

Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Penyulang Mibo Rayon Merduati

Muliadi^{1*}, Syukri², Teuku Murisal Asyadi³, Agus Salim⁴

^{1, 2, 3, 4} Jurusan Teknik Elektro Universitas Iskandar Muda

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

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

ABSTRACT

Load imbalance at the distribution substations of an electric power distribution system always occurs, one of which is in the Mibo area at MB1 04-00, MB1 05-00 and MB1 07-00. This imbalance causes losses in each phase (R, S and T), so the transformer efficiency value will be lower. So, the greater the unbalance factor, the greater the neutral current that appears and the greater the loss due to the neutral current flowing to the ground. In this study, the authors used the symmetric component method to analyze losses when loading is unbalanced. The result shows that the percentage of load unbalance according to the calculation on transformer MB1 04-00 is 21.66%, on transformer MB1 05-00 is 39.33% and on transformer MB1 07-00 is 21%. The amount of losses due to the current flowing in the neutral conductor of the transformer based on calculations on the MB1 04-00 transformer is 1.42%, on the MB1 04-00 transformer it is 1.79% and on the MB1 04-00 transformer it is 1.54%. As well as the number of power losses due to neutral currents flowing to the ground based on calculations on transformer MB1 04-00 of 1.76%, on transformer MB1 05-00 of 1.28% and transformer MB1 07-00 of 2.69%.

Keywords: Load unbalance, Power losses, Neutral currents, Distribution transformers, Feeders

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi, salah satunya pada kawasan Mibo di MB1 04-00, MB1 05-00 dan MB1 07-00. Terjadinya ketidakseimbangan tersebut menyebabkan losses (rugi-rugi) pada tiap fasa (R, S dan T) sehingga nilai efisiensi trafo akan semakin rendah. Jadi, semakin besar faktor ketidakseimbangan maka akan semakin besar arus netral yang muncul dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula. Dalam Penelitian ini, penulis menggunakan metode komponen simetris untuk menganalisa rugi-rugi pada saat pembebanan tidak seimbang. Hasilnya didapatkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban sesuai dengan perhitungan pada trafo MB1 04-00 sebesar 21,66%, pada trafo MB1 05-00 sebesar 39,33% dan pada trafo MB1 07-00 sebesar 21%. Besarnya rugi-rugi akibat arus yang mengalir pada penghantar netral trafo berdasarkan perhitungan pada trafo MB1 04-00 sebesar 1,42%, pada trafo MB1 04-00 sebesar 1,79% dan pada trafo MB1 04-00 sebesar 1,54%. Serta besarnya rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah berdasarkan perhitungan pada trafo MB1 04-00 sebesar 1,76%, pada trafo MB1 05-00 sebesar 1,28% dan pada trafo MB1 07-00 sebesar 2,69%.

Kata Kunci: Ketidakseimbangan beban, Rugi-rugi daya, Arus netral, Trafo distribusi, Penyulang

I. PENDAHULUAN

Sistem tenaga listrik merupakan seperangkat peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dan memiliki peranan yang sangat penting dalam menghadapi berbagai tantangan terhadap perkembangan dan pertumbuhan populasi penduduk [1]. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan tersebut maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang dapat mendukung salah satunya dalam hal tersedianya tenaga listrik [1][2].

Tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kebutuhan sehari-hari, komersil maupun industri. Hal ini karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk energi lain [3]. Penyediaan listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan listrik [4][5][6]. Untuk pemenuhan kebutuhan tenaga listrik,

awalnya pembagian-pembagian beban dilakukan secara merata, namun ketidakserempakan waktu penyalaan beban maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang akhirnya berdampak terhadap penyediaan tenaga listrik [7]. Selain ketidakserempakan pemakain beban, pengoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S dan T juga merupakan faktor lain yang dapat mempengaruhi ketidakseimbangan beban [5][8]. Secara teknis, faktor tersebut dapat menimbulkan rugi-rugi daya (*losses*) yang akan merugikan penyedia listrik dalam hal ini yaitu PT. PLN (Persero). Oleh sebab itu, agar tercapainya suplai energi listrik yang stabil dan kontinyu kepada konsumen, maka hal tersebut harus diatasi atau dihilangkan.

