

Minimalisasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Terhadap Arus Netral Di PT. PLN (Persero) ULP Sentani Penyulang Matoa

Dultudes Mangopo

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Jayapura

Korespondensi penulis: elektro_doel@yahoo.com

Ekawati Margaretha Ohee

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Cenderawasih, Jayapura

Abstract. *The load unbalances of a three-phase system is a familiar problem for researchers and technicians of electric power systems. As a result, it can lead to power losses in the distribution network. As power distribution systems continue to grow in size and complexity, minimizing power losses can result in substantial savings for power providers. The purpose of the study was to determine the percentage of transformer loading, and transformer load unbalance, and to minimize transformer power losses. The research method is primary and secondary data collectors on 250 kVA distribution transformer and 100 kVA feeder Matoa Sentani. Based on the results of the analysis, the highest percentage of loading on the STN-052 transformer was 76.67% LWBP and 31.87% WBP, while the largest imbalance was in the STN-051 transformer at 13.13% LWBP and 34.11% WBP. The amount of power loss after load balancing is very significant, occurs in the STN-051 transformer of 1,085.12 Watt LWBP and 189.92 Watt WBP, while the STN-052 transformer experiences a decrease in a power loss of 488.43 Watt LWBP and 127.17 Watt WBP.*

Keywords: *Load Unbalance, Power Loss, Load Balancing*

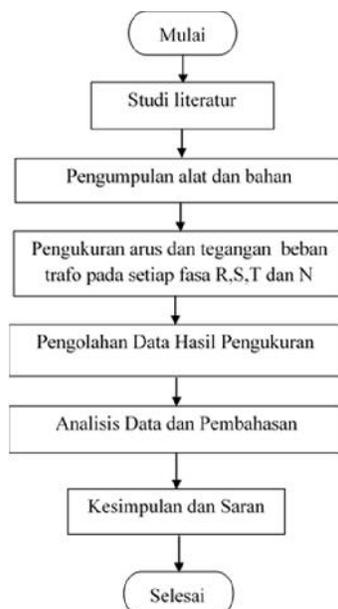
Abstrak. Ketidakseimbangan beban sistem tiga fasa adalah permasalahan yang tidak asing lagi bagi peneliti dan teknisi sistem tenaga listrik. Akibatnya dapat menimbulkan adanya susut daya pada jaringan distribusi. Seiring sistem distribusi tenaga listrik yang terus tumbuh dalam ukuran dan kompleksitas, minimalisasi susut daya dapat menghasilkan penghematan yang besar bagi penyedia tenaga listrik. Tujuan penelitian adalah menentukan persentase pembebanan transformator, ketidakseimbangan beban trafo, serta minimalisasi susut daya trafo. Metode penelitian adalah pengambilan data primer dan sekunder pada trafo distribusi 250 kVA dan 100 kVA penyulang Matoa Sentani. Berdasarkan hasil analisis persentase pembebanan tertinggi pada trafo STN-052 sebesar 76,67% LWBP dan 31,87% WBP sedangkan ketidakseimbangan terbesar pada trafo STN-051 sebesar 13,13 % LWBP dan 34,11% WBP. Besarnya susut daya setelah penyeimbangan beban menurun secara signifikan pada trafo STN-051 sebesar 1.085,12 Watt LWBP dan 189,92 Watt WBP sedang pada trafo STN-052 mengalami penurunan susut daya sebesar 488,43 Watt LWBP dan 127,17 Watt WBP.

