

Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Transformator Distribusi 2.000 KVA Trafoindo Prima Perkasa Universitas Muhammadiyah Semarang

Analysis Of Electrical Power Quality On 2.000 KVA Distribution Transformers Trafoindo Prima Perkasa University Muhammadiyah Semarang

Rifqi Nur Fadli, Achmad Solichan, Laily Muntasiroh

University Muhammadiyah Semarang, Semarang

Corresponding author : rifqinurfadli06@gmail.com

Abstrak

Penelitian di Universitas Muhammadiyah Semarang ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas daya listrik pada transformator distribusi berkapasitas 2.000 kVA yang memasok energi ke beberapa bangunan kampus. Uji kualitas daya dilakukan selama satu pekan menggunakan Power Quality Analyzer (PQA) Hioki PQ3100, dengan pengukuran difokuskan pada sisi skunder transformator. Hasil pengujian menunjukkan adanya ketidakseimbangan arus sistem yang mencapai 8,68%, yang melebihi batas standar sebesar 5%, menandakan adanya masalah pada distribusi daya. Meskipun demikian, parameter kualitas daya lainnya, termasuk tegangan, frekuensi, faktor daya, dan harmonisa, masih berada dalam rentang yang diizinkan dan menunjukkan kinerja yang baik. Tegangan berada di antara 232,25 Volt hingga 236,82 Volt, frekuensi berkisar antara 49,709 Hz hingga 50,036 Hz, dan faktor daya tercatat antara 92,79% hingga 96,96%. Dengan demikian, meskipun terdapat ketidakseimbangan arus yang perlu diperbaiki, transformator ini secara keseluruhan menunjukkan kualitas daya listrik yang baik.

Kata Kunci : Transformator, Kualitas Daya Listrik, PQA Hioki PQ3100.

Abstract

Universitas Muhammadiyah Semarang uses a 2,000 kVA distribution transformer to supply electricity to Gedung Kuliah Bersama 2 (GKB 2), the male and female dormitories, and the Health Laboratory (LabKes). This study aims to evaluate the power quality of the transformer by conducting sampling tests over one week at three different times using a Power Quality Analyzer (PQA) Hioki PQ3100, connected to the outgoing cable of the transformer. Measurements were taken on the secondary side of the transformer, and the results were analyzed and compared to applicable standards. The study results indicate that the system's current imbalance is in poor condition, with the highest average value reaching 8.68%, exceeding the 5% standard. However, other parameters such as voltage, frequency, power factor, and harmonics are in good condition. The lowest voltage value was recorded on phase S at 232.25 Volts, and the highest on phase R at 236.82 Volts. The highest frequency reached 50.036 Hz, and the lowest was 49.709 Hz. The highest power factor was 96.96% on phase R, and the lowest was 92.79% on phase T. Voltage and current harmonics were also within allowable limits. Overall, the 2,000 kVA transformer at Universitas Muhammadiyah Semarang demonstrated good power quality, although some current imbalances require attention.

Keywords : Transformer, Electric power quality, PQA Hioki PQ3100.

PENDAHULUAN

Transformator, atau sering disebut trafo, merupakan komponen penting dalam distribusi energi listrik di jaringan tegangan rendah. Alat ini berfungsi untuk mengubah tegangan, baik menaikkan maupun menurunkannya. Dalam proses distribusi energi listrik, sering muncul masalah terkait kualitas daya listrik. Jika kualitas daya tidak memadai atau tidak sesuai standar, hal ini bisa menyebabkan pemborosan energi listrik dan bahkan merusak sistem tenaga listrik.

Universitas Muhammadiyah Semarang merupakan kampus yang memerlukan konsumsi listrik cukup besar, dengan beberapa transformator distribusi, salah satunya terletak di Gedung Kuliah Bersama 2 (GKB 2) yang memiliki kapasitas 2.000 kVA.

Transformator ini menyuplai listrik untuk beberapa bangunan di lingkungan universitas, termasuk GKB 2, Rusunawa Putra-Putri, dan Laboratorium Kesehatan (LabKes). Mengingat beban yang terbagi di beberapa gedung, penting untuk melakukan pengukuran dan analisis terhadap kualitas daya listrik pada sistem tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dan menganalisis kualitas daya listrik pada transformator 2.000 kVA di Universitas Muhammadiyah Semarang, karena jika ketidakseimbangan atau kualitas daya yang buruk dibiarkan terus-menerus, hal ini dapat berdampak negatif dan merugikan pihak universitas.

