

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN DAN RUGI DAYA AKIBAT ARUS NETRAL DI PENYULANG GI GORONTALO BARU

Moh. Rifaldi¹, Yasin Mohamad^{2*}, Rahmat Hidayat Dongka³, Ade Irawaty Tolago⁴,
Arifin Matoka⁵

Universitas Negeri Gorontalo¹, Universitas Negeri Gorontalo², Universitas Negeri Gorontalo³, Universitas Negeri
Gorontalo⁴, Universitas Negeri Gorontalo⁵

moh.rifaldi072002@gmail.com¹, yasinmohamad@ung.ac.id², rahmatdongka@ung.ac.id³, adeirawaty@ung.ac.id⁴,
arifin_matoka@ung.ac.id⁵

ABSTRACT

The State Electricity Company (PT.PLN Persero) is a company authorized by the government to handle electricity in Indonesia. Distribution lines are an important component in the distribution of electrical power, therefore power losses in distribution lines must be small so that the received electrical power must be close to the transmitted electrical power. This study discusses electrical power losses and load imbalances in the 20 kV medium voltage primary distribution line at the Gorontalo Baru Substation (GOBAR) feeder. The method used in this study is through data collection of load current measurements for each phase, neutral current (N), and neutral conductor resistance (RN) from seven feeders with a total of 297 distribution transformers. The data is processed using the load imbalance equation and active power loss calculations. The analysis is carried out by comparing the imbalance value to the PLN standard (SK ED PLN No. 0017.E/DIR/2014). The results of the study show that the number of transformers in the GOBAR GI feeder that have an imbalance value exceeding the standard limit or in the bad category is 71 transformers and the amount of power losses experienced by the GOBAR GI is 1423.01 kW outside peak load times and for peak load times of 3051.115 kW. Judging from these losses, so that inter-phase load balancing is an important step in increasing the efficiency and reliability of the electric power distribution system.

Keywords: Distribution transformer, Electrical distribution system, Load unbalance, Neutral current, Power losses.

INTISARI

Perusahaan Listrik Negara (PT.PLN Persero) adalah satu perusahaan yang diberi wewenang oleh pemerintah untuk menangani kelistrikan di Indonesia. Saluran distribusi merupakan komponen penting dalam penyaluran daya listrik, oleh karenanya rugi-rugi daya pada saluran distribusi harus kecil agar daya listrik yang diterima harus mendekati daya listrik yang dikirimkan. Penelitian ini membahas tentang rugi-rugi daya listrik dan ketidakseimbangan beban pada saluran distribusi primer tegangan menengah 20 kV di penyulang GI Gorontalo Baru (GOBAR). Metode yang digunakan dalam penelitian ini dengan melalui pengambilan data pengukuran arus beban tiap fasa, arus netral (N), dan tahanan penghantar netral (RN) dari tujuh penyulang dengan total 297 transformator distribusi. Data diolah menggunakan persamaan ketidakseimbangan beban dan perhitungan rugi daya aktif. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai ketidakseimbangan terhadap standar PLN (SK ED PLN No. 0017.E/DIR/2014). Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah trafo pada penyulang GI GOBAR yang memiliki nilai ketidakseimbangan melebihi batas standar atau dalam kategori buruk sebanyak 71 trafo dan Besar rugi-rugi daya yang dialami oleh GI GOBAR adalah sebesar 1423.01 kW pada luar waktu beban puncak dan untuk waktu beban puncak sebesar 3051.115 kW. Dilihat dari kerugian tersebut, sehingga penyeimbangan beban antar fasa menjadi langkah penting dalam meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

Kata kunci: Arus netral, Ketidakseimbangan beban, Rugi-rugi daya, Sistem distribusi listrik, Transformator distribusi

I. PENDAHULUAN

PT PLN (Persero) adalah badan usaha milik negara yang menyediakan listrik bagi seluruh lapisan masyarakat, dengan permintaan yang terus meningkat seiring dengan kemajuan teknologi dan peningkatan taraf hidup masyarakat. Jatuh tegangan adalah kondisi di mana besarnya tegangan yang disuplai tidak sama dengan tegangan yang diterima konsumen [1].

Listrik merupakan salah satu kebutuhan masyarakat yang sangat penting dan sebagai sumber daya ekonomis yang paling utama yang dibutuhkan dalam suatu kegiatan[2]. Kemajuan teknologi dan pertambahan jumlah penduduk membuat pertambahan beban dari saluran distribusi menjadi lebih banyak, tentu dari pertambahan beban pada saluran distribusi harus diikuti dengan kualitas penyaluran energi yang diterima oleh konsumen harus lebih baik, karena sistem distribusi tenaga listrik memiliki peran yang sangat penting di dalam penyaluran energi listrik, penyaluran yang andal dan secara terus menerus dari sistem distribusi menuju ke beban dan juga pelanggan, merupakan indikator bahwa saluran distribusi itu dikatakan andal[3].

