

# Evaluasi Ketidakseimbangan Beban Pada Penyulang Unicora

Ahmad Hermawan<sup>\*a)</sup>, Ahmad Koimam<sup>a)</sup>, Rhezal Agung Ananto<sup>a)</sup>, Satria Luthfi Hermawan<sup>a)</sup>

(Received 20 Mei 2024 || Revised 14 Juni 2024 || Accepted 21 Juni 2024)

**Abstract:** Load imbalance in electrical distribution transformers can lead to significant power losses and decreased efficiency in electrical distribution systems. This study focuses on the load imbalance problem at the Unicora feeder of PT PLN (Persero) ULP Singosari, which hinders optimal operational efficiency. The purpose of this research is to evaluate the extent of load imbalance, its impact on power losses, and the effectiveness of load balancing interventions in mitigating these losses. The methodology includes phase load measurements from February to September 2021, analysis of load imbalance, and power loss simulations using ETAP 12.6.0 software. The study's important findings indicate that the average load imbalance decreased from 34% to 21% after implementing load balancing interventions. Concurrently, power losses in the neutral conductor were reduced from 106.3 kW to 78.0 kW. ETAP simulations revealed a total power loss of 773.5 kW in the Unicora feeder, underscoring the significant impact of load imbalance on system efficiency. The implications of this research are crucial for operational practices at PT PLN (Persero) ULP Singosari. The findings demonstrate that effective load balancing can significantly enhance distribution efficiency, reduce operational costs, and improve the reliability of electricity provision. This study advocates for continuous monitoring and adaptive management of load distribution in electrical networks to maintain optimal performance and sustainability.

**Keywords:** Load imbalance, power losses, distribution transformer, ETAP simulation, load balancing

## 1. Pendahuluan

Penelitian tentang ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi sangat penting untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi listrik. Ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan kerugian daya dan menurunkan efisiensi distribusi listrik [1], [2]. Oleh karena itu, memahami dan mengatasi ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi merupakan langkah penting untuk memastikan penyediaan listrik yang andal dan efisien.

Salah satu masalah signifikan dalam sistem distribusi listrik adalah ketidakseimbangan beban yang dapat menyebabkan aliran arus pada penghantar netral. Permasalahan yang terjadi adalah, pada PT PLN (Persero) ULP Singosari di Penyulang Unicora, beberapa trafo distribusi menunjukkan ketidakseimbangan beban yang cukup tinggi, melebihi 25% sesuai dengan standar yang ditetapkan. Ketidakseimbangan ini perlu diatasi untuk mengurangi kerugian daya, meningkatkan efisiensi distribusi, dan menghindari pemanasan berlebih di trafo sehingga memperpanjang usia pakainya [3].

Penelitian ini didasarkan pada kajian literatur dan studi empiris yang telah dilakukan sebelumnya. Rahayu et al. menganalisis rugi daya yang terjadi pada gardu cantol PTUC dan membandingkan hasil perhitungan rugi daya dengan standar SPLN No. 17 Tahun 2014 [4]. Tharo et al. menganalisis pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap umur peralatan listrik [5]. Wicaksono et al. mendapatkan hasil bahwa Persentase ketidakseimbangan beban mempengaruhi besarnya arus yang mengalir pada penghantar netral. Arus pada penghantar netral ini dapat menyebabkan kerugian daya pada transformator distribusi [6]. Sampe mengevaluasi sistem kelistrikan di PT. PLN (PERSERO) Rayon Abepura. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa persentase

ketidakseimbangan beban terbesar saat LWBP terjadi pada gardu trafo ABE322 sebesar 33,33%, sedangkan yang terendah pada gardu trafo ABE347-K sebesar 1,34%. Sementara itu, persentase ketidakseimbangan beban terbesar saat WBP terjadi pada gardu trafo ABE263-1 sebesar 33,98%, dan yang terendah pada gardu trafo ABE007-1 sebesar 1,89% [7]. Budiayasa et al. mengevaluasi ketidakseimbangan Penyulang Abiansemal dengan hasil ketidakseimbangan beban saat siang hari sebesar 29,9 % dan 26,6 % serta ketidakseimbangan beban saat malam hari sebesar 62,6 % dan 31% [8]. Prasetya mendapatkan hasil bahwa persentase ketidakseimbangan beban pada Transformator Distribusi MI 0096 Penyulang Abianbase tergolong dalam kondisi buruk yaitu melebihi 25% dengan THDv masih di bawah 5 % dan THDi melebihi 8% [9].

