

## Evaluasi Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transformator Di Gardu Induk 150 Kv Secang

**Hernawan Budhi Jatmiko<sup>1</sup>, Agung Trihasto<sup>2</sup>, Deria Pravitasari<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tidar  
Jl. Kapten Suparman No.39, Tuguran, Potrobangsang, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang,  
Jawa Tengah 56116  
e-mail: hernawan.budhi.jatmiko@students.untidar.ac.id

**Abstrak**— Dalam penyaluran listrik, salah satu peralatan yang digunakan adalah trafo. Trafo memiliki peran yang penting sebagai pengubah nilai tegangan agar sesuai dengan kebutuhan. Pembagian beban yang tidak seimbang pada trafo ini dapat menyebabkan munculnya arus pada penghantar netral trafo yang dapat menyebabkan rugi-rugi dan membuat trafo menjadi tidak efisien. Evaluasi terhadap ketidakseimbangan perlu dilakukan agar dapat mengetahui persentase ketidakseimbangan beban yang terjadi dan dilakukan simulasi penyeimbangan beban dengan ETAP untuk memberikan rekomendasi. Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa trafo di Gardu Induk 150Kv Secang masih dalam batas standar. Persentase ketidakseimbangan beban terbesar terjadi pada trafo 1 beban pukul 10.00 yaitu sebesar 4,8% terjadi pada bulan September 2023. Berdasarkan simulasi didapatkan nilai persentase ketidakseimbangan beban turun dari 13,5% menjadi 0,6% . Hasil nilai persentase ketidakseimbangan beban dipengaruhi oleh arus pada ketiga fasa pada sisi sekunder pada trafo.

**Kata kunci** : trafo, ketidakseimbangan beban, arus netral

**Abstract**— *In distributing electricity, one of the equipment used is a transformer. Transformers have an important role as changing voltage values to suit needs. Unbalanced load distribution on this transformer can cause currents to appear in the neutral conductor of the transformer which can cause losses and make the transformer inefficient. Evaluation of unbalance needs to be carried out in order to determine the percentage of load unbalance that occurs and load balancing simulations are carried out with ETAP to provide recommendations. Based on the calculations that have been carried out, it is concluded that the transformer at the Secang 150Kv Substation is still within standard limits. The largest load imbalance percentage occurred on a 1-load transformer at 10.00, namely 4.8%, which occurred in September 2023. Based on the simulation, it was found that the load imbalance percentage value decreased from 13.5% to 0.6%. The results of the load unbalance percentage value are influenced by the current in the three phases on the secondary side of the transformer.*

**Keywords** : transformer, unbalance load, neutral current

### I. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan properti di Indonesia, infrastruktur pendukung harus ditingkatkan untuk mendukung pertumbuhan properti. Ini terutama berlaku untuk ketersediaan tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama di Indonesia, baik untuk keperluan perumahan maupun untuk keperluan industri. PT PLN (Persero) bertanggung jawab untuk menyediakan tenaga listrik di Indonesia [1].

Pada penyaluran tenaga listrik, salah satu peralatan yang digunakan adalah transformator 3 fasa. Transformator tiga fasa sangat penting untuk transmisi dan distribusi listrik karena mereka menurunkan tegangan sehingga konsumen dapat menggunakan tegangan tersebut dengan aman pada jaringan tegangan rendah seperti lampu jalan, rumah, sekolah, dan lainnya. Dalam transmisi energi listrik, seringkali terjadi pembagian beban yang tidak merata pada setiap fasa. Ini dapat terjadi karena waktu penyalaan

beban yang tidak serempak, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S, dan T, dan pemasangan beban yang tidak seimbang pada setiap fasa. Ketidakseimbangan beban ini dapat menyebabkan arus pada kawat netral, kerugian, dan penurunan efisiensi trafo [2].

Dalam penyaluran tenaga listrik, pembagian beban yang tidak Simbang sudah biasa. Salah satu penyebabnya adalah penggunaan listrik yang berbeda-beda dan penempatan beban yang tidak merata. Beban listrik dikatakan seimbang jika beban pada tiap fasa (R, S, dan T) sama besar dan membentuk sudut 120o. Jika nilai beban di salah satu fasa berbeda dari yang lain, jalur distribusi dikatakan mengalami ketidakseimbangan beban. Akibatnya, sistem distribusi mengalami rugi-rugi daya, yang berarti trafo tidak dapat memuat lebih banyak daripada nilai nominalnya [3].