Salah satu syarat kehandalan sistem distribusi tenaga listrik yang harus dipenuhi untuk pelayanan kendali konsumen adalah kualitas tegangan yang baik dan stabil karena walaupun kontinuitas catu daya dapat diandalkan, tidak serta merta harus menjaga tegangan yang konstan pada sistem distribusi karena tegangan turun akan terjadi di semua bagian. Sistem akan terjadi perubahan kinerja dengan perubahan beban [4]. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan berkesinambungan merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik[5].

Ketidakeimbangan beban antar fasa akan berpengaruh pada kinerja trafo, dapat menyebabkan panas berlebih pada fasa beban lebih, arus mengalir pada kawat netral, drop tegangan ujung pada jaringan fasa yang berlebih. Selain itu juga dapat menimbulkan kerusakan dan kerugian diantaranya kerusakan pada Peralatan Hubung Bagi-Tegangan Rendah (PHB-TR), Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR),

Saluran Rumah (SR) serta kualitas tegangan rendah yang diterima buruk, sehingga energi listrik yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik dan dapat memperpendek usia peralatan listrik. Berdasarkan PLN (SK ED PLN No. 0017.E/DIR/2014) Ketidakeimbangan beban memiliki beberapa kriteria dimana nilai $< 10\%$ dalam kriteria baik, pada nilai $10\% - < 20\%$ dalam kriteria cukup, $20\% - < 25\%$ dalam kriteria kurang dan $\geq 25\%$ dalam kriteria buruk[6].

Rugi-rugi daya pada jaringan distribusi tenaga listrik disebabkan oleh arus yang mengalir melalui konduktor atau penghantar [7]. Analisis rugi-rugi daya akibat ketidakeimbangan beban pada trafo yang perlu dilakukan untuk melihat seberapa besar kerugian yang terjadi dan harapan agar ketidakeimbangan beban dapat diantisipasi agar bisa diminimalisir.

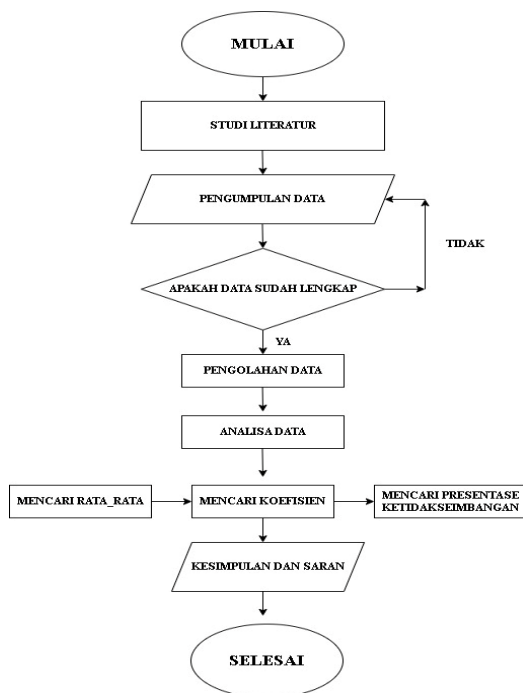
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah persentase ketidakeimbangan beban yang melebihi batas standar pada penyulang yang ada di GI GOBAR dan untuk mengetahui jumlah keseluruhan rugi-rugi daya (kW) akibat adanya arus netral pada penyulang yang ada di GI GOBAR.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode study literature dengan melakukan pengumpulan data dan informasi yang relevan dengan topik pembahasan pada penelitian ini [8]. Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang diarahkan pada pengumpulan dan analisis data numerik dengan ciri-ciri sistematis, terencana, terstruktur dengan jelas, dan tepat [9]. Pendekatan deskriptif dalam penelitian ini berfungsi untuk memberikan gambaran atau deskripsi terhadap objek yang diteliti melalui data atau sampel yang telah terkumpul tanpa adanya rekayasa. Pendekatan deskriptif bertujuan untuk mendeskripsikan objek atau hasil penelitian tanpa menyimpulkan sebab-akibat atau hubungan kausal.