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai ketidakseimbangan beban, masih terdapat gap dalam penerapan solusi praktis dan evaluasi efektivitas penyeimbangan beban pada transformator distribusi. Sebagian besar penelitian hanya berfokus pada analisis teoritis tanpa mengukur dampak langsung dari penyeimbangan beban di lapangan. Selain itu, penggunaan perangkat lunak simulasi seperti ETAP perlu lebih diintegrasikan dengan data pengukuran lapangan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan aplikatif.

Konsep baru yang diusulkan dalam penelitian ini adalah integrasi antara pengukuran lapangan dan simulasi perangkat lunak untuk mengevaluasi efektivitas penyeimbangan beban. Penelitian ini juga akan menggunakan metode analisis yang lebih komprehensif untuk mengukur dampak langsung dari penyeimbangan beban terhadap kerugian daya. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat ditemukan solusi praktis yang dapat diterapkan di lapangan untuk mengatasi ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi.

\*Korespondensi: [ahmad.hermawan@polinema.ac.id](mailto:ahmad.hermawan@polinema.ac.id)

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai ketidakseimbangan beban sebelum dan sesudah penyeimbangan beban pada gardu distribusi penyulang Unicora di PT PLN (Persero) ULP Singosari. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengukur kerugian daya yang terjadi pada penghantar netral serta membandingkan efisiensi energi sebelum dan sesudah penyeimbangan beban. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi distribusi listrik dan mengurangi biaya operasional di PT PLN (Persero) ULP Singosari.

## 2. Metode

### 2.1 Transformator Distribusi dan Ketidakseimbangan

Objek penelitian ini adalah transformator distribusi dengan ketidaksetimbangan beban yang diukur. Transformator ini adalah produk dari PT. Trafindo Perkasa dengan tingkat kemurnian dan kualitas standar industri. Transformator distribusi merupakan perangkat listrik yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari tingkat tinggi ke tingkat yang lebih rendah supaya dapat digunakan konsumen [10], [11]. Transformator ini berperan penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, memastikan bahwa energi listrik dapat disalurkan secara efisien dari jaringan transmisi ke pengguna akhir [12]. Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi terjadi ketika arus listrik pada ketiga fase (R, S, T) tidak merata [13]. Ketidakseimbangan ini dapat menyebabkan aliran arus pada konduktor netral, yang mengakibatkan kerugian daya dan penurunan efisiensi. Selain itu, ketidakseimbangan beban dapat menyebabkan panas berlebih pada transformator, yang dapat mempercepat degradasi komponen dan mengurangi umur operasionalnya [14]. Oleh karena itu, penyeimbangan beban adalah langkah penting untuk memastikan efisiensi dan keandalan operasional transformator distribusi.

Ketidakeimbangan beban dinyatakan dalam prosentase yang dapat dihitung menggunakan Persamaan (2-1) berikut [15].

$$\% \text{Ketidakseimbangan} = \frac{(a-1)+(b-1)+(c-1)}{3} \quad (2-1)$$

dengan nilai a, b, dan c dihitung menggunakan Persamaan (2-2) sampai dengan Persamaan (2-4) secara berurutan sebagai berikut.

$$a = \frac{IR}{I} \quad (2-2)$$

$$b = \frac{IS}{I} \quad (2-3)$$

$$c = \frac{IT}{I} \quad (2-4)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1. Besar arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata ( $I_{rata-rata}$ ) yang dihitung menggunakan Persamaan (2-5).

$$I_{rata-rata} = \frac{IR + IS + IT}{3} \quad (2-5)$$

Akibat ketidakseimbangan beban antar fase pada sisi sekunder trafo (fase R, fase S, dan fase T), maka mengalir arus pada konduktor netral trafo. Arus yang mengalir melalui konduktor netral ini menyebabkan kerugian daya. Kerugian daya pada konduktor netral dapat dihitung dengan Persamaan (2-6) berikut [16].

