

Analisis Derating Transformator Distribusi Akibat Pembebanan Non-Linear di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

¹Ahmad Fikry Alimuddin, ²Puji Slamet, ³Reza Sarwo Widagdo

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Surabaya, Indonesia

¹surabayafikri019@gmail.com, ²pujislamet@untag-sby.ac.id, ³rezaswidagdo@untag-sby.ac.id

Abstract - Electrical energy is a vital requirement for modern society, supporting both academic and non-academic activities at Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. The campus power supply is provided by a three-phase distribution transformer with a capacity of 200 kVA, serving various equipment with nonlinear load characteristics. Such conditions generate harmonics that potentially increase power losses, operating temperature, and cause derating or reduction of the transformer's effective capacity. This study aims to analyze the impact of nonlinear loading on the effective capacity of distribution transformers and calculate the resulting derating value. The method refers to IEEE C57-110 standards through the calculation of *Total Harmonic Distortion Factor* (THDF) and *K-Factor*, with stages including current measurement, THDi analysis, *Total Demand Distortion* (TDD) calculation, and derating estimation on three transformer units. The novelty of this research lies in the simultaneous application of THDF and K-Factor methods under real campus conditions. The results show that THDi and TDD values remain within the IEEE 519-2014 limits. The derating value obtained using THDF is 0.99 for all transformers, while the K-Factor method produces 0.996 for Transformers 1 and 2, and 0.99 for Transformer 3. It can be concluded that nonlinear loading has only a minor effect on reducing transformer capacity, providing useful insights for evaluating distribution transformer reliability.

Keywords — *Transformer, Transformer Derating, Harmonics, THDi, THDF, K-Factor*

Abstrak — Energi listrik merupakan kebutuhan vital bagi masyarakat modern, termasuk dalam mendukung aktivitas akademik dan nonakademik di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Pasokan listrik di lingkungan kampus disuplai oleh transformator distribusi tiga fasa berkapasitas 200 kVA yang melayani berbagai peralatan dengan karakteristik beban nonlinier. Kondisi ini menimbulkan harmonisa yang berpotensi meningkatkan rugi-rugi daya, suhu operasi transformator, serta menyebabkan derating atau penurunan kapasitas efektif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh pembebanan nonlinier terhadap kapasitas efektif transformator distribusi serta menghitung nilai derating yang terjadi. Metode yang digunakan mengacu pada standar IEEE C57-110 melalui perhitungan *Total Harmonic Distortion Factor* (THDF) dan *K-Factor*, dengan tahapan berupa pengukuran arus beban, analisis THDi, perhitungan *Total Demand Distortion* (TDD), serta estimasi derating pada tiga unit transformator. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan simultan metode THDF dan K-Factor untuk kondisi nyata di kampus. Hasil perhitungan menunjukkan nilai THDi dan TDD masih memenuhi batas IEEE 519-2014. Nilai derating dengan metode THDF sebesar 0,99 pada ketiga transformator, sedangkan metode K-Factor sebesar 0,996 untuk transformator 1 dan 2, serta 0,99 untuk transformator 3. Disimpulkan bahwa pembebanan nonlinier memberikan pengaruh kecil terhadap penurunan kapasitas daya, dengan manfaat sebagai acuan evaluasi keandalan transformator distribusi.

Kata Kunci— *Transformator, Derating Transformator, Harmonisa, THDi, THDF, K-Factor*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan fundamental dalam kehidupan masyarakat modern. Seiring dengan kemajuan teknologi, permasalahan di bidang kelistrikan kerap muncul, khususnya dalam upaya pemenuhan kebutuhan energi listrik. Peningkatan konsumsi energi listrik tidak hanya dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah penduduk, tetapi juga oleh meningkatnya aktivitas ekonomi masyarakat yang terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan hidup [1]–[3]. Ketersediaan energi listrik yang memadai, andal, dan terdistribusi secara tepat sasaran menjadi faktor penting dalam mendorong perkembangan berbagai sektor, seperti industri, perdagangan, pelayanan publik, serta peningkatan kualitas hidup masyarakat, seiring dengan meluasnya akses

terhadap listrik. Dibandingkan dengan bentuk energi lainnya, energi listrik memiliki keunggulan kompetitif karena lebih mudah disalurkan dan didistribusikan hingga menjangkau wilayah yang luas [4]–[6].

