



Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi Daya Pada Transformator Daya Di Gardu Induk Bukuan

Reyno Rezky Ammarsaputra¹⁾, Fatkhul Hani Rumawan²⁾

^{1, 2)} Fakultas Teknik/Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mulawarman

E-mail: f_hani_r@yahoo.co.id

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban dalam sistem distribusi tenaga listrik merupakan permasalahan umum yang dapat menimbulkan arus netral dan rugi-rugi daya pada transformator, sehingga berpotensi menurunkan efisiensi dan umur peralatan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada Transformator 3 di Gardu Induk Bukuan, Samarinda. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan pengumpulan data arus fasa selama tujuh hari, yang dianalisis untuk menentukan nilai rata-rata arus, persentase pembebanan, tingkat ketidakseimbangan beban, arus netral, serta rugi-rugi daya yang diakibatkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai ketidakseimbangan beban berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh PLN, yaitu <10% sesuai SPLN 0017:2014, dengan rata-rata sebesar 0,83%. Namun, meskipun dalam batas aman, arus netral tetap terbentuk dan menyebabkan rugi-rugi daya pada penghantar netral. Rata-rata arus netral yang tercatat selama periode pengamatan berkorelasi dengan peningkatan rugi-rugi daya dan biaya kerugian energi. Simpulan dari penelitian ini adalah bahwa ketidakseimbangan beban, meskipun tidak signifikan, tetap memberikan dampak terhadap performa transformator dan efisiensi sistem distribusi, sehingga pengawasan dan upaya penyeimbangan beban perlu dilakukan secara berkala untuk meminimalkan kerugian daya dan biaya operasional.

Kata kunci: ketidakseimbangan beban, arus netral, rugi-rugi daya, transformator daya, Gardu Induk Bukuan, sistem distribusi listrik.

ABSTRACT

Load imbalance in electrical power distribution systems is a common issue that can lead to the emergence of neutral currents and power losses in transformers, potentially reducing efficiency and equipment lifespan. This study aims to analyze the effect of load imbalance on neutral current and power losses in Transformer 3 at the Bukuan Substation, Samarinda. The research employs a quantitative method by collecting phase current data over seven days, which is then analyzed to determine the average current, loading percentage, load imbalance level, neutral current, and resulting power losses. The findings show that the load imbalance values remain within the permissible limits set by PLN, which is <10% as stated in SPLN 0017:2014, with an average of 0.83%. However, despite being within acceptable limits, neutral currents still occur and cause power losses on the neutral conductor. The average neutral current observed during the monitoring period correlates with increased power losses and associated energy costs. The study concludes that even minimal load imbalance affects transformer performance and the efficiency of the distribution system. Therefore, regular monitoring and load balancing efforts are essential to minimize power losses and operational costs.

Keywords: load imbalance, neutral current, power losses, power transformer, Bukuan Substation, electrical distribution system.

1. Pendahuluan

Listrik telah menjadi kebutuhan pokok masyarakat dalam menunjang berbagai aktivitas kehidupan sehari-hari. Ketergantungan masyarakat, khususnya di daerah perkotaan, terhadap energi listrik terus

meningkat seiring berkembangnya teknologi dan perangkat elektronik yang digunakan dalam aktivitas rumah tangga dan industri [1]. Kebutuhan akan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan juga menjadi salah satu penopang utama dalam pembangunan di berbagai sektor di Indonesia [2].

Dalam sistem tenaga listrik, transformator daya memiliki peran penting sebagai penghubung antara sistem transmisi dan distribusi, dengan fungsi utama menurunkan tegangan dari tingkat tinggi ke tingkat menengah agar sesuai dengan kebutuhan konsumen [3]. Akan tetapi, dalam praktiknya, distribusi daya listrik kerap menghadapi persoalan ketidakseimbangan beban antara fasa R, S, dan T. Ketidakseimbangan ini disebabkan oleh pola konsumsi beban yang tidak merata di antara fasa dan menimbulkan arus netral yang mengalir melalui penghantar netral transformator [4].

Fenomena ketidakseimbangan beban ini tidak dapat dianggap sepele karena berimplikasi langsung terhadap munculnya rugi-rugi daya (losses) yang terjadi pada sistem distribusi listrik, terutama pada penghantar netral. Arus netral yang mengalir secara terus-menerus menyebabkan peningkatan temperatur, penurunan efisiensi distribusi, dan pada akhirnya meningkatkan beban biaya operasional sistem [5].