Transformator memiliki ketidakseimbangan beban di antara tiap fasa, yaitu fasa R, S, dan T. Jika ada

ketidakseimbangan beban di antara fasa R, S, dan T, maka ada arus yang mengalir ke netral trafo. Beban dianggap seimbang jika arus yang mengalir pada tiap fasa memiliki nilai yang sama, tetapi dalam keadaan sebenarnya, ketidakseimbangan selalu terjadi. Ada rugi-rugi daya sebagai akibat dari arus netral ini [4].

Menurut IEEE NO. 446-1995 (IEEE Std 446 1996) standar ketidakseimbangan beban tidak boleh lebih dari 5% hingga 20%. Sebaliknya, menurut SPLN D3.002-1 2007, daya hilang yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban pada trafo harus  $\pm 10\%$ . Penyeimbangan beban digunakan untuk memastikan persentase beban tidak seimbang tetap di bawah batas normal. Jika persentasenya lebih tinggi, penyeimbangan dilakukan untuk mengembalikannya ke seimbang. Ini dapat dicapai dengan menambah, mengurangi, atau menyesuaikan beban antar fasa [5].

## II. STUDI PUSTAKA

### A. Transformator

Transformator merupakan salah satu peralatan pada jaringan listrik yang berfungsi sebagai pengubah nilai tegangan atau arus dari nilai yang satu nilai ke nilai lainnya sesuai dengan kebutuhan konsumen. Prinsip kerja dari trafo ini sesuai dengan Hukum Faraday. Trafo memiliki berbagai jenis sesuai dengan fungsinya [6].

### B. Ketidakseimbangan Beban

Pada sistem tiga fasa sering mengalami masalah beban tidak seimbang. Ini terjadi karena beban pada satu fasa lebih besar dari semua fasa atau karena ada perbedaan sudut beban di masing-masing fasa. Ketidakseimbangan beban pada tiga fasa akan menyebabkan arus mengalir pada penghantar netral.

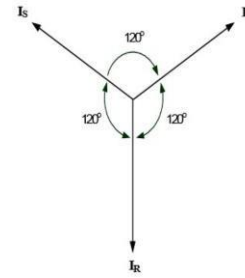
Keadaan beban seimbang adalah keadaan dimana :

1. Ketiga vektor memiliki nilai yang sama.
2. Salah satu dari tiga vektor membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Namun, keadaan tidak seimbang terjadi ketika salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Ada tiga jenis keadaan tidak seimbang, yaitu :

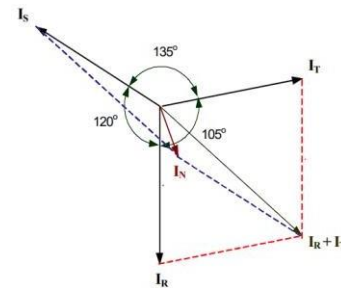
1. Meskipun ukuran ketiga vektor sama tetapi tidak saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.
2. Meskipun ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain tetapi tidak mempunyai ukuran yang sama.
3. Ketiga vektor tersebut tidak memiliki ukuran yang sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Diagram vektor dibagi menjadi 2 yaitu vektor beban seimbang dan vektor beban tidak seimbang. Berikut merupakan diagram vektor dari beban seimbang.



Gambar 1. Vektor diagram arus keadaan seimbang

Berdasarkan Gambar 1 vektor diagram terlihat seimbang. Ini menunjukkan bahwa jumlah ketiga vektor arusnya adalah sama dengan nol. Akibatnya tidak ada hasil arus netral yang muncul.



Gambar 2. Vektor diagram arus keadaan tidak seimbang

Gambar 2 menggambarkan vektor diagram arus yang mengalami ketidakseimbangan. Ada bukti bahwa jumlah ketiga vektor arusnya tidak sama dengan nol. Akibatnya, ada resultan arus netral yang besarnya berbanding lurus dengan vektor ketidakseimbangan.

Besar persentase ketidakseimbangan beban dinyatakan dengan :

$$|a-1|+|b-1|+|c-1|$$

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

$$a = \frac{I_R}{I_{avg}}$$

$$b = \frac{I_S}{I_{avg}}$$

$$c = \frac{I_T}{I_{avg}}$$

keterangan :

Unbalance : persentase ketidakseimbangan beban (%);

$I_R$  : arus fasa R (A);

$I_S$  : arus fasa S (A);

$I_T$  : arus fasa T (A);

$I_{avg}$  : rata-rata dari ketiga fasa (A);

### C. Arus Netral

Arus yang mengalir melalui penghantar netral transformator dengan sistem hubung bintang tiga fasa empat kawat disebut arus netral. Arus netral ini dapat berasal dari ketidakseimbangan beban dan arus harmonisa yang disebabkan oleh banyaknya beban

nonlinier. Nilai ketidakseimbangan beban terkait dengan jumlah arus yang mengalir pada penghantar netral.