Listrik adalah salah satu bentuk energi yang memegang peranan sangat penting dalam kehidupan modern, terutama dalam pengoperasian peralatan yang menggunakan elektronika daya. Arus listrik sendiri merupakan aliran muatan listrik dari potensial tinggi ke potensial rendah melalui suatu penghantar listrik [7],[8]. Dalam sistem tenaga listrik, terdapat dua jenis beban, yaitu beban linier dan beban non-linier. Beban non-linier dapat menimbulkan distorsi harmonisa yang berdampak pada peningkatan rugi-rugi daya pada transformator serta penurunan kapasitas kerja (*derating*) transformator [9]–[11]. Di Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, penggunaan peralatan listrik dengan karakteristik beban non-linier, seperti komputer, pendingin ruangan (AC), dan proyektor (*infocus*), sangat vital dalam menunjang berbagai kegiatan belajar mengajar, pelayanan akademik, maupun non-akademik. Pasokan listrik di universitas ini bersumber dari transformator tiga fasa berkapasitas 200 kVA.

Permasalahan yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah terjadinya *derating* pada transformator distribusi akibat pembebanan nonlinier, yang memicu timbulnya harmonisa sehingga meningkatkan rugi-rugi daya dan suhu operasional transformator. Transformator yang umumnya dirancang untuk melayani beban linier akan mengalami pemanasan berlebih dan berpotensi mengalami kerusakan dini apabila dioperasikan di bawah kapasitas nominalnya akibat distorsi harmonisa. Kondisi tersebut tidak hanya menurunkan efisiensi operasional, tetapi juga berimplikasi pada meningkatnya biaya operasional akibat kebutuhan penggantian peralatan atau peningkatan kapasitas transformator. Berdasarkan latar belakang tersebut, kontribusi penelitian ini adalah melakukan perhitungan *derating* transformator untuk menentukan besarnya penurunan kapasitas pada transformator di Universitas 17 Agustus 1945 yang disebabkan oleh pembebanan nonlinier. Analisis dilakukan menggunakan metode *Total Harmonic Distortion Factor* (THDF), CBEMA, dan *K-Factor* berdasarkan standar IEEE, sehingga diperoleh nilai faktor *derating* yang dapat digunakan sebagai acuan dalam pengelolaan beban transformator.