Gardu Induk Bukuan di Kota Samarinda merupakan salah satu gardu induk yang memegang peranan strategis dalam penyaluran listrik dari PLN kepada konsumen. Pada gardu induk ini terdapat tiga transformator daya, yaitu trafo 1 150/20kV, 30 MVA, trafo 2 150/20kV, 60 MVA dan trafo 3 150/22 kV, 60 MVA. menjadi fokus penelitian karena menunjukkan ketidakseimbangan pembebanan yang berpotensi melampaui ambang batas yang ditetapkan oleh PLN, yaitu <10% sesuai SPLN 0017:2014.

Penelitian yang dilakukan oleh [6] menemukan bahwa ketidakseimbangan beban menyebabkan munculnya arus netral yang dapat berdampak pada overvoltage di sisi pelanggan. [7] dalam penelitiannya juga menegaskan bahwa gardu dengan tingkat ketidakseimbangan melebihi standar memerlukan pemerataan beban secara berkala untuk mencegah kerugian daya yang tinggi. Lebih lanjut, [8] menyimpulkan bahwa nilai ketidakseimbangan yang tidak dikendalikan dapat meningkatkan arus netral secara signifikan, sehingga mengakibatkan rugi-rugi daya yang besar dan merugikan secara ekonomis.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada Transformator 3 di Gardu Induk Bukuan. Analisis dilakukan melalui pendekatan kuantitatif berdasarkan data beban selama satu minggu, guna memberikan gambaran menyeluruh tentang kondisi aktual distribusi daya serta memberikan masukan untuk pengelolaan beban transformator yang lebih efektif dan efisien.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada transformator daya di Gardu Induk Bukuan, Kota Samarinda.

A. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Gardu Induk Bukuan, yang terletak di Jl. Ampera, Rw. Makmur, Kecamatan Palaran, Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Objek penelitian adalah Transformator 3 dengan spesifikasi kapasitas daya sebesar 60 MVA dan sistem tegangan 150/22 kV, yang telah beroperasi sejak tahun 2017.

B. Data yang Digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder:

1. Data primer diperoleh dari pengukuran langsung arus listrik pada ketiga fasa (R, S, dan T) selama tujuh hari berturut-turut pada saat beban puncak.
2. Data sekunder meliputi spesifikasi teknis transformator, termasuk nameplate, kapasitas transformator, dan tegangan operasi.

C. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan pencatatan data logsheet beban harian dari PT PLN Unit Layanan Transmisi dan Gardu Induk (ULTG) Samarinda. Data yang dikumpulkan mencakup arus pada masing-masing fasa (IR, IS, IT), Tegangan sisi primer dan sekunder transformator, Waktu dan tanggal pengambilan data.

D. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan tahapan sebagai berikut:
Menghitung Arus Beban Penuh menggunakan rumus :

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

dengan I adalah arus beban penuh (A), S adalah daya transformator (kVA), dan V adalah tegangan sekunder (kV).

Menghitung Arus rata-rata menggunakan rumus :

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

Menghitung persentase pembebanan menggunakan rumus

$$\%Pembelian = \frac{I_{avg}}{I_{full}} \quad (3)$$

Menghitung Persentase Ketidakseimbangan Beban

Berdasarkan koefisien fasa :

$$a = \frac{I_R}{I_{avg}}, b = \frac{I_S}{I_{avg}}, c = \frac{I_T}{I_{avg}} \quad (4)$$

dan :

$$\%Ketidakseimbangan = \frac{\max(|a-1|, |b-1|, |c-1|)}{3} \times 100\% \quad (5)$$

Menghitung Arus Netral menggunakan rumus :

$$I_N = \sqrt{I_R^2 + I_S^2 \cos(120^\circ) + I_T^2 \cos(240^\circ) + I_S^2 \sin(120^\circ) + I_T^2 \sin(240^\circ)} \quad (6)$$

Menghitung rugi-rugi daya pada penghantar netral menggunakan rumus :

$$P_{loss} = I_N^2 \cdot R \quad (7)$$

Dengan R adalah resistansi penghantar netral.

