

# Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Terhadap Arus Netral Di PT. PLN (Persero) ULP Abepura Penyulang Melati

Dultudes Mangopo<sup>1</sup>, Ekawati Margaretha Ohee<sup>2</sup>, Rosalina Revassy<sup>3</sup>, Aris Sampe<sup>4</sup>, Luther Pagiling<sup>5</sup>, Yuni Aryani Koedoes<sup>6</sup>  
<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Cenderawasih, <sup>5,6</sup> Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo

Email: [elektro\\_doel@yahoo.com](mailto:elektro_doel@yahoo.com), [luther.pagiling@uho.ac.id](mailto:luther.pagiling@uho.ac.id), [yunikoedoes1@gmail.com](mailto:yunikoedoes1@gmail.com)

Correspondent Author : [elektro\\_doel@yahoo.com](mailto:elektro_doel@yahoo.com)

**Abstract** — One of the consequences of load imbalance is the flow of current in the neutral wire. The current flowing on the neutral wire will cause heat, so indirectly, the consequences of load imbalance contribute to losses for PLN as a producer of electricity. The purpose of this study is to the percentage of transformer load imbalance, the percentage of losses due to neutral current in the transformer neutral conductor. The method used in this research is collecting distribution transformer load data on the Melati extent. From the results of the data analysis, it is obtained that the largest percentage of load imbalance occurs in transformer AB-225 with a loading percentage of 64.95% LWBP and 65.74% WBP. Based on the results of the analysis the total percentage of losses due to the neutral current on the neutral conductor of the transformer is 7.89% and 9.76% LWBP and WBP, respectively.

**Keywords** — Distribution transformer, neutral current, load imbalance, transformer losses

**Abstrak** — Salah satu akibat ketidakseimbangan beban adalah mengalirnya arus pada kawat netral. Arus yang mengalir pada kawat netral ini akan menyebabkan panas, sehingga secara tidak langsung akibat dari ketidakseimbangan beban ikut menyumbang kerugian bagi pihak PLN selaku produsen listrik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan beban trafo, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pengumpulan data beban trafo distribusi pada penyulang Melati. Dari hasil analisis data maka didapatkan persentase ketidakseimbangan beban terbesar terjadi pada transformator AB-225 dengan persentase pembebanan 64,95% LWBP dan 65,74% WBP. Berdasarkan hasil analisis total persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah 7,89% dan 9,76% LWBP dan WBP.

**Kata Kunci** — Trafo distribusi, arus netral, ketidakseimbangan beban, Losses trafo

## I. PENDAHULUAN

Ketidakeimbangan beban sistem tiga fasa adalah topik yang tidak asing lagi bagi peneliti dan teknisi sistem tenaga listrik. Akibat dari beban tidak seimbang dapat menimbulkan adanya rugi-rugi (*losses*) daya pada jaringan distribusi pada keadaan sebenarnya. Hal tersebut juga bisa membatasi kemampuan pemuatan trafo distribusi, jauh dibawah nilai nominalnya. Seiring sistem distribusi tenaga listrik yang terus tumbuh dalam ukuran dan kompleksitas,

mengurangi *losses* dapat menghasilkan penghematan yang besar bagi penyedia tenaga listrik. Manfaat lain dari pengurangan *losses* mencakup kapasitas sistem yang dihasilkan, dan kemungkinan penangguhan pengeluaran barang modal untuk perbaikan dan perluasan sistem itu sendiri. Seiring bertambahnya jumlah pelanggan PLN tidak sama disetiap 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. Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui persentase pembebanan trafo, persentase ketidakseimbangan beban trafo, *losses* dan persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Transformator

Transformator adalah merupakan suatu alat magnetoelektrik yang sederhana, handal, dan efisien untuk mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain. Pada umumnya terdiri atas sebuah inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan itu. Biasanya kumparan terbuat dari kawat tembaga yang dibelit seputar 'kaki' inti transformator.

### B. Transformator Distribusi

Transformator distribusi merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator *step-down* 20 kV/400V. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat di atas 380V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil

dari 380 V. Pada kumparan primer akan mengalir arus jika kumparan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks =  $\Phi$ ). Rugi - rugi dan efisiensi transformator

*c. Rugi – Rugi Transformator*

Rugi -rugi pada transformator ada 2 macam yaitu rugi tembaga ( $P_{cu}$ ) dan rugi besi( $P_i$ ) , dimana rugi besi sendiri terdiri atas rugi histerisis dan rugi arus eddy.

