

**ANALISA PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL
DAN LOSSES PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PENYULANG PANGSUMA
PT. PLN (PERSERO) RAYON MEMPAWAH**

Aditiya Doni Wirawan¹⁾, Junaidi²⁾, M Iqbal Arsyad³⁾

Program Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro^{1,2,3)}

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Email : aditiyadoni367@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung ketidakseimbangan beban, rugi-rugi pada penghantar netral transformator serta kerugian biaya yang disebabkan rugi-rugi pada penghantar netral transformator. Perhitungan pada penelitian ini menggunakan aplikasi Microsoft Excel untuk menghitung nilai persentase pembebanan gardu, persentase ketidakseimbangan beban, perhitungan nilai I_N , rugi-rugi daya dan biaya rugi-rugi. Metode yang digunakan yaitu metode deskriptif analitik. Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban pada gardu yang paling tinggi terdapat pada siang hari sebesar 3224,32% dan pada malam hari sebesar 2746,38% . Terdapat 48 gardu yang melewati 25% pada siang hari dan 44 gardu yang melewati 25% pada malam hari. faktor yang mempengaruhi tingginya ketidakseimbangan beban pada siang hari, karena banyaknya perusahaan, perkantoran dan pasar yang beroperasi pada siang hari. Hasil perhitungan rugi-rugi pada penghantar netral transformator paling tinggi terdapat pada gardu malam hari dengan nilai 60,962 kW dari gardu pada siang hari dengan nilai 25,26 kW. Dari penelitian ini diperoleh kerugian biaya rugi-rugi pada siang hari sebesar Rp.13.212.96 ,- dan kerugian biaya rugi-rugi pada malam hari sebesar Rp.31.887.890,-.Semakin tinggi nilai arus netral yang mengalir pada penghantar netral transformator maka semakin tinggi rugi-rugi daya dan biaya yang dikeluarkan.

Kata Kunci : Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban , Rugi-Rugi Daya Pada Penghantar Netral Transformator, Rugi-Rugi Daya dan Rugi-Rugi Energi

ABSTRACT

This study aims to calculate load imbalances, losses in the transformer neutral conductor and cost losses caused by losses in the transformer neutral conductor. Calculations in this study using Microsoft Excel application to calculate the percentage value of substation loading, percentage unbalance load, calculation of I_N value, power losses and cost losses. The method used is descriptive analytical method. The results of the calculation of the load imbalance at the substation are the highest during the day at 3224,32% and at night at 2746,38%. There are 48 substations that pass 25% during the day and 44 substations that pass 25% at night. Factors that affect the high load imbalance during the day, due to the large number of company, offices and markets that operate during the day. The results of the calculation of losses in the transformer neutral conductor are the highest at night substations with a value of 60,962 kW from substations during the day with a value of 25.26 kW. From this study, it was obtained that the cost loss during the day was Rp. 13,212.96,- and the cost loss at night was Rp. 31,887,890,-. The higher the value of the neutral current flowing in the neutral conductor of the transformer, the higher the neutral current value. the higher the power losses and costs incurred.

Keywords : Distribution Transformer, Load Imbalance, Power Losses In The Transformer Neutral Conductor, Power Loss and Energy Loss

1. Pendahuluan

Listrik saat ini sudah merupakan kebutuhan pokok yang sangat penting dalam aktifitas manusia baik kebutuhan rumah tangga maupun industri. Kebutuhan manusia akan terhambat jika listrik tidak tersedia. Bila listrik tidak tersedia, maka manusia akan merasakan dampak negatif yaitu terganggunya kegiatan kehidupan sehari-hari. Sebaliknya, bila listrik tersedia dengan baik maka manusia juga akan merasakan dampak positif yaitu terpenuhinya pemakaian listrik dalam kehidupan sehari-hari. Di Indonesia sendiri khususnya Kalimantan Barat banyak perusahaan yang bergerak dibidang industri sangat membutuhkan energi listrik, untuk menggerakkan mesin-mesin dan alat berat yang ada. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan kedalam bentuk tenaga yang lain.

Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam proses perencanaan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang tidak merata, sehingga menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) yang menyebabkan mengalirnya arus di netral trafo. Aliran arus netral yang terjadi di trafo menyebabkan terjadinya *losses*, yaitu *losses* yang disebabkan pada penghantar netral trafo terhadap arus netral. Arus netral yang berlebihan pada sistem distribusi dapat mengakibatkan menurunnya kualitas daya

dan menimbulkan panas berlebih pada transformator.