II. METODE PENELITIAN

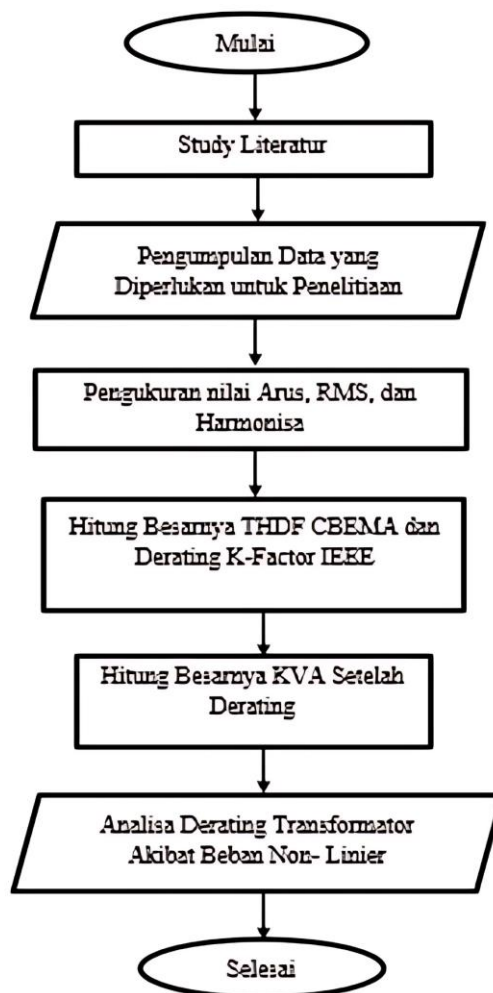
A. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang bertujuan untuk menemukan dan merumuskan solusi terhadap permasalahan yang diidentifikasi. Metode yang digunakan meliputi studi literatur, pengumpulan data, perhitungan matematis, analisis hasil, serta penarikan kesimpulan. Tahap awal penelitian dimulai dengan persiapan menyeluruh terhadap seluruh kebutuhan yang diperlukan. Persiapan ini mencakup identifikasi sumber daya, penyiapan peralatan, serta koordinasi awal dengan pihak terkait di lokasi penelitian. Setelah tahap persiapan, dilanjutkan dengan pengumpulan informasi melalui studi literatur. Pada tahap ini, peneliti secara aktif mengumpulkan dan mempelajari teori-teori dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah, buku, serta referensi daring yang relevan dengan topik penelitian. Studi literatur ini berfungsi sebagai landasan teoritis yang kuat, membantu dalam perumusan masalah, serta mengidentifikasi metode yang telah terbukti efektif dalam konteks serupa. Tahap berikutnya adalah pengamatan langsung di lokasi penelitian, yaitu Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya. Pada tahap ini, peneliti tidak hanya mengamati kondisi operasional transformator distribusi, tetapi juga melakukan wawancara dengan petugas lapangan untuk memperoleh informasi praktis dan kontekstual terkait pengoperasian transformator serta sistem kelistrikan di universitas. Data yang diperoleh meliputi spesifikasi transformator berkapasitas 200 kVA serta kondisi pembebanan non-linier yang terjadi.

Setelah data terkumpul, dilakukan verifikasi kelengkapan data. Apabila ditemukan kekurangan atau ketidaksesuaian, pengambilan data akan diulang untuk memastikan semua informasi yang dibutuhkan tersedia secara lengkap. Setelah data dinyatakan lengkap, proses dilanjutkan dengan perhitungan dan analisis. Pada tahap ini, dilakukan perhitungan matematis berdasarkan data yang diperoleh, kemudian hasilnya dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi pola, hubungan, atau indikasi penting yang relevan dengan tujuan penelitian. Selanjutnya, dilakukan validasi hasil perhitungan dan analisis untuk memastikan akurasi dan keandalan temuan. Apabila ditemukan ketidaksesuaian atau hasil yang tidak konsisten, perhitungan dan analisis akan diulang hingga diperoleh hasil yang benar. Tahap terakhir adalah penyusunan kesimpulan penelitian. Berdasarkan analisis yang telah divalidasi, kesimpulan dirumuskan untuk menjawab permasalahan terkait *derating* transformator distribusi akibat pembebanan non-linier pada transformator berkapasitas 200 kVA. Pengambilan data penelitian ini dilaksanakan di Universitas 17 Agustus 1945, yang berlokasi di Surabaya, Jawa Timur, Indonesia. Pemilihan lokasi didasarkan pada relevansinya

sebagai fasilitas infrastruktur vital yang menggunakan transformator distribusi berkapasitas 200 kVA untuk memasok listrik ke seluruh area kampus. Proses pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Maret, dengan objek utama penelitian berupa transformator distribusi berkapasitas 200 kVA.

Gambar 1 menyajikan alur penelitian yang membahas *derating* transformator akibat pembebanan nonlinier. Proses penelitian diawali dengan kajian literatur untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai teori dasar, metode analisis, dan standar yang relevan. Tahap berikutnya adalah pengumpulan data pendukung, kemudian dilanjutkan dengan pengukuran parameter penting, meliputi arus, nilai RMS, dan kandungan harmonisa. Hasil pengukuran tersebut menjadi dasar perhitungan *Total Harmonic Distortion Factor* (THDF) dengan metode CBEMA serta penentuan *derating* menggunakan *K-Factor* mengacu pada standar IEEE. Dari nilai *derating* yang diperoleh, kapasitas kVA pasca *derating* dapat dihitung. Tahap akhir meliputi analisis hasil perhitungan untuk mengevaluasi sejauh mana pembebanan nonlinier mempengaruhi kinerja transformator.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Spesifikasi Transformator

