

ANALISIS PERBANDINGAN KUALITAS DAYA LISTRIK BERDASARKAN HARMONISA PADA MOTOR LISTRIK DENGAN SUPLAI TENAGA SURYA DAN PLN

Ghani Samiaji^{1*}, Abdul Multi², Ojak Abdul Rozak³, Luthfi Faturrachman⁴

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Sains dan Teknologi Nasional; Jl. Moch. Kahfi II No.30, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 12630.

^{3,4}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pamulang; Jl. Raya Puspitek, Buaran, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15310.

Received: 11 Juli 2024

Accepted: 31 Juli 2024

Published: 7 Agustus 2024

Keywords:

PLTS, Harmonics, Power Quality, Electric Motor, THD.

Correspondent Email:

ghanisamiaji256@gmail.com

Abstrak. PLTS off-grid adalah pembangkit listrik yang tidak terhubung ke jaringan dan menggunakan media penyimpanan seperti baterai untuk menyimpan daya pada malam hari atau pada saat intensitas matahari berkurang serta pada saat listrik padam dari PLN. Penelitian ini membahas tentang THD pada beban motor listrik dengan sumber yang digunakan untuk melakukan pengukuran serta analisis plts off-grid dan sumber pln, setelah itu, dilakukan perbandingan pada harmonisa arus dan tegangan, lalu kemudian disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6. Hasil penelitian dan analisis nilai harmonisa dengan mengambil nilai rata-rata THDv dan THDi pada motor listrik 1 fasa, lalu dilakukan perbandingan dengan standard yang berlaku yaitu Standard Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) 519: 2014). Kemudian dihitung menggunakan persamaan. Hasil analisis menunjukkan nilai THDv pada motor listrik yang bersumber dari PLN dan PLTS sebesar 2,3 % yang berarti masih dalam batas standar dan hasil deviasi sebesar 0%. Sedangkan nilai THDi pada motor listrik yang bersumber dari PLN sebesar 7,7 % serta sumber dari PLTS sebesar 7,2 % yang berarti dari kedua pengukuran masih dalam batas standar IEEE dan terjadi perbandingan pengukuran THDi tersebut dengan nilai sebesar 6,4 %. Nilai perbandingan tersebut dapat mempengaruhi kualitas daya listrik.

Abstract. *PLTS Off-grid are power plants that are not connected to the grid and use storage media such as batteries to store power at night or at times of reduced solar intensity and during power outages from PLN. This research discusses THD on electric motor loads with the source used to take measurements and analyze off-grid PLTS and PLN sources, after that, a comparison is made on current and voltage harmonics, then simulated using ETAP 12.6 software. The results of the research and analysis of the value of harmonics by taking the average value of THDv and THDi on a 1-phase electric motor, then comparing it with the applicable standard, Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) Standard 519: 2014). Then calculated using the equation. The results of the analysis show that the THDv value in electric motors sourced from PLN and PLTS is 2.3%, which means it is still within the standard limits and the deviation result is 0%. While the THDi value on electric motors sourced from PLN is 7.7% and the source from PLTS is 7.2%, which means that both measurements are still within the limits of IEEE standards and there is a comparison of THDi measurements with a value of 6.4%. This comparison value can affect the quality of electric power.*

1. PENDAHULUAN

Inovasi energi alternatif dari sumber terbarukan sangat dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi, salah satunya penggunaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang dapat mengurangi penggunaan bahan bakar minyak dan batubara.[1] Sinar matahari merupakan sumber energi terbarukan yang potensial untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil.[2] Pada penelitian ini akan dipergunakan inverter sederhana dengan kemampuan 500Watt kemudian diberi beban mesin pompa air.

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengukuran kualitas daya listrik berdasarkan harmonisa yang ditimbulkan dengan menggunakan *Clamp On Power HiTester*, kemudian disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6. Pada proses ini perlu pengkajian dan akan dilihat bagaimana kemampuan mesin pompa air dihubungkan dengan sumber dari PLTS *Off – grid* dan pada saat mesin pompa air dihubungkan dengan sumber dari PLN.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kualitas daya listrik berdasarkan harmonisa pada saat mesin pompa air dihubungkan dengan sumber PLTS *Off – grid* dan pada saat mesin pompa air dihubungkan dengan sumber dari PLN. Standar yang dipakai pada penelitian ini menggunakan standar *IEEE 519 – 2014*. Berdasarkan *IEEE 519 – 2014*, bahwa dalam menentukan standar harmonisa terdapat dua kriteria yang digunakan dalam mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu yang pertama adalah batasan harmonisa tegangan (THDv) dan yang kedua yaitu batasan harmonisa arus (THDi)[3]

