

ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PENYULANG SOMBA OPU PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 21.0.1

Muh Yahya¹, Alimuddin Sa'ban Miru², Al Imran³, Udin Sidik Sidin⁴, Andi Imran⁵
yayahya79@gmail.com¹, alimuddin.smiru@unm.ac.id², al.imran@unm.ac.id³,
udin.sidik.sidin@unm.ac.id⁴, andi_imran@unm.ac.id⁵
Universitas Negeri Makassar

ABSTRAK

Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi merupakan permasalahan yang sering muncul dalam sistem tenaga listrik karena distribusi beban yang tidak merata pada tiap fasa. Kondisi ini dapat menimbulkan arus netral yang menyebabkan meningkatnya rugi-rugi daya (losses) serta menurunkan efisiensi kinerja transformator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis besar ketidakseimbangan beban dan rugi-rugi daya pada transformator distribusi di Penyulang Somba Opu PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif bersifat *ex post facto* pada gardu GT. MSO004 serta simulasi menggunakan software ETAP 21.0.1. Hasil pengukuran menunjukkan persentase ketidakseimbangan beban mencapai 43% dengan arus netral sebesar 76 A. Rugi-rugi daya pada kondisi tidak seimbang berdasarkan perhitungan manual sebesar 3,46 kW dan hasil perhitungan rugi – rugi daya yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP sebesar 3,25 kW. Selisih hasil perhitungan manual dan simulasi relatif kecil sehingga validasi data dapat diterima. Penelitian ini menunjukkan bahwa penyeimbangan beban sangat efektif dalam menurunkan rugi-rugi daya dan meningkatkan efisiensi operasional transformator distribusi.

Kata Kunci: Transformator Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral, Rugi-Rugi Daya, ETAP.

ABSTRACT

*Load imbalance in distribution transformers is a common problem in electrical power systems caused by uneven load distribution among phases. This condition can generate neutral current, which increases power losses and decreases transformer performance efficiency. This study aims to analyze the magnitude of load imbalance and power losses in a distribution transformer on the Somba Opu feeder of PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging. The research method used is a quantitative approach with an *ex post facto* design conducted at the GT. MSO004 substation, along with system simulation using ETAP 21.0.1 software. The measurement results show that the percentage of load imbalance reached 43% with a neutral current of 76 A. Power losses under unbalanced conditions were calculated manually at 3.46 kW, while the simulation results based on ETAP data showed 3.25 kW. The small difference between the manual and simulation results indicates acceptable data validity. This study demonstrates that load balancing is highly effective in reducing power losses and improving the operational efficiency of distribution transformers.*

Keywords: Distribution Transformer, Load Unbalance, Neutral Current, Power Losses, ETAP.

PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan teknologi di Indonesia dalam berbagai bidang, membuat jumlah kebutuhan tenaga listrik meningkat. Listrik adalah sumber energi yang sangat penting untuk keberlangsungan kehidupan sehari-hari dalam lingkungan rumah tangga, sektor industri, sektor infrastruktur, utilitas & transportasi, dan sektor lainnya. Konsumsi energi listrik akan berdampak besar pada pembangunan ekonomi, meskipun sangat penting untuk rumah tangga. (Đurišić dkk. 2020).

Perkembangan pembangunan di segala bidang menuntut agar PLN mendapatkan

kesempatan melayani tenaga listrik yang sesuai dengan keinginan konsumennya. Akan tetapi pada saat berusaha memenuhi keinginan tersebut kadang terjadi polarisasi beban yang tidak sama rata dan menyebabkan suatu ketidakseimbangan yang akhirnya berakibat merugikan bagi PLN. Dalam pemenuhan kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian-pembagian beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Selain ketidakserempakan pemakaian beban, pengkoneksian yang tidak seimbang pada fasa R, S dan T akibat pertumbuhan beban yang selalu meningkat tiap tahunnya juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi. (Patilima 2022)