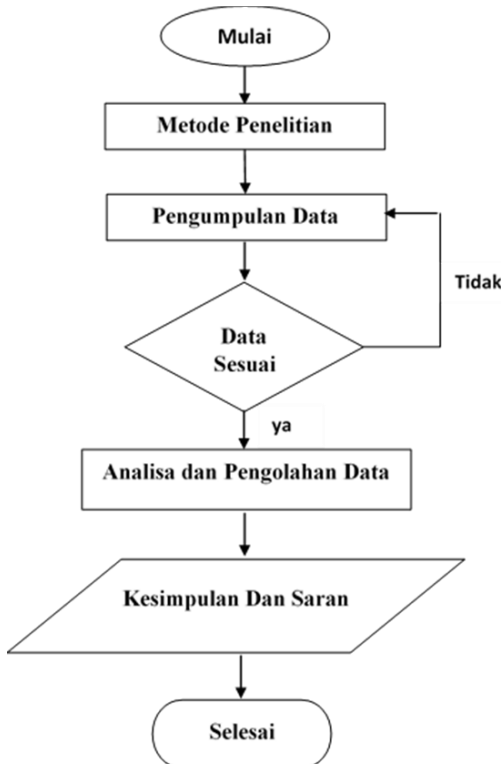
Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi yang mana penyebabnya adalah beban-beban pada jaringan tegangan rendah [9]. Seperti yang kita ketahui bersama bahwa pada semua hunian tidak sama

aktifitasnya sehingga pemakaian beban pun bervariasi. Hal tersebut dapat menimbulkan arus pada netral trafo sehingga menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya (*losses*) pada trafo distribusi [10][9][11].

Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi penyulang Mibo Banda Aceh. Adapun parameter yang ingin dianalisis antara lain menentukan persentase pembebanan pada masing-masing trafo, ketidakseimbangan beban pada trafo, rugi-rugi daya (*losses*) akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Selanjutnya, manfaat penelitian ini adalah agar pembebanan pada trafo distribusi penyulang Mibo dapat seimbang dan sama pada setiap fasa (R, S, dan T) serta dapat mengurangi rugi-rugi daya yang terdapat pada trafo distribusi penyulang Mibo Rayon Merduati Banda Aceh.

II. METODE

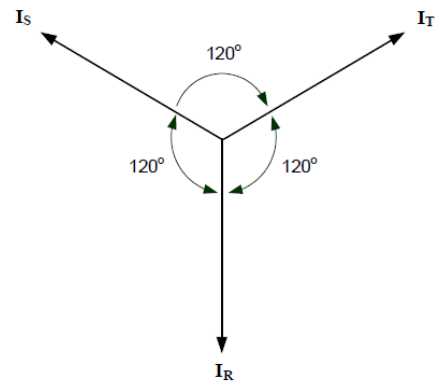
Analisa pengaruh ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi dilakukan di Gardu Hubung (GH) Merduati PT. PLN (Persero), yaitu pada penyulang Mibo Rayon Merduati Banda Aceh. Pada penelitian ini, data yang diambil antara lain data trafo MB1 04-00, MB1 05-00 dan MB1 07-00 dimana ketiga trafo tersebut memiliki daya masing-masing 100 kVA dengan tegangan primer 20 kV dan tegangan sekunder 400 V. Adapun metode yang digunakan untuk menganalisa pengaruh ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi yaitu dengan menggunakan formulasi matematis, selengkapnya ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 1. Transformator

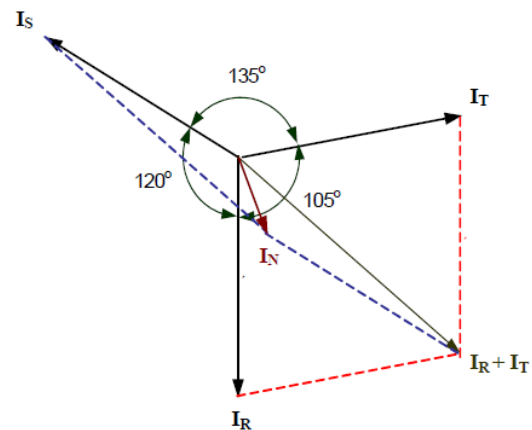
A. Ketidakseimbangan Beban

Kadaan seimbang merupakan suatu keadaan apabila ketiga vektor arus, tegangan sama besar dan ketiga vektor juga saling membentuk sudut 120° satu sama lain, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 [12][13].