Menghitung Biaya Kerugian Energi

$$Biaya\ Kerugian = P_{loss} \times 24 \times 7 \times Tarif\ per\ kWh \quad (8)$$

Dengan tarif listrik yang digunakan adalah Rp. 1.699,53/kWh

3. Hasil dan Pembahasan

Pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang diperoleh disajikan dalam bentuk uraian teoritik serta pendekatan kuantitatif. Bagian ini menyajikan hasil analisis data arus fasa, ketidakseimbangan beban, arus netral, rugi-rugi daya, serta estimasi biaya kerugian akibat arus netral pada transformator 3 di Gardu Induk Bukuan. Setiap bagian disusun secara sistematis untuk memudahkan pembaca dalam memahami proses analisis dan keterkaitannya terhadap standar operasional transformator yang berlaku di PT PLN.

A. Analisis Arus rata-rata

Berdasarkan data pengukuran arus fasa selama 7 hari pada kondisi beban puncak, nilai arus rata-rata pada Transformator 3 dihitung menggunakan persamaan (2).

Tabel 1. 1 Nilai Arus rata-rata

No	Tanggal	Arus Rata-Rata(A)
1	1/1/2024	465,33
2	2/1/2024	471,67
3	3/1/2024	547,33
4	4/1/2024	424,67
5	5/1/2024	419,00
6	6/1/2024	455,67
7	7/1/2024	498,33
Nilai rata rata 7 Hari		468,86

Tabel 1.1 diatas merupakan nilai rata-rata yang didapatkan dari arus yang dihasilkan Transformator dari tanggal 1 Januari sampai 7 Januari pada saat beban puncak. Arus beban yang mengalir mempengaruhi nilai arus rata-rata pada transformator, maka didapatkan nilai arus rata-rata yang mengalir selama 7 Hari adalah sebesar 468,86 A.

B. Analisis Persentase Pembebanan

Persentase pembebanan transformator menunjukkan seberapa besar arus aktual dibandingkan arus beban penuh. Hasil perhitungan dengan rumus (3).

Tabel 1. 2 Nilai Persentase Pembebanan

No	Tanggal	Persentase pembebanan %
1	1/1/2024	29,55
2	2/1/2024	29,95
3	3/1/2024	34,76
4	4/1/2024	26,97
5	5/1/2024	26,61
6	6/1/2024	31,65
7	7/1/2024	28,37
Nilai rata rata 7Hari		29,69

Tabel 1.2 diatas merupakan persentase pembebanan transformator didapatkan dari hasil menghitung besarnya arus beban yang mengalir pada transformator. nilai rata-rata Persentase pembebanan transformator selama 7 hari menunjukkan nilai sebesar 29,69 % maka nilai persentase pembebanan yang terjadi di transformator yang dihasilkan tidak melebihi kapasitas transformator, dimana persentase pembebanan tidak lebih dari 60 % menurut SPLN 0017:2014. Maka dapat dapat disimpulkan bahwa pada saat beban puncak terjadi pembebanan yang mengalir pada tiap-tiap transformator masih dalam batas wajar.

C. Ketidakseimbangan Beban

Persentase pembebanan transformator menunjukkan seberapa besar arus aktual dibandingkan arus beban penuh. Hasil perhitungan dengan rumus (4),(5).

Tabel 1. 3 Nilai Ketidakseimbangan Beban

NO	Tanggal	$U_{FI}(\%)$
1	1/1/2024	0,37
2	2/1/2024	1,63
3	3/1/2024	1,23
4	4/1/2024	0,70
5	5/1/2024	0,63
6	6/1/2024	0,30
7	7/1/2024	0,93
Nilai Rata-Rata		0,83

Tabel 1.3 diatas merupakan hasil ketidakseimbangan beban yang didapatkan pada transformator Gardu Induk Bukuan, Nilai ketidakseimbangan beban yang didapatkan masi dalam batas toleransi yaitu tidak lebih dari 10% menurut SPLN 0017:2014. Nilai rata-rata persentase ketidakseimbangan beban pada transformator didapatkan nilai sebesar 0.83 % selama 7 hari.

D. Arus Netral dan Rugi Daya

Ketidakseimbangan antar fasa menghasilkan arus netral yang mengalir pada penghantar netral. Arus netral tertinggi tercatat sebesar 17,09 A, dengan rugi daya yang dihitung menggunakan rumus (7).

Tabel 1. 4 Nilai Arus Netral

NO	Tanggal	Arus Netral (A)
1	1/1/2024	4,00
2	2/1/2024	17,09
3	3/1/2024	16,64
4	4/1/2024	7,81
5	5/1/2024	6,24
6	6/1/2024	3,61
7	7/1/2024	10,58
Nilai Rata-Rata		9,42

Tabel 1.4 diatas merupakan nilai rata-rata arus netral yang dihasilkan oleh transformator dari tanggal 1 Januari sampai 7 Januari pada saat beban puncak . Didapatkan nilai rata-rata arus netral selama 7 hari adalah sebesar 9,42 A yang didapatkan dari nilai arus netral yang didapatkan pada saat beban puncak setiap harinya dari tanggal 1 sampai 7 Januari.