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (2-6)$$

### 2.2 Instrumen Penelitian

Instrumen utama yang digunakan di penelitian ini yaitu ETAP 12.6.0 sebagai perangkat lunak simulasi untuk analisis, pemantauan, pengelolaan, dan pengoptimalan sistem distribusi tenaga listrik. Dengan menggunakan fitur analisis kerugian daya, ETAP menghitung kerugian daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di penyulang Unicora PT PLN (Persero) ULP Singosari. Hasil ini membantu dalam memahami seberapa besar ketidakseimbangan beban mempengaruhi efisiensi sistem. Setelah penyeimbangan beban dilakukan, data baru dimasukkan ke dalam ETAP untuk menjalankan simulasi ulang. Perbandingan antara hasil sebelum dan sesudah penyeimbangan beban menunjukkan efektivitas intervensi yang dilakukan.

Alat pengukur beban fase merupakan produk dari Fluke dengan model Fluke 435 Series II yang memiliki akurasi tinggi. Selain itu digunakan pula *Electric Furnace* (Carbonite) untuk pengujian awal dan kalibrasi peralatan pengukuran. Multimeter juga digunakan untuk pengukuran tegangan dan arus pada berbagai titik dalam sistem distribusi.

### 2.3 Desain dan Prosedur Penelitian

Penelitian ini dirancang sebagai studi evaluatif yang menggabungkan pengukuran lapangan dengan simulasi perangkat lunak untuk mengevaluasi ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi. Desain penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis dampak ketidakseimbangan beban serta efektivitas intervensi penyeimbangan beban.

Prosedur penelitian ini melibatkan langkah-langkah berikut. Penelitian dimulai dengan tahap pengukuran beban fase pada transformator distribusi di penyulang Unicora, PT PLN (Persero) ULP Singosari. Pengukuran ini dilakukan dari Februari hingga September 2021 menggunakan alat pengukur Fluke 435 Series II untuk mendapatkan data yang akurat mengenai distribusi beban pada masing-masing fase transformator. Data pengukuran yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menentukan tingkat ketidakseimbangan beban yang terjadi sebelum dilakukan intervensi penyeimbangan beban.

Selanjutnya, data yang telah dikumpulkan dimasukkan ke dalam perangkat lunak ETAP 12.6.0 untuk melakukan simulasi kerugian daya akibat ketidakseimbangan beban. ETAP digunakan untuk memodelkan sistem distribusi tenaga listrik dan menjalankan analisis aliran beban serta simulasi kerugian daya [xx], [xx]. Simulasi ini membantu dalam mengidentifikasi area-area dengan

ketidakseimbangan beban yang signifikan dan memberikan gambaran mengenai distribusi beban dan kerugian daya dalam sistem.

Intervensi penyeimbangan beban kemudian dilakukan oleh tim teknis PT PLN (Persero) ULP Singosari selama bulan Juni hingga September 2021. Proses penyeimbangan beban ini melibatkan redistribusi beban pada setiap fase transformator untuk mengurangi ketidakseimbangan yang terjadi. Setelah intervensi, pengukuran beban fase dilakukan kembali untuk mendapatkan data terbaru mengenai distribusi beban dan mengukur efektivitas dari penyeimbangan yang telah dilakukan.

Data hasil pengukuran setelah penyeimbangan beban kemudian dimasukkan kembali ke dalam ETAP untuk menjalankan simulasi ulang. Hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil sebelum intervensi untuk mengevaluasi penurunan tingkat ketidakseimbangan dan kerugian daya yang terjadi. Analisis komparatif dilakukan untuk mengukur dampak dari intervensi penyeimbangan beban terhadap efisiensi distribusi listrik dan kerugian daya. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang komprehensif mengenai efektivitas penyeimbangan beban dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik di PT PLN (Persero) ULP Singosari.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran beban terhadap transformator distribusi di Penyulang Unicora telah dilakukan sebelumnya, sehingga perhitungan yang dilakukan terkait penyeimbangan beban pada semua transformator menghasilkan data yang signifikan. Paragraf berikut menampilkan perhitungan dan pembahasan lebih detail.

#### 3.1 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Tabel 3.1 menunjukkan data di penyulang sebelum penyeimbangan beban.