Arus mengalir ke penghantar netral sebagai akibat dari pembebanan yang tidak seimbang di antara ketiga fasa. Arus ini menyebabkan rugi-rugi daya di sepanjang kawat netral. Rugi-rugi daya yang disebabkan oleh arus netral dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut.

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

keterangan :

- $P_N$  : rugi yang disebabkan arus netral (W);
- $I_N$  : arus netral (A);
- $R_N$  : tahanan penghantar netral ( $\Omega$ );

#### D. Kerugian Energi Terbuang

Dalam kasus transformator, rugi daya menyebabkan rugi material, yaitu rugi energi yang terbuang sebagai akibat dari rugi daya. Nilai rugi daya dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini setelah mengetahui nilai rugi daya pada penghantar netral :

$$E_{\text{loss}} = P_N \times \text{Waktu} \times \text{Harga Listrik per kWh}$$

keterangan :

- $E_{\text{loss}}$  : rugi biaya energi terbuang (Rp);
- Waktu : waktu saat wbp dan lwbp (jam);
- Harga listrik : 1.444,7 [7];

### III. METODE

Penelitian ini dilakukan di PT.PLN (Persero) Gardu Induk 150Kv Secang yang beralamatkan di Jl.Nasional No.14 24, Payaman, Ngadirojo, Kec. Secang, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, dengan melakukan pengambilan data-data beban trafo dan spesifikasi penghantar netral yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian ini. Objek yang akan diteliti yaitu trafo tenaga 1 dan 2.

#### A. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan yang digunakan untuk membantu dalam menyelesaikan penelitian, diantaranya sebagai berikut ini :

##### 1) Perangkat lunak (software)

Pengolahan data dilakukan sesuai dengan metode perhitungan yang digunakan pada penelitian ini. Perangkat lunak yang dibutuhkan untuk mengolah data beban yaitu *Microsoft Office* dan *ETAP*.

##### 2) Data

Dalam penelitian ini membutuhkan bahan yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini, komponen yang dibutuhkan diantaranya berupa data-

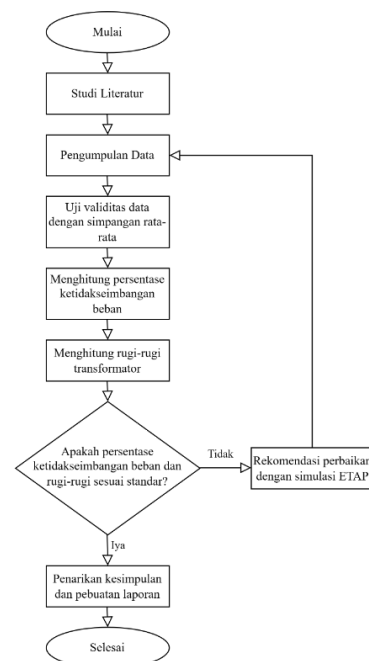
data jaringan distribusi penyulang Secang 6, diantaranya yaitu :

- a) data *single line diagram* Gardu Induk 150Kv Secang;
- b) data beban transformator;
- c) data arus netral transformator;
- d) data penghantar netral transformator.

#### B. Metode Penelitian

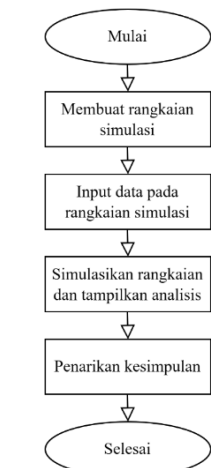
Penelitian yang dilakukan ini merupakan tipe penelitian kuantitatif yang menganalisis data melalui perhitungan matematis. Perhitungan dilakukan untuk mencari persentase ketidakseimbangan beban dan

rugi-rugi akibat arus netral. Langkah-langkah penelitian yang dijalankan pada penelitian ini sebagai berikut :



Gambar 3. Alur penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang akan mengolah data menggunakan perhitungan matematis yang kemudian akan dilakukan simulasi untuk memberikan rekomendasi. Alur dari simulasi akan dijelaskan pada gambar berikut.

