

Balancing Load Outgoing Transformator 2 di Politeknik Negeri Malang

Ika Noer Syamsiana^{*a)}, Ir. Budi Eko Prasetyo^{a)}, Harry Hassidiqi^{a)}, Salsha Faradilla Firdaus^{a)}

(Artikel diterima : September 2023, direvisi Oktober 2023)

Abstract: In an electric power system, power quality is a major problem. One of the problems is load imbalance. According to IEEE (Institute of electrical and electronic engineer) number 446-1995 for load unbalance the limit value ranges from 5% to 20% on all phases. The monitoring panel system is useful for facilitating monitoring of power quality in real time so that the efficiency of electrical energy can be maintained. The object of this research is the load on Outgoing Transformer 2 at State Polytechnic of Malang. Measurements were carried out for 7 days. On Friday the average unbalanced load value is 6.75% with a neutral current of 34.4 A and conductor losses of 0.071 kW, while for 6 days it is classified as a balanced load with an average of 3.54-4.76% with neutral current of 10.5-24.6 A and conductor losses of 0.007-0.036 kW. So according to the IEEE standard std 446-1995 the Unbalance load value does not meet the standard on Friday, which exceeds the minimum standard of 5%. To get balanced loading results, it is necessary to carry out load balancing actions, namely by means of balancing. The recommendation for balancing is to move from phase R to phase S of 4.043 A and phase T of 2.695 A. After balancing, the % unbalanced load is obtained with an average of 3%, meaning that this load is classified as balanced with a neutral current of 13.44 A and losses conductor 0.014 kW.

Keyword: Power quality, unbalance load, balancing

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi saat ini terus meningkat. Meluasnya penggunaan perangkat elektronik seperti peralatan teknologi informasi, elektronika daya seperti drive kecepatan variabel (ASD), pengontrol logika yang dapat diprogram (PLC), dan lampu hemat energi telah menyebabkan perubahan total dalam sifat beban listrik [1]. Dengan demikian kebutuhan akan tenaga listrik akan meningkat tetapi jumlah tenaga listrik yang disediakan cenderung tetap. Dalam konteks sistem kelistrikan, pernyataan tersebut dapat diartikan sebagai perhatian terhadap kemampuan sistem untuk menyediakan energi listrik yang cukup sehingga dapat dimanfaatkan sebaik mungkin[2][3]. Saat ini kebutuhan listrik sangat besar, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industri. Keandalan energi menjadi kunci utama kepuasan pelanggan. Beberapa penyebab terganggunya keandalan energi salah satunya disebabkan oleh rugi-rugi daya. Sedangkan rugi-rugi daya disebabkan oleh beberapa hal, yaitu: panjang kabel pada suatu jaringan distribusi menyebabkan rugi-rugi daya akibat panas yang ditimbulkan. Penyediaan tenaga listrik dengan mutu dan kontinuitas yang handal merupakan langkah yang ditujukan untuk meningkatkan kebutuhan tenaga listrik, sehingga pasokan listrik dan pengoperasian jaringan distribusi menjadi lebih ekonomis [4][5].

Masalah terpenting dalam jaringan listrik adalah kualitas daya. Kualitas daya listrik sangat penting untuk diperhatikan, semakin tinggi efektivitas penggunaan beban maka semakin tinggi pula efisiensinya [6]. Sistem jaringan listrik dikatakan seimbang jika beban pada masing-masing fasa terdistribusi (fasa R, fasa S, dan fasa T) sama besarnya dan membentuk sudut 120° satu sama lain [7]. Meningkatnya kebutuhan tenaga listrik mengakibatkan masalah ketidakseimbangan beban listrik dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Pada sistem distribusi mensuplai berbagai pelanggan, antara lain dengan beban satu fasa, dua fasa, dan tiga

fasa. yang tidak seimbang menjadi lebih besar [8]. Dalam sistem 3 fasa 4 kawat dimana penyebab ketidakseimbangan beban adalah karena distribusi beban yang tidak merata [9][10]. Ketidakseimbangan beban mengakibatkan timbulnya arus netral (IN) pada sistem 3 fasa 4 kawat, dalam kondisi seimbang arus netral harus sama dengan nol [11]. Arus netral akan menyebabkan rugi-rugi pada kabel distribusi sehingga mengurangi konsumsi dayanya [12]. Ketidakseimbangan beban mengakibatkan rugi-rugi yang dapat berdampak pada pengoperasian dan efisiensi sampe dapat mengurangi umur dari trafo itu sendiri, sehingga kehandalan trafo menjadi menurun [13][14]. Semakin besar ketidakseimbangan beban, semakin besar nilai arus netral. Arus netral yang tinggi dapat menyebabkan kelebihan beban pada transformator, panas berlebih, dan kegagalan pada saluran netralnya [15][16].

Penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah pembebanan pada trafo ini seimbang atau tidak, jika tidak maka akan dilakukan rekomendasi penyeimbangan. Load balancing merupakan upaya untuk mengefektifkan gardu distribusi agar arus dapat terserap sepenuhnya oleh pelanggan. Balancing load adalah salah satu upaya untuk menyeimbangkan jaringan pada sistem tenaga listrik [17]. Hal ini diperuntukkan agar nantinya jaringan tenaga listrik dapat digunakan seoptimal mungkin, sehingga rugi-rugi daya dapat berkurang[18][19]. Untuk mengetahui apakah suatu beban seimbang atau tidak, dapat didasarkan pada standar yang ada. Menurut standar IEEE 446-1995, persentase unbalance load yang diperbolehkan adalah 5-20%[20]. Jika persentase beban tidak seimbang melebihi standar, maka diperlukan penyeimbangan agar berada dalam batas normal standar beban tidak seimbang, dan jika persentase beban tidak seimbang berada pada batas standar normal, maka diperlukan juga penyeimbangan agar beban tidak seimbang. beban menjadi seimbang. Proses penyeimbangan dapat dilakukan dengan mengurangi/menambah beban atau menyelaraskan beban antar fasa karena beban yang tidak seimbang dapat menurunkan efisiensi transformator.

*Korespondensi: ikanoersyamsiana@polinema.ac.id

a) Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Malang, Indonesia

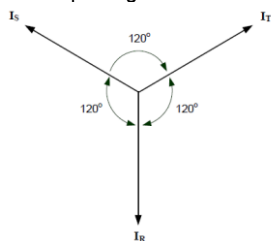
2. Metode

Penulis menggunakan penelitian kualitatif, yakni penelitian yang nantinya dapat memberikan hasil dan pemahaman lebih lengkap dan mendetail mengenai sebuah masalah yang akan diteliti. Langkah pertama yang dilakukan yaitu dengan mengumpulkan data pengukuran pada power meter yang terpasang pada panel monitoring outgoing transformator 2 kemudian dilanjutkan dengan perhitungan unbalance dan balancing load nya. Setelah itu hasil dari penelitian akan dianalisis lebih dalam.

2.1 Unbalance Load

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu dimana:

1. Ketiga arus adalah sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain, seperti terlihat pada gambar dibawah ini:



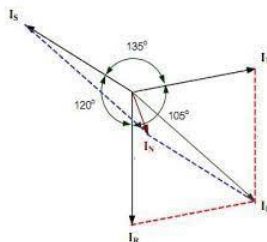
GAMBAR 2.1 VEKTOR DIAGRAM ARUS DALAM KEADAAN SEIBANG

Dari gambar diatas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor tegangan (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol. Sehingga tidak muncul arus netral.

Unbalance Load (ketidakseimbangan beban) adalah jumlah ketidakseimbangan arus yang mengalir di antara setiap fase dan menyebabkan arus mengalir ke netral. Jika arus netral ini menyebabkan perbedaan tegangan antara netral dan pembumian (nilai pembumian efektif adalah nol). Pengaruh dari aliran arus netral adalah tegangan referensi tidak terpenuhi di netral, sehingga terjadi penurunan tegangan dari fasa ke netral.

Ada 3 kemungkinan Ketidakseimbangan beban, yaitu:

1. Setiap vektor seimbang tetapi tidak membentuk sudut 120 satu sama lain.
2. Setiap vektor tidak seimbang tetapi membentuk sudut 120 satu sama lain.
3. Setiap vektor tidak seimbang dan tidak membentuk sudut 120 satu sama lain.



GAMBAR 2.2 KETIDAKSEIBANGAN BEBAN

Ketidakseimbangan beban dinyatakan dalam persen (%).

Untuk mengetahui ketidakseimbangan beban dapat dihitung dengan persamaan berikut.

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

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

$$I_S = b \cdot I_{\text{rata-rata}} \text{ maka}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{\text{rata-rata}}}$$

$$I_T = c \cdot I_{\text{rata-rata}} \text{ maka}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{\text{rata-rata}}}$$

Dimana:

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

Dalam kondisi beban yang berimbang maka jumlah koefisien a, b, c adalah 1. Sehingga rata-rata ketidakseimbangan beban (%) adalah.

$$\% \text{UBL} = \frac{(a-1) + (b-1) + (c-1)}{3} \times 100\% \dots (2.2)$$

2.2 Arus Netral

Arus netral pada sistem distribusi adalah arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah 3 fasa 4 kawat. Arus yang melalui kawat netral, arus AC dalam sistem distribusi tiga fasa, empat kawat adalah penjumlahan vektor komponen simetris dari arus tiga fasa

Penyebab munculnya arus netral adalah:

- a. Beban perfasa dalam keadaan tidak seimbang
- b. Adanya arus harmonisa karena beban non linear

Untuk arus netral pada beban yang tidak seimbang dijabarkan dalam persamaan berikut.

