

# Pengujian Kualitas Daya Listrik Pada Industri Plastik

Agung Dimas Saputra<sup>1</sup>, Sapto Nisworo<sup>2</sup>, Andriyatna Agung Kurniawan<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro FT UNTIDAR

Jl. Kapten S. Parman No. 39 Magelang 56116 INDONESIA

agungdimas.saputra@students.untidar.ac.id<sup>1</sup>, saptonisworo@untidar.ac.id<sup>2</sup>,

andriyatna@untidar.ac.id<sup>3</sup>

**Intisari**— Kualitas daya listrik yang andal, aman, efisien dan ekonomis sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan konsumen untuk meminimalkan rugi-rugi daya listrik akibat faktor daya dan harmonik. Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda menggunakan 3 unit peralatan listrik blowing machine yang beroperasi setiap hari. Metode kuantitatif uji beban grup dan uji beban keseluruhan dilakukan untuk menginvestigasi dan menganalisis nilai parameter faktor daya dan harmonik. Hasil penelitian menunjukkan adanya nilai faktor daya dan harmonik yang tidak memenuhi standar. Tabel 1 menunjukkan terdapat fasa yang nilai faktor dayanya dibawah 0,85 standar SPLN 70-1 tahun 1985. Faktor daya kemudian berhasil dikompensasi menjadi 0,99 menggunakan kapasitor bank dengan kapasitas 1,86 kVAR. Merujuk standar IEEE 619-2014, harmonik arus diketahui melebihi batas toleransi. THDI fasa R, S dan T panel sebesar 20,1%, 24,6% dan 25,6%. Pemasangan filter pasif single tuned orde 3 dipilih dan berhasil mereduksi THDI fasa T panel dari 25,6% menjadi 20,2% dengan kemampuan reduksi 5,4%. Penelitian pengujian kualitas daya listrik di Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda dapat memberi informasi pertimbangan perbaikan kualitas daya listrik pada suatu industri.

**Keywords**— kualitas daya, faktor daya, harmonik.

## I. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik yang andal, aman, efisien dan ekonomis sangat diperlukan untuk memenuhi kebutuhan konsumen seiring dengan adanya teknologi yang terus berkembang di berbagai sektor sehingga dapat meminimalkan rugi-rugi daya akibat faktor daya dan harmonik. Penggunaan beban nonlinear menyebabkan timbulnya salah satu parameter kualitas daya listrik yaitu harmonik dapat mengakibatkan penurunan kualitas daya listrik dalam suatu jaringan[1][2].

Penggunaan beban nonlinear pada sektor industri banyak terdiri dari motor listrik dan inverter mesin. Harmonik yang timbul dari penggunaan peralatan tersebut merupakan penyebab cacatnya gelombang sinusoidal arus maupun tegangan yang mengalir pada sistem jaringan tenaga listrik[3].

Bhagavathy, P., dkk., berpendapat dalam penelitian analisis kualitas daya listrik pada industri tekstil bahwa faktor daya merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi masalah kualitas daya listrik. Dari studi kasus ini diketahui bahwa faktor daya yang rendah menyebabkan adanya peningkatan konsumsi arus serta peningkatan kerugian pada jaringan sistem tenaga listrik. Namun penelitian ini hanya membahas pengaruh faktor daya terhadap penurunan kualitas daya listrik, dan pengaruh harmonik belum dibahas pada penelitian tersebut[4].

Ingale V.P., dkk., berpendapat bahwa hasil investigasi dan analisis kualitas daya yang dilakukan pada industri gula terdapat nilai harmonik yang melebihi standar IEEE 519-2014. Sehingga kompensasi perangkat filter perlu dipasang pada ketiga trafo distribusi untuk mengurangi harmonik. Namun, penelitian ini belum membahas masalah terkait parameter faktor daya dan filter harmonik secara spesifik[5].

