

Analisis Daya Listrik *Total Harmonic Distortion* Terhadap Efisiensi Energi di PT. Indonesia Chemical Alumina

Hisyam Abdullah^{**1}, Adi Mulyadi², Ratna Mustika Yasi³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi, 68416, Indonesia

¹ hisyamelval@gmail.com, ² adimulyadi@unibabwi.ac.id, ³ ratnamustikayasi@unibabwi.ac.id

****Corresponding Author:** hisyamelval@gmail.com



Cite: <https://doi.org/10.63440/jef.v3i1.127>



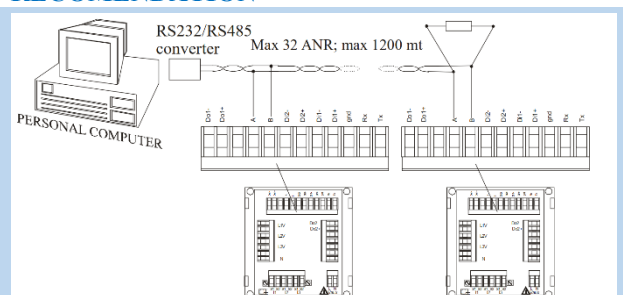
Read Online

ACCESS

Abstract: This study analyzes the relationship between Total Harmonic Distortion (THD) and electrical energy efficiency in medium-voltage distribution panels at PT Indonesia Chemical Alumina. Measurements were conducted using the ABB ANR96 power analyzer connected via RS485 communication and monitored using ABB SW01-128 software for seven days.

The observed parameters include THDv, THDi, power factor (PF), and kW/kVA ratio. The results show that the average THDv in all panels is 0%, indicating voltage distortion within standard limits. THDi values vary across panels, with the highest value recorded at 3.60% and the lowest at 0%. The average PF ranges from 0.66 to 0.72, indicating moderate efficiency conditions. Correlation analysis shows a negative relationship between THDi and energy efficiency with a correlation coefficient of -0.2329 and a determination coefficient of 24.73%, categorized as low correlation. These findings indicate that although THDi values are relatively small, they still directly influence energy efficiency in medium-voltage distribution systems.

RECOMENDATION



Keyword: THD, Power Quality, Energy Efficiency, Power Factor

Article Info

Recieved
January 20, 2026

Revised
March 23, 2026

Accepted
May 28, 2026

Published
June 30, 2026



1. PENDAHULUAN

. Penelitian mengenai kualitas daya listrik telah banyak dilakukan dengan menitikberatkan pada parameter seperti deviasi tegangan, fluktuasi, sag, ketidakseimbangan tiga fasa, harmonisa, dan deviasi frekuensi sebagai indikator utama evaluasi kualitas daya [1]. Perkembangan teknologi menjadikan peralatan listrik semakin sensitif terhadap gangguan, sehingga diperlukan pengembangan indeks kualitas daya serta metode deteksi dan koreksi yang lebih efektif [2].

Distorsi harmonisa dan ketidakseimbangan arus menjadi permasalahan dominan dalam audit kualitas daya [3], sedangkan gangguan kualitas daya dapat berasal dari instalasi internal maupun sistem distribusi eksternal sehingga pemantauan berkelanjutan sangat diperlukan [4]. Di PT. Indonesia Chemical Alumina, sistem distribusi tenaga listrik berperan penting dalam menjaga kontinuitas produksi 24 jam. Gangguan kualitas daya seperti harmonisa, fluktuasi tegangan, dan transien tidak hanya menurunkan efisiensi energi, tetapi juga berpotensi merusak peralatan serta menyebabkan downtime produksi [5]. Pada sektor industri, gangguan kualitas daya juga terbukti meningkatkan biaya operasional dan berisiko terhadap keselamatan kerja [6].

Sistem distribusi tenaga listrik PT. ICA menggunakan tegangan kerja 6,6 kV yang terintegrasi dengan Power Plant Boiler Turbine Generator (BTG), kemudian disalurkan ke Substation-1 (MVD-11) sebagai pusat distribusi utama sebelum diteruskan ke beberapa substation lainnya. Dalam sistem tersebut, tantangan utama menjaga kualitas daya adalah munculnya harmonisa akibat beban non-linear [7] atau perangkat yang menghasilkan arus tidak sinusoidal [8]. Distorsi gelombang ini dihitung melalui Total Harmonic Distortion (THD) [9], yang terdiri atas distorsi arus (THDi) [10] dan distorsi tegangan (THDv) [11]. Harmonisa dapat meningkatkan rugi-rugi jaringan, menaikkan suhu transformator [12], mempercepat penuaan peralatan [13], serta menurunkan efisiensi energi sistem secara keseluruhan [14].

Berdasarkan Equipment List Document PT. ICA, sistem distribusi memiliki berbagai beban nonlinier seperti inverter, UPS, transformator, VSD, motor induksi, dan perangkat elektronik dengan total beban 26.736,42 kVA. Beban nonlinier seperti inverter, penyearah, dan VSD merupakan sumber utama harmonisa [15], sementara UPS juga berkontribusi terhadap peningkatan distorsi seiring penggunaannya [16]. Secara umum, peralatan nonlinier menghasilkan arus tidak sinusoidal yang meningkatkan nilai THD [17] dan menyebabkan harmonisa arus masuk ke jaringan utilitas serta memengaruhi kualitas daya baik pada sistem domestik maupun industri [18].

Permasalahan harmonisa dapat dimitigasi melalui penerapan filter pasif single-tuned maupun high-pass. Penelitian pada sistem elektrifikasi KRL Jogja–Solo menunjukkan pemasangan filter orde 11, 13, dan 23 mampu menurunkan THD arus dari 27,4% menjadi 0,97% sesuai standar IEEE 519-2014 [19]. Studi di PT Semen Indonesia juga menunjukkan filter pasif mampu menurunkan THD tegangan meskipun beberapa beban masih di atas 5% [20], sedangkan simulasi ETAP memperlihatkan filter single-tuned efektif menekan distorsi arus hingga di bawah ambang batas standar IEEE [21].