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem tenaga listrik adalah suatu keadaan yang pasti terjadi. Beban yang tidak seimbang pada setiap fasa R, fasa S, fasa T akan mengalirkan arus pada netral trafo IN. Besarnya arus dari netral trafo IN itu sendiri ditentukan dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya. (Ahmad Agun 2023). Akibat dari beban tidak seimbang dapat menimbulkan adanya rugi-rugi (losses) daya pada jaringan distribusi pada keadaan sebenarnya. Hal tersebut juga bisa membatasi kemampuan pemuatan trafo distribusi, jauh dibawah nilai nominalnya. Seiring sistem distribusi tenaga listrik yang terus tumbuh dalam ukuran dan kompleksitas, mengurangi losses dapat menghasilkan penghematan yang besar bagi penyedia tenaga listrik. Manfaat lain dari pengurangan losses mencakup kapasitas sistem yang dihasilkan, dan kemungkinan penangguhan pengeluaran barang modal untuk perbaikan dan perluasan sistem itu sendiri. Seiring bertambahnya jumlah pelanggan PLN tidak sama disetiap fasanya, begitupun juga jika terjadi putusnya langganan pengguna energi listrik dari PLN, maka akan ada perbedaan di setiap fasanya yang menyebabkan mengalirnya arus netral di transformator. Arus yang mengalir di netral transformator ini menyebabkan terjadinya susut daya (losses). Untuk mengatasi hal tersebut perlu dilakukan penyeimbangan beban pada transformator distribusi dengan cara pemerataan pembebanan transformator. (Mangopo dkk. 2024)

Penulis menggunakan Software ETAP 21.0.1 karena merupakan sebuah software engineering tool yang berfungsi sebagai alat bantu analisa sistem transmisi, distribusi, serta sistem ketenagalistrikan di dunia industri. Perangkat lunak tersebut telah didesain sedemikian rupa untuk keperluan analisa sistem tenaga listrik dengan tujuan utama perancangan dan optimasi operasi dari suatu sistem. Selain simulasi software penulis juga menggunakan hitung manual guna untuk membandingkan hasil hitung dari software ETAP 21.0.1 dan hitung manual.

Dari latar belakang yang telah di jabarkan diatas penulis terdorong untuk melakukan penelitian dengan judul “ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PENYULANG SOMBA OPU PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 21.0.1”. Untuk mengetahui berapa besar persentase ketidakseimbangan dan rugi-rugi (losses) daya yang terjadi pada penghantar netral transformator distribusi di Penyulang Somba Opu PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging,

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif yang bersifat ex post facto yaitu penelitian yang dilakukan dengan melakukan pengamatan dan pengambilan data pada objek dengan data yang akan disajikan dengan angka dari peristiwa yang sudah terjadi. Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan simulasi melalui Software ETAP 21.0.1 yang bertujuan untuk menentukan persentase ketidakseimbangan beban dan persentase

nilai rugi daya yang dialami oleh transformator distribusi di Penyulang Somba Opu, PT. PLN (Persero) ULP Mattoanging.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Sistem dan Hasil Analisis Data

1. Deskripsi Umum Sistem Distribusi Penyulang Somba Opu

PT PLN (Persero) UP3 Makassar Selatan memiliki wilayah kerja yang cukup luas, dengan karakteristik pelanggan yang beragam meliputi pelanggan rumah tangga, instansi pemerintah, kegiatan usaha, sosial, industri, hingga penerangan jalan umum. Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, UP3 Makassar Selatan disuplai dari dua gardu induk utama, yaitu Gardu Induk (GI) Tanjung Bunga dan Gardu Induk Panakkukang.

Pada penelitian ini dipilih sampel salah satu penyulang yaitu Feeder Somba Opu, yang berada di bawah wilayah kerja ULP Mattoanging. Berdasarkan hasil pengukuran lapangan, salah satu gardu dalam penyulang ini, yaitu GT. MSO004, terindikasi mengalami ketidakseimbangan beban yang cukup signifikan.

2. Single Line Diagram Penyulang Somba Opu

Single Line Diagram (SLD) pada Gambar 4.1 menggambarkan sistem penyaluran tenaga listrik dari GI Tanjung Bunga menuju Penyulang Somba Opu. Aliran daya dimulai dari busbar tegangan menengah 20 kV, kemudian dialirkan melalui pemutus tenaga utama menuju jaringan distribusi.