Gambar 2. Diagram vektor arus keadaan seimbang

Dari Gambar 2 menunjukkan bahwa ketiga vektor arus sama dengan nol ($I_R, I_S, \text{ dan } I_T = 0$) dan tidak ada arus netral (I_N). Selanjutnya, keadaan tidak seimbang merupakan keadaan yang salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi, selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 3 berikut ini [12][13][14].



Gambar 3. Diagram vektor arus keadaan tidak seimbang

Gambar 3 menunjukkan bahwa ketiga vektor arus tidak sama dengan nol ($I_R, I_S, \text{ dan } I_T \neq 0$) dan muncul arus netral (I_N), dimana besarnya sangat tergantung terhadap besarnya sudut vektor ketidakseimbangan yang terbentuk sehingga I_N dapat dirumuskan sebagai berikut [12][13]:

$$I_N = I_R + I_S + I_T \quad (1)$$

$$I_N = I_R \angle 0^\circ + I_S \angle 120^\circ + I_T \angle 240^\circ \quad (2)$$

$$I_N = I_R(\cos 0^\circ + j \sin 0^\circ) + I_S(\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) + I_T(\cos 240^\circ + j \sin 240^\circ) \quad (3)$$

$$I_N = I_R \cos 0^\circ + j I_R \sin 0^\circ + I_S \cos 120^\circ + j I_S \sin 120^\circ + I_T \cos 240^\circ + j I_T \sin 240^\circ \quad (4)$$

B. Persentase Pembebanan Trafo

Persentase pembebanan trafo dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5) [15]:

$$I_{FL} = \frac{S_{Trafo}}{\sqrt{3}xV} \quad (5)$$

$$\% b = \frac{I_{Ph}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (6)$$

dengan:

% b = Persentase pembebanan (%)

I_{Ph} = Arus fasa IR, IS, dan IP (Amp)

I_{FL} = Arus beban penuh (Amp)

C. Ketidakseimbangan Beban pada Trafo

Ketidakseimbangan beban pada trafo dapat dihitung dengan mendapatkan nilai arus rata-rata ($I_{rata-rata}$). Persamaannya adalah sebagai berikut [16][17]:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (7)$$

Jadi, dalam keadaan seimbang besarnya arus pada semua fasa sama dengan besarnya arus rata-rata sehingga koefisien a, b, dan c adalah 1. Koefisien a, b, dan c dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (8)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \quad (9)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \quad (10)$$

Selanjutnya, nilai rata-rata ketidakseimbangan beban (KB) dalam persentase dapat dihitung dengan rumus:

$$\% KB = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (11)$$

D. Rugi-rugi Daya (Losses) Akibat Adanya Arus pada Netral Trafo

Pada sisi sekunder trafo, ketidakseimbangan beban antar fasa R, S, dan T dapat menimbulkan arus pada netral trafo yang menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya. Rugi-rugi daya pada netral trafo dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [17]:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (12)$$

$$P_{Trafo} = S_{Trafo} \cdot \cos \varphi \quad (13)$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P_{Trafo}} \times 100\% \quad (14)$$

dengan:

P_N = Rugi-rugi daya pada netral trafo (Watt)

I_N = Arus yang melalui penghantar netral (Amp)

R_N = Tahanan pada penghantar netral (Ω)

$\cos \varphi$ = Cos phi (yang digunakan sebesar 0,85)

E. Rugi-rugi Daya Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Rugi-rugi daya ini terjadi karena adanya arus netral yang mengalir atau menuju ke tanah, besarnya dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [17]:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \quad (15)$$

$$\% P_G = \frac{P_G}{P_{Trafo}} \times 100\% \quad (16)$$

dengan:

P_G = Rugi-rugi daya akibat arus netral yang menuju ke tanah (Watt)

I_G = Arus netral yang menuju ke tanah (Amp)

R_G = Tahanan pembumian netral trafo (Ω)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengukuran Ketidakseimbangan Beban

Pada tahapan ini, pengukuran ketidakseimbangan beban di penyulang Mibo Rayon Merduati dilakukan pada trafo MB1 04-00, MB1 05-00, dan MB1 07-00. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1. PENGUKURAN BEBAN PADA TRAF0

Trafo	Fasa	S (kVA)	V _{P-N} (Volt)	I (Ampere)			R _G (Ω)
				I	I _N	I _G	
MB1 04-00	R	23,426	221	106	49	20,5	2,5
	S	15,456	224	69			
	T	14,652	222	66			
MB1 05-00	R	20,025	225	89	55	20,9	2,5
	S	14,916	226	66			
	T	20,61	229	90			
MB1 07-00	R	26,332	227	116	51	30,1	2,5
	S	13,95	225	62			
	T	19,314	222	87			