TABEL 3.1 DATA BEBAN SEBELUM PENYEIMBANGAN

Kode GTT	Daya (kVA)	Data Pengukuran							
		I <sub>rms</sub> (A)				Tegangan (V)			
		R	S	T	N	R	S	T	
E0009	250	330	218	281	211	229	236	231	
E0020	160	267	176	169	146	234	233	232	
E0031	250	276	300	177	164	223	225	228	
E0034	160	177	255	282	112	227	228	225	
E0037	100	26	43	31	22	237	234	235	
E0047	100	58	28	28	40	231	236	232	
E0059	250	216	240	245	128	230	234	229	
E0061	160	130	158	104	86	228	228	232	
E0064	100	78	89	182	112	232	231	230	
E0073	250	134	136	154	11	101	102	101	

Tabel 3.1 mencakup informasi mengenai nomor gardu tiang transformator (GTT), kapasitas daya transformator dalam kilovolt-ampere (kVA), serta nilai arus RMS (Root Mean Square) dalam ampere untuk masing-masing fase (R, S, T) dan arus pada

penghantar netral (N). Selain itu, nilai tegangan pada setiap fase juga dicatat. Data yang ditampilkan menunjukkan variasi signifikan dalam arus dan tegangan pada setiap fase transformator, dengan beberapa transformator menunjukkan ketidakseimbangan beban yang jelas, terlihat dari perbedaan nilai arus yang besar antara fase dan arus netral yang tinggi. Sebagai contoh, transformator dengan nomor GTT E0009 memiliki kapasitas daya 250 kVA dengan arus RMS sebesar 330 A pada fase R, 218 A pada fase S, dan 281 A pada fase T, serta arus penghantar netral sebesar 211 A. Variasi ini mengindikasikan adanya ketidakseimbangan beban yang signifikan, yang menjadi dasar penting untuk melakukan penyeimbangan beban guna mengurangi kerugian daya dan meningkatkan efisiensi distribusi listrik di Penyulang Unicora.

Salah satu sampel perhitungan prosentase ketidakseimbangan yang dilakukan di trafo dengan nomor GTT E0047 dapat diamati di paragraf berikut.

Diketahui GTT E0047 memiliki  $I_R = 58$  A,  $I_S = 28$  A,  $I_T = 28$  A, dan  $I_N = 40$  A. Sehingga,  $I_{rata-rata} = \frac{58 + 28 + 28}{3} = 38$  A .

Koefisien  $a = \frac{58}{38} = 1,52$  A,  $b = \frac{28}{38} = 0,74$  A, dan  $c = \frac{28}{38} = 0,74$  A.

Dengan demikian, rata-rata nilai ketidakseimbangan beban (dalam %) untuk trafo dengan nomor GTT E0047 adalah:

$$\%Ketidakseimbangan = \frac{(1,52 - 1) + (0,74 - 1) + (0,74 - 1)}{3} \times 100\% = 35\%$$

Tabel 3.2 menunjukkan data di penyulang sesudah penyeimbangan beban.

TABEL 3.2 DATA BEBAN SESUDAH PENYEIMBANGAN

Kode GTT	Daya (kVA)	Data Pengukuran							
		I <sub>rms</sub> (A)				Tegangan (V)			
		R	S	T	N	R	S	T	
E0009	250	45	27	19	29	227	230	227	
E0020	160	142	89	116	88	232	236	238	
E0031	250	62	53	51	40	233	237	233	
E0034	160	86	63	46	57	231	232	232	
E0037	100	168	170	158	61	231	231	230	
E0047	100	20	9	6	15	227	230	229	
E0059	250	6	3	4	5	227	225	227	
E0061	160	30	25	31	25	222	233	237	
E0064	100	195	210	95	100	225	230	227	
E0073	250	30	65	80	70	230	230	231	

Tabel 3.2 ini mencakup informasi yang sama seperti Tabel 3.1, yaitu nomor gardu tiang transformator (GTT), kapasitas daya transformator dalam kilovolt-ampere (kVA), serta nilai arus RMS (Root Mean Square) dalam ampere untuk masing-masing fase (R, S, T) dan arus pada penghantar netral (N). Selain itu, nilai tegangan pada setiap fase juga dicatat. Hasil pengukuran menunjukkan adanya penurunan yang signifikan dalam nilai arus RMS pada

penghantar netral, yang mengindikasikan bahwa penyeimbangan beban berhasil mengurangi ketidakseimbangan. Misalnya, transformator dengan nomor GTT E0047 yang memiliki kapasitas daya 100 kVA menunjukkan penurunan arus RMS dari 58 A pada fase R, 28 A pada fase S, dan 28 A pada fase T, dengan arus penghantar netral sebesar 40 A sebelum penyeimbangan, menjadi 45 A pada fase R, 27 A pada fase S, dan 19 A pada fase T, dengan arus penghantar netral sebesar 29 A setelah penyeimbangan. Penurunan arus RMS pada penghantar netral ini mencerminkan bahwa penyeimbangan beban berhasil mengurangi kerugian daya dan meningkatkan efisiensi distribusi listrik. Secara keseluruhan, data dalam Tabel 3.2 menunjukkan bahwa intervensi penyeimbangan beban yang dilakukan telah menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam distribusi beban yang lebih merata, mengurangi ketidakseimbangan beban, dan menurunkan kerugian daya pada sistem distribusi listrik di Penyulang Unicora.