KUALITAS DAYA LISTRIK

Kualitas daya listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti arus, tegangan, frekuensi, harmonisa, faktor daya, dan keseimbangan sistem. Kualitas daya listrik dianggap baik apabila energi yang disuplai tetap konstan. Namun, dalam kenyataannya, parameter-parameter tersebut tidak selalu stabil, karena dipengaruhi oleh peralatan listrik yang digunakan dan pengaturan sistem distribusi listriknya.

1. Tegangan

Tegangan atau beda potensial (voltage) adalah energi listrik yang menggerakkan muatan listrik melalui sebuah penghantar, memberikan dorongan bagi elektron untuk mengalir dalam rangkaian dari satu terminal (kutub) ke terminal lainnya. Kedua terminal ini memiliki perbedaan potensial.

$$V = I \cdot R \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

R = Hambatan (Ω)

Tabel 1. Nilai Toleransi Tegangan Menurut SPLN 1: 1995

No	Tegangan	Nilai Toleransi	Nilai Nominal	Maksimum Nilai Tegangan	Minimum Nilai Tegangan
1	1 Fasa	+5% ; -10%	220 V	231 V	198 V
2	3 Fasa	+5% ; -10%	380 V	399 V	342 V

Tegangan pada jaringan tiga fasa dengan 3 vektor harus seimbang, jika ketiga vektor tegangan bernilai sama dengan nilai sudut 120° pada masing- masing vektor.

Tabel 2. Standar Nilai Ketidakseimbangan Tegangan Ansi C84.1-1995

No	Standar Acuan	Tidak Berbeban	Berbeban
1	ANSI C84.1-1995	Maksimum 3%	Maksimum 6%

2. Arus

Arus merupakan perubahan muatan yang bergerak dalam satuan waktu, dengan kata lain arus merupakan muatan yang bergerak. Arus akan muncul selama muatan bergerak.

Tabel 3. Kapasitas Maksimum Arus

No	Kapasitas Transformator	Arus Maksimum	Batas Arus (80% dari kapasitas maksimum)
1	2000 kVA	2860 A	2288 A

$$\begin{aligned}
 I &= \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} \\
 &= \frac{1600 \text{ kW}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,85} \\
 &= \frac{1600000}{1,73 \times 380 \times 0,85} \\
 &= \frac{1600000}{558,8} \\
 &= 2860 \text{ A}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I &= 2860 \text{ A} \times 80\% \\
 &= 2288 \text{ A (batas maksimum arus yang diperbolehkan)}
 \end{aligned}$$

Arus pada jaringan tiga fasa dengan 3 vektor harus seimbang, dengan arti lain seimbang jika semua vektor arus sama dan membentuk sudut 120°.

Tabel 4. Standar Nilai Ketidakseimbangan Arus Menurut (IEC 60038)

No	Standar Acuan	Standar Ketidakseimbangan Arus
1	IEC 60038	$\leq 5\%$

3. Frekuensi

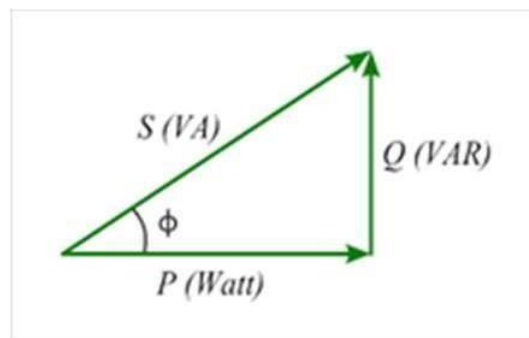
Dalam arus bolak-balik (AC), frekuensi mengacu pada berapa kali arus berubah dari positif ke negatif dalam 1 detik.