Peralatan proteksi utama pada penyulang ini meliputi:

- LBS Benteng Somba Opu
- Recloser Hartaco
- LBS Dg Ngadde
- LBS 3W Dg Tata

Keberadaan peralatan tersebut sangat penting untuk meningkatkan keandalan sistem, mempermudah isolasi gangguan, dan mendukung proses pemeliharaan jaringan distribusi.

Pada penyulang Somba Opu terdapat 42 unit trafo distribusi yang tersebar di berbagai kawasan seperti Jl. Benteng Somba Opu, Jl. Dg Tata, Jl. Abd Kadir, BTN Hartaco, dan Komplek Kumala Permai. Kapasitas trafo bervariasi mulai dari 50 kVA hingga 2500 kVA.

3. Data Transformator Distribusi Penyulang Somba Opu

Tabel 4.1 menampilkan daftar lengkap trafo pada Penyulang Somba Opu, dengan kapasitas mulai 50 kVA hingga 400 kVA. Salah satu trafo yang menjadi objek penelitian adalah GT. MSO004 dengan kapasitas 100 kVA.

4. Spesifikasi Transformator GT. MSO004

Trafo GT. MSO004 merupakan transformator distribusi merek ABB dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas : 100 kVA
- Frekuensi : 50 Hz
- Fasa : 3
- Tegangan Sekunder : 415 V
- Impedansi : 4%
- Hubungan Belitan : Dyn-11
- Minyak : ONAN
- Berat total : 600 kg

5. Hasil Pengukuran Beban Trafo GT. MSO004

Pengukuran dilakukan pada:

- Tanggal : 29 Juli 2024
- Waktu : 14:20:51 WITA

Hasil pengukuran arus per fasa:

Kondisi Kapasitas (kVA) R (A) S (A) T (A) N (A) Ket.

Sebelum 100 27 111 92 76 Tidak seimbang

Dari data terlihat bahwa arus antar fasa sangat tidak merata sehingga menimbulkan arus netral sebesar 76 A.

6. Perhitungan Persentase Ketidakseimbangan Beban

a. Sebelum Penyeimbangan

Rata-rata arus fasa:

$$I_{rata-rata} = \frac{27 + 111 + 92}{3} = 76,6 \text{ A}$$

Koefisien ketidakseimbangan:

- $a = 0,35$
- $b = 1,44$
- $c = 1,20$

Persentase ketidakseimbangan:

$$\%U = \frac{(|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|)}{3} \times 100\% = 43\%$$

Nilai ini jauh melebihi batas SPLN D3.002-1:2007, yaitu $\pm 10\%$.

b. Setelah Penyeimbangan

Diasumsikan semua fasa dibebani sebesar arus rata-rata:

- $R = 76,6 \text{ A}$
- $S = 76,6 \text{ A}$
- $T = 76,6 \text{ A}$

Maka:

$$\%U = 0\%$$

Hal ini menunjukkan kondisi beban benar-benar seimbang.

7. Perhitungan Rugi–Rugi Daya pada Penghantar Netral

Penghantar yang digunakan: LVTC 3 x 70 + 1 x 50 mm²

Resistansi netral: 0,599 Ω

a. Sebelum Penyeimbangan

(A) Berdasarkan Pengukuran

$$P_N = 76^2 \times 0,599 = 3,46 \text{ kW}$$

(B) Berdasarkan Simulasi ETAP

$$P_N = 73,7^2 \times 0,599 = 3,25 \text{ kW}$$

b. Setelah Penyeimbangan

(A) Berdasarkan Pengukuran

$$P_N = 0 \Rightarrow 0 \text{ kW}$$

(B) Berdasarkan Simulasi ETAP

$$P_N = 0,745^2 \times 0,599 = 0,00033 \text{ kW}$$

c. Perbandingan Hasil

Kondisi	Manual (kW)	ETAP (kW)
Tidak seimbang	3,46	3,25
Seimbang	0	0,00033

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengukuran tanggal 29/7/2024 pada pukul 14:20:51 WITA, di dapatkan hasil bahwa gardu distribusi GT. MSO004 mengalami ketidakseimbangan cukup besar yaitu 43% dengan arus netral yang timbul akibat ketidakseimbangan beban sebesar 76 A. Sedangkan besar ketidakseimbangan beban transformator yang dapat di toleransi adalah 20%. Dan apabila dilakukan penyeimbangan beban persentase ketidakseimbangan gardu distribusi GT. MSO004 turun drastis di angka 0% dan arus netral yang timbul sebesar 0 A.

