
**Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator
Distribusi 20 KV pada Gardu Distribusi Tipe BBD Kampung Tanama
PT PLN (Persero) ULP Fakfak**

Rusliadi

Teknik Listrik, Politeknik Negeri Fakfak, Fakfak Papua Barat

Yulianto La Elo

Teknik Listrik, Politeknik Negeri Fakfak, Fakfak Papua Barat

Nurul Husnah

Teknik Listrik, Politeknik Negeri Fakfak, Fakfak Papua Barat

Naomi Lembang

Teknik Listrik, Politeknik Negeri Fakfak, Fakfak Papua Barat

Korespondensi penulis: rusliadi@polinef.id

***Abstract.** Today electricity has become an inseparable part of human life. The use of electrical power is increasingly experiencing growth in line with technological advances, which can be seen from industrial activities, offices, and even household consumer energy use. The increasing economic growth and increasingly rapid pace of development in Fakfak Regency requires large, sustainable electrical power and must always be maintained in order to meet customers' electrical energy consumption needs. To achieve this, a reliable electrical power system is needed. However, along with the increase in customer needs, the implementation of the distribution of the electric power system cannot be free from various kinds of disturbances which cause a decrease in electrical load imbalance. The method used in this research is measuring peak load data which is used to determine neutral current imbalance and calculate power losses. Based on the results of the measurements that have been carried out, it was found that the load imbalance on the distribution transformer resulted in power losses and the emergence of neutral current at peak load times, where the largest occurred in the conductors on line 1 during the day, which was 12.5% and at night. day is 29.84%. Meanwhile on line 2 during the day it is 33.48% and at night it is 43.30%.*

***Keywords:** 3-5 words or phrases that reflect the contents of the article (alphabetically).*

Abstrak. Listrik dewasa ini telah menjadi bagian tak terpisahkan dalam kehidupan manusia. Pemanfaatan daya listrik semakin mengalami pertumbuhan sesuai kemajuan teknologi, yang terlihat dari kegiatan industri, perkantoran, bahkan pada pemanfaatan energi konsumen rumah tangga. 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 penambahan kebutuhan pelanggan, mengakibatkan pelaksanaan pendistribusian sistem tenaga listrik tidak lepas dari berbagai macam gangguan yang menyebabkan menurunnya ketidakseimbangan beban listrik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pengukuran data beban puncak yang digunakan untuk menentukan ketidak seimbangan arus netral hingga perhitungan rugi-rugi daya. Berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan diperoleh bahwa ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi yang mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya serta timbulnya arus netral pada waktu beban puncak dimana yang terbesar

terjadi pada penghantar di jalur 1 pada di siang hari adalah sebesar 12,5% dan pada malam hari adalah sebesar 29,84%. Sedangkan di jalur 2 pada di siang hari adalah sebesar 33,48% dan pada malam hari adalah sebesar 43,30%.

Kata kunci: Ketidakseimbangan beban, transformator distribusi, efisiensi, rugi-rugi daya

LATAR BELAKANG

Listrik telah menjadi bagian tak terpisahkan dalam kehidupan manusia. Pemanfaatan daya listrik semakin mengalami pertumbuhan sesuai kemajuan teknologi, yang terlihat dari kegiatan industri, perkantoran, bahkan pada pemanfaatan energi konsumen rumah tangga. Semua peralatan yang digunakan serba canggih dan membutuhkan daya listrik agar dapat bekerja secara optimal. Terlebih lagi, 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 (Yulianto La Elo, 2022)

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 pertambahan kebutuhan pelanggan, mengakibatkan pelaksanaan pendistribusian sistem tenaga listrik tidak lepas dari berbagai macam gangguan yang menyebabkan menurunnya ketidakseimbangan beban listrik.

Jaringan Distribusi Tegangan Rendah adalah bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik. Melalui jaringan distribusi ini disalurkan tenaga listrik kepada para pemanfaat / pelanggan listrik. Mengingat ruang lingkup konstruksi jaringan distribusi ini langsung berhubungan dan berada pada lingkungan daerah berpenghuni, maka selain itu harus memenuhi persyaratan kualitas Teknik pelayanan juga harus memenuhi persyaratan aman terhadap pengguna dan akrab terhadap lingkungan (Edminister, 1984) (Kadir, 1989).