Mirajkar, N., dkk., berpendapat bahwa masalah kualitas daya pada jaringan distribusi industri yakni harmonik memiliki nilai THDI di setiap panel yang belum sesuai standar. Namun investigasi, analisis faktor daya dan solusi untuk permasalahan tersebut tidak dijelaskan oleh peneliti[6].

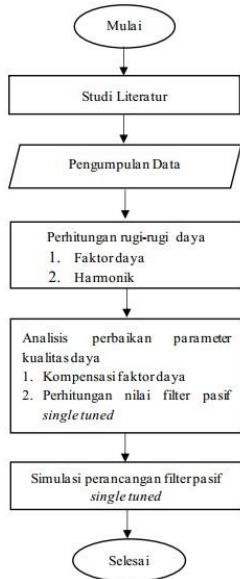
Anto Carmanto berpendapat bahwa kualitas daya listrik beban keseluruhan pada industri 20 kV diperoleh nilai faktor daya 0,75 pada bus TR8 dibawah standar PLN sehingga perlu penambahan kapasitor bank. Setelah perbaikan, nilai rata-rata faktor daya naik menjadi 0,98. Namun variabel harmonik belum dibahas di penelitian tersebut[7].

Holmukhe, R.M., dkk., berpendapat bahwa masalah kualitas daya pada industri mekanikal telah ditemukan dan dibuktikan dengan nilai THDV pada fasa U3 dan THDI pada I3 yang melebihi standar IEEE 519-2014 dan faktor daya sistem yang belum memenuhi standar. Penambahan kapasitor bank direkomendasikan untuk dipasang pada sistem. Namun, perencanaan kapasitor bank maupun filter yang diusulkan belum dibahas secara spesifik pada penelitian tersebut[8].

Industri plastik di Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda banyak menggunakan beban nonlinear yang terdiri dari mesin inverter dan motor-motor listrik. Sehingga pengujian tiap grup dan pengujian keseluruhan pada sistem akan dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter kualitas dayanya. Pengujian dilaksanakan di Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda. Pengujian kualitas daya listrik yang dilakukan terdiri atas pemeriksaan serta perencanaan perbaikan faktor daya dan harmonik.

## II. METODE

Penelitian yang dilakukan di Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda menggunakan metode kuantitatif. Pengujian terdiri dari uji beban grup dan uji beban keseluruhan. Uji beban grup terdiri dari 3 unit grup blowing machine dan uji beban keseluruhan panel. Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gbr. 1 Diagram alir penelitian

Simulasi perancangan filter harmonik dengan filter pasif single tuned dilakukan setelah tahap analisis perbaikan parameter kualitas daya listrik. Simulasi rangkaian filter dibuat dan disimulasikan menggunakan perangkat lunak PSIM. Tujuan simulasi rangkaian tersebut adalah untuk mengetahui keberhasilan perhitungan dan analisis perbaikan. Berikut ini adalah diagram alir simulasi yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gbr. 2 Diagram alir simulasi

A. Format Penulisan

Ukuran kertas harus sesuai dengan ukuran halaman A4, yaitu 210mm (8,27 ") lebar dan 297mm (11,69") lama. Batas margin ditetapkan sebagai berikut:

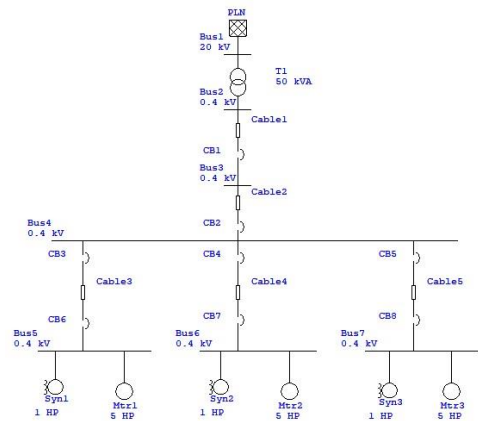
- Atas = 19mm (0.75")
- Bawah = 43mm (1.69")
- Kiri = Kanan = 14.32mm (0.56")

Artikel penulisan harus dalam format dua kolom dengan ruang 4.22mm (0,17 ") antara kolom.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini terdiri dari hasil pemeriksaan pengukuran parameter kualitas daya listrik dan uji simulasi perbaikan. Pembahasan investigasi serta analisis masalah faktor daya dan harmonik merujuk pada data hasil penelitian.