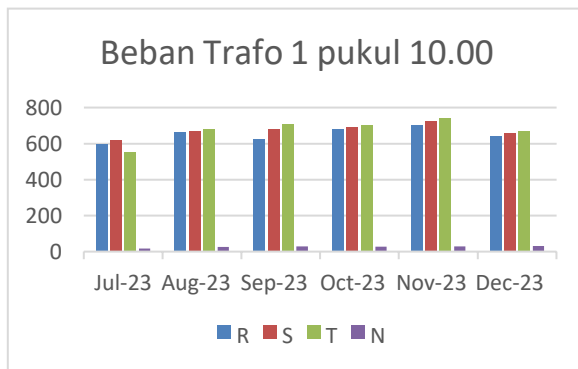


Gambar 4. Alur simulasi

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

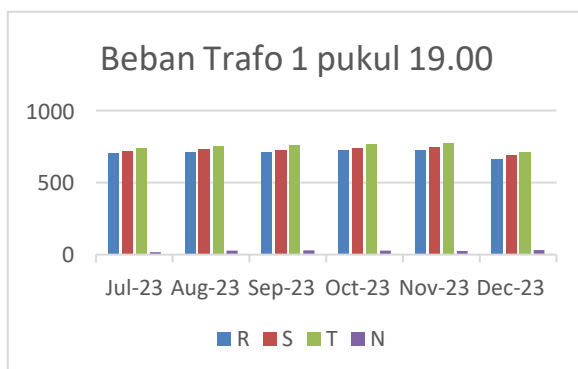
##### A. Data Beban Trafo

Data beban yang digunakan adalah data beban trafo 1 dan trafo 2 pukul 10.00 dan 19.00 dalam periode Juli 2023 sampai Desember 2023. Berikut merupakan data beban trafo 1 dan trafo 2.



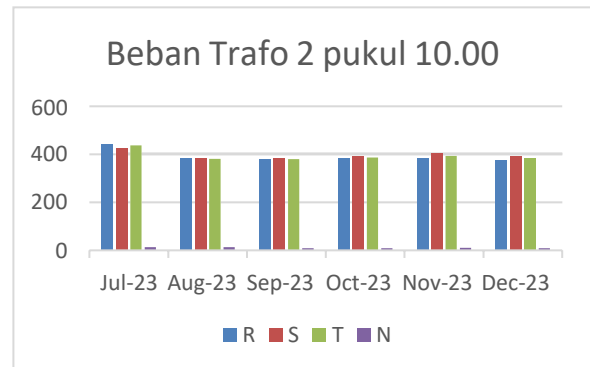
Gambar 5. Beban trafo 1 pukul 10.00

Arus rata-rata trafo 1 pukul 10.00 terbesar terdapat pada bulan November 2023. Sedangkan arus rata-rata trafo 1 pukul 10.00 terkecil terdapat pada bulan Juli 2023.



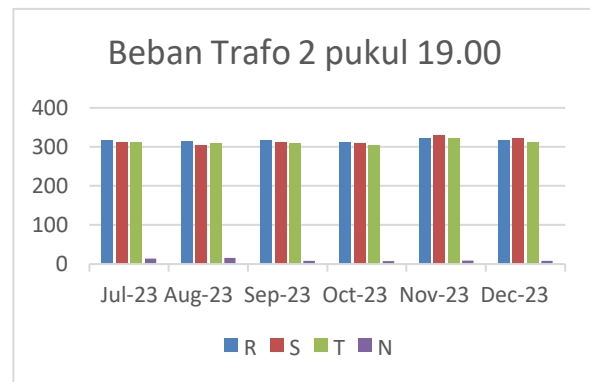
Gambar 6. Beban trafo 1 pukul 19.00

Arus rata-rata trafo 1 pukul 19.00 terbesar terdapat pada bulan November 2023. Sedangkan arus rata-rata trafo 1 pukul 19.00 terkecil terdapat pada bulan Desember 2023.



Gambar 7. Beban trafo 2 pukul 10.00

Arus rata-rata trafo 2 pukul 10.00 terbesar terdapat pada bulan Juli 2023. Sedangkan arus rata-rata trafo 2 pukul 10.00 terkecil terdapat pada bulan September 2023.



Gambar 8. Beban trafo 2 pukul 19.00

Arus rata-rata trafo 2 pukul 19.00 terbesar terdapat pada bulan November 2023. Sedangkan arus rata-rata trafo 2 pukul 19.00 terkecil terdapat pada bulan Oktober 2023.

##### B. Uji Validitas Simpangan Rata-Rata

Uji validitas yang digunakan untuk menguji data adalah simpangan rata-rata.

Ukuran penyebaran data menunjukkan seberapa jauh nilai-nilai sekumpulan data menyimpang dari mean. Jika ukuran penyebaran datanya kecil, maka kelompok data tersebut homogen, dan sebaliknya, jika ukuran penyebaran datanya besar, maka kelompok data tersebut tidak homogen. Ukuran penyebaran data ini terdiri dari simpangan rata-rata, standar deviasi, jangkauan kuartil dan jangkauan persentil [8].