Tabel 1. 5 Nilai Rugi Daya Akibat Arus Netral

NO	Tanggal	P_N (kW)
1	1/1/2024	0,003
2	2/1/2024	0,060
3	3/1/2024	0,057
4	4/1/2024	0,013
5	5/1/2024	0,008
6	6/1/2024	0,003
7	7/1/2024	0,023
Nilai Rata-Rata		0,024

Tabel 1.5 diatas merupakan hasil analisis rugi-rugi daya akibat arus netral yang didapatkan pada transformator mendapatkan nilai rata-rata sebesar 0,024 selama 7 hari , untuk nilai rugi-rugi daya akibat arus netral yang lebih rendah didapatkan pada tanggal 6 Januari 2024 sebesar 0.003 kW sedangkan pada tanggal 2 Januari 2024 mendapatkan nilai lebih besar 0,060 kW.

E. Biaya Kerugian Akibat Rugi-Rugi Daya di Penghantar Netral

Kerugian yang dimaksud adalah kerugian materi yang disebabkan rugi-rugi daya pada transformator. Setelah mendapatkan nilai rugi-rugi daya pada penghantar netral, maka untuk mendapatkan nilai rugi-rugi biaya menggunakan persamaan (8).

Tabel 1. 6 Nilai Biaya Kerugian

Transformator	P _N (kW)	T(Jam)	D(Hari)	Tarif Listrik Per kWh (Rp)	Biaya(Rp)
Transformator 3	0,024	24	7	1.699,53	6.852,50

Dari tabel diatas didapatkan nilai biaya kerugian dalam 7 hari sebesar Rp 6.852,50 yang didapatkan dari rata-rata 7 hari beban puncak rugi-rugi daya pada penghantar netral dikalikan dengan jumlah waktu pengambilan data disetiap harinya yaitu 24 jam lalu dikalikan dengan tarifi listrik per kWh sebesar Rp 1.699,53.

F. Pembahasan

Dari hasil data yang didapatkan dari tanggal 1 Januari hingga 7 Januari dengan jumlah 7 hari didapatkan data saat kondisi beban puncak selama 7 hari dengan beban puncak saat malam hari pada jam 19:00 sampai dengan 20:00 pada transformator di Gardu Induk Bukuan.

Tabel 1. 7 Nilai Beban Puncak Selama 7 Hari

Tanggal	Beban Puncak	R (A)	S (A)	T (A)	I _R (A)	I _N (A)	%Pembebanan	U _{FI} (%)	P _N (kW)
1/1/2024	20:00	464	468	464	465,33	4	29,55	0,37	0,003
2/1/2024	20:00	467	483	465	471,67	17,09	29,95	1,63	0,060
3/1/2024	19:00	549	556	537	547,33	16,64	34,76	1,23	0,057
4/1/2024	20:00	425	429	420	424,67	7,81	26,97	0,70	0,013
5/1/2024	20:00	420	422	415	419,00	6,24	26,61	0,63	0,008
6/1/2024	20:00	496	500	499	498,33	3,61	31,65	0,30	0,003
7/1/2024	19:00	448	452	440	446,67	10,58	28,37	0,93	0,023
Rata-Rata		467.00	472.86	462.86	467,57	9,42	29,69	0,83	0,024

Tabel 1.7 dan 4.8 merupakan nilai beban puncak transformator yang didapatkan selama 7 hari. Besarnya nilai persentase pembebanan transformator berkaitan dengan seberapa besarnya nilai arus beban yang mengalir pada masing masing fasa transformator maka besarnya nilai arus rata-rata beban puncak selama 7 hari adalah sebesar 465,57 A. Persentase pembebanan transformator didapatkan dari arus beban yang mengalir dimana persentase pembebanan tidak lebih dari 60 % SPLN 0017:2014 sebesar 29,69 % dimana pada tanggal 3 Januari didapatkan nilai pembebanan paling tinggi sebesar 34,76%. Dapat disimpulkan saat beban puncak terjadi pembebanan yang mengalir masi dalam batas wajar pemakaian. Nilai rata-rata arus netral yang didapatkan dari tanggal 1 Januari sampai 7 Januari pada transformator saat beban puncak didapatkan sebesar 9,42 A. Nilai rata-rata hasil ketidakseimbangan beban pada tranformator di Gardu Induk Bukuan yang didapatkan masi dalam batas toleransi yaitu tidak lebih dari 10% menurut SPLN 0017:2014, nilai rata-rata ketidakseimbangan beban yang didapatkan pada transformator sebesar 0,71 %.