Analisis ketidakseimbangan beban pada trafo perlu dilakukan agar dapat diketahui apa yang terjadi dengan ketidaksetimbangan beban tersebut pada trafo, mengetahui berapa besar rugi-rugi yang terjadi dan diharapkan agar dapat mengantisipasi agar ketidaksetimbangan beban tersebut bisa diminimalisir. Penelitian ini mengambil salah satu penyulang distribusi milik PT. PLN (Persero) Rayon Mempawah.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Gamma Ayu Kartika Sari dari Universitas Muhammadiyah Surakarta yang berjudul "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Studi Kasus pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora". Jurnal ini menyatakan bahwa ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi salah satunya disebabkan dengan penggunaan beban listrik yang tidak merata pada konsumen dan semakin besar ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi mengakibatkan losses pada trafo dan arus netral yang mengalir ke tanah (IG) juga semakin besar.

Penelitian yang dilakukan oleh Hamles Leonardo Latupeirissa dari Politeknik Negeri Ambon yang berjudul "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi Gardu KP-01 Desa

Hative Kecil” . Jurnal ini menyatakan bahwa semakin besar arus netral yang mengalir di penghantar netral trafo (I) maka semakin besar losses pada penghantar netral trafo (P). Demikian pula bila semakin besar arus netral yang mengalir ke tanah (IN), maka semakin besar losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (PG).

Penelitian yang dilakukan oleh Johannes Ohoiwutun dan Markus Dwiyanto Tobi Sogen dari Politeknik Negeri Saint Paul Sorong yang berjudul “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi 100 kVA Pada PT. PLN (Persero) Unit Aimas” . Jurnal ini menyatakan bahwa ketidakseimbangan beban, losses dan efisiensi beban antar fasa R,S,T pada malam hari cenderung meningkat daripada siang hari.

Penelitian yang dilakukan oleh Suri Hartono dari Universitas Tanjungpura Pontianak yang berjudul “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Feeder Senggiring I Di PT. PLN (Persero) Area Singkawang”. Jurnal ini menyatakan bahwa ketidakseimbangan beban berdampak langsung terhadap tegangan (fasa R,S, dan T) menjadi berubah-ubah. Hal ini dapat menyebabkan trafo distribusi dan peralatan listrik menjadi rusak.

Penelitian yang dilakukan oleh Ariyen Duri, Riana T. Mangesa, Udin Sidin Sidik dari Universitas Negeri Makasar yang berjudul “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Pembebanan Dan Efisiensi Transformator Pada Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) ULP Sungguminasa” . Jurnal ini menyatakan bahwa semakin besar

persentase ketidakseimbangan beban maka semakin kecil persentase pembebanan transformator dan semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka semakin kecil efisiensi transformator.

2.2. Pengertian Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Penggunaan transformator yang sederhana dan handal memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan serta merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik.

2.3. Perhitungan Pembebanan

Transformator

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan primer dapat ditulis sebagai berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi primer transformator (kV)

I = arus jala-jala (A)

Untuk menghitung arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

I_{FL} = arus beban penuh (A)

S = daya transformator (kVA)

V = tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Dalam perhitungan persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\% \text{Pembelian} = \frac{I_{rata-rata}}{I_{FL}} 100\% \dots (3)$$

Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada transformator (Fasa R, fasa S, dan Fasa T) mengakibatkan mengalirnya arus di sisi netral transformator.

2.4. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus pada masing-masing fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

P = daya pada ujung kirim

V = tegangan fasa netral pada ujung kirim

Cos φ = faktor daya

Daya yang sampai ujung kirim akan lebih kecil dari P dikarenakan terjadi penyusutan dalam saluran.

I adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama dengan keadaan takseimbang besar arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefesien a, b, dan c sebagai berikut:

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots \dots \dots (5)$$

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \rightarrow a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \rightarrow b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \dots (6)$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \rightarrow c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

Dengan IR, IS, dan IT berturut-turut adalah arus di fasa R, S, dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a+b+c) \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \dots \dots \dots (7)$$

Dimana pada keadaan seimbang, nilai a = b = c = 1. Dengan demikian, untuk menentukan persentase ketidakseimbangan beban rata-rata dapat digunakan persamaan sebagai berikut .

