

STUDI ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN GARDU DISTRIBUSI MF0001 PADA ULP KERSIK TUO TERHADAP RUGI-RUGI DAYA AKIBAT ARUS NETRAL DAN SUHU

Haris Syaifullah¹, Arfita Yuana Dewi Rachman², Zuriman Anthony³, Sepannur Bandri⁴, Zulkarnaini⁵

Fakultas Teknik, Institut Teknologi Padang¹⁻⁵

Email: 2023310058.haris@itp.ac.id

Informasi	Abstract
Volume : 3 Nomor : 3 Bulan : Maret Tahun : 2026 E-ISSN : 3062-9624	<i>This study focuses on analyzing the impact of load imbalance on the MF0001 distribution transformer at PT PLN (Persero) ULP Kersik Tuo, particularly focusing on power losses caused by neutral current and temperature rise. Load imbalance occurs when the current distributed across the three phases is not equal, resulting in the flow of neutral current. This neutral current contributes to significant power losses and causes an increase in temperature at critical connection points, which may lead to accelerated damage to distribution equipment. Measurement data showed that the current in phases R, S, and T were 226 A, 156 A, and 135 A respectively, while the neutral current reached 104 A. The hotspot temperature on phase R was recorded at 105°C, which exceeds the standard operational temperature limit for transformers. To address this issue, load balancing was carried out by shifting loads from overloaded phases to underloaded ones. After balancing, there was a significant decrease in both neutral current and temperature. The power losses were reduced from 11% to below the threshold set by the SPLN 1997 standard, which is 2%. The results of this study demonstrate that load balancing is an effective technical solution to improve energy efficiency, reduce overheating risks, and minimize power losses in low-voltage distribution systems.</i> Keyword: load imbalance, neutral current, power loss, transformer temperature, energy efficiency, distribution transformer.

A. PENDAHULUAN

Gardu distribusi MF0001 merupakan salah satu gardu distribusi yang operasinya menjadi tanggung jawab dari PT. PLN ULP Kersik Tuo. Transformator distribusi MF0001 dengan kapasitas 160 KVA yang melayani pelanggan untuk sekitar daerah kecamatan Kayu Aro Desa Kersik Tuo. Menurut Y. Simamora dan L. Tobing Seiring berkembangnya teknologi, tenaga listrik juga dimanfaatkan untuk mengoperasikan berbagai alat penunjang kehidupan manusia, baik untuk keperluan rumah tangga maupun industry (Simamora & Tobing, 2014). Dalam sistem pendistribusian tenaga listrik terdapat rugi-rugi yang mengakibatkan terjadinya ketidakseimbangan pembebanan masing-masing dasa, dimana ketidakseimbangan ini menyebabkan mengalirnya arus pada penghantar netral, arus yang mengalir pada penghantar

netral mengakibatkan losses netral dan losses grounding (Sentosa Setiadji et al., 2008). Gardu distribusi MF0001 memiliki beban pada fasa R, S, T dan N sebesar 226 A, 156 A, 135 A dan 104 A dengan persentase ketidakseimbangan beban sebesar 18 % dan pembebanan sebesar 74,6 %. Akibat dari besarnya suhu pada fasa R adanya titik panas pada titik sambung fasa R sebesar 105°C.

