

Analisa Deret Fourier Harmonisa Yang Dihasilkan Komputer Dan Laptop Menggunakan Simulasi Matlab/Simulink

Frensius¹, Eva Magdalena Silalahi², Robinson Purba³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Jakarta

*Alamat Korespondensi: ¹frensiusfrens@gmail.com

ABSTRAK

Harmonisa adalah kelipatan dari frekuensi dasar (50 Hz) dalam sistem energi listrik, yang diakibatkan karena peningkatan penggunaan beban nonlinier di industri, perkantoran, pendidikan dan rumah tangga, sehingga mengakibatkan peningkatan distorsi harmonisa pada jaringan distribusi. Komputer dan laptop adalah beban nonlinier yang merupakan sumber harmonisa arus dalam sistem kelistrikan serta banyak digunakan oleh masyarakat. Tingginya harmonisa dapat merusak peralatan listrik. Penelitian ini membahas masalah harmonisa yang ditimbulkan oleh komputer dan laptop yang berbeda merek, agar diketahui nilai THD_v, THD_i, THD_i orde dominan, persamaan gelombang harmonisa arus dan bentuk gelombang arus. Untuk melakukan penelitian ini, data pengukuran PQA Kyoritsu KEW 6315 di analisa menggunakan metode deret Fourier dan selanjutnya dilakukan simulasi FFT Matlab Simulink. Hasil penelitian ini memperlihatkan nilai THD_v pada komputer dan laptop yang berbeda merek, secara keseluruhan memenuhi standar IEEE 519-2014, sementara nilai THD_i berkisar antara 80% hingga 86,96% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014. Orde arus harmonisa dominan yang ditimbulkan oleh komputer dan laptop berbeda merek memiliki pola kecenderungan yang sama pada orde arus harmonisa dominan yang terjadi pada orde ke-3, 5, 7 dan 9, dimana orde ke-3 memiliki nilai THD_i dominan tertinggi dengan rentang nilai diantara 40% hingga 52,17%. Juga diperoleh persamaan gelombang arus harmonisa yang dihasilkan oleh komputer dan laptop menggunakan deret Fourier berdasarkan orde arus harmonisa dominan yang sama dari hasil pengukuran yaitu pada orde ke-1, ke-3, ke-5, ke-7, dan ke-9.

Kata kunci: THD, deret Fourier, Komputer dan Laptop, FFT Simulink

ABSTRACT

Harmonics are multiples of the base frequency (50 Hz) in electrical energy systems, resulting from increased use of nonlinear loads in industry, offices, education and households, resulting in increased harmonic distortion in distribution networks. Computers and laptops are nonlinear loads that are a source of harmonic currents in electrical systems and are widely used by the public. High harmonics can damage electrical equipment. This study discusses harmonic problems caused by computers and laptops of different brands, in order to know the values of THDv, THDi, dominant order THDi, current harmonic wave equations and current waveforms. To conduct this study, PQA Kyoritsu KEW 6315 measurement data was analyzed using the Fourier series method and then a simulation of FFT Matlab Simulink was carried out. The results of this study show that the THDv values on computers and laptops of different brands, as a whole meet the IEEE 519-2014 standard, while the THDi values range from 80% to 86.96% which do not meet the IEEE 519-2014 standard. The dominant harmonic current order generated by computers and laptops of different brands has the same trend pattern in the dominant harmonic current order that occurs in the 3rd, 5th, 7th and 9th order, where the 3rd order has the highest dominant THDi value with a range of values between 40% to 52.17%. Also obtained is the wave equation of harmonic currents generated by computers and laptops using the Fourier series based on the same order of dominant harmonic currents from the measurement results, namely in the 1st, 3rd, 5th, 7th, and 9th order.

Keywords: THD, Fourier series, Computer and Laptop, FFT Simulink

1. PENDAHULUAN

Distorsi harmonisa dalam sistem energi listrik terjadi karena peningkatan penggunaan beban nonlinier di sektor industri, perkantoran, pendidikan dan rumah tangga, yang menyebabkan meningkatnya distorsi harmonisa pada jaringan distribusi^[1]. Sumber harmonisa adalah beban nonlinier yang banyak digunakan baik dalam industri, perkantoran, pendidikan maupun rumah tangga, seperti penggunaan seperti komputer, laptop televisi, *microwave*, lampu *fluorescent* yang menggunakan *ballas* elektronik, dan berbagai alat elektronik lainnya. Seperti diketahui bahwa, komputer dan laptop adalah perangkat elektronik yang menggunakan *power supply* yang berfungsi sebagai pengubah *alternating current (AC)* menjadi *direct current (DC)*. *Power supply* pada umumnya mengandung komponen semikonduktor seperti dioda

yang menjadi sumber harmonisa^[2]. Parameter harmonisa dinyatakan dalam bentuk *Total Harmonic Distortion (THD)*. THD merupakan suatu metode untuk mengukur persentase distorsi harmonisa total pada arus dan tegangan^[3].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Faisal Irsan Pasaribu dan dipublikasikan pada 15 Juni 2021 dalam Jurnal Elektro dan Telekomunikasi dengan judul "**Beban Non Linier dan Analisa Harmonisa**" (Volume 5, Nomor 1, halaman 29-34, Juni 2021), ditemukan bahwa, harmonisa timbul akibat penggunaan beban nonlinier. Penelitian ini juga menyajikan bahwa, dampak dari harmonisa adalah meningkatnya suhu berlebih pada perangkat elektronik yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja dan kerusakan pada perangkat tersebut. Pengukuran dilakukan terhadap tiga jenis laptop yang berbeda merek, dan