Simpangan rata-rata dicari dengan persamaan sebagai berikut.

$$SR = \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - x_{rata-rata}|}{n}$$

- SR : simpangan rata-rata;
- n : jumlah data;
- $x_i$  : nilai ke-I;
- $x_{rata-rata}$  : nilai rata-rata.

Perhitungan dilakukan menggunakan *software* Ms. Excel dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 1. Simpangan rata-rata data beban trafo 1 pukul 10.00

PERIODE	Pukul 10.00			
	R	S	T	N
Juli 2023	106,7	93,1	181,3	4,6
Agustus 2023	60,01	61,5	58,09	3,8
September 2023	132,7	66,74	65,88	4,4
Oktober 2023	65,02	66,68	61,19	3,8
November 2023	111,9	104,7	103,9	4,7
Desember 2023	82,06	84,13	85,16	9,2

Berdasarkan tabel 1 pada trafo 1 beban pukul 10.00 simpangan rata-rata terbesar terdapat pada fasa R pada periode September 2023. Sedangkan simpangan rata-rata terkecil terdapat pada netral periode Agustus 2023 dan Oktober 2023.

Tabel 2. Simpangan rata-rata data beban trafo 1 pukul 19.00

PERIODE	Pukul 19.00			
	R	S	T	N
Juli 2023	50,99	54,16	46,36	4,1
Agustus 2023	28,25	27,88	22,99	3,3
September 2023	23,19	26,57	22,09	4,7
Oktober 2023	26,5	24,22	24,9	4,4
November 2023	39,63	41,27	46,17	4,5
Desember 2023	44,42	52,61	51,77	11

Berdasarkan tabel 2 pada trafo 1 beban pukul 19.00 simpangan rata-rata terbesar terdapat pada fasa S pada periode Juli 2023. Sedangkan simpangan rata-rata terkecil terdapat pada netral periode Agustus 2023.

Tabel 3. Simpangan rata-rata data beban trafo 2 pukul 10.00

PERIODE	Pukul 10.00			
	R	S	T	N
Juli 2023	121	135,2	119,2	4,1
Agustus 2023	73,49	75,63	73,27	3,3
September 2023	66,51	67,96	67,1	1,8

Oktober 2023	72,52	75,59	72,39	1,5
November 2023	87,64	97,36	91,37	3,4
Desember 2023	74,52	82,21	76,74	2,3

Berdasarkan tabel 3 pada trafo 2 beban pukul 10.00 simpangan rata-rata terbesar terdapat pada fasa S pada periode Juli 2023. Sedangkan simpangan rata-rata terkecil terdapat pada netral periode Oktober 2023.

Tabel 4. Simpangan rata-rata data beban trafo 2 pukul 19.00

PERIODE	Pukul 19.00			
	R	S	T	N
Juli 2023	43,1	42,34	40,9	2,3
Agustus 2023	35,41	37,95	32,62	4,4
September 2023	34,57	35,43	33,92	1,4
Oktober 2023	30,21	30,39	28,1	1,5
November 2023	37,74	42,28	40,36	2,6
Desember 2023	36,71	42,75	37,6	2,2

Berdasarkan tabel 4 pada trafo 2 beban pukul 19.00 simpangan rata-rata terbesar terdapat pada fasa R pada periode Juli 2023. Sedangkan simpangan rata-rata terkecil terdapat pada netral periode September 2023.

### C. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban

Berdasarkan data beban trafo yang sudah didapatkan maka selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mencari besarnya persentase ketidakseimbangan beban. Perhitungan dilakukan menggunakan *software* Ms. Excel dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 5. Persentase ketidakseimbangan beban trafo 1 pukul 10.00

Periode	$R_{avg}$	$S_{avg}$	$T_{avg}$	$I_{avg}$	%Tidak seimbang
Juli 2023	638,1	662,9	591,4	630,8	4,2%
Agustus 2023	659,6	671,3	681	670,6	1,1%
September 2023	621,4	682,5	704,2	669,4	4,8%
Oktober 2023	680,5	690,3	700,6	690,5	1%
November 2023	701,3	724,3	738,1	721,2	1,8%
Desember 2023	641,3	656,6	671,1	656,3	1,5%

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan persentase

ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 1 ketika pukul 10.00 terjadi pada bulan September 2023. Persentase ketidakseimbangannya adalah 4,8%.

