



Department of Digital Business

**Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)**

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 15278-15290

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

---

## Analisa Pengukuran Kualitas Daya dan Pengaruhnya terhadap Performa Transformator Distribusi 1600 kVA Menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198 di PT.Salim Ivomas Pratama Tbk

Novita Vadina Marta Ria, Royb Fathkur Rizal

Jurusan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Universitas Negeri Malang, Indonesia

[novita.vadina.2309346@students.um.ac.id](mailto:novita.vadina.2309346@students.um.ac.id), [fatkhurizal.fv@um.ac.id](mailto:fatkhurizal.fv@um.ac.id)

### Abstrak

*Power quality is a crucial factor affecting the performance and reliability of distribution transformers in industrial power systems. Deviations such as harmonic distortion, load imbalance, voltage fluctuations, and transient disturbances can lead to increased losses, overheating, and reduced transformer insulation life. This study aims to analyze power quality measurements and their impact on the performance of a 1600 kVA distribution transformer using the Hioki PQ3198 Power Quality Analyzer at PT. Salim Ivomas Pratama Tbk. Real-time measurements were conducted on parameters including voltage (average 396-406 V), current (460-1060 A), frequency (50 Hz), power factor, and harmonic distortion (THD voltage <8%, THD current 6-8%) in a three-phase system with ABB Dyn5 specifications, ONAN cooling, and 5.9% impedance. A quantitative descriptive method with field data analysis revealed stable voltage and frequency with no significant voltage dips/swells, and voltage harmonics complying with IEEE 519 standards, although current harmonics were relatively high due to non-linear loads like inverters. The evaluation results indicate relatively good power quality, with optimal operational efficiency and low risk to equipment degradation, supported by normal transformer oil DGA analysis (TDCG 197 ppm). However, elevated current THD poses potential efficiency losses and accelerated aging, recommending harmonic filters, periodic monitoring, and load balancing to enhance distribution system reliability. This research provides insights into the relationship between power quality and transformer performance, supporting preventive maintenance in industrial installations.*

*Keywords: Power Quality, Distributions Transformers, Harmonics, Measurement, Systems*

### 1. Latar Belakang

Transformator distribusi merupakan komponen utama dalam sistem tenaga listrik industri yang berfungsi menyesuaikan tegangan sesuai kebutuhan beban. Keandalannya sangat berpengaruh terhadap kestabilan operasional, karena kualitas tegangan dan arus yang tidak stabil dapat menurunkan performa peralatan, meningkatkan rugi-rugi energi, serta mempercepat degradasi isolasi akibat faktor seperti overheating, beban berlebih, harmonisa, dan penuaan material. Penggunaan peralatan elektronika daya seperti inverter dan VSD juga memicu harmonisa yang berdampak pada kualitas daya. Selain itu, ketidakseimbangan fasa, fluktuasi tegangan, dan faktor daya rendah dapat meningkatkan rugi-rugi serta menurunkan efisiensi dan umur transformator. Oleh karena itu, analisis kualitas daya listrik menjadi penting untuk menjaga keandalan dan efisiensi sistem distribusi.

Penelitian ini menggunakan transformator distribusi tiga fasa merk ABB berkapasitas 1600 kVA dengan frekuensi 50 Hz. Transformator ini menyalurkan energi dari tegangan menengah ke tegangan rendah untuk kebutuhan industri. Variasi beban produksi dapat menyebabkan perubahan tegangan dan arus serta ketidakseimbangan antar fasa yang berpotensi meningkatkan rugi-rugi dan menurunkan kinerja transformator jika tidak dipantau secara berkala.

Sistem distribusi dilengkapi pengaturan rasio tegangan untuk menjaga kestabilan tegangan dalam batas toleransi. Tegangan yang tidak stabil dapat menurunkan performa peralatan, meningkatkan konsumsi energi, serta mempercepat kerusakan komponen. Oleh karena itu, kestabilan tegangan sangat penting dalam menjaga kualitas suplai listrik industri.

---

Analisa Pengukuran Kualitas Daya dan Pengaruhnya terhadap Performa Transformator Distribusi 1600 kVA Menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198 di PT.Salim Ivomas Pratama Tbk

Evaluasi dilakukan menggunakan Power Quality Analyzer (PQA) yang merekam parameter seperti tegangan, arus, faktor daya, ketidakseimbangan fasa, dan distorsi harmonisa secara real-time. Hasil pengukuran digunakan untuk menganalisis kondisi operasional transformator. Penelitian ini dilakukan pada PT. Salim Ivomas Pratama Tbk dengan tujuan menganalisis karakteristik tegangan dan arus, menilai kualitas daya listrik, tingkat pembebanan, efisiensi operasi, serta memberikan rekomendasi perbaikan sistem distribusi tenaga listrik.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif deskriptif dengan pengukuran langsung di lapangan untuk memperoleh data aktual mengenai harmonisa tegangan dan arus pada sistem distribusi industri. Pengukuran dilakukan secara real-time menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198 yang dipasang pada panel transformator untuk memantau tegangan, arus tiap fasa, faktor daya, ketidakseimbangan fasa, serta distorsi harmonisa [5].