$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \dots \dots \dots (8)$$

2.5. Perhitungan Arus Netral

Untuk menghitung arus netral 3 fasa jika diketahui fasa R, S, dan T, dapat dihitung besar arus yang mengalir di fasa netral dengan menggunakan persamaan seperti di bawah ini :

$$I_N = I_R + I_S + I_T \dots \dots \dots (9)$$

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 rugi-rugi (losses). Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

P_N = losses pada penghantar netral trafo (watt)

I_N = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

2.6. Biaya Rugi-Rugi Daya Akibat

Adanya Arus Netral Yang Mengalir Pada Penghantar Netral Transformator

Pada transformator distribusi terdapat 2 keadaan dalam menghitung rugi-rugi daya pada transformator yaitu rugi-rugi daya pada transformator dalam keadaan tanpa beban dan rugi-rugi daya pada transformator dalam keadaan berbeban.

Biaya yang dihitung dari rugi-rugi tersebut adalah biaya rugi-rugi yang terjadi akibat adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral transformator dengan persamaan berikut ini :

$$\text{Biaya rugi-rugi} = P_N \times t \times \text{harga/kWh} \dots (11)$$

Dimana :

P_N = Rugi-rugi daya pada penghantar netral transformator

t = Waktu (h)

2.7. Impedansi Saluran Transmisi

Saluran yang dipakai pada penyulang pangsuma sendiri dari beberapa jenis dan penampang yang berbeda dapat dilihat pada Tabel sebagai berikut :

Tabel 1. Data Impedansi Saluran Transmisi

No.	Luas Penampang (mm ²)	Impedansi urutan positif (Ohm/Km)
1.	16	2,0161 + j 0,4036
2.	25	1,2903 + j 0,3895
3.	35	0,9217 + j 0,3790
4.	50	0,6452 + j 0,3678
5.	70	0,4608 + j 0,3572
6.	95	0,3096 + j 0,3449
7.	120	0,2668 + j 0,3376
8.	150	0,2162 + j 0,3305
9.	185	0,1744 + j 0,3239
10.	240	0,1344 + j 0,3158

Sumber : SPLN 64 (1985)

2.8. Standar Ketidakseimbangan Beban

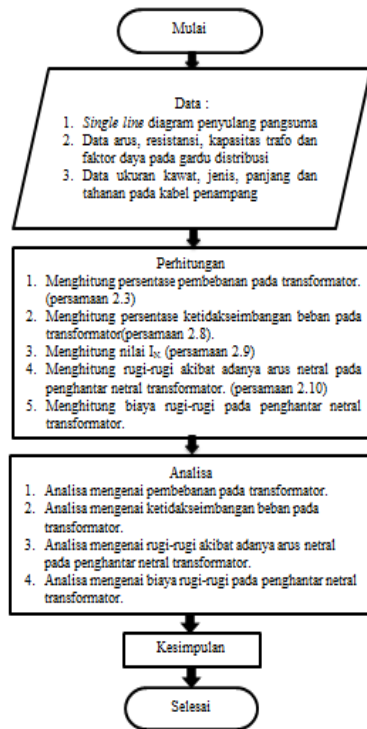
Ketidakseimbangan beban memiliki standar dan batas maksimum yang ditentukan dari PLN, di bawah ini tabel standar ketidakseimbangan beban sebagai berikut :

Tabel 2 Standar Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa

Karakteristik	Indeks Kesehatan			
	Baik	Cukup	Kurang Baik	Buruk
Ketidakseimbangan antar arus fasa	<10%	10% - <20%	20% - <25%	>=25%

Sumber : SPLN 017 (2014)

2.9. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram alir Penelitian

3. Perhitungan dan Analisa

3.1. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban

Adapun perhitungan persentase ketidakseimbangan beban pada PT. PLN (Persero) ULP Mempawah sebagai berikut :

3.1.1. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada siang Hari

Ambalau (MW 0027 AJ)