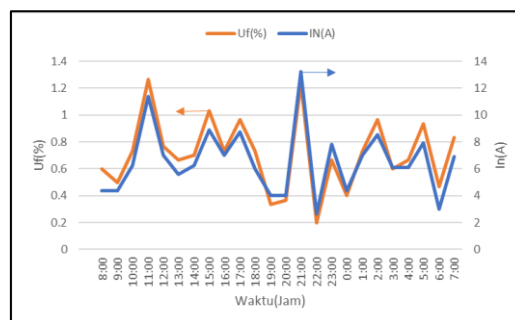
Rugi -rugi daya yang didapatkan merupakan rugi daya akibat arus netral yang mengalir pada penghantar netral dimana penghantar netral transformator 3 menggunakan kabel XLPE dengan luas penampang 150 mm², memiliki resistansi sebesar 0,206 Ω/km dan panjang kabel 1 km. nilai rata-rata

rugi daya akibat arus netral selama 7 hari didapatkan sebesar 0,024 kW dimana rugi-rugi daya akibat arus netral di pengaruhi oleh besarnya arus netral, dimana rugi-rugi daya akibat arus netral didapatkan dari arus netral dikuadratkan dikali dengan resistansi penghantar netral yang dimana jika arus netral meningkat maka nilai rugi daya akan meningkat.

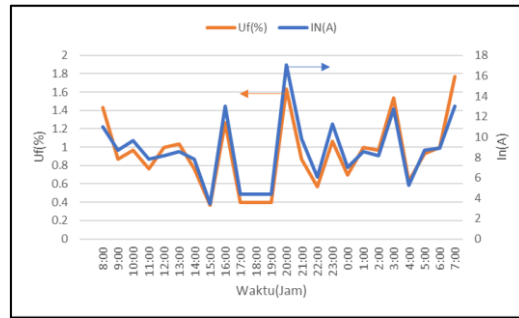
Tabel 1. 8 Tabel Hubungan Ketidakseimbangan ,Arus Netral, Dan Rugi Daya Akibat Arus Netral Pada Tanggal 1 Januari 2024

Jam	U_{FI} (%)	I_N (A)	P_N (kW)
08:00	0,60	4,36	0,004
09:00	0,50	4,36	0,004
10:00	0,73	6,24	0,008
11:00	1,22	11,36	0,027
12:00	0,77	7,00	0,010
13:00	0,67	5,57	0,006
14:00	0,70	6,24	0,008
15:00	1,03	8,89	0,016
16:00	0,73	7	0,010
17:00	0,97	8,72	0,016
18:00	0,73	6	0,007
19:00	0,33	4	0,003
20:00	0,37	4	0,003
21:00	1,23	13,23	0,036
22:00	0,20	2,65	0,001
23:00	0,67	7,81	0,013
00:00	0,40	4,36	0,004
01:00	0,73	7	0,010
02:00	0,97	8,54	0,015
03:00	0,60	6,08	0,008
04:00	0,67	6,08	0,008
05:00	0,93	7,94	0,013
06:00	0,47	3	0,002
07:00	0,83	6,93	0,010

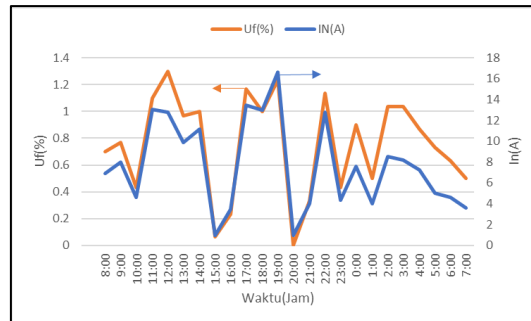
Dari tabel diatas didapatkan nilai ketidakseimbangan beban, arus netral, dan rugi-rugi daya akibat arus netral pada tanggal 1 Januari 2024. Nilai ketidakseimbangan beban yang didapatkan pada transformator mengakibatkan munculnya arus netral. Arus netral yang didapatkan melalui perhitungan arus netral pada tiap fasa arus yang mengalir pada transformator Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap- tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trasformator dan Arus yang mengalir pada penghantar netral trasformator ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi).