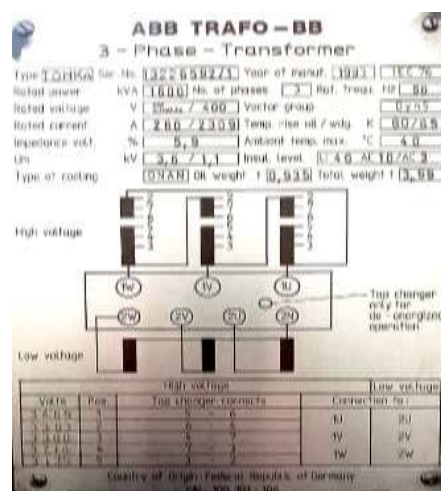
Data hasil pengukuran kemudian dianalisis dengan membandingkannya terhadap batas toleransi kualitas daya yang berlaku untuk mengidentifikasi potensi gangguan pada sistem distribusi. Pendekatan ini digunakan untuk menilai kinerja transformator secara objektif serta sebagai dasar perencanaan pemeliharaan dan peningkatan efisiensi sistem kelistrikan. Variabel penelitian meliputi parameter kualitas daya yang diukur menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198.

Variabel yang diukur menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198 meliputi tegangan, arus, frekuensi, daya aktif, faktor daya, harmonisa, serta ketidakseimbangan tegangan. Pengukuran tegangan dan arus dilakukan untuk mengetahui kondisi pembebanan dan kestabilan suplai listrik, sedangkan frekuensi diukur untuk memastikan sistem beroperasi pada nilai standar.

Daya aktif digunakan untuk mengetahui besarnya daya yang dimanfaatkan oleh beban, sementara faktor daya menunjukkan tingkat efisiensi penggunaan energi listrik. Pengukuran harmonisa bertujuan mendeteksi distorsi gelombang akibat beban non-linear seperti inverter dan peralatan elektronik industri [6]. Selain itu, ketidakseimbangan tegangan dan arus pada sistem tiga fasa diukur untuk mengetahui distribusi beban antar fasa. Seluruh parameter ini digunakan sebagai dasar analisis kualitas daya listrik agar sistem dapat beroperasi optimal sesuai standar.

### 2.1 Spesifikasi dan Karakteristik Transformator Distribusi

Transformator yang digunakan untuk penelitian ini merupakan transformator distribusi tiga fasa yang dirancang untuk penyaluran energi listrik dari sisi tegangan menengah ke tegangan rendah untuk kebutuhan beban industri. Identifikasi spesifikasi teknis dilakukan melalui pembacaan nameplate yang terpasang pada beban transformator. Data transformator memberikan informasi penting mengenai kapasitas daya, tegangan kerja, sistem pendinginan, serta parameter impedansi yang berkaitan langsung dengan karakteristik operasional transformator. Spesifikasi fisik dan teknis transformator dapat dilihat pada nameplate yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Nameplate Transformator

Berdasarkan pembacaan nameplate, parameter teknis utama transformator dirangkum pada Tabel 2. Data ini digunakan sebagai acuan dalam analisis karakteristik dan arus menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198.

Tabel 2.1. Spesifikasi Teknis Transformator

Parameter	Nilai
Daya nominal	1600 kVA
Frekuensi operasi	50 Hz
Tegangan primer	3,3 kV
Tegangan sekunder	400 V
Arus nominal	280 A/ 2309 A
Sistem pendingin	ONAN
impedansi	5,9%
Kelompok vektor	Dyn5
Kenaikan temperatur	60/65 K
Tap charger	4-7

Berikut merupakan penjelasan berdasarkan data yang tercantum pada nameplate transformator. Nameplate berfungsi sebagai identitas spesifikasi utama yang menunjukkan batas operasi aman serta karakteristik desain transformator. Parameter-parameter yang tertera menjadi acuan penting dalam analisis kinerja transformator selama pengujian Pengukuran Kualitas Daya Dan Pengaruhnya Terhadap Performa Transformator.

- Identitas Transformator

Transformator yang digunakan merupakan transformator tiga fasa (3 Phase Transformator) buatan ABB, dengan tipe TOHKA dan nomor seri 13226592/1, diproduksi pada tahun 1993 dengan IEC 76. Identitas ini berfungsi sebagai referensi teknis untuk keperluan pemeliharaan dan penelusuran data pabrik.

- Daya Nominal Transformator

Transformator memiliki daya nominal sebesar 1600 kVA diverifikasi dengan pendekatan rumus

$$S_{primer} = V.I.\sqrt{3} = 3.300 \times 280 \times \sqrt{3} = 1.600.414,95 VA$$
$$S_{sekunder} = V.I.\sqrt{3} = 400 \times 2309 \times \sqrt{3} = 1.599.722,12 VA$$

Nilai ini menunjukkan kapasitas maksimum daya semu yang dapat disalurkan secara kontinu pada kondisi operasi normal tanpa menyebabkan kenaikan suhu melebihi batas yang diizinkan. Penggunaan satuan kVA digunakan karena transformator mensuplai daya aktif dan daya reaktif secara bersamaan.

- Frekuensi Operasi

Frekuensi kerja transformator adalah 50 Hz, sesuai dengan sistem tenaga listrik Indonesia. Frekuensi ini memengaruhi besar fluks magnet pada inti transformator. Operasi di luar nominal dapat menyebabkan saturasi inti atau peningkatan rugi-rugi besi.