Transformator distribusi yang baik dapat dilihat dari pembebanan transformator distribusi tersebut, transformator distribusi yang baik memiliki pembebanan diatas 40%(Bactiar & Doni, 2020). Faktor yang mempengaruhi baik tidaknya pembebanan transformator distribusi yaitu keseimbangan pembebanan sisi sekunder masing masing fasanya, karena apabila pembebanan masing masing fasa R, S, dan T seimbang maka tidak akan adanya arus yang mengalir pada penghantar netral yang dapat merugikan pihak penyedia tenaga listrik dan pelanggan. Keseimbangan pembebanan antar fasa ditandai dengan beda sudut fasa antarfasanya yaitu 120° dan kurang dari 80% dari arus beban penuhnya salah satu penyebab berkurangnya umur transformator adalah ketidaseimbangan beban(Saiful & Ektianto, 2021). Ketidakseimbangan menyebabkan peningkatan suhu dari transformator (Eri Sodilesmana & Noor Prasetyono, 2021) (Alvanof & Dinata, 2024). Menurut *standard* IEC ketidakseimbangan beban yang diizinkan adalah 5 % (Edliyani & Pulungan, 2022). Standar suhu pada pelayanan transformator tidak melebihi 40°C (SPLN D3.002-1: 2007, 2007) Sehingga untuk mengurangi rugi-rugi yang dihasilkan dan kenaikan suhu pada gardu harus dilakukan penyeimbangan beban gardu.

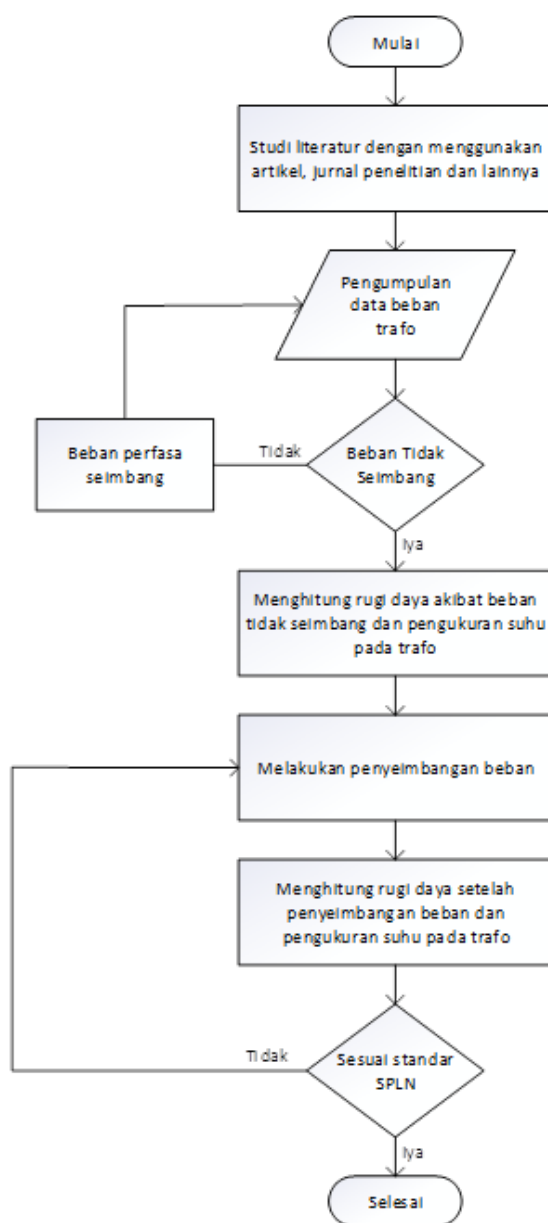
Berdasarkan permasalahan diatas, perlu sebuah solusi untuk memperbaiki keadaan anomaly diatas. Salah satu caranya ada dengan melakukan penyeimbangan beban pada gardu MF0001 sehingga rugi-rugi dan kenaikan suhu pada transformator dapat teratasi. Sebelumnya dilakukan terlebih dahulu simulasi menggunakan aplikasi Matlab untuk mengetahui perbandingan sebelum dan sesudahnya dilaksanakan penyeimbangan beban.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis penurunan arus netral dan suhu pada gardu distribusi MF0001 di PT. PLN (Persero) ULP Kersik Tuo. Proses pengumpulan data dilaksanakan pada bulan Mei 2024 di lokasi gardu distribusi MF0001 yang berada di wilayah Kersik Tuo. Data-data yang diperlukan dalam penelitian ini mencakup data pengukuran beban, hasil pengukuran suhu, serta informasi nameplate dari transformator distribusi MF0001. Metode pengumpulan data dilakukan melalui beberapa

tahapan, dimulai dengan studi literatur dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, dan artikel untuk memperkuat landasan teori. Selanjutnya dilakukan pengambilan data langsung di lapangan dengan melakukan pengukuran beban pada gardu distribusi MF0001.