Teknik pengumpulan data merupakan metode yang digunakan penulis untuk

mengumpulkan data dalam sebuah penelitian [10]. Data dalam penelitian ini diperoleh dari PT. PLN (Persero) ULP Telaga, Gorontalo yang menjadi sumber utama dalam pengumpulan informasi terkait kondisi ketidakseimbangan beban, arus netral, dan rugi-rugi daya pada saluran distribusi. Data yang dikumpulkan meliputi Single Line Diagram (SLD), jumlah gardu distribusi, kapasitas trafo distribusi, catatan pengukuran beban pada setiap fasa, arus netral yang terjadi selama periode tertentu, serta besar tahanan penghantar netral yang tercatat pada jaringan distribusi pada gardu penyulang GI Gorontalo Baru. Informasi ini sangat penting untuk mendukung analisis empiris mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap kinerja sistem distribusi listrik. Dengan menggunakan data aktual dari lapangan, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih akurat dan relevan mengenai kondisi riil distribusi tenaga listrik, sehingga hasil analisis dapat dijadikan dasar pertimbangan dalam upaya perbaikan dan peningkatan efisiensi sistem distribusi PT. PLN (Persero) ULP Telaga.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Ketidakseimbangan Beban

Sedangkan ketidakseimbangan adalah suatu keadaan yang terjadi apabila salah satu atau semua fasa pada transformator mengalami perbedaan. Perbedaan ini bisa dilihat dari besarnya vektor arus/tegangan dan sudut dari masing-masing fasa tersebut [11]. Menurut Syarif Hidayat dkk, Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) ini akan mengakibatkan banyak hal, seperti: kinerja trafo, arus mengalir pada kawat netral.[12]

B. Rugi-rugi Daya

Rugi daya listrik yang biasa disebut susut atau losses merupakan kerugian energi listrik akibat permasalahan teknis dan non teknis. Masalah teknis umumnya disebabkan oleh kualitas daya hantar listrik. Semakin baik kualitas daya hantar listriknya, maka semakin rendah susut yang terjadi. Susut non teknis dipengaruhi oleh jaringan dalam rumah dan gedung yang tidak sesuai spesifikasi PLN[13].

Sebagai akibat dari ketidak seimbangan beban antara tiap tiap fasa pada sisi sekunder ltrafo (fasa R, fasa S,dan fasa T) mengalirkan arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi).[14].

C. Jumlah Penyulang dan Jumlah Transformator Pada Penyulang Yang Ada GI GOBAR.

Pada GI GOBAR terdapat 7 penyulang dengan jumlah trafo yang terpasang ada 297. Keterangan lebih jelas terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. jumlah penyulang di GI GOBAR

No.	Penyulang	Jumlah trafo
1	GB 01	40
2	GB 02	7
3	GB 03	31
4	GB 04	59
5	GB 05	70
6	GB 06	75

7	GB 07	15
---	-------	----

D. Hasil Perhitungan

➤ Menghitung Rata-rata

Berikut ini adalah Perhitungan rata-rata beban di setiap transformator pada penyulang GB 01.

$$IF = \frac{IR+IS+IT}{3} \quad (1)$$

Gardu GT610

Perhitungan rata-rata luar waktu beban puncak pada gardu GT610 penyulang GB 01.

$$IF = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$IF = \frac{22+17+10}{3}$$

$$IF = 16,33 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa rata-rata beban luar puncak pada gardu GT610 yaitu 16,33 A.

Perhitungan rata-rata waktu beban puncak pada gardu GT610 penyulang GB01

$$IF = \frac{IR+IS+IT}{3}$$

$$IF = \frac{20+18+12}{3}$$

$$IF = 16,66 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa rata-rata beban puncak penyulang GB01 yaitu 16,66 A.

➤ Mencari Koefisien a, b, c

Perhitungan koefisien a, b, c luar waktu beban puncak pada gardu GT610 pada penyulang GB 01.

$$a = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{22}{16,33} = 1,34$$

$$b = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{17}{16,33} = 1,04$$

$$c = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{12}{16,33} = 0,61$$

Dari hasil perhitungan nilai koefisien a, b, c beban luar puncak gardu GT610 pada penyulang GB 01, maka dapat diketahui masing-

masing memiliki nilai koefisien a = 1,34, b = 1,04, c = 0,61.

Perhitungan koefisien a, b, c beban puncak pada gardu GT610 pada penyulang GB 01.

$$a = \frac{IR}{I \text{ rata-rata}} = \frac{20}{16,33} = 1,2$$

$$b = \frac{IS}{I \text{ rata-rata}} = \frac{18}{16,33} = 1,08$$

$$c = \frac{IT}{I \text{ rata-rata}} = \frac{12}{16,33} = 0,72$$

Dari hasil perhitungan nilai koefisien a, b, c beban puncak gardu GT610 pada penyulang GB 01, maka dapat diketahui masing-masing memiliki nilai koefisien a = 1,2, b = 1,08, c = 0,72.