Rugi Tembaga ( $P_{cu}$ ) adalah rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kawat tembaga. Besarannya adalah :

$$P_{cu} = I^2 \cdot R \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana :

- $I_{cu}$  = rugi tembaga (Watt)
- $I$  = arus beban yang mengalir pada kawat tembaga (Ampere)
- $R$  = tahanan kawat tembaga ( $\Omega$ )

Rugi Besi ( $P_i$ ) terdiri atas rugi histeris ( $P_h$ ) yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi. Besarannya rugi histeris berbanding dengan luas histeris *loop* atau dinyatakan sebagai berikut :

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_m^N \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana :

- $P_h$  = rugi histerisis (watt)
- $B_m$  = fluks density maksimum (T)
- $K_h$  = konstanta histerisis
- $f$  = frekuensi (Hz)
- $n$  = koefisien Steinmetz di dapat dari data eksperimen, besarnya antara 1,6 – 2,0 .

Rugi Arus Eddy ( $P_e$  ) , yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

$$P_e = K_e^2 \cdot f^2 \cdot B_m \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

- $P_e$  = rugi arus eddy (watt)
- $K_e$  = konstanta

Jadi , rugi besi (rugi inti)  $P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots (2.4)$

*C. Perhitungan Arus Beban Penuh*

Daya kerja pada transformator menandakan kapasitas transformator tersebut. Karena sudah diketahui rating tegangan pada sisi primer dan sekunder, maka berdasarkan persamaan 1 dapat dihitung arus beban penuh pada sisi primer dan sekunder.

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

- $S$  = daya transformator (kVA)
- $V$  = tegangan sisi primer transformator (kV)
- $I$  = arus jala-jala (A)

Dengan demikian , untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots\dots\dots (2.6)$$

dimana :

- $I_{FL}$  = arus beban penuh (A)
- $S$  = daya transformator (kVA)
- $V$  = tegangan sisi sekunder transformator (kV)

*D. Ketidakseimbangan Beban*

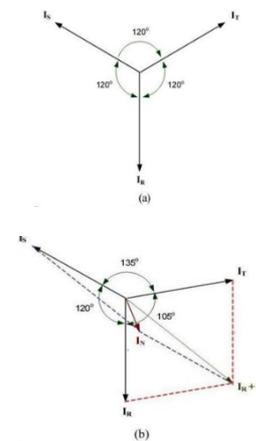
Ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut.

Tiap-tiap fasa transformator dinyatakan dengan 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 masing- masing berbeda fasa  $120^\circ$

Sebaliknya, apabila salah satu atau kedua syarat diatas tidak terpenuhi, maka bisa dikatakan bahwa trafo tersebut mengalami keadaan tidak seimbang. Dilihat dari vektornya, ada beberapa hal yang terjadi apabila transformator mengalami keadaan tidak seimbang :

- a. Vektor arus pada fasa R, S, dan T mempunyai nilai yang sama besar tetapi sudut antar fasa satu dengan yang lain tidak membentuk  $120^\circ$
- b. Sudut pada vektor antar fasa sebenarnya sudah membentuk  $120^\circ$  namun nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan
- c. Nilai vektor pada fasa R, S, dan T terdapat perbedaan sekaligus sudut pada vektor antar fasa tidak membentuk  $120^\circ$



Gambar 1. (a) Vektor diagram arus dalam keadaan seimbang dan (b) Vektor diagram arus yang tidak seimbang

Gambar 1. (a) menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R, I_S,$  dan  $I_T$ ) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral ( $I_N$ ). Sedangkan pada Gambar 1. (b) menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor

arusnya ( $I_R$ ,  $I_S$ , dan  $I_T$ ) tidak sama dengan nol, sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya tergantung dari berapa besar faktor ketidakseimbangannya. Untuk menghitung ketidakseimbangan beban dapat digunakan persamaan :

$$I_{\text{Rata-rata}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a,b, dan c diperoleh dengan :

$$a = \frac{I_R}{I} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$b = \frac{I_S}{I} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$c = \frac{I_T}{I} \dots\dots\dots (2.10)$$

