

# Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi-Rugi Daya pada Trafo Distribusi 200 KVA Kayu Merah Fakfak

Rusliadi<sup>1\*</sup>, Naomi Lembang<sup>1</sup>, Yulianto La Elo<sup>1</sup>, Wiko Prastoro<sup>1</sup>, Hajjiah Jafar Kafara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Listrik, Politeknik Negeri Fakfak  
Jl. TPA Imam Bonjol Atas, Air Merah, Wagom, Fakfak  
E-mail: [rusliadi@polinef.id](mailto:rusliadi@polinef.id)

Naskah Masuk: 09 Juni 2023; Diterima: 04 Agustus 2023; Terbit: 28 Agustus 2023

---

## ABSTRAK

---

**Abstrak** – Trafo distribusi listrik akan seimbangan jika beban pada setiap fasa yang di salurkan memiliki beban yang sama setiap fasa yaitu fasa R, fasa S, Fasa T. Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya losses (rugi-rugi), yaitu losses akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Metode yang digunakan dalam melakukan untuk menganalisa pengaruh arus netral terhadap rugi-rugi daya adalah dengan pengumpulan data, kemudian menganalisis ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada trafo distribusi. Berdasarkan perhitungan, presentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 058 pada siang hari waktu beban puncak sebesar 61,07 % dengan arus netral sebesar  $IN = 155,2$  A dan dengan rugi-rugi daya 8,51kW. Sedangkan presentase ketidakseimbangan beban pada malam hari waktu beban puncak sebesar 98,23% dengan arus netral sebesar  $IN = 173,3$  A dan dengan rugi-rugi daya yang dihasilkan sebesar  $PN = 13,30$  KW. ketidakseimbangan beban akan memunculkan arus netral yang besar sehingga rugi-rugi daya yang dihasilkan akan semakin besar.

**Kata kunci:** Pembebanan, Arus Netral, Rugi-rugi daya.

---

## ABSTRACT

---

**Abstract** – Electrical distribution transformers will be balanced if the load on each phase that is distributed has the same load for each phase, namely phase R, phase S, phase T. An imbalance of loads in an electric power distribution system always occurs and the cause of the imbalance is on single-phase loads. for low-voltage network customers. As a result of the load imbalance, a current appears in the neutral of the transformer. The current flowing in the neutral of the transformer causes losses, namely losses due to neutral currents in the neutral conductor of the transformer and losses due to neutral currents flowing to the ground. The method used to analyze the effect of neutral currents on power losses is by collecting data, then analyzing load imbalances against neutral currents and power losses in distribution transformers. Based on calculations, the percentage of load imbalance on the FFK 058 transformer during the day during peak load times is 61.07% with a neutral current of  $IN = 155.2$  A and with power losses of 8.51kW. While the percentage of load imbalance at night during peak load is 98.23% with a neutral current of  $IN = 173.3$  A and with the resulting power losses of  $PN = 13.30$  KW. load imbalance will cause a large neutral current so that the resulting power losses will be even greater.

**Keywords:** Loading, Neutral Current, Power Losses.

Copyright © 2023 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

---

## 1. PENDAHULUAN

Tingginya gaya hidup dan tren masyarakat dalam menggunakan perangkat elektronik, membuat kebutuhan energi listrik pada masyarakat terus mengalami peningkatan. Situasi ini perlu menyediakan energi listrik dengan efisiensi tinggi dan berkualitas tinggi [1]. Efisien artinya energi yang dihasilkan dapat digunakan secara efisien. Pelanggan perlu memaksimalkan atau menghindari kehilangan energi pada peralatan listrik seperti jaringan listrik dan trafo. Kehilangan energi harus diprediksi dan diantisipasi agar terjadi dalam batas normal dan wajar. Sistem ini digunakan bila lokasi pembangkit listrik jauh dari konsumen. Transmisi dan distribusi mendistribusikan daya ke konsumen. Dalam melakukan transmisi energi listrik, sering kali terjadi kehilangan energi atau voltage drop sendiri merupakan kehilangan energi

akibat adanya tegangan atau hambatan pada jaringan dan sistem trafo. Penurunan tegangan adalah hilangnya energi yang sama sekali tidak dapat dihindari. Berdasarkan laporan dari warga sekitar, sering terjadi pemadaman listrik di wilayah tersebut pada malam hari saat beban listrik puncak terjadi. Kondisi ini dapat memicu kerusakan pada transformator jika terus terjadi. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk meneliti ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi pada trafo distribusi berdasarkan permasalahan yang terjadi pada penyulang Danaweria PT. PLN (Persero) ULP Fakfak.

