

Analisa Harmonisa dan Faktor Daya Peralatan Listrik Rumah Tangga Pada Sistem Tegangan Rendah 220 V

Eva Magdalena Silalahi^{1✉}

¹ Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia (UKI), Jakarta, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diserahkan : 30-08-2024

Direvisi : 04-09-2024

Diterima : 17-09-2024

Kata Kunci:

Faktor daya; IEEE 519-2014; Peralatan listrik; THDi; THDv.

Keywords :

Power factor, IEEE 519-2014, Electrical equipment, THDi, THDv.

Corresponding Author :

Eva Magdalena Silalahi
Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia (UKI), Indonesia
Jl. Mayjen Sutoyo No.2, Cawang, Jakarta Timur 13630
Email: eva.silalahi@uki.ac.id

ABSTRAK

Berbagai peralatan listrik rumah tangga AC, TV, kipas angin, mesin cuci, kulkas, *rice cooker*, setrika, pemanas air, komputer, laptop dan lainnya merupakan kebutuhan yang umum digunakan sehari-hari. TV, komputer dan laptop termasuk beban listrik nonlinier, sebagai sumber harmonisa dengan faktor daya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan THDv dan THDi peralatan listrik dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014, dan faktor daya mengacu standar faktor daya PLN $\geq 0,85$. Hasil analisis data menunjukkan peralatan listrik ini memiliki THDv yang memenuhi standar. Peralatan listrik kategori beban nonlinier, umumnya menggunakan komponen elektronik, THDi 118,36 % hingga 216,42% dan faktor daya 0,36 hingga 0,6. Peralatan listrik untuk menggerakkan motor listrik, THDi dan faktor daya bervariasi, THDi 7,60% hingga 22,73% dan faktor daya 0,46 hingga 0,98. Peralatan listrik beban linier, THDi 1,07% hingga 2,10%, dan faktor daya 0,98 hingga 1,0.

ABSTRACT

Common domestic electrical equipment include air conditioners, televisions, fans, washing machines, refrigerators, rice cookers, irons, water heaters, computers, laptops, and others. TVs, PCs, and laptops are nonlinear electrical loads that generate harmonics with low power factors. This study intends to determine the THDv and THDi of electrical equipment and compare them with the IEEE 519-2014 standard. The power factor relates to the PLN power factor standard of ≥ 0.85 . The data analysis results demonstrate that this electrical equipment's THDv fulfills the norm. Nonlinear load electrical equipment is often made up of electronic components with a THDi of 118.36% to 216.42% and a power factor of 0.36 to 0.6. THDi and power factor vary, namely: THDi 7.60% to 22.73% and a power factor of 0.46 to 0.98. And linear load electrical equipment, THDi 1.07% to 2.10%, and power factor 0.98 to 1.0.

PENDAHULUAN

Kualitas daya merupakan isu penting yang menjadi pertimbangan dalam perencanaan sistem tenaga listrik, seperti masalah harmonisa arus, tegangan, dan faktor daya rendah, yang umumnya disebabkan oleh peralatan listrik nonlinier. Kualitas daya menjadi perhatian yang meningkat dengan penggunaan perangkat nonlinier yang merupakan sumber harmonisa arus dan tegangan. Harmonisa adalah cacat/distorsi pada bentuk gelombang arus dan tegangan, sehingga

bentuk gelombang arus dan tegangan tidak sinusoidal murni. Harmonisa dinyatakan dalam nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) dalam persen dan diukur mengacu standar harmonisa yang berlaku.

Berikut ini diberikan beberapa penelitian yang membahas mengenai masalah harmonisa arus dan tegangan pada berbagai beban listrik, baik beban listrik nonlinier maupun beban listrik linier, dengan beberapa lokasi penelitian yang berbeda.

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan (Nadeak et al., 2024) yang membahas kapasitor *tuned reactor* yang digunakan untuk membantu menjaga faktor daya dalam lingkungan yang kaya harmonik, menyatakan bahwa setelah pemasangan kapasitor *tuned reactor*, diperoleh nilai *THDV* memenuhi standar, nilai *THDI* mendekati batas standar pada fasa T dan melewati standar pada fasa L2 (S). Nilai frekuensi rata-rata memenuhi standar IEC sebesar 50 Hz. Namun nilai faktor daya, masih belum memenuhi standar.

Berdasarkan hasil kajian (Zulkarnain et al., 2024) pada Gedung Administrasi FTI Universitas Jayabaya yang banyak menggunakan peralatan elektronik sebagai beban nonlinier, menyatakan bahwa nilai tegangan di Gedung Tata Usaha FTI Universitas Jayabaya telah memenuhi standar SPLN-1-1995, nilai frekuensi telah memenuhi batas izin standar IEC, nilai THD tegangan dan arus telah memenuhi standar IEEE 519-2014, dan nilai faktor daya telah memenuhi standar SPLN 70-1.

Studi yang mengkaji rancangan sistem filter pasif untuk lampu LHE dan LED dengan THDi yang tidak memenuhi kriteria yang dilakukan oleh (Alfronso Sinurat et al., 2021), dengan hasil kajian yaitu: untuk menurunkan THDi, maka dipasang satu filter pasif LC. Akan tetapi, setelah pemasangan filter pasif, hasil pengujian menunjukkan THDi alat tersebut belum memenuhi standar IEEE 519-2014.