Hasil penelitian telah diperoleh dari pengumpulan data yang dilakukan pada tanggal 3 Januari 2023 di Gedung Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda. Gedung pabrik memiliki kapasitas daya sebesar 41,5 kVA Berikut *single line diagram* Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda.



Gbr. 3 Single line diagram Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda

A. Rugi daya listrik akibat faktor daya

Rugi daya listrik akibat faktor daya melalui uji beban grup dan keseluruhan adalah rugi daya berdasarkan data pengukuran pada grup 1,2 dan 3 serta panel distribusi di Gedung pabrik plastik sinar tiga Bermuda. Berikut hasil pengukuran faktor daya fasa R, S dan T untuk tiap lokasi PCC beban yang diukur.

Paragraph harus teratur. Semua paragraf harus rata, yaitu sama-sama rata kiri dan dan rata kanan.

TABEL 1 HASIL PENGUKURAN FAKTOR DAYA GRUP 1,2, 3 DAN PANEL

Fasa	Faktor daya	Standar
RG1	0.46	0,85
SG1	0.91	0,85
TG1	0,77	0,85
RG2	0,88	0,85
SG2	0,86	0,85
TG2	0,99	0,85
RG3	0,83	0,85
SG3	0,85	0,85
TG3	0,75	0,85

RP	0,84	0,85
SP	0,97	0,85
TP	0,88	0,85

Menurut standar SPLN 70-1 tahun 1985, hasil pengukuran faktor daya pada tabel 1 untuk tiap fasa beban menunjukkan faktor daya yang telah memenuhi standar dan ada yang belum memenuhi standar. Namun kualitas daya listrik sistem akan lebih efisien jika semua faktor daya tiap fasa dinaikan. Berikut perhitungan perbaikan faktor daya fasa T pada panel untuk mendapatkan nilai faktor daya sebesar 0,99. Perhitungan nilai kapasitas kapasitor:

$$QC = Q1 - Q2$$

$$QC = P \{ \tan(\cos^{-1} pfl) - \tan(\cos^{-1} pf2) \}$$

$$QC = 4,19 \{ \tan(\cos^{-1} 0,88) - \tan(\cos^{-1} 0,99) \}$$

$$QC = 4,19 \{ \tan(28,35^\circ) - \tan(8,1^\circ) \}$$

$$QC = 4,19 (0,53 - 0,14)$$

$$QC = 4,19 (0,39)$$

$$QC = 1,63 \text{ kVAR}$$

Perbaikan faktor daya dari 0,88 menjadi 0,99 membutuhkan kapasitor bank dengan kapasitas 1,63 kVAR. Namun kapasitas kapasitor sebesar 1,63 kVAR tidak tersedia dipasaran. Maka pemilihan kapasitas kapasitor dapat ditentukan menggunakan nilai yang paling mendekati dengan hasil perhitungan Qc 1,63 kVAR.