Dalam memenuhi kebutuhan listrik, dibagi beban yang semula merata tetapi karena perbedaan waktu penyalan, terjadi ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan listrik. Ketidakseimbangan beban di tiap fase (R, S, T) mengakibatkan arus mengalir di netral trafo [2] [3] [4]. Biasanya, arus yang mengalir pada jalur netral adalah nol. Namun Ketika semakin bertambah peralatan elektronik yang terhubung pada system, menyebabkan kabel netral lebih banyak terbebani [5]. Kelebihan beban pada jalur netral menyebabkan kerugian yang signifikan dan beresiko terhadap keselamatan konsumen listrik seperti kesalahan fungsi dan kegagalan peralatan listrik [6]. Untuk mengetahui tingkat ketidakseimbangan beban, dianalisis arus beban masing-masing fase untuk menentukan factor ketidakseimbangannya [7]. Jika beban pada satu fase berbeda dengan yang lain, distribusi mengalami ketidakseimbangan yang merugikan jaringan distribusi. Persentase ketidakseimbangan arus antar fasa sesuai acuan Load Reading and Profiling PT. PLN (Persero) seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Standar Ketidakseimbangan Arus Antar Fasa [8]

Karakteristik	Health Index			
	Baik	Cukup	Kurang	Buruk
Ketidakseimbangan arus antar fasa	<10%	10 ≤ 20%	20% ≤ 25%	≥ 25%

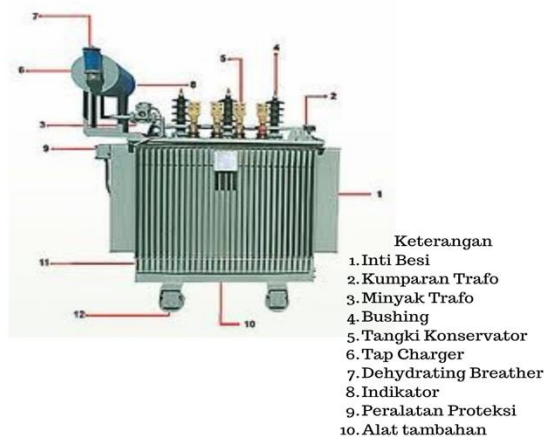
## 2. KAJIAN PUSTAKA

### 2.1. Transformator

Transformator merupakan perangkat listrik yang mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu level ke level lainnya melalui koneksi magnetik dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Perangkat ini terdiri dari inti yang terbuat dari besi berlapis dan dua kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Penggunaan transformator yang sederhana dan andal memungkinkan pengguna untuk memilih tegangan yang cocok dan ekonomis untuk keperluan tertentu, dan ini adalah salah satu alasan penting mengapa arus bolak-balik sangat banyak digunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. [9].

### 2.2. Transformator Distribusi

Transformator distribusi mengonversi tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Seperti halnya dengan komponen lain dalam rangkaian distribusi, kerugian energi dan penurunan tegangan yang disebabkan oleh arus listrik yang mengalir ke beban harus dipertimbangkan saat memilih dan menempatkan transformator. Transformator distribusi yang paling umum digunakan adalah transformator step-down 20kV/400V. Tegangan fasa ke fasa dalam sistem jaringan tegangan rendah adalah 380V. Konstruksi transformator distribusi dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Konstruksi transformator

### 2.3. Fungsi Transformator

Transformator memiliki fungsi sebagai berikut [10]:

1. Untuk pengukuran dan proteksi, dengan cara mentransformasikan besaran teganga tinggi ke rendah.
2. Mengisolasi bagian primer yang di gunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran yang mengisolasi bagian primer.
3. Untuk standarisasi besaran tegangan sekunder untuk kebutuhan peralatan sisi sekunder.
4. Mempunyai duakelas yaitu kelas proteksi (3P, 6P) dan kelas pengukuran (0,1 : 0,2 : 0,5 ; 1,3) .