Tabel 6. Persentase ketidakseimbangan beban trafo 1 pukul 19.00

Periode	R <sub>avg</sub>	S <sub>avg</sub>	T <sub>avg</sub>	I <sub>avg</sub>	%Tidak seimbang
Juli 2023	705,8	717,9	740,9	721,5	1,8%
Agustus 2023	711,3	733,7	754,9	733,3	2%
September 2023	714,9	725	758,6	732,8	2,3%
Oktober 2023	722,5	741,3	767,4	743,7	2,1%
November 2023	728,4	747,9	776,8	751	2,3%
Desember 2023	661,2	686,5	709,3	685,6	2,4%

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan persentase ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 1 ketika pukul 19.00 terjadi pada bulan Desember 2023. Persentase ketidakseimbangannya adalah 2,4%.

Tabel 7. Persentase ketidakseimbangan beban trafo 2 pukul 10.00

Periode	R <sub>avg</sub>	S <sub>avg</sub>	T <sub>avg</sub>	I <sub>avg</sub>	%Tidak seimbang
Juli 2023	442,1	426,8	436,9	435,2	1,3%
Agustus 2023	381,6	381,6	381,1	381,4	0,1%
September 2023	379,6	383,5	380,5	381,2	0,4%
Oktober 2023	385,3	390,8	386,4	387,5	0,6%
November 2023	385,2	404,2	392,8	394,1	1,7%
Desember 2023	374,4	391,8	380,9	382,4	1,6%

Berdasarkan tabel 7 menunjukkan persentase ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 2 ketika pukul 10.00 terjadi pada bulan November 2023. Persentase ketidakseimbangannya adalah 1,7%.

Tabel 8. Persentase ketidakseimbangan beban trafo 2 pukul 19.00

Periode	R <sub>avg</sub>	S <sub>avg</sub>	T <sub>avg</sub>	I <sub>avg</sub>	%Tidak seimbang
Juli 2023	317,3	312,1	312,3	313,89	0,7%
Agustus 2023	315,4	303,3	308,4	309,02	1,4%
September 2023	315,8	311,8	309,6	312,39	0,7%
Oktober 2023	311,3	307,8	305,4	308,2	0,7%
November 2023	322,1	328,3	321,7	324,02	0,9%
Desember 2023	316	322	310,9	316,29	1,2%

Berdasarkan tabel 8 menunjukkan persentase ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 2 ketika pukul 19.00 terjadi pada bulan Agustus 2023. Persentase ketidakseimbangannya adalah 1,4%.

Setelah diketahui persentase ketidakseimbangan beban trafo 1 dan trafo 2 kemudian dilakukan perhitungan lagi untuk mencari persentase

ketidakseimbangan beban dengan nilai arus netral tertinggi pada trafo 1 dan trafo 2 ketika beban pukul 10.00 dan 19.00 yang mempunyai nilai persentase ketidakseimbangan tertinggi.

Tabel 9. Persentase ketidakseimbangan beban dengan arus netral tertinggi

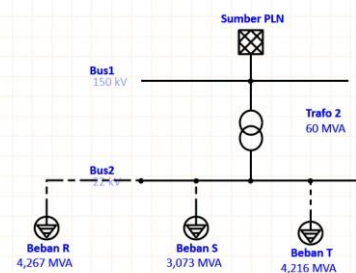
Periode	Trafo	Pukul	I <sub>avg</sub> (A)	%Tidak seimbang	N(A)
September 2023	1	10.00	784	2,4%	42,6
Desember 2023	1	19.00	704,7	3,8%	50,6
November 2023	2	10.00	687,7	3,6%	26,7
Agustus 2023	2	19.00	303,3	13,5%	49,9

Berdasarkan tabel 9 menunjukkan persentase ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 2 ketika pukul 19.00 terjadi pada bulan Agustus 2023. Persentase ketidakseimbangannya adalah 1,4%.

#### D. Rekomendasi Penyeimbangan Dengan Simulasi

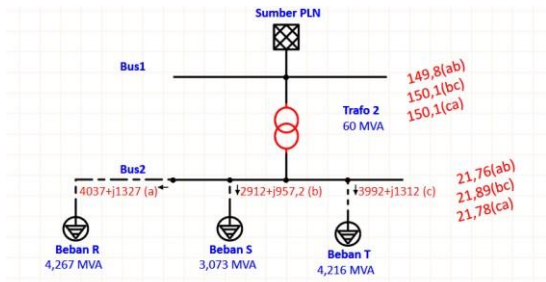
Meskipun hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban masih dalam batas standar yang berlaku, akan tetapi besarnya persentase ketidakseimbangan beban masih dapat dilakukan. Persentase ketidakseimbangan beban dapat dikurangi salah satunya dengan cara penyeimbangan beban [5]. Pada simulasi ini akan diambil data dengan persentase ketidakseimbangan beban tertinggi yaitu periode Agustus 2023 pada trafo 2 saat beban pukul

19.00 dengan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 13,5%. Persentase ketidakseimbangan beban tertinggi ini terjadi pada tanggal 2 Agustus 2023 dengan beban trafo masing-masing fasanya adalah 336A, 242A, dan 332A. Berikut adalah rangkaian simulasi pada ETAP.