Penelitian yang dilakukan oleh (Fernando Jeremia Siahaan et al., 2020) mengenai LHE dan LED sebagai beban nonlinier yang menimbulkan masalah kualitas daya, yang menghasilkan bentuk gelombang tegangan dan arus yang tidak sinusoidal. Hasil penelitian tersebut menyatakan nilai THD arus pada LHE dan LED tidak sesuai dengan standar IEEE 519-2014. Dan juga menyatakan bahwa penggunaan lampu LHE dan LED secara bersamaan mengurangi nilai THD arus sebesar 3% hingga 9%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Silalahi et al., 2021) membahas masalah harmonik akibat dampak penggunaan sejumlah lampu LHE dan LED secara bersamaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada saat LHE dan LED nyala serentak akan menghasilkan THDi sebesar 63,97%, yang belum memenuhi standar IEEE Std 519-2014. Selain itu, nilai faktor daya sebesar 0,722 tidak sesuai dengan standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.

Berdasarkan penelitian (Frensus et al., 2023) bertujuan untuk menyelidiki masalah harmonisasi yang disebabkan oleh berbagai jenis komputer dan laptop, dalam bentuk nilai THDv dan THDi. Hasil penelitian ini mengungkapkan bahwa nilai THDv pada beberapa komputer dan laptop memenuhi standar IEEE 519-2014, sedangkan nilai THDi berkisar antara 80% hingga 86,96% yang tidak memenuhi persyaratan IEEE 519-2014.

Penelitian (Jekson Supardi Malau et al., 2023) yang mengkaji masalah harmonisa yang ditimbulkan BTS pada Gedung Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI, Jakarta. Berdasarkan hasil pengujian, THDi didapatkan sebesar 224,72% dan tidak memenuhi standar IEEE 519-2014. THDv sebesar 1,59% memenuhi standar. Juga dilakukan simulasi filter pasif *single tuned* LC menggunakan Matlab/Simulink yang mampu mereduksi THDi, turun menjadi 7,06%, belum tidak memenuhi standar.

Penelitian (David Melanius Nai et al., 2023) membahas masalah harmonisasi pada sistem kelistrikan 3 fasa padan BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI, Jakarta. Penelitian ini melakukan simulasi filter aktif *shunt* menggunakan Matlab/Simulink untuk menurunkan THDI, dan hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai THDI untuk R, S, dan T masing-masing adalah 0,15%, 0,68%, dan 0,59% yang memenuhi standar IEEE 519-2014.

Penelitian (Brilian Sharizky Putri & Ajub Ajulian Zahra, 2020) yang menganalisis harmonik menggunakan pemodelan *Single Line Diagram* dan perangkat lunak ETAP 12.6 pada beban listrik Gedung Teknik PWK dan Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro yang umumnya merupakan beban non-linear sebagai sumber utama harmonisa berupa peralatan elektronik seperti komputer, *air conditioner*, dan *lighting*. Hasil simulasi harmonisa setelah perancangan ulang sistem dan instalasi listrik, menghasilkan THDv sebesar $\pm 59,73\%$ dan THDi sebesar $\pm 56,53\%$. Seiring dengan turunnya THD, terjadi peningkatan seperti faktor daya bus trafo (95.1%), arus turun (± 12 A), tegangan stabil (102-103%), daya reaktif turun (hingga 109 kVAR), daya aktif serta daya tetap konsisten.

Kajian masalah harmonik akibat beban nonlinier pada Gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang dilakukan oleh (Winona Ramli & Handoko dan Ajub Ajulian Zahra, 2021). Gedung perkuliahan ini banyak memakai beban nonlinear, misalnya peralatan elektronik *lighting*, komputer, dan alat pendingin ruangan. Hasil penelitian, tingkat harmonisa SDP tidak memenuhi standar IEEE 519-2014. Setelah difilter, THDi turun 25,61% dan THDv juga turun 1,44%. Selain itu, faktor daya bus trafo mencapai 0,989, dengan arus turun ± 11 A, nilai tegangan 97% - 99%, dan daya reaktif turun hingga 32 kVAR, daya semu turun hingga 8 kVA, dan daya aktif konstan.

Dalam penelitian (J. Ahir & C. Upadhyay, 2018) pada berbagai peralatan rumah tangga yang menganalisis harmonik-tegangan dan arus, seperti: LED, CPU, mobil listrik, pengisi daya laptop, pengisi daya ponsel, ballast elektronik, dan lainnya. Dalam analisis harmonik digunakan pengukur daya digital Yokogawa WT-230. Berdasarkan analisis hasil simulasi penyearah konvensional, faktor daya konverter tinggi. Analisis FFT dari semua simulasi disajikan dengan mitigasi topologi harmonik.

Penelitian (K. Nikum et al., 2016) yang mempelajari dampak harmonisa beban perumahan modern pada sistem distribusi. Konsumsi energi dan pola distorsi total harmonik (THD) beban nonlinier diukur dan dikumpulkan. Satu rumah hunian modern diselidiki untuk pengukuran THD menggunakan *Power Quality Analyzer*. Berdasarkan data THD yang diukur, jenis dan lokasi filter disarankan untuk meningkatkan kualitas daya dalam sistem perumahan.