Kata Kunci: Ketidakseimbangan Beban, Susut Daya, Penyeimbangan Beban

LATAR BELAKANG

Ketidakseimbangan beban sistem tiga fasa adalah permasalahan yang tidak asing lagi bagi peneliti dan teknisi sistem tenaga listrik. Akibat dari beban tidak seimbang dapat menimbulkan adanya susut daya (*losses*) pada jaringan distribusi pada keadaan sebenarnya. Hal tersebut juga dapat membatasi kemampuan pembebanan trafo distribusi, jauh di bawah nilai nominalnya (Bina & A. Kashefi, 2011). Seiring dengan sistem distribusi tenaga listrik yang terus tumbuh dalam ukuran dan kompleksitas, minimalisasi/pengurangan susut daya dapat menghasilkan penghematan yang cukup besar bagi penyedia tenaga listrik. Manfaat lain dari pengurangan susut daya (*losses*) yaitu mencakup kapasitas sistem yang dihasilkan, dan kemungkinan penanguhan pengeluaran barang modal untuk perbaikan dan perluasan sistem itu sendiri (Al-Badi, et all, 2011). Seiring bertambahnya jumlah pelanggan PLN tidak sama di setiap fasanya, begitupun juga jika terjadi putusnya langganan pengguna energi listrik dari PLN, maka akan ada perbedaan di setiap fasanya yang menyebabkan mengalirnya arus netral di transformator. Arus yang mengalir di netral transformator ini menyebabkan terjadinya susut daya (*losses*). Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan penyeimbangan beban pada transformator distribusi dengan cara pemerataan pembebanan transformator.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Data Spesifikasi Trafo Distribusi STN-051 dan STN-052 Penyulang Mataoa

- Daya : 250 kVA & 100 kVA
- Tegangan kerja : 400 Volt
- Vektor group : DYN-5
- Impedansi : 4%
- Trafo : 3 (tiga) Phasa

b. Data Pembebanan Trafo STN-051 dan STN-052 Waktu LWBP dan WBP

Tabel 1. Data pembebanan trafo STN-051 dan STN-052 pada LWBP

No.Gardu	IR (A)	IS (A)	IT(A)	IN (A)
STN051	117	158	121	62
STN052	132	110	90	36

Tabel 2. Data pembebanan trafo STN-051 dan STN-052 pada WBP

No.Gardu	IR (A)	IS (A)	IT(A)	IN (A)
STN051	65	32	32	32
STN052	50	49	45	24

c. Analisa Pembebanan Trafo Distribusi Sebelum Penyeimbangan Beban

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo distribusi 250 kVA STN-051 dan 100 kVA STN-052 maka terlebih dahulu dihitung besarnya arus beban penuh sebagai berikut:

$$S = 250 \text{ kVA} ; V_{L-L} = 400 \text{ V} ; I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 400} = 360,83 \text{ A}$$

Arus rata rata LWBP dan WBP :

$$I_{rata-rata} \text{ (LWBP)} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{117+158+121}{3} = 132,00 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata} \text{ (WBP)} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{65+32+32}{3} = 43,00 \text{ A}$$

Presentase pembebanan trafo saat LWBP dan WBP :

$$\text{Presentase beban trafo (LWBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{IFL} \times 100\% = \frac{132,00}{360,83} \times 100\% = 36,58 \%$$

$$\text{Presentase beban trafo (WBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{IFL} \times 100\% = \frac{43,00}{360,83} \times 100\% = 11,91 \%$$

$$S = 100 \text{ KVA} ; V_{L-L} = 400 \text{ V} ; I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 400} = 144,338 \text{ A}$$

Arus rata rata LWBP dan WBP :

$$I_{\text{rata-rata}} (\text{LWBP}) = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{132+110+90}{3} = 110,67 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata}} (\text{WBP}) = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{50+49+39}{3} = 46,00 \text{ A}$$

Presentase pembebanan trafo LWBP dan WBP :

$$\text{Presentase beban trafo (LWBP)} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{IFL} \times 100\% = \frac{110,67}{144,338} \times 100\% = 76,67 \%$$

$$\text{Presentase beban trafo (WBP)} = \frac{I_{\text{rata-rata}}}{IFL} \times 100\% = \frac{46,00}{144,338} \times 100\% = 31,87 \%$$

d. Analisa Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 250 kVA STN-051

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, maka besarnya arus fasa (I) dalam keadaan seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{\text{rata-rata}}$), sehingga besarnya ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

Pada LWBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{117}{132} = 0,88$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{32}{43} = 0,744$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{32}{43} = 0,744$$

Pada WBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{65}{43} = 1,512$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{158}{132} = 1,19$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{121}{132} = 0,91$$