Ketidakseimbangan beban membuat rugi – rugi daya akan semakin besar. Rugi – rugi daya yang dimaksud adalah rugi – rugi daya pada penghantar netral. Berdasarkan hasil perhitungan yang mengacu pada data hasil pengukuran didapatkan nilai rugi – rugi daya pada penghantar netral sebesar 3,46 kW. Sedangkan hasil dari perhitungan yang mengacu pada data hasil simulasi *ETAP 21.0.1* di dapatkan nilai rugi – rugi daya sebesar 3,25 kW. Terjadi selisih antar perhitungan yang mengacu pada data hasil pengukuran dan simulasi *ETAP 21.0.1* sebesar 0,21 kW. Apabila di lakukan penyeimbangan beban yang mengacu pada data hasil pengukuran didapatkan nilai rugi – rugi daya sebesar 0 kW. Sedangkan hasil dari perhitungan yang mengacu pada data hasil simulasi *ETAP 21.0.1* didapatkan rugi – rugi daya sebesar 0,00033 kW.

Untuk lebih jelasnya, perbandingan rugi-rugi daya berdasarkan hasil perhitungan dan hasil simulasi dalam keadaan beban tidak seimbang dan beban seimbang dapat dilihat pada tabel berikut:

Kode Gardu	Lokasi Gardu	Rugi - Rugi Daya pada penghantar netral (kW)			
		Beban Tidak Seimbang		Apabila Seimbang	
		Manual	ETAP 21.0.1	Manual	ETAP 21.0.1
GT. MSO004	Rumah Adat Wajo (Benteng Somba Opu)	3,46	3,25	0	0,00033

Tabel di atas perbandingan rugi-rugi daya penghantar netral GT. MSO004

Untuk semua hasil perhitungan rugi – rugi daya pada penghantar netral transformator yang ada pada penyulang somba opu menggunakan persamaan yang sama diatas dapat dilihat pada lampiran B.VI.

Pada dasarnya arus yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan besarnya arus yang di peroleh dari hasil simulasi *ETAP 21.0.1* mempunyai nilai yang sama. Sehingga rugi – rugi daya yang terhitung dari hasil pengukuran dan hasil dari simulasi *ETAP* mempunyai nilai yang sama. Namun dalam kasus ini, terdapat selisih antara besarnya nilai arus dari hasil pengukuran dengan besarnya nilai arus yang di peroleh dari simulasi *ETAP 21.0.1*. Hal ini diduga disebabkan oleh pengaruh bebrapa parameter – parameter yang digunakan antaramya:

1. Alat ukur

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besarnya arus pada trafo ini menggunakan alat ukur digital. Kemungkinan alat ukur tersebut sudah tidak presisi karena alat ukur tersebut telah digunakan berkali kali dalam jangka waktu yanh sudah lama. Sedangkan dalam simulassi *ETAP* data – data bersifat konstan dan dalam keadaan ideal.

2. Trafo

Kondisi trafo yang nyata di lapangan tidak sama dengan trafo yang digunakan dalam simulasi *ETAP*. Pada saat dilakukan pengukuran, trafo GT. MSO004 sudah terpengaruh dengan kenaikan temperatur atau lingkungan. Sedangkan trafo yang digunakan dalam simulasi *ETAP* adalah trafo dalam kondisi ideal. Selain itu umur trafo juga berpengaruh terhadap selisih antar rugi – rugi daya yang mengacu pada hasil pengukuran dan yang mengacu pada hasil simulasi *ETAP*.