- Tegangan Nominal

Transformator memiliki 2 tegangan yaitu tegangan primer (HV) sebesar 3,3 kV dan tegangan sekunder (LV) sebesar 400 V. Transformator ini berfungsi untuk menurunkan tegangan dari jaringan distribusi menengah ke jaringan tegangan yang lebih rendah.

- Arus Nominal

Transformator memiliki arus nominal 350 A (sisi primer) dan 2887 A (sisi sekunder). Nilai ini merupakan arus maksimum pada daya nominal, yang menjadi dasar perancangan sistem proteksi, pemilihan CT, dan ukuran konduktor

- Kelompok Vektor (Vector Group)

Transformator memiliki kelompok vektor Dyn5 yang artinya D sebagai delta pada sisi primer, y sebagai star pada sisi sekunder, n menunjukkan titik netral pada sisi sekunder, berikut perhitungan dari rumus tegangan fasa:

$$V_{ph} = \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1,73} = 231,2 V$$

$$S_{ph} = V \times I = 231,2 \times 2309 = 533,85 VA$$

dan angka 5 menunjukkan pergeseran sudut fasa sebesar 150°. Berdasarkan standar IEC, terdapat 12 kemungkinan kelompok vektor (vector group) pada transformator tiga fasa, yang merepresentasikan pergeseran sudut fasa setiap 30°. Jadi, hasil dari 150° dapat diverifikasi dengan perhitungan berikut:

$$5 \times 30^\circ = 150^\circ$$

- Impedansi Hubungan Singkat

Nilai impedansi tranformator adalah 5,9%. Impedansi ini menunjukkan kemampuan transformator dalam membatasi arus hubung singkat. Sesuai perhitungan berikut:

$$I_{sc \text{ primer}} = \frac{I_{rated}}{Z} = \frac{280}{5,9\%} = 4.745,77 A$$

$$I_{sc \text{ sekunder}} = \frac{I_{rated}}{Z} = \frac{2309}{5,9\%} = 39.135,6 A$$

Parameter impedansi ini sangat penting dalam perencanaan sistem proteksi dan analisis gangguan, karena semakin besar nilai impedansi maka arus hubung singkat yang terjadi akan semakin kecil. Selain itu, impedansi juga berpengaruh terhadap regulasi tegangan pada saat transformator beroperasi dengan beban yang bervariasi.

- Sistem Pendingin

Transformator penelitian ini menggunakan sistem pendingin ONAN (Oil Natural Air Natural), yaitu sirkulasi minyak terjadi secara alami akibat perbedaan temperatur dan pendinginan ke udara juga berlangsung secara alami. Oil yang terkandung dalam transformator dilakukan pengujian DGA (Dissolved Gas Analysis). Dilakukan pengecekan berkala pada tanggal 11 Februari 2026 dengan hasil yang dilampirkan Tabel 4. Berikut hasil dari analisis yang dilakukan.

Tabel 4. Analisis Gangguan Oil Pada Transformator

JENIS PENGUJIAN	KRITERIA	HASIL PENGUJIAN	KETERANGAN
	≤ 100 ppm	H <sub>2</sub> Hidrogen = 4 ppm	Kondisi 1
	≤ 120 ppm	CH <sub>4</sub> Metana = 8 ppm	Kondisi 1
	≤ 65 ppm	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> Etana = 7 ppm	Kondisi 1
	≤ 50 ppm	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Etilen = 5 ppm	Kondisi 1
	≤ 1 ppm	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> Asetilena = 0 ppm	Kondisi 1

DGA ( Dissolved Gas Analysis)	≤ 350 ppm	CO Karbon Monoksida = 173 ppm	Kondisi 1
	≤ 2500 ppm	CO <sub>2</sub> Karbon Dioksida = - ppm	Kondisi 4
	-	O <sub>2</sub> Oksigen = - ppm	Kondisi 1
	-	N <sub>2</sub> Nitrogen = - ppm	Kondisi 1
	≤ 720 ppm	TGDC Total Dissolved Combustible Gas = 197 ppm	Kondisi 1

KODE : *NORMAL OPERATION*

TINDAKAN : *Normal Operation*

ANALISA DGA: Konsentrasi gas rendah dan analisis rasio gas tidak memberikan bukti ‘*Fault*’ baru pada saat ini. Konsentrasi Karbon Monoksida dan Karbon Dioksida juga rendah menunjukkan tidak ada degradasi isolasi selulosa yang abnormal.

Hasil DGA menunjukkan TDCG 197 ppm (kondisi normal). Tidak adanya C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> serta rendahnya H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, dan C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> mengindikasikan tidak ada gangguan termal maupun listrik. Nilai CO 173 ppm masih aman, sehingga degradasi isolasi kertas belum signifikan, sementara CO<sub>2</sub> yang tinggi (kondisi 4) disebabkan oleh penuaan alami, bukan fault aktif. Dengan demikian, transformator layak beroperasi dengan tetap melakukan pemeliharaan preventif dan pemantauan berkala.

- Kenaikan Temperatur

Kenaikan temperatur transformator adalah 60/65 K, yang berarti kenaikan temperatur belitan sebesar 60 K dan kenaikan minyak sebesar 65 K. nilai ini menunjukkan batas maksimum kenaikan suhu di atas suhu lingkungan. Parameter ini berkaitan dengan isolasi transformator.