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

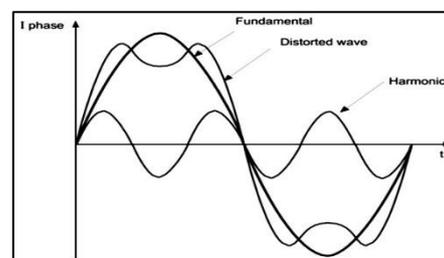
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah pembangkit listrik berkategori energi terbarukan yang memanfaatkan sinar matahari sebagai bahan utama untuk membangkitkan energi listrik.[4] Dengan potensinya yang sangat besar tersebut, energi surya diyakini menjadi sumber energi utama di masa depan.[5] Komponen utama yang digunakan pada plts

terdiri dari Panel Surya, Controller, Inverter, Baterai, serta komponen – komponen pendukung lainnya seperti Kabel dan *Meter Circuit Breaker*.[6]

2.2. Harmonisa

Harmonisa merupakan suatu gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik yang diakibatkan oleh distorsi gelombang arus dan tegangan, distorsi arus dan tegangan ini menyebabkan gelombang arus dan tegangan menjadi tidak sinusoidal. Distorsi gelombang ini disebabkan oleh gelombang berfrekuensi tinggi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya, sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi.[7]

Gelombang inilah yang kemudian menumpang pada gelombang fundamental sehingga terbentuklah gelombang tidak sinusoidal yang merupakan hasil dari penjumlahan antara gelombang fundamental sesaat dengan gelombang harmonisanya seperti tampak pada Gambar 1.[8]



Gambar 1. Bentuk Gelombang yang terdistorsi

Standar yang dipakai pada penelitian ini menggunakan standar *IEEE 519 – 2014*. Berdasarkan *IEEE 519 – 2014*, bahwa dalam menentukan standar harmonisa terdapat dua kriteria yang digunakan dalam mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu yang pertama adalah batasan harmonisa tegangan (THDV) dan yang kedua yaitu batasan harmonisa arus (THDI). Persentase (%) THDV ditentukan oleh besarnya tegangan sistem yang terpasang.[9]

Total Harmonic Distortion (THD) tegangan menurut Standar *IEEE 519 – 2014* diperlihatkan pada tabel 1.[9]

Table 1. Batas harmonisa tegangan sesuai standar IEEE 519 - 2014

System Voltage	IHDv (%)	THDv (%)
$V \leq 1.0$ kV	5	8
1 kV $< V \leq 69$ kV	1,5	2,5
69 kV $< V \leq 161$ kV	1	1,5
161 kV $< F$	1	1,5 ^a

Sementara itu, untuk harmonisa arus dapat dilihat pada tabel 1 Semua peralatan sistem tenaga dibatasi sesuai dengan besar distorsi arus tersebut [9]

Table 2. Batas harmonisa arus sesuai standar IEEE 519 - 2014

Maximum harmonic current distortion In percent of I_L						
Individual harmonic order (<i>odd harmonics</i>) ^{a,b}						
I_{sc} / I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THDi (%)
$< 20^c$	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 < 1000$	12	5,5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20

2.3. Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini dapat digunakan secara *offline* untuk simulasi tenaga listrik maupun secara *online* untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*. [10]



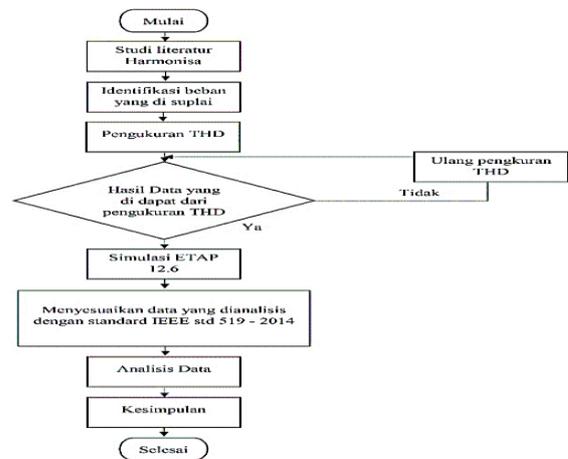
Gambar 2. ETAP (Electric Transient and Analysis Program)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data di salah satu rumah warga yang sudah terpasang PLTS *Off-grid* lalu disimulasikan menggunakan software ETAP 12.6 bertujuan untuk membandingkan hasil pengukuran secara langsung dan menggunakan software.