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

$$= \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100 \dots\dots\dots (2.11)$$

**E. Losses Pada Penghantar Netral**

Bila arus listrik yang mengalir ke fasa R, S, T tidak seimbang maka yang terjadi arus akan mengalir ke ground sehingga menyebabkan adanya hambatan di ground menjadi besar. (maksimal  $5\Omega$ ) Adanya arus yang mengalir di hantaran netral, idealnya arus yang mengalir disepanjang hantaran netral adalah nol tetapi karena pengaruh dari beban yang tidak seimbang maka hantaran netral akan berarus sehingga arus yang melalui hantaran ini sebagian berubah menjadi panas yang didisipasikan ke lingkungan sekitar sebagai *losses*. *Losses* (rugi-rugi) akibat adanya arus netral pada penghantar netral transformator. Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \times R_N \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana :

$P_N$  : *Losses* pada penghantar netral (W)

$I_N$  : Arus pada penghantar netral (A)

$R_N$  : Tahanan pada penghantar netral ( $\Omega$ )

Sedangkan *losses* yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*) dapat dihitung perumusan sebagai berikut:

$$P_G = I_G^2 \times R_G \dots\dots\dots (2.13)$$

dimana :

$P_G$  : *Losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (Watt)

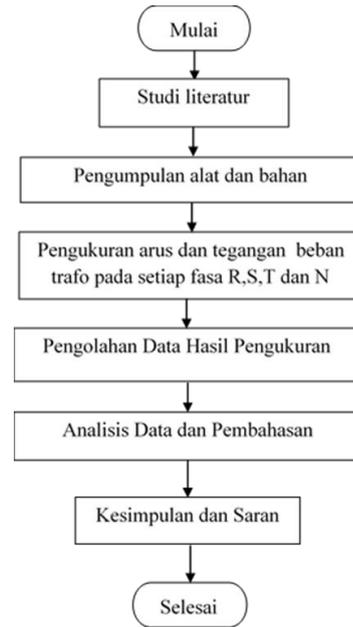
$I_N$  : Arus netral yang mengalir ke tanah (A)

$R_N$  : Tahanan pembumian netral trafo ( $\Omega$ )

**III. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini dilakukan di PT.PLN (Persero) ULP Abepura Jayapura. Data-data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah :

- 1) Single line diagram pada penyulang Melati
- 2) Data pembebanan trafo pada penyulang Melati
- 3) Data daya terpasang pada transformator
- 4) Data spesifikasi transformator pada penyulang Melati
- 5) Data pengukuran tahanan pentanahan transformator



Gambar 2. Diagram alir penelitian

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Data Hasil Pengukuran Beban Transformator Penyulang Melati**

Tabel 4.1 Data Hasil Pengukuran Pembebanan Trafo Penyulang Melati Pada Saat LWBP dan WBP

No Gardu	Jam Ukur	Waktu	Daya (kVA)	Arus (Ampere)				Tegangan (Volt)		
				R	S	T	N	R	S	T
AB-012	09:20	LWBP	315	199,1	321,5	311,5	116,5	116,7	368	369
	18:23	WBP		200,7	288,9	248,7	88,8	88,8	371	372
AB-014	09:25	LWBP	100	115,0	162,1	145,2	65,6	65,6	392	391
	18:27	WBP		131,7	170,4	194,6	88,3	88,3	391	392
AB-059	09:42	LWBP	100	70,7	57,93	78,4	11,47	11,47	419	420
	18:50	WBP		11,21	26,87	19,31	6,58	6,58	424	423
AB-087	09:50	LWBP	100	92,7	81,1	70,6	32,79	32,79	372	372
	18:33	WBP		78,0	92,7	73,0	46,49	46,49	372	371
AB-169	09:10	LWBP	100	50,82	112,5	52,10	53,36	53,36	407	404
	18:14	WBP		54,76	121,5	58,13	56,54	56,54	409	406
AB-178	09:59	LWBP	100	49,14	24,85	30,95	23,31	23,31	403	409
	18:56	WBP		20,70	23,84	70,05	9,00	9,00	403	410
AB-225	09:36	LWBP	25	7,73	7,95	0,136	7,92	7,92	413	414
	18:45	WBP		8,09	10,16	0,131	8,75	9,75	412	412
AB-310	09:32	LWBP	100	21,72	17,95	17,51	7,84	7,84	411	411
	18:40	WBP		40,33	49,04	38,68	12,05	12,05	413	412
AB-319	10:03	LWBP	100	93,6	66,8	97,5	34,40	34,40	386	389
	19:00	WBP		139,3	86,8	82,3	50,16	50,16	388	389
AB-364	09:09	LWBP	200	9,76	30,76	17,78	19,06	19,06	415	414
	18:11	WBP		46,08	42,58	36,18	24,44	24,44	412	414
AB-415	09:16	LWBP	100	48,63	41,56	28,40	26,55	26,55	399	399
	18:20	WBP		14,47	13,01	29,93	15,37	15,37	403	401
AB-416	09:55	LWBP	100	0,512	0,120	0,263	0,674	0,674	405	406
	18:36	WBP		1,168	1,710	0,261	2,251	2,251	406	404