TABEL 2 KAPASITAS KAPASITOR PASARAN MERK

Tipe MKP		Tipe MKPg		Tipe MKPr	
Un (V)	Qn (kVAR)	Un (V)	Qn (kVAR)	Un (V)	Qn (kVAR)
220	0,47	400	10	415	12,5
220	0,93	400	12,5	415	15
220	1,2	400	23,23	415	20
415	1,67	415	10,76	415	25
415	3,3	415	13,45		
415	4,17	415	15		
415	2,5	415	20		
415	5	415	25		
415	10	415	30		
		415	40		
		415	50		
		525	17,23		
		525	17,23		
		525	21,53		

Perbaikan faktor daya berdasarkan table 2 maka dipakai kapasitor 0,93 kVAR merk GAE tipe MKP sebanyak 2 unit dengan total 1,86 kVAR. Nilai tersebut kelebihan daya reaktif 0,23 kVAR leading, maka perlu dilakukan evaluasi perbaikan faktor daya untuk menentukan faktor daya akhir (pf').

Perhitungan nilai daya reaktif (Q2) saat digunakan kapasitor bank GAE:

$$Q2 = Q1 - QC \text{ yang dipakai}$$

$$Q2 = 2,21 - 1,86$$

$$Q2 = 0,35 \text{ kVAR}$$

Perhitungan nilai faktor daya akhir (pf2') fasa T:

$$Q2 = S \times \sin\theta2 \Rightarrow \theta2 = \sin^{-1}(Q2/S) = \sin^{-1}(0,35/4,74) = 4,01^\circ$$

$$pf2' = \cos\theta2 = \cos 4,01^\circ = 0,997$$

Daya semu dan daya aktif untuk fasa T panel distribusi sebelum perbaikan 4,74 kVA dan 4,19 kW. Saat faktor daya diperbaiki, daya aktif menjadi 4,72 kW. Daya yang digunakan dapat dikatakan jauh lebih optimal dibandingkan dengan sebelumnya.

**B. Rugi daya listrik akibat harmonik**

Rugi daya listrik akibat harmonik terdiri dari hasil total distorsi harmonik tegangan dan harmonik arus. Investigasi dan analisis rugi dayanya mengacu tabel standar harmonik IEEE 519-2014[9]. Batas maksimum nilai THDv yang diperbolehkan, pada PCC grup 1, 2, 3 dan panel sebesar 400 V, V<1,0 kV sehingga nilai THDv sesuai tabel standar IEEE 519-2014 adalah 8%.

TABEL 3 HASIL PENGUKURAN THDV GRUP 1, 2, 3 DAN PANEL

Fasa	THDv (%)	Standar (%)
RG1	9,1	8
SG1	11	8
TG1	9	8
RG2	4	8
SG2	4,5	8
TG2	3,9	8
RG3	2,4	8
SG3	4,2	8
TG3	3,5	8
RP	4,5	8
SP	5,9	8
TP	5,2	8

Sedangkan batas harmonik yang diperbolehkan ditentukan berdasarkan rasio ISC/IL standar IEEE 519-2014 dan standar IEC 60909-0 tahun 2001[10]. Berikut tabel 4 merupakan hasil pengukuran THDI uji beban grup 1, 2, 3 dan panel.

TABEL 4 HASIL PENGUKURAN THDI GRUP 1, 2, 3

Fasa	THDI (%)	Standar (%)
RG1	34,7	12
SG1	23,7	12
TG1	47,6	12
RG2	55,4	12
SG2	73,6	12

T <sub>G2</sub>	1	12
R <sub>G3</sub>	26,3	15
S <sub>G3</sub>	25,9	15
T <sub>G3</sub>	20,5	15
R <sub>P</sub>	20,1	12
S <sub>P</sub>	24,6	12
T <sub>P</sub>	25,6	12

Pengukuran harmonik tabel 5 menunjukan diketahuinya pada setiap uji beban mempunyai nilai total distorsi harmonik arus yang besar. Nilai THDI tersebut dapat diturunkan dengan dipasang filter harmonik. Pada penelitian ini, filter yang digunakan adalah filter pasif *single tuned* orde 3 untuk dipasang pada fasa T panel yang merupakan fasa dengan nilai THDI terbesar.