Spesifikasi Transformator	
Daya Transformator	200 KVA
Impedansi	4.2%

Tegangan Primer	20 kV
Tegangan Sekunder	380 V

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa Perhitungan Arus Beban Puncak

Dalam mencari tingkat presentasi standart harmonisa yang ada perhitungan arus beban penuh dengan persamaan [12]:

$$\begin{aligned}
 I_{FL} &= \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \\
 &= \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 380} \\
 &= 303.88 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Berikut hasil perhitungan keseluruhan data yang didapat:

Tabel 2. Hasil Perhitungan Arus Beban Puncak

Kode Transformator	Arus Beban Puncak
Transformator 1	303.88 A
Transformator 2	303.88 A
Transformator 3	303.88 A

B. Analisa Perhitungan Arus Hubung Singkat

Untuk mencari arus hubung singkat dengan rumus sebagai berikut [13]:

$$\begin{aligned}
 I_{sc} &= \frac{S(KVA)}{\sqrt{3} \cdot V(KV) \cdot Z(\%)} \\
 &= \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,042} \\
 &= \frac{200}{0.0276} \\
 &= 7246.3 \text{ A}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Berikut hasil perhitungan data yang didapat:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Arus Hubung Singkat

Kode Transformator	Arus Hubung Singkat
Transformator 1	7246.3 A
Transformator 2	7246.3 A
Transformator 3	7246.3 A

C. Analisa Perhitungan Arus Beban Penuh

Untuk mencari arus beban penuh singkat dengan rumus sebagai berikut [14]:

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi}
 \tag{3}$$

$$= \frac{200.100}{\sqrt{3} \cdot 380.0,8}$$

$$I_L = 379,83 \text{ A}$$

Berikut hasil perhitungan keseluruhan data yang didapat:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Arus Beban Penuh

Kode Transformator	Arus Beban Penuh
Transformator 1	379.83 A
Transformator 2	379.83 A
Transformator 3	379.83 A

D. Analisa Perhitungan Rasio Short Circuit (SC-Ratio)

Setelah mendapatkan perhitungan arus hubung singkat dan arus beban penuh maka kita dapat menganalisis perhitungan arus hubung singkat untuk melihat perbandingan tingkat THD sesuai dengan standart IEEE 519-2014 dengan hasil yang didapat saat melakukan pengukuran dilapangan. Untuk mencari rasio hubung singkat digunakan rumus persamaan sebagai berikut [15]:

$$SCratio = \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (4)$$

$$= \frac{7246,3}{379,83}$$

$$SCratio = 19.077 \text{ A}$$

Berikut hasil perhitungan keseluruhan data yang didapat:

Tabel 5. Analisis Arus Hubung Singkat pada Transformator

Transformator	$I_{sc} \text{ (A)}$
Transformator 1	19.077
Transformator 2	19.077
Transformator 3	19.077

E. Hasil pengukuran Individu Harmonic Distortion

Pengukuran *Individual Harmonic Distortion* pada transformator diukur menggunakan clamp meter didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel 6. Hasil pengukuran Individual Harmonic Distortion

Orde	Frekuensi	Transformator 1		Transformator 2		Transformator 3	
		IHD (%)	Arus RMS(A)	IHD (%)	Arus RMS (A)	IHD (%)	Arus RMS (A)
1	50	100	12.56	100	34.72	100	15.28
3	100	3.30	0.44	4.06	1.41	6.09	0.93
5	150	2.06	0.26	2.36	0.82	3.07	0.47
7	250	0.68	0.08	0.76	0.27	1.30	0.20
9	350	0.76	0.09	0.18	0.06	0.68	0.10
11	450	0.50	0.06	0.08	0.03	0.38	0.06
13	550	0.16	0.03	0.08	0.03	0.46	0.07
15	650	0.16	0.02	0.04	0.02	0.13	0.02
17	750	0.03	0.01	0.02	0.01	0.21	0.03