**B. Menentukan Arus Beban Penuh Trafo Distribusi Penyulang Melati**

Untuk menentukan besarnya persentase pembebanan trafo pada Gardu AB-012 dengan kapasitas daya terpasang 315 kVA, maka harus dihitung besarnya arus beban penuh adalah

$$S = 315 \text{ kVA} ; V_{L-L} = 400 \text{ V}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{315.000}{\sqrt{3} \times 400} = 454,663 \text{ A}$$

Tabel 4.2 Perhitungan Arus Beban Penuh

No	No.Gardu	Daya Terpasang	Tegangan Sekunder	Arus Beban Penuh
		(kVA)	(V)	(A)
1	AB-012	315	400	454.663
2	AB-014	100	400	144.338
3	AB-059	100	400	144.338
4	AB-087	100	400	144.338
5	AB-169	100	400	144.338
6	AB-178	100	400	144.338
7	AB-225	25	400	36.084
8	AB-310	100	400	144.338
9	AB-319	100	400	144.338
10	AB-364	200	400	288.675
11	AB-415	100	400	144.338
12	AB-416	100	400	144.338

C. Menentukan Persentase Pembebanan Trafo Distribusi Penyulang Melati Pada Saat LWBP dan WBP.

Arus rata rata pada saat LWBP :

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

$$= \frac{199,1 + 321,5 + 311,5}{3} = 277,37 \text{ A}$$

Arus rata rata pada saat WBP :

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

$$= \frac{200,7 + 288,9 + 248,7}{3} = 246,10 \text{ A}$$

Presentase pembebanan trafo saat LWBP dan WBP :

$$\text{Presentase beban trafo (LWBP)} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\%$$

$$= \frac{277,37}{454,663} \times 100\% = 61,00 \%$$

Presentase beban trafo (WBP)

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

$$= \frac{246,10}{454,663} \times 100\% = 54,13 \%$$

Untuk menentukan besarnya arus beban penuh dan persentase pembebanan trafo selanjutnya pada saat LWBP dan WBP dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan Pembebanan Trafo Pada Saat LWBP

No. Gardu	$I_R$	$I_S$	$I_T$	$I_N$	$I_{rata-rata}$	LWBP(%)
AB-012	199.1	321.5	311.5	116.5	277.37	61.00
AB-014	105.2	142.1	138.2	65.6	128.50	89.03
AB-059	70.7	57.93	78.4	11.47	69.01	47.81
AB-087	92.7	81.1	70.6	32.79	81.47	56.44
AB-169	50.82	112.5	52.1	53.36	71.81	49.75
AB-178	49.14	24.85	30.95	23.31	34.98	24.23
AB-225	7.73	7.95	0.136	7.92	5.27	14.61
AB-310	21.72	17.95	17.51	7.84	19.06	13.21
AB-319	93.6	66.8	97.5	34.4	85.97	59.56
AB-364	9.76	30.76	17.78	19.06	19.43	6.73
AB-415	48.63	41.56	28.4	26.55	39.53	27.39
AB-416	0.512	0.12	0.263	0.674	0.30	0.21