menunjukkan bahwa harmonisa, yang dihasilkan tidak memenuhi standar IEC dengan nilai THD mencapai 175%^[2].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fernando Jeremia Siahaan, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, dan Robinson Purba yang dipublikasikan pada tanggal 3 Oktober 2020, dengan judul **"Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light-Emitting Diode (LED)"** serta diterbitkan pada jurnal Lektrokom: Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro bahwa, LHE dan LED adalah beban nonlinier yang dapat menyebabkan masalah distorsi harmonisa sehingga berdampak pada kualitas daya listrik. Penelitian ini menemukan nilai THDv pada beban LHE dan LED memiliki besaran sama, berkisar antara 0,80% hingga 1,3%. THDi yang dihasilkan LHE serta LED melebihi batas standar 5,0% IEEE 519-2014. Selain itu, penggunaan kedua jenis lampu dengan serentak dapat menurunkan THDi yang didapatkan sebesar 3% sampai 9%^[4].

Berdasarkan penelitian Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, dan Robinson Purba, yang dipublikasikan pada tahun 2021 dengan judul **"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"** dan diterbitkan pada jurnal Fokus Elektroda: Energi Listrik, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika dan Kendali, Volume 06, Nomor 01, halaman 54-62, tahun 2021, e-ISSN: 2502-5562, dari Program Studi Teknik Elektro di Universitas Halu Oleo Kendari, Sulawesi Tenggara yang bertujuan untuk mengetahui, apakah pemakaian lampu LHE dan LED secara

bersamaan dapat mempengaruhi kualitas daya listrik, nilai harmonisa dan faktor daya. Hasil penelitian menjelaskan bahwa pemakaian 60 unit LHE dan LED pada saat bersamaan mengakibatkan distorsi pada gelombang arus dengan nilai THDi 63,97% tidak memenuhi standar 5,0% dari IEEE 519-2014. THDi yang tinggi berpengaruh buruk terhadap faktor daya, dengan nilai sebesar 0,722 di bawah standar faktor daya $\geq 0,85$ dari standar yang sudah ditetapkan oleh PLN^[5].

Komputer dan laptop termasuk dalam kategori beban nonlinier yang dalam menjalankan fungsinya menghasilkan harmonisa. Berdasarkan penelitian sebelumnya dijelaskan bahwa peralatan listrik nonlinier menghasilkan harmonisa dengan tingkat harmonisa yang belum memenuhi standar. Oleh karena itu perlu dilakukan pengukuran lebih lanjut terhadap komputer dan laptop untuk mengetahui apakah tingkat harmonisa pada komputer dan laptop sudah memenuhi standar atau belum. Apabila tingkat harmonisa belum memenuhi standar maka, perlu dilakukan kajian dengan menggunakan deret Fourier dan dibantu oleh *Fast Fourier Transform* (FFT) pada Matlab/Simulink, untuk mengetahui orde arus harmonisa dominan pada komputer dan laptop yang berbeda merek, sehingga dapat di rancang filter yang sesuai untuk menurunkan THD, agar memenuhi standar IEEE 519-2014. Tujuan penelitian adalah:

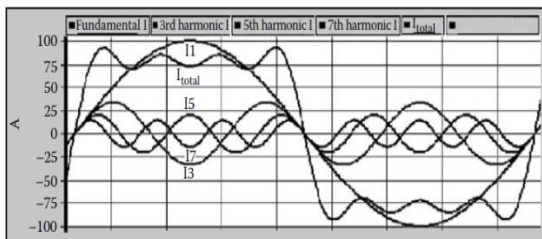
1. Untuk mengetahui tingkat THD tegangan dan arus pada komputer dan laptop yang berbeda merek.
2. Mengetahui besaran orde harmonisa arus dominan yang ditimbulkan oleh komputer dan laptop berbeda merek.
3. Untuk mendapatkan persamaan gelombang arus harmonisa yang dihasilkan oleh komputer dan laptop

menggunakan deret Fourier berdasarkan orde arus harmonisa dominan dan data pengukuran.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang tegangan dan arus yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar yang terbentuk akibat penggunaan beban nonlinier^[6]. Apabila frekuensi dasar 50Hz, maka harmonisa akan terbentuk pada frekuensi 100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, 350Hz dan seterusnya. Gambar 1 memperlihatkan gelombang harmonisa dengan frekuensi kelipatan tiga, kelipatan lima dan kelipatan tujuh terhadap frekuensi gelombang fundamental. Penjumlahan antara gelombang pada frekuensi dasar dengan gelombang pada frekuensi kelipatan tiga, kelipatan lima dan kelipatan tujuh dari frekuensi dasar, merupakan cacat gelombang (gelombang terdistorsi).



Gambar 1 Cacat Gelombang Akibat Harmonisa^[7]

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa, parameter yang digunakan untuk menyatakan efek dari harmonisa pada berbagai peralatan adalah *total harmonic distortion* (THD)^[8]. Persamaan (1) digunakan untuk mencari nilai THD tegangan, dan persamaan (2) digunakan untuk mencari nilai THD arus.

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

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

dimana:

THD = *total harmonic distortion* (%)

V_h = nilai tegangan harmonik ke-h (V)

V_1 = nilai tegangan frekuensi dasar (V)

I_h = nilai arus harmonik ke-h (A)

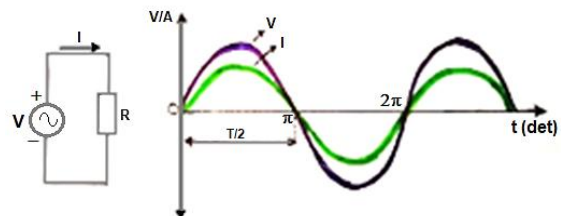
I_1 = nilai arus frekuensi dasar (A)

2.2 Beban Linier

Beban linier adalah beban listrik yang menghasilkan bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan pada setiap saat. Gelombang tegangan dan arus pada beban linier memiliki bentuk sinusoidal yang sama. Beban dapat dikelompokkan ke dalam kategori berikut^[7].