### 2.4. Arus netral

Arus netral dalam distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tiga fasa empat kawat dengan tegangan rendah. Arus yang mengalir pada kawat netral, yang merupakan arus balik untuk distribusi tiga fasa empat kawat, diperoleh dengan menjumlahkan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris. Arus netral ini muncul ketika beban tidak seimbang dan ketika terdapat arus harmonik akibat penggunaan beban non-linier yang semakin meningkat saat ini [11].

### 2.5. Arus Netral Karena Beban tidak Seimbang

Dalam sistem tiga fasa empat kawat, jumlah arus yang mengalir melalui saluran sama dengan arus netral yang mengalir melalui kawat netral. Artinya, jika arus di ketiga fase seimbang, maka arus netral akan bernilai nol. Namun, jika arus di ketiga fase tidak seimbang karena beban yang tidak merata, maka akan ada arus yang mengalir melalui kawat netral. Oleh karena itu, arus netral akan memiliki nilai yang tidak sama dengan nol [12]. Dari pengertian tersebut maka besarnya arus netral yang mengalir dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$IA + IB + IC = IN \quad (1)$$

Dimana:

IA = arus pada fasa R

IB = Arus pada fasa S

IC = Arus pada fasa T

IN = Arus Netral

### 2.6. Rugi-rugi Transformstor

Kerugian pada transformator dapat dikelompokkan menjadi kerugian primer, kerugian sekunder, dan kerugian inti (besi). Kerugian primer dan sekunder adalah kerugian daya nyata  $I^2R$  dalam watt yang disebabkan oleh resistansi pada masing-masing belitan primer dan sekunder. Jika transformator tidak diberi beban, maka tidak ada kerugian daya pada sekunder.

Ketidakseimbangan beban akan menyebabkan arus mengalir pada titik netral transformator, di mana arus pada titik netral harus nol. Hal ini akan mempengaruhi pelayanan kebutuhan tenaga listrik bagi pelanggan dan dapat mengurangi keandalan penyediaan listrik. Akibat dari ketidakseimbangan beban pada setiap fase di sisi sekunder transformator (fase R, fase S, fase T), arus mengalir pada netral transformator. Arus yang mengalir pada penghantar netral transformator ini menyebabkan kerugian. Kerugian pada penghantar netral ini dapat dirumuskan sebagai berikut. [13] [14].

$$PN = IN^2 \cdot RN \quad (2)$$

Dimana:

PN = Losses daya pada penghantar netral trafo

IN = Arus yang mengalir pada netral trafo

RN = Tahanan penghantar netral trafo

Presentasi rugi-rugi akibat arus netral pada penghantar arus netral pada penghantar netral trafo dimana daya aktif transformator (P):  $P = S \cdot \cos \varphi$  , dimana yang digunakan adalah 0,85.

$$\%PN = \frac{PN}{P} \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

%PN = Presentasi Rugi-Rugi Netral Pada Penghantar Netral Trafo

PN = Rugi-Rugi Netral Trafo

P = Daya Aktif Trafo

Dampak dari beban yang tidak merata pada setiap fase adalah terjadinya arus yang mengalir pada penghantar netral. Apabila nilai tahanan terdapat di antara grounding netral dan arus mengalir, maka kawat netral akan menjadi bermuatan dan menyebabkan ketidakseimbangan tegangan pada trafo. Arus yang mengalir melalui kawat netral akan menyebabkan kerugian daya terbesar di sepanjang kawat

netral. Nilai tahanan penghantar netral trafo ( $\Omega$ ) dan kerugian yang dihasilkan akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung sebagai berikut [15]:

$$PG = I^2 G \times RG \quad (4)$$

Dimana:

PG = Losses daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah

IG = Arus yang mengalir ke tanah

RG = Tahanan pembumihan netral trafo

Rugi-rugi daya juga dapat terjadi pada jaringan distribusi yang disebabkan oleh terjadinya selisih antara kWh yang disalurkan dari sumber dengan kWh yang dikonsumsi oleh masyarakat [16]. Selisih ini timbul akibat adanya ketidakseimbangan beban pada sistem jaringan distribusi [17]. Besarnya losses yang terjadi secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut [18]:

$$Loses = (Ps - Pp)/Ps \quad (5)$$

Dimana:

Ps = Energi yang disalurkan

Pp = Energi yang dipakai

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Lokasi Penelitian

Pada penelitian ini lokasi yang digunakan pada penyulang Danaweia di Trafo FFK 058 yang beralamat di kam. Kayu Merah Fakfak Papua Barat. gardu tipe portal 2017 – 200 H dengan merek Sintra ini memiliki dua jalur yang melayani kayu Merah Atas dan SD Inpres. Adapun waktu dan tempat pengambilan data dengan melakukan observasi lapangan yang dilakukan selama 3 bulan pada tanggal 11 Juli 2022 – 3 September 2022. Data yang digunakan diperoleh sumber secara langsung yaitu PT. PLN (persero) ULP Fakfak.

#### 3.2. Pengambilan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi atau pengamatan langsung dengan cara mencari data teknis secara langsung di lapangan. Data yang dikumpulkan meliputi data longsheet sistem transformator distribusi 2017-200 H dan longsheet laporan beban puncak pada trafo FFK 058 200 kVA Kayu Merah setiap waktu. Pengumpulan data terkait studi kasus ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi pada trafo distribusi FFK 058 Kayu Merah dengan daya terpasang sehingga penulis dapat mengambil data dan membuat kesimpulan dari pengamatan langsung yang akan menjadi acuan dalam melakukan studi ini.

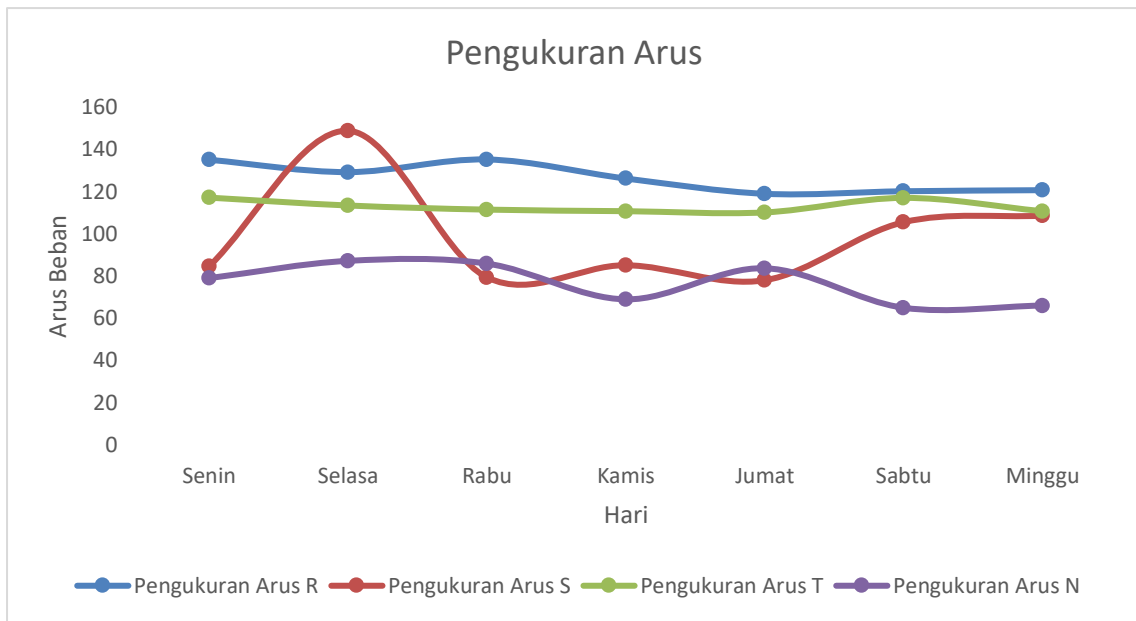
#### 3.3. Pengolahan Data

Langkah-langkah yang digunakan dalam mengolah data sebagai berikut:

- Melakukan observasi data berupa data longsheet sistem transformator distribusi 2017 -200 H, dan longsheet laporan tiap waktu beban puncak pada trafo FFK 058 200 kVA Kayu Merah.
- Menghitung beban puncak siang dan beban puncak malam.
- Melakukan analisa arus netral menggunakan persamaan 1.
- Melakukan Analisa rugi-rugi daya menggunakan persamaan 2.