Dari hasil pengukuran (Tabel 1) menunjukkan bahwa beban pada masing-masing trafo sangat berbeda-beda. Pada trafo MB1 04-00 dan MB1 07-00, beban pada fasa R paling besar apabila dibandingkan dengan beban yang ada pada fasa S dan T yaitu masing-masing 23,426 kVA dan 26,332 kVA. Selanjutnya, pada trafo MB1 05-00, beban yang paling besar terdapat pada fasa R dan T masing-masing 20,025 kVA dan 20,61 kVA sedangkan fasa S hanya 14,916 kVA. Jadi, dari ketiga trafo yang diukur menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban antar fasa pada masing-masing trafo dan menyebabkan nilai arus pada masing-masing fasa juga berbeda sehingga menimbulkan arus pada netral trafo. Pada tabel juga menunjukkan bahwa pada netral trafo memiliki arus masing-masing di penghantar netral trafo MB1 04-00 sebesar 49 A, MB1 05-00 sebesar 55 A, dan MB1 07-00 sebesar 51 A. Adapun tahanan tanah yang diukur pada masing-masing trafo didapatkan sebesar 2,8 Ω dengan arus yang mengalir menuju ke tanah pada masing-masing trafo sebesar 20,5 A, 20,9 A, dan 30,1 A.

B. Analisa Persentase Pembebanan pada Trafo

Ketiga trafo pada penyulang Mibo (MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00) masing-masing memiliki daya (S) sebesar 100 kVA, $V_{Primer} = 20$ kV, dan $V_{Sekunder} = 400$ V, maka dengan menggunakan persamaan (5) didapatkan bahwa nilai arus beban penuh (I_{FL}) sebesar 144,33 A. Setelah nilai I_{FL} diketahui dan berdasarkan data hasil pengukuran yang terdapat dalam Tabel 1, maka persentase pembebanan pada trafo MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00 dapat dianalisa dengan menggunakan persamaan (6), hasilnya adalah sebagai berikut:

1. Tarfo MB1 04-00

$$\% b = \frac{I_{Ph}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$\% bR = \frac{106 A}{144,33 A} \times 100\% = 73,44 \%$$

$$\% bS = \frac{69 A}{144,33 A} \times 100\% = 47,80 \%$$

$$\% bT = \frac{66 A}{144,33 A} \times 100\% = 45,72 \%$$

2. Tarfo MB1 05-00

$$\% b = \frac{I_{Ph}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$\% bR = \frac{89 A}{144,33 A} \times 100\% = 61,66 \%$$

$$\% bS = \frac{66 A}{144,33 A} \times 100\% = 45,72 \%$$

$$\% bT = \frac{90 A}{144,33 A} \times 100\% = 62,35 \%$$

3. Trafo MB1 07-00

$$\% b = \frac{I_{Ph}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$\% bR = \frac{116 A}{144,33 A} \times 100\% = 80,37 \%$$

$$\% bS = \frac{62 A}{144,33 A} \times 100\% = 42,95 \%$$

$$\% bT = \frac{87 A}{144,33 A} \times 100\% = 60,27 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan, maka didapatkan besarnya persentase pembebanan di masing-masing trafo (MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00) pada penyulang Mibo. Persentase pembebanan pada trafo MB1 05-00 terbesar terjadi pada fasa R sebesar 73,44 % sedangkan pada fasa S dan T persentase pembebanan relatif seimbang, yaitu masing-masing sebesar 47,80 % dan 45,72 %. Selanjutnya pada trafo MB1 05-00, persentase pembebanan pada fasa R dan T relatif sama yaitu masing-masing sebesar 61,66 % dan 62,35 % sedangkan fasa S memiliki persentase beban yang lebih rendah dibandingkan dengan persentase pembebanan fasa R dan T, yaitu hanya 45,72 %. Berbeda dengan persentase pembebanan yang terjadi pada trafo MB1 07-00 dimana persentase pembebanan pada masing-masing fasa (R, S, dan T) sangat jauh berbeda, yaitu masing-masing sebesar 80,37 %, 42,95 %, dan 60,27 %. Jadi, dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa ketiga trafo (MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00) memiliki persentase pembebanan pada setiap fasanya yang berbeda-beda sehingga membutuhkan penyeimbangan beban pada setiap fasa di masing-masing trafo tersebut agar trafonya awet dan tidak terjadi panas serta arus pada netral trafo.

C. Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Trafo

Berdasarkan data hasil pengukuran yang terdapat dalam Tabel 1, maka ketidakseimbangan beban pada trafo MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00 dapat dianalisa menggunakan persamaan (7) s.d. (11). Sebagai contoh, pada penelitian ini dilakukan analisa perhitungan ketidakseimbangan beban (*KB*) pada trafo MB1 04-00 adalah sebagai berikut:

Langkah pertama, menghitung nilai $I_{Rata-rata}$ yaitu:

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

$$I_{rata-rata} = \frac{106 + 69 + 66}{3} = 80,3 A$$

Selanjutnya, menghitung koefisien nilai a, b, dan c yang bahwa pada keadaan seimbang arus fasanya sama dengan arus rata-rata ($I_{Rata-rata}$) sebesar 80,3 A, maka koefisien a, b, dan c dapat dihitung:

$$a = \frac{I_R}{I_{Rata-rata}} = \frac{106}{80,2} = 1,32 A$$

$$b = \frac{I_S}{I_{Rata-rata}} = \frac{69}{80,2} = 0,85 A$$

$$c = \frac{I_T}{I_{Rata-rata}} = \frac{66}{80,2} = 0,82 A$$

Setelah didapatkan koefisien nilai a, b, dan c, maka persentase ketidakseimbangan beban dapat dihitung sebagai berikut:

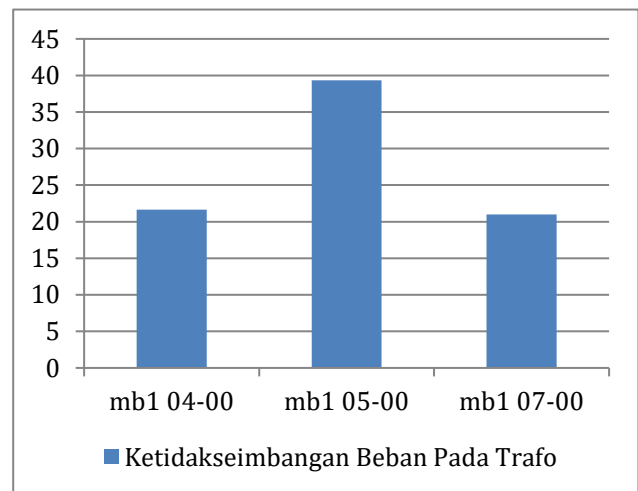
$$\% KB = \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\% KB = \frac{\{|1,32 - 1| + |0,85 - 1| + |0,82 - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$\% KB = 21,66 \%$$

Jadi, persentase ketidakseimbangan beban (*%KB*) yang terdapat pada trafo MB1 04-00 adalah sebesar 21,66 %.

Untuk persentase ketidakseimbangan beban yang terdapat pada trafo MB1 05-00 dan MB1 07-00 dapat dihitung dengan menggunakan cara yang sama seperti dilakukan pada perhitungan trafo MB1 04-00, maka didapatkan persentase ketidakseimbangan beban (*%KB*) pada trafo MB1 05-00 sebesar 39,33% dan trafo MB1 07-00 sebesar 21%, selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Persentase ketidakseimbangan beban trafo

Dari Gambar 4 menunjukkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada trafo (MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00) sangat tinggi, yaitu diatas 20%. Persentase ketidakseimbangan beban paling tinggi terjadi pada trafo MB1 05-00, yaitu sebesar 39,33%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa tingginya *%KB* pada masing-masing trafo disebabkan oleh penggunaan beban yang tidak merata oleh konsumen sehingga beban pada setiap fasa trafo menjadi tidak seimbang.