Perancangan rangkaian filter *single tuned* dimulai dengan melakukan perhitungan untuk mencari nilai kapasitor (C) dan induktor (L) pada filter[11]. Kapasitas kapasitor (Qc) yang dibutuhkan menggunakan kapasitor pasaran yang telah ditentukan yakni kapasitor merk GAE tipe MKP sebanyak 2 unit yang memiliki kapasitas 0,93 kVAr dengan total 1,86 kVAr. Berikut adalah perhitungan nilai komponen filter. Perhitungan nilai kapasitor (C):

QC

$$C = \frac{2\pi fV^2}{1860}$$

$$C = \frac{2 \times 3,14 \times 50 \times 228,6^2}{1860}$$

$$C = 113,35 \mu\text{F}$$

Penyetelan orde harmonik yang akan difilter yaitu orde 3 yang diturunkan sedikit untuk mencegah resonansi frekuensi. Perhitungan nilai induktor (L) filter orde 3:

1

$$L = (2\pi fh)2C$$

$$L = \frac{1}{(2 \times 3,14 \times 50 \times 2,9)^2 \times 113,35 \times 10^{-6}}$$

$$L = 0,010639 \text{ H}$$

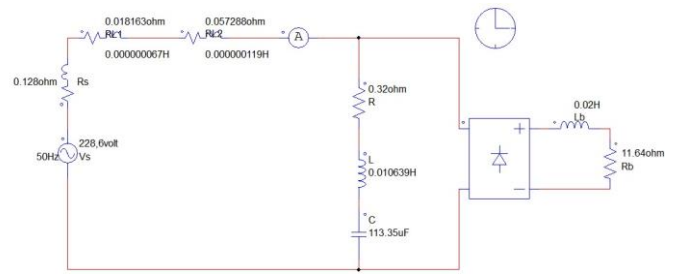
Perhitungan nilai tahanan induktor (R):

$$R = \frac{X_L}{Q_f} = \frac{2\pi fhL1}{Q_f}$$

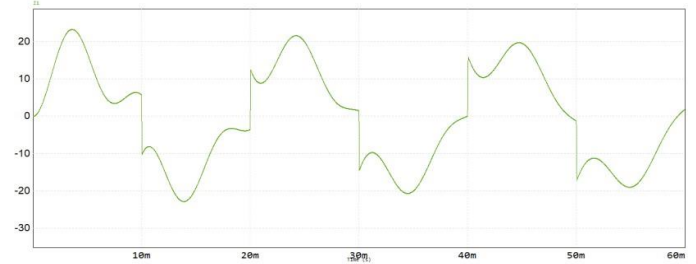
$$R = \frac{2 \times 3,14 \times 50 \times 2,9 \times 0,010639}{30}$$

$$R = 0,32 \text{ ohm}$$

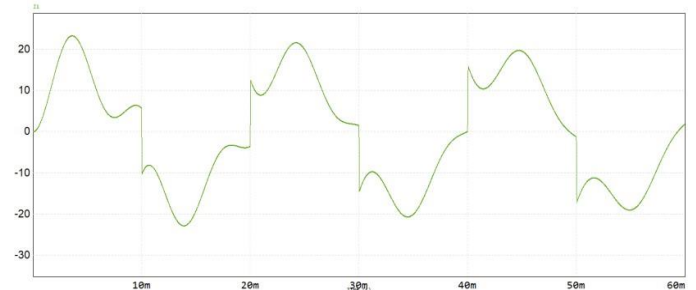
Tahap selanjutnya ialah merancang filter pasif *single tuned* 150 Hz. Berikut rangkaian simulasi filter pasif *single tuned*.



Gbr. 4 Rangkaian simulasi pemasangan filter pasif single tuned



Gbr. 5 Bentuk gelombang arus



Gbr. 6 Bentuk spektrum arus

Simulasi PSIM sesuai gambar 4 menghasilkan nilai arus keluaran setelah dipasang filter. Bentuk gelombang gambar 5 menunjukkan gelombang arus yang telah dipasang filter. Arus harmonik secara lebih mudah dapat dilihat pada gambar spektrum FFT gambar 6.