Berdasarkan perhitungan di atas, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada LWBP dan WBP dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100 \\ &= \frac{\{|0,886-1|+|1,197-1|+|0,917-1|\}}{3} \times 100\% = 13,13\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,512-1|+|0,744-1|+|0,744-1|\}}{3} \times 100\% = 34,11\% \end{aligned}$$

e. Analisa Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 100 kVA STN-052

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, maka besarnya arus fasa (I) dalam keadaan seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{\text{rata-rata}}$), sehingga besarnya ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

Pada LWBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{132}{110,67} = 1,19$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{110}{110,67} = 0,99$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{90}{110,67} = 0,81$$

Pada WBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{50}{46} = 1,087$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{49}{46} = 1,065$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{39}{46} = 0,848$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada LWBP dan WBP dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,193-1|+|0,994-1|+|0,813-1|\}}{3} \times 100\% = 11,85\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,087-1|+|1,065-1|+|0,848-1|\}}{3} \times 100\% = 10,14\% \end{aligned}$$

Tabel. 3 Persentase Pembebanan dan Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi Sebelum Penyeimbangan Beban

Trafo	Waktu	Persentase Pembebanan (%)	Ketidakeimbangan (%)
STN-051	LWBP	36,58	13,13
	WBP	11,91	34,11
STN-052	LWBP	76,67	11,65
	WBP	31,87	10,14

f. Analisis Susut Daya Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Arus Netral yang Mengalir Ke Tanah Pada Trafo Distribusi 250 kVA STN-051

Untuk menghitung besarnya susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dengan tahanan $R = 0,53$ dan $\cos \phi = 0,85$ adalah sebagai berikut :

Pada LWBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (62)^2 \times 0,53 = 2229,52 \text{ Watt } \quad 2,229 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 250 \text{ kVA} \times 0,85 = 212,5 \text{ kW } \quad 212500 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{2229,52}{212500} \times 100\% = 1,049 \%$$

Pada WBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (32)^2 \times 0,53 = 593,92 \text{ Watt } \quad 0,593 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 250 \text{ kVA} \times 0,8 = 212,5 \text{ kW} \quad 212500 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100 = \frac{593,92}{212500} \times 100\% = 0,279 \%$$

g. Analisis Susut Daya Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Arus Netral yang Mengalir Ke Tanah Pada Trafo Distribusi 100 kVA STN-052

Untuk menghitung besarnya susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dengan tahanan $R = 0,45$ dan $\cos \phi = 0,85$ adalah sebagai berikut :

Pada LWBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (36)^2 \times 0,45 = 583,2 \text{ Watt} \quad 0,583 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 100 \text{ kVA} \times 0,85 = 85 \text{ kW} \quad 85000 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{583,2}{85000} \times 100\% = 0,686 \%$$

Pada WBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (27)^2 \times 0,45 = 328,05 \text{ Watt} \quad 0,328 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 100 \text{ kVA} \times 0,85 = 85 \text{ kW} \quad 85000 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{328,05}{85000} \times 100\% = 0,386 \%$$

h. Analisa Pembebanan Trafo Distribusi Setelah Penyeimbangan Beban

Tabel 4. Data pembebanan trafo STN-051 dan STN-052 pada LWBP

No.Gardu	IR (A)	IS (A)	IT(A)	IN (A)
STN051	132	134	131	46
STN052	112	112	108	21

Tabel 5. Data pembebanan trafo STN-051 dan STN-052 pada LWBP

No.Gardu	IR (A)	IS (A)	IT(A)	IN (A)
STN051	45	44	42	28
STN052	44	43	45	24

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo distribusi 250 kVA STN-051 dan 100 kVA STN-052 maka terlebih dahulu dihitung besarnya arus beban penuh sebagai berikut:

$$S = 250 \text{ kVA} ; V_{L-L} = 400 \text{ V} ; I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{250.000}{\sqrt{3} \times 400} = 360,83 \text{ A}$$

Arus rata rata LWBP dan WBP :

$$I_{rata-rata} (LWBP) = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{132+134+131}{3} = 132,33 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata} (WBP) = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{45+44+42}{3} = 43,67 \text{ A}$$