Untuk mengetahui *Total Harmonic Distortion (THD)* arus pada transformator maka dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut [16]:

$$THD I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \quad (5)$$

Setelah mendapatkan nilai hasil perhitungan *Total Harmonic Distortion (THD)* dan *Total Demand Distortion (TDD)* kemudian menganalisa dan disesuaikan dengan standart harmonisa arus berdasarkan tabel berikut

Tabel 7. Standart Harmonisa Arus berdasarkan IEEE 519-2014

120 V – 69 kV

Isc/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20	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

69 kV – 161 kV

Isc/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20 < 50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50 < 100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100 < 1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.0	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0

> 161kV

Isc/IL	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 25	1.0	0.5	0.38	0.15	0.1	1.5
25 < 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
> 50	3.0	1.5	1.15	0.45	0.22	3.75

Tabel 7 menyajikan batas maksimum distorsi harmonisa arus individu pada sistem tenaga listrik sesuai standar IEEE 519-2014. Batasan ini diberikan dalam persentase terhadap arus beban penuh (I_L) dan dibedakan berdasarkan level tegangan sistem (120 V – 69 kV, 69 kV – 161 kV, dan > 161 kV) serta rasio arus hubung singkat terhadap arus beban (I_{sc}/I_L). Pengelompokan harmonisa individu dilakukan pada orde ganjil dengan lima rentang: $3 \leq h < 11$, $11 \leq h < 17$, $17 \leq h < 23$, $23 \leq h < 35$, dan $35 \leq h \leq 50$, dengan tambahan parameter *Total Demand Distortion (TDD)* sebagai batas total distorsi arus.

Pada sistem tegangan rendah hingga menengah (120V–69kV), batas harmonisa individu relatif lebih longgar dibandingkan level tegangan di atasnya. Misalnya, untuk rasio $I_{sc}/I_L < 20$, harmonisa orde 3 – 11 dibatasi hingga 4% dari I_L dengan *TDD* maksimum 5%. Seiring peningkatan rasio I_{sc}/I_L , batas harmonisa diizinkan lebih besar karena sistem memiliki kapasitas yang lebih besar untuk menyerap distorsi tanpa menurunkan kualitas daya secara signifikan.

Pada tegangan 69 kV – 161 kV, batas harmonisa lebih ketat. Sebagai contoh, untuk $I_{sc}/I_L < 20$, harmonisa orde 3 – 11 dibatasi hingga 2% dari I_L dengan *TDD* maksimum 2.5%. Hal ini mencerminkan sensitivitas yang lebih tinggi pada sistem transmisi menengah terhadap distorsi harmonisa. Untuk sistem tegangan tinggi (> 161 kV), batas harmonisa menjadi yang paling ketat karena sifat jaringan transmisi yang memerlukan kualitas daya sangat tinggi guna menjaga stabilitas dan menghindari resonansi. Sebagai ilustrasi, untuk $I_{sc}/I_L < 25$, harmonisa orde 3 – 11 dibatasi hanya 1% dari I_L dengan *TDD* maksimum 1.5%. Secara umum, terlihat pola bahwa semakin tinggi tegangan sistem, semakin kecil toleransi terhadap harmonisa. Demikian pula, semakin besar rasio I_{sc}/I_L , semakin besar batas harmonisa yang diizinkan.

Tabel 8. Hasil Analisa THDI dan TDD

Tranformator	I_{sc}/I_L	Range	Standar	THDi	Melebihi/ Tidak
Analisa THD arus 3 < 11					
Transformator 1	19.078	< 20	4	0.012%	Tidak
Transformator 2	19.078	< 20	4	0.078%	Tidak
Transformator 3	19.078	< 20	4	0.074%	Tidak
Analisa THD arus 11 < 17					
Transformator 1	19.078	< 20	2	0.00039%	Tidak
Transformator 2	19.078	< 20	2	0.000063%	Tidak
Transformator 3	19.078	< 20	2	0.0000058%	Tidak
Analisa THD arus 17 < 23					
Transformator 1	19.078	< 20	1.5	0.000007%	Tidak
Transformator 2	19.078	< 20	1.5	0.0000028%	Tidak
Transformator 3	19.078	< 20	1.5	0.000058%	Tidak
TDD Arus Total					
Transformator 1	19.078	< 20	5	0.08%	Tidak
Transformator 2	19.078	< 20	5	0.078%	Tidak
Transformator 3	19.078	< 20	5	0.074%	Tidak