Ketidak seimbangan beban terjadi pada transformator antar tiap fasa yaitu fasa R, fasa S, dan fasa T dan inilah yang menimbulkan arus mengalir pada netral trafo. Arus yang mengalir pada netral trafo ini yang menyebabkan rugi-rugi daya (Kadir, 1989) (Ansari, 2013). Beban dikatakan seimbang apabila pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besarnya, namun pada kenyataannya selalu ada kemungkinan ketidak seimbangan

sehingga arusnya tidak seimbang (Julius Sentosa Setiaji, 2006) (Marsudi, Operasi Sistem Tenaga Listrik, 2006)

Proses penyaluran energi listrik sering kali terjadi pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasanya. Ketidakseimbangan beban ini selalu terjadi karena adanya ketidaksamaan dalam pemakaian energi listrik dan penyambungan kabell APP pelanggan. Ketidakseimbangan yang besar pada fasa R,S,T inilah yang akan menimbulkan arus yang mengalir pada penghantar netral transformator, lalu arus tersebut menyebabkan terjadinya rugi-rugi daya pada transformator (Saputro, 2018) (Andika, 2018). 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. Namun jika dilakukan pemeliharaan secara berkala pada setiap transformator tersebut maka kualitas nya akan tetap terjaga, seperti mengganti minyak pada trafo dan melakukan pengecekan pada setiap gardu-gardunya (Purwanto, 2019) (Santosi, 2019).

Dari hasil pemantauan di lokasi penelitian diketahui bahwa pembagian beban listrik tiap fasa awalnya merata, tetapi karena terjadi pertumbuhan jumlah pelanggan konsumen yang tidak sama disetiap fasanya, sehingga pada sistem jaringan distribusi di wilayah kerja PT. PLN. (Persero) ULP Fakfak, khususnya pada Transformator Distribusi yang berada di Jalan Mambruk Dalam, Kampung Tanama, Distrik Pariwari sering mengalami gangguan yang sering mengakibatkan sistem pendistribusian daya listrik dari gardu distribusi ke konsumen menjadi tidak stabil. Pembagian beban yang tidak merata antar fasa ini terutama disebabkan karena pola penyambungan SR (Sambungan Rumah) pelanggan 1 fasa, pada proses sambung baru tidak memperhatikan kondisi beban fasa pada gardu distribusi tersebut. Oleh karena itu, penyeimbangan beban merupakan suatu upaya untuk mengefesienkan gardu distribusi sehingga arus yang mengalir bisa sepenuhnya di serap oleh pelanggan (Syarif Hidayat, 2018). Transformator distribusi yang dipilih untuk dilakukan studi merupakan trafo hasil pengukuran yang tingkat keseimbangannya lebih dari 20% (F Abdillah, 2014). Setelah dilakukan penyeimbangan maka diharapkan dapat menurunkan besarnya arus netral yang ada serta meningkatkan efektifitas dan efisiensi kegiatan penyeimbangan beban.

KAJIAN TEORITIS

Sistem Jaringan Distribusi Tenaga Listrik

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah (Rijono, 1997);

1. Pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan
2. Merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154kV, 220kV atau 500kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi. Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen.

Klasifikasi Saluran Distribusi

1. Sistem Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer merupakan bagian dari sistem tenaga listrik antar gardu induk dan gardu distribusi. Pada jaringan distribusi primer umumnya terdiri dari jaringan tiga - fasa dengan menggunakan tiga atau empat kawat sebagai penghantar. Didalam penyalurannya pada jaringan distribusi primer menggunakan saluran kawat udara, kabel udara (areal cable) dan sistem kabel tanah dimana penggunaannya sesuai dengan tingkat keandalan yang dibutuhkan.

2. Sistem Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan bagian dari jaringan distribusi dimana jaringan ini berhubungan langsung dengan konsumen tenaga listrik. Pada umumnya tegangan pada jaringan distribusi sekunder 220 / 380 volt.

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 (Marsudi, Pembangkit Energi Listrik, 2011).

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.

