

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik sangat berperan penting untuk memenuhi kebutuhan manusia dalam memasok beban listrik. Pada umumnya pasokan energi listrik akan selalu menunjukkan sinyal tegangan sinusoidal yang sempurna pada setiap lokasi pelanggan. Tapi, untuk berapa alasan, utilitas sering kali sulit mempertahankan kondisi yang diinginkan. Penyimpangan gelombang tegangan dan arus sinusoidal dapat dijelaskan dengan istilah distorsi dalam bentuk gelombang, dan sering dinyatakan sebagai distorsi harmonisa. Saat ini distorsi harmonisa bukanlah hal asing dalam menarik perhatian utama para insinyur pada beberapa tahapan pemanfaatan energi listrik dalam bidang tenaga industri.

Dalam sistem tenaga listrik, terdapat dua jenis beban listrik yang umum digunakan, yaitu beban linier dan beban nonlinier. Beban linier merupakan beban listrik yang memiliki impedansi yang selalu tetap, sehingga gelombang arus yang mengalir di dalamnya selalu sama dengan gelombang tegangan pada setiap saat. Sementara itu, beban nonlinier adalah beban listrik yang impedansinya tetap konstan selama setiap siklus tegangan input. Akibatnya, gelombang arus yang mengalir pada beban nonlinier tidak akan sama dengan gelombang tegangan yang dihasilkan oleh beban tersebut^[1].

Beban nonlinier adalah perangkat elektronik yang mengandung banyak komponen semikonduktor. Selama beban beroperasi, perangkat akan bertindak sebagai sakelar dengan setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Jika impedansi konstan, bentuk gelombang keluaran yang dihasilkan tidak sama dengan bentuk gelombang masukan. Hal ini disebabkan adanya distorsi gelombang yang dihasilkan atau menimbulkan harmonisa^[2].

Harmonik adalah konsekuensi dari penggunaan beban nonlinier pada sistem energi listrik, yang dapat mengakibatkan distorsi pada bentuk gelombang sinus aslinya. Distorsi ini menyebabkan terjadinya gelombang-gelombang yang terdistorsi secara periodik pada gelombang tegangan, arus, atau daya, yang terdiri dari komponen gelombang sinus dengan frekuensi yang merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental sumbernya. Akibatnya, bentuk gelombangnya tidak lagi berbentuk sinusoidal^[3].

Distorsi harmonik dalam sistem energi listrik terjadi karena peningkatan penggunaan beban nonlinier di sektor industri, yang menyebabkan meningkatnya distorsi harmonik pada jaringan distribusi. Harmonisa yang tinggi dapat merusak peralatan listrik dan mengakibatkan kesalahan pada saat pengukuran kWh sehingga mengakibatkan kenaikan tagihan listrik, akan sangat merugikan bisnis jika harmonisanya tinggi^[4].

Secara umum, amplitudo harmonik dari setiap frekuensi harmonik dapat diperoleh dengan menganalisis harmonik menggunakan deret Fourier yang diturunkan dari gelombang periodik^[5]. Dalam hal ini, analisa harmonik akan dilakukan untuk menentukan amplitudo, urutan dan fase dari beberapa harmonik yang terjadi pada gelombang periodik kompleks. Deret Fourier adalah metode analitik dan grafis yang dapat digunakan untuk menganalisis harmonik.

Dengan menggunakan teknik deret Fourier, setiap fungsi periodik dapat direpresentasikan sebagai jumlah tak terhingga dari deret besaran sinusoidal. Teknik ini pertama kali diperkenalkan oleh seorang matematikawan dan fisikawan Perancis bernama Jean Baptiste Joseph Forier pada tahun 1768-1830^[6]. Deret Fourier adalah suatu metode matematika yang digunakan untuk merepresentasikan fungsi periodik dengan gelombang sinus dan kosinus secara umum. Selain itu, deret Fourier juga sering digunakan sebagai alat untuk menyelesaikan berbagai jenis persamaan diferensial, baik itu persamaan diferensial biasa maupun parsial. Dalam konteks ini, deret

Fourier dapat mengungkapkan komponen genap dan ganjil dari fungsi yang diwakili^[7].

