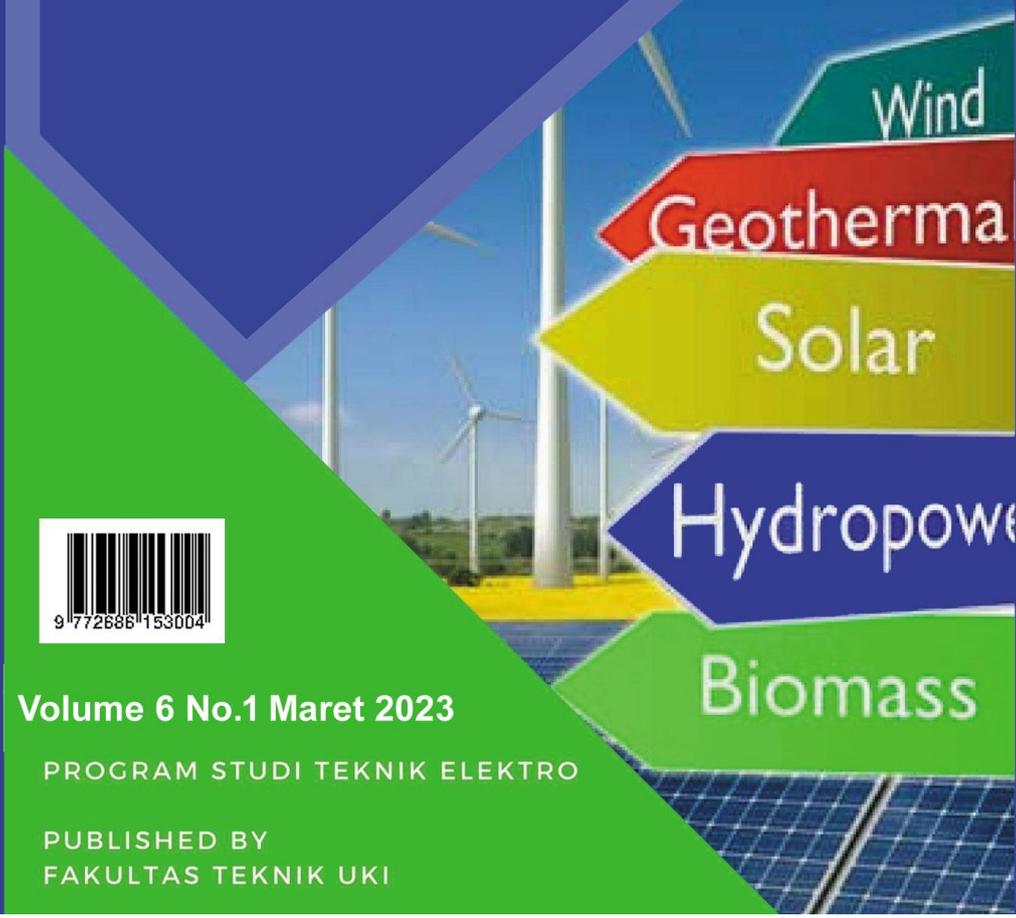




JURNAL ILMIAH TEKNIK ELEKTRO

LEKTROKOM

POWER SYSTEM
CONTROL ENGINEERING
TELECOMMUNICATION
RENEWABLE ENERGY
SMART SYSTEM



Volume 6 No.1 Maret 2023

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

PUBLISHED BY
FAKULTAS TEKNIK UKI

DAFTAR ISI

Judul		Halaman
Analisa Deret Fourier Harmonisa Yang Dihasilkan Komputer Dan Laptop Menggunakan Simulasi Matlab/Simulink Frensius, Eva Magdalena Silalahi, Robinson Purba	.....	1-13
Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem On - Grid Untuk Memenuhi Kebutuhan Listrik Base Transceiver Station (BTS) di Desa Sabi Samukop Kepulauan Mentawai Riyan siyentanu mareat Sakeru, Eva Magdalena Silalahi, Robinson Purba	.....	14-23
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 David Melanius Nai, Eva Magdalena Silalahi, Robinson Purba	.....	24-35
Analisa Harmonisa Pada Base Tranciever Station (BTS) Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI) – Jakarta FILIP DONATAL Filip, Eva Magdalena Silalahi, Robinson Purba	.....	36-44
Perancangan Pembangkit Listrik Mikrohidro 30 Kw Untuk Suplai Listrik Area Wisata di Desa Girimulyo Ngargoyoso, Karang Anyar, Jawa Tengah Ridwan Leksana, Bambang Widodo, Eva Magdalena Silalahi, Judo Ignatius Nempung	.....	45-53

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:

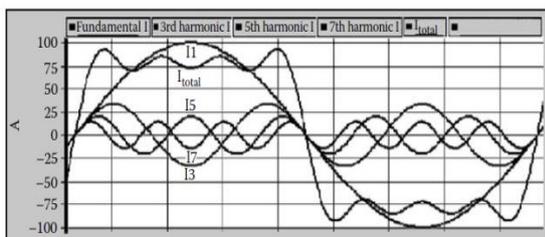
1. Untuk mengetahui tingkat THD tegangan dan arus pada komputer dan laptop yang berbeda merek.
2. Mengetahui besaran orde harmonisa arus dominan yang ditimbulkan oleh komputer dan laptop berbeda merek.
3. Untuk mendapatkan persamaan gelombang arus harmonisa yang dihasilkan oleh komputer dan laptop

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)

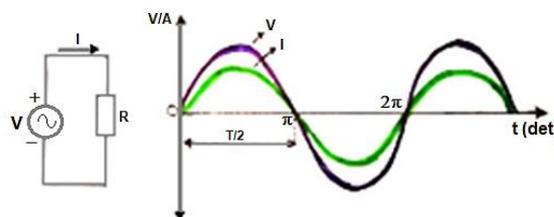
I_1 = nilai arus frekuensi dasar (A)

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.



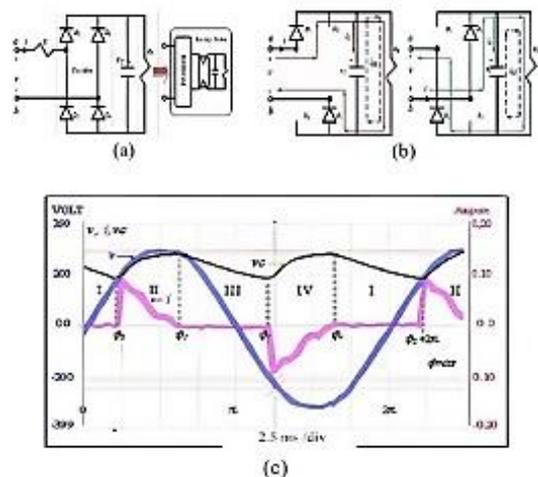
Gambar 2 Contoh Beban Linier

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].

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} [A_n \cos(n\omega_0 t) + B_n \sin(n\omega_0 t)] \quad (3)$$

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

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \sin(n\omega_0 t + \psi_n) \quad (4)$$

dimana:

$f(t)$ merupakan sebuah fungsi periodik dengan fungsi f_0 , frekuensi sudut $\omega_0 = 2\pi f_0$ dan periode $T = 1/f_0 = 2\pi/\omega_0$.

$C_1 \sin(\omega_0 t + \psi_1)$ mewakili komponen fundamental.

$C_n \sin(\omega_0 t + \psi_1)$ mewakili harmonisa ke- n dengan amplitudo C_n , frekuensi nf_0 , dan sudut fasa ψ_0 .

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

$$A_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt$$

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(t) dx, \quad (5)$$

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.

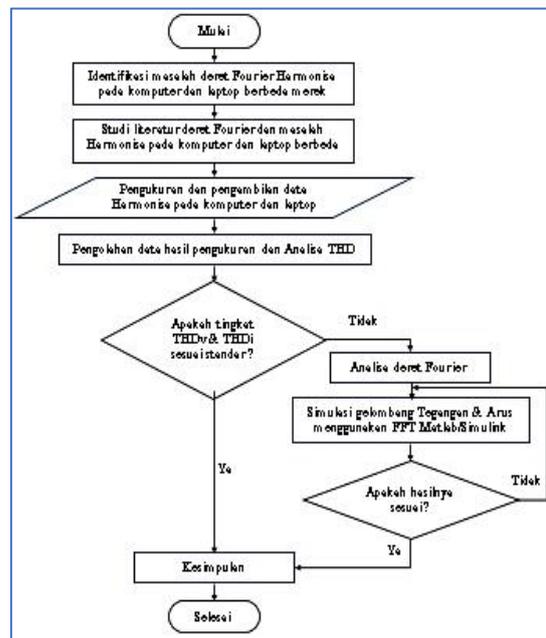
3. METODE PENELITIAN

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].

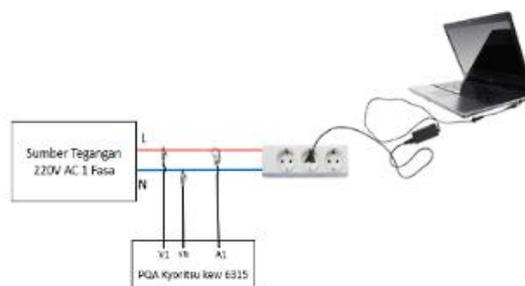
Berdasarkan asumsi yang digunakan dan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka metode penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yang akan di perlihatkan pada gambar diagram alur pada gambar 4.

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

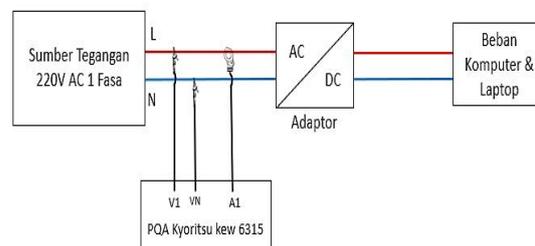
pada komputer dan laptop yang berbeda merek, dengan rangkaian pengukuran yang ditunjukkan pada gambar 5 dan gambar 6 yang memperlihatkan adaptor secara blok diagram.



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 ∠136,45°
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 Perakatan	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: $I_{SC}/I_L = 1,45$. Sehingga diperoleh batas maksimum THDv tegangan untuk sistem tegangan $\leq 1kV$ (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:

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

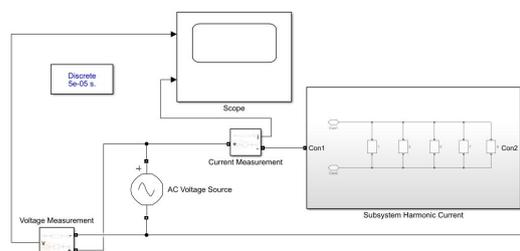
Laptop Y:

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

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*

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-Jurnal_Skripsi.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

-
- [ering.net](http://www.ering.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>
- [11] Hioki. (2021). *Power Quality Analyzer PQ3198*. Hioki Corp.
[Online].Available:https://www.googleadservices.com/pagead/aclk?sa=L&ai=DChcSEwiBqpeZjNf9AhVpk2YCHZNNackYABAAGgJzbQ&ohost=www.google.com&cid=CAESbOD2BIIJz2IxpEga_XBednVT4UNunR8zjIYN6ODBh3wyIdSy8GdLaj8yBmpKnzleskzJ9tx5vhu_T9-zeL0BTUbg1GYhIHErUaODmU2LqURR4hO0BU7DAOvhdJb1T5YwPVIUPsvYZMezYuCngA&sig=AOD64_38Zy59dJOZPxDiKIjzbD6Sh0SIIQ&q&adurl&ved=2ahUKEwjg15CZjNf9AhX28zgGHVV2DDcQ0Qx6B-AgKEAE
- [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>

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

David Melanius Nai¹, Eva Magdalena Silalahi², Robinson Purba³

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

*Alamat korespondensi: davidmelanius34@gmail.com

ABSTRAK

Di era modern ini elektronika daya banyak digunakan dalam peralatan listrik yang cenderung bersifat tidak linear, mengakibatkan gelombang arus tidak sama dengan gelombang tegangan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui harmonisa yang ditimbulkan oleh BTS yang mencakup tingkat distorsi harmonisa tegangan dan arus akibat pemakaian energi listrik pada BTS. Penelitian dilakukan terhadap BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UKI, Jakarta. Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada BTS ditemukan bahwa *Total Harmonic Distortion Voltage* (THD_v) untuk fasa R, S dan T sebesar 1,62%, 1,39% dan 1,34% yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014, sedangkan nilai *Total Harmonic Distortion Current* (THD_i) untuk fasa R, S dan T sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014, dengan harmonisa dominan terjadi pada orde ke-3. Berdasarkan hasil simulasi rancangan filter aktif *shunt* menggunakan matlab, diperoleh nilai THD_i sesudah menggunakan filter aktif *shunt* untuk fasa R, S dan T bernilai 0,15%, 0,68% dan 0,59% yang telah memenuhi standar IEEE 519-2014, serta nilai harmonisa arus dominan menunjukkan bahwa orde ke-3 juga memenuhi standar IEEE 519-2014, dengan tingkat harmonisa sebesar 0,01%, 0% dan 0,01% untuk fasa R, S, dan T

Kata Kunci : Harmonisa, THD_i, THD_v, Beban tidak linear, Filter Aktif *Shunt*

ABSTRACT

In this modern era, power electronics are extensively used in electrical equipment that tends to be nonlinear, resulting in current waveforms that are not identical to voltage waveforms. This research aims to determine the harmonics generated by Base Transceiver Stations (BTS), including the levels of voltage and current harmonic distortion due to electricity consumption in BTS operations. The study was conducted on BTS units located in the Mechanical Engineering Department Building of the Faculty of Engineering at UKI, Jakarta. Based on the research conducted on the BTS units, it was found that the Total Harmonic Distortion Voltage (THD_V) for phases R, S, and T were 1.62%, 1.39%, and 1.34%, respectively, which still meet the IEEE 519-2014 standards. On the other hand, the values of Total Harmonic Distortion Current (THD_I) for phases R, S, and T were 6.20%, 5.93%, and 5.57%, respectively, failing to meet the IEEE 519-2014 standards, with the dominant harmonics occurring at the 3rd order. Based on the simulation results of the designed active shunt filter using MATLAB, the THD_I values after applying the active shunt filter for phases R, S, and T were 0.15%, 0.68%, and 0.59%, respectively, meeting the IEEE 519-2014 standards. Additionally, the dominant current harmonics for the 3rd order also meet the IEEE 519-2014 standards, with harmonic levels of 0.01%, 0%, and 0.01% for phases R, S, and T.

