Sopian, "Studi Verifikasi Sistem Ketidakseimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Alat PHB – SR (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) Di Wilayah PLN Area Cempaka Putih," *Elektrum*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2017, doi: <https://doi.org/10.24853/elektum.14.1.1-8>.
- [7] F. Abdillah, M. Pujiantara, and Soedibjo, "Penyeimbang Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Sehari Di PT . PLN Area Bukittinggi," *Tek. Pomits*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [8] U. T. UP3 Palopo, "Data Beban Penyulang Lanosi UPT Tomoni," 2021.
- [9] PT. PLN, "Surat Edaran Direksi PT. PLN (Persero) No. 0017.E/DIR/2014 Tentang Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah manajemen Aset Halaman 8 Bagian 6.6.2.6 Matriks Online Assessment Tier-1," pp. 1–12, 2014.
- [10] Haswandi, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Terhadap arus Netral dan Susut (Losses) Pada Trafo Distribusi 20 KV di PT.PLN (Persero) UP3 Makassar Utara," Institue Teknologi PLN, 2020.

- [11] 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, 2018, doi: 10.32531/jelekn.v4i1.80.
- [12] A. M. Putra, C. G. I. Partha, and I. N. Budiastra, “Rancang Bangun Penyeimbang Arus Beban Pada Sistem 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroller Atmega 2560,” *Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, pp. 21–30, 2017.
- [13] G. P. N. Hakim, D. Septiana, A. Firdausi, F. R. I. Mariati, and S. Budianto, *SISTEM FUZZY Panduan Lengkap Aplikatif*, Fuzzy Logi. Penerbit ANDI, 2021.