Arus Beban Penuh pada Transformator

Penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah (SPLN 72,1987) (SPLN-72, 1987):

1. SUTM, 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
2. SKTM, 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindel dan gugus.
3. Trafo distribusi, 3 % dari tegangan kerja
4. Saluran tegangan rendah, 4 % dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
5. Sambungan rumah, 1 % dari tegangan nominal. Distribusi yang tepat juga rating yang sesuai dengan kebutuhan beban akan menjaga tegangan jatuh pada konsumen dan otomatis akan menaikkan efisiensi penggunaan Transformator Distribusi. Transformator Distribusi merupakan salah satu peralatan yang perlu dipelihara dan dipergunakan sebaik serta seefisien mungkin, sehingga dapat menjaga keandalan/kontinuitas pelayanan yang terjamin mutunya.

Daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (*primer*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

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

Dimana:

S = Daya transformator (VA)

V = Tegangan sisi primer transformator (V)

I = Arus jala-jala (A)

Menentukan arus beban penuh (*full load*) dapat menggunakan rumus:

$$IFL = (-) \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} (Volt) \quad (2)$$

Dengan:

IFL = Arus beban penuh

S = Daya transformator (VA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (V)

Untuk menghitung presentase pembebanannya menggunakan persamaan:

$$\%b = (-) \frac{I_{ph}}{I_{fl}} \times 100\% \quad (3)$$

Dengan;

%b = Presentase pembebanan (%)

I_{ph} = Arus fasa (A)

IFL = Arus beban penuh (A)

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 berikut (Rusliadi, 2022).

Tabel 1. Table acuan *Load Reading and Profilling*

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

Rugi-Rugi Transformator

Ada beberapa rugi-rugi yang terjadi pada transformator yaitu rugi pada saat trafo berbeban dan tanpa beban, rugi pada saat berbeban merupakan fungsi dari arus beban terutama rugi tembaga. Berikut adalah rugi – rugi yang mengalir pada transformator:

1. Losses akibatnya adanya arus pada penghantar netral trafo dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PN = IN^2 R/V \quad (4)$$

Dimana:

P_N = Losses yang timbul pada penghantar netral (Watt)

I_N^2 = Arus yang mengalir melalui kawat netral (A)

R/V = Tahanan pada kawat netral (Ohm)

2. Losses akibat adanya arus ground dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_G = I_G^2 R_G \quad (5)$$

Dimana:

P_G = Losses yang timbul pada penghantar netral (Watt)

I_G = Arus yang mengalir melalui kawat netral (A)

R_G = Tahanan pada kawat netral (Ohm)

3. Efisiensi pada transformator dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\eta = P_o / P_{in} \quad (6)$$

Dimana:

P_o = Daya keluaran (Watt)

P_{in} = Daya Masukan (Watt)

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Pada Penelitian ini lokasi yang di gunakan berada di kampung Tanama JL. Yosudarso Fak-fak Papua Barat. Gardu distribusi tipe BBD ini memiliki dua jalur untuk melayani beberapa rumah yang berada di sekitaran tempat tersebut.



Gambar 1. Gardu Distribusi tipe BBD Kampung Tanama

Adapun waktu dan tempat pengambilan data dengan melakukan observasi lapangan yang dilakukan selama 3 bulan pada tanggal 19 Juni 2023 – 21 Agustus 2023. Data yang digunakan diperoleh sumber secara langsung yaitu PT. PLN (persero) ULP Fakfak.

Pengambilan Data

Metode pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi atau pengamatan langsung dengan cara mencari data teknis secara langsung di lapangan serta melakukan pengukuran secara langsung. Data yang dikumpulkan meliputi:

1. Data Spesifikasi Gardu FFK 012 Tanama
2. Sistem Pembebanan pada Trafo Distribusi FFK 012 Tanama pada jalur 1 dan 2
3. Memahami Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo Distribusi 012 Tanama
4. Menghitung Rugi-Rugi Daya Pada Trafo Distribusi 012 Tanama

Data di atas diperoleh dari longsheet sistem transformator distribusi dan longsheet laporan beban puncak pada trafo distribusi FFK 012 160 kVA Tanama setiap waktu. Pengumpulan data terkait studi kasus ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi pada trafo distribusi FFK 012 160 kVA Tanama dengan daya terpasang sehingga penulis dapat mengambil data dan membuat kesimpulan dari pengamatan langsung yang akan menjadi acuan dalam melakukan studi ini