Dengan melakukan perhitungan prosentase ketidakseimbangan menggunakan langkah yang sama seperti sampel perhitungan di trafo dengan nomor GTT E0047 untuk semua trafo, baik sebelum maupun sesudah penyeimbangan, maka didapatkan hasil seperti dapat dilihat di Tabel 3.3.

TABEL 3.3 PERBANDINGAN PERSENTASE KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN

Kode GTT	% Ketidakseimbangan Beban	
	Sebelum Penyeimbangan	Sesudah Penyeimbangan
E0047	35%	32%
E0064	37%	15%
E0077	15%	8%
E0115	15%	21%
E0120	39%	3%
E0151	74%	48%
E0152	50%	25%
E0164	23%	8%
E0168	27%	28%
E0192	48%	32%

Tabel 3.3 mencakup nomor gardu tiang transformator (GTT), penyulang yang diukur, daya transformator dalam kilovolt-ampere (kVA), serta persentase ketidakseimbangan beban sebelum dan sesudah penyeimbangan. Data dalam tabel menunjukkan bahwa penyeimbangan beban berhasil mengurangi persentase ketidakseimbangan beban pada hampir semua transformator yang diukur. Misalnya, transformator dengan nomor GTT E0047 memiliki daya 100 kVA, menunjukkan penurunan persentase ketidakseimbangan beban dari 35% sebelum penyeimbangan menjadi 32% setelah penyeimbangan. Contoh lain adalah transformator dengan nomor GTT E0064 yang memiliki daya 100 kVA, di mana persentase ketidakseimbangan beban berkurang secara signifikan dari 37% menjadi 15% setelah penyeimbangan. Transformator dengan daya yang lebih besar seperti GTT E0120 dengan kapasitas 630 kVA menunjukkan penurunan yang lebih

drastis, dari 39% menjadi hanya 3% setelah penyeimbangan. Data ini menunjukkan efektivitas intervensi penyeimbangan beban dalam mengurangi ketidakseimbangan beban, yang pada gilirannya membantu mengurangi kerugian daya dan meningkatkan efisiensi distribusi listrik di Penyulang Unicora. Penurunan persentase ketidakseimbangan beban ini juga mencerminkan peningkatan kestabilan dan keandalan sistem distribusi listrik, memastikan bahwa energi dapat disalurkan secara lebih efisien kepada konsumen.

### 3.2 Perhitungan Losses Akibat Adanya Arus di Penghantar Netral Trafo

Berdasarkan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 dapat dilihat nilai masing-masing arus netral yang digunakan untuk menghitung rugi daya yang terjadi. Misalkan perhitungan rugi daya di GTT E009 sebelum penyeimbangan adalah sebagai berikut.

$$P_N = (40)^2 \times 0,6842 = 1094,72 \text{ Watt} = 1,09472 \text{ kW}$$

Menggunakan cara perhitungan yang sama untuk semua trafo, baik sebelum maupun sesudah penyeimbangan, maka didapatkan hasil seperti dapat dilihat di Tabel 3.4.

TABEL 3.4 HASIL RUGI DAYA DI PENGHANTAR NETRAL PADA SETIAP TRAFU DISTRIBUSI DI PENYULANG UNICORA

Kode GTT	Rugi Daya	
	Sebelum Penyeimbangan	Sesudah Penyeimbangan
E0047	1.095	575
E0064	8.583	5.298
E0077	1.643	1.095
E0115	2.546	2.223
E0120	5.298	2.546
E0151	0.274	0.154
E0152	0.068	0.017
E0164	0.499	0.428
E0168	7.4	6.842
E0192	5.179	3.353