Tabel 4.4. Perhitungan pembebanan trafo pada saat WBP

No. Gardu	$I_R$	$I_S$	$I_T$	$I_N$	$I_{rata-rata}$	WBP(%)
AB-012	200.7	288.9	248.7	88.8	246.10	54.13
AB-014	110.5	156.3	142.7	88.3	136.50	94.57
AB-059	11.21	26.87	19.31	6.58	19.13	13.25
AB-087	78	92.7	73	46.4	81.23	56.28
AB-169	54.76	121.5	58.13	56.54	78.13	54.13
AB-178	20.7	23.84	70.05	9	38.20	26.46
AB-225	8.09	10.16	0.131	8.75	6.13	16.98
AB-310	40.33	49.04	38.68	12.65	42.68	29.57
AB-319	119.3	86.8	82.3	50.16	96.13	66.60
AB-364	46.08	42.58	36.18	24.44	41.61	14.42
AB-415	14.47	13.01	29.93	15.37	19.14	13.26
AB-416	1.168	1.71	0.261	2.251	1.05	0.72

D. Analisa Persentase ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi AB-012 Penyulang Melati

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa (I) dalam keadaan seimbang sama dengan besarnya arus rata-rata (I<sub>rata-rata</sub>), Besar ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

Pada saat LWBP koefisien a,b,c adalah :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{I_R}{I} = \frac{199,1}{277,37} = 0,718$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{I_S}{I} = \frac{321,5}{277,37} = 1,159$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{I_T}{I} = \frac{311,5}{277,37} = 1,123$$

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

$$\text{Ketidakseimbangan beban (\%)} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|0,718-1|+|1,159-1|+|1,123-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 18,81\%$$

Untuk perhitungan persentase ketidakseimbangan beban trafo selanjutnya pada LWBP dapat dilihat pada tabel 4.5 sebagai berikut :

Tabel 4.5 Persentase ketidakseimbangan beban trafo distribusi pada saat LWBP

No Gardu	a	b	c	a-1	b-1	c-1	Jumlah	% ub
AB-012	0.718	1.159	1.123	0.2822	0.1591	0.1231	0.5644	18.81
AB-014	0.819	1.106	1.075	0.1813	0.1058	0.0755	0.3626	12.09
AB-059	1.024	0.839	1.136	0.0245	0.1606	0.1361	0.3211	10.70
AB-087	1.138	0.995	0.867	0.1379	0.0045	0.1334	0.2758	9.19
AB-169	0.708	1.567	0.726	0.2923	0.5667	0.2744	1.1334	37.78
AB-178	1.405	0.710	0.885	0.4048	0.2896	0.1152	0.8096	26.99
AB-225	1.466	1.508	0.026	0.4662	0.5080	0.9742	1.9484	64.95
AB-310	1.140	0.942	0.919	0.1396	0.0582	0.0813	0.2791	9.30
AB-319	1.089	0.777	1.134	0.0888	0.2230	0.1342	0.4459	14.86
AB-364	0.502	1.583	0.915	0.4978	0.5828	0.0851	1.1657	38.86
AB-415	1.230	1.051	0.718	0.2302	0.0514	0.2816	0.5631	18.77
AB-416	1.716	0.402	0.882	0.7162	0.5978	0.1184	1.4324	47.75

Pada saat WBP koefisien a,b,c adalah :

$$I_R = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{200,7}{246,10} = 0,816$$

$$I_S = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{288,9}{246,10} = 1,174$$

$$I_T = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{248,7}{246,10} = 1,011$$

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

$$\text{Ketidakseimbangan beban (\%)} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|0,816-1|+|1,174-1|+|1,011-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 12,30\%$$

Untuk perhitungan persentase ketidakseimbangan beban trafo selanjutnya pada saat WBP dapat dilihat pada tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Persentase ketidakseimbangan beban trafo distribusi pada saat WBP