Tabel 5. Standar Nilai Frekuensi SPLN 1995

No	Nilai Nominal	Maksimum Nilai Frekuensi	Minimum Nilai Frekuensi
1	50 Hz	50,36 Hz	49,66 Hz

4. Daya dan Faktor Daya

Daya yang diukur meliputi daya semu atau daya kompleks (S) yang dinyatakan dalam satuan Volt Ampere (VA), daya nyata atau daya aktif (P) dalam satuan Watt (W), serta daya reaktif (Q) yang dinyatakan dalam Volt Amper Reaktif (VAR). Faktor daya (pf) atau $\cos\phi$ merupakan hubungan antara ketiga jenis daya listrik tersebut, yang dapat diilustrasikan melalui segitiga daya seperti terlihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 1. Segitiga Daya

Dimana faktor daya atau $\cos\phi$ dapat dirumuskan :

$$pf = \cos \phi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2)$$

Namun, ketika terdapat distorsi harmonisa pada gelombang tegangan dan arus listrik, persamaan tersebut tidak lagi berlaku. Hal ini disebabkan oleh distorsi pada tegangan dan arus yang mengakibatkan terjadinya distorsi daya listrik (D) dalam satuan VA, di mana:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \dots\dots\dots (3)$$

Oleh karena itu, $\cos\phi$ digunakan untuk mengukur faktor daya pada frekuensi dasar yang bebas dari harmonisa. Sementara itu, pf digunakan untuk mengukur faktor daya pada frekuensi yang mengandung harmonisa.

5. Harmonisa (Tegangan dan Arus)

Harmonisa adalah fenomena terbentuknya gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasarnya. Di Indonesia, frekuensi dasar sistem tenaga listrik adalah 50 Hz, sehingga harmonisa memiliki frekuensi kelipatan 50 Hz. Misalnya, harmonisa kedua memiliki frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga 150 Hz, dan seterusnya. Gelombang-gelombang harmonisa ini menumpang pada gelombang asli, menciptakan gelombang cacat yang merupakan gabungan dari gelombang asli dengan gelombang harmonisa (Assaffat, 2009).

Harmonisa dapat menyebabkan distorsi harmonisa, yaitu gangguan pada sistem distribusi listrik yang disebabkan oleh distorsi gelombang arus dan tegangan. Salah satu ukuran umum untuk distorsi ini adalah Total Harmonic Distortion (THD), yang mengukur tingkat efektivitas distorsi harmonisa.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hMax} M_h^2}}{M_1} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

THD : *Total Harmonic Distortion*

M_h : Nilai rms Tegangan atau Arus harmonic ke-n

M_1 : Nilai rms Tegangan atau Arus pada frekuensi dasar

Kuantitas M dapat berupa besaran tegangan ataupun arus, sehingga THDV sebagai nilai distorsi harmonisa total tegangan dan THDI sebagai nilai distorsi harmonisa total arus listrik, dimana :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hMax} V_h^2}}{V_1} \dots\dots\dots (5)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{hMax} I_h^2}}{I_1} \dots\dots\dots (6)$$

Tegangan harmonisa sering digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai dasar dari bentuk gelombang sesaat. Hal ini dikarenakan tegangan memiliki persentase perbedaan yang kecil, sehingga THD tegangan dapat mendekati nilai sebenarnya. Namun, ini tidak berlaku untuk arus listrik, karena arus dengan nilai kecil dapat menghasilkan THD yang tinggi, sehingga tidak dapat secara akurat menggambarkan kondisi suatu sistem.

Tabel 6. Toleransi Nilai THD_v (IEEE)

Distorsi Tegangan Harmonik Maksimum dalam % Nilai Fundamental			
Sistem Tegangan	<69 kV	69 – 138 Kv	>138 kV
THD (%)	5,0	2,5	1,5

Tabel 7. Toleransi Nilai THD_I (IEEE)

Distorsi Arus Harmonik Maksimum dalam % Nilai Fundamental	
I_{sc} / I_L	THD
<20	5
20-50	8
50-100	12
100-1000	15
>1000	20

THD = Total Harmonic Distortion
 I_{sc} = Arus Hubung Singkat Maksimum
 I_L = Arus Beban Maksimum

Menurut IEEE Standard 519 - 2014, untuk menentukan standar batas maksimum THD_I pada utility, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (short-circuit ratio). I_{sc} (Arus hubung singkat) dapat dicari dengan rumus (Dugan, 2004):

$$ISC = \frac{KVA \times 100}{\sqrt{3} \times KV \times z(\%)} \quad (7)$$

Dimana, I_L (Arus beban maksimum) dapat dicari dengan rumus:

$$IL = \frac{KW}{PF \times \sqrt{3} \times KV} \quad (8)$$

SCRatio dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$SCRatio = \frac{I_{sc}}{I_l} \quad (9)$$

Keterangan:

SCL = Arus hubung singkat maksimum pada PCC

I_L = Arus beban maksimum

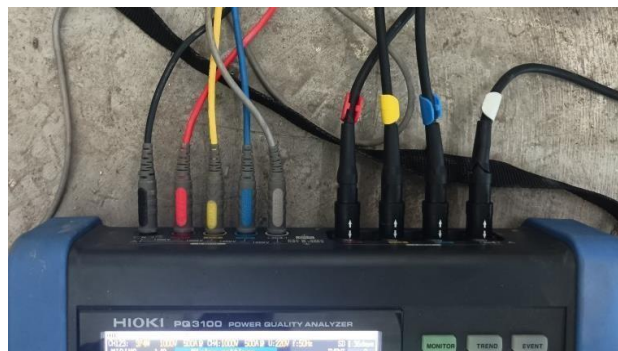
KW = Total daya aktif

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran langsung menggunakan alat Power Quality Analyzer PQ3100 merk HIOKI pada sisi sekunder Transformator 2.000 kVA di Universitas Muhammadiyah Semarang. Pengukuran dilakukan selama satu minggu pada bulan Juli hingga Agustus 2023. Pengumpulan data dilakukan pada tiga waktu berbeda, yaitu pagi hari pukul 10.00 WIB saat karyawan, mahasiswa, dan dosen sedang beraktivitas, siang hari pukul 13.00 WIB setelah istirahat siang, dan sore hari pukul 15.00 WIB menjelang waktu pulang.



Gambar 2. Pemasangan Alat Ukur pada Sisi Skunder Trafo 2.000 KVA Unimus



Gambar 3. Alat PQ3100 Merk HIOKI

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran kualitas daya listrik pada sisi sekunder transformator 2.000 kVA di Universitas Muhammadiyah Semarang menggunakan alat PQ3100 analyzer ditampilkan dalam tabel berikut.

1. Tegangan

Tabel 8. Hasil Pengukuran Tegangan

Hari	Volt (V)		
	Fasa-R	Fasa-S	Fasa-T
Jumat	235.39	232.81	233.89

Sabtu	236.56	233.86	235.09
Minggu	236.82	234.22	235.25
Senin	236.81	234.37	235.64
Selasa	236.31	233.78	234.89
Rabu	234.80	232.25	233.21
Kamis	236	232.82	234.16

Dari hasil di atas nilai tegangan pada setiap harinya masih dalam batas toleransi yang telah ditetapkan oleh PLN yaitu $< +5\%$ dan $> -10\%$ dari daya ideal yaitu 230 Volt

2. Ketidakseimbangan Tegangan

Tabel 9. Hasil Pengukuran Ketidakseimbangan Tegangan

Hari	Average (%)
Jumat	0.20%
Sabtu	0.18%
Minggu	0.18%
Senin	0.19%
Selasa	0.18%
Rabu	0.16%
Kamis	0.38%

Ketidakseimbangan tegangan dapat dianalisis bahwa nilai rata-rata setiap harinya dalam kondisi baik. Dengan mengacu standar ANSI C84.1-1995 ketidakseimbangan tegangan tidak boleh lebih dari 6% saat ada beban (*load*).

3. Arus

Tabel 10. Hasil Pengukuran Arus

Hari	A (Ampere)		
	Fasa-R	Fasa-S	Fasa-T
Jumat	446.29	377.06	409.07
Sabtu	263.55	227.95	234.03
Minggu	238.01	189.74	197.24
Senin	471.21	358.11	366.63
Selasa	424.81	324.04	370.20
Rabu	468.07	341.58	397.18
Kamis	467.83	368.25	371.24

Nilai arus masih berada dalam kisaran sekitar 500 A. Ini masih dalam kondisi baik dari kapasitas nominal arus pada transformator kapasitas 2.000 kVA, Transformator distribusi dengan kapasitas 2.000 kVA batas maksimum arus adalah 2860 A, penggunaan beban arus tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas nominal yang tersedia, yaitu sebesar 2288 A.

4. Ketidakseimbangan Arus

Tabel 11. Hasil Pengukuran Ketidakseimbangan Arus

Hari	Average (%)
Jumat	8.84%
Sabtu	7.16%
Minggu	8.68%
Senin	7.17%
Selasa	4.42%
Rabu	4.11%
Kamis	6.56%

Ketidakseimbangan arus listrik pada hari jumat, sabtu, minggu, senin, dan kamis melebihi batas standar yang ditentukan, yaitu melebihi dari 5%. Mengacu standar dari IEC 60038 ketidakseimbangan arus tidak boleh melebihi dari 5% dari nilai dasarnya. Rata-rata tertinggi pada hari Jumat dengan nilai 8,84%. Pada hari selasa dan rabu, masih dalam kondisi baik, yaitu masih dibawah standar 5%.