3.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun tahapan yang harus dilakukan terlihat pada gambar 3, antara lain sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kualitas daya listrik berdasarkan harmonisa pada saat mesin pompa air dihubungkan dengan sumber PLTS *Off-grid* dan pada saat mesin pompa air dihubungkan dengan sumber dari PLN.

Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal murni nilai THD nya adalah 0%, sedangkan untuk menentukan besar THD arus maupun tegangan dapat menggunakan Persamaan (2.15) dan (2.16). *Total Harmonic Distortion* (THDi) untuk arus didefinisikan dengan persamaan:

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100 \% (1)[11]$$

Dimana:

I_h = Komponen harmonisa arus ke-h (A)

I_1 = Nilai arus fundamental (rms) (A)

Total Harmonic Distortion (THDv) untuk tegangan didefinisikan dengan persamaan:

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} v_h^2}}{v_1} \times 100 \% \quad (2) \quad [11]$$

Dimana:

V_h = Komponen harmonisa tegangan ke-h (V)
 V_1 = Nilai tegangan fundamental (rms) (V)

Untuk memperoleh hasil perbandingan diperoleh dari perhitungan manual dari persamaan nilai deviasi rata rata. Sebagai contoh:

$$\Delta\% = \frac{V_{p1} - V_s}{V_s} \times 100\% \quad (3) \quad [12]$$

V_{p1} adalah tegangan pengukuran PLN dan V_s adalah tegangan simulasi.

3.2. Peralatan dan Bahan

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor pompa air satu fasa sebagai objek penelitian. Kemudian terdapat clamp meter 1 buah yang digunakan sebagai alat pengukuran tegangan, arus, daya listrik, serta harmonisa saat motor pompa deair berjalan, obeng sebanyak 1 buah yang berfungsi sebagai alat bantu buka baut pada motor pompa air, dan tang kombinasi yang berfungsi sebagai alat untuk membuka sambungan kabel pada motor pompa air.

Alat ukur yang digunakan pada penelitian kali ini yang ditunjukkan pada gambar 4 menggunakan Hioki Clamp On Power HiTester 3286-20 digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, harmonisa (THD), dan lain-lain.[13]



Gambar 4. Hioki Clamp On Power HiTester 3286-20

Tampilan hasil pengukuran dari alat ukur Power and Harmonic Analyzer berupa angka dan juga alat Digital Watt Meter / Voltage

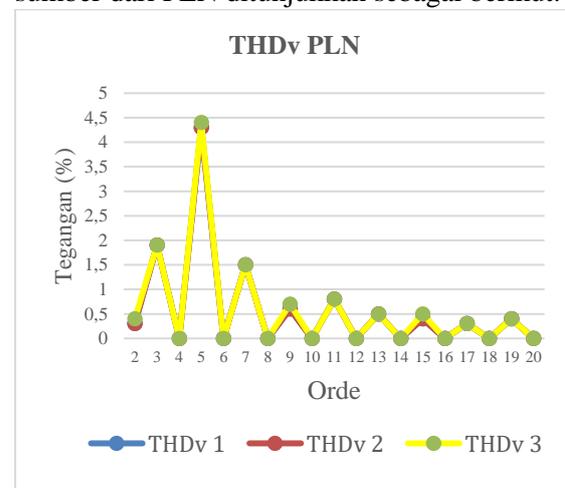
Meter Monitor Plug Socket 7 Display Mode merupakan socket plug yang dapat memonitor Power, Voltage, Amps, Power Factor, Cost and Minimum & Maximum Power

4. HASIL PEMBAHASAN DAN SIMULASI

Dalam penelitian ini, data diperoleh dengan pengukuran secara langsung pada beban motor listrik 1 fasa yang diberi suplai PLTS *Off - grid* dan suplai dari PLN. Data pengukuran yang diambil adalah harmonisa arus dan harmonisa tegangan Data hasil Pengukuran ditunjukkan dalam bentuk grafik sebagai berikut