Hasil penelitian (Wang et al., 2017) menyajikan analisis data lapangan dari berbagai lokasi sistem distribusi rumah tangga di Amerika Utara. Penelitian ini mengacu pada harmonik yang dihasilkan oleh beban rumah tangga berbasis elektronika telah menjadi perhatian yang meningkat dalam beberapa tahun terakhir. Hasilnya menunjukkan bahwa tingkat distorsi arus harmonik rumah tangga jauh lebih tinggi daripada industri dan komersial, dengan harmonik ketiga adalah orde harmonik yang paling menonjol.

Dalam penelitian (Alawasa & Al-Odienat, 2017), disajikan analisis studi kasus untuk profil harmonik dalam sistem distribusi listrik di Universitas Mutah. Universitas Mutah adalah tempat yang banyak memakai beban seperti: komputer pribadi, printer, lampu fluoresen dan lainnya, yang dapat menyebabkan masalah harmonik. Studi ini berfokus pada salah satu gedung kampus (Gedung Fakultas Teknik). Pengukuran dan analisis lapangan yang luas dilakukan dengan memeriksa profil harmonik beban fase tunggal pada papan distribusi utama (MBD).

Penelitian (Puchalapalli & Pindoriya, 2016) menyajikan survei pendahuluan untuk menentukan harmonik yang ditimbulkan oleh berbagai beban yang digunakan dalam sistem distribusi sekunder tegangan rendah. Efek distorsi harmonik juga diuraikan. Hasil eksperimen mengungkapkan pentingnya harmonik terkait regulasi dan kebijakan yang tepat untuk direkomendasikan oleh otoritas daya lokal untuk mengatur batas harmonik yang diizinkan.

Dari hasil penelitian sebelumnya, bahwa peralatan listrik elektronik menimbulkan harmonisa arus, tetapi beban listrik linier memiliki tingkat harmonisa yang rendah. Umumnya rumah tangga banyak menggunakan peralatan listrik, baik peralatan listrik nonlinier seperti peralatan elektronik. Peralatan listrik nonlinier rumah tangga sebagai sumber harmonisa, seperti TV, komputer, laptop, notebook, dan juga *charging* baterai handphone. Selain itu, ada juga peralatan listrik rumah tangga seperti kulkas, *air-conditioner* (AC), pompa air, mesin cuci, *rice cooker*, pemanas air, setrika dan sebagainya. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan membahas

mengenai harmonisa yang diakibatkan oleh berbagai peralatan listrik rumah tangga satu fasa pada sistem tegangan rendah 220V, dengan mengukur tingkat harmonisa arus dan tegangan dan juga faktor daya pada setiap peralatan listrik tersebut, dan hasilnya akan dibandingkan dengan standar yang berlaku.

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka tujuan yang ingin diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Mengukur tingkat harmonisa THDv dan THDi pada peralatan listrik rumah tangga dan hasilnya dianalisis dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014 (IEEE Std 519TM-2014. *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.*, 2014).
2. Mengukur dan menganalisa faktor daya pada setiap peralatan listrik mengacu pada standar faktor daya PLN $\geq 0,85$ (Silalahi et al., 2021).

Dalam penelitian ini, peneliti membatasi masalah untuk menghindari meluasnya penelitian yang diteliti supaya masalah yang dibahas tepat pada sasaran sehingga diperoleh suatu manfaat dan untuk pengetahuan lainnya. Oleh karena itu, masalah yang dibahas pada penelitian ini dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut:

1. Kualitas daya listrik yang dibahas dibatasi pada harmonisa arus, harmonisa tegangan dan faktor daya pada masing-masing peralatan listrik.
2. Peralatan listrik yang diukur kualitas dayanya ditentukan sesuai tingkat kemudahan dalam pengambilan data di lapangan.
3. Pengukuran langsung harmonisa hanya dilakukan pada masing-masing peralatan listrik menggunakan alat ukur PQA Kyoritsu KEW 6315, tetapi tidak mengukur kualitas daya sistem listrik rumah tangga keseluruhan.
4. Parameter pengukuran yang ingin diperoleh adalah: tegangan (V), arus (I), THDi dan THDv, dan faktor daya.
5. Standar kualitas daya yang digunakan yaitu standar IEEE 519-2014 untuk distorsi tegangan dan arus, dan standar faktor daya PLN $\geq 0,85$ hasil pengukuran faktor daya mengacu pada standar SPLN 70-1-1985 yaitu 85% (Nadeak et al., 2024).

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penelitian selanjutnya tentang harmonisa sesuai standar IEEE 519-2014 dan faktor daya mengacu standar SPLN 70-1. Bila THDi melebihi standar IEEE 519-2014, maka dapat diturunkan nilai THDi, yaitu menggunakan filter pasif *single tuned* (Jekson Supardi Malau et al., 2023).

Semoga hasil penelitian ini dapat menjadi acuan, referensi, ataupun evaluasi bagi penelitian selanjutnya mengenai masalah kualitas daya listrik.