Persentase pembebanan trafo LWBP dan WBP :

$$\text{Persentase beban trafo (LWBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{132,33}{360,83} \times 100\% = 36,67 \%$$

$$\text{Persentase beban trafo (WBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{43,67}{360,83} \times 100\% = 12,1\%$$

$$S = 100 \text{ KVA} ; V_{L-L} = 400 \text{ V} ; I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 400} = 144,338 \text{ A}$$

Arus rata rata LWBP dan WBP :

$$I_{rata-rata} (LWBP) = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{112+112+108}{3} = 110,67 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata} (WBP) = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{44+43+45}{3} = 44,00 \text{ A}$$

Persentase beban trafo LWBP dan WBP :

$$\text{Persentase beban trafo (LWBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{110,67}{144,338} \times 100\% = 76,67 \%$$

$$\text{Persentase beban trafo (WBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{44,00}{144,338} \times 100\% = 30,48 \%$$

i. Analisa Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi 250 kVA STN-051

Setelah Penyeimbangan Beban

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, maka besarnya arus fasa (I) dalam keadaan seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$), sehingga besarnya ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

Pada WLBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{132}{132,33} = 0,997$$

1,031

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{134}{132,33} = 1,013$$

1,008

Pada WLBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{45}{43,67} =$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{44}{43,67} =$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{131}{132,33} = 0,990 \quad I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{42}{43,67} = 0,962$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada LWBP dan WBP dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,997-1|+|1,013-1|+|0,990-1|\}}{3} \times 100\% = 0,84\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|-|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,031-1|+|1,008-1|+|0,962-1|\}}{3} \times 100\% = 2,54\% \end{aligned}$$

j. Analisa Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 100 kVA STN-052 Setelah Penyeimbangan Beban

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, maka besarnya arus fasa (I) dalam keadaan seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata ($I_{rata-rata}$), sehingga besarnya ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

Pada WLBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{132}{110,67} = 1,012$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{110}{110,67} = 0,977$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{90}{110,67} = 0,976$$

Pada WLBP :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{50}{46} = 1,087$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{49}{46} = 1,065$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{39}{46} = 0,848$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada LWBP dan WBP dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|-|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,012-1|+|1,012-1|+|0,976-1|\}}{3} \times 100\% = 1,61\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan (\%)} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|1,000-1|+|0,977-1|+|1,023-1|\}}{3} \times 100\% = 1,52\% \end{aligned}$$

Tabel 6. Persentase Pembebanan dan Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi Setelah Penyeimbangan Beban

Trafo	Waktu	Persentase Pembebanan (%)	Ketidakseimbangan (%)
STN-051	LWBP	36,67	0,84
	WBP	12,10	2,54
STN-052	LWBP	76,67	1,61
	WBP	30,48	1,52

Tabel 7. Perbandingan Persentase Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi Sebelum dan Setelah Penyeimbangan Beban

Trafo	Waktu	Persentase Ketidakseimbangan Beban (%)		
		Sebelum Penyeimbangan Beban	Sesudah Penyeimbangan Beban	Minimalisasi
STN-051	LWBP	13.13	0.84	12.29
	WBP	34.11	2.54	31.57
STN-052	LWBP	11.65	1.61	10.04
	WBP	10.14	1.52	8.62

k. Analisis Susut Daya Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Arus Netral yang Mengalir Ke Tanah Pada Trafo Distribusi 250 kVA STN-051

Untuk menghitung besarnya susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dengan tahanan $R = 0,53$ dan $\cos \phi = 0,85$ adalah sebagai berikut :

Pada LWBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (46)^2 \times 0,53 = 952,2 \text{ Watt} \quad 0,952 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 250 \text{ kVA} \times 0,85 = 212,5 \text{ kW} \quad 212500 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{952,2}{212500} \times 100\% = 0,045 \%$$

Pada WBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (28)^2 \times 0,53 = 352,8 \text{ Watt} \quad 0,353 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 250 \text{ kVA} \times 0,85 = 212,5 \text{ kW} \quad 212500 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{352,8}{212500} \times 100\% = 0,166 \%$$

I. Analisa Susut Daya Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Arus Netral yang Mengalir Ke Tanah Trafo Distribusi 100 kVA STN-052

Untuk menghitung besarnya susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dengan tahanan $R = 0,45$ dan $\cos \phi = 0,85$ adalah sebagai berikut :