PT. ICA menggunakan power *analyzer* ABB ANR96 yang terpasang pada panel distribusi MVD11 untuk memantau kualitas daya secara real-time melalui software SW01-128 dengan komunikasi RS485/Modbus. Data yang diperoleh meliputi THDv, THDi, faktor daya, serta rasio kW/kVA sebagai indikator efisiensi energi. Evaluasi kualitas daya dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran terhadap standar SPLN D5.004-1:2012 [22] dan IEEE 519-2014 [23]. Penelitian ini berfokus pada analisis kualitas daya berbasis THD serta hubungannya dengan efisiensi energi menggunakan data real-time ABB ANR96, sehingga diharapkan memberikan gambaran kondisi sistem distribusi dan menjadi dasar perencanaan mitigasi harmonisa serta optimasi energi listrik di PT. ICA.

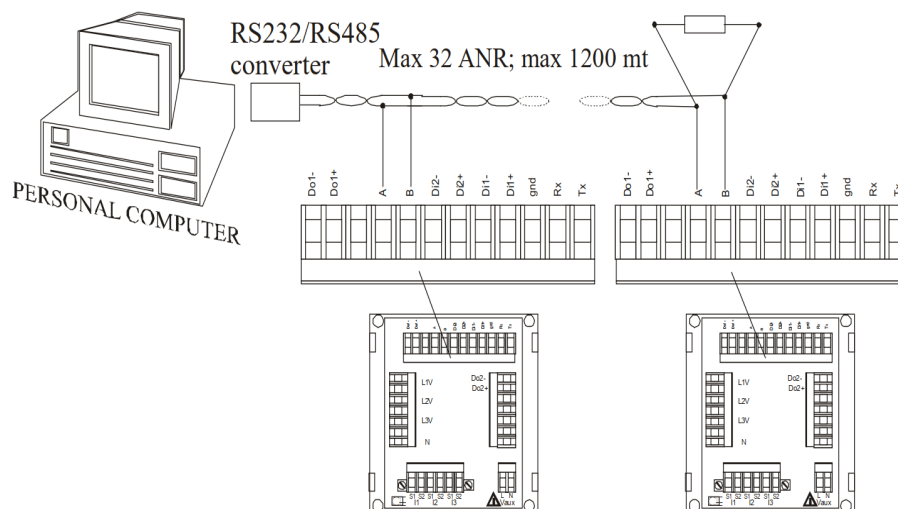
Berbeda dengan penelitian penelitian sebelumnya dalam Tabel 1, penelitian ini memiliki fokus yang lebih spesifik karena dilakukan langsung pada sistem distribusi tenaga listrik

industri bertegangan menengah 6,6 kV di PT. Indonesia Chemical Alumina, bukan pada motor satu fasa, inverter AC, PLTS, maupun sistem transportasi seperti KRL sebagaimana banyak dikaji peneliti terdahulu. Penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada simulasi, analisis laboratorium, atau evaluasi kinerja filter pasif untuk mitigasi harmonisa, sedangkan pada penelitian ini menggunakan data real time dari ABB ANR96 melalui SW0 1 128 untuk memantau THDv, THDi, faktor daya, dan rasio kW/kVA secara langsung pada lima panel distribusi MVD11 yang memasok beban nonlinier skala besar. Selain itu, penelitian ini tidak hanya membandingkan hasil pengukuran dengan standar SPLN dan IEEE, tetapi juga menganalisis hubungan antara distorsi harmonisa dengan efisiensi energi, suatu pendekatan yang belum menjadi fokus utama dalam penelitian penelitian terdahulu.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus pada sistem distribusi tenaga listrik PT. Indonesia chemical Alumina (PT. ICA). Metode kuantitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada pengukuran numerik parameter kualitas daya listrik (THDv, THDi, PF, kW/kVA) dan perbandingan hasil pengukuran dengan standar yang berlaku (SPLN D5.004-1:2012 dan IEEE Std 519-2014). Tahapan penelitian ini diawali dengan studi literatur yang membahas teori kualitas daya, harmonisa, serta standar SPLN dan IEEE sebagai dasar konseptual. Selanjutnya dilakukan perumusan masalah dan tujuan penelitian yang difokuskan pada hubungan antara Total Harmonic Distortion (THD) dan efisiensi energi di panel distribusi MVD11 PT. Indonesia Chemical Alumina (PT. ICA).

Penelitian ini menggunakan THDv dan THDi sebagai variabel bebas, serta rasio kW/kVA sebagai variabel terikat. Setelah itu dilakukan persiapan perangkat berupa instalasi ABB ANR96 dan konfigurasi komunikasi RS-485 dengan software SW01-128 untuk akuisisi data. Proses pengumpulan data dilakukan dengan merekam parameter kualitas daya (THDv, THDi, PF, dan kW/kVA) dari lima panel MVD11, kemudian data diolah dengan mengekstraksi file CSV dari SW01-128 untuk perhitungan nilai harmonisa dan efisiensi energi. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar SPLN D5.004-1:2012 dan IEEE Std 519-2014, lalu dianalisis untuk menilai kesesuaian kualitas daya. Selanjutnya dilakukan interpretasi hasil untuk mengidentifikasi korelasi harmonisa terhadap Power Factor dan dampaknya terhadap efisiensi energi. Akhirnya, penelitian menghasilkan kesimpulan dan rekomendasi teknis mengenai hubungan antara THD dan efisiensi energi dalam sistem distribusi listrik PT. ICA.