- 1) Resistif, seperti resistor dan setrika listrik.
- 2) Kapasitif, melibatkan penggunaan kapasitor dalam alat listrik
- 3) Induktif atau induktor, seperti trafo.

Gambar 2 memperlihatkan rangkaian beban linier dengan beban resistor (R) yang dialiri arus (I) dengan sumber tegangan (V) sehingga menghasilkan gelombang arus dan tegangan yang sama-sama sinusoidal.



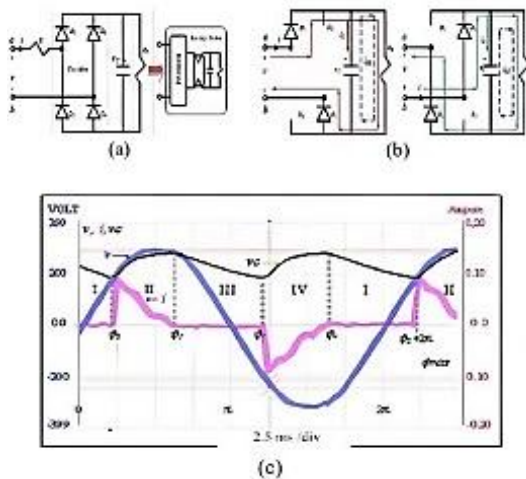
Gambar 2 Contoh Beban Linier

2.3 Beban Nonlinier

Beban nonlinier, merupakan beban listrik yang menghasilkan bentuk gelombang arus tidak sama terhadap gelombang tegangan yang diberikan oleh

sumber tegangan pada setiap saat. Akibatnya muncul gelombang yang mengalami distorsi harmonisa^[7].

Gambar 3(a) menunjukkan suatu rangkaian yang menggunakan lampu *compact fluorescent lamp* (CFL) sebagai beban nonlinier. Gambar 3(b) prinsip kerja dari penyearah dimana, ketika arus listrik mengalir melalui sebuah dioda pada setengah siklus gelombang AC, dioda tersebut hanya melewati setengah gelombang, sementara setengah gelombang lainnya diblokir sehingga mengakibatkan terjadinya distorsi harmonik pada gelombang arus sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3(c) yang tidak sinusoidal sedangkan gelombang tegangan sinusoidal.



Gambar 3 Contoh Beban Nonlinier^[3, 4]

2.4 Deret Fourier

Deret Fourier merupakan suatu teknik matematika yang digunakan untuk menyatakan fungsi periodik dalam bentuk sinusoidal. Deret Fourier ditemukan dan dinamai oleh Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830)^[9]. Pada tahun 1822, kegeniusan Fourier menemukan wawasan bahwa, setiap fungsi periodik praktis dapat dipresentasikan sebagai penjumlahan dari sinusoidal. Perlu diketahui bahwa fungsi

periodik merupakan fungsi yang berulang setiap T detik^[9].

Analisis harmonisa adalah sebuah proses yang digunakan untuk menggambarkan amplitudo, urutan, dan fase dari harmonisa-harmonisa berganda yang terjadi dalam gelombang periodik yang kompleks. Untuk melakukan analisis harmonisa, ada dua jenis metode yang umum dipakai, adalah metode analitik dan metode representasi visual (grafis) dengan analisa deret Fourier^[9].

Berdasarkan deret Fourier, $f(t)$ mewakili gelombang tegangan dan arus dan dapat dijabarkan sebagai deret tak terhingga berbentuk persamaan trigonometri, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (3)^[8, 9].

$$f(t) = A_o + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\omega_o t) + B_n \sin(n\omega_o t)] \quad (3)$$

Dari persamaan (3), maka diperoleh persamaan (4)^[8, 9].

$$f(t) = A_o + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega_o t + \psi_n) \quad (4)$$

dimana:

$f(t)$ merupakan sebuah fungsi periodik dengan fungsi f_o , frekuensi sudut $\omega_o = 2\pi f_o$ dan periode $T = 1/f_o = 2\pi/\omega_o$.

$C_1 \sin(\omega_o t + \psi_1)$ mewakili komponen fundamental.

$C_n \sin(\omega_o t + \psi_1)$ mewakili harmonisa ke- n dengan amplitudo C_n , frekuensi $n f_o$, dan sudut fasa ψ_o .

Koefisien deret Fourier dapat dituliskan pada persamaan (5) sampai persamaan (9)^[9].

$$A_o = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$A_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) dx, \quad (5)$$

dimana $x = \omega_o t$

$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(n\omega_o t) dt$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \cos(nx) dx \quad (6)$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(n\omega_o t) dt$$

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(t) \sin(nx) dx \quad (7)$$

$$C_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2} \quad (8)$$

$$\psi_n = \tan^{-1} \left(\frac{A_n}{B_n} \right) \quad (9)$$

Persamaan (3) menjelaskan ω_o merupakan frekuensi suatu sudut dasar, T merupakan periode, serta A_o , A_n , hingga B_n adalah konstanta dengan nilai berpacu kepada n serta $f(t)$. Tahap penentuan jumlah konstanta A_o , A_n , dan B_n ini dikategorikan sebagai analisa deret Fourier.