- Suhu Lingkungan Maksimum

Transformator dirancang beroperasi pada suhu lingkungan maksimum 40°C. jika suhu lingkungan melebihi nilai ini, maka diperlukan faktor derating untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih.

- Tap Changer

Tap changer sisi tegangan tinggi (posisi 4-7) menyesuaikan tegangan sekunder akibat fluktuasi primer, dioperasikan hanya saat trafo tidak berbeban (de-energized). Penentuan posisi tap dihitung dari rasio trafo:

$$\text{Rasio trafo } (a) = \frac{V_{HV}}{V_{LV}} = \frac{3.300}{400} = 8,25$$

Untuk menentukan tegangan sekunder dapat dihitung dengan rumus:

Example:

$$LV = \frac{HV}{a} = \frac{3465}{8,25} = 420$$

- Level Isolasi

Transformator 1600 kVA, 20 kV/400 V, Dyn5, ONAN, impedansi 5,9% untuk distribusi/industri. Isolasi LI 125 kV (HV) dan 40 kV (LV) menjamin ketahanan terhadap tegangan lebih petir & uji bolak-balik sesuai IEC, memberikan perlindungan listrik dan termal yang memadai.

## 2.2 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator berdasarkan hukum induksi Faraday: perubahan fluks magnet pada kumparan primer menginduksi tegangan pada kumparan sekunder. Persamaan dasarnya:

\*Disesuaikan menggunakan rumus dengan beban

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

jika fluks berbentuk gelombang sinus:

$$\Phi = \Phi_{max} \sin(\omega t) \quad (2)$$

Dengan:

$$\omega = 2\pi f \quad (3)$$

Maka tegangan induksi menjadi:

$$e = N\omega\Phi_{max}\cos(\omega t) \quad (4)$$

Nilai efektif (RMS) tegangan:

$$E = 4,44fN\Phi_{max} \quad (5)$$

Keterangan :

e = tegangan induksi sesaat (volt)

N = Jumlah lilitan

$\Phi$  = Fluks magnet (wb)

$d\Phi/dt$  = perubahan fluks terhadap waktu

tanda (-) = arah induksi (Hukum Lenz)

Tegangan induksi efektif (E) bergantung pada frekuensi (f), jumlah lilitan (N), dan fluks maksimum ( $\Phi_{max}$ ). Karena frekuensi sistem konstan, pengaturan tegangan transformator ditentukan oleh perbandingan jumlah lilitan primer dan sekunder

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Jika lilitan sekunder lebih kecil dari primer  $\rightarrow$  transformator menaikkan tegangan (step-up), dan sebaliknya (step-down). Transfer energi melalui kopling magnetik tanpa hubungan listrik langsung, memberikan isolasi aman. Pada kondisi nyata, terdapat rugi-rugi (tembaga, histeresis, arus eddy) yang menghasilkan panas, sehingga diperlukan sistem pendinginan. Pemantauan tegangan dan arus penting untuk menjaga efisiensi dan keandalan transformator dalam sistem distribusi

## 2.3 Kualitas Daya Listrik Dalam Sistem Industri

Kualitas daya listrik dalam sistem industri dipengaruhi oleh karakteristik peralatan utama seperti transformator distribusi. Kualitas daya didefinisikan sebagai kesesuaian parameter listrik—tegangan, arus, frekuensi, keseimbangan fasa, dan distorsi gelombang—terhadap nilai nominal agar peralatan beroperasi optimal dan aman. Penyimpangan parameter dapat menurunkan kinerja peralatan, meningkatkan rugi-rugi, serta mempercepat degradasi isolasi dan komponen listrik [7].

Transformator harus menjaga tegangan tetap stabil terhadap fluktuasi beban dan suplai. Gangguan seperti voltage drop, overvoltage, dan flicker dapat memengaruhi motor, sistem kontrol, dan peralatan lainnya. Selain itu, arus beban dan harmonisa dari beban non-linear (inverter, penyearah, otomasi) dapat meningkatkan pemanasan transformator, menurunkan faktor daya, serta menyebabkan distorsi tegangan.

Keseimbangan beban antar fasa juga penting karena ketidakseimbangan dapat menimbulkan rugi-rugi, getaran motor, dan pemanasan berlebih. Sistem harus dijaga dalam batas toleransi yang diizinkan. Dari sisi frekuensi, sistem harus beroperasi pada 50 Hz dengan toleransi kecil karena penyimpangan dapat memengaruhi kecepatan motor dan stabilitas sistem.

Kualitas daya yang baik ditandai oleh tegangan dan frekuensi stabil, arus seimbang, harmonisa rendah, serta kondisi termal peralatan yang aman. Oleh karena itu, pemantauan kualitas daya dan pemeliharaan preventif sangat penting untuk menjaga keandalan dan efisiensi sistem industri.

## 2.4 Parameter Power Quality

Gangguan pada sistem distribusi akibat distorsi gelombang disebut harmonik, yaitu gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi dasar. Harmonik umumnya disebabkan oleh beban non-linear yang menyebabkan bentuk gelombang arus dan tegangan mengalami distorsi.

Parameter kualitas daya digunakan untuk menilai apakah sistem tenaga listrik beroperasi secara stabil dan aman. Berdasarkan standar IEEE 1159 dan IEEE 519, parameter utama meliputi tegangan, variasi tegangan, harmonisa, frekuensi, serta gangguan transien.