Gambar 9. Rangkaian simulasi ETAP

Selanjutnya dilakukan simulasi setelah membuat rangkaian dan memasukkan data pada rangkaian simulasi. Setelah dilakukan simulasi akan muncul hasil seperti pada gambar berikut.



Gambar 10. Hasil simulasi ETAP sebelum diseimbangkan

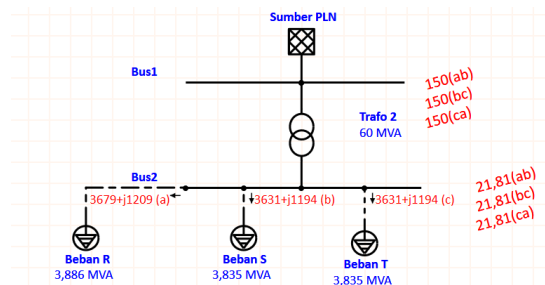
Setelah dilakukan simulasi maka akan muncul hasil seperti gambar di atas. Untuk hasil analisis bisa dilihat pada gambar berikut.

Load Flow						XFMR
Phase	MW	Mvar	Amp	Ang.	% PF	% Tap
A	4.047	1.513	49.9	-20.6	93.7	
B	3.375	1.654	43.4	-146.1	89.8	
C	3.600	1.009	43.1	104.4	96.3	
N			0.0			
A	-4.037	-1.327	338.2	-169.7	95.0	
B	-2.912	-0.957	242.9	70.8	95.0	
C	-3.992	-1.312	333.7	-49.7	95.0	
N			93.3			

Gambar 11. Hasil analisis simulasi ETAP sebelum diseimbangkan

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan hasil arus netral sebesar 93,3 A. Meskipun ketidakseimbangan beban yang terjadi masih dalam standar akan tetapi nilai ketidakseimbangan beban masih bisa diturunkan lagi. Agar nilai ketidakseimbangan beban bisa turun, diasumsikan akan dilakukan penyeimbangan beban pada setiap fasanya.

Rekomendasi untuk beban pada tiap fasa R, S, dan T dengan asumsi akan diseimbangkan menjadi 306A, 302A, dan 302A dengan memindahkan beban masing-masing sebesar 30A dari fasa R dan fasa T ke fasa S. Pemindahan beban masing-masing sebesar 30A dikarenakan agar didapatkan beban yang seimbang. Setelah dilakukan penyeimbangan beban hasil simulasinya menjadi sebagai berikut.



Gambar 12. Hasil simulasi ETAP setelah diseimbangkan

Setelah dilakukan simulasi maka akan muncul hasil seperti gambar di atas. Untuk hasil analisis bisa dilihat pada gambar berikut.

Load Flow						XFMR
Phase	MW	Mvar	Amp	Ang.	% PF	% Tap
A	3.688	1.379	45.5	-20.5	93.7	
B	3.677	1.407	45.5	-140.9	93.4	
C	3.658	1.384	45.2	99.3	93.5	
N			0.0			
A	-3.679	-1.209	307.6	-169.5	95.0	
B	-3.631	-1.194	303.6	70.5	95.0	
C	-3.631	-1.194	303.5	-49.5	95.0	
N			4.1			

Gambar 13. Hasil analisis simulasi ETAP setelah diseimbangkan

Setelah dilakukan simulasi penyeimbangan beban maka hasil simulasi dicatat dan dilakukan perbandingan dengan kondisi sebelum dilakukan penyeimbangan beban. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 10. Perbandingan persentase ketidakseimbangan sebelum dan sesudah penyeimbangan

Kondisi	Beban (A)				%Ketidakseimbangan
	R	S	T	N	
Sebelum	336	242	332	93,3	13,5%
Sesudah	306	302	302	4,1	0,6%

Berdasarkan hasil simulasi dapat ditarik kesimpulan apabila beban pada ketiga fasa seimbang maka persentase ketidakseimbangan beban dan arus netral akan semakin kecil. Semakin tinggi ketidakseimbangan beban maka akan mengakibatkan nilai arus netral semakin besar.