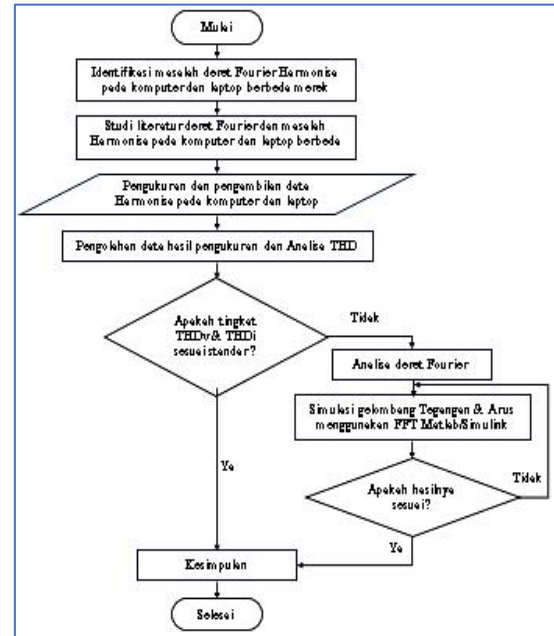
3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif. Seperti yang dijelaskan oleh *Creswell*, bahwa metode kuantitatif melibatkan langkah-langkah seperti pemilihan topik penelitian, merumuskan masalah secara spesifik, membatasi cakupan masalah, mengumpulkan data, dan menganalisis data menggunakan metode statistik^[10].

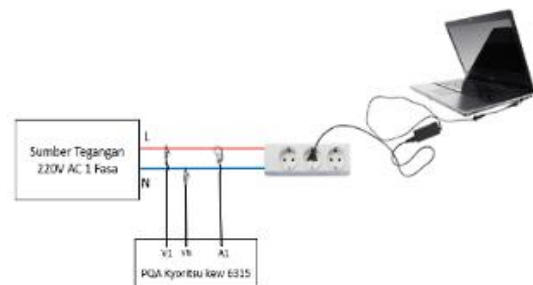
Berdasarkan asumsi yang digunakan dan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka metode penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yang akan di perlihatkan pada gambar diagram alur pada gambar 4.

Power Quality Analyzer (PQA) Kyoritsu KEW-6315^[11] merupakan alat ukur yang digunakan untuk mengetahui bentuk gelombang dan nilai harmonisa

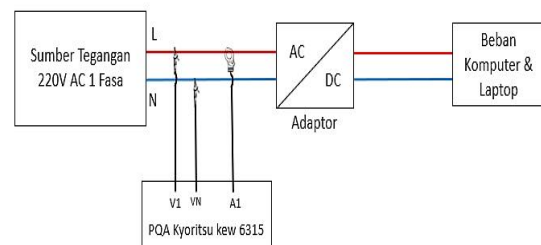
pada komputer dan laptop yang berbeda merek, dengan rangkaian pengukuran yang ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6 yang memperlihatkan adaptor secara blok diagram.



Gambar 4 Diagram alir penelitian deret Fourier harmonisa pada komputer dan laptop



Gambar 5 Rangkaian pengujian pengukuran



Gambar 7 Rangkaian sederhana blok diagram dari gambar 5

4. HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

4.1 Data Pengukuran

Tabel 1 dan 2 memperlihatkan data pengukuran tegangan dan arus orde ke-1 sampai orde ke-10 pada beban. Tabel 3 menunjukkan bentuk gelombang tegangan dan arus hasil pengukuran pada beban.

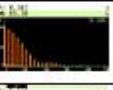
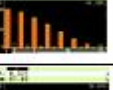
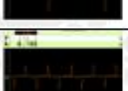
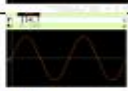
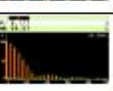
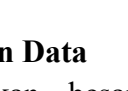
Tabel 1 Data Pengukuran Tegangan Orde 1-10 pada Beban

Orde	Vrms (V)						
	Komputer A	Komputer B	Laptop V	Laptop W	Laptop X	Laptop Y	Laptop Z
1	238,36 ∠0°	231,04 ∠0°	236,22 ∠0°	236,36 ∠0°	235,74 ∠0°	234,78 ∠0°	235,99 ∠0°
2	0 ∠-77°	0 ∠-51,19°	0 ∠-73,77°	0 ∠-68,65°	0 ∠-59,43°	0 ∠-86,26°	0 ∠-63,64°
3	0,27 ∠-83,95°	0,93 ∠-37,18°	0,7 ∠-1,42°	0,67 ∠-5,28°	0,62 ∠-9,34°	0,66 ∠-0,99°	0,46 ∠5,43°
4	0 ∠-81,72°	0 ∠-82,95°	0 ∠-81,62°	0 ∠-81,60°	0 ∠-81,16°	0 ∠-81,34°	0 ∠-81,13°
5	3,27 ∠169,94°	4,13 ∠163,02°	3,84 ∠17,90°	3,61 ∠69,97°	3,2 ∠154,15°	3,08 ∠162,66°	3 ∠156,45°
6	0 ∠-77,82°	0 ∠-77,40°	0 ∠-77,71°	0 ∠-77,70°	0 ∠-77,26°	0 ∠-77,44°	0 ∠-77,23°
7	0,7 ∠-85,50°	0,38 ∠-34,93°	0,69 ∠-132,75°	0,75 ∠-176,30°	1,14 ∠157,19°	0,64 ∠150,33°	1,2 ∠146,63°
8	0 ∠-73,92°	0 ∠-73,50°	0 ∠-73,81°	0 ∠-73,80°	0 ∠-73,36°	0 ∠-73,53°	0 ∠-73,33°
9	0 ∠-64,74°	0,55 ∠130,41°	0,18 ∠85,86°	0,18 ∠74,05°	0,17 ∠99,45°	0,18 ∠137,81°	0 ∠-67,29°
10	0 ∠-70,01°	0 ∠-69,59°	0 ∠-69,91°	0 ∠-69,90°	0 ∠-69,46°	0 ∠-69,63°	0 ∠-69,43°