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 \quad (2.3)$$

$$I_b = a^2 I_1 + a I_2 + I_0$$

$$I_c = a I_1 + a^2 I_2 + I_0$$

Dari 3 langkah diatas, didapat persamaan sebagai berikut.

$$I_1 = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c) \quad (2.4)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c)$$

Dapat dilihat bahwa arus urutan nol (I_0) adalah sepertiga dari arus netral atau sebaliknya, jika dalam sistem 3 fasa 4 kawat akan menjadi nol. Untuk arus netral akan didapat dalam persamaan berikut.

$$I_N = I_a + I_b + I_c \quad (2.5)$$

Atau

$$I_N = 3I_0$$

Dimana:

$$I_N = (I_R)^2 + (I_S)^2 + (I_T)^2 - (I_R \times I_S) - (I_R \times I_T)(I_S \times I_T)$$

Dalam sistem empat-kawat, tiga-fasa, arus total pada saluran sama dengan arus netral yang mengalir kembali melalui netral. Jika arus fasa seimbang, arus netral adalah nol, tetapi jika arus fasa tidak seimbang, akan ada arus di sistem netral (arus kabel netral akan memiliki nilai bukan nol).

2.3 Balancing Load

Balancing load adalah suatu kegiatan yang berawal dari pengukuran awal kemudian meratakan beban tiap fasa yang tidak seimbang (pincang). *Balancing load* bertujuan agar arus netral dapat berkurang sehingga akan mengurangi kerugian terhadap sumbernya.

Unbalance load dapat mengurangi umurnya trafo karena jika pada salah satu fasa bebannya sudah melebihi batasan yang diperbolehkan, maka dapat menyebabkan obstick kabel pada gardu tersebut akan terbakar. Sebagai tanda bahwa bebannya sudah melebihi batas, ditandai dengan fuse atau sekering pada gardu yang pansas dan mengeluarkan asap. Jika hal tersebut tidak segera dilakukan *balancing load* maka akan menyebabkan antar fasanya bersinggungan dan akibatnya trafo akan meledak.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Unbalance Load Outgoing Trafo 2

Unbalance Load merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam mencapai keseimbangan arus. Saat merencanakan pemasangan, perhatian harus diberikan pada distribusi beban antar tahap untuk mencapai tingkat beban yang mendekati ideal.

Untuk mendapatkan keseimbangan beban 100% memanglah mustahil. Namun, upaya yang harus dilakukan adalah memastikan bahwa tingkat beban diperhitungkan secara memadai karena akan menyebabkan ketidakseimbangan tegangan sistem. Selain itu, akan muncul arus netral titik netral, yang jika sistem tidak diardekan dengan benar akan menyebabkan lonjakan tegangan di salah satu fasanya.

IEEE
Std 446-1995
GENERAL NEED GUIDELINES

Table 3-7—Typical range of input power quality and load parameters of a major computer manufacturer

Parameters	Range
1) Voltage limit, steady-state (all phases)	+6%, -13%
2) Voltage disturbances (all phases)	Surge +15% for 0.5 s maximum Sag -18% for 0.5 s maximum Transient overvoltage 150-200% for 0.2 ms
3) Harmonic content	5% maximum with equipment operating
4) Electromagnetic compatibility	1 V/m maximum
5) Frequency limits	60 Hz ± 0.5
6) Frequency rate of change	1 Hz/s (slew rate)
7) Three-phase voltage unbalance	2.5% of arithmetic average
8) Three-phase load unbalance	5-20% maximum for any one phase
9) Power factor	0.8-0.9
10) Load demand	0.75-0.85 (of connected load)

NOTE—Parameters 1), 2), 5), and 6) depend upon the power source. Parameters 3), 4), and 7) are a function of the interaction of the source and the equipment load. Parameters 8), 9), and 10) are a function of the equipment. The harmonic content of the voltage is computed as the sum of all harmonic voltages added vectorially.

GAMBAR 3.1 STANDAR IEEE No. 446-1995

Menurut standar Institute of Electrical and Electronic

Engineer (IEEE) No. 446-1995, batas standar *unbalance load* yang diperbolehkan adalah 5-20%. Untuk perhitungan arus netral dan persentase ketidakseimbangan beban dapat dihitung dengan persamaan (2.2) dan (2.5).