Penulis juga melakukan wawancara dengan pegawai PT. PLN (Persero) ULP Kersik Tuo untuk menggali informasi mengenai permasalahan yang terjadi pada gardu distribusi tersebut. Tahap analisis data dilakukan dengan mengintegrasikan hasil studi literatur, data pengukuran, dan informasi dari wawancara. Perhitungan manual dilakukan untuk mengolah data yang diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan simulasi menggunakan aplikasi Matlab guna memvalidasi hasil perhitungan. Seluruh rangkaian penelitian ini digambarkan dalam diagram alur penelitian yang tersaji pada Gambar 1 yang memperlihatkan alur proses dari tahap awal hingga akhir penelitian.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Rugi-Rugi Daya Sebelum Penyeimbangan Beban

Penelitian ini menganalisis ketidakseimbangan beban pada transformator gardu distribusi MF0001 yang menyebabkan rugi-rugi daya akibat arus mengalir pada kawat netral. Penyeimbangan beban dilakukan dengan memindahkan beban antar fasa untuk mengurangi arus netral.

Data Teknis Gardu

Transformator distribusi MF0001 yang menjadi objek penelitian ini memiliki kapasitas daya sebesar 160 kVA dan diproduksi pada tahun 2016. Berdasarkan data nameplate, transformator ini memiliki rugi tanpa beban sebesar 300 Watt serta rugi berbeban sebesar 2000 Watt. Adapun arus pengenal pada sisi sekundernya adalah 120,94 Ampere, yang menjadi acuan dalam perhitungan pembebanan dan analisis ketidakseimbangan beban pada gardu distribusi.

Data Pengukuran Beban Sebelum Penyeimbangan (Beban Puncak Jam 19:00)

Tabel 1 Arus Beban Sebelum Penyeimbangan

Bagian	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)
Beban Pangkal	226	156	135	104
Jurusan 1	100	66	52	52
Jurusan 2	126	90	83	52

Analisis Ketidakseimbangan Beban

Arus beban penuh transformator (IFL) = $160.000/(\sqrt{3} \times 400) = 231,21$ A. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, nilai rata-rata arus pada beban pangkal gardu distribusi MF0001 adalah sebesar 172,33 A dengan persentase ketidakseimbangan beban mencapai 18%. Sementara itu, pada jurusan 1 diperoleh rata-rata arus 72,66 A dengan tingkat ketidakseimbangan yang jauh lebih tinggi yaitu 25%, dan pada jurusan 2 diperoleh rata-rata arus 99,66 A dengan persentase ketidakseimbangan sebesar 17%. Data ini menunjukkan bahwa seluruh bagian gardu mengalami ketidakseimbangan beban yang melebihi batas standar IEC yaitu maksimal 5%, sehingga berpotensi menimbulkan aliran arus pada penghantar netral dan meningkatkan rugi-rugi daya.

Tabel 2 Rekapitulasi Ketidakseimbangan Beban

Bagian	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)	%L	% Ketidakseimbangan
Beban Pangkal	226	156	135	104	74,53%	18%

Jurusan 1	100	66	52	52	31,43%	25%
Jurusan 2	126	90	83	52	43,11%	17%

Kesimpulan: Ketidakseimbangan beban > 5% (standar IEC), menyebabkan arus netral tinggi. Pada saat Waktu Beban Puncak (WBP) pukul 19.00 WIB, dilakukan perhitungan rugi-rugi daya pada penghantar netral dengan tahanan penghantar netral sebesar 0,6842 Ω /km. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada beban pangkal, arus netral tercatat sebesar 104 A, menghasilkan rugi daya sebesar 15,81 kW. Dengan daya aktif transformator 144 kW, persentase rugi daya yang ditimbulkan mencapai 11%, angka ini jauh melampaui batas maksimal yang diizinkan oleh standar SPLN 1997 yaitu sebesar 2%. Pada jurusan 1 dan jurusan 2, arus netral tercatat lebih rendah yaitu 52 A, sehingga rugi daya yang dihasilkan hanya sebesar 1,85 kW dengan persentase rugi 1% pada masing-masing jurusan, yang masih berada dalam batas standar yang berlaku.