Tabel 2 Data Pengukuran Arus Orde 1-10 pada Beban

Orde	Irms (A)						
	Komputer A	Komputer B	Laptop V	Laptop W	Laptop X	Laptop Y	Laptop Z
1	0,37 ∠125,87°	0,33 ∠166,53°	0,22 ∠128,10°	0,23 ∠134,37°	0,18 ∠153,19°	0,16 ∠120,74°	0,05 ∠156,10°
2	0 ∠-28,10°	0 ∠-21,79°	0 ∠-32,80°	0 ∠-44,09°	0 ∠-43,57°	0 ∠-41,08°	0 ∠-52,60°
3	0,19 ∠33,93°	0,17 ∠-3,05°	0,11 ∠7,34°	0,12 ∠1,08°	0,09 ∠-22,54°	0,08 ∠36,46°	0,02 ∠-7,90°
4	0 ∠-21,89°	0 ∠-19,06°	0 ∠-66,39°	0 ∠-76,88°	0 ∠-80,06°	0 ∠-45,81°	0 ∠-71,14°
5	0,17 ∠116,87°	0,15 ∠156,43°	0,1 ∠97,89°	0,11 ∠89,11°	0,08 ∠125,94°	0,07 ∠102,47°	0,02 ∠131,48°
6	0 ∠-47,81°	0 ∠-30,74°	0 ∠-65,36°	0 ∠-62,87°	0 ∠-59,62°	0 ∠-70,65°	0 ∠-72,10°
7	0,14 ∠17,31°	0,12 ∠-18,95°	0,09 ∠-33,12°	0,09 ∠-46,47°	0,07 ∠-65,71°	0,06 ∠13,41°	0,02 ∠-29,22°
8	0 ∠-37,35°	0 ∠-10,09°	0 ∠-48,37°	0 ∠-41,47°	0 ∠-38,93°	0 ∠-69,44°	0 ∠-74,90°
9	0,11 ∠98,55°	0,08 ∠138,15°	0,08 ∠55,09°	0,07 ∠37,65°	0,06 ∠79,56°	0,05 ∠77,90°	0,02 ∠113,80°
10	0 ∠-51,38°	0 ∠-4,98°	0 ∠-45,07°	0 ∠-58,34°	0 ∠-41,44°	0 ∠-66,37°	0 ∠-66,23°

Tabel 3 Gelombang Tegangan, Gelombang Arus dan Spektrum Frekuensi Arus Harmonisa Hasil Pengukuran

No.	Nama Perakitan	Gelombang Tegangan	Gelombang Arus	Spektrum Frekuensi Arus
1	Komputer A			
2	Komputer B			
3	Laptop V			
4	Laptop W			
5	Laptop X			
6	Laptop Y			
7	Laptop Z			

4.2 Hasil Pengolahan Data

Untuk menentukan besaran THDv maksimum yang diizinkan oleh IEEE 519-2014, maka ditentukan rasio I_{SC}/I_L pada sistem tegangan 220 volt sebagai berikut: $\frac{I_{SC}}{I_L} = 1,45$. Sehingga diperoleh batas maksimum THDv tegangan untuk sistem tegangan $\leq 1\text{kV}$ (sistem tegangan 220 V) sebesar 5,0%, dan nilai tegangan harmonisa individu maksimum adalah sebesar 5,0%, sesuai dengan standar IEEE 519-2014.

Sama halnya dengan THDv, maka sesuai standar IEEE 519-2014, semua pelanggan listrik yang terhubung ke sistem tenaga listrik harus tetap berada dalam batas THDi 120V – 69kV. Dari hasil perhitungan rasio I_{SC}/I_L merujuk pada standar IEEE 519-2014, diperoleh rasio I_{SC}/I_L kurang dari 20, diperoleh standar THDi arus maksimum sebesar 5,0%, dan

nilai arus harmonisa individu maksimum adalah sebesar 4,0% untuk nilai orde harmonik kurang dari 11^[12, 13].

Tabel 4 dan 5 memperlihatkan data hasil pengukuran total THDv dan THDi orde ke-1 sampai orde ke-10 pada setiap beban dan hasilnya dibandingkan dengan batas 5,0% untuk THD tegangan maksimum, berdasarkan standar IEEE 519-2014.

Total THDv pada tabel 4 diperoleh berdasarkan data tabel 1 menggunakan rumus persamaan (1).

Tabel 4 Total THDv Hasil Pengukuran

Nama Peralatan	THDv (%)	Standar 5,0% pada IEEE 519-2014
Komputer A	1,41	memenuhi standar
Komputer B	1,86	memenuhi standar
Laptop V	1,68	memenuhi standar
Laptop W	1,59	memenuhi standar
Laptop X	1,47	memenuhi standar
Laptop Y	1,37	memenuhi standar
Laptop Z	1,38	memenuhi standar

Tabel 4 menunjukkan nilai THDv masing-masing komputer dan laptop masih memenuhi standar IEEE 519-2014.