Pengolahan Data

Analisis data dilakukan setelah pengambilan di PT.PLN (Persero) ULP Fakfak data yang di peroleh di ubah dalam bentuk matematis dan di analisis menggunakan persamaan yang telah ada. Dalam menganalisis data yang di peroleh menggunakan Parameter Microsoft Exel.

a. Analisis beban penuh

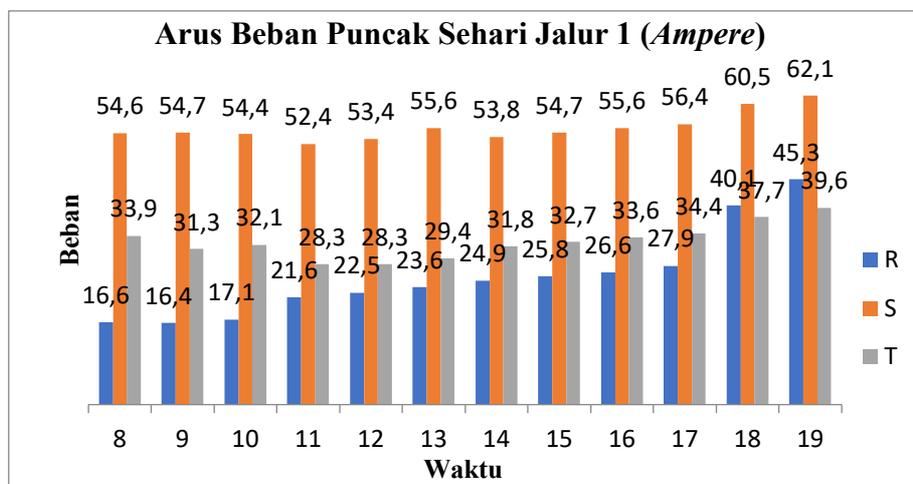
Analisis beban penuh trafo di lakukan dengan mengukur arus dan menghitung arus beban penuh trafo yang telah di ukur. Setelah menghitung beban penuh akan terlihat beberapa jumlah pembebanan pada trafo.

b. Analisis Rugi-rugi daya

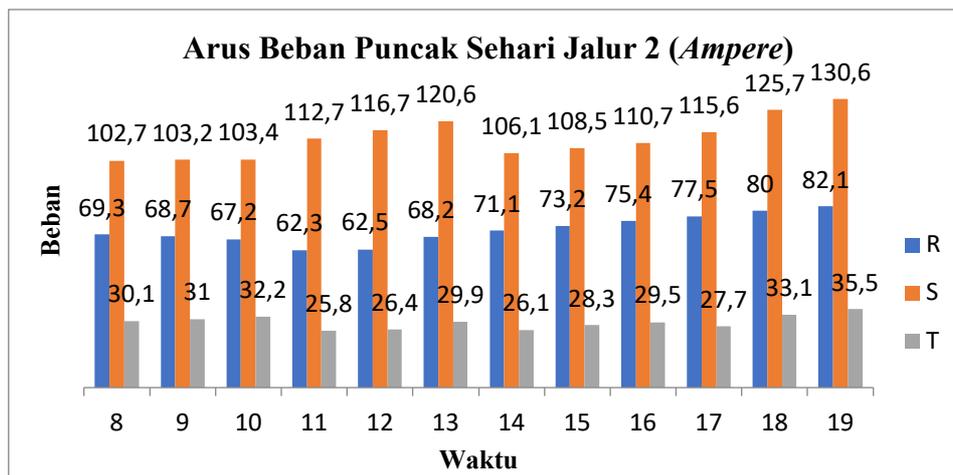
Adanya daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban. Setelah menghitung rugi daya, persentase rugi daya dapat di hitung berapa jumlah rugi dayanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, trafo distribusi yang akan dianalisis adalah ini adalah trafo distribusi tipe portal tipe Bambang Djaja dengan kapasitas trafo 160 kVA di Tanama, Fakfak, Papua Barat. Menurut ketentuan PT. PLN (Persero) ULP Fakfak bahwa pembebanan yang normal pada sebuah trafo distribusi adalah sebesar 60% sampai 80%. Untuk mengetahui pola pembebanan serta beban puncak pada trafo distribusi, maka dilakukan pengukuran beban harian pada masing masing jalur yang dimulai sejak pukul 08.00 WIT sampai dengan pukul 19.00 WIT setiap jamnya yang dapat dilihat pada gambar 1 dan gambar 2 di bawah ini.



