

Evaluasi Kinerja Transformator Distribusi: Ketidakseimbangan Beban pada Siang dan Malam Hari

Rusliadi*, Yualianto La Elo, Nurul Husnah, Naomi Lembang, Herman HR

Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Negeri Fakfak
Alamat: Jl. TPA Imam Bonjol Atas, Kampung Tanama, Distrik Wagon Kabupaten Fakfak, Papua Barat
E-mail: rusliadi@polinef.id

Naskah Masuk: 24 Juli 2025; Diterima: 13 Maret 2026; Terbit: 31 Maret 2026

ABSTRAK

Abstrak – Transformator distribusi merupakan salah satu komponen penting dalam menyalurkan tenaga listrik ke pelanggan. Masalah yang sering muncul pada trafo distribusi adalah terjadinya ketidakseimbangan beban akibat perbedaan pembebanan pada setiap fasa pada trafo yang mengakibatkan terjadinya arus pada fasa netral serta menurunnya efisiensi pada trafo tersebut. Pada penelitian ini telah dilakukan evaluasi kinerja pada trafo distribusi dengan melakukan analisis terhadap pembebanan pada trafo serta persentase ketidakseimbangan pembebanan antar fasa pada sisi sekunder trafo. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa trafo pada penyulang wagon memiliki kinerja yang baik. Hal ini dapat dilihat dari Health Indeks pembebanan pada trafo FFK 112 sebesar 36,38% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 60,4%. Sedangkan Health Index pembebanan pada trafo FFK 025 jalur 1 sebesar 19% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 31,63%. Sementara untuk jalur 2 sebesar 23,46% untuk siang hari dan 38,89% pada malam hari. Sementara itu persentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 112 sebesar 3,32% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 4,5%. Untuk persentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 025 jalur 1 sebesar 4,5% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 5,1%. Sementara pada jalur 2 persentase ketidakseimbangan beban sebesar 18,3% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 12%.

Kata kunci: Evaluasi Kinerja Trafo, Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Indeks Pembebanan

ABSTRACT

Abstract – Distribution transformers are key parts of the system that deliver electricity to people. A common issue with these transformers is load imbalance, which happens when each part of the transformer is not getting the same amount of electricity. This imbalance causes extra current in the neutral wire and makes the transformer work less efficiently. In this study, we checked how well distribution transformers are performing by looking at how much electricity they are handling and how balanced the load is between the different parts of the transformer on the secondary side. From the results, we found that the transformer on the wagon feeder is working well. This is shown by the Health Index for the FFK 112 transformer, which is 36.38% during the day and 60.4% at night. The Health Index for the FFK 025 transformer on line 1 is 19% during the day and 31.63% at night. For line 2, it's 23.46% during the day and 38.89% at night. The load imbalance for the FFK 112 transformer is 3.32% during the day and 4.5% at night. For the FFK 025 transformer on line 1, the imbalance is 4.5% during the day and 5.1% at night. On line 2, the load imbalance is 18.3% during the day and 12% at night.

Keywords: Transformer Performance Evaluation, Distribution Transformer, Load Unbalance, Loading Index

Copyright © 2026 Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)

1. PENDAHULUAN

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

Pada penyaluran energi listrik pada jaringan tegangan rendah, salah satu peralatan utama yang digunakan adalah Transformator Distribusi 3 Fasa. Trafo distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan sehingga tegangan tersebut dapat dipakai dengan aman oleh konsumen pada jaringan tegangan

rendah seperti rumah tangga, lampu jalan, sekolah, dan lain-lain. Dalam penyaluran energi listrik sering kali dijumpai pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Pembebanan yang tidak merata karena waktu penyaluran beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasanya [2].

Pada PT. PLN (Persero) ULP Fakfak terdapat Penyulang Fakfak Utara yang melayani gardu distribusi, salah satu adalah transformator distribusi. Dari hasil inspeksi diketahui bahwa transformator mengalami masalah ketidakseimbangan beban yang cukup besar. Peningkatan pertumbuhan ekonomi dan laju pembangunan yang semakin pesat di Kabupaten Fakfak yang membutuhkan daya listrik yang besar, berkelanjutan, dan harus selalu dijaga agar dapat memenuhi kebutuhan konsumsi energi listrik pelanggan. Untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan suatu sistem tenaga listrik yang handal. Namun, seiring dengan pertumbuhan kebutuhan pelanggan, mengakibatkan pelaksanaan pendistribusian sistem tenaga listrik tidak lepas dari berbagai macam gangguan yang menyebabkan menurunnya ketidakseimbangan beban listrik [3] Apabila efisiensi transformator menurun dapat berakibat pada nilai umur trafo yang berkurang sehingga kehandalan salah satu dalam sistem tenaga listrik pun ikut mengalami penurunan kualitas pelayanan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan.