5. Frekuensi

Tabel 12. Hasil Pengukuran Frekuensi

Hari	Average (Hz)
Jumat	50.018
Sabtu	50.036
Minggu	50.038
Senin	50.018
Selasa	49.999
Rabu	50.001
Kamis	50.014

Mengacu standar yang ditetapkan PLN melalui SPLN 1995 bahwa batas maksimum nilai frekuensi adalah 50,36 Hz dan batas minimum nilai frekuensi adalah 49,66 Hz. Dari hasil data yang diperoleh nilai rata-rata frekuensi setiap harinya dapat dianalisis bahwa untuk nilai frekuensi dalam kondisi baik.

6. Daya Dan Faktor Daya

Tabel 13. Hasil Pengukuran Faktor Daya

Hari	PF		
	Fasa-R	Fasa-S	Fasa-T
Jumat	0.963231	0.959791	0.951681
Sabtu	0.959163	0.953621	0.93846
Minggu	0.956012	0.939732	0.927905
Senin	0.964078	0.95681	0.948747
Selasa	0.962294	0.958319	0.95526
Rabu	0.964821	0.959656	0.955017
Kamis	0.969665	0.96734	0.953619

Faktor daya rata-rata tertinggi 96,96% yaitu pada hari Kamis di fasa R dengan faktor daya tertinggi 97,5%, kemudian untuk rata-rata faktor daya terendah 92,79% pada hari Minggu di fasa T dengan faktor daya terendah 91,53%. Faktor daya masih berada di atas batas toleransi yang ditentukan oleh PLN yaitu SPLN 70-1 dengan nilai minimum 0,85 atau 85%.

7. Harmonisa Tegangan

Tabel 14. Hasil Pengukuran THDv

Hari	THDv (%)		
	Fasa-R	Fasa-S	Fasa-T
Jumat	2.150%	2.207%	2.249%
Sabtu	2.144%	2.223%	2.245%
Minggu	2.172%	2.260%	2.258%
Senin	2.112%	2.181%	2.218%
Selasa	2.100%	2.184%	2.228%
Rabu	2.098%	2.169%	2.258%
Kamis	2.131%	2.249%	2.256%

Dari hasil pengukuran THDv pada setiap harinya masih berada di bawah batas yang telah ditentukan oleh IEEE pada tabel 6 pada kategori $1 \text{ kV} \leq 69 \text{ kV}$ yang mana THDv maksimal yang diperbolehkan adalah 5%. Nilai rata-rata THDv tertinggi di angka 2,259% pada fasa S di hari Minggu dan rata-rata THDv terendah di angka 2,097% pada fasa R di hari Rabu.

8. Harmonisa Arus

Tabel 15. Hasil Pengukuran THD_I

Hari	THD _I (%)		
	R	S	T
Jumat	6.39%	6.30%	7.77%
Sabtu	6.80%	6.73%	7.05%
Minggu	6.67%	6.85%	7.19%
Senin	5.95%	6.28%	7.50%
Selasa	5.80%	6.29%	6.06%
Rabu	4.92%	5.47%	5.61%
Kamis	5.98%	5.84%	6.12%

Untuk menentukan standar batas maksimum THDI pada utility, maka harus diketahui terlebih dahulu rasio hubung singkat (*short-circuit ratio*) padapersamaan 7:

$$\begin{aligned}
 ISC &= \frac{KVA}{\sqrt{3} \times KV \times z(\%)} \\
 &= \frac{330,87 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,23398 \times 7} \\
 &= \frac{33,087}{2,83685674} \\
 &= 11.663,26
 \end{aligned}$$

Dimana, IL (Arus beban maksimum) dapat dicari dengan menggunakan persamaan 8:

$$IL = I_{rms}$$

$$I_{rms} = 425,786 \text{ A}$$

SCRatio dapat dicari dengan menggunakan persamaan 9 berikut:

$$\begin{aligned}
 SCRatio &= \frac{I_{sc}}{I_l} \\
 &= \frac{11.663,26}{435,786} \\
 &= 27,39423
 \end{aligned}$$