Keywords: *Harmonics, THD_I , THD_V , Nonlinear Load, Active Shunt Filter.*

1. PENDAHULUAN

Tuntutan akan pertukaran informasi dengan kecepatan tinggi dan kapasitas besar di sektor telekomunikasi saat ini semakin meningkat sejalan dengan pesatnya perkembangan teknologi informasi di era modern. Perekembangan ekonomi dan teknologi telekomunikasi telah membuka peluang luas bagi pengembangan berbagai layanan komunikasi canggih yang dapat diakses dengan cepat dan biaya terjangkau. Peningkatan laju transformasi digital menjadi salah satu pilar yang mendukung tekad dalam memperkuat dan menjadikan negara lebih kokoh serta tahan banting, dengan prinsip ini Indonesia telah dengan

tegas mengemukakan komitmen dalam forum G20 untuk terus mengakselerasi transformasi digital, dengan tujuan utama mendorong pertumbuhan yang berkelanjutan^[1]. Dalam menunjang kegiatan tersebut maka salah satunya diperlukan BTS.

BTS berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal yang didalamnya terdapat komponen peralatan listrik yang bersifat nonlinear seperti *rectifier*, *air conditioner* dan lain-lain. Menurut hasil penelitian yang berjudul “**Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light Emitting Diode (LED)**”, bahwa beban non-linear adalah sumber harmonisa

terhadap sistem tenaga listrik. Beban nonlinear seperti LHE dan LED dapat memunculkan permasalahan harmonisa. Hasil penelitian meunjukkan bahwa, nilai THD_v sekitar 0,80%-1,3% dan nilai THD_i pada beban LHE berada dalam rentang 68,57%-78,68%. Nilai THD_i pada beban LED berada dalam rentang 72,15%-86,04%. Angka-angka tersebut tidak memenuhi standar IEEE 519-2014^[2].

Kajian pustaka memperlihatkan bahwa diperlukan upaya untuk meredem harmonisa agar memenuhi standard IEEE 519-2014. Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul **“Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Fasa Terhadap Pengaruh Harmonisa (THD) Dengan Penambahan Filter Aktif Menggunakan Matlab”** bahwa, untuk meredam harmonisa dapat menggunakan filter aktif *shunt*. Terlihat bahwa penggunaan filter aktif *shunt* dapat mengurangi tingkat harmonisa jika dibandingkan dengan kondisi tanpa menggunakan filter aktif *shunt*. Sebelum menggunakan filter aktif, nilai THD_i untuk fasa R,S dan T sekitar 19,20% dan setelah menggunakan filter aktif nilai THD_i mengalami penurunan menjadi sekitar 7,32% pada setiap fasanya^[3].

Berdasarkan hasil penelitian yang berjudul **“Measurement and Analysis of Base Transceiver Stations Power Quality Parameters and Assesment of its Unfavourable Effects on Iran Distribution Systems”**, bahwa, BTS merupakan jenis beban non linear. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa, tingkat harmonisa pada BTS tidak

memenuhi standar IEEE 519-2014. Sebelum menggunakan *hybrid pasive filter* (HPF) nilai THD_v untuk fasa R, S dan T sebesar 7%, 7,3% dan 6,6%, serta THD_i bernilai 24%, 9,5% dan 17,2%. Setelah menggunakan HPF, harmonisa mengalami penurunan yaitu nilai THD_v menjadi 2,93%, 7,3% dan 3,04%, serta nilai THD_i menjadi 9,65%, 9,5% dan 8,20% untuk fasa R, S dan T. Meskipun nilai THD_v dan THD_i mengalami penurunan setelah menggunakan HPF, namun nilai THD_v dan THD_i tersebut belum memenuhi standar IEEE 519-2014^[4]. Harmonisa menyebabkan panas (*thermal losses*) yang dapat merusak komponen listrik dari BTS^[5].

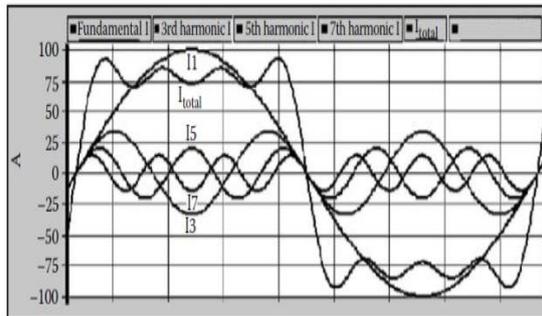
BTS dalam menjalankan fungsinya, berdasarkan hasil penelitian di atas ^{[2][3][4][5]}, diperkirakan menghasilkan harmonisa yang tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran harmonisa terhadap setiap BTS, termasuk BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin UKI, untuk mengetahui apakah tingkat harmonisa dari BTS ini, sudah memenuhi standar atau belum. Apabila tingkat harmonisa tidak memenuhi standar maka, perlu dilakukan perancangan filter aktif, agar memenuhi standar. Dalam perancangan filter yang dimaksud digunakan *software* matlab.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Harmonisa

Harmonisa pada sinyal listrik merujuk pada kandungan sinyal dengan frekuensi yang merupakan kelipatan bulat

dari frekuensi fundamental^[6], sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Gelombang Sinusoidal Terdistorsi^[7]

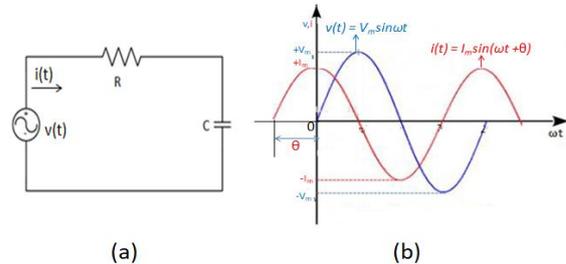
Gambar 1 menunjukkan gelombang-gelombang frekuensi kelipatan bulat ganjil yaitu kelipatan tiga, lima, dan tujuh (I_3 , I_5 , I_7) terhadap gelombang frekuensi fundamental (I_1) yang apabila gelombang-gelombang frekuensi kelipatan bulat ganjil dijumlahkan terhadap gelombang frekuensi fundamental, akan menghasilkan gelombang yang mengalami distorsi (I_{total}).

2.2 Beban listrik linier

Beban linear adalah beban yang menghasilkan gelombang arus yang sama dengan gelombang tegangan^[6]. Jenis beban linier termasuk resistif seperti pemanas listrik, bola lampu pijar, kapasitif seperti kapasitor. Beban ini juga bisa merupakan kombinasi dari resistor dan kapasitor yang ditunjukkan gambar 2

Gambar 2(a) memperlihatkan rangkaian yang dibentuk oleh beban linear, terdiri dari resistansi R dengan kapasitansi C dalam hubungan seri, dihubungkan dengan sumber tegangan, $v(t) = V_m \sin \omega t$ volt, sehingga mengalir arus $i(t) = I_m \sin(\omega t + \theta)$ ampere.

Gambar 2(b) memperlihatkan gelombang arus dan tegangan sama-sama sinusoidal, akan tetapi berbeda fase sebesar θ dan arus mendahului terhadap tegangan.



Gambar 2 Rangkaian beban linier yang terdiri dari kombinasi resistor dan kapasitor (a), Bentuk gelombang yang dihasilkan (b)

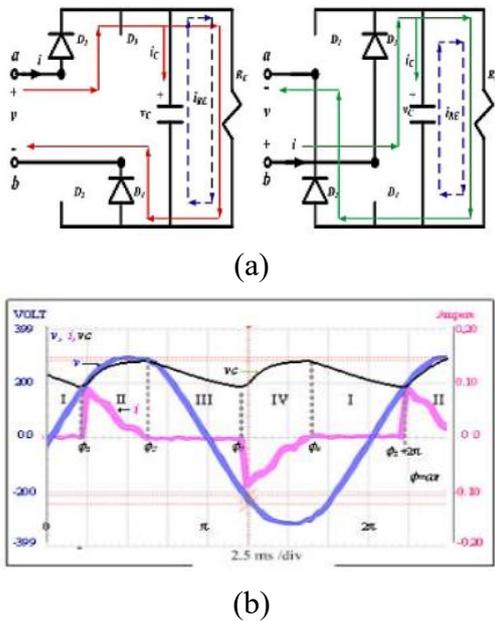
Keterangan:

1. V_m = harga maksimum dari tegangan, volt
2. I_m = harga maksimum dari arus, ampere
3. ω = $2\pi f$, rad/detik
4. f = frekuensi, hertz
5. t = waktu, detik
6. θ = sudut beda fasa antara tegangan dengan arus dalam derajat
7. Tanda + = arus mendahului terhadap tegangan

2.3 Beban listrik nonlinier

Beban nonlinier adalah beban yang menghasilkan gelombang arus yang tidak sama dengan gelombang tegangan^[6]. Hal ini disebabkan oleh beban non-linear, yang ditunjukkan pada gambar 3(a) bahwa rangkain beban non linear (*rectifier*), menghasilkan bentuk gelombang arus (pink)

tidak sama dengan gelombang tegangan (ungu) yang terlihat pada gambar 3(b)



Gambar 3 Rangkain beban non linear yang terdiri dari dioda(a) , Bentuk gelombang tegangan (ungu) dan arus (pink) pada beban non linear(b) [2]

2.4 Total Harmonic Distortion (THD)

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

THD untuk gelombang tegangan ditunjukkan pada persamaan (1)[8].

$$THD_v = \sqrt{\frac{\sum_{h>1}^{h_{max}} V_h^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- $THD_v = Total Harmonic Distortion Voltage (\%)$
- $V_h =$ nilai tegangan harmonisa ke-h (V)
- $V_1 =$ nilai tegangan pada frekuensi fundamental (V)

THD untuk gelombang arus ditunjukkan pada persamaan (2)[8].

$$THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{h>1}^{h_{max}} I_h^2}{I_1^2}} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

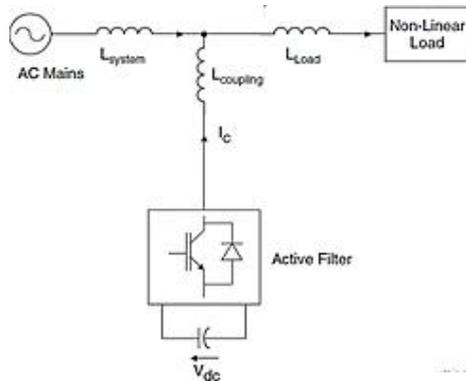
- $THD_I = Total Harmonic Distortion Current (\%)$
- $I_h =$ nilai arus harmonisa ke-h (A)
- $I_1 =$ nilai arus pada frekuensi fundamental (A)

2.5 Filter Aktif *Shunt*

Filter aktif berfungsi untuk menciptakan gelombang arus dan tegangan pada sistem, namun dengan fase yang terbalik sehingga total penjumlahan menjadi nol atau disebut sebagai arus dan tegangan kompensasi[9]. Dengan konsep ini diharapkan harmonisa pada sistem dapat diredam.