Dengan melakukan perhitungan ketidakseimbangan beban pada transformator dapat digunakan untuk memberikan informasi kepada PLN bahwa ketidakseimbangan beban dapat mengakibatkan kerugian materiil. Sehingga dapat ditindak lanjut oleh PLN untuk mengatasi kerugian yang dialami akibat ketidakseimbangan beban pada transformator.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Transformator

Transformator merupakan suatu komponen/alat yang terdiri dari dua atau lebih kumparan yang dihubungkan oleh medan magnetik bersama (mutual magnetic field), Bila satu di antara kumparan ini, yang primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, akan ditimbulkan fluks bolak-balik yang amplitudonya bergantung pada tegangan primer dan jumlah lilitannya. Fluks bersama akan akan menghubungkan kumparan yang lain, yang sekunder, dan akan menginduksikan tegangan didalamnya yang nilainya bergantung dengan jumlah lilitan sekunder [4]

2.2. Ketidak seimbangan beban

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 nominaln. 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 penanggungan pengeluaran barang modal untuk perbaikan dan perluasan sistem itu sendiri. 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 [5].

Sistem pembangkitan adalah tahap pertama dimana tenaga listrik dibangkitkan dan kemudian disalurkan ke sistem transmisi. Setelah ditransmisikan dan disalurkan kepada gardu induk sebagai pusat beban, maka akan diteruskan ke sistem distribusi kepada pelanggan. Dalam sistem distribusi tenaga listrik, transformator distribusi sangat berperan penting untuk mengubah tegangan transmisi 20KV menjadi 380V untuk pelanggan 3 fasa dan 220V untuk pelanggan 1 fasa yang kemudian didistribusikan kepada pelanggan [6].

Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) ini akan mengakibatkan banyak hal, seperti: kinerja trafo, arus mengalir pada kawat netral. Maka dari itu diperlukan suatu usaha untuk memaksimalkan gardu distribusi agar arus yang masuk dan mengalir dapat dimaksimalkan terpakai oleh pelanggan, untuk mencukupi kebutuhan tenaga listrik tersebut, maka terjadilah pembagian beban yang tidak merata dan efisien antar setiap fasanya. Hal ini biasanya terjadi karena pola penyambungan SR (Sambungan Rumah) pelanggan yang menggunakan pasokan 1 fasa, pada proses penyambungan kabel baru, atau pasang meter tidak memperhatikan kondisi beban fasa drop tegangan. Maka dari itu, apabila tidak diperbaiki akan mengakibatkan pembebanan yang tidak seimbang pada transformator, akibatnya akan merusak gangguan penyediaan tenaga listrik [7].

2.3. Standar Pembebanan dan Ketidakseimbangan beban pada trafo

Menurut acuan yang telah ditetapkan oleh PT. PLN (Persero) tentang acuan Load Reading and Profilling Persentase ketidak seimbangan arus antar fasa seperti diperlihatkan pada tabel

Tabel 1 Indeks Ketidakseimbangan Beban Antar Fasa

Karakteristik	Beban	Indeks kesehatan			
		Baik	Cukup	Kuran baik	Buruk
Ketidakeimbangan antara arus fasa		< 10%	10% - < 20%	20% - < 25%	> 25%

[8]

Sementara itu, standar pembebanan menurut SPLN No. 17 tahun 2014 batas pembebanan yang telah ditentukan oleh PLN sebagaimana disajikan pada tabel berikut:

Tabel 2 Indeks Pembebanan pada Trafo

Karakteristik	Beban (%)	Indeks kesehatan			
		Baik	Cukup	Kuran baik	Buruk
Pembebanan Transformator terhadap kapasitas)		< 60%	60% - < 80%	80% - < 100	100%

3. METODE PENELITIAN

3.1. Objek Penelitian

Objek penelitian pada penelitian ini adalah saluran distribusi FFK 112 dan FFK 025 yang menelayani penyulang wogom

3.2. Teknik Analisis Data

data yang diperoleh selanjutnya diolah untuk memperoleh nilai ketidakseimbangan dan persentase pembebanan dengan menggunakan persamaan berikut:

- Melakukan perhitungan arus beban dengan menggunakan persamaan [9]

$$I_{Fl} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \quad (1)$$

- Selanjutnya menghitung arus rata-rata dengan menggunakan persamaan

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2)$$

- Menghitung persentase pembebanan dengan menggunakan persamaan

$$\% \text{Pembebanan} = \frac{I_{Rata-rata}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (3)$$

- Melakukan perhitungan ketidakseimbangan beban

Persentase ketidakseimbangan beban transformator dihitung dengan persamaan dibawah ini dan untuk mencari koefisien a, b, c sbagai berikut:

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \quad (4)$$

$$b = \frac{I_S}{I_{Rata-rata}} \quad (5)$$

$$c = \frac{I_T}{I_{Rata-rata}} \quad (6)$$

selanjutnya menggunakan persamaan berikut untuk mentukan persentase beban [10] [11]

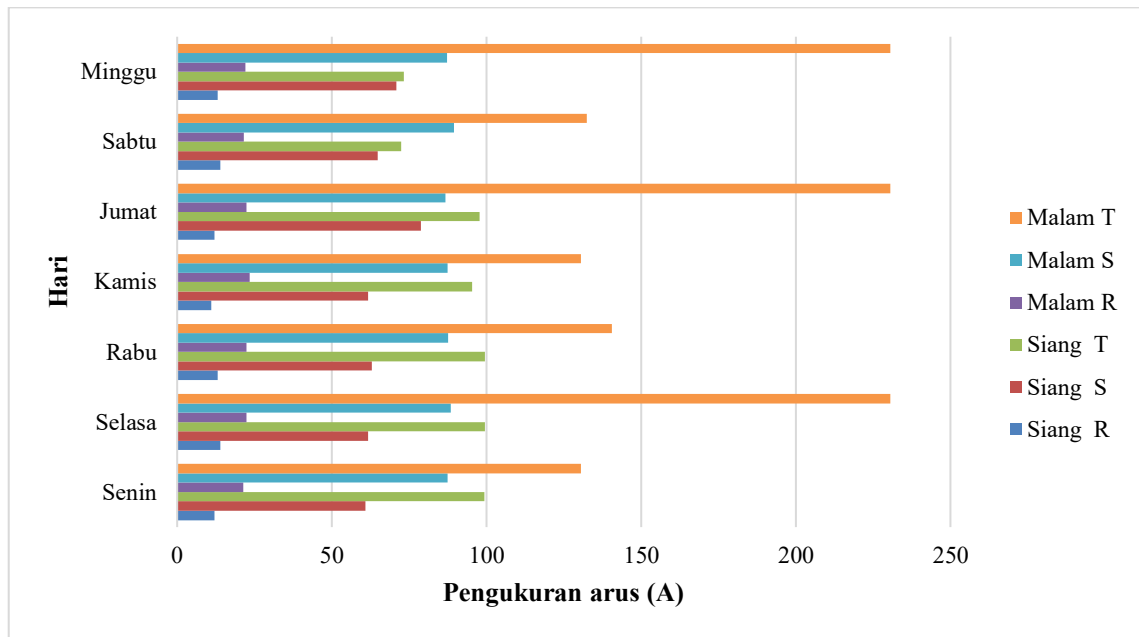
$$\% \text{ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1| + |b-1| + |c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (7)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

