

ANALISIS PENGARUH BEBAN HARMONISA TERHADAP DERATING KAPASITAS TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PADA PENYULANG DUKU PT. PLN (PERSERO) ULP SENTANI DENGAN MENGGUNAKAN METODE THDF

Yulianus Patiung¹, Marthen Liga², Dultudes Mangopo³, M. Arie Reza⁴

^{1,2,3,4} Fakultas Teknik/Universitas Cenderawasih/Indonesia
Email: patiungy3@gmail.com

Info Artikel

Histori Artikel:
Diterima 25 07 2025
Direvisi 08 08 2025
Disetujui 19 08 2025

ABSTRACT

Technological advancements have driven changes in the characteristics of electrical loads due to the use of modern electronic devices such as inverters, rectifiers, and variable frequency drive motors. These loads are non-linear, leading to the distortion of sinusoidal waveforms and the generation of harmonics. This condition occurs at the Duku Feeder of PT. PLN (Persero) ULP Sentani, where the majority of the customers are households with high usage of electronic equipment. This study aims to analyze the impact of non-linear loads on the reduction of distribution transformer capacity using the Total Harmonic Derating Factor (THDF) method. The research was conducted through field observations at three distribution substations on the Duku Feeder, using an AC Clamp Power Meter Hioki CM3286-50 to measure harmonics from orders 1 to 30. The measurement results were compared with the IEEE 519-2014 standard and then analyzed using the THDF method. The results show that the Total Harmonic Distortion of current (THDi) at each distribution substation exceeded the IEEE 519-2014 standard. Transformer capacity experienced derating: STN 020 from 400 kVA to 365.6 kVA (a decrease of 8.6%), STN 308 from 200 kVA to 183.6 kVA (8.2%), and STN 186 from 160 kVA to 143.2 kVA (10.8%). These findings emphasize the need for continuous monitoring of load patterns to reduce harmonic pollution and maintain the reliability of distribution transformers.

Keywords: Distribution Transformers, Non-Linear Loads, Harmonic Currents, THDF

ABSTRAK

Perkembangan teknologi telah mendorong perubahan karakteristik beban listrik akibat penggunaan perangkat elektronik modern seperti inverter, rectifier, dan motor kendali frekuensi variabel. Beban tersebut bersifat non-linier sehingga mengakibatkan distorsi gelombang sinusoidal dan menimbulkan harmonisa. Kondisi ini terjadi pada Penyulang Duku PT. PLN (Persero) ULP Sentani, yang mayoritas pelanggannya merupakan rumah tangga dengan penggunaan peralatan elektronik tinggi. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak beban non-linier terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi dengan menggunakan metode Total Harmonic Derating Factor (THDF). Penelitian dilakukan secara observasional di tiga gardu distribusi pada penyulang Duku, menggunakan AC Clamp Power Meter Hioki CM3286-50 untuk mengukur harmonisa orde 1-30. Hasil pengukuran dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014, kemudian dianalisis menggunakan metode THDF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai Total Harmonic Distortion arus (THDi) pada setiap gardu distribusi melampaui standar IEEE 519-2014. Kapasitas transformator mengalami derating: STN 020 dari 400 kVA menjadi 365,6 kVA (penurunan 8,6%), STN 308 dari 200 kVA menjadi 183,6 kVA (8,2%), dan STN 186 dari 160 kVA menjadi 143,2 kVA (10,8%). Temuan ini menegaskan perlunya pemantauan pola pembebanan secara berkelanjutan untuk mengurangi polusi harmonisa

dan menjaga keandalan transformator distribusi.

Kata Kunci: Transformator Distribusi, Beban Non-Linier, Harmonisa Arus, THDF

Penulis Korespondensi:

Nama Penulis Korespondensi,
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Cenderawasih,
Email: penulis_korespondensi@address.com

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan esensial dalam kehidupan modern, baik di sektor rumah tangga, komersial, maupun industri. Peningkatan konsumsi listrik menuntut penyediaan pasokan yang stabil, efisien, dan andal. Sebagai penyedia listrik utama di Indonesia, PT. PLN (Persero) memiliki tanggung jawab untuk menjaga kualitas pasokan listrik, termasuk di wilayah Unit Layanan Pelanggan (ULP) Sentani, yang melayani pelanggan pada jaringan distribusi tegangan menengah dan rendah.