Tabel 3 Rugi Daya Netral Per Jam (Beban Pangkal)

Jam	%N	Rugi Daya (kW)	%PN
19:00	60%	15,81	11%
20:00	61%	16,11	11%

Tabel 4 Rugi Daya Netral Per Jam (Jurusan 1)

Jam	%N	Rugi Daya (kW)	%PN
19:00	72%	1,85	1%

Tabel 5 Rugi Daya Netral Per Jam (Jurusan 2)

Jam	%N	Rugi Daya (kW)	%PN
19:00	52%	1,85	1%

Rugi Materil Akibat Arus Netral

Dengan menggunakan tarif listrik sebesar Rp1.444,7 per kWh, besarnya kerugian materil akibat rugi daya pada penghantar netral saat beban puncak pukul 19.00 WIB dapat dihitung. Pada beban pangkal, energi yang hilang sebesar 15,81 kWh mengakibatkan kerugian Rp22.838. Sementara itu, pada jurusan 1 dan jurusan 2, masing-masing kehilangan energi 1,85 kWh sehingga menimbulkan kerugian Rp2.673 per jurusan. Dengan demikian, total kerugian materil pada gardu distribusi MF0001 pada jam tersebut mencapai Rp28.184.

Tabel 6 Total Kerugian Materil Sebelum Penyeimbangan

Bagian	Kerugian per Hari
Beban Pangkal	Rp 363.276
Jurusan 1	Rp 47.037
Jurusan 2	Rp 38.432
TOTAL	Rp 448.745

Analisa Rugi-Rugi Daya Sesudah Penyeimbangan Beban

Data Pengukuran Setelah Penyeimbangan (Beban Puncak Jam 19:00)

Tabel 7 Arus Beban Setelah Penyeimbangan

Bagian	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)
Beban Pangkal	176	171	170	7
Jurusan 1	87	86	85	3
Jurusan 2	89	85	85	4

Analisis Ketidakseimbangan Beban Setelah Penyeimbangan

Setelah dilakukan pekerjaan penyeimbangan beban, terjadi perbaikan signifikan pada tingkat ketidakseimbangan di seluruh bagian gardu distribusi MF0001. Berdasarkan perhitungan, beban pangkal mengalami penurunan ketidakseimbangan menjadi 2%, jurusan 1 menjadi 1%, dan jurusan 2 menjadi 2%. Ketiga nilai ini telah memenuhi standar IEC yang mensyaratkan ketidakseimbangan beban tidak melebihi 5%, mengindikasikan bahwa distribusi beban pada setiap fasa kini relatif merata sehingga arus pada penghantar netral dapat ditekan seminimal mungkin.

Tabel 8 Rekapitulasi Ketidakseimbangan Setelah Penyeimbangan

Bagian	R (A)	S (A)	T (A)	N (A)	%Ketidakseimbangan
Beban Pangkal	176	171	170	7	2%
Jurusan 1	87	86	85	3	1%
Jurusan 2	89	85	85	4	2%

Kesimpulan: Ketidakseimbangan beban < 5% (sesuai standar IEC).