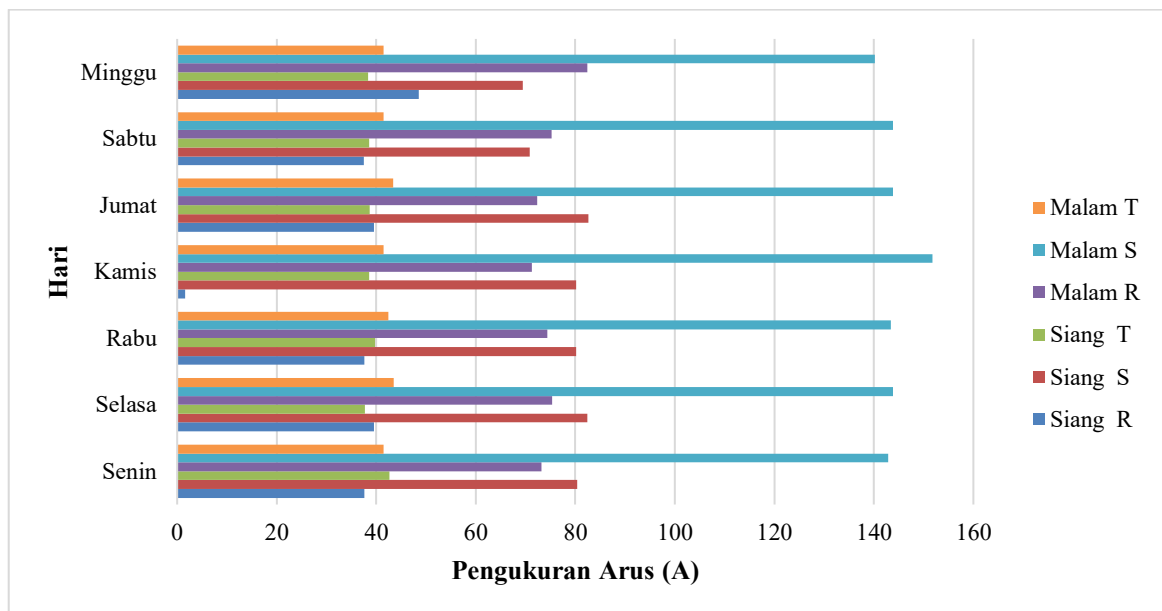
Data pembebanan adalah data yang diperoleh dengan cara mengukur beban dalam hal ini adalah daya yang di gunakan pada saat tertentu. Untuk mengetahui pembebanan maka di lakukan pengukuran arus beban pada saat tertentu yang mana data tersebut akan di proses untuk mengetahui beban yang terpakai.

Beban puncakan (kebutuhan maksimum) sebagai beban kebutuhan besar/tinggi yang terjadi selama priode tertentu. Priode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun dalam setahun. Priode harian, yaitu variasi pembebanan trafo distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak dapat diartikan sebagai beban tertinggi pada suatu periode tertentu.

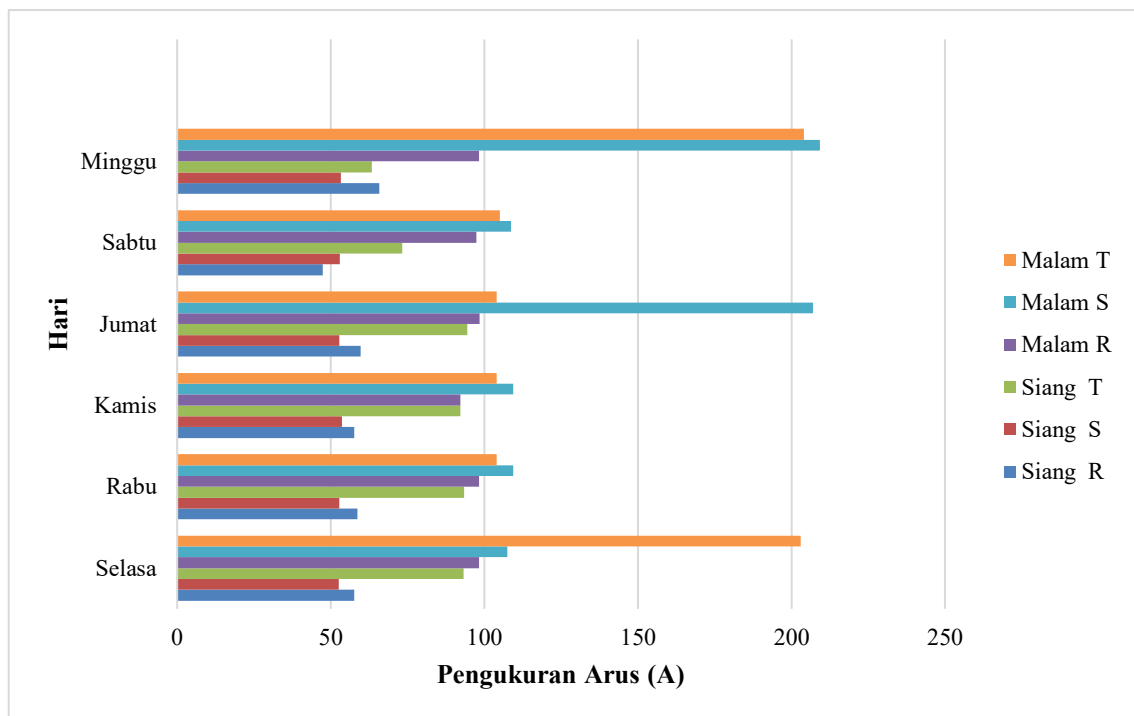
Dalam penelitian yang dilakukan, pengambilan data penggunaan beban dilakukan pada dua beban puncak yakni beban puncak pada siang hari yang diukur pada pukul 12.00 waktu setempat dan beban puncak pada malam hari yang diukur pada pukul 20.00 waktu setempat selama kurun waktu satu minggu.