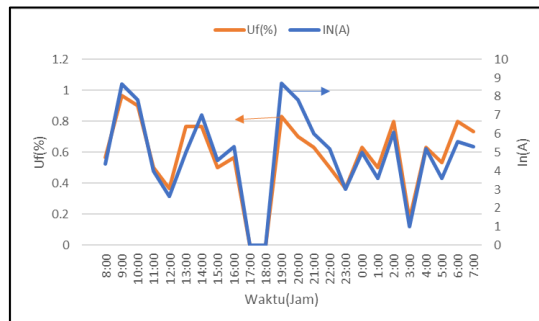
Gambar 1. 1 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 1 Januari 2024



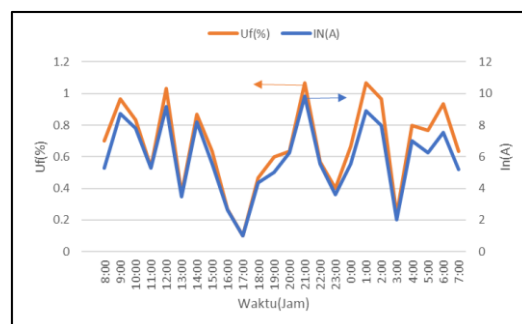
Gambar 1. 2 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 2 Januari 2024



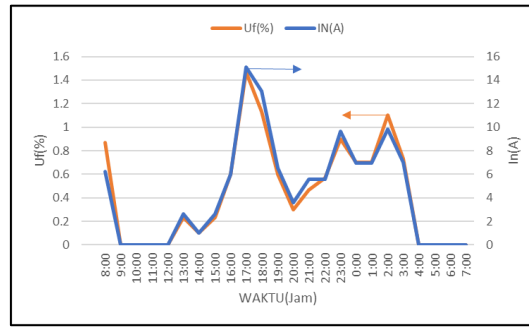
Gambar 1. 3 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 3 Januari 2024



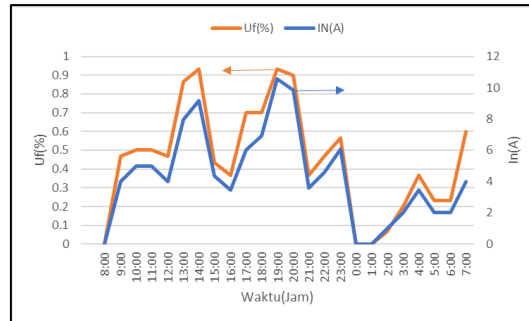
Gambar 1. 4 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 4 Januari 2024



Gambar 1. 5 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 5 Januari 2024

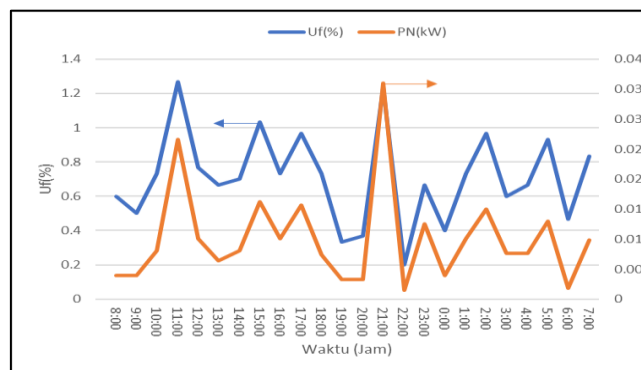


Gambar 1. 6 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 6 Januari 2024

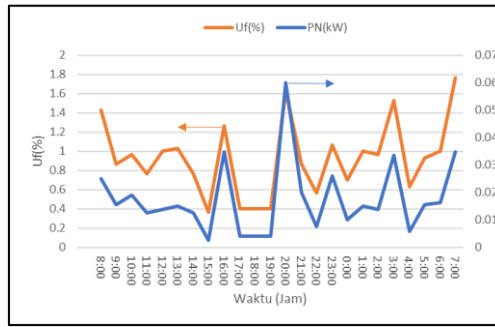


Gambar 1. 7 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Arus Netral Tanggl 7 Januari 2024