Tabel 3.4 mencakup nomor gardu tiang transformator (GTT), daya transformator dalam kilovolt-ampere (kVA), serta nilai kerugian daya dalam kilowatt (kW) sebelum dan sesudah penyeimbangan beban. Hasil yang ditampilkan menunjukkan penurunan yang signifikan dalam kerugian daya setelah dilakukan penyeimbangan beban. Misalnya, transformator dengan nomor GTT E0047 memiliki daya 100 kVA, menunjukkan kerugian daya sebesar 1,095 kW sebelum penyeimbangan beban, yang kemudian menurun menjadi 0,575 kW setelah penyeimbangan. Transformator lain seperti GTT E0120 dengan daya 630 kVA menunjukkan penurunan kerugian daya dari 5,298 kW menjadi 2,546 kW setelah penyeimbangan. Data ini secara konsisten menunjukkan bahwa penyeimbangan beban berhasil mengurangi kerugian daya pada penghantar netral di hampir semua transformator yang diukur. Penurunan kerugian daya ini mencerminkan peningkatan efisiensi distribusi listrik, karena beban

yang lebih seimbang mengurangi arus yang mengalir pada penghantar netral, mengurangi panas yang dihasilkan, dan menurunkan kerugian energi secara keseluruhan. Oleh karena itu, Tabel 4.4 memberikan bukti empiris bahwa intervensi penyeimbangan beban yang dilakukan di Penyulang Unicora berhasil meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi kerugian daya pada sistem distribusi listrik.

### 3.3 Estimasi Penghematan Biaya kWh Sebelum dan Sesudah Penyeimbangan Beban

Tarif Tenaga Listrik Bulan April - Juni 2021 tarif sebesar Rp. 1.444,70/kWh sehingga, perhitungan penghematan biaya kWh sebelum dan sesudah penyeimbangan beban menggunakan tarif tersebut. Jika dihitung per bulan maka estimasi penghematan kWh adalah: Penghematan per bulan = total rugi daya sebelum penyeimbangan beban – total losses sesudah penyeimbangan beban.

Total rugi daya sebelum penyeimbangan beban

$$= 106,3 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times 24 \times 30 = 7632 \text{ kWh}$$

Total rugi daya sesudah penyeimbangan beban

$$= 78,0 \text{ kW} \times 1 \text{ jam} \times 24 \times 30 = 5616 \text{ kWh}$$

Sehingga penghematan perbulan

$$= 7632 \text{ kWh} - 5616 \text{ kWh} = 2016 \times 1.444,70 = \text{Rp. } 2.911.668,48$$

## 4. Penutup

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi di Penyulang Unicora PT PLN (Persero) ULP Singosari dan mengukur dampaknya terhadap kerugian daya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebelum dilakukan penyeimbangan beban, ketidakseimbangan beban pada beberapa trafo distribusi cukup tinggi, dengan persentase ketidakseimbangan mencapai 34% dan kerugian daya pada penghantar netral sebesar 106,3 kW. Setelah dilakukan penyeimbangan beban, persentase ketidakseimbangan berkurang menjadi 21% dan kerugian daya menurun menjadi 78,0 kW. Simulasi menggunakan perangkat lunak ETAP 12.6.0 juga mengungkapkan bahwa total kerugian daya pada penyulang Unicora sebesar 773,5 kW.

Penelitian ini menunjukkan bahwa intervensi penyeimbangan beban yang dilakukan berhasil mengurangi ketidakseimbangan beban dan kerugian daya secara signifikan. Efektivitas penyeimbangan beban terlihat dari penurunan persentase ketidakseimbangan beban dan pengurangan kerugian daya yang signifikan. Penurunan kerugian daya ini berdampak positif pada efisiensi distribusi listrik dan pengurangan biaya operasional di PT PLN (Persero) ULP Singosari. Oleh karena itu, penelitian ini menyarankan agar penyeimbangan beban dilakukan secara berkala dan dipantau secara terus menerus untuk menjaga efisiensi dan keandalan sistem distribusi listrik.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efisiensi operasional sistem distribusi listrik di

PT PLN (Persero) ULP Singosari dan mengurangi kerugian daya yang terjadi akibat ketidakseimbangan beban. Hasil penelitian ini mendukung perlunya pemantauan dan manajemen adaptif distribusi beban dalam jaringan listrik untuk mempertahankan kinerja optimal dan keberlanjutan sistem tenaga listrik.