Gambar 1. Koneksi Antar Perangkat ANR96 Menggunakan Serial RS485

2.1 Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion terdiri dari THD tegangan (THD_v) dan THD arus (THD_i). Secara matematis, THD didefinisikan sebagai rasio nilai RMS seluruh komponen harmonisa terhadap nilai RMS komponen fundamental, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$THD_v = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2)$$

2.2 Total Demand Distortion (TDD)

Standar SPLN D5.004-1:2012 dan IEEE Std 519-2014 menetapkan batas distorsi harmonisa arus menggunakan parameter *Total Demand Distortion* (TDD), yang dinyatakan sebagai persentase terhadap arus beban maksimum (IL). Sementara itu, perangkat ABB ANR96 menghasilkan data harmonisa arus dalam bentuk THD_i. Oleh karena itu perlu dilakukan konversi nilai THD_i menjadi TDD menggunakan persamaan:

$$iTDD = iTHD \frac{I(\text{means})}{I_L} \quad (3)$$

Dalam penelitian ini, nilai I (meas) adalah nilai arus pada saat pengukuran, sementara adalah IL ditentukan dari arus maksimum aktual (*I_{max}*) yang tercatat selama periode pengambilan data 7 hari pada masing-masing panel distribusi. Pendekatan ini digunakan karena keterbatasan data beban jangka panjang, namun tetap representatif untuk evaluasi kesesuaian kualitas daya terhadap standar.

2.3 Efisiensi Energi Listrik

Efisiensi energi listrik dianalisis menggunakan rasio antara daya aktif (kW) dan daya semu (kVA), yang dirumuskan sebagai berikut.

$$Efisiensi\ Energi\ (\eta) = \frac{kW}{kVA} \quad (4)$$

Rasio kW/kVA menunjukkan tingkat pemanfaatan daya listrik sebagai daya aktif dan memiliki keterkaitan langsung dengan faktor daya (*Power Factor*, PF), sehingga digunakan sebagai indikator efisiensi energi listrik.

3. HASIL

3.1 Data Pengukuran

Data penelitian diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan power analyzer ABB ANR96 yang terpasang pada panel distribusi tegangan menengah MVD11. Pengukuran dilakukan pada kondisi operasi normal siang dan malam selama tujuh hari berturut-turut. Seluruh parameter listrik direkam secara real-time melalui software ABB SW01-128 menggunakan komunikasi RS485 dengan protokol Modbus RTU. Objek pengukuran difokuskan pada lima panel distribusi utama, yaitu MVD11#3, MVD11#6, MVD11#7, MVD11#8, dan MVD11#9, yang menyuplai berbagai beban nonlinier industri. Parameter yang dianalisis meliputi THD_v, THD_i, faktor daya (PF), daya aktif (kW), daya semu (kVA), serta rasio kW/kVA sebagai indikator efisiensi energi.



Gambar 2. Terminasi RJ485 perangkat ANR96 pada panel MVD11#9

3.2 Pengukuran Panel MVD11 menggunakan ANR96

Perangkat ANR96 digunakan sebagai alat ukur kualitas daya listrik pada panel distribusi, dengan data pengukuran ditransfer ke komputer menggunakan software ABB SW01-128 sehingga parameter kualitas daya dapat ditampilkan dan dimonitor secara real-time. Sebelum proses pengukuran dilakukan, setiap perangkat ANR96 dikonfigurasi pada mode komunikasi serial melalui menu pengaturan internal. Konfigurasi ini meliputi penentuan address sebagai identitas komunikasi, yaitu Address 001 untuk Panel MVD11#3, Address 002 untuk Panel MVD11#6, Address 003 untuk Panel MVD11#7, Address 004 untuk Panel MVD11#8, dan Address 005 untuk Panel MVD11#9. Setelah pengaturan komunikasi selesai, seluruh perangkat ANR96 dihubungkan menggunakan kabel komunikasi RS485 dengan metode terminasi berantai (daisy chain).

Proses terminasi dilakukan secara seragam pada seluruh panel, di mana masing-masing perangkat saling terhubung menggunakan jumper terminasi, sehingga pada ujung akhir jaringan hanya terdapat satu jalur kabel utama sesuai karakteristik sistem RS485 untuk menjaga kestabilan komunikasi. Sebagai penghubung antara jaringan RS485 dan komputer, digunakan perangkat konverter USB to RS485 merek Waveshare yang mendukung sistem plug and play. Agar perangkat dapat dikenali oleh komputer, dilakukan instalasi driver melalui Device Manager hingga konverter terdeteksi pada menu Port (COM & LPT) sebagai COM port tertentu yang selanjutnya digunakan pada konfigurasi software. Konfigurasi jaringan pada software ABB SW01-128 dilakukan melalui menu Network dengan memilih opsi Configure dan menentukan COM Port sesuai dengan pengaturan pada Device Manager. Setelah konfigurasi dikirim dan koneksi berhasil, software akan menampilkan status perangkat ANR96 yang terhubung. Data pengukuran kemudian ditampilkan melalui menu General – Real Time Measures, dengan memilih address ANR96 sesuai panel yang diukur, sehingga seluruh parameter kualitas daya listrik dapat dipantau secara real-time.