No Gardu	a	b	c	a-1	b-1	c-1	Jumlah	% ub
AB-012	0.816	1.174	1.011	0.1845	0.1739	0.0106	0.3690	12.30
AB-014	0.810	1.145	1.045	0.1905	0.1451	0.0454	0.3810	12.70
AB-059	0.586	1.405	1.009	0.4140	0.4046	0.0094	0.8280	27.60
AB-087	0.960	1.141	0.899	0.0398	0.1412	0.1014	0.2823	9.41
AB-169	0.701	1.555	0.744	0.2991	0.5551	0.2560	1.1102	37.01
AB-178	0.542	0.624	1.834	0.4581	0.3759	0.8339	1.6679	55.60
AB-225	1.320	1.658	0.021	0.3204	0.6582	0.9786	1.9572	65.24
AB-310	0.945	1.149	0.906	0.0551	0.1489	0.0938	0.2979	9.93
AB-319	1.241	0.903	0.856	0.2410	0.0971	0.1439	0.4820	16.07
AB-364	1.107	1.023	0.869	0.1073	0.0232	0.1306	0.2611	8.70
AB-415	0.756	0.680	1.564	0.2439	0.3202	0.5640	1.1280	37.60
AB-416	1.116	1.634	0.249	0.1163	0.6343	0.7506	1.5011	50.04

E. Analisis Losses Akibat Adanya Arus Netral Pada Penghantar Netral Trafo dan Losses Akibat Arus Netral yang Mengalir Ke Tanah Pada Trafo Distribusi 315 kVA AB-012

Pada perhitungan penelitian ini, dengan menggunakan data penghantar kawat netral trafo dengan tahanan R = 0,43 Ω dan Cos φ : 0,85. Dengan menggunakan rumus, maka

losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dapat dihitung besarnya sebagai berikut :

Pada saat LWBP lossesnya adalah :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (116,5)^2 \times 0,43 = 5,836.07 \text{ Watt}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P) :

$$P = S \times \cos \phi = 315 \text{ kVA} \times 0,85 = 267.750 \text{ Watt}$$

Dengan demikian maka persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah :

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

$$= \frac{5836.07}{267750} \times 100\%$$

$$= 2,18 \%$$

Tabel 4.7 Losses trafo pada penyulang Melati saat LWBP

No. Gardu	Daya (kVA)	$I_N(A)$	Susut Daya Trafo (W)	Daya Aktif (W)	% Losses
AB-012	315	116.5	5,836.07	267,750	2.18
AB-014	100	65.6	1,850.44	85,000	2.18
AB-059	100	11.47	56.57	85,000	0.07
AB-087	100	32.79	462.33	85,000	0.54
AB-169	100	53.36	1,224.33	85,000	1.44
AB-178	100	23.31	233.64	85,000	0.27
AB-225	25	7.92	26.97	21,250	0.13
AB-310	100	7.84	26.43	85,000	0.03
AB-319	100	34.4	508.84	85,000	0.60
AB-364	200	19.06	156.21	170,000	0.09
AB-415	100	26.55	303.11	85,000	0.36
AB-416	100	0.674	0.20	85,000	0.00
<b>Total</b>			<b>10,685.15</b>		

Kemudian pada saat WBP lossesnya adalah :

$$P_N = I_N^2 \times R_N = (88,8)^2 \times 0,43 = 3390,74 \text{ Watt}$$

Untuk menghitung persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo, harus diketahui terlebih dahulu daya aktif trafo (P) :

$$P = S \times \cos \phi = 315 \text{ kVA} \times 0,85 = 267.750 \text{ Watt}$$

Dengan demikian, persentase losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah :

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

$$= \frac{3390,74}{267750} \times 100\%$$

$$= 1,27 \%$$

Tabel 4.8 *Losses* trafo pada penyulang Melati pada saat WBP

No. Gardu	Daya (kVA)	$I_N$ (A)	Susut Daya Trafo (W)	Daya Aktif (W)	% Losses
AB-012	315	88.8	3,390.74	267,750	1.27
AB-014	100	88.3	3,352.66	85,000	3.94
AB-059	100	6.58	18.62	85,000	0.02
AB-087	100	46.4	925.77	85,000	1.09
AB-169	100	56.54	1,374.61	85,000	1.62
AB-178	100	9	34.83	85,000	0.04
AB-225	25	8.75	32.92	21,250	0.15
AB-310	100	12.65	68.81	85,000	0.08
AB-319	100	50.16	1,081.89	85,000	1.27
AB-364	200	24.44	256.84	170,000	0.15
AB-415	100	15.37	101.58	85,000	0.12
AB-416	100	2.251	2.18	85,000	0.00
<b>Total</b>			<b>10,641.46</b>		