Dalam rangka menghasilkan arus atau tegangan kompensasi yang sesuai dengan komponen harmonisa, metode yang diterapkan adalah menggunakan inverter. Filter aktif *shunt* disusun paralel dengan jaringan dan untuk mengetahui sinyal acuan, *Shunt Active Power Filter* mampu mendeteksi arus dan tegangan pada sistem dengan cara sinyal arus dimanfaatkan untuk mengambil referensi harmonisa yang kemudian akan diinversi (dibalik) sebesar 180 derajat. Keluaran dari proses rangkaian kontrol digunakan sebagai kontrol sakelar

pada inverter yang terhubung secara paralel dengan sistem melalui *Point of Common Coupling* (PCC) yang dapat dilihat pada gambar



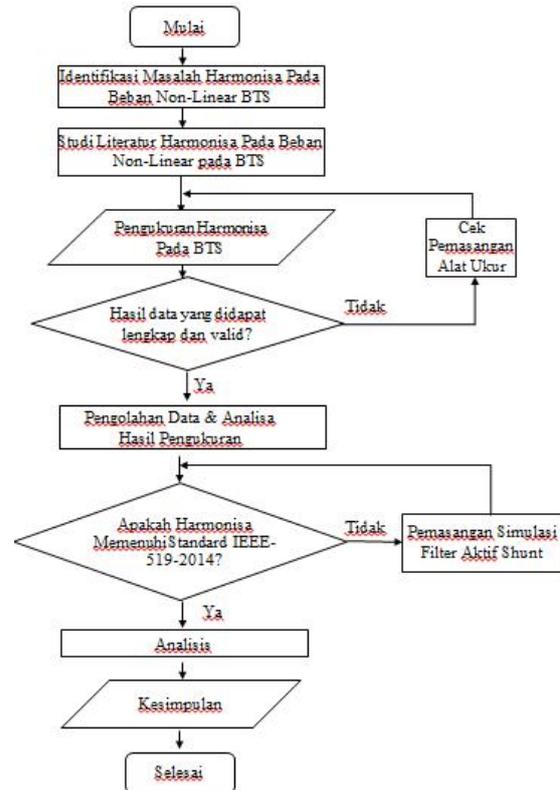
4.

Gambar 4 Skema *Shunt Active Power Filter*^[10]

3. METODOLOGI PENELITIAN

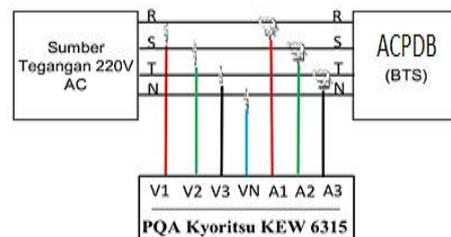
Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang bertujuan untuk mengumpulkan data berbentuk numerik dan statistik. Menurut Creswell “penelitian kuantitatif merupakan salah satu bentuk penelitian yang melibatkan tahapan-tahapan seperti memutuskan topik yang akan diteliti, merumuskan pertanyaan yang spesifik, membatasi pertanyaan, mengumpulkan data, dan menganalisis angka-angka melalui penggunaan statistik^[11].”

Berdasarkan asumsi, metode penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan, sebagaimana diperlihatkan dalam diagram alur pada gambar 5.



Gambar 5 Diagram alur penelitian

Untuk mengetahui nilai harmonisa pada BTS, maka dilakukan pengukuran menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* (PQA), Kyoritsu KEW-6315^[12], Rangkaian pengukuran sebagaimana diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6 Rangkaian pengukuran berdasarkan rangkaian 3P4W (3 phase 4 wire)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data dan Hasil

Tabel 1 memperlihatkan data hasil pengukuran harmonisa tegangan dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15 (*Individual Harmonic Distortion, IHD*).

Tabel 1 Data IHD_v Hasil Pengukuran Tegangan.

Orde ke- n	Tegangan Harmonisa orde ke-n V_n					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	V_n (V)	IHD _v (%)	V_n (V)	IHD _v (%)	V_n (V)	IHD _v (%)
1	234,78	100	212,21	100	232,62	100
2	0,16	0,06815	0,17	0,08011	0,39	0,16766
3	1,57	0,66871	0,52	0,24504	0,19	0,08168
4	0,01	0,00426	0,01	0,00471	0,01	0,0043
5	2,94	1,25224	2,45	1,15452	2,68	1,15209
6	0	0	0,01	0,00471	0	0
7	1,32	0,56223	1,16	0,54663	0,86	0,3697
8	0	0	0,01	0,00471	0	0
9	0,01	0,00426	0,02	0,00942	0	0
10	0	0	0	0	0	0
11	1,23	0,52389	0,97	0,45709	1,24	0,53306
12	0	0	0	0	0	0
13	0,35	0,14908	0,33	0,15551	0,27	0,11607
14	0	0	0	0	0	0
15	0,17	0,07241	0,15	0,07068	0	0

Nilai THD_v berdasarkan data tabel 1, dihitung dengan menggunakan persamaan (1) yang menghasilkan masing-masing nilai THD_v sebesar 1,62%, 1,39% dan 1,34% untuk fasa R, S, dan T.

Tabel 2 memperlihatkan data untuk nilai harmonisa arus dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15.

Tabel 2 Data IHD_i Hasil Pengukuran

Orde ke- h	Arus Harmonisa orde ke-h I_h					
	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	I_h (A)	IHD _i (%)	I_h (A)	IHD _i (%)	I_h (A)	IHD _i (%)
1	6,5	100	6,83	100	4,89	100
2	0,01	0,15385	0,01	0,14641	0,01	0,2045
3	0,31	4,76923	0,32	4,68521	0,23	4,70348
4	0	0	0	0	0	0
5	0,21	3,23077	0,21	3,07467	0,12	2,45399
6	0	0	0	0	0	0
7	0,13	2	0,13	1,90337	0,07	1,43149
8	0	0	0	0	0	0
9	0,05	0,76923	0,05	0,73206	0,04	0,818
10	0	0	0	0	0	0
11	0,03	0,46154	0,01	0,14641	0,02	0,409
12	0	0	0	0	0	0
13	0,01	0,15385	0,02	0,29283	0,01	0,2045
14	0	0	0	0	0	0
15	0,01	0,15385	0,03	0,43924	0,02	0,409

Nilai THD_i berdasarkan data tabel 2, dihitung dengan menggunakan persamaan (2) yang menghasilkan masing-masing nilai THD_i sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% untuk fasa R, S, dan T.

4.2 Penentuan Apakah Nilai THD_v Dan THD_i Memenuhi Standar 519-2014 Atau Tidak

Dalam menentukan apakah harmonisa tegangan memenuhi standar atau tidak, maka mengacu pada standar IEEE 519-2014, yaitu tegangan *line* pada PCC dalam rentang $V \leq 1kV$ batas maksimum untuk IHD_v adalah 5%, sedangkan batas maksimum untuk THD_v adalah 8%^[5].

Pada tabel 3 menyatakan apakah harmonisa tegangan sudah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 3 IHD Tegangan Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde	Tegangan Harmonisa orde ke-h V_h						Standard IEE 519 - 2019
	Fasa R		Fasa S		Fasa T		
	V_h (V)	IHD _v %	V_h (V)	IHD _v %	V_h (V)	IHD _v %	
1	234,78	100,00	212,21	100,00	232,62	100,00	
2	0,16	0,07	0,17	0,08	0,39	0,17	Memenuhi Standar
3	1,57	0,67	0,52	0,25	0,19	0,08	Memenuhi Standar
4	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	Memenuhi Standar
5	2,94	1,25	2,45	1,16	2,68	1,15	Memenuhi Standar
6	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
7	1,32	0,56	1,16	0,55	0,86	0,37	Memenuhi Standar
8	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
9	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	Memenuhi Standar
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
11	1,23	0,52	0,97	0,46	1,24	0,53	Memenuhi Standar
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
13	0,35	0,15	0,33	0,16	0,27	0,12	Memenuhi Standar
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
15	0,17	0,07	0,15	0,07	0,00	0,00	Memenuhi Standar

Tabel 3 memperlihatkan bahwa, harmonisa tegangan dari orde ke-1 sampai orde ke-15 (IHD_v) dengan THD_v pada fasa R, S, dan T yang bernilai 1,62%, 1,39%, dan 1,34% telah sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam standar IEEE 519-2014.

Sama halnya dengan tegangan, dalam menentukan apakah harmonisa arus memenuhi standar atau tidak maka mengacu pada standar IEEE 519-2014. Untuk menentukan batasan harmonisa arus pertama-petama harus menentukan berapa nilai rasio I_{sc}/I_L .

Didapat bahwa nilai rasio I_{sc}/I_L menurut *IEE Wiring Regulation* adalah 1,45, maka untuk nilai rasio $I_{sc}/I_L = 1,45$, batas maksimum THD_i berdasarkan standar IEEE 519-2014 adalah 5 %. dan

nilai IHD_i maksimum untuk orde harmonisa $1 \leq 11$ adalah 4 %^[5].

Tabel 4 menyatakan apakah harmonisa arus telah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 4 IHD Arus Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde	Arus Harmonisa Orde ke-h I_h (A)						Standard IEE 519 - 2019
	Fasa R		Fasa S		Fasa T		
	I_h (A)	IHD _i %	I_h (A)	IHD _i %	I_h (A)	IHD _i %	
1	6,50	100,00	6,83	100,00	4,89	100,00	
2	0,01	0,09	0,01	0,17	0,01	0,18	Memenuhi Standar
3	0,31	4,76	0,32	4,61	0,23	4,65	Tidak Memenuhi Standar
4	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	Memenuhi Standar
5	0,21	3,29	0,21	3,03	0,12	2,45	Memenuhi Standar
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
7	0,13	2,01	0,13	1,95	0,07	1,50	Memenuhi Standar
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
9	0,05	0,79	0,05	0,77	0,04	0,88	Memenuhi Standar
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
11	0,03	0,41	0,01	0,08	0,02	0,38	Memenuhi Standar
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
13	0,01	0,22	0,02	0,27	0,01	0,29	Memenuhi Standar
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Memenuhi Standar
15	0,01	0,16	0,03	0,40	0,02	0,39	Memenuhi Standar

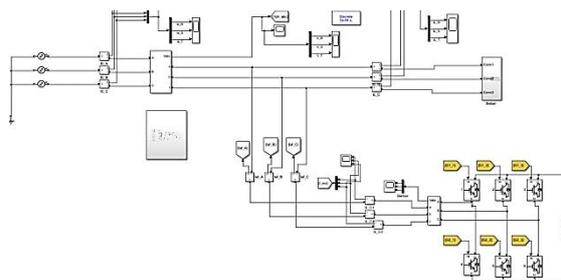
Tabel 4 memperlihatkan bahwa, harmonisa arus tiap orde telah memenuhi standar IEEE 519-2014 kecuali untuk harmonisa arus orde ke-3. Nilai harmonisa arus untuk orde ke-3 untuk fasa R, S, dan T berturut-turut adalah 4,76%, 4,61%, dan 4,65%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa, harmonisa arus orde ke-3 untuk fasa R, S dan T tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 karena nilainya melebihi 4%.

Nilai THD_i berdasarkan data tabel 4, dihitung dengan menggunakan persamaan (2) yang menghasilkan masing-masing nilai THD_i sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% untuk fasa R, S dan T. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa THD_i pada fasa R, S, dan T tidak memenuhi

batasan 5% yang diatur dalam standar IEEE 519-2014.

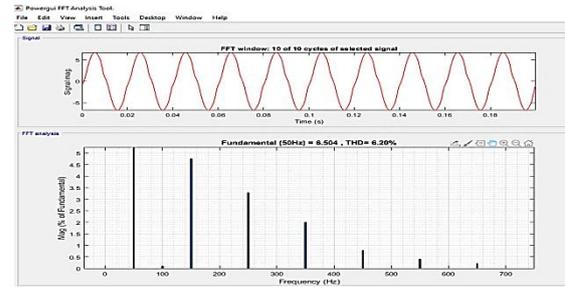
4.3 Perancangan Simulasi Filter Aktif Shunt

Hasil pengukuran dan perhitungan menunjukkan IHD_I orde ke-3 dan THD_I pada fasa R, S, dan T tidak memenuhi standar IEEE 519-2014. Oleh karena itu, perlu dibuat simulasi filter aktif *shunt* menggunakan *software* matlab simulink dengan menggunakan 6 IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) seperti diperlihatkan pada gambar 7. Tujuannya adalah untuk mengurangi tingkat harmonisa..

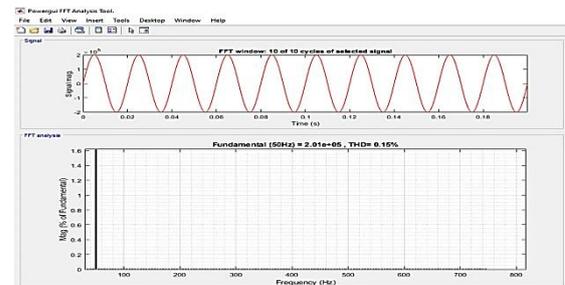


Gambar 7 Simulasi Filter Aktif Shunt Pada BTS

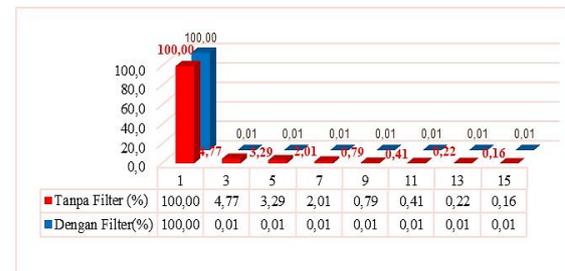
Berdasarkan hasil simulasi filter aktif *shunt* dengan *software* matlab simulink, didapatkan hasil perbedaan antara sebelum dan sesudah menggunakan filter harmonisa seperti yang ditunjukkan pada gambar 8.