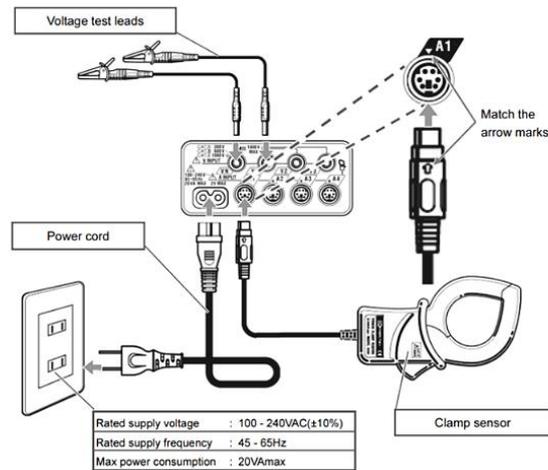
METODE PENELITIAN

Subjek penelitian ini adalah peralatan listrik rumah tangga yang terpasang pada sistem tegangan rendah satu fasa 220 V yang dialiri oleh jaringan energi listrik PLN. Peralatan listrik tersebut diukur secara individual untuk mendapatkan parameter listrik yang diinginkan dengan menggunakan *Power Quality Analyzer* (PQA) Kyoritsu Kew 6315 (Silalahi et al., 2021).

Adapun metode pengukuran menggunakan PQA Kyoritsu KEW 6315 dilakukan dalam tahapan sebagai berikut:

- a. Pengukuran langsung pada masing-masing peralatan listrik yang berjumlah 18-unit peralatan, menggunakan *clamp* KEW 8128 pada kawat fasa untuk mendapatkan besaran arus yang dikonsumsi peralatan listrik.
- b. Daftar 18-unit peralatan listrik yang diukur yaitu: *charging* baterai *handphone*; *motherboard* CPU komputer; komputer desktop CPU & monitor (1 set); laptop X 12-inch; TV LED; lampu LED 19W; lampu LHE 23W; air-conditioner (AC); *vacuum cleaner* dan *blower* (1 set); proyektor; kipas angin; pompa air; mesin cuci; kulkas; teko pemanas air; setrika; *rice cooker*; dan lampu pijar 75 W.
- c. Selanjutnya, untuk mendapatkan data besaran parameter listrik yang diinginkan yaitu: nilai THDv dan THDi (dari orde harmonisa 1 hingga orde 35), faktor daya dan juga bentuk

- gelombang tegangan dan arus, diperoleh hasil pengukuran PQA Kyoritsu KEW 6315.
- d. Data pengukuran diproses, dievaluasi, dan dibandingkan dengan standar harmonik arus dan tegangan berdasarkan standar IEEE 519-2014 dan standar faktor daya PLN ($\geq 0,85$).



Gambar 1. Metode pengukuran PQA Kyoritsu KEW 6315 (Sumber: *Quick Manual Kyoritsu KEW 6315*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

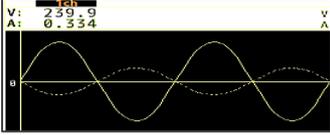
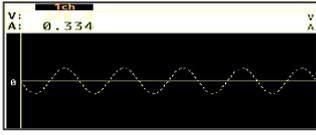
Hasil Pengukuran Harmonisa

Data THDi dan THDv dari orde harmonik ganjil 1 hingga 35 diperoleh melalui uji PQA untuk setiap peralatan, serta faktor daya, bentuk gelombang tegangan harmonik, dan bentuk gelombang arus harmonik. Tabel 1 menunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus harmonik.

Tabel 1. Bentuk Gelombang Arus dan Tegangan Hasil Pengukuran.

Nama Peralatan	Bentuk Gelombang Tegangan	Bentuk Gelombang Arus
<i>Charging baterai handphone</i>		
<i>Motherboard CPU Komputer</i>		
<i>Komputer desktop CPU & monitor</i>		
<i>Laptop X 12-inch</i>		
<i>TV LED</i>		

Nama Peralatan	Bentuk Gelombang Tegangan	Bentuk Gelombang Arus
Lampu LED 19W		
Lampu LHE 23 W		
Air-conditioner (AC)		
Vacuum cleaner & blower		
Proyektor		
Kipas angin		
Pompa air		
Mesin cuci		
Kulkas		
Teko pemanas air		
Setrika		
Rice cooker		

Nama Peralatan	Bentuk Gelombang Tegangan	Bentuk Gelombang Arus
Lampu pijar 75 W		

Batas Distorsi Maksimum THDi dan THDv

THD adalah rasio total nilai efektif (*root mean square*, rms) dari semua komponen harmonik terhadap sinyal fundamental, baik arus maupun tegangan. THD menggambarkan sejauh mana bentuk gelombang periodik menyimpang dari gelombang sinusoidal ideal, yang merupakan bentuk gelombang periodik murni tanpa distorsi harmonisa.

Nilai THD mengacu pada standar IEEE 519-2014 pelanggan yang terhubung ke sistem harus tetap berada dalam batas distorsi arus THDi dalam sistem tegangan 120V hingga tegangan 69kV (IEEE Std 519TM-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, 2014).