Tahap selanjutnya setelah diperoleh hasil visualisasi SMVIEW simulasi spektrum arus harmonik arus input maka akan ditunjukkan perbandingan nilai arus harmonik orde 1 sampai dengan orde 20 dalam besaran ampere. Nilai yang dibandingkan yaitu nilai orde arus harmonik simulasi sebelum dan sesudah dipasang filter.

TABEL 5 PERBANDINGAN NILAI ARUS SEBELUM DAN SESUDAH DIPASANG FILTER

Frekuensi (Hz)	I tanpa filter (A)	I dengan filter (A)	Selisih nilai arus (A)
50	17,7	18	0,3
100	0,3	2,6	2,6
150	2,6	1,9	-0,7
200	0,1	0,7	0,6

250	1,7	1,4	-0,3
300	0,1	0,3	0,2
350	1,3	1,1	-0,2
400	0,1	0,2	0,1
450	1	0,8	-0,2
500	0	0,1	0,1
550	0,8	0,7	-0,1
600	0	0,1	0,1
650	0,7	0,6	-0,1
700	0	0,1	0,1
750	0,6	0,5	-0,1
800	0	0,1	0,1
850	0,5	0,4	-0,1
900	0	0,1	0,1
950	0,4	0,4	0
1000	0	0	0
Simulasi	THDI (%)		
Tanpa filter	25,6		
Dengan filter	20,4		

Pengujian kualitas daya listrik di Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda yang terdiri dari uji beban grup dan uji beban keseluruhan menunjukkan adanya nilai parameter faktor daya dan harmonik yang kurang baik. Investigasi rugi akibat faktor daya pada tabel 1 menunjukan beberapa fasa memiliki nilai faktor daya eksisting dibawah 0,85 standar SPLN 70-1 tahun 1985. Faktor daya yang tidak memenuhi standar diantaranya adalah faktor daya 0,84 pada fasa R panel, 0,46 fasa R dan 0,77 fasa T grup 1, 0,83 fasa R dan 0,75 fasa T grup 3. Data faktor daya terukur menunjukan terjadinya lagging. Hal ini terjadi akibat penggunaan beban nonlinear 3 unit blowing machine yang digunakan di setiap grup yang masing-masing terdiri dari motor induksi dan motor sinkron.

Faktor daya tiap fasa kemudain dikompensasi untuk mencapai nilai 0,99 menggunakan kapasitor bank. Perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank yang memiliki nilai kapasitas kapasitor mendekati nilai kapasitas kapasitor yang dibutuhkan. Sehingga kapasitor bank yang dipakai adalah kapasitor dengan kapasitas 0,93 kVAR sebanyak 2 unit (total=1,86 kVAR) untuk fasa T. Setelah faktor daya dikompensasi, daya aktif fasa beban yang di uji menjadi jauh lebih optimal dari daya sebelum perbaikan. Kapasitor bank tersebut selanjutnya dikonfigurasi sebagai komponen rangkaian filter harmonik yang akan dipasang.

Investigasi dan analisis nilai parameter harmonik yakni THDV dan THDI pada tabel 3 dan 4 menunjukan ditemukannya nilai THD yang melebihi standar. Merujuk

standar IEEE 619-2014, THDV beban yang melebihi standar adalah beban grup 1 sebesar 9,1% untuk fasa R, 11% untuk fasa S dan 9% untuk fasa T. Sedangkan nilai THDV setiap uji beban diketahui melebihi batas maksimum standar. Selanjutnya data hasil pengukuran disimulasikan menggunakan PSIM. Nilai masukan simulasi dibuat mendekati nilai sebenarnya berdasarkan data pengukuran. Harmonik arus dari orde 1 sampai orde 20 banyak ditemukan pada orde ganjil dengan nilai arus harmonik terbesar ada pada orde 3.