(a)



(b)



(c)

Gambar 8 Tampilan Bentuk Gelombang Arus dan Bar Chart Sebelum Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (a), Sesudah Menggunakan Filter Filter Aktif *Shunt* (b), Chart Perbandingan antara Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (c) pada Fasa R

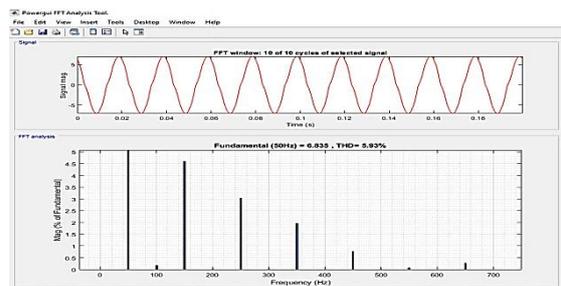
Gambar 8 memperlihatkan bentuk gelombang arus fasa R. Gambar 8(a) menyajikan bentuk gelombang arus yang mengalami distorsi dengan nilai THD_I sebesar 6,20%.

Gambar 8(b) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami perbaikan sehingga menjadi lebih sinusoidal. Hasil dari perbaikan tersebut menunjukkan nilai

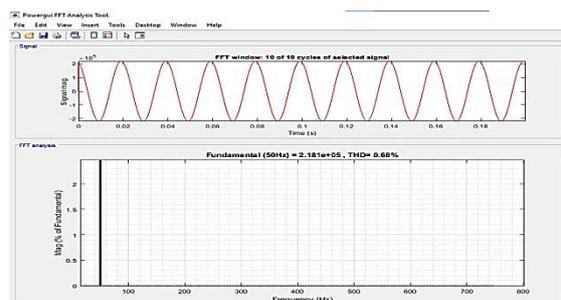
THD_I fasa R mengalami penurunan sebesar 6,05%, dengan nilai THD_I yang baru sebesar 0,15%.

Gambar 8(c) menyajikan perbedaan antara sebelum menggunakan filter (merah) dan setelah menggunakan filter (biru). Pada saat sebelum menggunakan filter (merah) harmonisa orde ke 3 bernilai 4,77% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan setelah menggunakan filter (biru) harmonisa orde ke 3 menjadi 0,01% yang artinya sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.

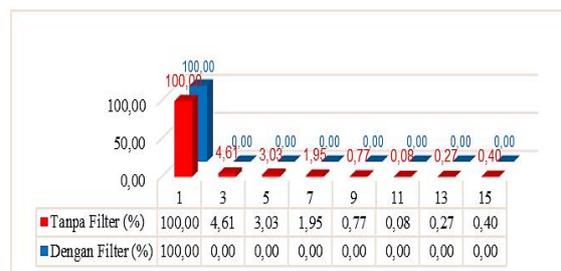
Pada gambar 9 diperlihatkan perbandingan sebelum dan sesudah menggunakan filter aktif *shunt* pada fasa S.



(a)



(b)



(c)

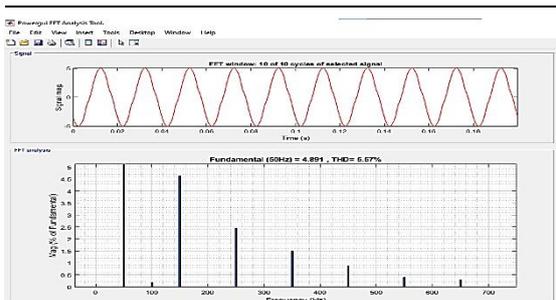
Gambar 9 Tampilan Bentuk Gelombang Arus dan Bar Chart Sebelum Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (a), Sesudah Menggunakan Filter Filter Aktif *Shunt* (b), Chart Perbandingan antara Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (c) pada Fasa S

Gambar 9 memperlihatkan bentuk gelombang arus fasa R. Gambar 9(a) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami distorsi dengan nilai THD_I sebesar 5,93%.

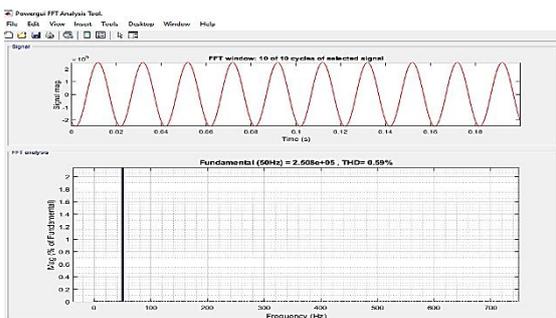
Gambar 9(b) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami perbaikan sehingga menjadi lebih sinusoidal. Hasil dari perbaikan tersebut menunjukkan nilai THD_I fasa R mengalami penurunan sebesar 5,25%, dengan nilai THD_I yang baru sebesar 0,68%.

Gambar 9(c) menyajikan perbedaan antara sebelum menggunakan filter (merah) dan setelah menggunakan filter (biru). Pada saat sebelum menggunakan filter (merah) harmonisa orde ke 3 bernilai 4,61% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan setelah menggunakan filter (biru) harmonisa orde ke 3 menjadi bernilai 0 % yang sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.

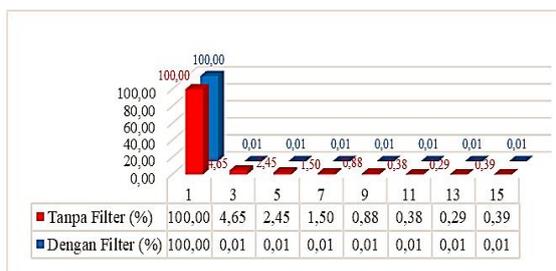
Pada gambar 10 diperlihatkan perbandingan sebelum dan sesudah menggunakan filter aktif *shunt* pada fasa T.



(a)



(b)



(c)

Gambar 10 Tampilan Bentuk Gelombang Arus dan Bar Chart Sebelum Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (a), Sesudah Menggunakan Filter Filter Aktif *Shunt* (b), Chart Perbandingan antara Sebelum dan Sesudah Menggunakan Filter Aktif *Shunt* (c) pada Fasa T

Gambar 10 memperlihatkan bentuk gelombang arus fasa R. Gambar 10(a) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami distorsi dengan nilai THD_I sebesar 5,57%.

Gambar 10(b) menyajikan bentuk gelombang arus mengalami perbaikan sehingga menjadi lebih sinusoidal. Hasil

dari perbaikan tersebut menunjukkan nilai THD_I fasa R mengalami penurunan sebesar 4,98%, dengan nilai THD_I yang baru sebesar 0,59%.

Gambar 10(c) menyajikan perbedaan antara sebelum menggunakan filter (merah) dan setelah menggunakan filter (biru). Pada saat sebelum menggunakan filter (merah) harmonisa orde ke 3 bernilai 4,65% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014 dan setelah menggunakan filter (biru) harmonisa orde ke 3 menjadi bernilai 0,01% yang artinya sudah memenuhi standar IEEE 519-2014.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan terhadap data hasil pengukuran dan simulasi yang telah dilakukan pada panel BTS, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai harmonisa pada BTS sistem tegangan 3 fasa hasil pengukuran, diperoleh hasil THD_V pada fasa R, S, dan T sebesar 1,62%, 0,01% dan 1,34% yang telah memenuhi standar IEEE 519-2014, sedangkan nilai THD_I pada fasa R S, dan T sebesar 6,20%, 5,93% dan 5,57% yang tidak memenuhi standar IEEE 519-2014, dengan sumber arus harmonisa dominan terjadi pada orde ke-3 pada setiap fasa R, S dan T.
2. Nilai harmonisa arus berdasarkan hasil simulasi rancangan filter aktif *shunt* menggunakan matlab simulink, adalah sebagai berikut:
 - a. Nilai THD_I sesudah menggunakan filter aktif pada fasa R, S dan T

sebesar 0,15%, 0,68% dan 0.59% yang telah memenuhi standar IEEE 519-2014.

- b. Nilai harmonisa arus dominan orde ke-3 telah memenuhi standar IEEE 519-2014, yaitu sebesar 0,01%, 0% dan 0,01% untuk fasa R, S dan T.

5.2 Saran

Disarankan agar dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap filter BTS dengan menggunakan *hybrid active filter* supaya tingkat harmonisa memenuhi standard.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratama, M. Y. (2021). Urgensi dan Upaya Pemerintah Untuk Transformasi Digital Indonesia. Katadata.co.id.
- [2] Siahaan, F. J., Silalahi, E. M., Widodo, B., & Purba, R. (2020). Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) DAN Light-Emitting Diode (LED). Lektrom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, 3(1), 8-8.
- [3] Duarsana, I. Nyoman, I. Wayan Rinas, and I. Wayan Arta Wijaya. (2021). Analisa Unjuk Kerja Motor Induksi 3 Phasa Terhadap Pengaruh Harmonisa (THD) Dengan Penambahan Filter Aktif Menggunakan Matlab. Jurnal SPEKTRUM Vol 8.1
- [4] Milani, K. R., Adham, B., Banaei, M. R., & Kazemi, F. M. (2017). Measurement and analysis of base transceiver stations power quality parameters and assessment of its unfavourable effects on Iran distribution systems. CIREN-Open Access Proceedings Journal, 2017(1), 761-765.
- [5] IEEE Power and Energy Society. IEEE Std 519-2014. (2014). *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [6] Wakileh, George J. (2001). *Power Systems Harmonics Fundamentals, Analysis and Filter Design*. Verlag Berlin Heidelberg New York.
- [7] Francisco, C. D. L. R. (2006). *Harmonics and power systems*. CRC press.
- [8] Dugan, C Roger. (2004). *Electrical Power System Quality*. New York: McGraw-Hill.
- [9] Chen, W. K. (Ed.). (2002). *The circuits and filters handbook*. CRC Press.
- [10] Rashid, M. H. (Ed.). (2017). *Power electronics handbook*. Butterworth-heinemann.
- [11] Creswell, John W. (2012). *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed (Edisi Ketiga)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [12] Kyoritsu Electrical Instruments Works, Ltd. (2014). *Instruction Manual Power Quality Analyzer KEW 6315*.

Analisa Harmonisa Pada *Base Tranciever Station* (BTS) Di Gedung Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia (UKI) – Jakarta

Filip Donatal¹, Eva Magdalena Silalahi², Robinson Purba³

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

*Alamat korespondensi: filipdonatal18@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi telekomunikasi saat ini, telah mencapai teknologi 4G LTE, bahkan sudah ada yang menerapkan teknologi 5G. Salah satu infrastruktur yang menunjang kemajuan teknologi telekomunikasi tersebut adalah BTS. Komponen pada BTS antara lain, *rectifier*, *microwave link*, perangkat radio BTS, *air conditioner* (AC). Komponen ini termasuk kategori beban listrik nonlinier yang menimbulkan masalah harmonisa pada BTS. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengukuran tingkat harmonisa pada setiap BTS untuk dilakukan kajian yang mencakup tingkat distorsi harmonisa tegangan dan arus akibat komponen nonlinier pada BTS termasuk BTS di Gedung Laboratorium Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, UKI Jakarta. Berdasarkan pengukuran harmonisa yang dilakukan pada BTS ini, diperoleh hasil yaitu: BTS memiliki nilai total distorsi arus, THDi sebesar 10,16% yang melebihi standar IEEE 519-2014. Nilai total distorsi tegangan, THDv sebesar 1,11%, yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014. Nilai THDi dominan pada BTS terjadi pada orde ke-3 dengan THDi sebesar 8,7% dan orde ke-5 dengan THDi sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

Kata Kunci: harmonisa, BTS, distorsi gelombang, THD

ABSTRACT

The current development of telecommunications technology has reached 4G LTE technology, and some have even implemented 5G technology. One of the infrastructures that supports the advancement of telecommunication technology is the BTS. Components in BTS include, rectifier, microwave link, BTS radio equipment, air conditioner (AC). This component belongs to the category of nonlinear electrical loads which cause harmonic problems in BTS. Therefore, it is necessary to measure the harmonic level at each BTS for a study that includes the level of voltage and current harmonic distortion due to nonlinear components in BTS including BTS in the Mechanical Engineering Study Program Laboratory Building, Faculty of Engineering, UKI Jakarta. Based on the harmonic measurements carried out on this BTS, the results obtained are: BTS has a total current distortion value, THDi of 10.16% which exceeds the IEEE 519-2014 standard. The total value of voltage distortion, THDv is 1.11%, which still meets the IEEE 519-2014 standard. The dominant THDi value in BTS occurs in the 3rd order with a THDi of 8.7% and the 5th

order with a THDi of 4.2% exceeding the 4% limit of the IEEE 519-2014 standard.