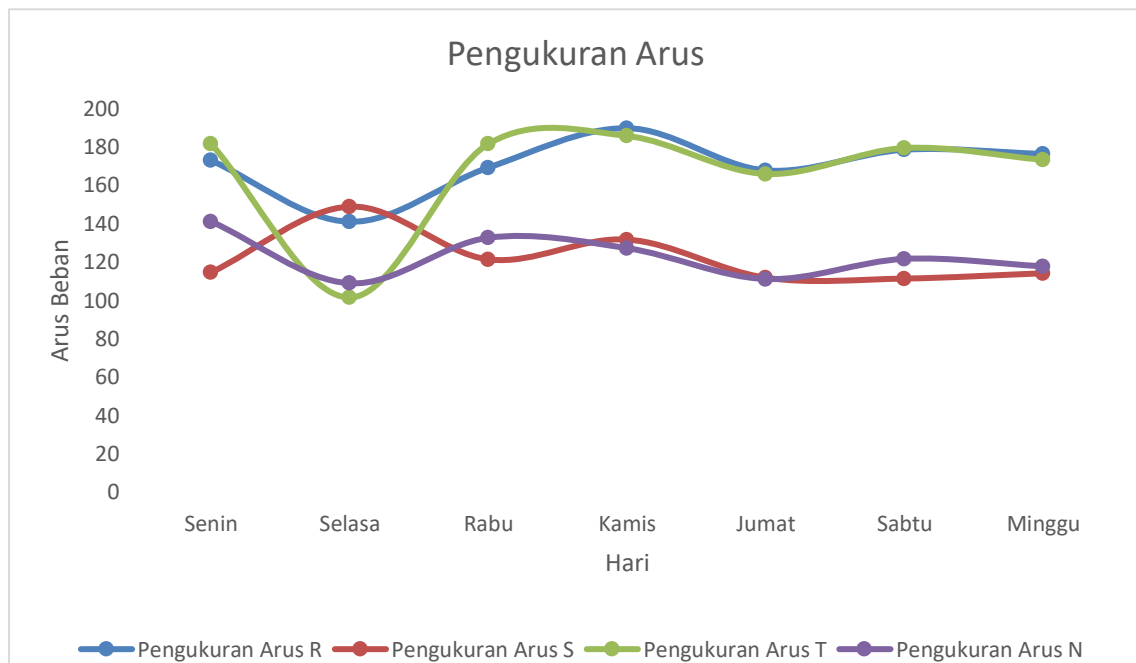
### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Trafo distribusi yang akan di analisis pada penelitian ini adalah trafo distribusi tipe portal merek Sintra dengan kapasitas trafo 200 kVA di Kayu Merah Atas Penyulang Danaweria. Pengukuran arus beban pada masing-masing fasa dilakukan pada saat waktu beban puncak dimana pemakaian beban pemakaian energi listrik maksimal yang tercatat berdasarkan waktu yaitu, harian, mingguan, maupun bulanan. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran waktu beban puncak harian dalam kurun waktu seminggu. Beban puncak terjadi ketika kebutuhan listrik konsumen menanjak ke titik yang paling tinggi di satu waktu tertentu karena pemakaian listrik oleh pelanggan secara bersamaan. Pada umumnya waktu beban puncak akan berlangsung selama 5 jam, namun pada prakteknya pemakaian listrik pada saat waktu beban puncak tidak selalu berlangsung selama 5 jam. Menurut ketentuan dari PT. PLN (Persero) ULP fakfak, waktu beban puncak dapat terjadi pada siang hari antara pukul 10.00 s/d 14.00 WIT dan juga dapat terjadi pada malam hari yang berlangsung pada rentang waktu antara pukul 17.00 s/d 22.00 WIT. Dari hasil pengukuran arus yang telah dilakukan selama penelitian, maka dapat diketahui bahwa beban puncak trafo 200 kVA di Kayu Merah Atas penyulang Danaweria pada waktu beban puncak siang hari pada pukul 12.00 WIT dan waktu beban puncak malam hari pada pukul 19.00 WIT sebagaimana disajikan pada gambar berikut ini.