Pemasangan filter pasif single tuned orde 3 diaplikasikan pada sistem dengan tujuan untuk mereduksi harmonik arus pada fasa T panel. Hasil simulasi rangkaian dengan filter menunjukan kemampuan reduksi harmonik sebesar 5,4% dalam menurunkan THDI fasa T panel dari 25,6% menjadi 20,2%. Filter harmonik yang dibuat telah berhasil mereduksi harmonik yang muncul pada fasa T panel. Namun, nilai tersebut dapat dikatakan masih belum bisa menurunkan nilai THDI fasa T panel agar nilainya dapat turun dibawah 12% batas standar maksimum IEEE 519-2014.

#### IV. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kualitas daya listrik pada jaringan listrik Pabrik Plastik Sinar Tiga Bermuda dapat dikatakan kurang baik dikarenakan penggunaan beban non linear sehingga timbul rugi-rugi daya listrik akibat rendahnya faktor daya dan adanya fenomena harmonik. Hasil pengukuran uji beban menunjukan terdapat nilai faktor daya yang belum memenuhi standar SPLN 70-1 1985. Setelah diperbaiki daya aktif meningkat dibandingkan daya sebelum perbaikan. Harmonik pada fasa-fasa beban diketahui melebihi batas standar toleransi IEEE 519-2014. Pemasangan filter single tuned orde 3 berhasil mengurangi nilai THDI dari 25,6% menjadi 20,4% dengan kemampuan reduksi filter sebesar 5,2%.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Judul untuk ucapan terima kasih dan referensi tidak diberi nomor.

#### REFERENSI

- [1] PT PLN, Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN 2021-2023. Jakarta: PT PLN, 2021.
- [2] S. D. Cahyo, S. Nisworo, dan D. Pravitasari, "Audit Kualitas Daya Listrik Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr SOEROJO MAGELANG," THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Technology, 2021.
- [3] Juhana, "Analisa Pengaruh Beban Linier dan Beban Non Linier," dalam Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control (EPIC), 2018, hlm. 13–23.
- [4] P. Bagavathy, R. Latha, dan Elango, "A Case Study on The Impact of Power Quality Analysis in Textile Industry," dalam 2018 IEEE 13th International Conference on Industrial and Information System (ICIS) 2018-Proceedings, 2018, hlm. 453–456.
- [5] V. P. Ingale, N. K. Jadhav, N. K. Takawale, dan S. D. Magate, "Power Quality Analysis for Sugar Industry with Cogeneration," dalam 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational technologies (ICICCT), 2018, hlm. 776–781.
- [6] N. Mirajkar, R. Darashkar, P. Kolhe, T. Kazi, R. Jadhav, dan S. Kamble, "Power Quality Analysis and Performance Evaluation of Industrial Distribution System," International Journal of Recent Trends in Engineering and Research, vol. 6, no. 9, hlm. 1–10, 2020.

- [7] A. Carmanto, "Analisis Peningkatan Kinerja Kualitas Daya Listrik Tegangan 20 kV di Industri Berbasis Simulasi ETAP 12.6.0," *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control (EPIC)*, hlm. 1–12, 2019.
- [8] Rajesh. M. Holmukhe, A. Gandhar, S. R. Chauhan, dan M. N. Patil, "Power Quality Anaylsis of A Mechanical Industry - A Case Study," *Journal of Information and Optimization Sciences*, vol. 45, no. 3, hlm. 615–627, 2022.
- [9] Institute of Electrical Electronic Engineering, IEEE Std 519-2014 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. New Jersey, USA: IEEE, 2014.
- [10] International Electrotechnical Commision, IEC 60909-0 Short Circuit in 3 Phase Ac System. Jenewa: IEC, 2001. R. C. Dugan, *Electrical Power Systems Quality, Second Edition*. New York: McGraw-Hill, 2004.