4.1. Analisis Pengukuran Harmonisa Arus dan Tegangan

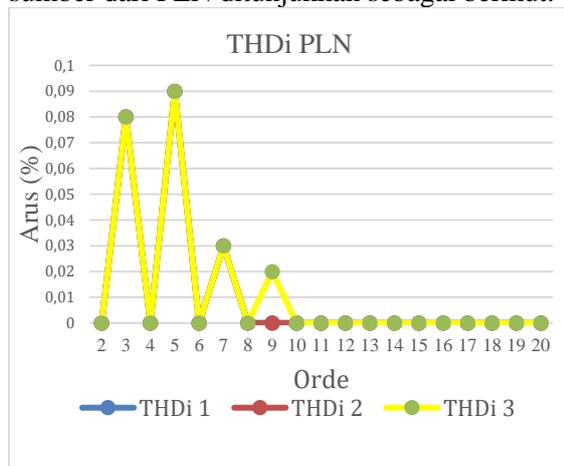
Setelah dilakukan pengukuran harmonisa pada beban motor listrik 1 fasa yang bersumber dari PLN dan PLTS serta dilakukan perhitungannya menggunakan persamaan 1 dan 2, lalu hasil pengukuran mengacu pada standar harmonisa *std IEEE 519 – 2014*. Grafik Pengukuran harmonisa tegangan dengan sumber dari PLN ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Hasil Pengukuran THD tegangan Sumber PLN

Berdasarkan grafik gambar, hasil pengukuran THDv di atas yang bersumber dari PLN dapat dilihat bahwa nilai % THD dari ketiga pengukuran tidak berbeda satu sama lain, dengan rata rata dari ketiga pengukuran tersebut sebesar 2,3 % yang berarti harmonisa tegangan masih sesuai standar *IEEE std 519 – 2014*, dimana batas standar untuk tegangan sebesar 8 %.[14]

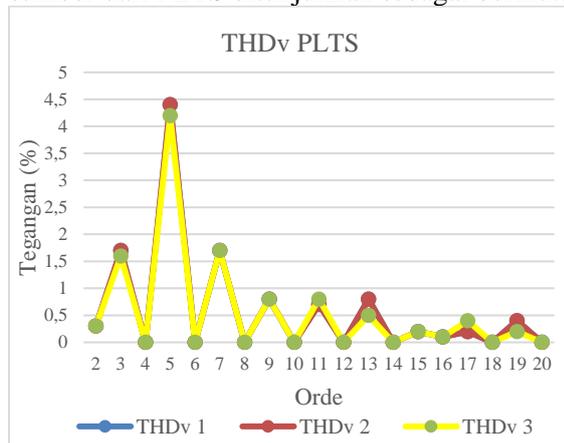
Grafik Pengukuran harmonisa arus dengan sumber dari PLN ditunjukkan sebagai berikut:



Gambar 6. Grafik Hasil Pengukuran THD Arus Sumber PLN

Berdasarkan grafik gambar 6, hasil pengukuran THDi di atas yang bersumber dari PLN dapat dilihat bahwa nilai % THD dari ketiga pengukuran tidak berbeda satu sama lain, dengan rata rata dari ketiga pengukuran tersebut sebesar 7,3 % yang berarti harmonisa tegangan masih sesuai standar *IEEE std 519 – 2014*, dimana batas standar untuk arus sebesar 8 % [14]

Grafik Pengukuran harmonisa tegangan dengan sumber dari PLTS ditunjukkan sebagai berikut:

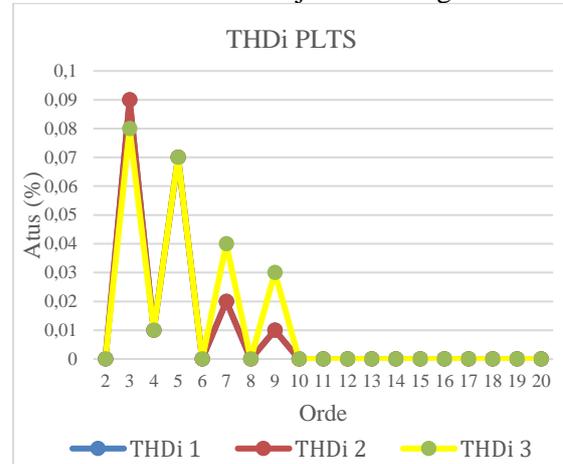


Gambar 7. Grafik Hasil Pengukuran THD tegangan Sumber PLTS

Berdasarkan grafik gambar 7, hasil pengukuran THDv di atas yang bersumber dari PLTS dapat dilihat bahwa nilai % THD dari ketiga pengukuran tidak berbeda satu sama lain, dengan rata rata dari ketiga pengukuran tersebut sebesar 2,3 % yang berarti harmonisa tegangan masih sesuai standar *IEEE std 519 – 2014*,

dimana batas standar untuk tegangan sebesar 8 % [14]