## Referensi

- [1] N. J. Hontong, M. Tuegeh, and L. S. Patras, "Analisa Rugi-Rugi Daya Pada Jaringan Distribusi Di PT. PLN Palu," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 4, no. 1, pp. 64–71, Feb. 2015, doi: 10.35793/JTEK.V4I1.6739.
- [2] P. Zulkhalaifah 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," *Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 0, no. 0, pp. 6–11, Oct. 2021.
- [3] N. Soedjarwanto and G. Forda Nama, "Monitoring Arus, Tegangan dan Daya pada Transformator Distribusi 20 KV Menggunakan Teknologi Internet of Things," *J. EECCIS*, vol. 13, no. 3, pp. 128–133, 2019, [Online]. Available: <https://jurnaleeccis.ub.ac.id/>
- [4] N. M. Rahayu, A. Mashar, and R. F. Muldiani, "EVALUASI PEMBEBANAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PADA GARDU CANTOL PTUC DI PT PLN (PERSERO) UP3 BANDUNG," *Sigma-Mu*, vol. 15, no. 2, pp. 40–51, 2023, doi: 10.35313/SIGMAMU.V15I2.5791.
- [5] Z. Tharo, A. D. Tarigan, and R. Pulungan, "Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 10–15, Jul. 2018, doi: 10.30596/RELE.V1I1.2256.
- [6] G. Satriyo Wicaksono Prodi Teknik Elektro, T. Wrahatnolo, K. Kunci-Transformator Distribusi, K. Beban, and R. Daya, "Evaluasi Ketidakseimbangan Beban pada GTT 20kV terhadap Arus Netral dan Rugi Daya," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 172–178, Jul. 2023, doi: 10.37905/JJEEE.V5I2.20139.
- [7] A. Sampe, "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV/380 V DI PENYULANG DPR KOTA," *J. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 106–123, Dec. 2022, doi: 10.58169/SAINTEK.V1I2.84.
- [8] I. G. Budiayasa, I. W. A. Wijaya, and T. G. I. Partha, "RUGI – RUGI DAYA AKIBAT PENGARUH KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL PADA EFEKTIFITAS PENGGUNAAN DAYA TERPASANG," *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, pp. 260–267, 2021.



- [9] I. W. Y. Prasetya, I. N. Setiawan, and I. G. D. Arjana, "HARMONISA PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI MI 0096 PENYULANG ABIANBASE," vol. 7, no. 1, pp. 109–115, 2020.
- [10] I. N. Syamsiana, B. E. Prasetyo, H. Hassidiqi, and S. F. Firdaus, "Balancing Load Outgoing Transformator 2 di Politeknik Negeri Malang," *Elposys J. Sist. Kelistrikan*, vol. 10, no. 3, pp. 201–207, Oct. 2023, doi: 10.33795/ELPOSYS.V10I3.4266.
- [11] Y. Yusmartato, R. Nasution, and A. Armansyah, "Pemilihan Fuse Cut Out Untuk Pengaman Transformator Distribusi 400 KVA," *JET (Journal Electr. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 73–79, Jun. 2019.
- [12] Y. P. Tondok, L. S. Patras, and F. Lisi, "Perencanaan Transformator Distribusi 125 kVA," *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 8, no. 2, pp. 83–92, Aug. 2019, doi: 10.35793/JTEK.V8I2.24895.
- [13] A. Saiful Aprilian Ektianto, I. M. Agus Darwanto Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu, and P. Korespondensi, "ANALISIS KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI Di PT. PLN (Persero) RAYON CEPU," *SIMETRIS*, vol. 15, no. 1, pp. 35–42, Jul. 2021, doi: 10.51901/SIMETRIS.V15I01.179.
- [14] 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.
- [15] Z. Sya'roni and T. Rijanto, "ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 20 KV DAN SOLUSINYA PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH," *J. Tek. ELEKTRO*, vol. 8, no. 1, 2019, doi: 10.26740/JTE.V8N1.P.
- [16] S. Hidayat *et al.*, "PENYEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH GARDU DISTRIBUSI CD 33 PENYULANG SAWAH DI PT PLN (PERSERO) AREA BINTARO," *SUTET*, vol. 8, no. 1, pp. 21–27, 2018, doi: 10.33322/SUTET.V8I1.712.

\*Korespondensi: [ahmad.hermawan@polinema.ac.id](mailto:ahmad.hermawan@polinema.ac.id)