Perkembangan teknologi telah mengubah pola konsumsi listrik secara signifikan. Pada awalnya, beban sistem distribusi didominasi oleh beban linier dengan karakteristik resistif, induktif, atau kapasitif yang menghasilkan arus sinusoidal murni. Namun, meningkatnya penggunaan perangkat elektronik modern seperti inverter, rectifier, serta motor dengan Variable Frequency Drive (VFD) mengakibatkan dominasi beban non-linier. Beban ini menimbulkan distorsi harmonisa pada arus dan tegangan yang dapat menyebabkan kerugian daya, pemanasan berlebih, dan penurunan efisiensi peralatan distribusi, khususnya transformator.

Harmonisa yang berlebihan mengharuskan transformator mengalami derating kapasitas untuk mencegah kerusakan akibat panas berlebih. Derating berarti kapasitas nominal transformator diturunkan agar suhu operasi tidak melampaui batas maksimum. Namun, hal ini berdampak langsung pada kemampuan transformator dalam menyuplai beban puncak, sehingga berpotensi mengurangi keandalan pasokan listrik.

Meskipun standar internasional seperti IEEE 519-2014 telah memberikan batas toleransi harmonisa, implementasi di lapangan sering kali menunjukkan deviasi yang signifikan. Kondisi ini terlihat pada Penyulang Duku ULP Sentani, yang melayani daerah dengan kepadatan beban tinggi akibat perumahan padat dan penggunaan peralatan elektronik rumah tangga yang masif. Namun, kajian empiris terkait besaran pengaruh harmonisa terhadap derating kapasitas transformator di lokasi ini masih terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak beban non-linier terhadap derating kapasitas transformator distribusi pada Penyulang Duku

menggunakan metode Total Harmonic Derating Factor (THDF). Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap strategi pengelolaan distribusi listrik yang lebih efisien, serta menjadi acuan bagi PLN dalam upaya mitigasi harmonisa guna menjaga keandalan sistem tenaga listrik.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan tahapan akhir dari penyaluran energi listrik dari gardu induk menuju konsumen. Distribusi dibagi menjadi dua kategori, yaitu: (1) distribusi primer yang menyalurkan energi dari gardu induk ke gardu distribusi dengan tegangan menengah (20 kV di Indonesia), dan (2) distribusi sekunder yang menyalurkan energi dari gardu distribusi ke konsumen dengan tegangan rendah (220/380 V). Transformator distribusi berfungsi menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah agar dapat digunakan oleh konsumen (Suherman & Kampay, 2017).

2.2 Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik

Harmonisa adalah fenomena distorsi gelombang arus atau tegangan akibat operasi beban non-linier seperti inverter, Uninterruptible Power Supply (UPS), motor induksi, maupun peralatan rumah tangga elektronik. Distorsi ini menyebabkan bentuk gelombang fundamental sinusoidal pada frekuensi 50 Hz menjadi terdegradasi (Iskandar, 2009). Harmonisa orde ganjil (3, 5, 7, dst.) umumnya memberikan dampak yang lebih besar dibanding orde genap, karena menghasilkan nilai Root Mean Square (RMS) yang signifikan (Purwoharjono, 2014).

Untuk mengukur tingkat distorsi harmonisa, digunakan parameter Total Harmonic Distortion (THD). Indeks THDI (Total Harmonic Distortion of Current) khususnya digunakan untuk menilai kualitas arus listrik yang dipengaruhi beban non-linier (Nugroho & Reza, 2022).

2.3 Dampak Harmonisa terhadap Transformator Distribusi

Arus harmonisa dapat meningkatkan rugi-rugi daya dan pemanasan berlebih pada transformator. Hal ini menurunkan efisiensi serta mempercepat degradasi isolasi, yang pada akhirnya menurunkan umur operasional transformator (Wirajaya et al., 2019). Untuk menghindari kerusakan, kapasitas transformator perlu diturunkan melalui proses derating, yaitu penyesuaian kapasitas nominal agar suhu operasi tetap berada dalam batas aman.

Derating kapasitas akibat harmonisa dapat dihitung menggunakan metode Total Harmonic Derating Factor (THDF). THDF merupakan faktor pengali yang memperhitungkan pengaruh distorsi harmonisa dan crest factor arus terhadap kapasitas transformator (Wayan & Robiwijawa, 2023). Semakin tinggi tingkat distorsi, semakin besar penurunan kapasitas yang terjadi.