Rugi-Rugi Daya pada Netral Setelah Penyeimbangan

Setelah dilakukannya penyeimbangan beban, rugi-rugi daya pada penghantar netral mengalami penurunan yang sangat signifikan. Pada beban pangkal, arus netral turun menjadi 7 A, menghasilkan rugi daya sebesar 0,0716 kW dengan persentase rugi 0,05% dari daya aktif transformator. Sementara pada jurusan 1, arus netral tercatat 3 A dengan rugi daya 0,00616 kW dan persentase rugi 0,004%, dan pada jurusan 2 arus netral 4 A menghasilkan rugi daya

0,01095 kW dengan persentase rugi 0,01%. Ketiga nilai persentase rugi ini telah jauh di bawah batas maksimal yang diizinkan oleh standar SPLN 1997 yaitu sebesar 2%, membuktikan bahwa penyeimbangan beban efektif menekan rugi-rugi daya akibat arus netral.

Tabel 9 Rugi Daya Netral Setelah Penyeimbangan (Beban Pangkal)

Jam	%N	Rugi Daya (kW)	%PN
19:00	4%	0,0716	0,05%

Tabel 10 Rugi Daya Netral Setelah Penyeimbangan (Jurusan 1)

Jam	%N	Rugi Daya (kW)	%PN
19:00	3%	0,00616	0,004%

Tabel 11 Rugi Daya Netral Setelah Penyeimbangan (Jurusan 2)

Jam	%N	Rugi Daya (kW)	%PN
19:00	5%	0,01095	0,01%

Rugi Materil Setelah Penyeimbangan

Dengan tarif listrik Rp1.444,7 per kWh, kerugian materil yang ditimbulkan pada pukul 19.00 WIB setelah penyeimbangan beban menjadi sangat kecil. Pada beban pangkal, energi yang hilang sebesar 0,0716 kWh hanya mengakibatkan kerugian Rp103, sedangkan pada jurusan 1 dengan kehilangan energi 0,00616 kWh menimbulkan kerugian Rp9, dan jurusan 2 dengan kehilangan energi 0,01095 kWh mengakibatkan kerugian Rp16. Rendahnya nilai kerugian ini membuktikan bahwa penyeimbangan beban telah berhasil meminimalkan aliran arus netral dan rugi-rugi daya pada gardu distribusi MF0001.

Tabel 12 Total Kerugian Materil Setelah Penyeimbangan

Bagian	Kerugian per Hari
Beban Pangkal	Rp 4.109
Jurusan 1	Rp 299
Jurusan 2	Rp 731
TOTAL	Rp 5.139

Penurunan kerugian: Rp 448.745 → Rp 5.139 (hemat Rp 443.606 per hari) Berdasarkan simulasi menggunakan aplikasi ETAP, sebelum dilakukan penyeimbangan beban, rugi daya yang dihasilkan sebesar 85,3 kW dengan kerugian materil mencapai Rp123.233, sedangkan setelah penyeimbangan beban, rugi daya turun signifikan menjadi 20,3 kW dengan kerugian

materil Rp29.327, sehingga terjadi penurunan rugi daya sebesar 65 kW dan penghematan Rp93.906. Sementara itu, analisis akibat hotspot pada fasa R dengan suhu 150°C menyebabkan tahanan meningkat menjadi 0,853 Ω dan rugi daya sebesar 136,93 kW setara kerugian materil Rp197.825. Setelah perbaikan suhu menjadi 30°C, tahanan turun menjadi 0,586 Ω dengan rugi daya 93,98 kW dan kerugian materil Rp135.772, sehingga diperoleh penurunan rugi daya 42,95 kW dan penghematan Rp62.053.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, simulasi, dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penyeimbangan beban pada gardu distribusi MF0001 PT. PLN (Persero) ULP Kersik Tuo sangat berpengaruh terhadap penurunan arus netral, rugi-rugi daya, dan kerugian materil. Sebelum penyeimbangan, arus netral mencapai 104 A dengan rugi daya 15,81 kWh dan kerugian materil Rp22.838,17 per jam, serta rugi akibat hotspot sebesar 136,93 kW. Setelah penyeimbangan, arus netral turun menjadi 7 A, rugi daya menjadi 0,071 kWh, kerugian materil menjadi Rp103,46 per jam, dan rugi akibat hotspot turun menjadi 93,98 kW. Hal ini membuktikan bahwa ketidakseimbangan beban dan suhu tinggi meningkatkan rugi-rugi daya secara signifikan.