Berdasarkan hasil analisa pada tabel 4.7 dan 4.8 diatas terlihat bahwa pada gardu trafo AB-012 terdapat susut daya sebesar 5.836,07 Watt dan 3.390,74 Watt pada saat LWBP dan WBP sedangkan persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo pada saat LWBP dan WBP adalah 2,18 % dan 1,27 %. Dengan demikian susut daya total pada penyulang Melati sebesar 10.685,15 Watt pada saat LWBP dan 10.641,46 Watt pada saat WBP. Sedang persentase total *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah 7,89% pada saat LWBP dan 9,76% pada saat WBP.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang dari hasil dan pembahasan maka dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Persentase pembebanan trafo paling terbesar terjadi pada trafo AB-014 dengan persentase pembebanan 89,03% LWBP dan 94,57% WBP sedangkan pembebanan terendah terjadi pada trafo AB-416 dengan persentase 0,21% LWBP dan 0,72% WBP.
- Persentase ketidakseimbangan beban trafo paling terbesar terjadi pada trafo AB-225 dengan persentase pembebanan 64,95% LWBP dan 65,74% WBP sedangkan ketidakseimbangan terendah terjadi pada trafo AB-087 dengan persentase ketidakseimbangan 9,19 % LWBP dan 8,70% pada trafo AB-384 WBP.
- Semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral transformator distribusi ( $I_N$ ) maka semakin besar *losses* pada penghantar netral transformator.
- Berdasarkan hasil analisa pada tabel 4.7 dan 4.8 terlihat bahwa pada gardu trafo AB-012, didapatkan *losses* sebesar 5.836.07 Watt LWBP dan 3.390,74 Watt WBP

Sedangkan persentase *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah 2,18% LWBP dan 1,27% WBP. Begitu juga perhitungan *losses* dan persentase *losses* dapat dilihat pada tabel diatas. Jumlah *losses* total pada penyulang Melati sebesar 10.685,15 Watt LWBP dan 10.641,46 Watt WBP.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Tuhan yang maha kuasa atas perkenaan dan perlindunganNya sehingga kami masih diberi nafas dan kesehatan yang baik sampai saat ini sehingga penyusunan jurnal publikasi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada LP2M Uncen yang telah membiayai penelitian ini sehingga dapat menghasilkan output penelitian ini berupa jurnal publikasi sebagai syarat untuk penelitian selanjutnya. Kemudian ucapan terima kasih sebesar-besarnya juga kami ucapkan kepada PT.PLN (Persero) ULP Abepura yang telah berkenan memberikan data-data yang terkait dengan penelitian ini.

## DAFTAR ACUAN

- [1] Abdul Kadir, Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik, Jakarta: UI - Press, 2000.
- [2] Al-Badi, A., A. Elmoudi, I. M., Al-Wahaibi, A., Al-Ajmi, H., & Al-Bulushi, M. (2011). Losses Reduction in Distribution Transformers. International Multi Conference of Engineers and Computer Sciences.
- [3] 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
- [4] Bina, M., & A. Kashefi. (2011). Three-phase Unbalance of Distribution Systems: Complementary. Analysis and Experimental Case Study. International Journal of Electrical Power and Energy Systems.
- [5] Dahlan Moh (2012), Akibat ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada transformator distribusi. Moh. Dahlan 1 ISSN : 1979-6870
- [6] Gamma Ayu Kartika Sari (2018), Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) Rayon Bloro Program Studi Teknik Elektro Fak Teknik Elektro UNS 2018
- [7] Hamles Leonardo Latupeirissa (2017), 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

- [8] Julius Sentosa Setiadji1, Tabrani Machmudsyah2, Yanuar Isnanto (2006), Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi
- [9] Jurnal Teknik Elektro Vol. 6, No. 1, Maret 2006: 68 - 7368 FTI TE UK Petra.
- [10] Markus Dwiyanto Tobi Sogen (2018), 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
- [11] Ruliyanto (2020), 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 12520