Keywords: *harmonics, BTS, wave distortion, THD*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat pesat memiliki dampak yang cukup besar bagi kehidupan manusia. Teknologi telekomunikasi, merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat. Pada perkembangannya saat ini teknologi telekomunikasi sudah mencapai teknologi 4G LTE, bahkan sudah ada yang menerapkan teknologi 5G [1]. Keberadaan BTS ini sangat penting untuk setiap daerah terutama di daerah yang belum memiliki jaringan internet. Dengan demikian, perlu di bangun BTS pada setiap daerah sebagai sarana untuk mengakses internet dengan baik dan dapat di gunakan oleh masyarakat untuk mengakses informasi dan komunikasi. BTS berfungsi untuk mengirimkan serta menerima sinyal radio ke fitur komunikasi semacam telepon rumah, telepon seluler serta sejenis gadget yang lain. Setelah itu sinyal radio tersebut hendak diganti jadi sinyal digital yang berikutnya dikirim ke halte yang lain jadi suatu pesan ataupun informasi [2].

BTS dalam menjalankan fungsinya, menggunakan komponen peralatan listrik seperti *rectifier*, *microwave link*, perangkat radio BTS, AC dan lainnya. Peralatan listrik ini termasuk kategori beban listrik nonlinier. Berdasarkan fakta penelitian, ditemukan bahwa, beban nonlinier adalah sumber harmonisa bagi sistem tenaga listrik. Efek dari harmonisa dapat menyebabkan rusaknya peralatan transformator, mesin-mesin listrik, *fuse*, dan rele proteksi. Transformator, motor listrik dan peralatan pemutus (*switchgear*) dapat mengalami pemanasan yang

berlebihan, mengakibatkan kerusakan peralatan. Motor induksi akan mengalami kegagalan start dan berputar pada kecepatan subsinkron (*subsynchronous speeds*) [3].

Beberapa penelitian memperlihatkan munculnya harmonisa pada sistem jaringan listrik yang disebabkan oleh beban nonlinier yang tidak tidak memenuhi standar IEEE. Penelitian yang di lakukan oleh oleh Fernando Jeremia Siahaan, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, Robinson Purba, yang dipublikasikan pada 3, Oktober 2020 dengan judul "**Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light-Emitting Diode (LED)**" memperlihatkan bahwa, LHE dan LED adalah beban nonlinier yang dapat menyebabkan masalah distorsi harmonisa. Penelitian ini menemukan nilai THD_v 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 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%^[5].

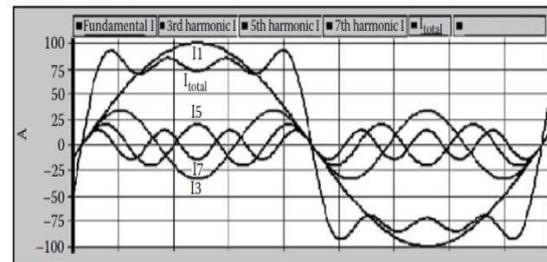
BTS dalam menjalankan fungsinya, diperkirakan menghasilkan harmonisa yang tidak memenuhi standar. Oleh karena itu, maka perlu dilakukan pengukuran harmonisa terhadap setiap BTS termasuk BTS di Gedung Program Studi Teknik Mesin UKI untuk mengetahui tingkat harmonisanya apakah sudah memenuhi standar atau belum. Dalam hal ini, standar yang digunakan adalah standar *IEEE 519-2014*.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang tegangan dan arus yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat dari frekuensi dasar yang terbentuk akibat penggunaan beban nonlinier^[6,7]. Apabila frekuensi dasar 50Hz, maka harmonisa akan terbentuk pada frekuensi 100Hz, 150Hz, 200Hz, 250Hz, 300Hz, 350Hz dan seterusnya. Distorsi gelombang ini terjadi karena adanya gelombang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar, dimana bentuk gelombang arus dan tegangan yang awalnya berbentuk sinusoidal murni dan akan tidak beraturan atau cacat karena adanya distorsi harmonisa^[6]. Gambar 1 memperlihatkan gelombang harmonisa dengan 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, menjadi cacat gelombang (gelombang terdistorsi).



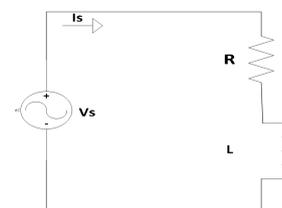
Gambar 1 Cacat Gelombang Akibat Harmonisa^[8]

2.2 Beban listrik linier

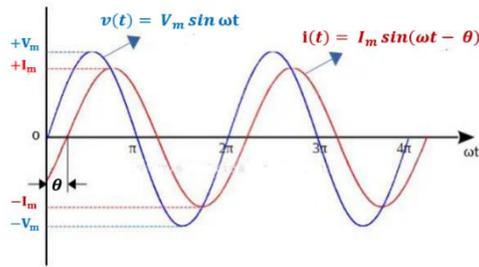
Beban listrik linier merupakan beban yang menghasilkan bentuk gelombang arus sama dengan bentuk gelombang tegangan pada setiap saat^[6,7]. Contoh beban listrik linier adalah: pemanas, lampu pijar, setrika, dan lain sebagainya.

Gambar 2 (a) memperlihatkan rangkaian yang dibentuk oleh beban linier, terdiri dari resistansi R dengan induktansi L dalam hubungan seri, dihubungkan dengan sumber tegangan, $v(t) = V_m \sin \omega t$ volt, sehingga mengalir arus $i(t) = I_m \sin(\omega t - \theta)$ ampere.

Gambar 2(b) memperlihatkan gelombang arus dan tegangan sama-sama sinusoidal, akan tetapi berbeda fase sebesar θ dan arus menyusul terhadap tegangan.



(a)



(b)

Gambar 2 Contoh Beban Linier

Keterangan:

V_m = nilai maksimum dari tegangan, volt

I_m = nilai maksimum dari arus, ampere

ω = frekuensi sudut, $2\pi f$ rad/det

f = frekuensi, hertz

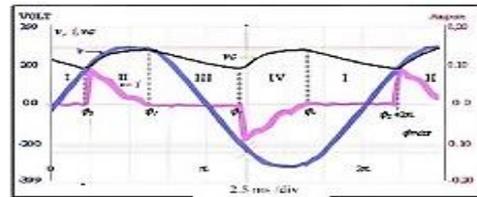
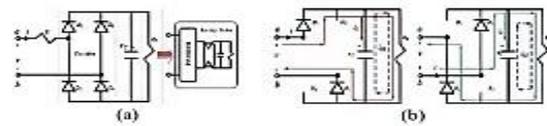
t = waktu, detik

θ = sudut fase antara tegangan dengan arus, derajat

2.3 Beban listrik non linier

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^[6,7]

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.



(c)

Gambar 3 Contoh Beban Nonlinier^[4,9]

2.4 Total Harmonic Distortion (THD)

THD adalah ukuran dari nilai efektif pada komponen harmonisa bentuk gelombang terdistorsi. Jika gelombang arus mengandung harmonisa^[6,7], maka nilai harmonisa individual untuk setiap urutan (orde) harmonisa ditentukan berdasarkan persamaan (1).

$$I_h = \frac{I_n}{I_1} \times 100\%$$

(1)

Nilai THD arus, ditentukan berdasarkan persamaan (2).

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

(2)

Nilai THD tegangan, ditentukan berdasarkan persamaan (3).

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}$$

(3)

Keterangan:

THD = total harmonic distortion (%)

THDi = total harmonic distortion arus

THDv = total harmonic distortion teganga

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)

2.5 Standar IEEE 519-2014 untuk THD_v dan THD_i

Standar IEEE 519-2014 untuk THD tegangan dapat dilihat pada tabel 2.1 yang mencantumkan nilai batas maksimum untuk distorsi harmonisa tegangan.

Tabel 2.1 Batas Distorsi Tegangan ^[10]

Bus voltage V at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

Standar IEEE 519-2014 untuk THD arus dapat dilihat pada tabel 2.2, dimana pelanggan yang terhubung ke sistem harus tetap berada dalam batas THD arus 120V hingga 69 kV.

Tabel 2.2 Batas Distorsi Arus untuk Sistem 120V hingga 69 kV ^[10]

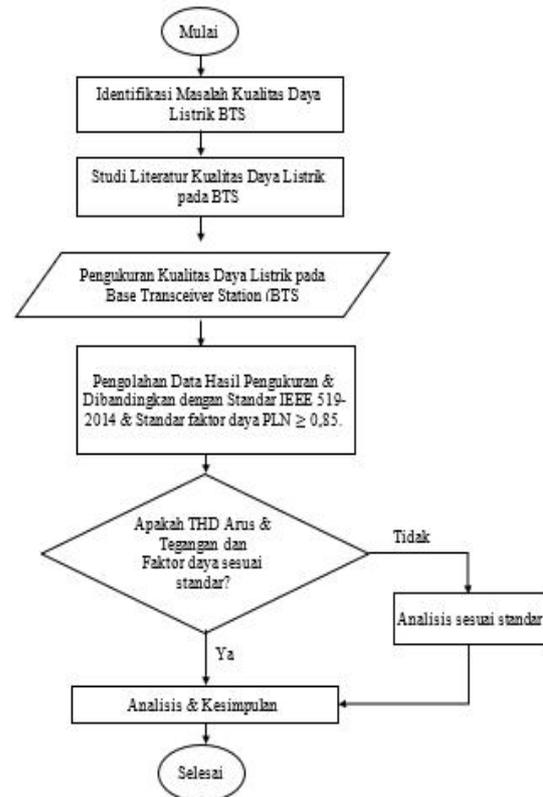
Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	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

3. METODOLOGI

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 ^[11,12]

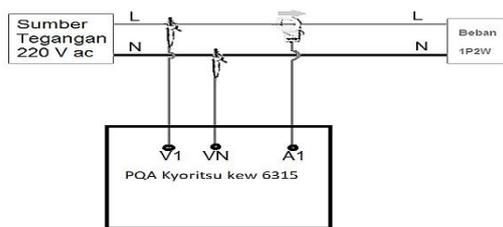
Berdasarkan asumsi yang digunakan dan tujuan penelitian yang ingin dicapai,

maka metode penelitian yang akan dilakukan dibagi menjadi beberapa tahapan yang diperlihatkan berupa diagram alur penelitian seperti pada gambar 4.



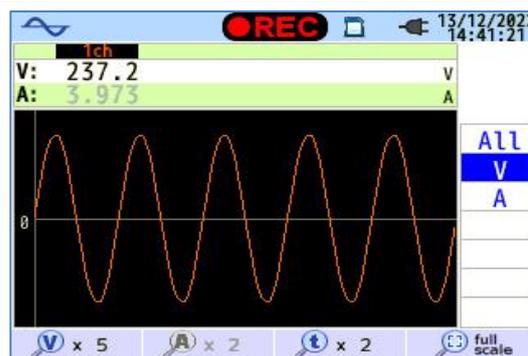
Gambar 4 Diagram alur penelitian

Untuk mengetahui pengaruh harmonisa terhadap beban non-linier pada BTS maka digunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* (PQA) Kyoritsu KEW 6315^[13], dan agar mempermudah pengambilan data maka diperlukannya rangkaian pengukuran. Pada gambar 3.2 memperlihatkan rangkaian pengukuran yang akan digunakan untuk pengambilan data harmonisa pada panel BTS.



G

Gambar 5 Rangkaian pengukuran berdasarkan rangkaian 1P2W (*1 phase 2 wire*)^[13]



Gambar 4.1: Gelombang Tegangan Hasil Pengukuran dengan THD_v 1.11%

4. HASIL DAN

PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data dan Hasil

Tabel 4.1 memperlihatkan data hasil pengukuran harmonisa tegangan dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15

Tabel 4.1 Data THD_v Hasil Pengukuran Tegangan.

Orde ke-n	THD _v orde ke-n (V)	THD _v orde ke-n (%)
1	236.7 ∠ 0,0°	100
2	0.0 ∠ - 85,7°	0.0
3	0.4 ∠ - 110,3°	0.2
4	0.0 ∠ - 81,1°	0.0
5	2.3 ∠ - 178,0°	1.0
6	0.0 ∠ - 77,0°	0.0
7	0.8 ∠ - 144,2°	0.3
8	0.0 ∠ - 74,0°	0.0
9	0.1 ∠ 62,7°	0.0
10	0.0 ∠ - 70,1°	0.0
11	1.0 ∠ 0,1°	0.3
12	0.0 ∠ - 66,1°	0.0
13	0.1 ∠ - 109,1°	0.0
14	0.0 ∠ - 62,2°	0.0
15	0.0 ∠ - 60,2°	0.0
Total THD _v		1.11

Dari data pada tabel 4.1 didapatkan nilai THD_v yang di hitung menggunakan persamaan (3) sebesar 1,11%.

Gambar 4.1 memperlihatkan bentuk gelombang tegangan sesaat dengan nilai tegangan sesaat sebesar 237,2volt yang diperoleh pada saat pengukuran dilakukan.