Tabel 1. Data hasil pengukuran hari ke-1 siang

No	Parameter			Pengamatan hari ke-1 Siang				
	Kategori	Label	Satuan	MVD11# 3	MVD11# 6	MVD11# 7	MVD11# 8	MVD11# 9
1	Voltage	3Ph V	kV	6,614	6,62	6,612	6,606	6,586
2	Current	3Ph I	A	733	40,84	63,29	220,5	28,22
3	THD	V1	%	0	0	0	0	0
4	THD	V2	%	0	0	0	0	0
5	THD	V3	%	0	0	0	0	0
6	THD	I1	%	0	2,447	0	3,24	1,403
7	THD	I2	%	1,124	2,727	0	3,67	1,308
8	THD	I3	%	0	2,849	0	3,83	6,745
9	Active Power	3Ph W	MW	6,904	0,362	0,598	2,117	0,283
10	Reactive Power	3Ph Q	MVAr	4,813	0,301	0,411	1,391	0,186
11	Apparent Power	3Ph S	MVA	9,71	0,543	0,835	2,921	0,396
12	Cos Phi	3Ph cosφ		0,824	0,766	0,822	0,837	0,832
13	Power Factor	3Ph PF		0,711	0,667	0,716	0,725	0,715

Pengambilan data hari-2 dilakukan sebagai pengukuran kondisi kualitas daya listrik pada panel distribusi MVD11 dalam keadaan operasi normal. Data ini menjadi acuan lanjutan untuk analisis distorsi harmonisa dan efisiensi energi serta sebagai pembandingan dengan hasil pengukuran pada hari sebelum dan selanjutnya.

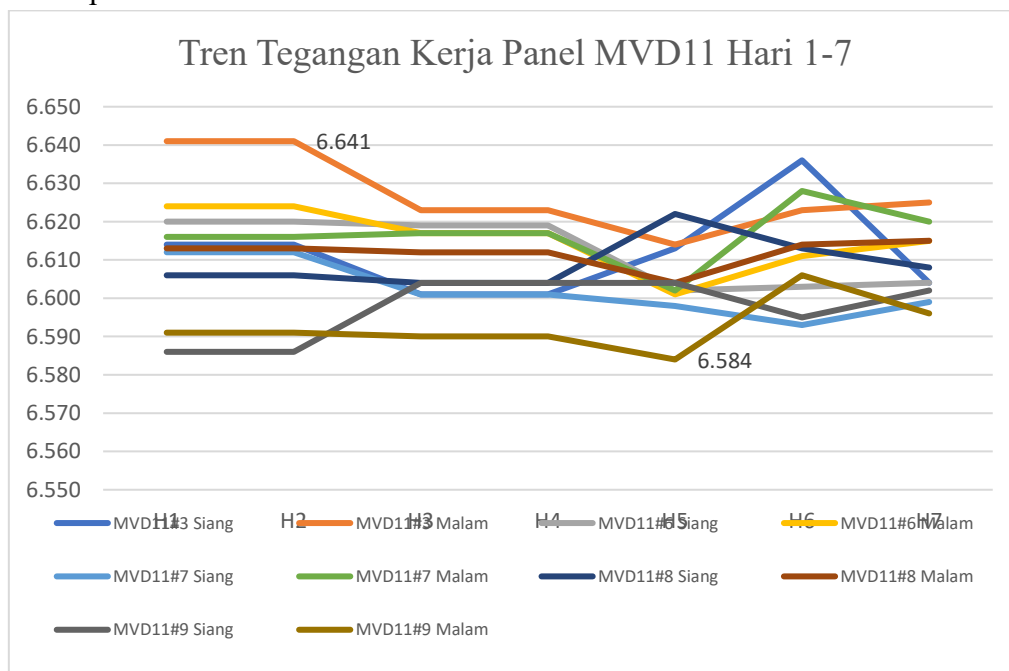
Tabel 2. Data hasil pengukuran hari ke-1 malam

No	Parameter			Pengamatan hari ke-1 Malam				
	Kategori	Label	Satuan	MVD11# 3	MVD11# 6	MVD11# 7	MVD11# 8	MVD11# 9
1	Voltage	3Ph V	kV	6,641	6,624	6,616	6,613	6,591
2	Current	3Ph I	A	730,6	43,35	77,88	212,3	29,74
3	THD	V1	%	0	0	0	0	0
4	THD	V2	%	0	0	0	0	0
5	THD	V3	%	0	0	0	0	0
6	THD	I1	%	1,038	2,657	0	2,916	1,219
7	THD	I2	%	1,202	2,938	0	2,978	1,554
8	THD	I3	%	1,161	3,407	0	3,108	6,348
9	Active Power	3Ph W	MW	6,913	0,387	0,756	2,027	0,300
10	Reactive Power	3Ph Q	MVAr	4,883	0,314	0,477	1,361	0,195
11	Apparent Power	3Ph S	MVA	9,751	0,575	1,027	2,816	0,416
12	Cos Phi	3Ph cosφ		0,819	0,778	0,847	0,833	0,839

13	Power Factor	3Ph PF	0,709	0,674	0,736	0,72	0,722
----	--------------	--------	-------	-------	-------	------	-------

Berdasarkan data pengukuran tegangan tiga fasa (3Ph V) pada panel distribusi MVD11 selama tujuh hari pengamatan (H1–H7) yang dapat dilihat pada lampiran, secara umum seluruh panel menunjukkan pola tegangan yang relatif stabil dengan fluktuasi kecil dari hari ke hari. Nilai tegangan rata-rata harian berada pada rentang 6,593 kV hingga 6,627 kV, yang masih sangat dekat dengan nilai nominal sistem dan berada dalam batas toleransi standar operasi jaringan distribusi tegangan menengah ($\pm 5\%$). Untuk panel MVD11#3, baik kondisi siang maupun malam tegangan cenderung konstan pada H1–H4, kemudian mengalami kenaikan ringan pada H6, terutama pada kondisi siang yang mencapai 6,636 kV, sebelum kembali menurun pada H7. Pola ini mengindikasikan adanya variasi beban atau pengaruh suplai jaringan. Untuk panel MVD11#6 memperlihatkan tren penurunan bertahap dari H1 hingga H5, kemudian relatif stabil hingga H7. Perubahan ini konsisten baik pada siang maupun malam hari, dengan selisih tegangan harian yang kecil ($\leq 0,023$ kV), menunjukkan karakteristik beban yang stabil dan sistem distribusi yang terkendali.