Untuk menentukan besarnya *unbalance load* pada tiap fasa, akan dikategorikan sesuai waktunya yaitu luar waktu beban puncak (LWBP) selama 7 hari. Dalam melakukan perhitungan akan digunakan data pengukuran parameter pada LVMDP Trafo 2.

TABEL 3.1 RATA-RATA %UNBALANCE LOAD PER HARI

Hari	IR (A)	IS (A)	IT (A)	IN (A)	UBL (%)
Senin	198,8	189,1	185,9	23,4	4,27
Selasa	188,7	179,1	182,6	17,8	3,63
Rabu	201,7	179,1	180,6	24,6	4,76
Kamis	208,4	192,5	190,2	20,1	4,06
Jumat	184,6	150,1	159,8	34,4	6,75
Sabtu	155,02	107,03	105,56	10,5	3,54
Minggu	155,02	107,03	105,56	10,5	3,54
Rata-rata	184,61	157,71	158,6	20,19	4,36

- Diketahui:

$$\begin{aligned} IR &= 184.6 \text{ A} & pf &= 0.98 & \theta_R &= 9.9^\circ \\ IS &= 150.1 \text{ A} & pf &= 0.99 & \theta_S &= 6.9^\circ \\ IT &= 159.8 \text{ A} & pf &= 0.98 & \theta_T &= 8.4^\circ \end{aligned}$$

- Dijawab:

Perhitungan Arus Netral

$$\vec{IR} = x + jy$$

$$\begin{aligned} &= |IR| \times \cos \theta_R + j(|IR| \times \sin \theta_R) \\ &= |184.6| \times (\cos 9.9^\circ) + |184.6| \times (\sin 9.9^\circ) \\ &= 181.81 + j31.73 \end{aligned}$$

$$\vec{IS} = x + jy$$

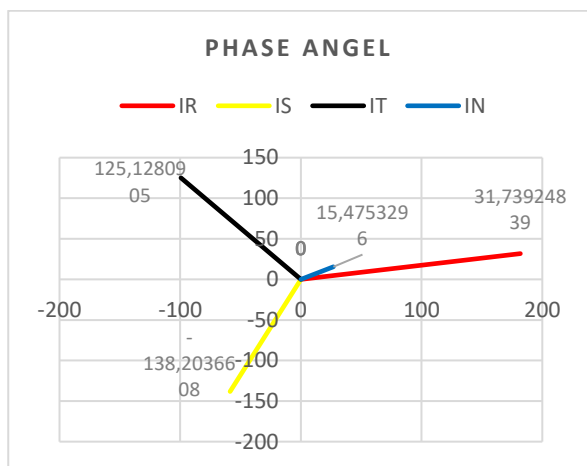
$$\begin{aligned} &= |IS| \times \cos(\theta_S - 120^\circ) + j(|IS| \times \sin(\theta_S - 120^\circ)) \\ &= |150.1| \times (\cos(6.9^\circ - 120^\circ)) \\ &\quad + |150.1| \times (\sin(6.9^\circ - 120^\circ)) \\ &= -58.67 - j138.2 \end{aligned}$$

$$\vec{IT} = x + jy$$

$$\begin{aligned} &= |IT| \times \cos(\theta_T + 120^\circ) + j(|IT| \times \sin(\theta_T + 120^\circ)) \\ &= |159.8| \times (\cos(8.4^\circ + 120^\circ)) \\ &\quad + |159.8| \times (\sin(8.4^\circ + 120^\circ)) \\ &= -99.38 + j125.12 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IN &= (181.81 + j31.73) + (-58.67 - j138.2) + (-99.38 + j125.12) \\ &= 26.8 + j15.47 \\ &= 34.4 < 11.64^\circ \end{aligned}$$

Perhitungan diatas menjelaskan bahwa nilai arus netral yaitu terjadi pada hari jumat. Dari perhitungan diatas didapat nilai arus netral rata-rata akibat adanya *unbalance load* dengan rata-rata sebesar 6.75%. Oleh karena itu dapat dilihat melalui vektor arus netral akibat *unbalance load* sebagai berikut:



GAMBAR 3.2 VEKTOR ARUS NETRAL RATA-RATA HARI JUMAT

Dari gambar vektor diatas, dapat dilihat contoh arus pada hari jumat fasa R bernilai 184.6 Ampere, fasa S 150.1 Ampere dan fasa T 159.8 Ampere, terdapat adanya perbedaan antar fasanya yang menimbulkan arus netral sebesar 34.4 A, semakin tinggi nilai *unbalance load* maka nilai arus netral juga akan semakin meningkat. Oleh karena itu akibat yang akan ditimbulkan karena adanya arus netral ialah munculnya *losses* penghantar pada trafo. Dengan *Unbalance Load* sebesar:

$$I_{rata-rata} = \frac{IR + IS + IT}{3}$$

$$I_{rata-rata} = \frac{184.6 + 150.1 + 159.8}{3}$$

$$I_{rata-rata} = 164.8$$

Setelah mengetahui nilai $I_{rata-rata}$ selanjutnya mencari koefisien a, b, dan c. Mencari koefisien a, b, dan c dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$IR = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } a = \frac{184.6}{164.8} = 1.11$$

$$IS = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } b = \frac{150.1}{164.8} = 0.91$$

$$IT = a \cdot I_{rata-rata}, \text{ maka } c = \frac{159.8}{164.8} = 0.96$$

Setelah mendapatkan nilai koefisien a,b, dan c maka penulis dapat menentukan persentase *unbalance load* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

$$\%UBL \text{ Besar} = \frac{|1.11 - 1| + |0.91 - 1| + |0.96 - 1|}{3} \times 100\%$$

$$\%UBL \text{ Besar} = 6.56\%$$

Jika nilai persentase *unbalance load* besar diketahui, selanjutnya mencari nilai persentase *unbalance load* sudut dengan menggunakan persamaan berikut:

$$pf_{rata-rata} = \frac{Pf_R + pf_S + pf_T}{3}$$

$$pf_{rata-rata} = \frac{0.98 + 0.99 + 0.98}{3}$$

$$pf_{rata-rata} = 0.988$$

Setelah mengetahui nilai $I_{rata-rata}$ selanjutnya mencari koefisien a, b, dan c. Mencari koefisien a, b, dan c dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$pf_R = a \cdot pf_{rata-rata}, \text{ maka } a = \frac{0.98}{0.988} = 0.99$$

$$pf_S = a \cdot pf_{rata-rata}, \text{ maka } b = \frac{0.99}{0.988} = 1.003$$

$$pf_T = a \cdot pf_{rata-rata}, \text{ maka } c = \frac{0.98}{0.988} = 1$$

Setelah mendapatkan nilai koefisien a,b, dan c maka penulis dapat menentukan persentase *unbalance load* dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

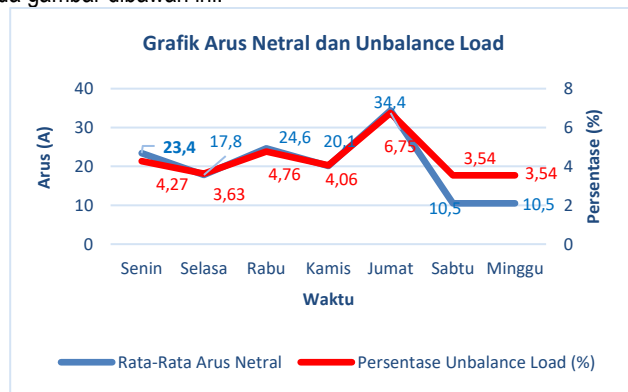
$$\%UBL \text{ Sudut} = \frac{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|}{3} \times 100\%$$

$$\%UBL \text{ Sudut} = \frac{|0.99 - 1| + |1.003 - 1| + |1 - 1|}{3} \times 100\%$$

$$\%UBL \text{ Sudut} = 0.19\%$$

Dari perhitungan diatas, maka dihasilkan nilai %UBL adalah: $\%UBL = \%UBL \text{ Besar} + \%UBL \text{ Sudut} = 6.56\% + 0.19\% = 6.75\%$

Dari data dan perhitungan diatas, dapat diketahui grafik arus netral dan grafik %*unbalance load* sebagaimana telah ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



GAMBAR 3.3 GRAFIK ARUS NETRAL DAN UNBALANCE LOAD SEBELUM BALANCING

Dari grafik diatas, didapatkan data rata-rata untuk *unbalance load* yaitu pada hari jumat sebesar 6.75% dengan arus netral 34.4 A. Sedangkan untuk hari sabtu dan minggu merupakan rata-rata *unbalance load* terendah dengan nilai 3.54% dengan arus netral 10.5 A. Menurut standar Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) No. 446-1995, batas standar *unbalance load* yang diperbolehkan adalah 5-20%. Dari standar yang digunakan dapat disimpulkan bahwa hari jumat telah melewati batas minimal yang diperbolehkan yaitu 5%. Oleh karena itu hari jumat akan diberlakukan rekomendasi *balancing* guna sebagai penyeimbangan beban yang lebih baik.

3.2 Losses Penghantar

Diketahui data kabel Transformator 2 di UPT PP

TABEL 3.2 DATA PENGHANTAR LVMDP-MDP TRAFO 2 UPT PP

No.	Kabel Jurusan	Jenis Kabel	Merk	Luas Penampang (mm^2)	Ω /Km
1	LVMDP-MDP	NYY	SUPREME	$7 \times (4 \times 300)$	0.0601

Dengan persamaan:

$$P_n = I_n^2 \times R_n$$

Perhitungan losses penghantar akibat adanya arus netral dengan data parameter rata-rata arus netral sebesar 20.19 A.