D. Analisa Rugi-rugi Daya Akibat Adanya Arus pada Netral Trafo

Diketahui nilai tahanan saluran (R_N) fasa dan netral untuk kabel 4 x 70 mm² adalah sebesar 0, 5049 Ω / km. Selanjutnya, sesuai dengan data hasil pengukuran (Tabel 1), maka analisa rugi-rugi daya akibat adanya arus netral pada netral trafo MB1 04-00 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (12) dan (14).

$$P_N = (49 A)^2 \cdot 0,5049 \Omega/km$$

$$P_N = 1212,26 Watt \approx 1,212 kW$$

Selanjutnya, diketahui kapasitas dari ketiga trafo masing-masing adalah sebesar 100 kVA dan $\text{Cos } \phi$ yang digunakan sebesar 0,85. Jadi, dengan menggunakan persamaan (13) kapasitas trafo dalam kW dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_{\text{Trafo}} = 100 \text{ kVA} \cdot 0,85 \approx 85 \text{ kW}$$

Dengan menggunakan persamaan (14), maka $\%P_N$ didapatkan dihitung:

$$\%P_N = \frac{1,212 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\% \approx 1,42\%$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka rugi-rugi daya akibat adanya arus netral pada trafo MB1 04-00 didapatkan P_N sebesar 1,212 kW dengan $\%P_N$ sebesar 1,42%. Selanjutnya dengan menggunakan metode yang sama, maka besarnya rugi-rugi daya akibat adanya arus netral pada trafo MB1 05-00 dan trafo MB1 07 selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL 2. RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ADANYA ARUS PADA NETRAL TRAF0

Trafo	R_N (Ω)	% KB	I_N (A)	P_N (kW)	P_N (%)
MB1 04-00	0,5049	21,66	49	1,212	1,42
MB1 05-00		39,33	55	1,527	1,79
MB1 07-00		21,00	51	1,313	1,54

Dari Tabel 2 menunjukkan bahwa rugi-rugi daya terbesar terjadi pada trafo MB1 05-00 yaitu sebesar 1,527 kW atau 1,79% sedangkan besarnya rugi-rugi daya pada trafo MB1 04-00 dan MB1 07-00 tidak terlalu berbeda yaitu masing-masing sebesar 1,212 kW atau 1,42% dan 1,313 kW atau 1,54%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa besarnya rugi-rugi daya akibat adanya arus pada trafo netral sangat dipengaruhi oleh besarnya arus netral (I_N) pada setiap trafo.

E. Analisa Rugi-rugi Daya Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah

Berdasarkan data hasil pengukuran pada Tabel 1, maka rugi-rugi daya akibat adanya arus netral yang mengalir ke tanah pada trafo MB1 04-00 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (15) dan (16), adalah sebagai berikut:

$$P_G = (20,5 \text{ A})^2 \cdot 2,5 \Omega$$

$$P_G = 1,050,62 \text{ Watt} \approx 1,05 \text{ kW}$$

Selanjutnya diketahui (S_{Trafo} daya trafo (MB1 04-00, MB1 05-00, MB1 07-00) masing-masing sebesar 100 kVA dengan $\text{Cos } \phi$ sebesar 0,85, maka didapatkan daya trafo dalam (P_{Trafo}) sebesar 85 kW. Jadi, persentase rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada trafo MB1 04-00 adalah:

$$\%P_G = \frac{1,05 \text{ kW}}{85 \text{ kW}} \times 100\%$$

$$\%P_G = 1,76\%$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada trafo MB1 04-00 didapatkan P_G sebesar 1,05 kW dengan $\%P_G$ sebesar 1,76%. Selanjutnya dengan menggunakan metode yang sama, maka besarnya rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada trafo MB1 05-00 dan trafo MB1 07, selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 3.

TABEL 3. RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ADANYA ARUS NETRAL YANG MENGALIR KE TANAH

Trafo	R_G (Ω)	% KB	I_G (A)	P_G (kW)	P_G (%)
MB1 04-00	2,5	21,66	20,5	1,05	1,76
MB1 05-00		39,33	20,9	1,09	1,28
MB1 07-00		21,00	30,1	2,26	2,69

Pada Tabel 3 menunjukkan bahwa rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah yang paling tinggi yaitu terjadi pada trafo MB1 07-00 sebesar 2,26 kW atau 2,69%, sedangkan rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada trafo MB1 04-00 dan MB1 05-00 relatif lebih kecil, yaitu masing-masing sebesar 1,05 kW atau 1,76% dan 1,09 kW atau 1,28%. Jadi, dapat disimpulkan bahwa efisiensi dari masing-masing trafo menjadi turun akibat arus netral yang mengalir ke tanah yang besar sehingga perlu diatur pembagian beban pada masing-masing fasa di setiap trafo.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada trafo MB1 04-00 sebesar 21,66%, pada trafo MB1 05-00 sebesar 39,33% dan pada trafo MB1 07-00 sebesar 21%. Besarnya rugi-rugi daya akibat arus yang mengalir pada trafo netral MB1 04-00 sebesar 1,42%, trafo MB1 05-00 sebesar 1,79% dan pada trafo MB1 07-00 sebesar 1,54%. Besarnya rugi-rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah pada trafo MB1 04-00 sebesar 1,76%, pada trafo MB1 05-00 sebesar 1,28% dan pada trafo MB1 07-00 sebesar 2,69%.