Tegangan merupakan parameter utama dalam kualitas daya dan harus berada dalam kisaran nominal. Penyimpangan tegangan dapat menyebabkan overvoltage atau undervoltage yang berdampak pada kinerja dan umur peralatan. Gangguan lain yang sering terjadi adalah voltage sag (penurunan tegangan sesaat akibat gangguan atau start motor besar) dan voltage swell (kenaikan tegangan sementara akibat pelepasan beban besar atau gangguan sistem distribusi). Batas rentang tegangan mengacu pada standar IEEE.

Parameter penting lain adalah interruption (tegangan turun mendekati nol hingga padam), diklasifikasikan menjadi momentary, temporary, dan sustained interruption menurut IEEE. Harmonisa juga mempengaruhi kualitas daya, yaitu distorsi gelombang dengan frekuensi kelipatan fundamental, umumnya disebabkan beban non-linear (inverter, rectifier, perangkat elektronik industri). Tingkat harmonisa dinyatakan sebagai Total Harmonic Distortion (THD) yang dibatasi standar IEEE untuk menjaga kinerja sistem tenaga listrik.

Parameter lain: flicker (fluktuasi tegangan yang menyebabkan lampu berkedip), biasanya akibat perubahan beban cepat seperti mesin las atau peralatan dengan arus awal besar. Selanjutnya, voltage unbalance (ketidakseimbangan tegangan pada sistem tiga fasa antara R, S, T) dapat meningkatkan arus pada salah satu fasa, menyebabkan pemanasan berlebih pada motor listrik dan menurunkan efisiensi peralatan.

Parameter lain: transient voltage (lonjakan tegangan sangat singkat akibat switching, petir, atau pelepasan energi) yang dapat merusak isolasi peralatan jika amplitudonya melebihi batas kemampuan isolasi. Parameter terakhir adalah frekuensi sistem yang harus tetap pada nilai nominal (50 Hz atau 60 Hz); perubahan frekuensi terjadi akibat ketidakseimbangan antara daya pembangkitan dan beban.

Parameter power quality menurut standar IEEE digunakan sebagai acuan pemantauan dan analisis kualitas daya listrik, terutama pada instalasi industri dengan banyak beban non-linear. Pemantauan parameter ini penting untuk menjaga keandalan sistem, mencegah kerusakan peralatan, serta meningkatkan efisiensi dan kontinuitas operasi sistem tenaga listrik.

## 3. Hasil dan Diskusi

### 3.1 Hasil Pengukuran

Pengukuran kualitas daya listrik dilakukan menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198 pada panel distribusi utama dengan probe tegangan dan sensor arus tiap fasa. Data tegangan dan arus direkam secara kontinu,

kemudian diekstraksi untuk diolah secara statistik. Data dianalisis untuk memperoleh nilai rata-rata, standar deviasi, dan distribusi persentil. Hasil disajikan dalam bentuk tabel guna mengevaluasi kestabilan sistem serta mengidentifikasi potensi gangguan kualitas daya pada instalasi industri.

Voltage

U[V] : — U12 rms AVG — U23 rms AVG — U31 rms AVG

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
U12 rms AVG [V] 1408		406.30 (2/17/2026	397.42	4.45	390.19	397.89	403.70
		15:40:00.0)					
		387.67 (2/20/2026					
U23 rms AVG [V] 1408		405.61 (2/17/2026	397.06	4.15	390.27	397.53	402.93
		15:40:00.0)					
		387.54 (2/20/2026					
U31 rms AVG [V] 1408		404.54 (2/17/2026	396.00	4.20	389.11	396.36	401.88
		15:40:00.0)					
		386.28 (2/20/2026					
U4 rms AVG [V] 1408		0.14 (2/13/2026 15:00:00.0) 0.00 (2/13/2026 14:30:00.1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

AMPERE

I[A] : — I1 rms AVG — I2 rms AVG — I3 rms AVG

Items	Times	Measured values	Average	Standard deviation	5%	50%	95%
I1 rms AVG [A] 1408		1060.3 (2/20/2026	460.8	411.6	6.8	306.6	1015.6
		18:50:00.0)					
		2.9 (2/17/2026 09:00:00.0)					
I2 rms AVG [A] 1408		1007.9 (2/20/2026	439.3	388.8	30.1	259.6	971.1
		14:40:00.0)					
		27.2 (2/17/2026 16:10:00.0)					
I3 rms AVG [A] 1408		1014.4 (2/16/2026	454.1	386.9	44.0	296.4	982.5
		18:30:00.0)					
		36.6 (2/17/2026 07:50:00.1)					
I4 rms AVG [A] 1408		21.77 (2/13/2026	13.77	2.37	10.33	13.44	18.14
		17:10:00.0)					
		8.02 (2/16/2026					
		06:50:00.0)					

b. POWER QUALITY

SUPPLY VOLTAGE VARIATIONS

Range	Threshold	Compliance			Keterangan
		U1	U2	U3	
220V +10.0%/-10.0%	95.0%	100.0%	100.0%	100.0%	passed
220V +10.0%/-15.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	passed

FLICKER

Range	Threshold	Compliance	U2	U3	Keterangan
		U1	U2	U3	
Plt ≤ 1.0	95.0%	97.5%	97.5%	97.5%	passed

HARMONIC VOLTAGE

Berdasarkan Harmonic Voltage, distorsi harmonisa tegangan masih berada dalam batas standar (THD ≤ 8,0% dengan threshold 95%). Hasil menunjukkan compliance 100,0% pada ketiga fasa (U1, U2, U3), sehingga tidak ada pelanggaran batas [8].