Dalam menentukan batas distorsi arus THDi maksimum yang diijinkan oleh IEEE 519-2014, maka terlebih dahulu ditentukan rasio I_{SC}/I_L , dimana I_{SC} adalah arus hubung singkat maksimum pada titik kopling umum (*Point Common Coupling*, PCC) dan I_L adalah arus beban maksimum yang dibutuhkan pada PCC dalam kondisi kerja beban normal

Peralatan listrik yang diukur memiliki titik PCC pada main panel sistem tegangan 220 V satu fasa yaitu setelah kWh-meter, dengan MCB berkapasitas arus beban maksimum 10A dan arus hubung singkat 6 kA. Karena itu diperoleh rasio I_{SC}/I_L sebesar 600. Berdasarkan standar IEEE 519-2014, maka untuk nilai rasio I_{SC}/I_L dalam kisaran $100 < 1000$, maka nilai THDi maksimum sebesar 15%.

Nilai batas maksimum sistem untuk distorsi harmonik tegangan THDv, yang diijinkan oleh standar IEEE 519-2014, yaitu: batas distorsi tegangan maksimum THDv 8% untuk sistem tegangan $V \leq 1$ kV, dimana peralatan listrik rumah tangga beroperasi pada tegangan 220 V.

Data hasil pengukuran harmonisa arus dan tegangan orde ganjil dari 1 hingga orde 35, maka selanjutnya dilakukan perhitungan THDi dan THDv. dan hasilnya disajikan dalam Tabel 2 bersama dengan hasil pengukuran THDv peralatan listrik tersebut.

Tabel 2. Nilai THDi dan THDv Pada Setiap Peralatan Listrik.

Nama Peralatan	Nilai THDi		Nilai THDv	
	(%)	Standar IEEE 519-2014	(%)	Standar IEEE 519-2014
Charging baterai handphone	216.42	tidak memenuhi	1.22	memenuhi standar
Motherboard CPU komputer	184.43	tidak memenuhi	1.18	memenuhi standar
Komputer desktop CPU & monitor	178.86	tidak memenuhi	1.48	memenuhi standar
Laptop X 12-inch	165.04	tidak memenuhi	1.88	memenuhi standar
TV LED	125.53	tidak memenuhi	2.40	memenuhi standar
Lampu LED 19W	125.53	tidak memenuhi	1.58	memenuhi standar
Lampu LHE 23W	118.36	tidak memenuhi	1.60	memenuhi standar
Air-conditioner (AC)	22.73	tidak memenuhi	1.30	memenuhi standar
Vacuum cleaner & blower	18.15	tidak memenuhi	2.19	memenuhi standar
Proyektor	11.92	memenuhi standar	1.25	memenuhi standar
Kipas angin	11.20	memenuhi standar	2.01	memenuhi standar
Pompa air	10.03	memenuhi standar	1.68	memenuhi standar
Mesin cuci	7.85	memenuhi standar	1.54	memenuhi standar
Kulkas	7.60	memenuhi standar	2.05	memenuhi standar
Teko pemanas air	2.10	memenuhi standar	2.11	memenuhi standar
Setrika	2.04	memenuhi standar	2.02	memenuhi standar
Rice cooker	1.63	memenuhi standar	1.70	memenuhi standar
Lampu pijar 75W	1.07	memenuhi standar	1.73	memenuhi standar

Untuk menghitung nilai THDi dengan menggunakan persamaan (1) dan untuk menghitung nilai THDv dengan menggunakan persamaan (2) (Gonen, 2014). Untuk menghitung nilai THDi digunakan persamaan (1) yaitu:

$$THD_i = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2} \quad (1)$$

dimana:

THDi = *Total Harmonic Distortion* arus (%)

I_h = nilai arus harmonisa pada frekuensi harmonisa h

I_1 = nilai arus pada frekuensi dasar (A) ($f_1 = 50$ Hz, di Indonesia)

h = orde harmonisa (2, 3, 4, 5, ...)

Dan untuk menghitung nilai THD tegangan (THDv) digunakan persamaan (2) yaitu:

$$THD_v = \frac{1}{V_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2} \quad (2)$$

dimana:

THDv = *Total Harmonic Distortion* tegangan (%)

V_h = nilai tegangan harmonisa pada frekuensi harmonisa h

V_1 = nilai tegangan pada frekuensi dasar (A) ($f_1 = 50$ Hz, di Indonesia)

h = orde harmonisa (2, 3, 4, 5, ...)

Dari Tabel 2, diperoleh nilai THDv dalam kisaran 1,18% hingga 2,40%, dimana nilai THDv tertinggi 2,4% pada TV LED dan nilai THDv terendah 1,18% pada *motherboard* CPU komputer, masih memenuhi batas maksimum 8% standar IEEE 519-2014. Secara umum, semua peralatan listrik objek penelitian ini sesuai batas THDv standar IEEE 519-2014.