Diketahui :

$$s = 50 \text{ kVA}$$

$$v = 0,4 \text{ kV}$$

$$I_r = 43 \text{ A}$$

$$I_s = 27,6 \text{ A}$$

$$I_t = 43 \text{ A}$$

a. Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 400} = 72,17 \text{ A}$$

$$I_{rata-rata \text{ Siang}} = \frac{I_R + I_s + I_T}{3} = \frac{43 + 27,6 + 43}{3} = 37,87 \text{ A}$$

Persentase pembebanan

$$\frac{I_{rata-rata \text{ siang}}}{I_{FL}} \times 100 = \frac{37,87}{72,17} \times 100 = 52,47\%$$

Tabel 3 Hasil Perhitungan Persentase Pembebanan Penyulang Pangsuma Pada Siang Hari

No.	Nama Gardu	Lokasi	I_{FL} (A)	$I_{rata-rata}$ (A)	Persentase Pembebanan (%)
1	MW 0027 AJ	Ambalau	72,17	37,87	52,47
2	MW 0028 AJ	Blpp Anjungan	144,34	92,00	63,74
3	MW 0030 AJ	Bilado	144,34	43,67	30,25
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	144,34	23,83	16,51
5	MW 0032 AJ	Pladis	230,94	97,57	42,25
6	MW 0033 AJ	Kepayang	72,17	32,60	45,17
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	72,17	19,67	27,25
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	144,34	47,67	33,02
9	MW 0036 AJ	Gua dmura Pladis	144,34	72,33	50,11
10	MW 0037 AJ	Bbi	144,34	7,00	4,85

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

b. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator

$$I_{rata-rata \text{ Siang}} = \frac{I_R + I_s + I_T}{3} = \frac{43 + 27,6 + 43}{3} = 37,87 \text{ A}$$

$$I_R = a \cdot I \rightarrow a = \frac{I_R}{I} = \frac{43}{37,87} = 1,14 \text{ A}$$

$$I_s = b \cdot I \rightarrow b = \frac{I_s}{I} = \frac{27,6}{37,87} = 0,73 \text{ A}$$

$$I_T = c \cdot I \rightarrow c = \frac{I_T}{I} = \frac{43}{37,87} = 1,14 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b, c adalah

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

$$= \frac{\{|1,14 - 1| + |0,73 - 1| + |1,14 - 1|\}}{3} \times 100\% = 18,08\%$$

Tabel 4 Hasil Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban Penyulang Pangsuma Pada Siang Hari

No.	Nomor Gardu	Lokasi	I _{rata-rata} (A)	Koefisien (A)			Persentase abc (%)
				a	b	c	
1	MW 0027 AJ	Ambalau	37,87	1,14	0,73	1,14	18,08
2	MW 0028 AJ	Blpp Anjungan	92,00	1,17	0,64	1,18	23,91
3	MW 0030 AJ	Bilado	43,67	1,49	0,73	0,78	32,57
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	23,83	1,89	0,55	0,57	59,21
5	MW 0032 AJ	Pladis	97,57	0,81	1,01	1,18	12,89
6	MW 0033 AJ	Kepayang	32,60	1,04	0,92	1,04	5,11
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	19,67	0,20	2,19	0,61	79,10
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	47,67	1,13	0,88	0,99	8,86
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	72,33	1,11	0,86	1,04	9,52
10	MW 0037 AJ	Bbi	7,00	0,00	3,00	0,00	133,33

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.1.2. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Malam Hari

Ambalau (MW 0027 AJ)

Diketahui :

$$s = 50 \text{ kVA}$$

$$v = 0,4 \text{ kV}$$

$$I_r = 74,1 \text{ A}$$

$$I_s = 43,6 \text{ A}$$

$$I_t = 59,6 \text{ A}$$

a. Perhitungan Persentase Pembebanan Transformator

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 400} = 72,17 \text{ A}$$

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

$$= \frac{74,1 + 43,6 + 59,6}{3}$$

$$= 59,10 \text{ A}$$

Persentase pembebanan

$$\frac{I_{rata-rata\ malam}}{I_{FL}} \times 100 = \frac{59,10}{72,17} \times 100$$

$$= 81,89\%$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan persentase pembebanan Penyulang Pangsuma Pada Malam Hari