Harmonisa individu orde ke-2 hingga ke-25 juga seluruhnya memenuhi standar dengan compliance 100,0% dan status “passed”. Secara keseluruhan, kualitas tegangan tergolong baik dan stabil dengan distorsi rendah, sehingga risiko rugi-rugi daya dan penurunan efisiensi transformator dapat diminimalkan [9].

Batas distorsi arus untuk sistem dengan tegangan nominal 120 V hingga 69 kV

Distorsi arus harmonik maksimum dalam persen dari IL						
Urutan harmonik individual (harmonik ganjil)a,b						
Isc/IL	3 ≤ h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h ≤ 50	TTD
< 20c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

a = harmonik genap dibatasi hingga 25% dari batas harmonik ganjil di atas

b = Distorsi arus yang menghasilkan offset DC, misalnya, konverter setengah gelombang, tidak diperbolehkan

c = semua peralatan pembangkit listrik dibatasi oleh nilai distorsi arus ini, terlepas dari nilai Isc/IL aktual

Dimana :

Isc = arus hubung singkat maksimum di PCC (titik pertemuan antara sumber listrik dan beban)

IL = arus beban permintaan maksimum (komponen frekuensi fundamental) di PCC dalam posisi beban normal

Harmonik total adalah akumulasi (root-mean-square) dari semua komponen arus harmonik, tidak termasuk arus fundamental (50Hz).

Secara sitematis:

$$I_{\text{harmonik total}} = \sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots + I_n^2}$$

Dimana:

I3 = Arus harmonik ke -3 (150 Hz) dalam ampere

I5 = Arus harmonik ke -5 (150 Hz) dalam ampere

I7 = Arus harmonik ke -7 (150 Hz) dalam ampere

Dan seterusnya hingga orde harmonik yang diukur (biasanya sampai orde 50)

Contoh Perhitungan:

Misalakan dari pengukuran diperoleh data:

Orde Harmonik	Frekuensi	Arus (A)	Kuadrat (A <sup>2</sup> )
h3	150Hz	12,5 A	156,25
h5	250Hz	8,2 A	67,24
h7	350Hz	5,1 A	26,01
h9	450Hz	3,4 A	11,56
h11	550Hz	2,3 A	5,29
h13	650Hz	1,8 A	3,24
Total			269,59

Maka:

$$I_{\text{harmonik total}} = \sqrt{269,59} = 16,24 \text{ A}$$

Motode B: Dari THD% dan Arus Fundamental (Perkiraan)

Jika data THD dalam persen dan arus fundamental, bisa dihitung perkiraan Iharmonik total dengan rumus:

$$I_{\text{harmonik total}} = \frac{\text{THD arus}(\%)}{100} \times I_{\text{fundamental}}$$

Contoh:

THD Arus (I thd-f) = 150%  
Arus fundamental (I1) = 10 A

Maka:

$$I_{\text{harmonik total}} = \frac{150\%}{100} \times 10 \text{ A} = 15 \text{ A}$$

Metode C: dari Arus Total RMS dan Arus Fundamental

Jika terdapat data arus total RMS (Irms) dan arus fundamental (I1), gunakan rumus Pythagoras:

$$I_{\text{harmonik total}} = \sqrt{I_{\text{rms}}^2 - I_{\text{fundamental}}^2}$$

Contoh :

Irms (arus total terukur) = 18 A  
I fundamental (I1) = 10 A

Maka:

$$I_{\text{harmonik total}} = \sqrt{18^2 - 10^2} = \sqrt{324 - 100} = \sqrt{224} = 14,97 \text{ A}$$

Verifikasi dengan rumus THD:

Setelah mendapatkan Iharmonik total , bisa di verifikasi dengan rumus THD:

$$\text{THD} = \frac{I_{\text{harmonik total}}}{I_{\text{fundamental}}} \times 100\%$$

Cek contoh di atas:

$$\text{THD} = \frac{14,97 \text{ A}}{10 \text{ A}} \times 100\% = 149,7\%$$

Sesuai dengan input THD 150% yang digunakan sebelumnya.

## Aplikasi Untuk TDD

setelah Iharmonik total diketahui, bisa dihitung TDD:

$$TDD = \frac{\text{harmonik total}}{I_{\text{beban puncak IL}}} \times 100\%$$

Contoh lengkap:

Iharmonik total = 15 A (dari perhitungan)

Arus beban puncak (IL) = arus rating trafo = 500 A

Beban saat pengukuran = ringan ( I fundamental = 10A, THD = 150%)

Maka:

$$TDD = \frac{15A}{500A} \times 100\% = 3\%$$

Interprestasi:

THD Arus = 150% (tampak Over dan jauh dari standar)

TDD = 3% (sangat baik, dibawah standar IEEE 519)

## Tabel Praktis Untuk Memahami Hubungan

Kesimpulan:

THD Arus bisa mencapai 400% saat beban sangat ringan

TDD mengalami penurunan karena Iharmonik total mengecil (dari 75A→40A) dan IL tetap

## HARMONIC CURRENT

Berdasarkan hasil pengukuran orde 2–50, kualitas daya tergolong kurang baik karena banyak parameter berstatus FAILED. Nilai THD pada ketiga fasa tidak memenuhi standar, menunjukkan distorsi arus yang tinggi. Harmonisa orde rendah hingga menengah (2, 3, 5, 7 hingga 25) banyak melampaui batas akibat pengaruh beban non-linear seperti rectifier, inverter, VFD, dan peralatan elektronik lainnya [10].