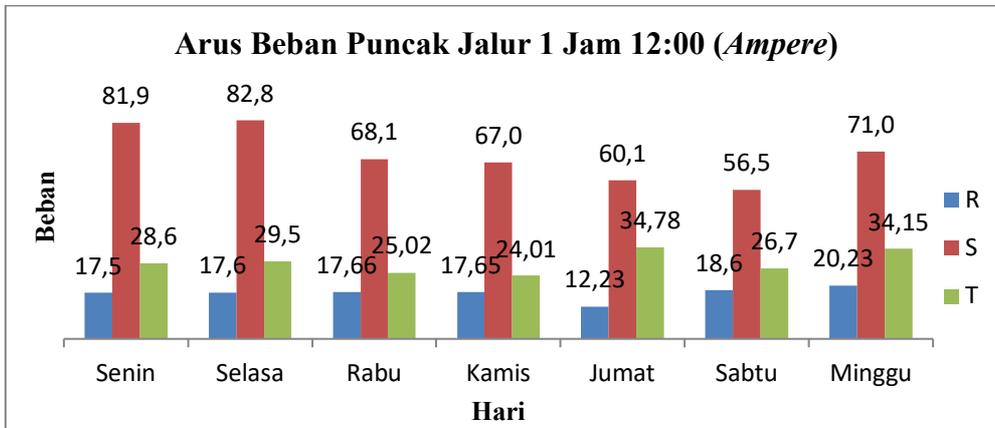
Gambar 2. Arus beban Jalur 1



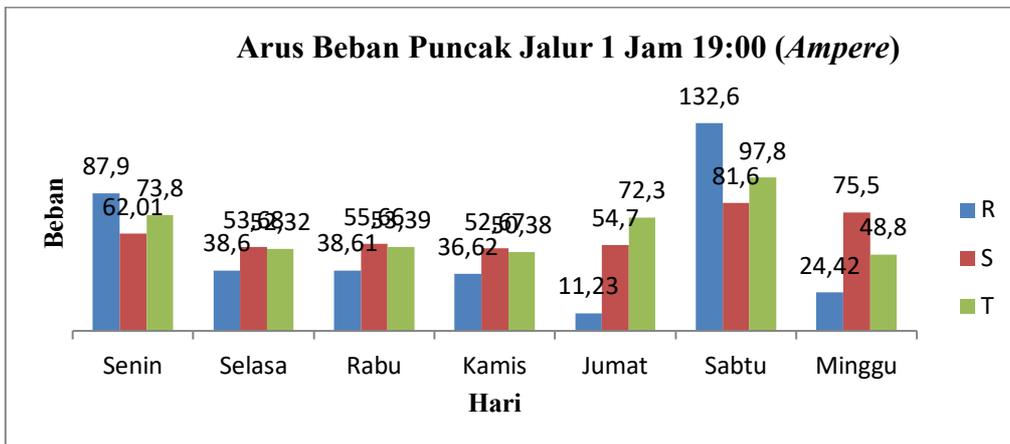
Gambar 3. Arus beban Jalur 2

Dari grafik diketahui bahwa beban puncak terjadi pada pukul 19.00 dimana presentase pembebanan transformator pada jalur 1 sebesar 21,21% sementara pada jalur 2 sebesar 35,82% yang jika ditotal adalah sebesar 57,03% atau sebesar 91,248 kVA.