2.4 Standar IEEE 519-2014

Standar internasional IEEE 519-2014 memberikan pedoman mengenai batas toleransi harmonisa pada Point of Common Coupling (PCC). Standar ini merekomendasikan nilai ambang THD untuk memastikan kualitas daya dan mencegah dampak negatif terhadap peralatan distribusi. Namun, studi empiris menunjukkan bahwa banyak gardu distribusi, terutama di kawasan pemukiman padat, tidak selalu memenuhi standar ini (Dultudes & Ekawati, 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menyoroti pengaruh harmonisa terhadap kinerja transformator distribusi (Iskandar, 2009; Wirajaya et al., 2019; Wayan & Robiwijawa, 2023). Namun, penelitian yang secara khusus mengukur dampak harmonisa pada Penyulang Duku PT. PLN (Persero) ULP Sentani masih terbatas. Padahal, penyulang ini melayani daerah dengan kepadatan beban yang tinggi, sehingga berpotensi mengalami derating signifikan.

Oleh karena itu, penelitian ini mengisi gap dengan melakukan analisis empiris menggunakan metode THDF untuk mengukur pengaruh harmonisa terhadap kapasitas transformator distribusi di Penyulang Duku.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi lapangan. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh data empiris terkait pengaruh beban non-linier terhadap derating kapasitas transformator distribusi. Pendekatan kuantitatif memungkinkan pengukuran variabel yang terlibat secara objektif dan sistematis, serta memberikan hasil yang lebih dapat diandalkan dalam menganalisis hubungan antara harmonisa dan penurunan kapasitas transformator.

Objek penelitian terdiri dari tiga transformator distribusi yang berada pada Penyulang Duku PT. PLN (Persero) ULP Sentani. Ketiga transformator tersebut adalah STN 020 dengan kapasitas nominal 400 kVA, STN 308 dengan kapasitas nominal 200 kVA, dan STN 186 dengan kapasitas nominal 160 kVA. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada tingkat kepadatan pelanggan yang tinggi, yang memungkinkan terjadinya distorsi harmonisa yang signifikan pada sistem distribusi.

Untuk pengukuran harmonisa, digunakan AC Clamp Power Meter Hioki CM3286-50. Instrumen ini dipilih karena kemampuannya untuk mengukur nilai harmonisa arus dari orde 1 hingga orde 30, serta akurasi dalam menganalisis distorsi harmonisa pada sistem distribusi dengan tegangan rendah. Penggunaan alat ini memastikan bahwa pengukuran harmonisa yang dilakukan dapat mewakili kondisi sebenarnya di lapangan.

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi lapangan pada ketiga gardu distribusi yang terhubung langsung dengan Penyulang Duku. Parameter kelistrikan yang dicatat mencakup nilai arus harmonisa pada masing-masing fasa. Hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014, yang memberikan batasan maksimal terhadap distorsi harmonisa arus yang diperbolehkan dalam sistem distribusi tenaga listrik. Pengukuran THDI (Total Harmonic Distortion of Current) dihitung untuk menentukan tingkat distorsi harmonisa yang terjadi pada setiap gardu distribusi, yang kemudian diklasifikasikan berdasarkan fasa dan kapasitas transformator.

Setelah data pengukuran terkumpul, analisis dilakukan menggunakan metode Total

Harmonic Derating Factor (THDF). Langkah pertama adalah menghitung THDI pada masing-masing gardu distribusi menggunakan rumus matematis yang mengukur total distorsi harmonisa yang terjadi di setiap sistem. Selanjutnya, crest factor (CF) dihitung berdasarkan perbandingan antara arus puncak dan arus RMS untuk mengetahui tingkat fluktuasi gelombang arus. Berdasarkan nilai THDI dan CF, THDF kemudian dihitung untuk menentukan sejauh mana kapasitas transformator terpengaruh oleh harmonisa. Terakhir, kapasitas baru transformator setelah derating dihitung menggunakan persamaan yang mengalikan nilai THDF dengan kapasitas nominal transformator.

Hasil perhitungan kapasitas baru ini dibandingkan dengan kapasitas nominal transformator untuk menentukan persentase derating yang terjadi akibat harmonisa.

Pengukuran dan perhitungan hasil penelitian ini dianalisis dengan merujuk pada IEEE Standard 519-2014, yang menjadi acuan utama dalam menetapkan batas maksimum distorsi harmonisa arus yang diperbolehkan dalam sistem distribusi tenaga listrik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Pengukuran harmonisa dilakukan pada tiga gardu distribusi yang berada di Penyulang Duku PT. PLN (Persero) ULP Sentani, yaitu STN 020, STN 308, dan STN 186. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai Total Harmonic Distortion of Current (THDI) pada ketiga gardu tersebut melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh standar IEEE 519-2014. Pada gardu distribusi STN 020 diperoleh nilai rata-rata THDI sebesar 10,24%, pada STN 308 sebesar 10,41%, sedangkan pada STN 186 mencapai 14,28%. Nilai ini menunjukkan bahwa ketiga transformator telah terpapar distorsi harmonisa dengan intensitas yang cukup tinggi, terutama pada STN 186 yang mencatatkan angka paling signifikan.