Tabel 5 THDv Orde ke-n Hasil Pengukuran

Orde	THDv Orde ke-n (%)							Standar 5,0% pada IEEE 519-2014
	Komputer A	Komputer B	Laptop V	Laptop W	Laptop X	Laptop Y	Laptop Z	
1	100	100	100	100	100	100	100	-
2	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
3	0,11	0,4	0,3	0,28	0,26	0,28	0,19	Memenuhi standar
4	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
5	1,37	1,79	1,63	1,53	1,36	1,31	1,27	Memenuhi standar
6	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
7	0,29	0,16	0,29	0,32	0,48	0,27	0,51	Memenuhi standar
8	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
9	0	0,24	0,08	0,08	0,07	0,08	0	Memenuhi standar
10	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar

Tabel 5 memperlihatkan nilai THDv baik pada orde genap maupun pada orde ganjil masih memenuhi standar IEEE 519-2014, sehingga tidak perlu dilakukan analisis menggunakan deret Fourier.

Tabel 6 dan 7 memperlihatkan data hasil pengukuran THDi dan THDi orde ke-1 sampai orde ke-10 pada setiap beban dan hasilnya dibandingkan dengan batas 5,0% untuk THD arus maksimum berdasarkan standar IEEE 519-2014.

Total THDi pada tabel 6 diperoleh berdasarkan data tabel 2, dengan menggunakan rumus persamaan (2).

Tabel 6 Total THDi Hasil Pengukuran

Nama Peralatan	THDi (%)	Standar 5,0% pada IEEE 519-2014
Komputer A	84,04	Tidak memenuhi standar
Komputer B	81,42	Tidak memenuhi standar
Laptop V	86,96	Tidak memenuhi standar
Laptop W	86,41	Tidak memenuhi standar
Laptop X	84,25	Tidak memenuhi standar
Laptop Y	82,44	Tidak memenuhi standar
Laptop Z	80	Tidak memenuhi standar

Tabel 6 menunjukkan tingkat THDi hasil pengukuran pada masing-masing komputer dan laptop yang berbeda merek tidak memenuhi standar IEEE 519-2014.

Tabel 7 THDi Orde ke-n Hasil Pengukuran

Orde	THDi Orde ke-n (%)							Standar 4,0% pada IEEE 519-2014
	Komputer A	Komputer B	Laptop V	Laptop W	Laptop X	Laptop Y	Laptop Z	
1	100	100	100	100	100	100	100	-
2	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
3	51,35	51,52	50	52,17	50	50	40	Tidak memenuhi standar
4	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
5	45,95	45,45	45,45	47,83	44,44	43,75	40	Tidak memenuhi standar
6	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
7	37,84	36,36	40,91	39,13	38,89	37,5	40	Tidak memenuhi standar
8	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar
9	29,73	24,24	36,36	30,43	33,33	31,25	40	Tidak memenuhi standar
10	0	0	0	0	0	0	0	Memenuhi standar

Tabel 7 menunjukkan nilai THDi pada orde ganjil (3,5,7,9) tidak memenuhi standar IEEE 519-2014.

Setelah mendapatkan data pengukuran langsung pada komputer dan laptop berbeda merek seperti ditunjukkan pada tabel 2, langkah berikutnya adalah menentukan persamaan gelombang arus harmonisa dari orde 1 s/d orde 9 (karena

orde genap pada arus harmonisa dari orde ke-2 sampai seterusnya memiliki nilai $I_{rms} = 0$).

Tabel 8 Penjumlahan Deret Fourier Berdasarkan Komponen Arus Harmonisa Kelipatan Orde Ganjil

Nama Peralatan	i(t) Komponen Arus Harmonisa Kelipatan Orde Ganjil				
	1	3	5	7	9
Komputer A	$0,52 \sin(\omega t + 2,20)$	$0,27 \sin(3\omega t + 0,27)$	$0,24 \sin(5\omega t + 2,04)$	$0,20 \sin(7\omega t + 0,30)$	$0,16 \sin(9\omega t + 1,72)$
Komputer B	$0,47 \sin(\omega t + 2,91)$	$0,24 \sin(3\omega t - 0,05)$	$0,21 \sin(5\omega t + 2,73)$	$0,17 \sin(7\omega t - 0,33)$	$0,11 \sin(9\omega t + 2,41)$
Laptop V	$0,31 \sin(\omega t + 2,23)$	$0,16 \sin(3\omega t + 0,13)$	$0,14 \sin(5\omega t + 1,71)$	$0,13 \sin(7\omega t - 0,58)$	$0,11 \sin(9\omega t + 0,96)$
Laptop W	$0,33 \sin(\omega t + 2,34)$	$0,17 \sin(3\omega t + 0,02)$	$0,16 \sin(5\omega t + 1,55)$	$0,13 \sin(7\omega t - 0,81)$	$0,10 \sin(9\omega t + 0,66)$
Laptop X	$0,25 \sin(\omega t + 2,67)$	$0,13 \sin(3\omega t - 0,39)$	$0,11 \sin(5\omega t + 2,20)$	$0,10 \sin(7\omega t - 1,15)$	$0,08 \sin(9\omega t + 1,39)$
Laptop Y	$0,23 \sin(\omega t + 2,11)$	$0,11 \sin(3\omega t + 0,64)$	$0,10 \sin(5\omega t + 1,79)$	$0,08 \sin(7\omega t + 0,23)$	$0,07 \sin(9\omega t + 1,36)$
Laptop Z	$0,07 \sin(\omega t + 2,72)$	$0,03 \sin(3\omega t - 0,14)$	$0,03 \sin(5\omega t + 2,29)$	$0,03 \sin(7\omega t - 0,51)$	$0,03 \sin(9\omega t + 1,99)$

Dengan menerapkan sifat simetris gelombang yang diaplikasikan dalam deret Fourier bentuk gelombang arus harmonisa, diperoleh hal sebagai berikut^[5]:

- Komponen suku kosinus tidak ada dikarenakan gelombangnya berbentuk ganjil, dimana $f(-t) = -f(t)$, dan nilai A_n menjadi 0.
- Sumber DC adalah $A_0 = 0$, sehingga tidak ada harmonisa genap sebab bentuk gelombang simetris setengah gelombang, $f(t \pm T/2) = -f(t)$.