Gambar 2. Pengukuran arus beban puncak pada siang hari

Dari gambar 2 di atas diketahui bahwa terjadi ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa. Pada waktu beban puncak selamat sepekan, terlihat bahwa fasa R dan fasa T terlihat pembebanannya lebih stabil sementara fasa S terlihat berfluktuatif. Ketidakseimbangan arus beban pada fasa R, S dan T menimbulkan muncul arus yang mengalir pada fasa Netral. Dapat dilihat pada gambar 2 bahwa ketidakseimbangan pembebanan pada masing-masing fasa hanya terjadi pada hari senin sampai hari jumat yang merupakan hari kerja sehingga menimbulkan arus netral yang relative besar. Sementara pada hari sabtu dan minggu pembebanan pada masing-masing fasa relative seimbang sehingga arus netral lebih kecil.



Gambar 3. Pengukuran arus beban puncak pada malam hari

Pada gambar 3 memperlihatkan profil pembebanan pada waktu beban puncak malam hari, dimana pada gambar tersebut terlihat bahwa fasa R dan fasa T memiliki beban lebih besar dibandingkan dengan fasa S. pada gambar 3 juga terlihat bahwa trafo distribusi pada penyulang Danaweria memiliki arus beban yang lebih besar pada malam hari dibandingkan siang hari. Hal ini dikarenakan aktifitas pelanggan yang lebih

aktif mengonsumsi listrik ketika malam hari pada rentang pukul 17.00 s/d pukul 22.00 dibandingkan pada siang harinya. Akibat dari ketidakseimbangan pembebanan pada fasa R, S dan T serta tingginya pembebanan pada waktu beban puncak malam hari sehingga mengakibatkan timbulnya arus netral yang tinggi yang menyebabkan trafo distribusi mengalami rugi-rugi daya.

Perhitungan kerugian daya akibat arus netral pada penghantar netral jaringan rendah (JTR) dapat dihitung dengan menggunakan kabel Twisted berukuran  $3 \times 50 + 1 \times 50 \text{ mm}^2$  dengan penghantar  $R = 0,641$  yang dipasang pada trafo. Pada gardu FFK 058 penyulang Danaweria, digunakan persamaan (2.) dan (3) untuk menghitung kerugian daya akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral jaringan tegangan rendah (JTR). Transformator FFK 058 memiliki kapasitas 200 kVA dan digunakan oleh PT. PLN (Persero) ULP Fakfak. Detail kondisi dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 2. Rugi-rugi pada transformator FFK 058 200 kVA

Waktu	Pembebanan	IN (A)	PN (KW)	PN (%)
Siang	61,07%	155,2	8,51	5,00
Malam	98,23 %	173,3	13,90	8,18

Berdasarkan data yang tertera pada tabel 3, pengukuran beban pada siang hari di gardu FFK 058 menunjukkan pembebanan sebesar 61,07%, ketidakseimbangan sebesar 11%, dan rugi-rugi daya sebesar 5,00%. Sementara itu, pada malam hari, pembebanan mencapai 98,23% dengan ketidakseimbangan beban 13,67%, dan rugi-rugi daya sebesar 8,18%. Tingginya presentase pembebanan pada malam hari dapat berakibat pada kerusakan pada trafo FFK 058. Ketidakseimbangan pada trafo juga akan memperparah situasi, karena semakin besar ketidakseimbangan, semakin besar pula arus yang mengalir pada penghantar netral dan rugi-rugi daya yang dihasilkan.

Perhitungan pada tabel 3 menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban pada tiap-tiap fasa pada waktu beban puncak di gardu distribusi FFK 058, dengan pembebanan mencapai 200 kVA. Hal ini dapat menyebabkan arus netral yang mengalir pada penghantar netral dan rugi-rugi daya semakin besar, yang seharusnya tidak melebihi batas maksimal  $\pm 10\%$  menurut SPLN No. 50 tahun 1997 mengenai rugi-rugi pada transformator.

## 5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan Analisa dari data hasil pengukuran arus beban pada trafo distribusi penyulang danaweria, diketahui bahwa persentase pembebanan pada waktu beban puncak siang hari mencapai 61,07% sedangkan pada waktu beban puncak malam hari mencapai 98,23%. Selain itu, juga terjadi ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi yang terjadinya rugi-rugi daya serta timbulnya arus netral pada waktu beban puncak yang mencapai 5,00% pada siang hari dan 8,18% pada malam hari. Secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa pada malam hari ketidakseimbangan pada trafo distribusi semakin besar akibat penggunaan beban listrik yang tidak merata sehingga membuat arus netral menjadi semakin besar.