Parameter harmonik dinyatakan dalam bentuk *Total Harmonic Distortion* (THD). THD merupakan suatu metode untuk mengukur persentase distorsi harmonik total pada arus dan tegangan. Tingkat THD ini mencerminkan risiko potensial kerusakan peralatan yang lebih tinggi akibat adanya harmonik yang terjadi pada sistem^[8]. Saat ini perangkat nonlinier yang umum digunakan adalah perangkat elektronik seperti komputer, laptop dan lain-lain.

Banyaknya penggunaan beban nonlinier menjadi salah satu penyebab terjadinya gangguan kelistrikan yang mengakibatkan harmonisa. Suatu komponen pada sistem distribusi sering dipengaruhi oleh harmonik, meskipun pengaruhnya berbeda-beda. Hal ini menyebabkan penurunan kinerja pada komponen tersebut. Pada umumnya, gangguan harmonik terjadi karena kabel netral yang menjadi panas akibat munculnya harmonik pada orde ketiga yang dihasilkan dari suatu peralatan elektronik 1 fasa. Dalam kondisi normal, pada setiap fasa dari beban listrik linier, arus listrik yang mengalir akan saling meniadakan satu sama lain pada frekuensi fundamentalnya. Sebagai akibatnya, arus netral yang dihasilkan akan menjadi nol. Di era perkembangan zaman, sebagian besar industri banyak menggunakan beban nonlinier untuk berbagai keperluan industri, seperti dalam penggunaan motor listrik, komputer, laptop, printer, dan lain sebagainya. Beban nonlinier menggunakan kontrol switching semikonduktor sebagai pemutus tegangan dengan kecepatan tinggi, yang mengakibatkan gelombang arus mengalami distorsi^[9].

Komputer dan laptop adalah perangkat elektronik yang dirancang untuk memproses data dengan cepat, akurat, dan tepat. Perangkat ini telah diorganisasi sedemikian rupa sehingga dapat secara otomatis menerima dan menyimpan data masukan, kemudian memprosesnya untuk menghasilkan output berdasarkan langkah-langkah dan instruksi program yang tersimpan di memori^[10]. Penggunaan beban nonlinier seperti komputer dan laptop telah

menjadi umum dalam kehidupan sehari-hari masyarakat. Beban ini banyak digunakan di gedung perkantoran, sekolah, dan bahkan industri, sebagai bagian dari dukungan dalam kegiatan operasional mereka. Komputer dan laptop adalah perangkat elektronik yang berperan sebagai sumber harmonisa arus dalam sistem kelistrikan.

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%^[10].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Tomy Nugroho dan Istoni Reza pada tahun 2022 dengan judul "**Analisis Pengukuran Dan Perhitungan Total Harmonic Distortion (THD) Pada Beban Non-Linier**", yang dipublikasikan dalam jurnal UNSADA, Volume XII, Nomor 1, Maret 2022, dengan ISSN 2088-060X, ditemukan bahwa harmonisa menyebabkan distorsi pada gelombang arus dan tegangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengukuran dan perhitungan THD arus pada motor induksi adalah sebesar 6,98% pada fasa R, 6,84% pada fasa S, dan 7,71% pada fasa T. Diketahui bahwa nilai THD arus pada motor induksi melebihi standar IEEE 519-2014 yaitu sebesar 5,0%. Sementara itu, untuk THD tegangan pada motor induksi, nilainya adalah 5,0% pada fasa R, 4,5% pada fasa S, dan 4,4% pada fasa T^[11].

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 THD_v pada beban LHE dan LED memiliki besaran sama, berkisar antara 0,80% hingga 1,3%. THD_i yang dihasilkan LHE serta LED melebihi batas standar 5,0% IEEE 519-2014. Selain itu, penggunaan kedua jenis lampu dengan serentak dapat menurunkan THD_i yang didapatkan sebesar 3% sampai 9%^[12].

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 THD_i 63,97% tidak memenuhi standar 5,0% dari IEEE 519-2014. THD_i 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^[13].