Dari data yang tertera pada tabel 8, diperoleh persamaan bentuk gelombang arus harmonisa orde ke-1 s/d ke-9 untuk komputer A,B dan laptop V,W,X,Y,Z sebagai berikut:

Komputer A:

$$i(t) = 0,52 \sin(\omega t + 2,20) + 0,27 \sin(3\omega t + 0,27) + 0,24 \sin(5\omega t + 2,04) + 0,20 \sin(7\omega t + 0,30) + 0,16 \sin(9\omega t + 1,72) \text{ (A)}$$

Komputer B:

$$i(t) = 0,47 \sin(\omega t + 2,91) + 0,24 \sin(3\omega t - 0,05) + 0,21 \sin(5\omega t + 2,73) + 0,17 \sin(7\omega t - 0,33) + 0,11 \sin(9\omega t + 2,41) \text{ (A)}$$

Laptop V:

$$i(t) = 0,31 \sin(\omega t + 2,23) + 0,16 \sin(3\omega t + 0,13) + 0,14 \sin(5\omega t + 1,71) + 0,13 \sin(7\omega t - 0,58) + 0,11 \sin(9\omega t + 0,96) \text{ (A)}$$

Laptop W:

$$i(t) = 0,33 \sin(\omega t + 2,34) + 0,17 \sin(3\omega t + 0,02) + 0,16 \sin(5\omega t + 1,55) + 0,13 \sin(7\omega t - 0,81) + 0,10 \sin(9\omega t + 0,66) \text{ (A)}$$

Laptop X:

$$i(t) = 0,25 \sin(\omega t + 2,67) + 0,13 \sin(3\omega t - 0,39) + 0,11 \sin(5\omega t + 2,20) + 0,10 \sin(7\omega t - 1,15) + 0,08 \sin(9\omega t + 1,39) \text{ (A)}$$

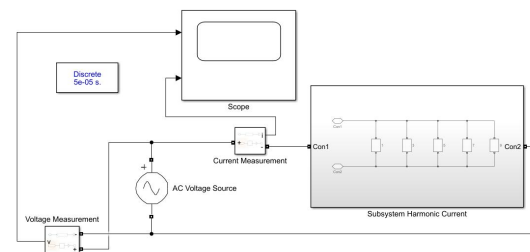
Laptop Y:

$$i(t) = 0,23 \sin(\omega t + 2,11) + 0,11 \sin(3\omega t + 0,64) + 0,10 \sin(5\omega t + 1,79) + 0,08 \sin(7\omega t + 0,23) + 0,07 \sin(9\omega t + 1,36) \text{ (A)}$$

Laptop Z:

$$i(t) = 0,07 \sin(\omega t + 2,72) + 0,03 \sin(3\omega t - 0,14) + 0,03 \sin(5\omega t + 2,29) + 0,03 \sin(7\omega t - 0,51) + 0,03 \sin(9\omega t + 1,99) \text{ (A)}$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi menggunakan Simulink MATLAB berdasarkan persamaan gelombang arus orde ke-1 hingga ke-9 diatas. Pada tahap ini, bentuk gelombang THDi dapat dianalisis menggunakan *FFT Analysis tools* yang tersedia dalam Simulink MATLAB. *FFT Analysis* adalah alat yang digunakan untuk menganalisis distorsi gelombang.

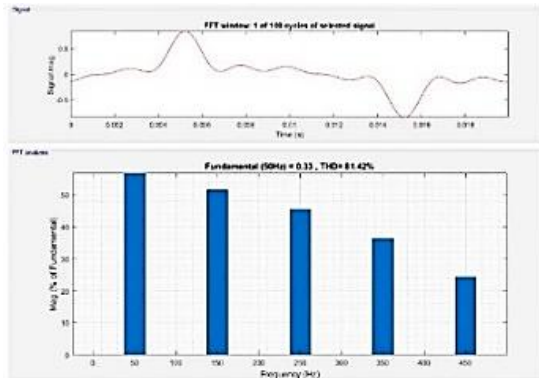


Gambar 7 Rangkaian Simulasi Simulink MATLAB

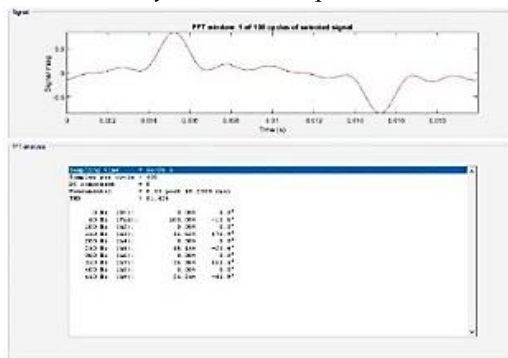
Gambar 7 memperlihatkan rangkaian simulasi Simulink Matlab, dimana data *input*-nya berdasarkan hasil pengukuran yaitu data THDi dan THDv pada Komputer dan Laptop yang berbeda merek.

Bentuk gelombang dan spektrum frekuensi pada *FFT Analysis* dapat dibuat dalam dua bentuk tampilan, yaitu *bar* dan *list*. Gambar 8 memperlihatkan bentuk gelombang dan spektrum frekuensi arus harmonisa komputer B pada *FFT Analysis*

tools dalam tampilan *bar*. Sedangkan Gambar 9 memperlihatkan bentuk gelombang arus harmonisa dan besar THDi orde ke-n komputer B pada *FFT Analysis tools* dalam tampilan *list*.