- Diketahui:

$$I_N = 20.19 \text{ A}$$

$$R_N = 0,0601 \Omega/Km$$

- Dijawab:

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

$$P_N = (20.19)^2 \times 0.0601$$

$$P_N = 28 \text{ Watt}$$

$$P_N = 0.028 \text{ kW}$$

Data parameter yang digunakan sebagai sampel perhitungan adalah saat persentase rata-rata arus netral sehingga nilai lossesnya sebesar 0.028 kW.

3.3 Balancing Load

Unbalance load dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah ketika penggunaan beban yang tidak bersamaan, pemasangan beban yang tidak seimbang antar fasanya, serta pengkoneksian yang tidak seimbang pada masing-masing fasanya. Agar dapat tercipta beban yang seimbang pada LVMDP Trafo 2, perlu dilakukan *balancing load* dengan melakukan pembagian beban yang merata dan seimbang. Hal ini perlu dilakukan agar *unbalance load* dapat berkurang seminimal mungkin.

Dari data yang telah diambil pada 7 hari, dapat diketahui nilai rata-rata *unbalance load* total yaitu sebesar 4.36%. Hal itu telah sesuai dengan standar Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) No. 446-1995, batas standar *unbalance load* yang diperbolehkan adalah 5-20%. Namun pada hari jumat nilai *unbalance load* mencapai 6.75% dimana tidak memenuhi standar nominal *unbalance load*, sehingga penulis tetap melakukan *balancing* untuk menurunkan nilai persentase *unbalance load* dan sesuai dengan standar yang ada.

TABEL 3.3 RATA-RATA %UNBALANCE LOAD PER HARI

Ket	Perbaikan Arus (A)			Rata-Rata Arus Baru (A)		
	R	S	T	R	S	T
Rekomendasi	-6.379	4.043	2.695	166.43	160.36	161.59

Untuk mendapatkan nilai arus yang seimbang memenuhi standar, maka pemindahan fasa sangat diperlukan agar nilai persentase *unbalance load* dapat diminimalisir. Oleh karena itu penulis memindahkan fasa R ke S sebesar 4.043 A dan Fasa R ke T sebesar 2.695 A sehingga didapatkan nilai rata-rata arus baru Fasa R 166.34 A, Fasa S 160.36 dan Fasa T 161.59 A. sehingga didapatkan nilai *unbalance load* sebesar 3% dan hal itu telah sesuai dengan standar minimum yang diperbolehkan.

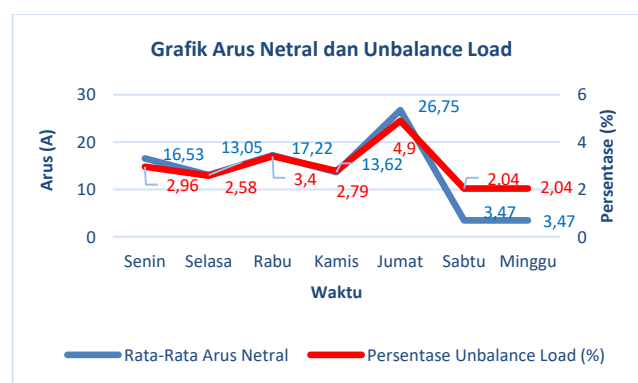
TABEL 3.4 RATA-RATA %UNBALANCE LOAD PER HARI

Ket	Irms			Arus Netral (A)	Persentase Unbalance Load (%)	Losses (W)
	R	S	T			
Sebelum Balancing	184,64	157,71	158,6	20,19	4,36	28
Setelah Balancing	166,43	160,36	161,59	13,44	3,00	14

Setelah melakukan rekomendasi balancing, nilai arus netral dan persentase unbalance load selama 7 hari dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

TABEL 4.5 RATA-RATA %UNBALANCE LOAD PER HARI

Waktu	Setelah Balancing		
	Arus Netral (IN)	Persentase Unbalance Load (%)	Losses (kW)
Senin	16.53	2.96	0.016
Selasa	13.05	2.58	0.010
Rabu	17.22	3.4	0.018
Kamis	13.62	2.79	0.011
Jumat	26.75	4.9	0.043
Sabtu	3.47	2.04	0.001
Minggu	3.47	2.04	0.001