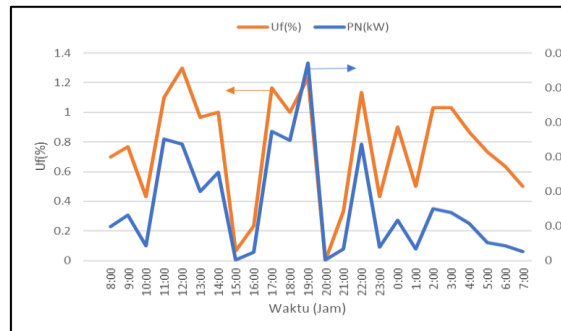
Dari tabel dan gambar grafik diatas kita dapat melihat hubungan ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada tanggal 1 Januari sampai 7 Januari dimana didapatkan nilai ketidak seimbangan beban, arus netral dan tertinggi selama 7 hari pada tanggal 2 Januari jam 20:00 sebesar 1,63 dimana arus netral yang mengalir sebesar 17,09 A. Dimana dapat dilihat pada tabel dan gambar grafik diatas bahwa ketidakseimbangannngan beban berbanding lurus dengan arus netral. Nilai ketidakseimbangan beban dan arus netral dihasilkan dari nilai arus mengalir disetiap fasa pada transformator.



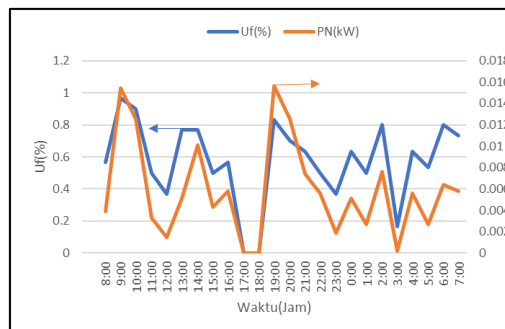
Gambar 1. 8 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 1 Januari 2024



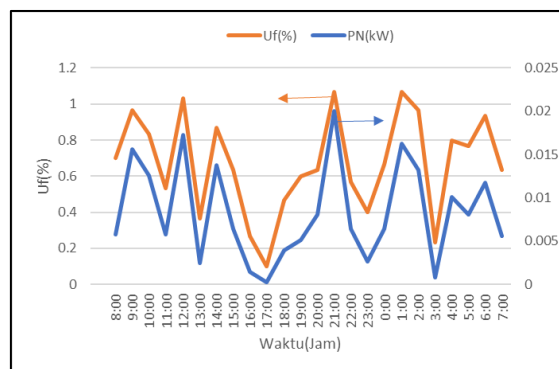
Gambar 1. 9 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 2 Januari 2024



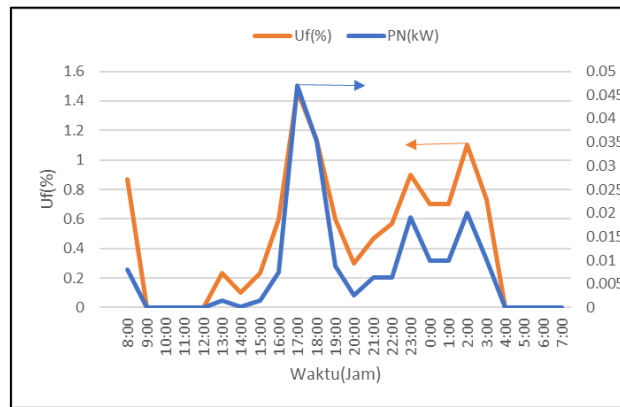
Gambar 1. 10 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 3 Januari 2024



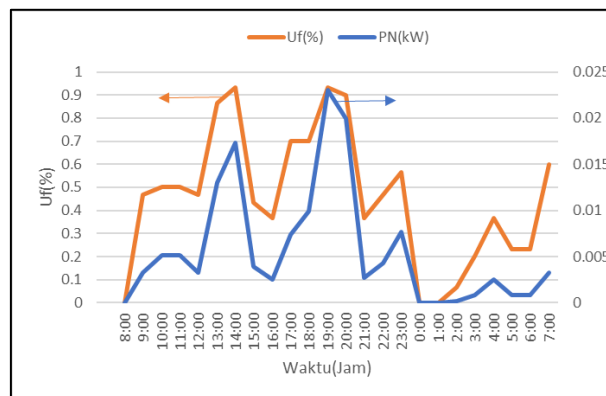
Gambar 1. 11 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 4 Januari 2024



Gambar 1. 12 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 5 Januari 2024



Gambar 1. 13 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 6 Januari 2024



Gambar 1. 14 Grafik Hubungan Antara Ketidakseimbangan beban terhadap Rugi-Rugi Arus Netral Tanggl 7 Januari 2024

Dari grafik diatas kita dapat melihat Hubungan antara faktor ketidakseimbangan dan Rugi daya pada penghantar netral pada tanggal 1 Januari sampai 7 Januari 2024. Dimana ketidakseimbangan beban berbanding lurus dengan rugi daya pada pada penghantar netral. Sehingga, semakin tinggi ketidakseimbangan beban maka rugi daya pada penghantar netral juga akan semakin besar.