Adapun saran yang dapat diberikan kepada PT. PLN (Persero) ULP Kersik Tuo adalah perlunya peningkatan monitoring terhadap pemasangan baru dan penambahan daya pelanggan, serta melakukan pemeriksaan pembebanan gardu secara berkala agar ketidakseimbangan beban dapat segera diatasi. Selain itu, pemeriksaan suhu pada jaringan dan gardu distribusi juga perlu dilakukan secara rutin untuk mengurangi rugi-rugi daya akibat titik panas (hotspot), sehingga efisiensi sistem kelistrikan dapat terjaga.

E. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Simamora and L. Tobing, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Untuk Identifikasi Beban Lebih Dan Estimasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah," Singuda ENSIKOM, vol. 7, no. 3, pp. 137–142, 2014.
- [2] J. Sentosa Setiadji, T. Machmudsyah, and Y. Isnanto, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi," J. Tek. Elektro, vol. 7, no. 2, pp. 68–73, 2008, doi: 10.9744/jte.7.2.68-73.
- [3] A. Bactiar and A. Doni, "Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi," J. Tek. Elektor Inst. Teknol. Padang, vol. 9, no. 2, p. 7, 2020.

- [4] A. Saiful and A. Ektianto, "Pada Transformator Distribusi Di Pt . Pln (Persero) Rayon Cepu," vol. 15, no. 1, pp. 35–42, 2021.
- [5] A. Eri Sodilesmana and R. Noor Prasetyono, "Analisis Pembebanan dan Ketidakseimbangan Beban pada Penentuan Susut Umur Transformator Distribusi," J. Electron. Electr. Power Appl., pp. 1–7, 2021.
- [6] R. Edliyani and A. B. Pulungan, "Minimisasi Rugi-Rugi Pada Jaringan Tegangan Rendah Dengan Metode Penyeimbangan Beban Dan Reconnecting Pada Gardu 161 Cingkariang Pt Pln (Persero) Ulp Koto Tuo," RANAH Res., vol. 4, no. 2, pp. 177–187, 2022.
- [7] SPLN D3.002-1: 2007, "Pt Pln (Persero) St an Dar Pt Pln (Persero) Spln D3 .0 0 2-1 : 2 0 0 7," no. 161, 2007.
- [8] E. Suherman and S. P. Kampay, "Kerugian Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transformator Distribusi," Kerugian Daya Akibat Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transform. Distrib., vol. 7, no. 1, pp. 1–10, 2017.
- [9] H. L. Latupeirissa, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Daya Pada Trafo Distribusi Gardu Kp-01 Desa Hative Kecil," J. Simetrik, vol. 7, no. 2, p. 2017, 2017.
- [10] A. Maruf and Y. Primadiyono, "Analisis Pengaruh Pembebanan Dan Temperatur Terhadap Susut Umur Transformator Tenaga 60 Mva Unit 1 Dan 2 Di Gi 150 Kv Kalisari," Edu Elektr. J., vol. 10, no. 1, pp. 1–10, 2021.
- [11] M. F. Pratama, I. M. I. Arsyad, Z. Abidin, M. Eng, F. Teknik, and U. T. Pontianak, "Perhitungan Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Ulp Putussibau," J. Tek. Elektro, vol. 1, 2023.
- [12] M. A. Siregar, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi Di PT. PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru," UIN Suska Riau, p. 16, 2013,
- [13] Y. Y. Rizki and E. Ervianto, "Perkiraan umur transformator berdasarkan pengaruh pembebanan dan temperatur lingkungan menggunakan metode trend linear," Jom Fteknik, vol. 6, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [14] I. G. Budiayasa, I. W. Artha Wijaya, and T. G. Indra Partha, "Rugi – Rugi Daya Akibat Pengaruh Ketidak Seimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Efektifitas Penggunaan Daya Terpasang," J. SPEKTRUM, vol. 8, no. 1, p. 260, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p29.
- [15] Bachtiar A and Dirgantara B, "Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator dengan