Pada MVD11#7, kondisi siang hari menunjukkan penurunan tegangan paling rendah pada H6 (6,593 kV), sementara kondisi malam hari justru mengalami kenaikan pada H6 hingga 6,628 kV. Perbedaan pola ini mengindikasikan adanya perbedaan profil beban antara siang dan malam, di mana beban malam hari cenderung lebih ringan sehingga tegangan sedikit meningkat. Pada panel MVD11#8 menunjukkan pola fluktuasi yang sangat kecil dari H1 hingga H7, baik siang maupun malam. Kenaikan tegangan pada H5–H6 relatif seragam dan kembali stabil pada H7, menandakan sistem distribusi pada panel ini bekerja dalam kondisi optimal. Sementara itu, MVD11#9 memiliki nilai tegangan rata-rata paling rendah dibandingkan panel lainnya. Terlihat adanya kenaikan tegangan pada H3–H4, kemudian penurunan pada H5, dan kembali meningkat pada H6 sebelum sedikit turun pada H7. Meskipun demikian, nilai minimum 6,584 kV dan maksimum 6,606 kV masih berada dalam batas aman operasi sistem.



Gambar 3. Tren Tegangan Kerja Panel MVD11 hari 1-7

4. PEMBAHASAN

4.1 Analisis Tren THDv Panel MVD11

Pengukuran THDv rata-rata pada panel distribusi MVD11#3 hingga MVD11#9, baik pada kondisi siang maupun malam hari, seluruh nilai THDv pada setiap fasa (H1–H7) tercatat sebesar 0,0%, dengan nilai minimum dan maksimum yang sama. Tren ini menunjukkan bahwa tidak terdeteksi adanya distorsi harmonisa tegangan selama periode pengukuran, sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas tegangan sistem distribusi berada dalam kondisi sangat baik dan ideal. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sumber tegangan relatif bersih, impedansi sistem cukup rendah, serta pengaruh beban nonlinier terhadap distorsi tegangan masih sangat kecil.

4.2 Analisis tren THDi Panel MVD11

Hasil pengukuran THDi rata-rata pada panel distribusi MVD11#3 hingga MVD11#9, terlihat bahwa tingkat distorsi harmonisa arus bervariasi antar panel serta antara kondisi siang dan malam hari. Panel MVD11#3 menunjukkan nilai THDi relatif rendah dengan rata-rata 0,6% pada siang hari dan 0,8% pada malam hari, menandakan karakteristik beban yang cenderung linier. Panel MVD11#6 dan MVD11#8 memiliki nilai THDi lebih tinggi, masing-masing berada pada rentang 2,7–3,2% dan 3,3–3,4%, yang mengindikasikan kontribusi beban nonlinier yang cukup dominan.

Nilai THDi tertinggi tercatat pada panel MVD11#9 kondisi siang dengan maksimum mencapai 4,5%, meskipun masih berada di bawah batas standar IEEE 519. Panel MVD11#7 menunjukkan kondisi khusus, di mana THDi bernilai 0,0% pada siang hari, namun pada malam hari muncul distorsi dengan nilai maksimum 3,3%, yang mengindikasikan adanya perubahan pola beban. Secara umum, tren THDi cenderung meningkat pada panel dengan arus beban yang lebih besar dan tidak seimbang, sehingga harmonisa arus menjadi faktor yang lebih dominan dibandingkan harmonisa tegangan dalam memengaruhi kualitas daya dan efisiensi energi sistem.

3.3 Analisis Tren Faktor Daya Panel MVD11

Berdasarkan hasil pengukuran Power Factor (3Ph PF) dengan mengacu pada nilai ideal $PF = 0,85$, dapat disimpulkan bahwa seluruh panel masih berada di bawah nilai ideal tersebut, meskipun menunjukkan kestabilan yang cukup baik dari hari ke hari. Panel MVD11#3 memiliki nilai PF rata-rata sekitar 0,708–0,712 baik siang maupun malam, yang menandakan kontribusi daya reaktif masih cukup besar. Panel MVD11#6 menunjukkan nilai PF terendah dibandingkan panel lain, dengan rata-rata 0,664 pada siang hari dan 0,673 pada malam hari, sehingga memiliki deviasi paling besar terhadap nilai ideal dan berpotensi menyebabkan rendahnya efisiensi pemanfaatan daya.

Pada panel MVD11#7, nilai PF siang hari sempat meningkat hingga maksimum 0,734, namun secara rata-rata masih berada di kisaran 0,724 dan belum mencapai nilai ideal, sedangkan pada malam hari terjadi fluktuasi dengan nilai minimum 0,673. Panel MVD11#8 dan MVD11#9 menunjukkan nilai PF yang relatif lebih stabil dengan rata-rata berada pada kisaran 0,713–0,722, namun tetap berada di bawah standar ideal 0,85. Secara keseluruhan meskipun sistem distribusi MVD11 beroperasi secara stabil, tingkat faktor daya yang masih rendah yang mengindikasikan perlunya perbaikan faktor daya, seperti optimasi atau penambahan kapasitor bank, guna meningkatkan efisiensi sistem, menurunkan rugi-rugi daya, dan mendekati nilai PF ideal 0,85.

3.4 Analisis THDv dan THDi Panel MVD11

Berdasarkan hasil pengukuran Total Harmonic Distortion Voltage (THDv) pada seluruh Panel MVD11 (MVD11#3, #6, #7, #8, dan #9) baik pada siang maupun malam hari, seluruh nilai THDv fasa V1, V2, dan V3 tercatat sebesar 0% selama periode pengamatan hari ke-1 hingga hari ke-7. Nilai ini berada jauh di bawah batas maksimum 5% yang ditetapkan oleh SPLN D5.004-1:2012 untuk sistem hingga 66 kV dan IEEE Std 519-2014 untuk sistem 1–69 kV pada titik kopling umum (PCC).