Pada orde tinggi (26–50), sebagian besar juga masih tidak memenuhi standar, menandakan gangguan harmonisa terjadi pada berbagai frekuensi. Kondisi ini berpotensi menyebabkan pemanasan peralatan, peningkatan rugi-rugi daya, serta penurunan efisiensi sistem, sehingga diperlukan penanganan seperti pemasangan filter harmonik atau evaluasi beban. Banyaknya kegagalan pada THD I (threshold 95%) juga dipengaruhi oleh arus fundamental yang berubah-ubah akibat beban yang tidak stabil.

## HARMONIC CURRENT LEVEL

Berdasarkan data, sebagian besar parameter harmonik arus pada ketiga fasa (L1, L2, dan L3) berada dalam kondisi memenuhi standar (passed). Nilai maksimum, rata-rata, hingga persentil (95%) masih di bawah batas yang ditentukan, sehingga menunjukkan tingkat distorsi harmonik relatif rendah dan aman.

Distribusi arus harmonik tiap orde juga stabil tanpa lonjakan signifikan, menandakan pengaruh beban non-linear tidak dominan dan masih terkendali.

Secara keseluruhan, kualitas daya listrik tergolong baik dengan tingkat harmonik sesuai standar, sehingga risiko pemanasan berlebih, rugi-rugi daya, dan penurunan efisiensi peralatan dapat diminimalkan.

Berdasarkan data, nilai rata-rata THD arus (THD-I) pada fasa R, S, dan T masing-masing sekitar 6,53%, 7,58%, dan 7,50%, yang menunjukkan adanya kandungan harmonisa cukup tinggi akibat beban non-linear. Meskipun

variasi data relatif stabil, nilai THD pada kisaran 6–8% tetap perlu diperhatikan karena berpotensi menyebabkan pemanasan, menurunkan efisiensi, dan mempercepat penuaan peralatan.

Sebaliknya, nilai TDD tergolong rendah, yaitu 1,00%, 1,14%, dan 1,22% (total 0,32%) [11], masih di bawah batas standar IEEE 519 [1], sehingga distorsi terhadap arus beban maksimum masih aman.

Secara keseluruhan, kualitas daya listrik cukup baik, terutama dari sisi kestabilan tegangan, namun nilai THD arus yang relatif tinggi perlu menjadi perhatian untuk menjaga kinerja dan umur transformator.

#### SUPPLY VOLTAGE Dip/Swell

% of Uref	$10\text{ms} \leq t \leq 200\text{ms}$	$200\text{ms} < t \leq 500\text{ms}$	$500\text{ms} < t \leq 1\text{s}$	$1\text{s} < t \leq 5\text{s}$	$5\text{s} < t \leq 60\text{s}$
$120 \leq U$	0	0	0	0	0
$110 \leq U < 120$	0	0	0	0	0
$80 \leq U < 90$	0	0	0	0	0
$70 \leq U < 80$	0	0	0	0	0
$40 \leq U < 70$	0	2	0	0	0
$5 \leq U < 40$	0	0	0	0	0
$U < 5$	0	0	0	0	0

#### RAPID VOLTAGE CHANGE

	Maximum frequency / 24 hours	Consequence	
$\Delta U_{ss} \geq 3.0\%$	24	N/A	N/A
$\Delta U_{max} \geq 5.0\%$	24	N/A	N/A

Berdasarkan tabel Supply Voltage Dip/Swell, hampir seluruh parameter menunjukkan nilai nol pada berbagai rentang waktu (10 ms hingga 60 detik), yang menandakan tidak terjadi gangguan tegangan berupa dip maupun swell yang signifikan selama pengukuran. Hanya terdapat dua kejadian minor pada rentang tegangan 40%–70% dari tegangan nominal dengan durasi 200–500 ms, yang tidak berdampak besar terhadap sistem. Secara keseluruhan, hasil pengukuran menunjukkan hampir tidak terjadi gangguan tegangan dip maupun swell [14]. Selanjutnya, pada tabel Rapid Voltage Change, tercatat adanya 24 kejadian perubahan tegangan cepat baik untuk  $\Delta U_{ss} \geq 3\%$  maupun  $\Delta U_{max} \geq 5\%$  dalam periode 24 jam. Meskipun demikian, tidak terdapat konsekuensi signifikan yang ditimbulkan dari kejadian tersebut[11]. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan tegangan yang terjadi masih dalam batas toleransi yang diizinkan dan tidak mengganggu kinerja peralatan listrik.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran menggunakan Power Quality Analyzer Hioki PQ3198 pada transformator 1600 kVA, sistem kelistrikan secara umum berada dalam kondisi relatif stabil. Tegangan ketiga fasa dan frekuensi sistem masih dalam batas toleransi serta tidak ditemukan fluktuasi signifikan. Nilai Total Harmonic Distortion (THD) tegangan juga masih di bawah batas standar, menandakan kualitas tegangan yang disuplai ke beban tergolong baik. Namun, pada sisi arus ditemukan nilai harmonisa yang cukup tinggi, terutama pada konduktor netral, akibat penggunaan beban non-linier seperti inverter dan peralatan elektronik. Harmonisa arus yang tinggi ini berpotensi menyebabkan pemanasan pada konduktor, menurunkan efisiensi sistem, serta dapat memperpendek umur transformator meskipun kualitas daya secara keseluruhan masih tergolong baik.[15] Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya pengendalian terhadap sumber harmonisa tersebut. Selain itu, selama periode pengukuran ditemukan adanya gangguan tegangan berupa voltage dip. Gangguan ini terjadi dalam jumlah yang sangat sedikit dan dalam durasi yang singkat. Meskipun demikian, kejadian ini tetap perlu diperhatikan sebagai bagian dari evaluasi sistem. Voltage dip dapat mempengaruhi peralatan sensitif jika terjadi secara berulang. Namun, dalam kondisi ini dampaknya masih tergolong kecil.