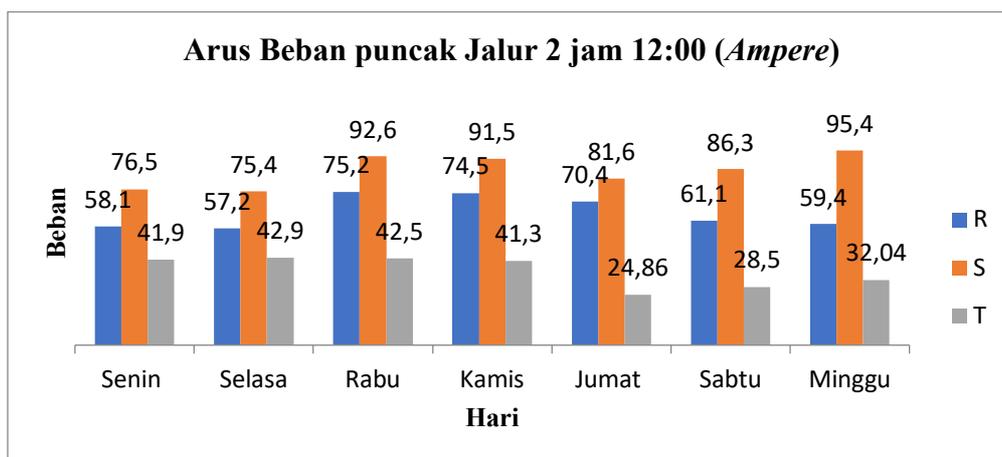
Pengukuran kemudian dilakukan pada waktu beban puncak siang hari pada pukul 12.00 WIT dan waktu beban puncak malam hari pada pukul 19.00 WIT sebagaimana disajikan pada gambar berikut ini.



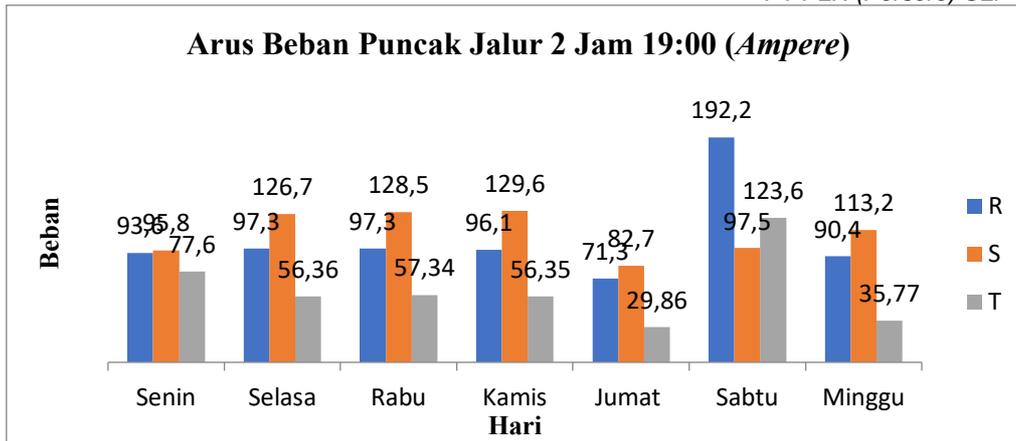
Gambar 4. Beban Puncak Jalur 1 Siang Jam 12:00



Gambar 5. Beban Puncak Jalur 1 Malam Jam 19:00



Gambar 6. Beban Puncak Jalur 2 Siang Jam 12:00



Gambar 7. Beban Puncak Jalur 2 Malam Jam 19:00

Melalui gambar 4 sampai dengan gambar 7 di atas diketahui bahwa terjadi ketidakseimbangan beban pada masing-masing fasa baik pada waktu beban puncak siang maupun malam pada setiap harinya. Ketidakseimbangan arus beban pada fasa R, S dan T menimbulkan muncul arus yang mengalir pada fasa Netral. Terlihat pula pada gambar 5 dan gambar 7 bahwa Trafo Distribusi FFK 012 Tanama 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.

Dari data yang disajikan di atas, dilakukan perhitungan sesuai ketidakseimbangan beban terbesar yang terjadi pada masing masing jalur. Pada jalur 1, dengan menggunakan pengukuran pada hari senin jam 12:00 pada fasa R, S, T diperoleh ketidakseimbangan mencapai 62%. Kemudian dengan menggunakan pengukuran pada hari sabtu jam 19:00 pada fasa R, S, T diperoleh ketidakseimbangan sebesar 23,66%. Sedangkan Pada jalur 2, dengan menggunakan pengukuran pada hari rabu jam 12:00 pada fasa R, S, T diperoleh ketidakseimbangan mencapai 26,33%. Kemudian dengan menggunakan pengukuran pada hari sabtu jam 19:00 pada fasa R, S, T diperoleh ketidakseimbangan sebesar 37%. Melalui hasil perhitungan diketahui bahwa presentasi ketidakseimbangan beban telah mencapai kategori kurang sampai dengan buruk sesuai dengan .