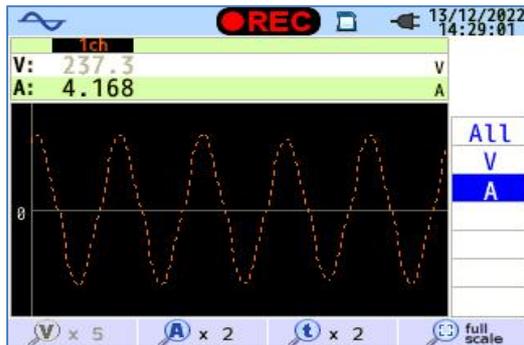
Tabel 4.2 memperlihatkan data untuk nilai harmonisa arus dari orde ke- 1 sampai orde ke- 15.

Tabel 4.2 Data THD_i Hasil Pengukuran Arus

Orde ke-n	THD _i orde ke-n (A)	THD _i orde ke-n (%)
1	4.117 ∠ - 64,5°	100
2	0.007 ∠ 4,1°	0.2
3	0.342 ∠ - 40,4°	8.7
4	0.001 ∠ 53,0°	0.0
5	0.170 ∠ - 156,9°	4.2
6	0.001 ∠ 11,9°	0.0
7	0.107 ∠ 133,2°	2.8
8	0.001 ∠ - 74,1°	0.0
9	0.046 ∠ 51,5°	1.0
10	0.000 ∠ - 70,2°	0.0
11	0.033 ∠ 23,9°	0.8
12	0.000 ∠ - 66,2°	0.0
13	0.029 ∠ 28,7°	0.6
14	0.000 ∠ - 62,3°	0.0
15	0.012 ∠ - 82,1°	0.3
Total THD _i		10.16

Dari data pada tabel 4.2 didapatkan nilai THD_i yang di hitung menggunakan persamaan (2) sebesar 10.16 %. THDi dominan terjadi pada orde ke-3 sebesar

8,7%, THDi orde ke-5 sebesar 4,2% dan THDi orde ke-7 sebesar 2,8%.



Gambar 4.2: Gelombang Arus Hasil Pengukuran dengan THDi 10,16%.

Gambar 4.2 memperlihatkan bentuk gelombang arus sesaat sebesar 4.168 A pada saat pengukuran dilakukan. Terlihat bahwa kurva gelombang arus tidak mulus sinusoidal dengan THDi 10,16%.

4.2 Penentuan nilai THD maksimum

Dalam menentukan standar distorsi arus harmonisa, yang sesuai pada standar IEEE 519-2014. maka terlebih dahulu ditentukan rasio I_{sc}/I_L pada sistem tegangan 220 volt. Mengacu kepada Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2011) perbandingan I_{sc}/I_L adalah 1,45^[14]. Merujuk kepada standar IEEE 519-2014, rasio I_{sc}/I_L kurang dari 20, untuk $3 \leq$ untuk orde harmonisa < 11 , maka THDi arus maksimum sebesar 4,0%.

Batas maksimum THDv tegangan untuk sistem tegangan ≤ 1 kV (sistem tegangan 220 V) sebesar 5,0%.

Tabel 4.3 menyatakan apakah harmonisa tegangan sudah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 4.3 THD Tegangan Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde ke-n	THD_v orde ke-n (volt)	THD_v orde ke-n (%)	Standar IEEE 519-2014 ($< 5\%$)
1	236.7 \angle 0,0°	100	—
2	0.0 \angle - 85,7°	0.0	Memenuhi standar
3	0.4 \angle - 110,3°	0.2	Memenuhi standar
4	0.0 \angle - 81,1°	0.0	Memenuhi standar
5	2.3 \angle - 178,0°	1.0	Memenuhi standar
6	0.0 \angle - 77,0°	0.0	Memenuhi standar
7	0.8 \angle - 144,2°	0.3	Memenuhi standar
8	0.0 \angle - 74,0°	0.0	Memenuhi standar
9	0.1 \angle 62,7°	0.0	Memenuhi standar
10	0.0 \angle - 70,1°	0.0	Memenuhi standar
11	1.0 \angle 0,1°	0.3	Memenuhi standar
12	0.0 \angle - 66,1°	0.0	Memenuhi standar
13	0.1 \angle - 109,1°	0.0	Memenuhi standar
14	0.0 \angle - 62,2°	0.0	Memenuhi standar
15	0.0 \angle - 60,2°	0.0	Memenuhi standar
Total THD_v		1.11	Memenuhi standar

Tabel 4.3 memperlihatkan bahwa, harmonisa tegangan dari orde ke-1 sampai orde ke-15 dengan THD_v sebesar 1,11% telah sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam standar standar IEEE 519-2014 dan nilai THD_v setiap orde ganjil juga memenuhi standar IEEE 519-2014.

Tabel 4.4 menyatakan apakah harmonisa arus telah memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak.

Tabel 4.4 THD Arus Hasil Pengukuran dan Standar IEEE 519-2014

Orde ke-n	THD_i orde ke-n (A)	THD_i orde ke-n (%)	Standar IEEE 519-2014 (<5%)
1	$4.117 \angle -64,5^\circ$	100	---
2	$0.007 \angle 4,1^\circ$	0.2	Memenuhi standar
3	$0.342 \angle -40,4^\circ$	8.7	Tidak Memenuhi standar
4	$0.001 \angle 53,0^\circ$	0.0	Memenuhi standar
5	$0.170 \angle -156,9^\circ$	4.2	Tidak Memenuhi standar
6	$0.001 \angle 11,9^\circ$	0.0	Memenuhi standar
7	$0.107 \angle 133,2^\circ$	2.8	Memenuhi standar
8	$0.001 \angle -74,1^\circ$	0.0	Memenuhi standar
9	$0.046 \angle 51,5^\circ$	1.0	Memenuhi standar
10	$0.000 \angle -70,2^\circ$	0.0	Memenuhi standar
11	$0.033 \angle 23,9^\circ$	0.8	Memenuhi standar
12	$0.000 \angle -66,2^\circ$	0.0	Memenuhi standar
13	$0.029 \angle 28,7^\circ$	0.6	Memenuhi standar
14	$0.000 \angle -62,3^\circ$	0.0	Memenuhi standar
15	$0.012 \angle -82,1^\circ$	0.3	Memenuhi standar
Total THD_i		10.16	Tidak Memenuhi standar

Tabel 4.4 memperlihatkan bahwa, harmonisa arus tiap orde telah memenuhi standar IEEE 519-2014 dengan THDi sebesar 10,16%. kecuali untuk harmonisa arus orde ke-3 dan orde ke-5 dimana nilai arus harmonisa orde ke-3 dengan THDi sebesar 8,7% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014. Dan nilai arus harmonisa orde 5 dengan THDi sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

4.3 Analisa Hasil Pengolahan Data

Hasil data memperlihatkan bahwa, BTS memiliki THDi sebesar 10,16% yang melebihi standar IEEE 519-2014. Namun, juga diperoleh nilai THDv sebesar 1,11%, yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014.

THDi dominan pada orde ke-3 sebesar 8,7% dan orde ke-5 sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

Tingginya THDi pada BTS tersebut disebabkan karena adanya beban nonlinier sebagai sumber harmonisa arus pada komponen beban listrik BTS.

Umumnya beban listrik nonlinier merupakan peralatan listrik elektronik yang memiliki komponen semikonduktor dimana prinsip kerja peralatan listrik tersebut seperti saklar untuk setiap siklus gelombang sumber tegangan. Komponen beban nonlinier yang terdapat pada BTS antara lain:

1. *Antena Microwave*; berfungsi sebagai penerima serta pemancar gelombang radio BTS menuju BSC ataupun BTS menuju BTS.
2. Antena sektoral berfungsi sebagai penghubung BTS dengan perlengkapan komunikasi.
3. *Rectifier* berfungsi sebagai konversi tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah yang terpasang pada BTS.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan terhadap hasil pengolahan data maka, dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

1. BTS memiliki tingkat THDi sebesar 10,16% yang melebihi standar IEEE 519-2014. Namun, nilai THDv sebesar 1,11%, yang masih memenuhi standar IEEE 519-2014.
2. Nilai THDi dominan pada BTS terjadi pada orde ke-3 dengan THDi sebesar 8,7% dan orde ke-5 dengan THDi sebesar 4,2% melebihi batas 4% dari standar IEEE 519-2014.

5.2 Saran

Disarankan melakukan penelitian filter, dalam rangka menentukan jenis filter yang cocok, agar tingkat harmonisa dari BTS, memenuhi standar IEEE 519-2014.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pradhesta, L. E., Imansyah, F., Kusumawardhani, E., & Marindani, E.D., 2022. *Analisis Pengaruh Besar Dimeter Antena Microwave Terhadap Kinerja BTS (Base Transceiver Station)*. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 2(1).
- [2] Sasa Ani Arnomo. (2021). Analisa Decision Tree untuk Kepuasan Penggunaan Sinyal dari Base Transceiver Station (BTS). Jurnal dan sistem teknologi informasi. Vol. 9, No. 2, April 2021
- [3] Darmawan A. Mohammad, Amir Fauzi Muhammad. (2014). Pengaruh Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik. *LPKEE ITB's students blog*
- [4] Jeremia Fernando Siahaan, Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, dan Robinson Purba. (2020). *Pengukuran Total Harmonic Distortion (THD) Terhadap Lampu Hemat Energi (LHE) Dan Light-Emitting Diode (LED)*. Lektrokom Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro Volume 3, Oktober 2020, ISSN 2686-1534
- [5] Pasaribu, Faisal Irsan. (2021). Beban Non Linier dan Analisa Harmonisa. Jurnal Elektro dan Telekomunikasi, vol. 5, no. 1. pp. 29–34.
- [6] George J. Wakileh. (2001). *Power Systems Harmonics Fundamentals, Analysis and Filter Design*. Verlag Berlin Heidelberg New York
- [7] Dugan, C Roger. 2004. *Electrical Power System Quality*. New York: McGraw-Hill
- [8] Rosa, Francisco C. De La. (2006). *Harmonics and Power Systems*. 2nd ed. Boca Raton, London, New York.: Taylor & Francis Group. doi: 10.1201/9781420004519.
- [9] 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
- [10] IEEE Power and Energy Society, IEEE Std 159™-2014. (2014) *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [11] Creswell, John W. (2012). *Research Design: Pendekatan Kualitatif, Kuantitatif, dan Mixed (Edisi Ketiga)*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- [12] Suharsaputra, Uhar. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan Tindakan*. Bandung: Refika Aditama, 2012
- [13] Quick Manual PQA Kyoritsu KEW6315.
- [14] Persyaratan Umum Instalasi Listrik. (2011). (PUIL 2011). Pp. 161

Perancangan Pembangkit Listrik Mikrohidro 30 Kw Untuk Suplai Listrik Area Wisata di Desa Girimulyo Ngargoyoso, Karang Anyar, Jawa Tengah

Ridwan Leksana^{1*}, Bambang Widodo², Eva Magdalena Silalahi³, Judo Ignatius Nempung⁴

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

^{2,3,4}Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Jakarta

*Alamat korespondensi: wawanncxn@gmail.com

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro merupakan pembangkit listrik yang dihasilkan dari gerakan aliran air. Ada istilah sebutan Mikrohidro yaitu sebuah pembangkit listrik yang menggunakan gerak aliran air sebagai sumber penggerakannya. Dalam persiapan proses perancangan unit pembangkit Mikrohidro, sebelumnya harus dilakukan studi terhadap objek yaitu air yang bertujuan mendapat gambaran besar potensi energinya. Di lokasi desa Girimulyo, pembangkit listrik Mikrohidro tidak sekedar menjadi pembangkit penghasil listrik saja, akan tetapi juga diintegrasikan menjadi lokasi berwisata serta edukasi bagi banyak masyarakat setempat. Dari hasil pengamatan diperoleh beberapa data, debit air $Q = 0,2m^3/s$, head/tinggi jatuh air $H = 22,09m$. Perolehan data berdasarkan ketinggian serta debit aliran air yang jatuh sudah dapat diketahui, maka dapat dipilihlah turbin Mikro Hidro yang tepat yaitu tipe Pelton sebagai unit penggerak. Sedangkan turbin yang dirancang untuk menghasilkan listrik adalah 30kW. Dari hasil data yang diperoleh, maka dirancanglah komponen utama turbin tipe Pelton dengan diameter Roda $D = 448mm$, jumlah *Nozzle* 2, Diameter Poros $d = 38mm$ dan gearbox. Sabuk datar dengan rasio transmisi 1:2.

Kata kunci: mikrohidro, PLTMH, turbin Pelton, poros dan transmisi.

ABSTRACT

A micro-hydro power plant is one that harnesses the energy of flowing water. Micro hydro is a phrase used to describe a power plant that employs the flow of water as its source of propulsion. An investigation must be conducted on the subject, specifically water, in order to gain an understanding of its potential prior to beginning the design process for a micro hydro producing unit. The micro hydro power plant in the village of Girimulyo serves as both a source of electricity and a popular tourist and educational destination for the community. Data were gathered from the observations, including the water discharge ($Q=0.2 m^3/s$) and the head/height of falling water ($H=22.09 m$). Obtaining information depending on flow rate and height of the falling water may already be determined, allowing the Pelton type Micro Hydro turbine to be selected as the drive unit. whereas the 30kW turbine is intended to produce electricity. The major parts of the Pelton type turbine were constructed with wheel diameter $D = 448mm$, number of nozzles 2, shaft diameter $d = 38mm$, and gearbox based on the results of the data obtained. flat belt having a 1:1 transmission ratio.