No.	Nama Gardu	Lokasi	I _{FL} (A)	I _{rata-rata} (A)	Persentase Pembebanan (%)
1	MW 0027 AJ	Ambalau	72,17	59,10	81,89
2	MW 0028 AJ	Blpp Anjungan	144,34	61,00	42,26
3	MW 0030 AJ	Bilado	144,34	80,17	55,54
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	144,34	35,67	24,71
5	MW 0032 AJ	Pladis	230,94	126,87	54,93
6	MW 0033 AJ	Kepayang	72,17	47,13	65,31
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	72,17	33,00	45,73
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	144,34	70,33	48,73
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	144,34	107,67	74,59
10	MW 0037 AJ	Bbi	144,34	6,33	4,39

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

b. Perhitungan Persentase

Ketidakseimbangan Beban Pada

Transformator

$$I_R = a \cdot I \rightarrow a = \frac{I_R}{I} = \frac{74,1}{59,10} = 1,25 \text{ A}$$

$$I_S = b \cdot I \rightarrow b = \frac{I_S}{I} = \frac{43,6}{59,10} = 0,74 \text{ A}$$

$$I_T = c \cdot I \rightarrow c = \frac{I_T}{I} = \frac{59,6}{59,10} = 1,01 \text{ A}$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien

a, b, c adalah

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

$$= \frac{\{|1,25 - 1| + |0,74 - 1| + |1,01 - 1|\}}{3} \times 100\% = 17,48\%$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban Penyulang Pangsuma Pada Malam Hari

No.	Nomor Gardu	Lokasi	I _{rata-rata} (A)	Koefisien (A)			Persentase abc (%)
				a	b	c	
1	MW 0027 AJ	Ambalau	59,10	1,25	0,74	1,01	17,48
2	MW 0028 AJ	Blpp Anjungan	61,00	1,43	0,64	0,93	28,42
3	MW 0030 AJ	Bilado	80,17	1,11	0,63	1,26	24,75
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	35,67	1,72	0,77	0,51	47,73
5	MW 0032 AJ	Pladis	126,87	0,75	1,06	1,19	16,43
6	MW 0033 AJ	Kepayang	47,13	1,15	0,88	0,98	9,71
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	33,00	0,36	1,91	0,73	60,61
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	70,33	1,08	0,91	1,01	6,00
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	107,67	0,93	1,10	0,98	6,40
10	MW 0037 AJ	Bbi	6,33	0,00	2,05	0,95	70,18

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.2. Perhitungan Losses Pada Arus Netral

3.2.1 Perhitungan Nilai I_N

Ambalau (MW 0027 AJ)

Diketahui :

$$I_R = 43$$

$$I_S = 27,6 \angle -120^\circ$$

$$I_T = 43 \angle -240^\circ$$

$$I_N = I_R + I_S + I_T$$

$$= I_R + I_S \cos (-120^\circ) + I_T \cos (-240^\circ)$$

$$= 43 + 27,6 \cos (-120^\circ) + 43 \cos (-240^\circ)$$

$$= 43 + (-13,8) + (-21,5)$$

$$= 7,7 \text{ A}$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan Nilai I_N Siang dan Malam Hari

No.	Nama Gardu	Lokasi	I _N (A)	
			Siang	Malam
1	MW 0027 AJ	Ambalau	7,7	22,5
2	MW 0028 AJ	Blpp Anjungan	24	39
3	MW 0030 AJ	Bilado	32	13,1
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	31,75	38,3
5	MW 0032 AJ	Pladis	-28,3	-46,9
6	MW 0033 AJ	Kepayang	1,8	10,3
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	-23,5	-31,5
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	9,5	8,5
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	11,5	-11,5
10	MW 0037 AJ	Bbi	-10,5	-9,5

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.2.2. Perhitungan Losses Arus Netral Transformator Pada Siang Hari

Ambalau (MW 0027 AJ)

Diketahui :

$$S = 50 \text{ kVA}$$

$$I_N = 24 \text{ A}$$

$$R_N = 1,1 \text{ km} \times 0,4608 \text{ Ohm/km} = 0,5069$$

Ohm

$$P = S \cdot \cos \theta$$

$$= 50 \cdot 0,85$$

$$= 42,50 \text{ kW}$$

Pada siang Hari

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

$$= 24^2 \cdot 0,5069$$

$$= 291,963 \text{ Watt} \approx 0,292 \text{ KW}$$

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{0,292}{42,50} = 0,69\%$$

Tabel 8. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Terhadap Arus Netral Pada Siang Hari