Berdasarkan penelitian yang dipublikasikan pada bulan April 2019 oleh Judi Prajetno Sugiono, Hari Sutiksno, Setya Ardhi, dan Ivan B. Sasaka dalam jurnal SMATIKA, Volume 09, Nomor 01, dengan ISSN: 2087-0256 dan e-ISSN: 2580-6939, halaman 15-22, penelitian ini membahas tentang "**Implementasi *Fast Fourier Transform* (FFT) dalam Pengembangan Alat dan Bantuan Program Untuk Mengukur *Total Harmonic Distortion***

(THD)” sebagai perbandingan rata-rata geometris dari akar kuadrat jumlah harmonik terhadap frekuensi dasarnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan alat pengukur THD yang menggunakan mikrokontroler AVR untuk melakukan perhitungan THD secara digital. Dalam penelitian ini, sinyal harmonik dalam deret Fourier dihitung menggunakan algoritma Fast Fourier Transform (FFT), yang memberikan kecepatan perhitungan yang lebih baik secara numerik komputasional dibandingkan dengan metode manual atau tradisional. Pengujian alat dilakukan dengan menggunakan berbagai bentuk sinyal, dan hasilnya dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan oleh komputer. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ini mampu mengukur tingkat akurasi THD dari sinyal dengan baik^[14].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Muhira Dzar Faraby, Muhammad Daffa Cahyono Putra, Ontoseno Penangsang, Rony Seto Wibowo, Dimas Fajar Uman Putra, Mukhlisin, dan Andi Fitriati, yang dipublikasikan pada tanggal 21 September 2021 dengan judul "**Analisa Penyebaran Harmonisa Pada Sistem Distribusi Radial Kota Bandar Lampung Menggunakan Metode *Forward Backward Sweep* dan *Harmonic Load Flow***" dalam jurnal Prosiding, Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI), Volume 3, Nomor 1, halaman 80-85, penelitian ini membahas tentang dampak penggunaan beban nonlinier untuk penyebab harmonisa dalam sistem distribusi radial di Kota Bandar Lampung dengan metode *Forward Backward Sweep* dan *Harmonic Load Flow* dengan MATLAB 2020b. Hasil simulasi menunjukkan adanya peningkatan kerugian (losses) sebesar 32,3% dan *Total Harmonic Distortion Voltage* (THD_v) yang melebihi standar. Disebabkan oleh injeksi arus harmonik dari beban nonlinier pada sistem distribusi radial tersebut^[15].

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.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini berdasarkan dari latar belakang yaitu:

1. Berapa nilai harmonisa tegangan dan arus listrik sistem tegangan 1 fasa yang terdapat pada komputer dan laptop berbeda merek?
2. Apakah nilai harmonisa tegangan dan arus memenuhi standar IEEE 519-2014?
3. Orde arus dominan didominasi oleh orde keberapa dan bagaimana bentuk persamaan gelombang arus setelah di Analisa menggunakan deret Fourier, sehingga diperoleh bentuk gelombang arus yang tidak sinusoidal?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini didasarkan pada asumsi hipotesis awal yaitu komputer dan laptop merupakan peralatan elektronik termasuk kategori beban listrik nonlinier, di mana beban nonlinier merupakan sumber harmonisa yang dapat menyebabkan distorsi tegangan dan arus. Berdasarkan permasalahan di atas, tujuan penelitian ini 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 harmonik dominan dan data pengukuran.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, peneliti memberikan batasan masalah untuk menjaga fokus penelitian agar tidak terlalu meluas, sehingga pertanyaan yang diteliti diarahkan untuk mendapatkan manfaat dan pengetahuan yang lebih terperinci. Oleh karena demikian, masalah yang diangkat pada penelitian dibatasi dengan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

1. Penelitian hanya berfokus tentang masalah harmonisa (THD) dan penentuan deret Fourier harmonisa akibat yang ditimbulkan oleh komputer dan laptop berbeda merek.
2. Penelitian ini dilaksanakan melalui pengukuran langsung pada 2 (dua) unit komputer berbeda merek dan 5 (lima) unit laptop berbeda merek menggunakan PQA Kyoritsu 1 fasa pada sistem tegangan 220 volt.
3. Pengukuran harmonisa pada komputer dan laptop dilakukan di Gedung Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UKI, Jakarta.
4. Parameter pengukuran yang ingin diperoleh adalah: P (W), S (VA), Q (VAR), Tegangan (V), Arus (A), THD arus, THD tegangan dan faktor daya.
5. Standar kualitas daya yang digunakan adalah IEEE 519-2014 untuk distorsi tegangan dan arus.
6. Tingkat distorsi gelombang arus harmonisa dimodelkan dalam bentuk gelombang dan spektrum frekuensi menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) dalam simulasi Matlab/Simulink.