Keywords: Pelton turbine, shaft, and transmission, as well as micro hydro.

I. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan penting dalam kehidupan sehari-hari. Sebagai contoh setiap hari manusia membutuhkan energi listrik untuk menyalakan lampu, mengisi baterai serta menyalakan alat elektronik yang kita gunakan di rumah. Dalam hal ini kebutuhan listrik yang selalu meningkat dari tahun ke tahun [1]. Dari hasil tinjauan dengan metode logika fuzzy menyatakan kebutuhan listrik di Indonesia tahun 2022 berjumlah 215.203 GWh. Dari nilai tersebut tidak beda jauh seperti pengamatan dengan jaringan saraf tiruan yang menghasilkan pemetaan input statis untuk output statis (*backpropagation*) yaitu sebesar 242.120 GWh. Hasil pengamatan logika fuzzy memakai jaringan saraf tiruan *backpropagation* di tahun 2022 dengan hasil 8,2413% dan 2,8027% [2]. Dalam hal ini pemerintah dari berbagai negara mencari alternatif untuk menciptakan energi terbarukan guna mengurangi penggunaan listrik yang disediakan oleh negara atau PLN.

Kebutuhan teknologi serta kebutuhan manusia dapat membuat sumber daya alam tidak ramah lingkungan dan tidak terkendali, oleh karena itu dalam upaya memenuhi kebutuhan listrik yang semakin hari semakin meningkat, maka perlu diperhatikan pula dampak pencemaran lingkungan yang diakibatkan dari pembangkit listrik yang bersumber dari batu bara [3]. Tidak terlepas pula dari adanya suatu upaya untuk mengalihkan pembangkit energi tidak ramah lingkungan ke energi ramah lingkungan dan tentunya bersumber dari energi yang dihasilkan oleh alam di sekitar kita. Salah satunya dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan dan ramah lingkungan dari pembangkit Mikrohidro [4].

Mikrohidro merupakan sistem pembangkit dengan mengkonversikan gerak aliran air dari ketinggian serta debit air tertentu yang menghasilkan energi listrik, yang akan menggerakkan turbin air dan

generator [4]. Semakin besar debit atau tinggi dari instalasinya akan semakin besar pula energi yang dihasilkan. Mikrohidro mempunyai arti yang mana micro berarti kecil dan hidro yang artinya air. Secara teknis, ada tiga komponen penting pada mikrohidro, yang adalah air sebagai sumber penggerak atau energi, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi potensial air menjadi energi mekanik sedangkan generator untuk menghasilkan energi gerak menjadi listrik. PLTMH dapat memberi energi gerak dari ketinggian aliran air (*head*).

Penelitian ini memiliki tujuan untuk merancang pembangkit listrik mikro hidro 30kW pada area wisata di desa Girimulyo Kecamatan Ngargoyoso Kabupaten Karanganyar Jawa Tengah Memanfaatkan air terjun sebagai pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan kapasitas 30kW. Memberi pasokan listrik dari pembangkit listrik tenaga mikrohidro untuk kebutuhan tempat wisata. Mengetahui kapasitas daya dan estimasi produksi energi PLTMH melalui perancangan desain dan matematis PLTMH di area wisata di desa Girimulyo. Memberikan sebuah sistem instalasi listrik yang ramah serta berkelanjutan bagi masyarakat dengan memanfaatkan energi terbarukan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan diatas mengenai pemanfaatan PLTMH sebagai sumber energi listrik bagi daerah yang memiliki potensi sumber air sungai, pada bagian tugas akhir ini, penulis akan melakukan penelitian perancangan unit PLTMH di lokasi desa Girimulyo untuk memanfaatkan air sungai, dengan tujuan mencari daya total pada listrik dari turbin berdasarkan besar aliran/debit yang dialirkan menuju PLTMH tersebut

II. LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Pembangkit listrik tenaga air atau disingkat PLTA merupakan pembangkit listrik yang dihasilkan dari gerakan aliran

air. Ada sebuah istilah dengan sebutan “Mikro Hidro” dimana mikro hidro merupakan sebuah pembangkit listrik yang menggunakan energi aliran air sebagai sumber penghasil energi listrik[1]. Mikro yang berarti kecil sedangkan hidro berarti air. Mikro hidro bukanlah sebuah istilah baku, akan tetapi mikro hidro pada kenyataannya menggunakan aliran air sebagai sumber penggerak. Pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki keunggulan operasionalnya murah dan hemat dari pembangkit listrik jenis lainnya seperti pembangkit listrik tenaga disel, uap dan lainnya. Hal ini karena pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan aliran air yang bersumber dari alam langsung sebagai tenaga penggerak[1].

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro memiliki ukuran yang lebih kecil dan umumnya jauh lebih sederhana dari PLTA yang berkapasitas listriknya lebih besar, dengan ukurannya yang sangat kecil menjadikan pembangkit listrik ini tidak menimbulkan kerusakan pada alam [2]. PLTMH termasuk pada golongan PLTA (pembangkit listrik tenaga air), mengingat tahap pengoperasian dan cara kerjanya serta strategi pembuatan PLTMH hampir sama dengan PLTA secara keseluruhan. PLTMH dapat dipandang sebagai pembangkit listrik tenaga air berkapasitas kecil. Terdapat tiga kategori pembangkit listrik tenaga air dengan kapasitas kecil seperti dibawah ini [3]:

1. Kapasitas <100 kW (Mikro)
2. Kapasitas 100 – 1000 kW (Mini)
3. Kapasitas 1000 – 10000 kW (Kecil)

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Air

Pembangkit listrik tenaga air yang biasa disingkat PLTA merupakan pembangkit listrik yang mengandalkan energi dari aliran air yang dihasilkan dari ketinggian tertentu dan mengkonversikan energi potensial ke energi kinetik untuk mendapatkan energi listrik. Pengertian yang luas memberikan pengertian kepada kita bahwa bukan sekedar dari air terjun serta waduk saja, akan tetapi meliputi pembangkit

tenaga air yang menghasilkan energi listrik dalam wujud lain seperti tenaga ombak [6]. Terdapat 6 (enam) jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi air sebagai sumber pembangkitnya, contoh: pikohidro, Mikrohidro, minihidro, PLTA skala kecil, PLTA skala sedang dan PLTA skala Besar. Tiap jenis pembangkitnya memiliki kapasitas daya yang berbeda, dapat kita lihat tabel dibawah ini:

Tabel 1. 1 Kategori PLTA

Kategori PLTA	Produksi Listrik
Pikohidro	< 50 kW
Mikrohidro	50 sampai dengan 100 kW
Minihidro	100 sampai dengan 1000 kW
PLTA Skala Kecil	1000 sampai dengan 10000 kW
PLTA Skala Sedang	10000 sampai dengan 100000 kW
PLTA Skala Besar	>100000 kW

2.3 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air

Perubahan “Energi Potensial” yang terjadi dalam aliran air di konversikan kedalam bentuk energi listrik. Konversi energi inilah yang menjadi prinsip dasar pembangkit listrik tenaga air. Perubahan energi terjadi karena adanya gravitasi yang mempengaruhi air, yaitu air yang telah dikoordinasikan melalui saluran air menuju turbin yang memiliki energi potensial menjadi energi kinetik yang kemudian proses ini akan berlangsung untuk menghasilkan putaran pada poros turbin[7].

2.4 Keunggulan Pembangkit Listrik Tenaga Air

PLTA memiliki beberapa keunggulan yang dapat memberi daya tarik tersendiri pada pembangkit listrik ini, berikut beberapa keunggulannya [9]:

- 1) Respon pembangkit listrik tenaga air dapat menyesuaikan dengan beban yang diperlukan dengan cepat.
- 2) Pembangkit ini ramah lingkungan tidak memberi dampak negatif pada

- ekosistem, bebas dari produk sampingan bahan bakar fosil.
- 3) PLTA memiliki *output* lebih besar daripada pembangkit listrik jenis lainnya.
 - 4) Umur operasi PLTA cukup panjang berkisar antara lima puluh hingga ratusan tahun.
 - 5) PLTA memungkinkan untuk bertransformasi menjadi tujuan industri pariwisata. Bendungan yang digunakan untuk PLTA ini juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat wisata dan sarana edukasi. Menciptakan keuntungan finansial bagi masyarakat daerah setempat sebagai pemandu wisata. Serta dapat membuka peluang bagi daerah sekitar untuk menggarap perekonomian
 - 6) Bendungan yang dibuat dapat memberikan berbagai keuntungan selain menghasilkan listrik, diantaranya untuk sistem air, cadangan air, sumber irigasi serta untuk kebutuhan pertanian, baik ladang maupun sawah didaerah sekitar bendungan.

2.5 Pengertian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

Pembangkit Mikrohidro merupakan pembangkit listrik yang mengandalkan sumber energi yang digerakan oleh arus aliran air untuk dapat menghasilkan listrik. Energi listrik yang dihasilkan tidaklah lebih besar dari 100 kW. Karena listrik yang dihasilkan memiliki skala kecil maka instalasi PLTMH tidak perlu membangun sebuah bendungan yang besar, tetapi hanya memanfaatkan aliran sungai, saluran irigasi dan air terjun yang ketinggian jatuh serta debitnya cukup memadai [9]. Ketinggian serta debit air akan menentukan daya yang dihasilkan dari instalasi PLTMH tersebut. Perlu kita ketahui bahwa terdapat tiga komponen penting yang menjadi dasar sebuah PLTMH dapat bekerja dengan baik, jika secara teknis telah terdapat air yang berfungsi sebagai sumber energi

penggerakannya, turbin sebagai alat yang mengubah aliran air menjadi penggerak memutar poros untuk menghasilkan energi listrik.

Air yang mengalir menuju pembangkit yang dibangun tidak jauh dari sumber aliran yang dijadikan sebagai sumber suplai air, air yang dialirkan tersebut dimanfaatkan untuk memutar *runner* (sudu turbin). Setelah air tersebut digunakan untuk memutar turbin, maka air akan dialirkan kembali kesungai semula. Energi mekanik yang dihasilkan selanjutnya ditransfer ke generator melalui sebuah poros yang tersambung antara turbin dan generator. PLTMH mungkin dapat berbeda-beda bentuk serta ukuran, tetapi pada hakekatnya prinsip kerja yang digunakan sama, yaitu: “perubahan energi potensial menjadi energi listrik” perubahan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut [2]:

1. Energi potensial (ketinggian) menjadi energi kinetik (gerak)
2. Energi kinetik (gerak) menjadi energi mekanik (energi potensial + kinetik)
3. Energi mekanik (energi potensial + kinetik) menjadi energi listrik.

Ketinggian menyebabkan air memiliki energi potensial, kecepatan aliran air menyebabkan air tersebut memiliki energi kinetik dan energi mekanik yang merupakan kombinasi dari energi kinetik dan energi potensial yang menyebabkan turbin dapat berputar secara terus menerus. PLTMH adalah bagian dari PLTA yang memproduksi listrik berkisar antara 5 kW sampai 100 kW listrik. Listrik yang dihasilkan tergolong kecil tetapi proses produksi listriknya dapat berjalan terus menerus. Sehingga menjadikan pembangkit listrik ini lebih optimal dan hemat biaya dalam proses produksi listrik [3]. Pada PLTMH dan PLTA tidak terdapat perbedaan secara teknik, tetapi jika terdapat beberapa perbedaan hanyalah terletak pada ukuran komponennya saja. Pada PLTMH turbin yang digunakan akan lebih kecil jika dibandingkan dengan PLTA yang lebih besar. Dalam perancangan

PLTMH yang pertama harus diketahui yaitu potensi lokasi dimana akan dijadikan tempat instalasi. Untuk mengetahui potensi yang ada, terdapat dua hal utama, yaitu ketinggian jatuh air dan debit aliran air. Untuk mengetahui daya yang dapat dihasilkan oleh sebuah pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai sumber penggerakannya, maka dapat menggunakan persamaan ini [10].

$$P = \rho \times g \times Q \times H \times \eta_T$$

dimana:

P = Potensi keluar daya (kW)

ρ = Massa jenis air (1000 kg/m^3)

Q = Debit air (m^3/s)

H = Tinggi jatuh air (m)

g = Gravitasi m/s^2

η_T = Efisiensi Turbin

2.6 Prinsip Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Secara sederhana prinsip kerja PLTMH adalah memanfaatkan aliran air yang memiliki suatu ketinggian agar air memiliki energi potensial serta jumlah debit yang dialirkan melalui saluran yang telah dibuat baik dari irigasi maupun aliran sungai yang dihasilkan dari air terjun yang sengaja diciptakan untuk instalasi PLTMH. Air yang mengalir pada saluran, selanjutnya akan ditampung pada bak penampung, kemudian diarahkan ke turbin melalui pipa penstock, sehingga poros turbin dapat berputar dan menghasilkan energi mekanik. Kemudian energi mekanik tersebut berguna untuk memutar generator yang dapat memproduksi energi listrik [2].