Pada LWBP :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (21)^2 \times 0,45 = 198,45 \text{ Watt} \quad 0,1985 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 100 \text{ kVA} \times 0,85 = 85 \text{ kW} \quad 85000 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{198,45}{85000} \times 100\% = 0,233 \%$$

Pada WBP

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (24)^2 \times 0,45 = 259,2 \text{ Watt} \quad 0,259 \text{ kW}$$

Untuk menghitung persentase susut daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah sebagai berikut :

$$P = S \times \cos \phi = 100 \text{ kVA} \times 0,85 = 85 \text{ kW} \quad 85000 \text{ Watt}$$

$$\% P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{259,2}{85000} \times 100\% = 0,305 \%$$

Dari hasil perhitungan besar susut daya transformator distribusi sebelum dan setelah penyeimbangan beban dapat dilihat pada tabel 8 sebagai berikut :

Tabel 8. Besar Susut Daya Pada Transformator Distribusi STN-051 dan STN-052

Trafo	Waktu	Susut Daya (Watt)		
		Sebelum Penyeimbangan Beban	Setelah Penyeimbangan Beban	Minimalisasi
STN-051	LWBP	2037.32	952.20	1,085.12
	WBP	542.72	352.80	189.92
STN-052	LWBP	686.88	198.45	488.43
	WBP	386.37	259.20	127.17

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data di atas maka dapat di ambil beberapa kesimpulan :

- Persentase pembebanan paling tinggi terjadi pada transformator STN-052 dengan persentase pembebanan 76,67% pada LWBP dan 31,87% pada WBP sedangkan ketidakseimbangan paling besar terjadi pada transformator STN-051 dengan persentase ketidakseimbangan 13,13% pada LWBP dan 34,11% pada WBP.
- Semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral transformator distribusi (I_N) maka semakin besar pula susut daya pada penghantar netral transformator.

- c. Besarnya susut daya setelah penyeimbangan beban adalah menurun secara signifikan dimana minimalisasi susut daya pada masing-masing transformator distribusi yaitu transformator STN-051 sebesar 1.085,12 Watt dan 189,92 Watt pada LWBP dan WBP sedangkan transformator STN-052 minimalisasi susut daya setelah penyeimbangan beban sebesar 488,43 Watt dan 127,17 Watt waktu LWBP dan WBP.

DAFTAR REFERENSI

- Abdul Kadir, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta: UI - Press, 2000.
- Al-Badi, A., A. Elmoudi, I. M., Al-Wahaibi, A., Al-Ajmi, H., & Al-Belushi, M. Losses Reduction in Distribution Transformers. *International Multi-Conference of Engineers and Computer Sciences*, 2011
- Ariyen Duri, Riana T. Mangesa, Udin Sidin Sidik (Tanpa Tahun), Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) ULP Sungguminasa. Prodi JPTE-FT UNM1, Dosen Prodi JPTE-FT UNM2,3
- Bina, M., & A. Kashefi, Three-phase Unbalance of Distribution Systems: Complementary. Analysis and Experimental Case Study. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 2011
- Dahlan Moh, Akibat ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada transformator distribusi. Moh. Dahlan 1 ISSN : 1979-6870, 2012
- Gamma Ayu Kartika Sari, Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) Rayon Blora Program Studi Teknik Elektro Fak Teknik Elektro UNS 2018
- Hamles Leonardo Latupeirissa, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Gardu KP-01 Desa Hative Kecil. Jurnal Simetrik Vol 7, No. 2, Desember 2017 Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ambon, 2017
- Julius Sentosa Setiadji1, Tabrani Machmudsyah, Yanuar Isnanto, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No. 1, Maret 2006: 68 - 7368 FTI TE UK Petra, 2006
- Markus Dwiyanto Tobi Sogen, Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi Di PT.PLN (Persero) Area Sorong. Jurnal Electro Luceat Vol. 4 No. 1 Juli 2018 Politeknik Katolik Saint Paul Sorong, 2018
- Ruliyanto, Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus *Ground* pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat. Program Studi Teknik Elektro Universitas Nasional, Jakarta, 2020