Tabel 1. Hasil Pengukuran THDI

Gardu Distribusi	Fasa R (%)	Fasa S (%)	Fasa T (%)	Rata-rata THDI (%)	Batas IEEE 519-2014 (%)
STN 020	12,29	9,11	9,33	10,24	12
STN 308	10,18	11,56	9,51	10,41	8
STN 186	12,09	14,69	16,08	14,28	12

Berdasarkan hasil pengukuran tersebut, dilakukan perhitungan penurunan kapasitas transformator menggunakan metode Total Harmonic Derating Factor (THDF). Perhitungan menunjukkan bahwa transformator STN 020 yang memiliki kapasitas nominal 400 kVA mengalami penurunan kapasitas menjadi 365,6 kVA, atau setara dengan penurunan sebesar 8,6%. Transformator STN 308 dengan kapasitas nominal 200 kVA menurun menjadi 183,6 kVA, atau mengalami derating sebesar 8,2%. Sementara itu, penurunan kapasitas terbesar terjadi pada STN 186, di mana kapasitas awal 160 kVA berkurang menjadi 143,2 kVA, dengan persentase derating mencapai 10,8%.

Tabel 2. Perhitungan Derating Kapasitas Transformator

Gardu Distribusi	Kapasitas Terpasang (kVA)	THDF	Kapasitas Baru (kVA)	Penurunan (%)
STN 020	400	0,914	365,6	8,6%
STN 308	200	0,918	183,6	8,2%
STN 186	160	0,895	143,2	10,8%

Secara umum, hasil ini menunjukkan adanya hubungan langsung antara tingginya nilai harmonisa yang terukur pada sistem distribusi dengan besarnya penurunan kapasitas transformator. Semakin tinggi nilai THDI, semakin besar derating kapasitas yang dialami. Kondisi ini memperlihatkan bahwa harmonisa memiliki dampak yang nyata terhadap keandalan dan efisiensi transformator distribusi, serta menegaskan pentingnya pengendalian harmonisa untuk menjaga kontinuitas pasokan listrik di wilayah dengan beban padat pelanggan seperti Penyulang Duku.

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa ketiga transformator distribusi pada Penyulang Duku, yaitu STN 020, STN 308, dan STN 186, mengalami derating kapasitas akibat harmonisa arus yang melampaui standar IEEE 519-2014. Secara khusus, THDI yang tercatat pada ketiga gardu distribusi menunjukkan adanya distorsi harmonisa yang signifikan. STN 020 dan STN 308 masing-masing mencatatkan nilai THDI sekitar 10%, sementara STN 186 memiliki nilai THDI tertinggi sebesar 14,28%. Nilai-nilai ini lebih besar dibandingkan dengan ambang batas yang disarankan oleh IEEE, yang mengindikasikan bahwa beban yang dihadapi oleh transformator-transformator ini memiliki karakteristik non-linier yang cukup tinggi.

Penurunan kapasitas transformator yang dihitung dengan metode Total Harmonic Derating Factor (THDF) menunjukkan bahwa harmonisa yang terkandung dalam arus distribusi menyebabkan penurunan kapasitas efektif transformator antara 8,2% hingga 10,8%. Penurunan kapasitas pada transformator STN 186 yang paling signifikan (10,8%) menunjukkan bahwa beban pada transformator ini memiliki tingkat distorsi harmonisa yang paling tinggi, yang mengarah pada pemanasan berlebih dan penurunan efisiensi operasional. Temuan ini mengonfirmasi hasil studi sebelumnya yang menyatakan bahwa harmonisa dapat memperburuk kondisi operasional transformator, yang pada akhirnya menurunkan kemampuan transformator untuk melayani beban puncak (Wirajaya et al., 2019; Wayan Sutama & Robiwijawa, 2023).

Secara umum, hasil ini memberikan gambaran yang jelas tentang dampak harmonisa terhadap keandalan dan efisiensi transformator distribusi. Ketika harmonisa berada di atas ambang batas yang ditetapkan, transformator harus mengalami penurunan kapasitas untuk menghindari kerusakan akibat pemanasan berlebih. Kondisi ini berisiko mengurangi keandalan sistem distribusi, terutama pada saat beban puncak atau kondisi beban tinggi. Hal ini juga dapat menyebabkan rugi-rugi daya yang lebih besar, yang pada gilirannya dapat mengurangi efisiensi distribusi energi listrik.