3. Penghantar (Kabel)

Kondisi saluran (kabel) yang digunakan di lapangan tidak sama dengan kondisi kabel yang digunakan dalam simulasi *ETAP*. Parameter - parameter yang berpengaruh pada penghantar (kabel) diantaranya adalah : umur teknis, panjang, luas penampang, nilai konduktifitas (tahanan jenis) sesuai bahan konduktornya, dan lain-lain. Penghantar (kabel) yang digunakan di lapangan diasumsikan telah digunakan selama 1,5 tahun sehingga kualitas konduktor saluran (kabel) tersebut menurun sehingga KHA dari kabel tersebut juga menurun. Di samping itu kualitas isolasi saluran (kabel) juga menurun, sehingga mengakibatkan rugi - rugi daya meningkat. Sedangkan data kabel yang digunakan dalam simulasi *ETAP* adalah bersifat ideal, di mana data saluran (kabel) disesuaikan dalam fasilitas *ETAP* pada *library*

4. Beban (*load*)

Beban (*load*) yang dipakai pada simulasi *ETAP* tidak sama dengan kondisi beban di lapangan. Seperti yang telah diketahui, terdapat 2 jenis beban, yaitu beban dinamis dan beban statis. Dalam simulasi *ETAP* penggunaan beban dinamis diasumsikan 50% begitu pula penggunaan beban statis diasumsikan 50%. Namun kondisi di lapangan, penggunaan beban statis dan beban dinamis berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan konsumen (pelanggan) atau sesuai karakteristik beban pelanggan yang bersifat variabel (berubah-ubah setiap saat). Dalam hal ini, sesuai data yang ada dan berdasarkan hasil observasi langsung ke lapangan bahwa pelanggan gardu distribusi GT.MSO004 hampir sebagian besar merupakan beban rumah tangga.

5. Waktu pengambilan data

Waktu pengambilan data juga salah satu pemicu terjadinya selisih nilai arus antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi *ETAP*. Pengukuran arus pada gardu distribusi GT. MSO004 dilakukan pukul 14.20 (sore hari). Sedangkan pada simulasi *ETAP* waktu tidak berpengaruh, sehingga terjadi selisih nilai arus yang diduga disebabkan oleh terjadinya kenaikan temperature pada alat ukur tersebut.

6. *Deman factor*

Pada kondisi di lapangan, faktor kebutuhan atau penggunaan beban (*demand factor*) tidak dapat diprediksi, karena pemakaian beban yang berubah ubah setiap saat (tidak konstan). Sedangkan dalam simulasi *ETAP*, Penulis mengasumsikan faktor kebutuhan atau penggunaan beban (*demand factor*) adalah konstan dengan setting sebesar 80 %.

KESIMPULAN

1. Besar persentase ketidakseimbangan beban pada transformator dalam keadaan tidak seimbang berdasarkan hasil pengukuran sebesar 43%. Sedangkan besar persentase ketidakseimbangan beban apabila dilakukan penyeimbangan beban sebesar 0%.
2. Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder dalam keadaan beban tidak seimbang berdasarkan hasil perhitungan manual pada penghantar netral yang mengacu pada data hasil pengukuran sebesar 3,46 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar netral yang mengacu pada data hasil simulasi *ETAP* sebesar 3,25 kW. Sedangkan Besar rugi-rugi daya pada jaringan distribusi sekunder apabila diseimbangkan berdasarkan hasil

perhitungan manual pada penghantar netral yang mengacu pada data hasil pengukuran sebesar 0 kW dan rugi-rugi daya pada penghantar netral yang mengacu pada data hasil simulasi ETAP sebesar 0,00033 kW