Mengacu data Tabel 2, diperoleh nilai THDi setiap peralatan listrik hasil sebagai berikut:

- Terdapat 7 peralatan listrik dengan nilai THDi sangat tinggi, lebih dari 100% yaitu: THDi tertinggi 216,42% yang dihasilkan oleh *charging* baterai handphone, selanjutnya, THDi motherboard CPU computer 184,43%; THDi komputer desktop CPU & monitor 178,86 %; THDi Laptop X 12-inch 165,04%; THDi TV LED 125,53%; THDi Lampu LED 19W 125,53% dan THDi lampu Hemat Energi (LHE) 23W 118,36%. Juga berdasarkan Tabel 1, tujuh peralatan listrik tersebut memiliki bentuk gelombang arus yang hampir mendekati garis lurus dengan sedikit riak gelombang, sehingga nilai distorsinya tinggi sekali. Oleh karena itu, tujuh peralatan ini termasuk dalam beban nonlinier.
- Ada 2 peralatan listrik non-elektronik dengan nilai THDi melebihi standar 15% standar THDi maksimum IEEE 519-2014 yaitu: *Air-Conditioner* (AC) 22,73% dan *vacuum cleaner-blower* 18,15%. Berdasarkan Tabel 1, kedua peralatan listrik ini memiliki bentuk gelombang arus non-sinusoidal dengan tingkat distorsi rendah, namun masih melebihi batas standar.
- Terdapat 5 peralatan listrik dengan nilai THDi dalam kisaran 7,60% hingga 11,92% yang masih memenuhi standar 15% THDi maksimum IEEE 519-2014 yaitu: proyektor 11,92%, kipas angin 11,20%, pompa air 10,03%, mesin cuci 7,85%, dan kulkas 7,60%. Berdasarkan Tabel 1, lima peralatan listrik ini memiliki bentuk gelombang arus sinusoidal dengan tingkat distorsi yang rendah, masih memenuhi batas standar.
- Ada 4 peralatan listrik yang menghasilkan THDi sangat rendah dibawah batas 15% standar IEEE 519-2014, yaitu: teko pemanas air 2,10%; setrika 2,04%; *rice cooker* 1,63% dan lampu pijar 75W 1,07%. Peralatan listrik seperti: teko pemanas air, setrika dan *rice cooker* menggunakan elemen logam pemanas dan lampu pijar menggunakan elemen kawat *wolfram* didalamnya. Berdasarkan Tabel 1, bentuk gelombang arusnya sinusoidal murni, dan nilai arusnya sebanding dengan nilai tegangan, sehingga dapat dikategorikan sebagai beban linier.

Faktor Daya Peralatan Listrik

Tabel 3 memperlihatkan data hasil pengukuran faktor daya pada setiap peralatan listrik dan hasilnya dibandingkan dengan standar faktor daya PLN $\geq 0,85$, faktor daya tidak boleh kurang dari 0,85. (Silalahi et al., 2021)

Dari Tabel 3, diperoleh hasil bahwa ada 8 peralatan listrik yang memiliki nilai faktor daya antara 0,89 hingga 1,0 yang memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$. Namun, terdapat 10 peralatan listrik yang memiliki faktor daya rendah berkisar antara 0,36 hingga 0,6, yang belum memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.

Tabel 3. Faktor Daya Peralatan Listrik.

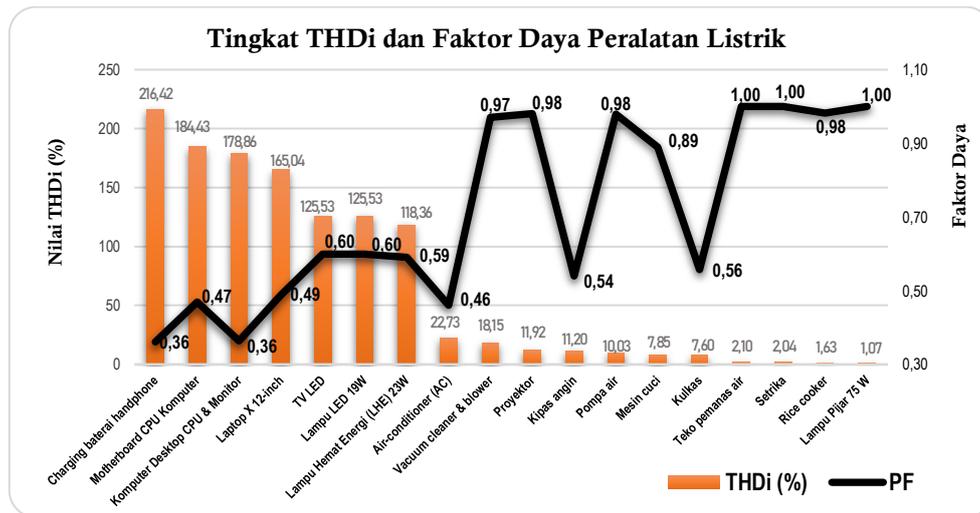
Nama Peralatan	Faktor Daya	Standar Faktor Daya PLN $\geq 0,85$
Charging baterai handphone	0.36	tidak sesuai standar
Motherboard CPU Komputer	0.47	tidak sesuai standar
Komputer Desktop CPU & Monitor	0.36	tidak sesuai standar
Laptop X 12-inch	0.49	tidak sesuai standar
TV LED	0.60	tidak sesuai standar
Lampu LED 19W	0.60	tidak sesuai standar
Lampu Hemat Energi (LHE) 23W	0.59	tidak sesuai standar
Air-conditioner (AC)	0.46	tidak sesuai standar
Vacuum cleaner & blower	0.97	sesuai standar
Proyektor	0.98	sesuai standar
Kipas angin	0.54	sesuai standar
Pompa air	0.98	sesuai standar
Mesin cuci	0.89	sesuai standar
Kulkas	0.56	tidak sesuai standar
Teko pemanas air	1.00	sesuai standar
Setrika	1.00	sesuai standar
Rice cooker	0.98	sesuai standar
Lampu Pijar 75W	1.00	sesuai standar