Gambar 2. 1 Skema PLTMH
Sumber: <https://bit.ly/3MgfnQW>

2.7 Keunggulan PLTMH

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro memiliki beberapa keunggulan yang menjadikan daya tarik tersendiri dari pembangkit ini, diantaranya adalah sebagai berikut [9]:

1. Instalasi PLTMH lebih murah dan hemat jika membandingkannya dengan jenis pembangkit lainnya.
2. Dapat diterapkan pada daerah terisolir karena memiliki konstruksi dan instalasi yang mudah dan sederhana.
3. Ramah lingkungan karena tidak menyebabkan polusi dan pencemaran lingkungan.
4. PLTMH memungkinkan dapat dikombinasikan dengan sistem perairan untuk kebutuhan pertanian dan sistem irigasi lainnya.

2.8 Klasifikasi Turbin Air

Turbin air yaitu suatu alat yang mampu mengkonversi energy potensial pada air menjadi energy mekanis dengan memanfaatkan gerak yang dihasilkan oleh jatuh air dari ketinggian yang biasa disebut head. Bagian-bagian turbin diantaranya adalah sebagai berikut [11]:

1. *Guid Vane* (Katup Pemandu)
2. *Runner* (bagian yang berputar)
3. *Wheel Case* (Kotak Roda)
4. *Shaft* (Poros)
5. *Bearings* (Bantalan Poros)

III. PENGUKURAN PARAMETER

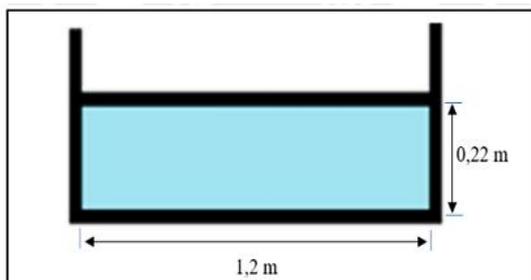
3.1 Pengumpulan Data

Berdasarkan data yang diperoleh setelah melakukan kegiatan observasi dan survei pada lokasi penelitian yang terletak didesa Girimulyo, kabupaten Karanganyar maka diperoleh beberapa data berupa debit sungai dan ketinggian jatuh air (head) dari lokasi penelitian.

A. Debit Air

Informasi yang didapat mengenai debit aliran sungai diperoleh melalui kegiatan pengukuran langsung yang meliputi pengukuran luas penampung bak serta kecepatan aliran air saat sebelum aliran masuk kedalam pipa. Informasi yang

diperlukan dalam riset mulai dari panjang serta lebar bak penampung serta kecepatan aliran saat sebelum masuk kedalam pipa yang telah ditentukan. Pada perancangan ini, informasi diperoleh dari pengukuran lapangan, yang hendak dilakukan perancangan.



Gambar 3.1. Ukuran bak penampung. Adapun data awal yang telah diperoleh dari hasil observasi dan survei lapangan didesa Girimulyo dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Hasil Observasi dan Survei

Lebar sungai	1,2 Meter
Ketinggian air sungai	0,22 meter
Panjang bak	4 Meter
Lebar bak	4 Meter
Tinggi bak	3 Meter
Debit air	0,20 m ³ /s
Ketinggian jatuh air (<i>head</i>)	22,09 Meter

$$h = 0,22 \text{ m}$$

$$\frac{1}{2}h = 0,11 \text{ m}$$

Maka kecepatan air dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$V = \sqrt{2 \times g \times h}$$

$$V = \sqrt{2 \times 9,81 \times 0,11}$$

$$V = \sqrt{2,1582}$$

$$V = 1,46 \text{ m/detik}$$

Untuk menghitung debit aliran sungai yang mengalir, dapat kita tentukan dengan menggunakan sebuah persamaan berikut ini:

$$Q = A.V$$

Terlebih dulu menentukan luas penampang air yang mengalir dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$A = 1,2 \text{ m} \times 0,22 \text{ m}$$

$$A = 0,26$$

Setelah luas penampang air diketahui maka dapat menggunakan persamaan berikut ini yang bertujuan untuk memperoleh debit air yang mengalir pada sungai tersebut:

$$Q = A.V$$

$$Q = 0,264 \text{ m}^2 \times 1,46 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q = 0,385 \text{ m}^3/\text{detik}$$

B. Tinggi Jatuh Air

Ketinggian jatuh air ini didapatkan dengan melakukan pengukuran yang dimulai dari sumber air dengan lokasi yang direncanakan sebagai penempatan posisi turbin pada pembangkit listrik tenaga mikro hidro PLTMH. Perhitungan ketinggian jatuh air ini dilakukan dengan menggunakan sebuah aplikasi pada handphone yaitu GPS (*Global Positioning System*). Dengan cara menentukan beberapa mdpl (meter diatas permukaan laut) untuk posisi bak penampung dan kemudian menentukan beberapa mdpl untuk posisi penempatan turbin, kemudian dihitung selisihnya antara bak penampung dengan turbin yang direncanakan, setelah diperoleh selisih antara tinggi jatuh air dengan posisi penempatan turbin dengan satuan mdpl. Selanjutnya adalah mengkonversikan kedalam satuan meter, maka data yang diperoleh untuk ketinggian jatuh air dilokasi yang akan dibangun PLTMH di desa Girimulyo adalah 22,09 meter .

Tabel 4. 2 Bahan bahan penolong

Pipa lurus	63 meter
Elbow 45°	2 buah
Gate valve	1 buah
Elbow 90°	1 buah
Reducer	2 buah
Tee	1 buah

4.2 Perhitungan

Setelah mendapat data awal berupa debit air dan ketinggian jatuh air, maka

selanjutnya dalam analisa dan perhitungan ini akan dihitung beberapa hal atau komponen seperti perhitungan daya yang dihasilkan oleh turbin, kecepatan air keluar Nozzle, diameter nozzle, diameter puli, panjang sabuk, jenis sabuk, hingga perhitungan pada daya output pada generator.

4.2.1 Perhitungan daya

Untuk mengetahui daya yang dihasilkan dari sebuah turbin, kita gunakan sebuah persamaan atau rumus seperti berikut:

$$P_{\text{turbin}} = \rho \times g \times H_{\text{total}} \times Q \times \eta_T$$

Untuk diketahui dari persamaan tersebut $\eta_T = (50 - 80)\%$ dipilih 80%. Pipas pesat serta debit yang digunakan untuk memutar turbin ditetapkan bersumber pada informasi yang diperoleh dari lapangan ialah sebesar $0,20 \text{ m}^3/\text{s}$.

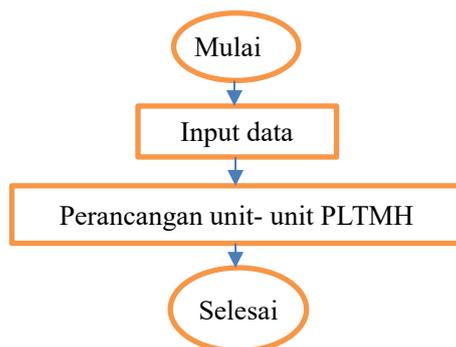
IV. ANALISA

Metode Analisa Data

Teknik analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tahapan perancangan PLTMH

Perancangan PLTMH pada penelitian ini dilakukan dalam tahap sebagai berikut:



Gambar 4.1. Tahapan perancangan PLTMH

Pada tahap perancangan unit-unit PLTMH ini, yang pertama dilakukan adalah memasukan beberapa data yang telah diperoleh melalui kegiatan observasi lapangan sebelumnya seperti data mengenai debit aliran air persatu waktu (m^3/s), ketinggian jatuh air (head), ukuran lebar

sungai, dan juga memasukan data kedalaman sungai. Beberapa data tersebut didapatkan dengan melakukan pengukuran pada sungai yang terletak di desa Girimulyo, Kabupaten Karanganyar yang akan dilakukan pembangunan PLTMH. Selanjutnya, beberapa data tersebut digunakan untuk perancangan unit-unit pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH).

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berikut ini kesimpulan yang di peroleh dari proses Perancangan Pembangkit Listrik Mikrohidro 30 kW untuk suplai listrik area wisata di desa Girimulyo Kecamatan Ngargoyoso Kabupaten Karanganyar Jawa Tengah:

- 1 Air terjun yang berada di desa Girimulyo dapat dimanfaatkan sebagai PLTMH dengan kapasitas daya 30 kW. Sehingga dapat dimanfaatkan menjadi energi terbarukan dari PLTMH.
- 2 PLTMH yang berada pada tempat wisata dapat memberi pasokan listrik yang cukup, sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik yang sudah disesuaikan dengan beban yang dibutuhkan yang berguna untuk mendorong kemajuan dan pertumbuhan perekonomian di daerah tersebut.
- 3 PLTMH yang dirancang memberikan hasil sebagai berikut:

Data debit air sebesar $0,20 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan head sebesar 22,09 meter, dapat menghasilkan daya sebesar 30 kW atau 45 HP (horse power), dengan asumsi efisiensi 80%. Dari hasil perancangan dan perhitungan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut ini.

1. Diameter pipa pesat 500 mm
2. Diameter nozzle 38 mm
3. Diameter roda impeller 270 mm
4. Panjang sabuk 3,480 mm atau 137 inch
5. Ukuran diameter pulley kecil 300 mm dan pulley besar 600 mm
6. Sudut kontak pada sabuk $8,6^\circ$

7. Kecepatan sabuk (flat belt) 23,55 m/detik
 8. Daya output turbin 33,58 kW
 9. Daya output generator 30 kW
- 4 PLTMH yang dibangkitkan merupakan suatu upaya untuk menghasilkan sumber energi yang ramah lingkungan dan tentunya bersumber dari energi yang dihasilkan oleh alam. Sehingga daerah tersebut dapat terjaga dari segi ekosistem dan keasrian aliran air yang bersih dengan adanya (PLTMH) di desa Girimulyo.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rahardjo, I., & Fitriana, I. (2005). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia.
- [2] Nurkholiq, N., Sukmadi, T., & Nugroho, A. (2014). Analisis Perbandingan Metode Logika Fuzzy dengan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Pada Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang di Indonesia Sampai Tahun 2022.
- [3] Nurhasanah, T. N. (2017). *Pencemaran Udara Akibat Penggunaan Batubara sebagai Sumber Energi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kecamatan Astanajapura Kabupaten Cirebon di Hubungkan dengan Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*
- [4] Rohermanto, A. (2013). Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).
- [5] Panjaitan, U. I., Purwoko, A., & Hartini, K. S. (2016). Analisis Potensi Dan Strategi Pengembangan Obyek Wisata Alam Air Terjun Teroh Teroh Desa Rumah Galuh Kecamatan Sei Bingai, Kabupaten Langkat Sumatera Utara.
- [6] Banuwa, I. S., Abidin, Z., Wulandari, C., Yuwono, S. B., PITOJO BUDIONO, B. U. D. I. O. N. O., & Istanto, K. (2012). Pengelolaan Hutan Dan Daerah Aliran Sungai Berbasis Masyarakat: Pembelajaran Dariway Besai, Lampung.
- [7] Bayu Suryo Wiranto, Muhammad Rif'an, dan Massus Subekti. (2021). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. Studi Kasus Di Curug Cigeuntis, Kecamatan Tegalwaru, Kabupaten Karawang, Jawa Barat*. Journal of Electrical and Vocational Education and Technology, Vol.6, No.1, Juni 2021, 25-30, Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- [8] M. Fanis Abdillah, Gunawan, dan Agus Suprajitno. (2022). *Studi Potensi dan Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro di Bendung Simbang, Kecamatan Doro, Kabupaten Pekalongan*. AVITEC, Vol. 4, No. 1, Februari 2022, P-ISSN 2685-2381, E-ISSN 2715-2626, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang. <http://dx.doi.org/10.28989/avitec.v4i1.1132>
- [9] Beni Ardo, Emidiana, Perawati. (2022). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Desa Tanjung Raman Talang Air Selepah Kecamatan Pendopo Kabupaten Empat Lawang*, Jurnal TEKNO (Civil Engineering, Elektrical Engineering and Industrial Engineering), Vol. 19, No: 1, April 2022, p-ISSN:1907-5243, e-ISSN: 2655-8416, Teknik Elektro, Universitas PGRI Palembang.
- [10] Dian Fatahudin dan Itmi Hidayat Kurniawan. (2019). *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Kapasitas Daya 50 kW*, Jurnal Riset Rekayasa Elektro Vol.1, No.2, Desember 2019, halaman 100-109, Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- [11] Nugroho, D., Suprajitno, A., & Gunawan, G. (2017). *Desain Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Air Terjun Kedung Kayang*, Jurnal

- Rekayasa ElektriKa Vol.13, No.3,
Desember 2017.
- [12] Koswara, E., Susandi, D., Rachmat, A.,
& Supiandi, I. (2017). *Kaji Analitik
Potensi Daya Listrik PLTMH Di Air
Terjun Muara Jaya Desa Argamukti
Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa
Barat*, jurnal Prosiding Semnastek.