Penurunan kapasitas akibat harmonisa bukan hanya berdampak pada transformator, tetapi juga pada sistem distribusi secara keseluruhan. Mengingat pentingnya keandalan pasokan listrik untuk sektor rumah tangga dan industri, terutama di daerah dengan kepadatan pelanggan tinggi, diperlukan upaya mitigasi yang efektif untuk mengatasi masalah ini. Salah satu cara untuk mengurangi dampak harmonisa adalah dengan memasang filter harmonisa (baik pasif maupun aktif) pada sistem distribusi. Filter ini dapat membantu mengurangi distorsi gelombang arus dan mencegah kerugian daya berlebih.

Selain itu, hasil penelitian ini juga menunjukkan perlunya pemantauan harmonisa secara berkala untuk memastikan bahwa nilai THDI tetap berada dalam batas yang dapat diterima. Jika nilai harmonisa terdeteksi melebihi batas, PLN

dapat melakukan langkah-langkah penanggulangan seperti redistribusi beban antar fasa atau pengaturan ulang pola pembebanan untuk mengurangi dampak harmonisa. Upaya-upaya ini sangat penting untuk menjaga agar transformator tetap beroperasi pada kapasitas maksimalnya tanpa risiko kerusakan yang lebih parah.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi yang signifikan terhadap strategi pengelolaan distribusi listrik di wilayah dengan kepadatan pelanggan tinggi, seperti yang terjadi pada Penyulang Duku. Dengan memahami dampak harmonisa dan menerapkan langkah mitigasi yang tepat, PLN dapat menjaga keandalan dan efisiensi sistem distribusi tenaga listrik, sekaligus memperpanjang umur operasional peralatan distribusi.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa keberadaan beban non-linier pada Penyulang Duku PT. PLN (Persero) ULP Sentani menimbulkan distorsi harmonisa arus yang melebihi batas standar IEEE 519-2014. Hasil pengukuran dan perhitungan dengan metode Total Harmonic Derating Factor (THDF) menunjukkan terjadinya penurunan kapasitas transformator distribusi sebagai berikut: STN 020 sebesar 8,6%, STN 308 sebesar 8,2%, dan STN 186 sebesar 10,8%.

Temuan ini menegaskan bahwa harmonisa memiliki pengaruh signifikan terhadap derating kapasitas transformator, yang berdampak pada keandalan pasokan listrik, efisiensi distribusi, dan umur operasional peralatan. Oleh karena itu, PLN perlu melakukan pemantauan harmonisa secara berkelanjutan dan mempertimbangkan penerapan teknologi mitigasi harmonisa seperti filter aktif/pasif serta redistribusi beban antar fasa.

Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam pengelolaan transformator distribusi pada daerah dengan beban padat. Namun, kajian lebih lanjut diperlukan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai metode mitigasi harmonisa serta mengkaji dampak jangka panjang terhadap keandalan sistem distribusi tenaga listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dultudes, & Ekawati. (2022). Pengaruh harmonisa pada trafo distribusi 250 kVA di PT. PLN (Persero) ULP Sentani. *Jurnal Teknik Elektro*.
- [2] Iskandar. (2009). Analisis pengaruh harmonisa terhadap arus netral, rugi-rugi dan penurunan kapasitas pada transformator distribusi. *Jurnal Teknologi Elektro*.
- [3] Yusuf, M. (2023). Analisa harmonisa arus dan tegangan pada ruang NOC (Network Operations Center) UPT TIK. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*.
- [4] Nugroho, & Reza. (2022). Analisis pengukuran dan perhitungan total harmonic distortion (THD) pada beban non-linier. *Jurnal Teknik Elektro*.
- [5] Purwoharjono. (2014). Identifikasi dampak gangguan harmonisa dan ketidakseimbangan magnitude tegangan serta sudut phasa pada performa motor induksi. *ELKHA Journal of Electrical Engineering*, 6(2), 72-81. <https://doi.org/10.26418/elkha.v6i2.8881>
- [6] Suherman, & Kampay. (2017). Kerugian daya akibat ketidakseimbangan beban terhadap arus netral pada transformator distribusi. *Jurnal Energi dan Teknologi*.
- [7] Wayan Utama, & Robiwijawa. (2023). Dampak beban non linier terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi di penyulang Wibrata. *Jurnal Teknik Energi*.
- [8] Wirajaya, R., Rinas, & Sukerayasa, I. (2019). Studi analisa pengaruh total harmonic distortion (THD) terhadap rugi-rugi, efisiensi, dan kapasitas kerja transformator pada penyulang Kerobokan. *Jurnal Energi dan Kelistrikan*.
- [9] IEEE Standards Association. (2014). IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems (IEEE Std 519-2014). IEEE.