- Metode Seimbang Beban Sehari (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon Kayu Aro,” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 6, no. 1, pp. 112–119, 2017.
- [16] A. M. Gah, A. Tino, and F. Donis, “Studi Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Rugi-Rugi Pada Trafo Distribusi Di Pt. Pln (Persero) Unit Layanan Pelanggan (Ulp) Kupang,” *J. Ilm. Flash*, vol. 6, no. 1, p. 22, 2020, doi: 10.32511/flash.v6i1.683.
- [17] 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, [Online]. Available: <https://jurnal.itpln.ac.id/sutet/article/view/712>
- [18] D. Aprinaldo, “Optimasi Penyeimbangan Beban Pada Trafo Distribusi Terhadap Susut Energi (Aplikasi Feeder Sikakap),” *J. Tek. Elektro ITP*, vol. 4, no. 1, pp. 65–70, 2015.
- [19] D. Maizana et al., “The Influence of Hot Point on MTU CB Condition at the Pgeli-Giugur 1 Bay Line (PT. PLN Paya Geli Substation),” *J. Renew. Energy, Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 2, p. 37, 2023, doi: 10.29103/jreece.v3i2.10600.
- [20] 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, 2018, doi: 10.30596/rele.v1i1.2256.
- [21] H. Muchtar and Y. Sopian, “Studi Verifikasi Sistem Ketidakseimbangan Beban Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Alat Phb – Sr (Peralatan Hubung Bagi Sambungan Rumah) Di Wilayah Pln Area Cempaka Putih,” *Elektum*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.24853/elektum.14.1.1-8.
- [22] P. Jati, “Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Trafo 30 MVA Gardu Induk 150/20 kV Purwodadi,” pp. 1–51, 2022.
- [23] M. H. Haris and A. Rizal Sultan, “Optimasi Penyeimbangan Beban Gardu Distribusi Terhadap Penurunan Rugi Energi dengan Metode Seimbang Beban Sehari,” *ELPOSYS J. Sist. Kelistrikan*, vol. 7, no. 3, pp. 14–20, 2020, doi: 10.33795/elposys.v7i3.7.
- [24] M. D. T. Sogen, “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Dan Losses Pada Transformator Distribusi Di Pt Pln (Persero) Area Sorong,” *J. Electro Lucent*, vol. 4, no. 1, pp. 1–10, 2018.
- [25] D. Ardianto, B. Utama, and M. Arsyad, “Penyeimbangan Beban Trafo Distribusi 3 Fasa pada Jaringan Tegangan Rendah (Studi Kasus PT. PLN (Persero) ULP Purwokerto Kota),” *Jmte*, vol. 01, no. 01, pp. 31–43, 2020.
- [26] Sarhad University of Science and Information Technology, CECOS University, Institute of Electrical and Electronics Engineers. Islamabad Section., and Institute of Electrical and

Electronics Engineers, Proceedings of 2015 International Conference on Emerging Technologies (ICET) : Peshawar Services Club, Peshawar, Pakistan, December 19-20, 2015.