1.5 Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini, manfaat yang dapat diperoleh, antara lain:

- 1) Mengetahui visualisasi deret Fourier akibat adanya distorsi harmonisa dan menentukan THD sesuai dengan standar IEEE 519-2014.
- 2) Bisa menjadi acuan atau referensi bagi penelitian selanjutnya terkait masalah harmonisa yang ditimbulkan oleh beban nonlinier.

1.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian, mencakup penelitian kepustakaan, metode penelusuran web, dan metode penelitian kuantitatif. Metode penelitian kepustakaan atau studi literatur digunakan untuk mencari faktor pendukung dan merujuk pada dokumen pembanding yang menjadi landasan teori dalam penelitian ini. Selanjutnya, tergantung pada hipotesis yang dipilih dan tujuan dari penelitian yang akan diperoleh. Metodologi penelitian ini selanjutnya dibagi dalam beberapa tahap, yaitu:

1. Identifikasi masalah yang melibatkan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini, dengan asumsi awal bahwa komputer dan laptop sebagai beban nonlinier.
2. Penelitian kepustakaan atau studi literatur, yang mencakup pengumpulan data dari buku referensi dan jurnal yang relevan dengan topik penelitian saat ini, yaitu analisis deret Fourier dari harmonisa yang dihasilkan oleh komputer dan laptop dengan merek yang berbeda.
3. Pengumpulan data, yaitu melakukan pengukuran secara langsung pada beban listrik komputer dan laptop berbeda merek menggunakan alat ukur PQA Kyoritsu KEW 6315.
4. Analisis dan kesimpulan, yaitu:
 - a. Menganalisis data hasil pengukuran menggunakan deret Fourier dan tingkat THD dibandingkan dengan standar yang berlaku.
 - b. Selanjutnya, hasil analisis deret Fourier akan divisualisasikan menggunakan simulasi FFT pada Matlab/Simulink, dan dari hasil tersebut akan dibuat kesimpulan.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dapat dijelaskan secara ringkas dalam sistem pembahasan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Pada bab ini, akan diuraikan latar belakang penulisan, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II Landasan Teori

Pada bab ini, akan dibahas teori dasar yang mendukung penyusunan skripsi ini. Penjelasan akan mencakup konsep analisis deret Fourier, harmonisa arus dan tegangan yang terkait dengan komputer dan laptop, serta pengenalan tentang Matlab/Simulink. Selain itu, bab ini juga akan mengulas pengertian beban listrik linier dan non-linier, serta membahas komputer dan laptop secara lebih mendalam.

BAB III Metode Penelitian

Bab ini menguraikan tentang metode penelitian yang telah dilakukan, dimulai dari studi literatur yang melibatkan pencarian dan analisis berbagai referensi dan sumber yang relevan dengan topik penelitian. Selanjutnya, dijelaskan pembuatan diagram alir penelitian untuk merinci langkah-langkah yang diambil dalam penelitian. Selain itu, bab ini juga membahas penentuan alat dan bahan penelitian yang digunakan dalam proses pengumpulan data. Terakhir, dilakukan pengumpulan data melalui proses pengukuran untuk mendukung analisis dan kesimpulan dalam penelitian.

BAB IV Hasil Penelitian dan Analisa

Bab ini berisi tentang data penelitian yang diperoleh dari proses pengukuran dan selanjutnya diolah. Hasil pengolahan data akan dianalisis menggunakan analisis deret Fourier dan simulasi FFT pada Matlab/Simulink. Selanjutnya, hasil analisis tersebut akan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014 untuk menilai sejauh mana tingkat THD dari data penelitian terhadap standar yang berlaku.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini, disajikan kesimpulan yang diambil dari hasil penelitian yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Hasil penelitian akan disimpulkan

dan diuraikan secara komprehensif untuk memberikan gambaran tentang temuan-temuan penting. Selain itu, juga terdapat saran-saran untuk penelitian selanjutnya, yang bertujuan untuk mengarahkan dan memperluas bidang penelitian yang masih relevan dan menarik untuk diteliti lebih lanjut.