Analisis Perbandingan Nilai THDi Terhadap Faktor Daya

Gambar 2 memperlihatkan perbandingan kurva THDi terhadap kurva faktor daya pada setiap peralatan listrik, dan selanjutnya dianalisis dengan hasil sebagai berikut:

- Terdapat 7 peralatan listrik nonlinier yang menggunakan banyak komponen elektronik didalam rangkaiannya, memiliki nilai THDi sangat tinggi dalam kisaran 118,36 % sampai 216,42% melebihi standar 15% standar THDi maksimum IEEE 519-2014, memiliki faktor daya rendah dalam rentang nilai 0,36 hingga 0,60.
Dari hasil analisis, bahwa peralatan listrik nonlinier memiliki nilai THDi sangat tinggi melebihi standar, dan nilai faktor daya sangat rendah, jauh dibawah nilai standar.
- Terdapat 7 peralatan listrik non-elektronik, memiliki nilai THDi dan nilai faktor daya yang bervariasi yaitu:
 - AC: THDi tinggi 22,73 % dan faktor daya rendah 0,46.
 - Vacuum cleaner & blower: THDi tinggi 18,15 % dan faktor daya tinggi 0,97.
 - Proyektor: THDi rendah 11,92 % dan faktor daya tinggi 0,98.
 - Kipas angin: THDi rendah 11,20 % dan faktor daya rendah 0,54
 - Pompa air: THDi rendah 10,03 % dan faktor daya tinggi 0,98.
 - Mesin cuci: THDi rendah 7,85 % dan faktor daya tinggi 0,89.
 - Kulkas: THDi rendah 7,60 % dan faktor daya rendah 0,56.
- Ada 4 peralatan listrik linier yang menggunakan elemen logam pemanas atau kawat pijar didalamnya, memiliki THDi sangat rendah dibawah batas 15% standar IEEE 519-2014, dan faktor daya tinggi melebihi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$ yaitu:
 - teko pemanas air: THDi 2,10% dan faktor daya 1,0.
 - setrika: THDi 2,04% dan faktor daya 1,0.

- *rice cooker*: THDi 1,63% dan faktor daya 0,98.
- lampu pijar 75W: THDi 1,07 dan faktor daya 1,0.



Gambar 2. Perbandingan tingkat THDi terhadap faktor daya setiap peralatan listrik.

Berdasarkan hasil analisis diatas, dapat diperoleh kesimpulan secara umum yaitu:

- Semua peralatan listrik objek penelitian ini umumnya memiliki nilai THDv yang memenuhi standar 8% THDv maksimum standar IEEE 519-2014.
- Berdasarkan hasil analisis perbandingan THDi dan faktor daya pada peralatan listrik, diperoleh hasil sebagai berikut:
 - Tujuh peralatan listrik nonlinier memiliki THDi yang sangat tinggi dalam rentang 118,36% hingga 216,42% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan nilai faktor daya sangat rendah 0,36 hingga 0,6, yang tidak memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.
 - Tujuh peralatan listrik non-elektronik, memiliki nilai THDi dan faktor daya bervariasi, dimana THDi antara 7,60% hingga 22,73% dan nilai faktor daya antara 0,46 hingga 0,98.
 - Empat peralatan listrik kategori beban linier, yang menggunakan elemen logam pemanas atau kawat pijar didalamnya, memiliki THDi sangat rendah antara 1,07% hingga 2,10%, memenuhi standar IEEE 519-2014 dan faktor daya tinggi antara nilai 0,98 hingga 1,0, yang memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Kesimpulan berikut dapat diambil dari uraian sebelumnya yang menggambarkan hasil analisis penelitian sebagai berikut:

- Semua peralatan listrik objek penelitian ini umumnya memiliki nilai THDv yang memenuhi standar THDv maksimum IEEE 519-2014.
- Berdasarkan hasil analisis perbandingan THDi dan faktor daya pada peralatan listrik, diperoleh hasil sebagai berikut:
 - Peralatan listrik nonlinier yang menggunakan banyak komponen elektronik didalam rangkaiannya, memiliki THDi yang sangat tinggi dalam rentang nilai 118,36 % hingga 216,42% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan nilai faktor daya rendah 0,36 hingga 0,6, tidak memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.
 - Peralatan listrik yang biasanya digunakan untuk menggerakkan motor listrik, memiliki nilai THDi dan nilai faktor daya yang bervariasi. Nilai THDi peralatan listrik ini bervariasi antara 7,60% hingga 22,73% dimana sebagian peralatan ini memiliki THDi dalam batas standar IEEE 519-2014. Dan juga nilai faktor dayanya bervariasi antara 0,46 hingga 0,98

dimana sebagian peralatan ini memiliki faktor daya masih dalam batas standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.

- c. Peralatan listrik kategori beban linier yang menggunakan elemen logam pemanas atau kawat pijar didalamnya, memiliki THDi diantara 1,07% hingga 2,10% yang memenuhi standar IEEE 519-2014 dan faktor daya diantara nilai 0,98 hingga 1,0, yang memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.