Berdasarkan hasil evaluasi Total Harmonic Distortion Current (THDi) pada seluruh Panel MVD11 baik pada kondisi siang maupun malam hari, diperoleh bahwa nilai THDi maksimum masing-masing panel pada siang hari adalah 1,49% (MVD11#3), 3,15% (MVD11#6), 0% (MVD11#7), 7,01% (MVD11#8), dan 10,08% (MVD11#9). Setelah dinormalisasi terhadap arus beban maksimum, nilai Total Demand Distortion (TDD) maksimum siang hari berturut-turut sebesar 1,45%, 3,05%, 0%, 6,86%, dan 9,95%.

Pada kondisi malam hari, nilai THDi maksimum tercatat sebesar 1,34% (MVD11#3), 3,59% (MVD11#6), 3,43% (MVD11#7), 3,75% (MVD11#8), dan 6,86% (MVD11#9), dengan nilai TDD maksimum masing-masing sebesar 1,31%, 3,46%, 2,82%, 3,66%, dan 6,77%. Seluruh nilai TDD tersebut masih berada di bawah batas yang ditetapkan oleh SPLN D5.004-1:2012 dan IEEE Std 519-2014, yaitu 6% hingga 20% sesuai dengan kategori rasio I_h/I_L.

3.5 Analisis Efisiensi Energi Panel MVD11

Berdasarkan hasil Analisis efisiensi energi listrik pada panel MVD11#3, MVD11#6, MVD11#7, MVD11#8, dan MVD11#9, diperoleh variasi nilai faktor daya (PF) dan rasio kW/kVA yang mencerminkan perbedaan karakteristik beban dan tingkat pemanfaatan energi listrik pada masing-masing panel. Secara umum, seluruh panel menunjukkan nilai PF dan rasio kW/kVA yang masih berada di bawah batas minimum standar SPLN 70-1:1985 ($PF \geq 0,85$), baik pada periode siang maupun malam. Panel MVD11#6 memiliki nilai PF dan rasio kW/kVA paling rendah dibandingkan panel lainnya, dengan nilai rata-rata PF berada pada kisaran 0,66–0,67, yang mengindikasikan dominasi daya reaktif dan tingkat inefisiensi energi yang paling tinggi. Panel MVD11#3 menunjukkan nilai PF sedikit lebih baik dibandingkan MVD11#6, namun masih berada pada kisaran 0,71–0,72, sehingga belum memenuhi kriteria efisiensi energi yang direkomendasikan. Panel MVD11#7, MVD11#8, dan MVD11#9 memperlihatkan kinerja efisiensi energi yang relatif lebih baik, dengan nilai PF dan rasio kW/kVA berada pada kisaran 0,71–0,72 hingga 0,72–0,73, serta menunjukkan kestabilan yang lebih tinggi terutama pada periode malam hari. Meskipun demikian, nilai-nilai tersebut tetap berada di bawah batas standar SPLN, sehingga secara keseluruhan sistem distribusi MVD11 masih mengalami inefisiensi energi akibat dominasi daya reaktif dan kemungkinan pengaruh distorsi harmonisa

3.6 Analisis korelasi THDv dan THDi dengan kW/kVA pada Panel MVD11

Berdasarkan hasil analisis korelasi antara THDv dan rasio kW/kVA pada seluruh panel MVD11, diperoleh nilai koefisien korelasi sebesar $r = 0$ baik pada periode siang maupun malam hari. Nilai koefisien determinasi (KD) sebesar 0% menunjukkan bahwa variasi efisiensi energi yang direpresentasikan oleh rasio kW/kVA tidak dipengaruhi oleh distorsi harmonisa tegangan. Hal ini mengindikasikan bahwa THDv pada sistem distribusi tegangan menengah 6,6 kV relatif terkendali dan berada pada tingkat yang tidak berdampak terhadap

perubahan efisiensi energi listrik. Dengan demikian, pengaruh harmonisa tegangan terhadap efisiensi energi dapat diabaikan.

Selanjutnya hasil Analisis korelasi antara Total Harmonic Distortion arus (THDi) dan rasio kW/kVA pada panel distribusi MVD11 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (r) berada pada rentang $-0,951$ hingga $+0,729$, dengan nilai rata-rata sebesar $-0,233$ dan koefisien determinasi (KD) rata-rata sebesar $24,73\%$. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa sekitar $24,73\%$ variasi efisiensi energi listrik berkaitan dengan perubahan THDi, sementara sisanya dipengaruhi oleh faktor lain seperti karakteristik beban dan kondisi operasi sistem. Pada sebagian besar panel, korelasi THDi terhadap kW/kVA menunjukkan arah negatif dengan tingkat korelasi rendah hingga cukup, seperti pada MVD11#3 ($r = -0,208$ siang; $r = -0,369$ malam) dan MVD11#6 ($r = -0,387$ siang; $r = -0,012$ malam). Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun harmonisa arus terukur, pengaruhnya terhadap efisiensi energi masih terbatas. Namun, pada MVD11#7 periode malam, diperoleh korelasi sangat tinggi ($r = -0,951$; KD = $90,52\%$), yang menunjukkan bahwa peningkatan THDi berkaitan kuat dengan penurunan rasio kW/kVA akibat peningkatan arus RMS dan daya semu pada kondisi beban malam hari.