Dari hasil perhitungan dan analisa sumber-sumber harmonisa arus pada transformator dapat dilihat bahwa kandungan harmonisa arus yang berada dibawah batas normal terhadap standart SPLN 2014

F. Perhitungan Derating Transformator Metode THDF

Untuk mengetahui derating pada transformator metode THDF maka dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut

$$\begin{aligned}
 THDF &= 1,414 \\
 &\times \frac{12,56}{\sqrt{2} \cdot I_{rms}}
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

$$= 1,414$$

$$= 0,99$$

$$KVA \text{ Baru} = 200 \times 0,99 \quad (7)$$

$$MVA \text{ Baru} = 198 \text{ KVA}$$

$$\% \text{ Derating} = \frac{200-198}{200} \times 100\% \quad (8)$$

$$\% \text{ Derating} = 1\%$$

Berikut hasil perhitungan keseluruhan data yang didapat:

Tabel 9. Analisa Derating Transformator Metode THDF

Kode Transformator	Kapasitas Transformator	Arus RMS (A)	Arus Maksimal (A)	Crest Factor	THDi (%)	THDF	Derating Transformator	% Derating
Transformator 1	200 KVA	12.56	17.76	1.414	0.08%	0.99	198	1%
Transformator 2	200 KVA	34.72	49.10	1.414	0.078%	0.99	198	1%
Transformator 3	200 KVA	16.28	23.02	1.414	0.074%	0.99	198	1%

Tabel 9 menunjukkan hasil pengukuran arus RMS, arus puncak, faktor puncak (Crest Factor), nilai THDi, Total Harmonic Derating Factor (THDF), serta nilai derating pada tiga transformator distribusi berkapasitas 200 kVA. Ketiga transformator memiliki nilai Crest Factor sebesar 1.414, yang menandakan bentuk gelombang arus mendekati sinusoidal murni tanpa distorsi signifikan. Nilai THDi pada ketiga transformator sangat rendah, masing-masing 0.08% (Transformator 1), 0.078% (Transformator 2), dan 0.074% (Transformator 3). Nilai ini jauh di bawah batas yang ditetapkan dalam IEEE 519-2014, sehingga kontribusi harmonisa terhadap pembebanan transformator dapat diabaikan.

G. Perhitungan Derating Transformator Metode K-Factor IEEE C57-110

Untuk menentukan nilai *derating* transformator berdasarkan metode *K-Factor* sesuai standar IEEE C57-110, dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$K = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} h^2 i_h^2}{\sum_{h=1}^{\infty} h^2} \quad (9)$$

$$D = \frac{1.15}{1 + 0,15K} \quad (10)$$

Tabel 10. Analisa Derating Transformator dengan Metode K-factor

Kode Transformator	K-Factor	Derating	Derating Transformator	Derating (%)
Transformator 1	1.09	0.996	199	0.39
Transformator 2	1.03	0.996	199	0.39
Transformator 3	1.07	0.99	198	0.91

Tabel 10 menyajikan nilai K-Factor, faktor derating, kapasitas daya setelah derating, serta persentase derating untuk tiga transformator distribusi. K-Factor digunakan untuk mengukur dampak harmonisa terhadap beban termal transformator, di mana nilai mendekati 1 menunjukkan paparan harmonisa yang sangat rendah. Pada ketiga transformator, K-Factor berada di kisaran 1.03 – 1.09, yang berarti beban harmonisa hampir tidak memberikan tambahan pemanasan signifikan. Faktor derating untuk Transformator 1 dan 2 adalah 0.996, sedangkan Transformator 3 sedikit lebih rendah, yaitu 0.99. Setelah derating, kapasitas efektif Transformator 1 dan 2 menjadi 199 kVA dengan persentase penurunan kapasitas sebesar 0.39%. Sementara itu, Transformator 3 memiliki kapasitas efektif 198 kVA dengan penurunan kapasitas lebih tinggi yaitu 0.91%. Perbedaan ini disebabkan oleh sedikit variasi nilai K-Factor dan faktor derating, meskipun masih dalam rentang yang aman. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa pengaruh harmonisa pada ketiga transformator sangat kecil, sehingga tidak diperlukan tindakan korektif khusus.