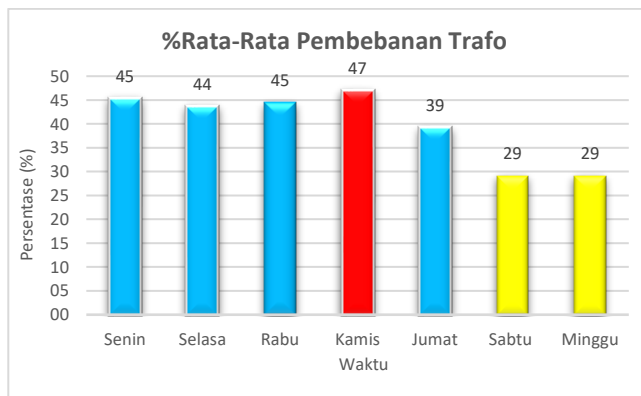
GAMBAR 3.4 GRAFIK ARUS NETRAL DAN UNBALANCE LOAD SETELAH BALANCING

Dari tabel dan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata pada hari jumat dengan %*unbalance load* setelah dilakukan *balancing* telah turun sebesar 4.9% sesuai standar IEEE No. 446-1995 dengan nilai persentase ialah 5-20%. Hal itu akan berdampak baik pada arus netral dan juga losses yang diakibatkan oleh arus netral. Sehingga tingkat efisiensi pada trafo dapat bertambah.

3.4 Pembebanan Transformator

Data parameter yang telah dikumpulkan akan digunakan sebagai acuan untuk analisa pembebanan trafo. Setelah data didapat, maka akan diolah terlebih dahulu sesuai dengan parameter yang dibutuhkan sehingga akan didapatkan analisa yang sesuai.

Persentase pembebanan trafo merupakan hal yang sangat penting untuk diketahui seberapa besar pembebanan transformator terhadap beban-bebannya. Pembebanan transformator 2 pada UPT PP dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



GAMBAR 3.5 GRAFIK % PEMBEBANAN TRANSFORMATOR 2

Dari grafik diatas diperoleh nilai pembebanan tertinggi berada diangka 47%. Menurut ketentuan yang ditetapkan oleh PT.PLN (Persero) bahwa beban overload ketika persentasenya >80%, artinya pembebanan trafo 2 masih dalam kondisi standart.



GAMBAR 3.6 GRAFIK % PEMBEBANAN TRANSFORMATOR 2 SEBELUM DAN SESUDAH BALANCING

Dari grafik diatas persentase pembebanan sebelum balancing sebesar 41.94% dengan daya 209.69 kVA dan setelah balancing pembebanan sebesar 38.71% dengan daya sebesar 193.53 kVA. Dari grafik diatas selisih perbandingan sebelum dan setelah balancing hanya sebesar 17,95 kVA.

4. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil seluruh analisa dapat diambil suatu kesimpulan, antara lain:

1. Pada hari jumat nilai *unbalance load* rata-rata 6.75% dengan arus netral 34,4 A dan *losses* penghantar sebesar 0,071 kW, sedangkan untuk 6 harinya sudah tergolong beban *balance* dengan rata-rata 3.54-4.76% dengan arus netral sebesar 10.5-24.6 A dan *losses* penghantar 0.007-0.036 kW. Sehingga menurut standar IEEE std 446-1995 nilai *Unbalance load* tidak memenuhi standar pada hari jumat yaitu melebihi standar minimal 5%.
2. Rekomendasi *balancing* (Tabel 4.27) yaitu dengan memindahkan dari fasa R ke fasa S sebesar 4.043 A dan fasa T sebesar 2.695 A. Setelah dilakukan *balancing* didapat nilai *%unbalance load* dengan rata-rata 3% artinya beban ini sudah mendekati nilai *balance* dengan arus netral 13.44 A dan *losses* penghantar 0.014 kW.
3. Pembebanan trafo 2 sebelum dan setelah *balancing* berada pada *range* 43-46% dimana sesuai SPLN 50:2017 bahwa jika persentase pembebanan 40-80% maka berada pada kondisi normal pada suhu 40° C. Pembebanan trafo ini berlaku pada tipe trafo ONAN.