➤ Mencari Persentase Ketidakseimbangan Beban

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \quad (2)$$

Perhitungan persentase ketidakseimbangan beban luar puncak pada gardu GT610 penyulang GB 01.

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,34-1|+|1,04-1|+|0,61-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 26 \%$$

Dari hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban luar puncak gardu GT610 penyulang GB 01, maka dapat diketahui besar persentase ketidakseimbangannya adalah 26%.

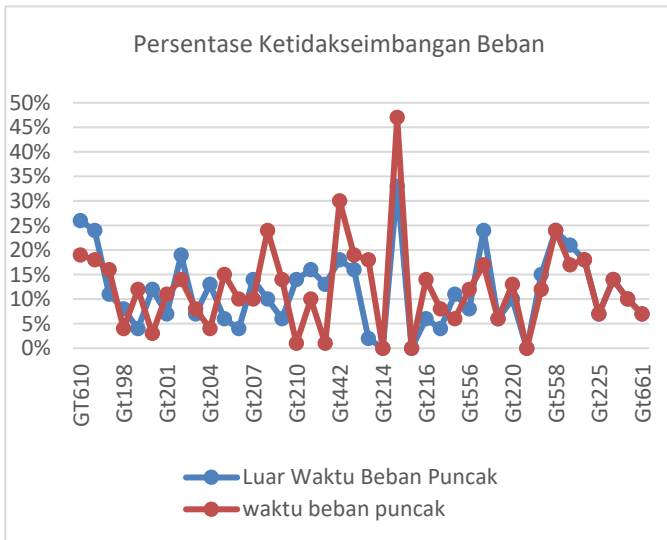
Perhitungan persentase ketidakseimbangan beban puncak gardu GT610 pada penyulang GB 01.

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,2-1|+|1,08-1|+|0,72-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= 19\%$$

Dari hasil perhitungan persentase ketidakseimbangan beban puncak gardu GT610 penyulang GB 01, maka dapat diketahui besar persentase ketidakseimbangannya adalah 19%.



Gambar 2. Grafik persentase ketidakseimbangan beban

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai tertinggi persentase ketidakseimbangan beban di penyulang GB 01 pada saat luar waktu beban puncak terdapat pada gardu GT380 yaitu 33% dan waktu beban puncak terdapat pada gardu GT380 yaitu 47%. Tingginya persentase ketidakseimbangan beban dikarenakan Beban pada Fasa R memiliki selisih yang cukup banyak, sehingga tingginya persentase ketidakseimbangan beban pada gardu tersebut. Mengacu pada SPLN no.17 tahun 2014 standar ketidakseimbangan beban 10-20 %. Jadi ada 2 gardu yang perlu diseimbangkan bebannya atau dilakukan pemeliharaan karna 2 gardu tersebut besar persentase ketidakseimbangan bebannya ketika waktu beban puncak dan luar beban puncak sudah melebihi batas yang ditentukan.

➤ Mencari Rugi-rugi Daya Akibat Adanya Arus Netral

Perhitungan *losses* akibat adanya arus yang mengalir ke penghantar netral pada saat waktu beban luar puncak gardu GT610.

$$P_N = I_N^2 \times R_N \quad (3)$$

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

$$P_N = (14)^2 \times 3,1$$

$$P_N = 0,608 \text{ kW}$$

Dari perhitungan *losses* akibat adanya arus yang mengalir ke penghantar netral transformator distribusi pada saat luar beban puncak gardu GT610 penyulang GB 01 di dapat nilai sebesar 0,608 kW.

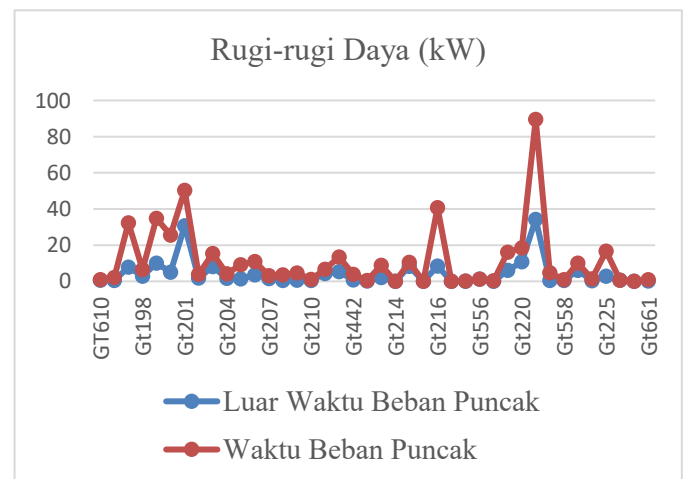
Perhitungan *losses* akibat adanya arus yang mengalir ke penghantar netral pada saat waktu beban puncak gardu GT610.