Pada MVD11#9, ditemukan korelasi negatif cukup kuat pada siang hari ($r = -0,749$; KD = $56,11\%$), sedangkan pada malam hari muncul korelasi positif ($r = +0,729$; KD = $53,12\%$), yang mengindikasikan adanya karakteristik beban dan titik operasi tertentu di mana peningkatan daya aktif terjadi bersamaan dengan peningkatan harmonisa arus. Secara keseluruhan, hasil ini menegaskan bahwa harmonisa arus memiliki keterkaitan yang lebih dominan terhadap efisiensi energi dibandingkan harmonisa tegangan, dengan pengaruh yang sangat dipengaruhi oleh waktu operasi dan karakteristik beban masing-masing panel.

Berdasarkan rangkuman hasil analisis korelasi, distorsi harmonisa tegangan (THDv) menunjukkan nilai koefisien korelasi $r = 0$ dengan koefisien determinasi (KD) sebesar 0% pada seluruh panel MVD11, baik pada periode siang maupun malam, sehingga tidak menunjukkan keterkaitan terhadap efisiensi energi yang direpresentasikan oleh rasio kW/kVA. Sebaliknya, distorsi harmonisa arus (THDi) memperlihatkan keterkaitan yang lebih nyata dengan nilai koefisien korelasi berada pada rentang $-0,951$ hingga $+0,729$, serta KD maksimum mencapai $90,52\%$, dengan nilai rata-rata r sebesar $-0,233$ dan KD sebesar $24,73\%$. Hasil ini menunjukkan bahwa secara umum peningkatan THDi berkaitan dengan penurunan efisiensi energi, meskipun pada kondisi dan panel tertentu hubungan tersebut dipengaruhi oleh karakteristik beban dan titik operasi sistem. Dengan demikian, pengendalian harmonisa arus memiliki peran yang lebih dominan dibandingkan harmonisa tegangan dalam upaya peningkatan efisiensi energi pada sistem distribusi listrik industri.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran, pengolahan data, dan analisis yang telah dilakukan terhadap kualitas daya listrik pada panel distribusi MVD11 menggunakan data real-time dari perangkat ANR96, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang disusun sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian. Pertama pengukuran nilai THD dan parameter daya listrik pada panel distribusi MVD11#3, MVD11#6, MVD11#7, MVD11#8, dan MVD11#9 diperoleh dengan menghubungkan komputer dengan perangkat ABB ANR96 melalui konverter USB to RS485 dan ditampilkan menggunakan Software SW01-128. Hasil pengukuran tersebut diketahui bahwa Total Harmonic Distorsion (THDv) masih di bawah 5%

dan Total Demand Distorsion (TDD) masih berada di bawah batas yang ditetapkan oleh SPLN D5.004-1:2012 dan IEEE Std 519-2014, yaitu 6% hingga 20% sesuai dengan kategori rasio Ihs/IL. Sehingga harmonisa tegangan dan arus masih memenuhi standar.

Kedua bahwa hasil perhitungan efisiensi energi listrik berdasarkan faktor daya (PF) dan rasio kW/kVA menunjukkan adanya variasi performa efisiensi antar panel dan waktu operasi. Faktor daya dengan nilai bervariasi 0,644 hingga 0,724 dan variasi rasio kW/kVA dari 0,663 hingga 0,722. Kondisi tersebut cenderung menurun khususnya pada periode malam hari, yang mengindikasikan peningkatan daya semu (kVA) tanpa diikuti kenaikan daya aktif (kW) secara proporsional. Sehingga berdasarkan kondisi ini distribusi listrik PT. ICA pada panel MVD11 masih belum memenuhi $PF \geq 0.85$ sesuai standar PLN

Ketiga adalah analisis hubungan antara THDv dan efisiensi energi (kW/kVA) menunjukkan tidak adanya keterkaitan, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi $r = 0$ dengan koefisien determinasi (KD) sebesar 0% pada seluruh panel MVD11, baik pada periode siang maupun malam hari. Sebaliknya, analisis hubungan antara distorsi harmonisa arus (THDi) dan rasio kW/kVA menunjukkan keterkaitan yang lebih nyata dengan nilai koefisien korelasi yang bervariasi pada setiap panel dan waktu operasi. Nilai koefisien korelasi THDi terhadap kW/kVA berada pada rentang $-0,951$ hingga $+0,729$, dengan nilai rata-rata r sebesar $-0,233$ dan koefisien determinasi rata-rata sebesar 24,73%. Nilai ini menunjukkan bahwa sekitar 24,73% variasi efisiensi energi listrik yang direpresentasikan oleh rasio kW/kVA berkaitan dengan variasi THDi, sedangkan sisanya dipengaruhi oleh faktor lain. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun nilai THDi relatif kecil, distorsi harmonisa tetap berpengaruh langsung terhadap efisiensi energi sistem distribusi tegangan menengah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas PGRI Banyuwangi yang telah memberikan fasilitas dalam menyelesaikan proyek skripsi. Proyek ini merupakan syarat untuk memenuhi penyelesaian program sarjana teknik elektro (S-1) di Universitas PGRI Banyuwangi.