Daftar Pustaka

- [1] A. Traca de Almeida, L. Moreira, and J. Delgado, "Power Quality Problems and New Solutions," *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 01, pp. 25–33, Apr. 2003, doi: 10.24084/repqj01.004.
- [2] H. Pham, Ed., *Handbook of Reliability Engineering*. London: Springer London, 2003. doi: 10.1007/b97414.
- [3] A. Terciyani et al., "A Current Source Converter-Based Active Power Filter for Mitigation of Harmonics at the Interface of Distribution and Transmission Systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 48, no. 4, pp. 1374–1386, Jul. 2012, doi: 10.1109/TIA.2012.2200009.
- [4] D. Krupenev, D. Boyarkin, and D. Iakubovskii, "Improvement in the computational efficiency of a technique for assessing the reliability of electric power systems based on the Monte Carlo method," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 204, p. 107171, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ress.2020.107171.
- [5] J. Pan, J. Liu, X. Chen, and K. Zhong, "Three-phase unbalanced load control based on load–electricity transfer index," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 312–318, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.01.064.
- [6] W. Jewell, "Electrical power systems quality, 2nd edition [Book Review]," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 1, no. 5, pp. 63–64, Sep. 2003, doi: 10.1109/MPAE.2003.1231693.
- [7] M. H. Albadi, A. S. Al Hinai, A. H. Al-Badi, M. S. Al Riyami, S. M. Al Hinai, and R. S. Al Abri, "Unbalance in power systems: Case study," in *2015 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, IEEE, Mar. 2015, pp. 1407–1411. doi: 10.1109/ICIT.2015.7125294.
- [8] M. Chindris, A. Cziker, A. Miron, H. Balan, and A. Sudria,

- “Propagation of unbalance in electric power systems,” in *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, IEEE, Oct. 2007, pp. 1–5. doi: 10.1109/EPQU.2007.4424221.
- [9] Shan Zhong and A. Abur, “Effects of nontransposed lines and unbalanced loads on state estimation,” in *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309)*, IEEE, pp. 975–979. doi: 10.1109/PESW.2002.985151.
- [10] S. Jiao, K. R. Ramachandran Potti, K. Rajashekara, and S. K. Pramanick, “A Novel DROGI-Based Detection Scheme for Power Quality Improvement Using Four-Leg Converter Under Unbalanced Loads,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 1, pp. 815–825, Jan. 2020, doi: 10.1109/TIA.2019.2942798.
- [11] N. Dey and A. K. Chakraborty, “Neutral Current and Neutral Voltage in Three Phase Four Wire Distribution System of a Technical Institution,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 72, no. 3, pp. 1–7, Jun. 2013, doi: 10.5120/12471-8864.
- [12] J. Chen, T. Yang, C. O’Loughlin, and T. O’Donnell, “Neutral Current Minimization Control for Solid State Transformers Under Unbalanced Loads in Distribution Systems,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 66, no. 10, pp. 8253–8262, Oct. 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2883266.
- [13] L. F. Ochoa, R. M. Ciric, A. Padilha-Feltrin, and G. P. Harrison, “Evaluation of distribution system losses due to load unbalance,” *15th Power Syst. Comput. Conf. PSCC 2005*, p. 6, 2005, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/259827574_LF_Ochoa_RMCiric_APFeltrin_GP_Harrison_Evaluation_of_Distribution_System_Losses_due_to_Load_Unbalance_Power_System_Computation_Conference_PSCC_2005_session_10_paper_6_26-28_August_2005_Liege_Belgium
- [14] L. Zhou *et al.*, “Multi-objective optimisation operation of thermostatically controllable appliances for voltage management in low-voltage distribution networks,” *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 13, no. 21, pp. 4767–4777, Nov. 2019, doi: 10.1049/iet-gtd.2019.0814.
- [15] A. Eren and A. M. Vural, “Arm cortex M4 microprocessors based \pm 100 kVAR energy quality regulator for reactive power/neutral current compensation, load balancing and harmonic mitigation,” *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 27, p. 101018, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jestch.2021.05.022.
- [16] E. Gursoy, O. Gul, and A. Kaypmaz, “Power quality and neutral currents in three-phase power systems,” in *PowerTech Budapest 99. Abstract Records. (Cat. No.99EX376)*, IEEE, p. 222. doi: 10.1109/PTC.1999.826654.
- [17] Y.-D. Lee, J.-L. Jiang, Y.-H. Ho, W.-C. Lin, H.-C. Chih, and W.-T. Huang, “Neutral Current Reduction in Three-Phase Four-Wire Distribution Feeders by Optimal Phase Arrangement Based on a Full-Scale Net Load Model Derived from the FTU Data,” *Energies*, vol. 13, no. 7, p. 1844, Apr. 2020, doi: 10.3390/en13071844.
- [18] C. H. Lin *et al.*, “Optimal Phase Arrangement of Distribution Feeders Using Immune Algorithm,” in *2007 International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems*, IEEE, Nov. 2007, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISAP.2007.4441596.
- [19] J. Arias, M. Calle, D. Turizo, J. Guerrero, and J. Candelo-Becerra, “Historical Load Balance in Distribution Systems Using the Branch and Bound Algorithm,” *Energies*, vol. 12, no. 7, p. 1219, Mar. 2019, doi: 10.3390/en12071219.
- [20] IEEE, *IEEE 446-1995 Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and*, vol. 1995. 2000. doi: 10.1109/IEEESTD.1996.85950.