Gambar 8 Bentuk gelombang dan spektrum frekuensi arus harmonisa komputer B pada *FFT Analysis* dalam tampilan *bar*



Berdasarkan analisis terhadap hasil pengolahan data, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai THDv pada komputer dan laptop yang berbeda merek, secara keseluruhan memenuhi standar IEEE 519-2014, sementara nilai THDi berkisar antara 80% hingga 86,96% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014.
2. Orde arus harmonisa dominan yang ditimbulkan oleh komputer dan laptop berbeda merek memiliki pola kecenderungan yang sama yaitu orde arus harmonisa dominan yang terjadi pada orde ke-3, 5, 7 dan 9, dimana orde ke-3 memiliki nilai THDi dominan tertinggi dengan rentang nilai diantara 40% hingga 52,17%.
3. Persamaan gelombang arus harmonisa yang dihasilkan oleh komputer dan laptop menggunakan deret Fourier berdasarkan orde arus harmonisa dominan yang sama pada komputer dan laptop yang berbeda merek yaitu orde ke-1, ke-3, ke-5, ke-7, dan ke-9.

5.2 Saran

Disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap filter pada komputer dan laptop yang berbeda merek untuk mengurangi tingkat harmonisa, khususnya orde ke 3, 5, 7 dan ke 9.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rifdah, Deva Nur. (2021). *Rancang Bangun Alat Ukur Harmonisa Pada Sistem Tegangan 220 Vac Menggunakan Perangkat Lunak Labview*. Inst. Teknol. Nas. Malang. [Online]. Available: <http://eprints.itn.ac.id/8730/8/1712008-JurnalSkripsi.pdf>
- [2] Pasaribu, Faisal Irsan. (2021). *Beban Non Linier dan Analisa Harmonisa*. Jurnal Elektro dan Telekomunikasi, vol. 5, no. 1. pp. 29–34. [Online]. Available: <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=10019860289363454675&btnI=1&hl=en>
- [3] Heryana, Nana., Iskandar, Handoko Rusiana., Widodo, Bambang., & Purba, Robinson. (2019). *Compact Fluorescence Lamp Based on Power Electronics Technology: Its Advantages and Disadvantages*. JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa), vol. 4, no. 1, pp. 99–108. doi: 10.31544/jtera.v4.i1.2019.99-108.
- [4] Siahaan, Fernando Jeremia., Silalahi, Eva Magdalena., Widodo, Bambang., & Purba, Robinson. (2020). *Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) DAN Light-Emitting Diode (LED)*. Lektrokom J. Ilm. Progr. Stud. Tek. Elektro, vol. 3, no. 1, pp. 1–7. [Online]. Available: <http://ejournal.uki.ac.id/index.php/lektrokom/article/download/3372/2042>
- [5] Silalahi, Eva Magdalena., Widodo, Bambang., & Purba, Robinson. (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*. Jurnal Fokus Elektroda Energi Listrik. Telekomun. Komputer, Elektron. dan Kendali), vol. 6, no. 1, p. 54. doi: 10.33772/jfe.v6i1.16044. [Online]. Available: <http://ojs.uho.ac.id/index.php/JFE/article/download/16044/pdf>
- [6] Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Santoso, Surya., & Beaty H. Wayne. (2004). *Electrical Power System Quality*. 2nd ed. Digital Engineering Library. [Online]. Available: www.EasyEngine

-
- [oring.net](http://www.oring.net)
- [7] Rosa, Francisco C. De La. (2006). *Harmonics and Power Systems*. 2nd ed. Boca Raton, London, New York.: Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420004519.
- [8] Wakileh, George J. (2001). *Power System Harmonic*. 2nd ed. Austria: Springer. doi: 10.1007/978-3-662-04343-1.
- [9] Alexander, Charles K., & Sasiku, Matthew N. O. (2013). *Fundamentals of Electric Circuits*. 5th ed. Amerika Serikat: McGraw-Hill.
[Online].Available:www.mhhe.com
- [10] Creswell, John W. (2014). *Research Design*. 4th ed. Lo Angle, London: SAGE.[Online].Available:[https://one search.id/Record/IOS5662.slims-1634](https://one.search.id/Record/IOS5662.slims-1634)
- [11] Hioki. (2021). *Power Quality Analyzer PQ3198*. Hioki Corp.
[Online].Available:https://www.googleleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwiBqpeZjNf9AhVpk2YCHZNNACKYABAAGgJzbQ&ohost=www.google.com&cid=CAESbOD2BIIJz2IxpGg_XBednVT4UNunR8zjIYN6ODbh3wyIdSy8GdLaj8yBmpKnzleskzJ9tx5vhu_T9-zeL0BTUbg1GYhlHErUaODmU2LqURR4hO0BU7DAOvhdJb1T5YwPVIUPsvYZMezYuCngA&sig=AOD64_38Zy59dJOZPxDiKIjzbD6Sh0SIIQ&q&adurl&ved=2ahUKEwjg15CZjNf9AhX28zgGHVV2DDcQ0Qx6BAgKEAE
- [12] Cheng, Dr. John. (2014). *IEEE Standard 519-2014.Schneider Electr.* pp. 28–29.
[Online].Available:https://www.academia.edu/36633126/IEEE_Recommended_Practice_and_Requirements_for_Harmonic_Control_in_Electric_Power_Systems_IEEE_Power_and_Energy_Society
- [13] Pulo, Universidade De Sao. (2014). *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control*
in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society. 3 Park Ave.[Online].Available:<https://www.ieee.org/about/corporate/governance/p9-26.html>