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

$$P_N = (17)^2 \times 3,1$$

$$P_N = 0,896 \text{ kW}$$

Dari perhitungan *losses* akibat adanya arus yang mengalir ke penghantar netral transformator distribusi pada saat luar beban puncak gardu GT610 penyulang GB 01 di dapat nilai sebesar 0,896 kW.



Gambar 3. Grafik Rugi-rugi Daya

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai tertinggi rugi-rugi daya pada penampang netral di penyulang GB 01 pada saat luar waktu beban puncak terdapat pada gardu GT221 yaitu 34,304 kW dan waktu beban puncak terdapat pada gardu GT221 yaitu 89,6 kW. Besarnya rugi-rugi pada arus netral terjadi karna besarnya beban yang mengalir pada penampang tersebut.

IV. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Persentase ketidakseimbangan beban pada penyulang GI GOBAR memiliki nilai yang bervariasi, berdasarkan PLN (SK ED PLN No. 0017.E/DIR/2014) Ketidakseimbangan beban memiliki beberapa kriteria dimana nilai $< 10\%$ dalam kriteria baik, pada nilai $10\% - < 20\%$ dalam kriteria cukup, $20\% - < 25\%$ dalam kriteria kurang dan $\geq 25\%$ dalam kriteria buruk, maka jumlah trafo pada penyulang GI GOBAR yang memiliki nilai ketidakseimbangan melebihi batas standar atau dalam kategori buruk sebanyak 71 trafo. Maka dari itu, perlu adanya pemeliharaan atau perlu diseimbangkan bebannya.
2. Besar rugi-rugi daya yang dialami oleh PLN adalah sebesar 1423,01 kW pada luar waktu beban puncak dan untuk waktu beban puncak sebesar 3051,115 kW.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Yuslizar, yasin M., T. Ismail (2024), "*analysis of voltage drop and power losses on medium voltage 20 kV distribution system kotamobagu area supplied from pltd,*" vol. 9, no. 1, pp. 79–88
- [2]. I. Amu, Yasin Mohamad, A. Irawaty. (2019). "*kajian kelayakan operasi pecah beban penyulang beta (sj-2) untuk kehandalan sistem kelistrikan,*"
- [3]. P. Igo, Yasin M., T. Ismail. (2023). "*Analisis Keandalan Jaringan Distribusi 20kV Pada ULP Toili Berdasarkan saidi dan saifi,*" vol. 5, pp. 197–203.
- [4]. R. M. L. Moh, H. Steven, and A. Muh. (2024). "*pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan rugi-rugi daya pada trafo distribusi gardu gls 084, 50 kva di desa polohungo*" vol. 13, no. November, pp. 151–156.
- [5]. A. P. Siregar, A. D. Tarigan, and Z. Lubis. (2024). "*Analisis Ketidakseimbangan Beban Akibat Penghantar Netral Jaringan Distribusi Skunder,*" vol. 13, no. 3, pp. 298–301.
- [6]. H. WIDIARTO and A. SAMANHUDI. (2022). "*Analisa Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Pada Gardu Ia Politeknik Penerbangan Indonesia Curug,*" *Knowl. J. Inov. Has. Penelit. dan Pengemb.*, vol. 2, no. 2, pp. 157–167.
- [7]. M. Irsyam, M. Algusri, and L. P. Marpaung. (2023). "*Analisa Rugi-Rugi Daya (Losses Power) Pada Jaringan Tegangan Rendah Pt. Musimas Batam,*" *Sigma Tek.*, vol. 6, no. 1, pp. 109–116.
- [8]. R. D. Lestari. (2019). "*Analisis Pengaruh Ketidaksimbangan Beban Trafo 3 Fasa Terhadap Susut Daya Pada Jaringan Distribusi PT PLN ULP Manahan,*" pp. 1–20.
- [9]. D. Rika Widianita. (2023). "*analisis rugi-rugi daya akibat ketidakseimbangan beban pada transformator ultg panakkukang,*" *at-tawassuth J. Ekon. Islam*, vol. VIII, no. I, pp. 1–19.
- [10]. A. B. Prayoga and B. Suprianto. (2023). "*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Terhadap Rugi Daya (Losses) Dengan Digsilent Power Factory di PT.PLN (Persero) ULP Ngunut,*" *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 2, pp. 23–32.
- [11]. Zulkhulaifah, Bakhtiar, and H. Rudito. (2021). "*Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan BebanTrafo 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.