## Referensi

- [1] G. Samiaji *et al.*, “BERDASARKAN HARMONISA PADA MOTOR LISTRIK,” vol. 12, no. 3, pp. 2735–2743, 2024.
- [2] M. S. Seddik, M. B. Eteiba, and J. Shazly, “Evaluating the Harmonic Effects on the Thermal Performance of a Power Transformer,” 2024.
- [3] S. Kualitas, D. Listrik, and P. Quality, “Studi kualitas daya listrik (power quality) di bangunan gedung xyz,” vol. 13, no. 2, 2025.
- [4] L. M. Parera, M. Jamlaay, and A. F. Lokollo, “Analisis Kualitas Daya Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya Mini-Grid,” pp. 150–161.
- [5] R. N. D. Nike, A. Kusumawardana, R. F. Rizal, and ..., “A Perbaikan Kualitas Daya Listrik Pemakaian Sendiri PLTA Wlingi Melalui Implementasi Kapasitor Bank dan Filter LC: Studi Simulasi Peningkatan Faktor Daya dan ...,” *Orbith Maj. ....*, vol. 21, no. 2, pp. 89–94, 2025, [Online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/view/6660%0Ahttps://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/download/6660/110029>
- [6] P. H. T. Hutabarat and M. F. Zambak, “Prediction of Electricity Need for The PLN Area in Parapat Simalungun City Until 2024,” vol. 5, no. 2, 2024.
- [7] M. A. Rizkiawan, E. Kurniawan, and H. Ramza, “Analisis Kualitas Daya Menggunakan Filter Daya Harmonik Aktif Berbasis PV,” vol. 6, pp. 154–163, 2024.
- [8] I. Isdawimah, “DESAIN SISTEM MONITORING KUALITAS DAYA LISTRIK SECARA ONLINE kualitas yang baik dapat dilakukan dengan dilakukan bila diketahui nilai besaran yang dapat diakses melalui internet , tetapi Pengubahan bentuk gelombang dari perubahan bentuk gelombang lain ya,” vol. 14, no. 2, 2015.
- [9] N. F. Indah, H. S. T. Munnik, H. S. T. Munnik, U. Dirgantara, and M. Suryadarma, “Analisis Dampak Arus Harmonisa Terhadap Kerugian Dan Penuruan Daya Mampu ( Derating ) Pada Trafo 167 Mva Dengan Metode Matriks Spektrum Arus Harmonisa Di Gistet Cawang,” vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2025.
- [10] M. N. Hidayat, S. Meliala, and R. Putri, “ANALISA RUGI – RUGI DAYA AKIBAT HARMONISA PADA SISTEM DISTRIBUSI 20 KV DENGAN PENGGUNAAN SINGLE TUNED FILTER PENYULANG LG -02 PT PLN ULP LANCANG GARAM,” vol. 14, pp. 58–64, 2025.
- [11] E. Sumarno and E. Sumarno, “Analisis Distorsi Harmonisa Kualitas Daya Listrik Tiga Fasa Panel Distribusi Menggunakan Power Quality Analyzer di Rumah Sakit X,” vol. 3, no. 2, pp. 147–155, 2025.
- [12] H. Chen, J. Wang, H. Hu, and Y. Huang, “Assessment of voltage harmonics ’ impact on the maximum load capacity of the power supply transformer for the LHCD system,” *Sci. Rep.*, pp. 1–8, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-56366-x.
- [13] V. Yarlagadda, G. Ambati, B. Devulal, S. R. Jalluri, C. S. Kumar, and N. Alekhya, “INTELLIGENT SYSTEMS AND APPLICATIONS IN ENGINEERING Power Quality Improvement of Wind Power Plant using STATCOM and Harmonic Filters,” 2024.
- [14] M. D. Borrás, J. C. Bravo, J. C. Montaña, and S. Member, “Disturbance Ratio for Optimal Multi-Event Classification in Power Distribution Networks,” no. c, 2016.
- [15] H. M. Naibaho, A. Warsito, and S. Handoko, “PENINGKATAN KUALITAS DAYA LISTRIK DENGAN MENGGUNAKAN BANK KAPASITOR DAN FILTER PADA KAJI STATION PT . MEDCO E & P,” pp. 3–10, 1992.