REFERENSI

- [1] M. Royhan, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel 2 MW," J. Electr. Power, Instrum. Control. Tek. Elektro-Universitas Pamulang, vol. 4, no. 1, pp. 45–52, 2021.
- [2] I. B. F. Citarsa, I. N. W. Satiawan, I. K. Wiriyajati, and N. M. Seniari, "Catu Daya Listrik Bertenaga Baterai Untuk Cadangan Sumber Tenaga Listrik Di Perumahan Kodya Asri Mataram," vol. 3, no. 1, 2021.
- [3] I. K. Okada, I. Arsyad, and Z. Abidin, "Penghematan Penggunaan Energi Listrik Menggunakan Metode Peak Clipping, Load Shifting dan Strategic Conservation Sektor Rumah Tangga di Kota Pontianak," J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2022.
- [4] Muliadi and Aswijar Jamal, "Analisa Keandalan Sistem Distribusi Berdasarkan Indeks SAIFI, SAIDI, dan CAIDI Pada Penyulang Suak Ribee ULP. Meulaboh Kota," Ajeetech, vol. 2, no. 1, pp. 14–18, 2022.
- [5] M. Patilima, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses dan Pembebanan Transformator Distribusi," J. Electr., vol. 11, no. 01, pp. 20–28, 2022.
- [6] D. Kv. S. Rachman, I. Maududy, S. H. Wibowo, and B. Suriyansyah, "Simulasi Media Pembelajaran SCADA Monitoring Kendali Jaringan Spindel Distribusi 20 kV," J. POROS Tek., vol. 13, no. 2, pp. 84–90, 2021.
- [7] M. H. Mulyawan, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi ULP Panakkukang," Universitas Muhammadiyah Makasar, 2021.
- [8] J. Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi 200 kVA," J. Tek. Elektro, vol. 7, no. 2, pp. 59–63, 2008.
- [9] D. PARDI, "Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban Pada Feeder 1 Gardu Induk Wirobrajan," Electrices, vol. 3, no. 1, pp. 7–13, 2021.
- [10] M. Nafi, "Studi Pengamanan Transformator Daya 8000 kVA Dari Gangguan Arus Lebih Pada PT PLN (Persero) ULPLTD Lueng Bata," vol. 2, pp. 5–9, 2022.
- [11] Z. Aini, E. Mutari, L. Liliana, and O. Candra, "Analysis of Imbalance Loads and Losses Based on The Largest Loading by 3 Units of 3 Phase Distribution Transformer," JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional), vol. 7, no. 1, p. 69, 2021.
- [12] A. D. Tambunan and R. Salman, "Analisis Rugi-Rugi Daya Akibat Adanya Arus Pada Titik Netral Transformator Distribusi Di Jaringan Distribusi 20 KV-PT. PLN (Persero) UP3 Medan," J. Eng. Dev., vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2021.
- [13] I. G. Budiya, I. W. A. Wijaya, and T. G. I. Partha, "Rugi – Rugi Daya Akibat Pengaruh Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Efektifitas Penggunaan Daya Terpasang," Spektrum, vol. 8, no. 1, pp. 260–267, 2021.

- [14] M. S. Djalil and Suratno, "Analisis Akibat Ketidakseimbangan Beban dan Losses Daya Pada Penghantar Netral Gardu Induk Kota Bangun," *JTE UNIBA*, vol. 5, no. 2, pp. 130–136, 2021.
- [15] S. Syukri, T. M. Asyadi, M. Muliadi, and F. Moesnadi, "Analisa Pembebanan Transformator Distribusi 20 kV Pada Penyulang LS5 Gardu LSA 249," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 202–206, 2022.
- [16] Rusliadi Rusliadi, Yulianto La Elo, and Naomi Lembang, "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Bambang Djaja ULP Fakfak," *Jural Ris. Rumpun Ilmu Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 7–9, 2022.
- [17] A. Y. Dewi, A. Effendi, and F. M. Syafar, "Analisis Terjadinya Arus Netral Pada Trafo Distribusi 160 kVA," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2021.