#### E. Perhitungan Rugi-Rugi Daya

Arus netral yang muncul akibat dari ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan terjadinya rugi-rugi pada trafo. Oleh sebab itu akan dilakukan perhitungan besarnya rugi-rugi daya pada saat sebelum dilakukan penyeimbangan dan sesudah dilakukan penyeimbangan sesuai pada simulasi ETAP. Perhitungan rugi-rugi daya menggunakan persamaan (2.13) dan (2.14). Penghantar yang digunakan pada netral trafo 2 adalah kabel jumbo aluminium NA2XSJ 1x630mm<sup>2</sup> dengan resistansi penghantarnya sebesar 0,0469Ω/Km. Panjang kabel netral pada trafo 2 adalah 20m sehingga didapatkan resistansi sebesar 0,0009Ω dan harga listrik RP. 1.444,70. Perhitungan dilakukan menggunakan software Ms. Excel dan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 11. Perbandingan rugi-rugi sebelum dan sesudah penyeimbangan

Kondisi	R ( $\Omega$ /Km)	R ( $\Omega$ )	N (A)	P (W)	E (RP)
Sebelum	0,047	0,0009	93,3	8,165	283.109,9
Sesudah			4,1	0,016	546,7

Persentase rugi-rugi yang dialami trafo pada kondisi sebelum sangat kecil yaitu sebesar 0,000000143% sehingga masih dalam kategori aman. Berdasarkan tabel 4.33 dapat diketahui rugi-rugi yang dialami trafo sebelum dilakukan penyeimbangan beban adalah sebesar 8,165 W. Kerugian biaya sebesar RP. 283.109,9. Akan tetapi setelah dilakukan penyeimbangan beban pada masing-masing fasa, rugi-ruginya menjadi 0,016 W dan rugi biaya menjadi RP. 546,7. Dapat disimpulkan bahwa ketika ketidakseimbangan beban semakin kecil maka rugi-rugi juga akan semakin kecil.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban trafo 1 dan trafo 2 di Gardu Induk 150Kv Secang masih dalam kategori aman dan tidak mengalami rugi-rugi dalam jumlah besar. Nilai ketidakseimbangan terbesar pada trafo 1 beban pukul 10.00 adalah 4,8% pada bulan September 2023. Nilai ketidakseimbangan terbesar pada trafo 1 beban pukul 19.00 adalah 2,4% pada bulan Desember 2023. Nilai ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 2 beban pukul 10.00 adalah 1,7% pada bulan November 2023. Nilai ketidakseimbangan beban terbesar pada trafo 2 beban pukul 19.00 adalah 1,4% pada bulan Agustus 2023. Oleh sebab itu nilai persentase ketidakseimbangan beban maupun rugi-rugi pada trafo 1 dan trafo 2 masih dalam batas standar.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa semakin mendekati seimbang beban antar fasa maka persentase ketidakseimbangannya akan semakin kecil sehingga arus netral yang dihasilkan pun juga akan semakin kecil.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Ruliyanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Arus Ground pada Trafo 1 dan Trafo 2 pada Beban Puncak Sesaat," *J. Ilm. Giga*, vol. 23, no. 1, p. 27, 2020, doi: 10.47313/jig.v23i1.867.
- [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," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, no. September, pp. 1–6, 2021.
- [3] J. Ohoiwutun and M. D. Tobi, "ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF LOAD BALANCE IN THE EFFICIENCY OF 100 kVA DISTRIBUTION TRANSFORMERS IN PT. PLN (PERSERO) AIMAS UNIT," *Electro Luceat*, vol. 5, no. 2, pp. 62–70, 2019, doi: 10.32531/jelekn.v5i2.156.
- [4] R. Afrianda, S. Samsurizal, and A. A. Nurul, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Studi Gardu PT PLN (PERSERO) Area Bekasi," *Sutet*, vol. 10, no. 1, pp. 29–38, 2021, doi: 10.33322/sutet.v10i1.1277.
- [5] Ika Noer Syamsiana, Budi Eko Prasetyo, Harry Hassidiqi, and Salsha Faradilla Firdaus, "Balancing Load Outgoing Transformator 2 di Politeknik Negeri Malang," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 3, pp. 201–207, 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i3.4266.
- [6] Y. A. M. Ambabunga, H. Masiku, and E. A. M. Sampetoding, "Karakteristik Transformator 3 Fasa (Hubung Bintang Dan Delta) Pada Sistem Tenaga Listrik Ac," *J. Dyn. Saint*, vol. 6, no. 1, pp. 12–18, 2021, doi: 10.47178/dynamicsaint.v6i1.1195.
- [7] "Permen-ESDM-No.-28-Tahun-2016.pdf."
- [8] S. Febriani, "Analisis Deskriptif Standar Deviasi," *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 6, no. 1, pp. 910–913, 2022, [Online]. Available: <https://jptam.org/index.php/jptam/article/view/8194>.