H. Analisa Perhitungan Derating Transformator Metode THDF dengan K-Factor

Pada Tabel 11 ditunjukkan perbandingan hasil perhitungan *derating* transformator antara metode THDF CBEMA dan *K-Factor* IEEE yang menunjukkan perbedaan relatif kecil. Temuan ini mengindikasikan bahwa nilai *derating* transformator berada pada kisaran 0,99 dari kapasitas terpasang.

Tabel 11. Perbandingan derating transformator metode THDF dengan K-Factor

Kode Transformator	THDF CBEMA		K-Factor IEEE C57.110	
	THDF	Derating Transformator (kVA)	Faktor Derating	Derating Transformator (kVA)
Transformator 1	0.99	198	0.996	199
Transformator 2	0.99	198	0.996	199
Transformator 3	0.99	198	0.99	198

Tabel 11 menyajikan perbandingan hasil perhitungan *derating* transformator menggunakan dua pendekatan, yaitu metode THDF CBEMA dan metode *K-Factor* IEEE C57.110. Kedua metode tersebut digunakan untuk menilai dampak harmonisa terhadap kapasitas efektif transformator. Hasil analisis menunjukkan perbedaan yang sangat kecil, dengan selisih maksimum sebesar 1 kVA. Temuan ini menegaskan bahwa, pada kondisi beban saat ini, baik metode THDF maupun *K-Factor* menghasilkan kesimpulan yang sejalan, yakni ketiga transformator hanya mengalami penurunan kapasitas yang sangat kecil akibat pengaruh harmonisa. Secara aplikatif, kedua metode tersebut dapat saling melengkapi dalam memverifikasi keamanan operasi transformator terhadap pembebanan harmonisa, dan data pada tabel mengindikasikan bahwa sistem masih beroperasi dalam batas aman.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian terkait rumusan masalah dan tujuan penelitian mengenai *derating* transformator distribusi akibat pembebanan non-linier, dapat disimpulkan bahwa analisis perhitungan nilai THDi untuk orde $3 < 11$ pada transformator distribusi 1 sebesar 0,012%, transformator distribusi 2 sebesar 0,078%, dan transformator distribusi 3 sebesar 0,74%. Untuk orde $11 < 17$, nilai THDi pada transformator distribusi 1 adalah 0,00039%, transformator distribusi 2 sebesar 0,000063%, dan transformator distribusi 3 sebesar 0,0000058%. Sementara itu, untuk orde $17 < 23$, nilai THDi pada transformator distribusi 1 sebesar 0,000007%, transformator distribusi 2 sebesar 0,0000028%, dan transformator distribusi 3 sebesar 0,000058%. Hasil perhitungan TDD arus total menunjukkan nilai sebesar 0,08% pada transformator distribusi 1, 0,078% pada transformator distribusi 2, dan 0,074% pada transformator distribusi 3. Berdasarkan hasil THDi dan TDD tersebut, gelombang arus yang dihasilkan bersifat non-sinusoidal namun masih berada dalam batas standar IEEE 519-2014. Analisis perhitungan *derating* transformator menggunakan metode THDF menghasilkan nilai sebesar 0,99 untuk transformator 1 dan 2, serta 0,99 untuk transformator 3. Sementara itu, metode *K-Factor* memberikan hasil *derating* sebesar 0,996 untuk transformator 1 dan 2, serta 0,99 untuk transformator 3. Perbandingan kedua metode menunjukkan bahwa nilai *derating* akibat pembebanan non-linier tidak memiliki perbedaan yang signifikan, dan penurunan kapasitas transformator distribusi relatif kecil karena nilai THDi yang diperoleh masih memenuhi standar.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sutjipto, R., Kusuma, W., & Zulfianta, K. (2022). Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Losses Transformator 500 kVA. *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, 9(2), 40-45.