Gambar 1. Karakteristik beban pada trafo 112 Jalur 1



Gambar 2. Karakteristik beban pada trafo 025 Jalur 1



Gambar 3. Karakteristik beban pada trafo 025 jalur 2

Pada gambar 1 sampai 3 merupakan profil pembebanan pada penyulang wagom. terlihat bahwa pembebanan terlihat seimbang. Untuk memastikan pembebanan sesuai dengan standar seperti yang ditetapkan pada tabel 1 dan 2. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan 1 diperoleh hasil perhitungan arus beban untuk tranfor mator FFK 112 sebesar 144,3 A dan transformator FFK 025 sebesar 2,88,6 A. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menentukan persen pembebanan dan peseketidakseimbangan beban. Dengan menggunakan persamaan 3 selanjutnya diperoleh persentase pembebanan sebagaimana ditampilkan pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Persentase pembebanan

Kode Gardu	Uraian	Siang		Malam	
		Arus Rata-rata (A)	Persentase Pembebanan (%)	Arus Rata-rata (A)	Persentase Pembebanan (%)
FFK 112-1	Jurusan 1	52,5	36,38	87,2	60,4
FFK 025-1	Jurusan 1	56,19	19	91,3	31,63
	Jurusan 2	67,71	23,46	112,26	38,89

Berdasarkan tabel 3 di atas, diketahui bahwa pembebanan pada transformator FFK 112 dan transformator 025 berada dalam kondisi normal. Persentase pembebanan FFK 112 pada siang hari sebesar 36% dan pada malam hari sebesar 60,4%. Menurut health index SPLN seperi yang dijelaskan pada tabel 2, pembebanan tersebut secara berturut turut pada siang dan malam hari dikategorikan baik dan cukup baik.

Persentase pembebanan pada transformator FFK 025 untuk jalur 1 pada siang hari sebesar 19% dan pada malam hari sebesar 31,63%. Sedangkan pada jalur 2 persentase pembebanan pada siang hari mencapai 23,46% dan pada malam hari mencapai 38,89%. Menurut Health Index SPLN, pembebanan pada jalur 2 termasuk kategori baik dengan persen pembebanan kurang dari 60%.

Kinerja pada trafo selanjutnya dapat dilihat dari keseimbangan pembebanan antar fasa pada trafo tersebut. Adanya ketidakseimbangan beban antara fasa, akan menyebabkan terjadinya aliran arus pada fasa nertal yang akan menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya yang berujung pada kerugian bagi PLN serta dapat menurunkan efisiensi kinerja trafo [12]. Untuk mengetahui persentase ketidakseimbangan beban, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan persamaan 7. Hasil perhitungan tersebut kemudian disajikan dalam tabel 4 dan tabel 5 berikut:

Tabel 4. Persentase ketidakseimbangan beban pada siang hari

Kode Gardu	Uraian	Siang			Persentase Ketidakseimbangan (%)
		Arus Rata – rata (A)			
		I_R	I_S	I_T	
FFK 112-1	Jurusan 1	0,76	1,48	0,75	3,32
FFK 025-1	Jurusan 1	0,22	1,15	1,61	4,5
	Jurusan 2	0,73	0,99	0,27	18,3

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 112 dan trafo FFK 025 pada siang hari. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, diketahui bahwa hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban antar fasa pada trafo FFK 112 sebesar 3,32% dan untuk trafo FFK 025 untuk jalur 1 sebesar 4,5% serta pada jalur 2 sebesar 18,3%.

Tabel 5 Persentase Ketidakseimbangan Beban pada Malam Hari

Kode Gardu	Uraian	Malam			Persentase Ketidakseimbangan (%)
		Arus Rata – rata (A)			
		I_R	I_S	I_T	
FFK 112-1	Jurusan 1	0,22	1,15	1,61	4,5
FFK 025-1	Jurusan 1	0,27	0,96	1,76	5,1
	Jurusan 2	0,86	0,95	1,17	12