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). Melalui hasil perhitungan sesuai dengan data yang diperoleh melalui pengukuran pada saat beban puncak siang dan malam, maka *losses* akibat adanya arus netral yang terbesar pada penghantar di jalur 1 pada pengukuran hari minggu jam 12:00 WIT adalah sebesar 12,5% dan pada pengukuran hari sabtu jam 19:00 WIT adalah sebesar 29,84%. Sedangkan *losses* akibat adanya arus netral yang terbesar pada penghantar di jalur 2 pada pengukuran hari rabu jam 12:00 WIT adalah sebesar 33,48% dan pada pengukuran hari jumat jam 19:00 WIT adalah sebesar 43,30%. Melalui hasil pengukuran diketahui bahwa telah terjadi arus netral yang mengalir pada penghantar netral sehingga melalui perhitungan diperoleh rugi-rugi daya semakin besar yang seharusnya tidak melebihi batas maksimal $\pm 10\%$ menurut SPLN No. 50 tahun 1997 mengenai rugi-rugi pada transformator.

KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan Analisa dari data hasil pengukuran arus beban pada trafo distribusi Trafo Distribusi FFK 012 Tanama, diketahui bahwa persentase pembebanan pada waktu beban puncak adalah sebesar 57,03% atau 91,248 kVA. Selain itu, juga terjadi ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi yang mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya serta timbulnya arus netral pada waktu beban puncak dimana yang terbesar terjadi pada penghantar di jalur 1 pada di siang hari adalah sebesar 12,5% dan pada malam hari adalah sebesar 29,84%. Sedangkan di jalur 2 pada di siang hari adalah sebesar 33,48% dan pada malam hari adalah sebesar 43,30%. 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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Politeknik Negeri Fakfak atas bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini dan juga Program Studi Teknik Listrik atas dukungan sarana dan prasarana pendukung saat proses pengambilandata di lapangan.

DAFTAR REFERENSI

- Edminister, A. J. (1984). *Rangkaian Listrik Edisi Ke Dua*. Jakarta: Erlangga.
Kadir, A. (1989). *Transformator*. Jakarta: PT. Exel Media Komputindo.
Ansari, R. (2013). *Rugi-rugi dan Efisiensi Tranformator*.
Yulianto La Elo, R. D. (2022). Analisis Pembebanan Transformator Distribusi Tipe Voltra 100 kVA pada Jalan Mambruk dalam PT. PLN (Persero) ULP Fakfak. *Jurnal Kewarganegaraan* , 6(3), 5974-5979.

- Purwanto, R. (2019). Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Rugi-Rugi Daya Pada Saluran Jaringan Tegangan Rendah (PT. PLN Rayon Belanti Padang). *Universitas Andalas*.
- Santosi, Y. (2019). Analisa Dampak Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses Pada Jaringan Kelistrikan Fakultas Pertanian Universitas Andalas. *Universitas Andalas*.
- F Abdillah, M. P. (2014). Penyeimbang Beban Pada Gardu Distribusi Dengan Metode Seimbang Beban Seharian Di PT. PLN Area Bukittinggi. *JURNAL TEKNIK POMITS*, 1(1), 1-6.
- Rijono, Y. (1997). *Dasar Teknik Tenaga Listrik. Edisi Revisi*. Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- Rusliadi, Y. L. (2022). Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Bambang Djaja ULP Fakfak. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 1(1), 7-9.
- Julius Sentosa Setiaji, T. M. (2006). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses Pada Transformator Distribusi. *Jurnal Teknik Elektro*, 6(1), 68-73.
- Marsudi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Saputro, A. E. (2018). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi di PT. PLN (PERSERO) Rayon Palur Karanganyar. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- Andika, D. A. (2018). Pengaruh Pembebanan Terhadap Umur Transformator Tenaga di Gardu Induk Palur 150KV. *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.
- SPLN-72. (1987). *Standar Perusahaan Umum Listrik Negara (SPLN) 72*. Jakarta: Departemen Pertambangan dan Energi - Perusahaan Umum Listrik Negara.
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Erlangga.
- Syarif Hidayat, S. L. (2018). Penyeimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Gardu Distribusi Cd 33 Penyulang Sawah Di Pt Pln (Persero) Area Bintaro. *Jurnal SUTET*, 8(1), 21-27.