$SCR_{Ratio} = 26 (8\%)$

Dari perhitungan batas maksimum THDI yaitu sebesar 8%. Rata-rata THDI tertinggi di angka 7,62% pada fasa S di hari Jumat dan rata-rata THDI terendah di angka 4,88% pada fasa R di hari Rabu. Untuk nilai standar rasio THDI pada transformator 2.000 kVA yaitu dipersentase 8% dan dapat dilihat pada tabel 2. 8. THDI pada transformator 2.000 kVA Unimus masih dalam kondisi baik di bawah batas standar maksimal dengan rentang persentase tertinggi pada 7,62% pada fasa T di hari Jumat, namun nilai tersebut sudah mendekati batas standar yang dianjurkan oleh *Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) 519-2014* ialah sebesar 8 %.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan analisis kualitas daya listrik pada transformator 2.000 kVA di Universitas Muhammadiyah Semarang, dapat disimpulkan bahwa secara umum, nilai tegangan, ketidakseimbangan tegangan, arus, frekuensi, daya, faktor daya, serta harmonisa arus dan tegangan berada dalam kondisi baik dan masih dalam batas standar yang diizinkan. Namun, parameter ketidakseimbangan arus sistem menunjukkan kondisi yang kurang baik, dengan nilai rata-rata tertinggi mencapai 8,68%, melebihi standar 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmar, A. dkk. 2021. „Studi Kualitas Energi Listrik Gedung Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung“, Serambi Engineering, (Vol. 6, No. 2 (2021)). Bangka Belitung: Universitas Bangka Belitung.
- Assaffat, L. 2009 „Pengukuran dan analisa kualitas daya listrik di paviliun garuda rumah sakit dr. karyadi semarang“. Media ElektriKA, (Vol. 2, No. 1 (2009): MEDIA ELEKTRIKA), pp. 18–23. Semarang.
- Burhan, A Iskanto, E. (2013). STANDAR PT PLN (PERSERO) SPLN T6.001 2013. Jakarta Selatan: PT PLN (PERSERO).
- Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso, S., & Beaty, H.W. (2004), Applied harmonics. Electrical Power Systems Quality, 2nd Edition, McGraw-Hill Education“.
- Harmika, T., dkk. (2020), Pengukuran dan Analisis Ketidakseimbangan Beban serta Kualitas Daya Listrik pada Transformator 865 KVA di Universitas

Muhammadiyah Semarang”, *Prosiding Seminar Nasional Unimus*, 3, pp. 995–1001. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.

Hermawan, A., dkk. (2023) 'Analisis Kualitas Daya dan Rekomendasi Perbaikan Sistem Kelistrikan di Gedung Perhotelan'. *Jurnal Sistem Kelistrikan*, (Vol. 10, No. 02 (2023)). Malang: Politeknik Negeri Malang.

Irawan, D. 2024., Analisis Kualitas Daya Listrik Pada Gedung Produksi Terminal 1 PT. Selalu

Cinta Indonesia”. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang. PT. PLN (Persero). (1995). SPLN 1:1995 Tegangan-tegangan standar.

Rahmadhani, R., Atmam and Zondra, E. (2019) ‘Analisis Pemasangan Filter Pasif Untuk

Mengurangi Harmonisa Pada Transformator Rectifier Di Pt. Indah Kiat Pulp And Paper

Perawang’, *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri)*, 2, pp. 59–68.

Ridwan M., 2024. Analisis Korelasi Harmonisa Tegangan Dan Faktor Daya Terhadap Ketidakseimbangan Tegangan Sistem Pada Transformator 2.000 kVA Universitas Muhammadiyah Semarang. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.

Soma A., 2024. Analisis Profil Tegangan pada GKB 2 Universitas Muhammadiyah Semarang dengan Simulasi ETAP 12.6.0. Semarang: Universitas Muhammadiyah Semarang.

Sukisno, T. (2018) *Komponen simetris dan impedansi urutan*. Yogyakarta. Utomo, H.B. and

Rafita, M. (2021).

Utomo, H.B. and Rafita, M. (2021) ‘Perancangan Filter Pasif Untuk Mengurangi Kandungan Arus Harmonisa Pada Transformator Daya Berbasis SIMULINK’, *Prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar*, pp. 314–319.

Wirajaya, P.A., Rinas, W. and Sukerayasa, W. (2019) ‘Studi Analisis Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan’, *SPEKTRUM*, 6, pp. 121–129