Tabel 5 di atas merupakan hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 112 dan Trafo FFK 025 pada malam hari. Dari tabel 5 tersebut diketahui bahwa ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 112 sebesar 4,5% dan untuk trafo FFK 025 pada jalur 1 sebesar 5,1% dan pada jalur 2 sebesar 12%. Berdasarkan hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban pada siang dan malam hari seperti yang terlihat pada tabel 4 dan 5, diketahui bahwa transformator FFK 112 dan Transformator FFK 025 dalam kategori baik. Jika dilihat berdasarkan Health Index ketidakseimbangan beban pada tabel, maka dapat disimpulkan bahwa untuk trafo FFK 112 dan trafo FFK 025 jalur 1 berada pada kategori baik dengan indeks persentase ketidakseimbangan beban kurang dari 10%. Sedangkan untuk trafo FFK 025 jalur 2, persentase ketidakseimbangan beban pada waktu beban puncak siang hari dan malam hari berada dikategori cukup dengan indeks ketidakseimbangan beban kurang dari 20%. Hal ini menandakan bahwa trafo distribusi FFK 112 dan trafo FFK 025 yang berada pada penyulang wogom memiliki kinerja yang baik.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa Transformator distribusi FFK 112 dan traformator FFK 025 yang berada di penyulang wogom memiliki kinerja yang tergolong baik. Hal ini dapat dilihat dari Health Indeks pembebanan pada trafo FFK 112 sebesar 36,38% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 60,4%. sedangkan Health Index pembebanan pada trafo FFK 025 jalur 1 sebesar 19% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 31,63%. sementara untuk jalur 2 sebesar 23,46% untuk siang hari dan 38,89% pada malam hari. Sementara itu persentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 112 sebesar 3,32% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 4,5%. Untuk persentase ketidakseimbangan beban pada trafo FFK 025 jalur 1 sebesar 4,5% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 5,1%. sementara pada jalur 2 persentase ketidakseimbangan beban sebesar 18,3% pada siang hari dan pada malam hari sebesar 12%. Tingginya persentase ketidakseimbangan beban pada jalur 2 diakibatkan oleh besarnya kebutuhan listrik pada jalur tersebut.

REFERENSI

- [1] T. M. Arsyadi and A. Salim, "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Penyulang Mibo Rayon Merduati," *Aceh Journal of Electrical Engineering and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 7-12, 2022.
- [2] Zulkhulaifah, Bakhtiar and H. Rudito, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 Kv Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi pada Penyulang Hertasning Baru PT PLN (Persero) ULP Panakukkang Makassar," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, Makassar, 2021.

- [3] Rusliadi, Y. L. Elo, N. Husnah and N. Lembang, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi 20 KV pada Gardu Distribusi Tipe BBD Kampung Tanama PT PLN (Persero) ULP Fakfak," *Jurnal Informasi, Sains dan teknologi*, vol. 6, no. 2, pp. 56-68, 2023.
- [4] A. S. A. Ektianto and A. Darwanto, "Analisis Ketidak Seimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Cepu," *SIMETRIS*, vol. 15, no. 1, pp. 35-42, 2021.
- [5] D. Mangopo, "Minimalisasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban transformator Distribusi Terhadap Arus Netral di PT. PLN (Persero) ULP Sentani Penyulang Matoa," *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika (JTMEI)*, vol. 1, pp. 135-145, 2022.
- [6] A. B. Prayoga, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi Terhadap Rugi-rugi Daya (Losses)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, pp. 23-32, 2023.
- [7] S. Hidayat, "Penyeimbangan Beban pada Jaringan Tegangan Rendah gardu Distribusi CD 33 Penyulang Sawah di PT. PLN (Persero) Area Bintaro," in *Konferensi nasional Social dan Engineering Politeknik Negeri Medan*, Medan, 2023.
- [8] Rusliadi, Y. L. Elo and N. Lembang, "Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Bambang Djaja ULP Fakfak," *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, vol. 1, no. 1, pp. 07-09, 2022.
- [9] H. L. latupeirissa, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi Gardu Kp-01 Desa Hative Kecil," *JURNAL SIMETRIK*, vol. 7, no. 2, pp. 16-22, 2017.
- [10] I. W. Y. Prasetya, I. N. Setiawan and I. G. D. Arjana, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Dan Harmonisa Pada Transformator Distribusi MI 0096 Penyulang Abianbase," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 7, no. 1, pp. 109-115, 2020.
- [11] G. A. K. Sari, "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Trafo Distribusi Studi Kasus Pada PT. PLN (Persero) Rayon Blora," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo, 2018.
- [12] R. Afrianda, A. A. N. Huda and Samsurizal, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Studi gardu PT. PLN (Persero) Area Bekasi," *Jurnal Ilmiah Sutet*, vol. 10, no. 1, pp. 29-38, 2020.