- [2] Pratama, A. G. M., Rinas, I. W., & Pelayun, A. A. M. (2021). Analisa Pengaruh Pengoperasian Filter Aktif Terhadap Rugi-Rugi Daya dan Derating Trafo Pada Sistem Kelistrikan di RS BIMC Nusa Dua. *Jurnal SPEKTRUM Vol*, 8(3).
- [3] Rinas, I. W. (2012). Studi Analisis Losses dan Derating Akibat Pengaruh THD pada Gardu Transformator Daya di Fakultas Teknik Universitas Udayana. *Teknologi Elektro*, 11(1).
- [4] Handajadi, W. (2008). Pengaruh Temperatur Pada Nilai THDF (Transformer Harmonic Derating Factor) Dalam Transformator Distribusi. *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 231-218.
- [5] Jamaah, A. (2013). Pengaruh Distorsi Harmonik Terhadap Penurunan Kapasitas Daya Trafo Distribusi 3 Fasa 400 kVA di Politeknik Negeri Semarang. *Jurnal Teknik Elektro Terapan*, 2(1), 1-10.
- [6] Sulistiyono, S., & Azis, H. N. (2017). Analisis Pengaruh Masa Operasional Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi Di PT Pln (Persero). *Jurnal Teknologi Elektro*, 8(1), 142782.
- [7] Priliyasi, F., & Gusmedi, H. (2007). Studi Pengaruh Harmonisa pada Arus Listrik Terhadap Besarnya Penurunan Kapasitas Daya (KVA) Terpasang Transformator Distribusi (Studi Kasus: Trafo Distribusi PT. PLN (Persero) wilayah Bekasi Raya). *Electrician: Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, 1(1), 43-49.
- [8] AS, N. R., Supriyadi, E., & Ariman, A. (2024). Analisa Penurunan Usia Transformator 1250 kVA Akibat Pembebanan pada Transformator di Rumah Sakit Swasta. *SAINSTECH: Jurnal Penelitian Dan Pengkajian Sains Dan Teknologi*, 34(1), 52-63.
- [9] Febrianti, I. K. (2017). Analisa penurunan faktor kerja transformator daya 30 MVA. *Jurnal Ampere*, 2(1), 18-22.
- [10] Utama, I. W. (2023). Dampak Beban Non Linier Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi di Penyulang Wibrata. In *Seminar Ilmiah Nasional Teknologi, Sains, dan Sosial Humaniora (SINTESA)* (Vol. 6).
- [11] Yusiran, Y., & Hasanudin, H. (2025). Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban terhadap Rugi-Rugi Daya dan Efisiensi Transformator Step Down 20 KV/400 V. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(3), 2113-2120.
- [12] Afrianda, R., Samsurizal, S., & Nurul, A. A. (2020). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Studi Gardu PT. PLN (PERSERO) Area Bekasi. *Sutet*, 10(1), 29-38.
- [13] Widagdo, R. S., Budiono, G., Slamet, P., Andriawan, A. H., Wardah, I. A., & Rafi, S. A. (2024, September). Identification of Distribution Transformer Reliability Using the Weibull Approach at the Customer Service Unit Taman, Surabaya. In *2024 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICs)* (pp. 92-96). IEEE.
- [14] Widagdo, R. S., & Andriawan, A. H. (2023). Analysis of Losses Due to Load Unbalance in a 2000 kVA Transformer at Supermall Mansion 2 Tower Tanglin Surabaya. *Journal of Engineering and Scientific Research*, 5(2), 78-84.
- [15] Widagdo, R. S., & Andriawan, A. H. (2023). Prediction of age loss on 160 KVA transformer PT. PLN ULP Kenjeran

Surabaya using the linear regression method. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 5(2), 83-92.

- [16] Pratama, N. A., & Rahmawati, Y. (2020). Evaluation of unbalanced load impacts on distribution transformer performances. *Front. Energy Syst. Power Eng*, 2(1), 28-35.