No	Nomor Gardu	Lokasi	I_N (A)	$\cos \phi$	R_N (Ω)	P (kW)	P_N (kW)	Persentase P_N (%)
1	MW 0027 AJ	Ambalau	24	0,85	0,5069	42,50	0,292	0,69
2	MW 0028 AJ	Bhpp Anjungan	60,3	0,85	0,3686	85,00	1,340	1,58
3	MW 0030 AJ	Bilado	44	0,85	0,5069	85,00	0,981	1,15
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	31	0,85	0,4378	85,00	0,421	0,49
5	MW 0032 AJ	Pladis	50,2	0,85	0,3456	136,00	0,871	0,64
6	MW 0033 AJ	Kepayang	11,7	0,85	0,9677	42,50	0,132	0,31
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	35	0,85	0,5991	42,50	0,734	1,73
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	16	0,85	0,2765	85,00	0,071	0,08
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	31	0,85	0,2765	85,00	0,266	0,31
10	MW 0037 AJ	Bbi	21	0,85	0,2995	85,00	0,132	0,16

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.2.3. Perhitungan Losses Arus Netral Transformator Pada Malam Hari

Ambalau (MW 0027 AJ)

Diketahui :

$$s = 50 \text{ kVA}$$

$$I_N = 45,5 \text{ A}$$

$$R_N = 1,1 \text{ km} \times 0,4608 \text{ Ohm/km} = 0,50688$$

Ohm

$$P = S \cdot \cos \theta$$

$$= 50 \cdot 0,85$$

$$= 42,50 \text{ kW}$$

Pada malam Hari

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

$$= 45,5^2 \cdot 0,50688$$

$$= 1049,368 \text{ Watt} \approx 1,049 \text{ KW}$$

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% = \frac{1,049}{42,50} = 2,47\%$$

Tabel 9. Hasil Perhitungan Rugi-Rugi Terhadap Arus Netral Pada Malam Hari

No	Nomor Gardu	Lokasi	I_N	$\cos \phi$	R_N (Ω)	P (kW)	P_N (kW)	Persentase P_N (%)
1	MW 0027 AJ	Ambalau	45,5	0,85	0,5069	42,50	1,049	2,47
2	MW 0028 AJ	Bhpp Anjungan	56,7	0,85	0,3686	85,00	1,185	1,39
3	MW 0030 AJ	Bilado	77,8	0,85	0,5069	85,00	3,068	3,61
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	48	0,85	0,4378	85,00	1,009	1,19
5	MW 0032 AJ	Pladis	87	0,85	0,3456	136,00	2,616	1,92
6	MW 0033 AJ	Kepayang	33,2	0,85	0,9677	42,50	1,067	2,51
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	49	0,85	0,5991	42,50	1,438	3,38
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	36	0,85	0,2765	85,00	0,358	0,42
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	47	0,85	0,2765	85,00	0,611	0,72
10	MW 0037 AJ	Bbi	10	0,85	0,2995	85,00	0,030	0,04

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.3. Perhitungan Biaya Rugi-Rugi Daya Pada Penghantar Netral Transformator.

3.3.1. Perhitungan Biaya Kerugian Akibat Rugi-Rugi Daya Di Penghantar Netral Transformator Pada Siang Hari.

Ambalau

Diketahui :

$$N_o = \text{MW 0027 AJ}$$

$$P_N = 0,292 \text{ kW}$$

$$t = 12 \text{ jam}$$

$$1 \text{ Bulan} = 30 \text{ Hari}$$

$$1 \text{ kWh} = \text{Rp. } 1.453$$

$$\text{Biaya} = P_N \times t \times 30 \times 1.453$$

$$= 0,292 \times 12 \times 30 \times 1.453$$

$$= \text{Rp. } 152.719,9$$

Tabel 10. Hasil Perhitungan Biaya Kerugian Dari Rugi-Rugi Daya Di Penghantar Netral Transformator Pada Siang Hari

No.	Nomor Gardu	Lokasi	P_N (kW)	t (Jam)	l Bulan	Harga/ kWh	Biaya (Rp)
1	MW 0027 AJ	Ambalau	0,292	12	30	1453	152719,9
2	MW 0028 AJ	Blipp Anjungan	1,340	12	30	1453	701140,7
3	MW 0030 AJ	Bilado	0,981	12	30	1453	513308,7
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	0,421	12	30	1453	220053,1
5	MW 0032 AJ	Pladis	0,871	12	30	1453	455563,9
6	MW 0033 AJ	Kepayang	0,132	12	30	1453	69290,17
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	0,734	12	30	1453	383890,3
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	0,071	12	30	1453	37023,02
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	0,266	12	30	1453	138980,9
10	MW 0037 AJ	Bbi	0,132	12	30	1453	69092,76

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.3.2. Perhitungan Biaya Kerugian Akibat Rugi-Rugi Daya Di Penghantar Netral Transformator Pada Malam Hari.