REFERENSI

- [1] J. Zheng, R. Chen, Z. Zhang, X. Wei, and J. Xue, "Analysis and comprehensive assessment method of power quality in advanced distribution networks based on complex network theory," *Front. Energy Res.*, vol. 12, no. December, pp. 1–13, 2024, doi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1501006>
- [2] G. N. Popa, "Electric Power Quality through Analysis and Experiment," *Energies*, vol. 15, no. 21, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/en15217947>
- [3] M. Al Saaideh, O. Ananbeh, T. Almomani, E. A. Feilat, and H. J. Khasawneh, "Power quality audit of a school of engineering building - case study," *Int. J. Emerg. Trends Eng. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 151–156, 2020, doi: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/20812020>
- [4] M. C. G. Ramos and C. M. V. Tahan, "An assessment of the electric power quality and electrical installation impacts on medical electrical equipment operations at health care facilities," *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 6, no. 4, pp. 638–645, 2009, doi: <https://doi.org/10.3844/ajas.2009.638.645>
- [5] K. Olikara, "Power Quality Issues, Impacts, and Mitigation for Industrial Customers," *Power-Wp002a-En-P*, p. 8, 2015. <http://www.southwoodient.com/>

- [6] T. Siostrzonek, J. Wójcik, M. Dutka, and W. Siostrzonek, "Impact of Power Quality on the Efficiency of the Mining Process," *Energies*, vol. 17, no. 22, pp. 1–14, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/en17225675>
- [7] Koerniawan Tony and Hasanah Aas Wasri, "Kajian Harmonisa Pada Pemakaian Tenaga Listrik Gedung STT PLN Jakarta," *Kilat*, vol. 8, no. 2, pp. 180–189, 2019.
- [8] R. Irwanto, "Analisa Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa," *J. Persegi Bulat*, vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2022, doi: <https://doi.org/10.36490/jurnalpersegi bulat.v1i1.248>
- [9] F. J. Siahaan, E. M. Silalahi, B. Widodo, and R. Purba, "Pengukuran Total Harmonic Distortion (Thd) Terhadap Lampu Hemat Energi (Lhe) Dan Light-Emitting Diode (Led)," *Lektrokom J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 3, no. 1, p. 8, 2020, doi: <https://doi.org/10.33541/lektrokom.v3i1.3372>
- [10] S. Thakur, N. M. Butlero, and J. Holboll, "Effects of harmonics on temperature rise and power loss of a distribution transformer," 2022 9th Int. Conf. Cond. Monit. Diagnosis, C. 2022, vol. 2022-Janua, pp. 732–735, 2022, doi: <https://doi.org/10.23919/CMD54214.2022.9991585>
- [11] E. ScienceDirect, "Total Harmonic Distortion On this page Chapters and Articles Interfacing DACs to Loads Assessment and mathematical modeling of energy quality parameters of grid connected photovoltaic inverters." [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/total-harmonic-distortion>
- [12] M. S. Seddik, M. B. Eteiba, and J. Shazly, "Evaluating the Harmonic Effects on the Thermal Performance of a Power Transformer," *Energies*, vol. 17, no. 19, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/en17194871>
- [13] D. B. M. Said, Z. I. M. Yassin, N. Ahmad, N. N. B. N. Abd Malik, and H. Abdullah, "Impact of unbalanced harmonic loads towards winding temperature rise using fem modeling," *Indones. J. Electr. Eng. Informatics*, vol. 8, no. 2, pp. 409–418, 2020, doi: <https://doi.org/10.11591/ijeei.v8i2.1283>
- [14] N. R. Tinambunan and Rahmaniari, "Analisis Dampak Harmonisa terhadap Efisiensi Energi pada Pengoperasian Inverter Air Conditioner," *Jurnal Nasional Teknologi Komputer*, vol. 5, pp. 148–159, 2025. doi <https://doi.org/10.61306/jnastek.v5i3.200>
- [15] Firoz Kobir, Abdur Razzak Khan, and Vinukumar Luckose, "Harmonic distortion-based condition monitoring of distribution transformers in a solar farm," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 26, no. 2, pp. 3427–3435, 2025, doi: <https://doi.org/10.30574/wjarr.2025.26.2.2009>
- [16] M. Kumar, M. A. Uqaili, Z. A. Memon, and B. Das, "Experimental Harmonics Analysis of UPS (Uninterrupted Power Supply) System and Mitigation Using Single-Phase Half-Bridge HAPF (Hybrid Active Power Filter) Based on Novel Fuzzy Logic Current Controller (FLCC) for Reference Current Extraction (RCE)," *Adv. Fuzzy Syst.*, vol. 2022, 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/5466268>
- [17] G. Davide, "Harmonic Distortion Models of Non-Linear Loads," Eindhoven University of Technology, 2006. [Online]. Available: <https://research.tue.nl/files/68270318/615682.pdf>
- [18] P. R. Nasini, N. R. Narra, and A. Santosh, "Modeling and Harmonic Analysis of Domestic/Industrial Loads," *Int. J. Eng. Res. Appl.*, vol. 2, no. 5, pp. 485–491, 2012.
- [19] A. M. AKBAR and C. F. NUGRAHA, "Analisis Harmonik dan Perbaikan Nilai THD Arus dengan Perancangan Filter Pasif Single-Tuned," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 12, no. 4, p. 892, 2024, doi: <https://doi.org/10.26760/elkomika.v12i4.892>
- [20] L. Assaffat and S. A. Chandra, "Analisis Perbaikan Thd Tegangan Listrik Dengan Filter Pasif Studi Kasus Di Finish Mill Tuban IV PT Semen Indonesia (Persero) Tbk," *RELE (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 37–43, 2018, doi: <https://doi.org/10.30596/rele.v1i1.2272>

- [21] O. A. Rozak, “Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0,” *Epic J. Electr. Power, Instrum. Control*, vol. 2, no. 2, pp. 1–12, 2019, doi: <https://doi.org/10.32493/epic.v2i2.2878>
- [22] K. G. H. Mangunkusumo, J. Hartono, and P. A. A. Pramana, “Harmonic evaluation of Plug-in Electric Vehicle on distribution network system,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, no. 4, p. 042034, 2021, doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/4/042034>
- [23] A. Zulkarnaini, R. Sinambela, L. Lisapaly, and M. Manik, “Analisis Pengukuran Harmonisa Tegangan Dan Arus Listrik Di Gedung Administrasi Universitas Jayabaya,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 26, no. 3, pp. 132–138, 2024, doi: <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.3.132-138>