## REFERENSI

- [1] Y. L. Elo, Rusliadi and D. Y. Sulli, "Analisis Pembebanan Transformator Distribusi Tipe Voltra 100 kVA pada Jalan Mambruk dalam PT. PLN (Persero) ULP Fakfak," *Jurnal Kewarganegaraan*, vol. 06, no. 03, pp. 5973 - 5979, 2022.
- [2] R. Purwanto, "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Jaringan Tegangan Rendah (PT. PLN Rayon Belanti Padang).," Universitas Andalas, 2019.
- [3] Y. Santosi, "Analisa Dampak Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses Pada Jaringan Kelistrikan Fakultas Pertanian Universitas Andalas," Universitas Andalas, 2019.
- [4] R. Akbar, I. D. Sara and Suriadi, "Analysis of UPFC Installation Effect on Power Flow in the 150 kV Aceh Transmission System," in *International Conference on Computer System, Information Technology, and Electrical Engineering (COSITE)*, Banda Aceh, 2021.
- [5] U. Tahir, S. A. Ali, O. Azeem, O. Khan and R. Muzzammel, "THD improvement of phase voltages via injection of voltage in neutral conductor for three phase four wire distribution system," in *International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET)*, Lahore, Pakistan, 2018.



- [6] M. E. Mahadan, A. F. Abidin, M. a. T. M. Yusoh and M. A. Hairuddin, "Modelling Neutral to Ground Voltage (NTGV) on the Educational Building," in *IEEE International Conference in Power Engineering Application (ICPEA)*, Shah Alam, Malaysia, 2022.
- [7] S. Hidayat, S. Legino and N. F. Mulyanti, "Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi Cd 33 Penyulang Sawah Di Pt Pln (Persero) Area Bintaro," *Jurnal Sutet*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [8] Rusliadi, Y. L. Elo and N. Lembang, "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Bambang Djaja ULP Fakfak," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, pp. 7-9, 2022.
- [9] M. Djteng, *Pembangkit Energi Listrik*, Jakarta: Erlangga, 2011.
- [10] A. A. Syaprudin and R. Hariyanti, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Arus Netral dan Rugi-rugi pada Trafo Distribusi di PT. PLN (Persero) UP3 Kebon Jeruk," Institut Teknologi PLN, 2020.
- [11] R. F. Sibarani and S. Amien, "Pengaruh Arus Netral Terhadap Rugi-Rugi Beban Pada Transformator Distribusi Pln Rayon Johor Medan," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 12, no. 33, pp. 49 - 54, 2015.
- [12] J. Stevenson and D. William, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Jakarta: Erlangga, 1983.
- [13] J. S. Setiadji, T. Machmudsyah and Y. Isnanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 6, no. 1, pp. 68 - 73, 2007.
- [14] E. H. Sadiq, R. K. Antar and S. T. Ahmed, "Power losses evaluation in low voltage distribution network: a case study of 250 kVA, 11/0.416 kV substation," *Power losses evaluation in low voltage distribution network: a case study of 250 kVA, 11/0.416 kV substation*, vol. 25, no. 01, pp. 34-41, 2022.
- [15] H. L. Latuperissa and G. V. Titaley, "Analysis Of The Effect Of Load Imbalance On Neutral Current And Power Losses In Distribution Transformer Bglwy1036 Substation Rumah Tiga," *Multiscience*, vol. 3, no. 4, pp. 179-190, 2023.
- [16] Sugianto, A. Jaya and B. A. Ashad, "Analisis Rugi-Rugi Daya Jaringan Distribusi Penyulang POLDA Area Makassar Utara dengan Menggunakan ETAP 12.6," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, pp. 51-54, 2020.
- [17] N. J. Hontong, M. Tuegeh and Patras, "Analisa Rugi –Rugi Daya Pada JaringanDistribusi Di PT. PLN Palu," *E-Journal Elektro dan Komputer*, pp. 64-71, 2015.
- [18] p. V. P. Gamaliel, "Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Arus Netral dan Loses pada Transformator Distribusi MI. 651 PT. PLN (Persero) Unit Layanan Pelanggan Labuhan," fakultas Teknik, 2019.