Ambalau

Diketahui :

No = MW 0027 AJ

$P_N = 1,049$ kW

1 Hari = 12 jam

1 Bulan = 30 Hari

1kWH = Rp. 1.453

Biaya = $P_N \times t \times 1 \text{ bulan} \times \text{harga}/1 \text{ kWH}$

$$= 1,049 \times 12 \times 30 \times 1.453$$

$$= \text{Rp. } 548.903,6$$

Tabel 11. Hasil Perhitungan Biaya Kerugian Dari Rugi-Rugi Daya Di Penghantar Netral Transformator Pada Malam Hari

No.	Nomor Gardu	Lokasi	P_N (kW)	t (Jam)	l Bulan	Harga/ kWh	Biaya (Rp)
1	MW 0027 AJ	Ambalau	1,049	12	30	1453	548903,6
2	MW 0028 AJ	Blipp Anjungan	1,185	12	30	1453	619921,5
3	MW 0030 AJ	Bilado	3,068	12	30	1453	1604843
4	MW 0031 AJ	Bilado Rumah Adat	1,009	12	30	1453	527578
5	MW 0032 AJ	Pladis	2,616	12	30	1453	1368297
6	MW 0033 AJ	Kepayang	1,067	12	30	1453	557925,3
7	MW 0034 AJ	Asrama Pladis	1,438	12	30	1453	752425
8	MW 0035 AJ	Sisipan Pladis	0,358	12	30	1453	187429
9	MW 0036 AJ	Guadmura Pladis	0,611	12	30	1453	319468,1
10	MW 0037 AJ	Bbi	0,030	12	30	1453	15667,29

Sumber : Hasil Perhitungan 2021

3.4. Analisa

Akibat dari pembebanan pada gardu yang tidak merata antara fasa-fasa makaterjadilah ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada Penyulang Pangsuma sendiri cukup tinggi dimana terdapat beberapa gardu yang melewati 25% batas ketidakseimbangan beban yang ditunjukkan pada tabel 4.2 dan 4.4. Terdapat 48 gardu pada siang hari yang melewati 25% dan 44 gardu yang melewati 25% pada malam hari.

Adanya ketidakseimbangan beban yang terjadi pada transformator dapat menyebabkan munculnya arus netral pada penghantar netral transformator, dimana semakin besar arus yang mengalir pada penghantar netral maka rugi-rugi pada penghantar netral semakin besar dan kerugian biaya yang terjadi juga semakin besar.

4. Penutup

4.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisa ketidakseimbangan beban dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Ketidakseimbangan yang terjadi pada Penyulang Pangsuma cukup tinggi dimana terdapat beberapa gardu distribusi yang ketidakseimbangannya diatas 25% pada siang maupun malam yang melewati toleransi yang ditentukan PLN.
2. Terdapat 48 dari 87 gardu yang mengalami ketidakseimbangan beban diatas 25% pada siang hari dengan total nilai persentase ketidakseimbangan beban sebesar 3224,32% dan terdapat

44 dari 87 gardu yang mengalami ketidakseimbangan beban diatas 25% pada malam hari dengan total nilai persentase ketidakseimbangan beban sebesar 2746,38%.

3. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada Penyulang Pangsuma tertinggi terjadi pada siang hari, hal ini dikarenakan banyaknya PT, perkantoran dan pasar yang beroperasi pada siang hari.
4. Rugi-rugi daya yang disebabkan adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral transformator Penyulang Pangsuma sebesar sebesar 25,25 kW pada siang hari dan pada malam hari sebesar 60,962 kW.
5. Kerugian biaya yang disebabkan oleh rugi-rugi daya yang terjadi karena adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral transformator siang hari dan malam hari masing-masing berjumlah Rp. 13.212.967,- dan Rp. 31.887.890,-, jika ditotalkan kerugiannya sebesar Rp. 45.100.857,-.