Berdasarkan hasil analisis diatas keseluruhan transformator dalam 7 hari penelitian ini, sebagai contoh pada data tanggal 2 Januari pada pukul 20:00 saat beban puncak dengan nilai arus rata-rata sebesar 471,67 A dimana nilai ketidakseimbangan beban sebesar 1,63 % yang mengakibatkannya adanya arus netral sebesar 17,09 A, arus netral yang mengalir juga mengakibatkan adanya rugi-rugi daya pada penghantar netral sebesar 0,060 kW. Dengan hasil data analisis tersebut dapat diketahui bahwa besar ketidakseimbangan bebaban berbanding lurus dengan nilai arus netral dan rugi-rugi daya dipenghantar netral.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap Transformator 3 di Gardu Induk Bukuan, dapat disimpulkan bahwa tingkat ketidakseimbangan beban selama periode pengamatan masih berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh SPLN 0017:2014, yaitu <10%, dengan rata-rata sebesar 0,83%. Ketidakseimbangan beban yang terjadi menyebabkan munculnya arus netral, namun nilainya masih dalam kategori aman dan tidak menimbulkan kerugian daya yang signifikan. Persentase pembebanan rata-rata sebesar 29,69% juga menunjukkan bahwa transformator beroperasi di bawah kapasitas maksimalnya, sehingga tidak menimbulkan risiko overheating atau penurunan efisiensi operasional. Rugi-rugi daya akibat arus netral yang dihitung mencapai maksimum 14,61 W menghasilkan estimasi biaya kerugian energi yang relatif kecil, yaitu sebesar Rp. 1.721,89 per minggu. Dengan demikian, sistem distribusi pada

transformator ini dinyatakan dalam kondisi baik dan efisien, namun tetap perlu dilakukan pemantauan dan penyeimbangan beban secara berkala untuk menjaga kinerja optimal jangka panjang.

5. Daftar Pustaka

- [1] Tanamal, H., Herawati, A., Daratha, N., & Anggraini, I. N. (2019). Analisis Pengaruh Beban Tak Seimbang Terhadap Arus Netral Pada Trafo IV GI Sukamerindu Bengkulu. *Jurnal Amplifier : Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, 9(2), 7–13. <https://doi.org/10.33369/jamplifier.v9i2.15377>
- [2] Umpel, T., Mangindaan, G. M. C., & Tuegeh, M. (2023). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Arus Netral Dan Rugi-Rugi Daya (Losses) Transformator Daya PLTU Amurang PT PJB Services. www.feriadianto.my.id
- [3] Saparudin. (2021). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk di PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap. In *Modul Biokimia Materi Metabolisme Lemak, Daur Asam Sitrat, Fosforilasi Oksidatif Dan Jalur Pentosa Fosfat*.
- [4] Lestari, R. D. W. I. (2019). Analisis pengaruh ketidakseimbangan beban transformator 3 phase terhadap susut daya pada jaringan distribusi pt. pln (persero) ulp manahan
- [5] Muliadi, M., Syukri, S., & Asyadi, T. M. (2022). Pengaruh Tingkat Kelembaban Terhadap Kinerja Pemisah (PMS) 150 kV Pada Gardu Induk. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(1), 92–98. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.12201>
- [6] Muflizar A. R., Rudito H., & Idris A. R. (2021). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap RugiRugi Daya dan Arus Netral di Baloiya Kepulauan Selayar serta Dampaknya Terhadap Pelanggan Distribusi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, September, 24–28.
- [7] Gurusinga, J., & Syahrial. (2023). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Arus dan Losses pada Penghantar Netral di Gardu Distribusi BBKK,PSH dan CPTY UP3 Garut.
- [8] Jati, P. (2022). Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Trafo 30 MVA Gardu Induk 150/20 kV Purwodadi. 1–51.