- [27] V. Vita, T. Alimardan, and L. Ekonomou, "The impact of distributed generation in the distribution networks' voltage profile and energy losses," in Proceedings - EMS 2015: UKSim-AMSS 9th IEEE European Modelling Symposium on Computer Modelling and Simulation, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Sep. 2016, pp. 260–265. doi: 10.1109/EMS.2015.46.
- [28] A. Hasibuan, M. Isa, M. I. Yusoff, S. R. Abdul Rahim, and I. M. A. Nrrartha, "Effect of installation of distributed generation at different points in the distribution system on voltage drops and power losses," in AIP Conference Proceedings, American Institute of Physics Inc., May 2021. doi: 10.1063/5.0044192.
- [29] T. Ackermann, G. Ran Andersson, and L. Sö Der A, "Distributed generation: a definition," 2001. [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/epsr
- [30] A. A. Bayod Rújula, J. Mur Amada, J. L. Bernal-Agustín, J. M. Yusta Loyo, and J. A. Domínguez Navarro, "Definitions for distributed generation: A revision, Renewable Energy and Power Quality Journal, vol. 1, no. 3, pp. 340–343, Mar. 2005, doi: 10.24084/repqj03.295.
- [31] C. L. T. Borges and D. M. Falcão, "Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement," International Journal of Electrical Power and Energy Systems, vol. 28, no. 6, pp. 413–420, Jul. 2006, doi: 10.1016/j.ijepes.2006.02.003.
- [32] A. Thornton and C. Rodriguez Monroy, "Distributed power generation in the United States."
- [33] P. Chiradeja and R. Ramakumar, "An approach to quantify the technical benefits of distributed generation," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, no. 4, pp. 764–773, Dec. 2004, doi: 10.1109/TEC.2004.827704.
- [34] D. Q. Hung and N. Mithulananthan, "Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 60, no. 4, pp. 1700–1708, 2013, doi: 10.1109/TIE.2011.2112316.
- [35] P. Mehta, P. Bhatt, and V. Pandya, "Optimal selection of distributed generating units and its placement for voltage stability enhancement and energy loss minimization," Ain Shams Engineering Journal, vol. 9, no. 2, pp. 187–201, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.asej.2015.10.009.
- [36] T. Ferede Agajie et al., "Power Loss Mitigation and Voltage Profile Improvement with Distributed Generation Using Grid-based Multi-Objective Harmony Search Algorithm,"

2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/346062881>
- [37] N. C. Hien, N. Mithulananthan, and R. C. Bansal, "Location and sizing of distributed generation units for loadability enhancement in primary feeder," *IEEE Syst J*, vol. 7, no. 4, pp. 797–806, 2013, doi: 10.1109/JSYST.2012.2234396.
- [38] C. Su Hlaing, "Effects of Distributed Generation on System Power Losses and Voltage Profiles (Belin Distribution System)," *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, vol. 3, no. 3, p. 36, 2015, doi: 10.11648/j.jeee.20150303.13.
- [39] N. A. Basyarach, "RECONFIGURATION OF RADIAL DISTRIBUTION NETWORK TO MINIMIZE LOSSES USING BINARY PARTICLE SWARM OPTMIZATION (BPSO)."
- [40] P. Ajay-D-Vimal Raj, S. Senthilkumar, J. Raja, S. Ravichandran, and T. G. Palanivelu, "Optimization of Distributed Generation Capacity for Line Loss Reduction and Voltage Profile Improvement Using PSO," 2008. [Online]. Available: <http://fke.utm.my/elektrika>
- [41] C. Kigen and N. Abungu Odero, "International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Optimising Voltage Profile of Distribution Networks with Distributed Generation," 2008. [Online]. Available: www.ijetae.com
- [42] N. Ghosh, P. G. Scholar, E. E. Deptt, N. Agartala, S. Sharma, and S. Bhattacharjee, "A Load Flow based Approach for Optimum Allocation of Distributed Generation Units in the Distribution Network for Voltage Improvement and Loss Minimization," 2012.
- [43] J. Fengli, Z. Zhang, C. Tong, H. U. Bo, and P. Zailin, "Impact of Distributed Generation on Voltage Profile and Losses of Distribution Systems," 2013.
- [44] C. Kigen and N. Abungu Odero, "International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Optimising Voltage Profile of Distribution Networks with Distributed Generation," 2008. [Online]. Available: www.ijetae.com
- [45] G. Srinivasa Rao and Y. Obulesh, "Voltage Profile Improvement of Distribution System using Distributed Generating Units," *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 3, no. 3, pp. 337–343, 2013.