Saran

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka dapat direkomendasikan perlunya penelitian lebih lanjut secara menyeluruh guna mengetahui dampak harmonisa pada sistem listrik rumah tangga dan perlunya upaya mitigasi harmonisa, seperti menggunakan filter harmonisa baik aktif maupun pasif untuk menurunkan tingkat harmonisa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Bambang Widodo, MT, Kaprodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta, yang telah mendukung serta mengizinkan menggunakan alat ukur PQA Kyoritsu KEW 6315 dalam penelitian ini.

REFERENSI

- Alawasa, K., & Al-Odienat, A. (2017). Harmonics assessment and analysis at low voltage networks — Case study: Mutah University campus (Engineering building). *2017 10th Jordanian International Electrical and Electronics Engineering Conference (JIEEEEC)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/jieeec.2017.8051407>
- Alfronso Sinurat, Antonius Doddy Tyas Prasetyo, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, & Robinson Purba. (2021). Rancang Bangun Filter Pasif Untuk Mereduksi Total Harmonic Distortion (THD) Akibat Pemakaian Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light Emitting Diode (LED). In *Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro* (Vol. 4, Issue 1). <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/lektrokom/article/view/3318>
- Brilian Sharizky Putri, A., & Ajub Ajulian Zahra, dan. (2020). Analisa Harmonisa Tegangan Dan Harmonisa Arus Pada Sistem Elektrikal Gedung Teknik PWK Dan Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro. In *TRANSIENT* (Vol. 9, Issue 4). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- David Melanius Nai, Eva Magdalena Silalahi, & Robinson Purba. (2023). *Analisa Harmonisa Dan Simulasi Filter Aktif Shunt Pada Base Transceiver Station (BTS) Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI) Jakarta Menggunakan Matlab Simulink*. <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/lektrokom/article/view/5121>
- Fernando Jeremia Siahaan, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, & Robinson Purba. (2020). *Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) dan Light-Emitting Diode (LED)*. <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/lektrokom/article/view/3372>
- Frensus, Eva Magdalena Silalahi, & Robinson Purba. (2023). Analisa Deret Fourier Harmonisa Yang Dihasilkan Komputer Dan Laptop Menggunakan Simulasi Matlab/Simulink. *Lektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 6, No. 2 (August 31, 2023): 62-74. , 6(August 31, 2023), 62–74. <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/lektrokom/article/view/5136>
- Gonen, T. (2014). *Electric Power Distribution Engineering, Third Edition* (3rd ed.). CRC Press, Taylor & Francis Group. <http://www.taylorandfrancis.com>

- IEEE Std 519TM-2014. Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.* (2014). <https://www.mirusinternational.com/downloads/White%20Paper%20-%20IEEE%20Std%20519-2014%20Harmonic%20Limits.pdf>
- J. Ahir, & C. Upadhyay. (2018). Harmonic Analysis and Mitigation for Modern Home Appliances. *2018 4th International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/icees.2018.8442382>
- Jekson Supardi Malau, Eva Magdalena Silalahi, & Robinson Purba. (2023). *Analisa Harmonisa Dan Simulasi Filter Pasif Pada Kawat Netral BTS Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia*. <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/lektrokom/article/view/5168>
- K. Nikum, R. Saxena, & A. Wagh. (2016). Power quality assessment of modern residential load. *2016 7th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/iicpe.2016.8079341>
- Nadeak, D. R., Lisapaly, L., Sinambela, R., & Manik, M. (2024). Analisis Pengukuran Kapasitor Bank Dengan Tuned Reactor Pada Gedung Atria Residences Gading Serpong. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(3), 122–131. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.3.122-131>
- Puchalapalli, S., & Pindoriya, N. M. (2016). Harmonics assessment for modern domestic and commercial loads: A survey. *2016 International Conference on Emerging Trends in Electrical Electronics & Sustainable Energy Systems (ICETEESES)*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/iceteeses.2016.7581371>
- Silalahi, E. M., Widodo, B., & Purba, R. (2021). *Analisis Total Harmonic Distortion (THD) dan Arus Harmonik Akibat Penggunaan Lampu Hemat Energi (LHE) dan Light-Emitting Diode (LED) secara Kolektif Pada Jaringan Tegangan Rendah*. <https://ojs.uho.ac.id/index.php/JFE/article/view/16044>
- Wang, Y., Yong, J., Sun, Y., Xu, W., & Wong, D. (2017). Characteristics of Harmonic Distortions in Residential Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery (Volume: 32, Issue: 3, June 2017)*, 32(3), 1495–1504. <https://doi.org/https://doi.org/10.1109/tpwrd.2016.2606431>
- Winona Ramli, Z., & Handoko dan Ajud Ajulian Zahra, S. (2021). *Analisis Dan Perancangan Mitigasi Harmonik Tegangan Dan Arus Di Poltekkes Kemenkes Semarang* (Vol. 10, Issue 2). <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- Zulkarnain, A., Sinambela, R., Lisapaly, L., & Manik, M. (2024). Analisis Pengukuran Harmonisa Tegangan Dan Arus Listrik Di Gedung Administrasi Universitas Jayabaya. *Transmisi: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 26(3), 132–138. <https://doi.org/10.14710/transmisi.26.3.132-138>