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, sebaiknya pihak PT. PLN (Persero) menindaklanjuti gardu yang memiliki besar ketidakseimbangan beban melebihi 10% dengan melakukan rekonfigurasi Sambungan Rumah (SR) agar beban menjadi seimbang dan dapat meminimalisir rugi-rugi daya yang terjadi pada penghantar netral.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Agun, Asdi. 2023. "ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP ARUS NETRAL PADA TRAFO DISTRIBUSI PT. PLN (PERSERO) ULP MATTOANGING." AT-TAWASSUTH: Jurnal Ekonomi Islam VIII(I): 1–19.
- Ambabunga, Yusri A M, Henrianto Masiku, Eliyah Acantha M Sampetoding, Universitas Kristen, Indonesia Toraja, Tana Toraja, Universitas Kristen, dkk. 2021. "Karakteristik Transformator 3 Fasa (Hubung Bintang dan Delta) Pada Sistem Tenaga Listrik AC." 6(1): 12–18.
- Asfari Hariz Santoso, Ernanda Rizka, dan Harrij Mukti K. 2023. "Analisis Pembebanan Terhadap Perkiraan Umur Transformator Distribusi 20 kV Penyulang Lowokwaru di PT. PLN(PERSERO) UP3 Malang." Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan 9(3): 121–26. doi:10.33795/elposys.v9i3.645.
- Darwanto, Agus. 2021. "ANALISIS KETIDAK SEIMBANGAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI Di PT. PLN (Persero) RAYON CEPU." Simetris 15(1): 35–42. doi:10.51901/simetris.v15i01.179.
- Đurišić, Vladimir, Sunčica Rogić, Julija Cerović Smolović, dan Milena Radonjić. 2020. "Determinants of household electrical energy consumption: Evidences and suggestions with application to Montenegro." Energy Reports 6(September 2019): 209–17. doi:10.1016/j.egyr.2019.10.039.
- Ginting, Rizky Tambara, Zulfahri, dan Arlenny. 2022. "Analisis Ketidakseimbangan Beban Jaringan Distribusi Tegangan Rendah Menggunakan ETAP." Sain, Energi, Teknologi & Industri 6(2): 81–89. doi:10.31849/sainetin.v6i2.9734.
- Hutagalung, Mycael Gading Muda, Parlindungan Sitohang, Janter Napitupulu, dan Antonius M Simamora. 2023. "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Pada ." Teknologi Energi Uda 12(2): 105–12.
- Imam Malik, Muh Hedar Mulyawan. 2021. ANALISIS KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRAFO DISTRIBUSI ULP PANAKKUKANG.
- Irawati Bursa dkk. 2021. "ANALISIS RUGI-RUGI DAYA AKIBAT KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA JARINGAN DISTRIBUSI SEKUNDER DI PT. PLN (PERSERO) ULP WATANG SAWITTO." 3(5): 6.
- Jatmiko, Hernawan Budhi, Agung Trihasto, dan Deria Pravitasari. 2024. "Evaluasi Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral Pada Transformator Di Gardu Induk 150 Kv Secang." : 1–8.
- Mangopo, Dultudes, Ekawati Margaretha Ohee, Rosalina Revassy, Aris Sampe, Luther Pagiling, dan Yuni Aryani Koedoes. 2024. "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi Terhadap Arus Netral Di PT . PLN (Persero)." 09(02): 99–105.
- Patilima, Mahmud. 2022. "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Losses dan Pembebanan Transformator Distribusi." Jurnal Electrighsan 11(01): 20–28. doi:10.37195/electrighsan.v11i01.85.
- Permata, Endi, dan Intan Lestari. 2020. "MAINTENANCE PREVENTIVE PADA TRANSFORMATOR STEP-DOWN AV05 DENGAN KAPASITAS 150KV DI PT. KRAKATAU DAYA LISTRIK." Science of the Total Environment 9(1): 1–10.
- Rizki, Ahmad. 2021. "Analisa Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Netral Dan Losess Pada Trafo 200 Kva." Journal Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara: 1–60.
- Rusliadi Rusliadi, Yulianto La Elo, dan Naomi Lembang. 2022. "Analisis Ketidakseimbangan

- Beban pada Transformator Bambang Djaja ULP Fakfak.” Jural Riset Rumpun Ilmu Teknik 1(1): 7–9. doi:10.55606/jurritek.v1i1.99.
- Setijasa, Hery, dan Triyono. 2023. “Perhitungan Efisiensi Transformator.” Orbith 19(3): 315–23.
- Siburian, Jhonson. 2019. “Karakteristik transformator.” VIII(21): 21–28.
- SPLN D3.002-1: 2007. 2007. “PT PLN (Persero) Standar SPLN D3 .0 0 2-1 : 2 0 0 7.” (161).
- Suripto, Ir. Slamet M.Eng. 2017. “Sistem Tenaga Listrik.” ELTEK, Vol 11 Nomor 01: 1–293.
- Wiranto, Muhammad Ikhsan, Lily S Patras, dan Sartje Silimang. 2021. “Analisa Kinerja Transformator Distribusi Kawanua Emerald City-Amethyst.” Teknik Elektro 2(1): 1–11.