4.2. Saran

Dari hasil penelitian tentang analisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada Penyulang Pangsuma PT. PLN (Persero) Rayon Mempawah agar kerugian akibat ketidakseimbangan beban dapat diminimalisir maka disarankan untuk pihak PLN hal-hal sebagai berikut:

1. Sebaiknya memperhatikan keseimbangan beban pada masing-masing fasa agar penyaluran energi listrik menjadi lebih baik.

2. Sebaiknya dalam penyaluran energi listrik memperhatikan jumlah beban yang terdapat pada gardu distribusi agar tidak melampaui batas jumlah beban yang telah ditetapkan.

3. Sebaiknya melakukan pengaturan ulang terhadap gardu distribusi yang mengalami ketidakseimbangan beban cukup besar, agar tidak mengalami kerugian yang besar.

5. Daftar Pustaka

- [1] Dey, N., & A.C. 2013. Neutral Current and Neutral Voltage In a Three Phase Four Wire Distribution System of a Technical Institution. International Journal of Computer Application.
- [2] Gamma Ayu Kartika Sari. 2018. Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT.PLN (Persero) Rayon Blora. Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [3] Hamles Leonardo Latuperissa. 2017. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan *Losses* Daya Pada Trafo Distribusi Gardu Kp-01 Desa Hative Kecil. Politeknik Negeri Ambon . Jurnal Simetrik Vol. 7 No. 2.
- [4] Johannes Ohiwutun, Markus dwiyanto Tobi Sogen. 2019. Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi 100 KVA Pada Pt.Pln (Persero) Unit Aimas. Jurnal Electro Luceat Vol. 5 No. 2.
- [5] Suri Hartono. 2017. Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada

- Feeder Senggiring 1 Di PT. PLN (Persero) Area Singkawang. Universitas Tanjungpura*
- [6] Ariyen Duri, Riana T. Mangesa, Udin Sidin Sidik. 2020. Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Pembebanan Dan Efisiensi Transformator Pada Gardu Distribusi PT. PLN (Persero) Ulp Sungguminasa. Universitas Negeri Makassar.
- [7] Sirait, Bonar. 2014. Diktat Kuliah Sistem Distribusi. Pontianak: Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
- [8] Markus Dwiyanto Tobi Sogen, ST.,MT. 2018. Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di PT.PLN (Persero). Jurnal Electro Luceat Vol. 4 No. 1.
- [9] Julius Sentosa Setiadji, Tabrani Machmudsyah, Yanuar Isnanto. 2006. Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan losses pada transformator distribusi, Jurnal: Teknik Elektro, Vol.6 No.1,68-73, Unkris Petra.
- [10] Egi Suyandi, Safriyudin S.T.,M.T, dan Ir. Muhammad Suyanto M.T. 2017. Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Area Rayon Yogyakarta Kota Di PT. PLN (Persero) Apj Gedong Kuning Yogyakarta. Jurnal Elektrikal, Volume 4 No. 2, 1-10.
- [11] Benson Marnata Situmorang. 2011 . Analisis Biaya Trafo Akibat Rugi-
Rugi Daya Total Dengan Metode Tahunan (*Annual Worth Method*). Universitas Indonesia.
- [12] PT. PLN (Persero). SPLN No. 64 Tahun 1985. Petunjuk Pemilihan Dan Penggunaan Pelebur Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah, *Standar Perusahaan listrik Negara*. Jakarta.
- [13] PT. PLN (Persero). (2014). Metode Pemeliharaan Trafo Distribusi Berbasis Kaidah Manajemen Aset.

Biografi



Aditiya Doni Wirawan, lahir di Pontianak pada tanggal 1 Agustus 1998, menempuh pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura sejak tahun 2016. Memperoleh gelar Sarjana (S1) Teknik Elektro pada tahun 2022 dengan konsentrasi Teknik Tenaga Listrik.

Menyetujui
Pembimbing Utama,

Ir. Junaidi, M.Sc, IPM
NIP. 195908281986021001

Pembimbing Pembantu,

Dr. Ir. M. Iqbal Arsyad, M.T., IPM
NIP. 196609071992031002