Grafik Pengukuran harmonisa arus dengan sumber dari PLTS ditunjukkan sebagai berikut:

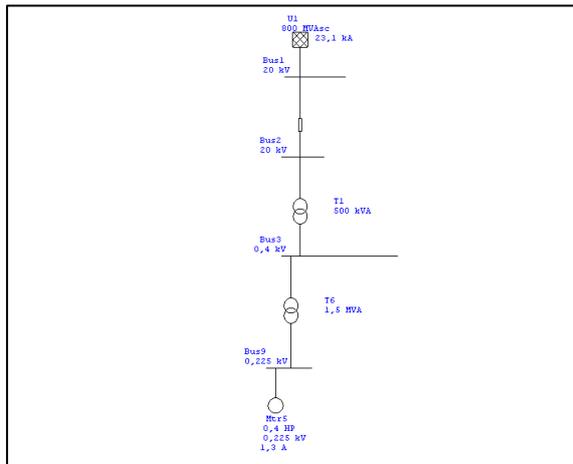


Gambar 8. Grafik Hasil Pengukuran THD Arus Sumber PLTS

Berdasarkan grafik gambar 8, hasil pengukuran THDi di atas yang bersumber dari PLTS dapat dilihat bahwa nilai % THD dari ketiga pengukuran tidak berbeda satu sama lain, dengan rata rata dari ketiga pengukuran tersebut sebesar 7,7 % yang berarti harmonisa tegangan masih sesuai standar *IEEE std 519 – 2014*, dimana batas standar untuk arus sebesar 8 % [14]

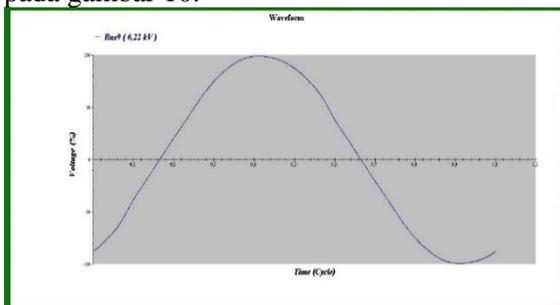
4.2. Analisis Hasil Simulasi ETAP

Hasil simulasi harmonisa arus dan tegangan bersumber dari PLN diberi beban motor listrik 1 fasa menggunakan software ETAP 12.6 untuk mensimulasikan sumber arus dan tegangan harmonisa pada motor listrik 1 fasa. Rangkaian untuk mensimulasikan gelombang harmonisa menggunakan software Etap 12.6 ditunjukkan pada gambar 9.



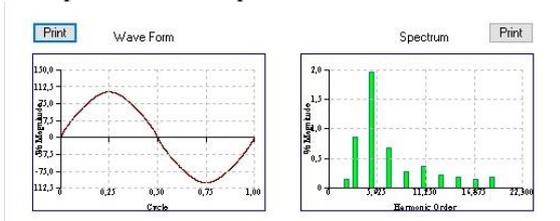
Gambar 9. Rangkaian Simulasi Harmonisa sumber PLN pada ETAP

Gambar hasil simulasi gelombang harmonisa tegangan dengan sumber dari PLN menggunakan software ETAP 12.6 ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10. Simulasi Etap Gelombang Harmonisa Tegangan Sumber PLN

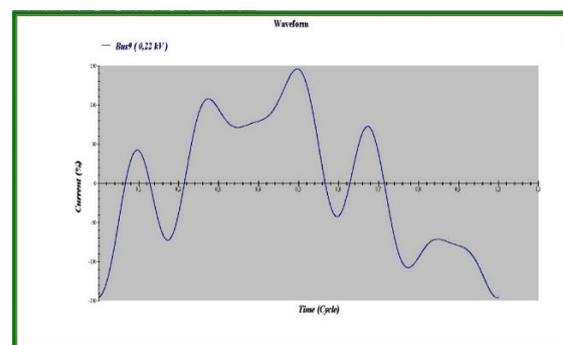
Pada gambar 10 menunjukkan hasil dari simulasi gelombang harmonisa tegangan yang bersumber dari PLN dengan beban motor listrik 1 fasa 300 watt. menggunakan software etap 12.6 bahwa grafik gelombang berbentuk sinusoidal yang berarti dianggap tidak menimbulkan harmonisa, tetapi masih terdapat nilai THDv sebesar 2,3 %, yang berarti masih terdapat harmonisa pada beban.



Gambar 11. Grafik dan gelombang ETAP harmonisa tegangan PLN

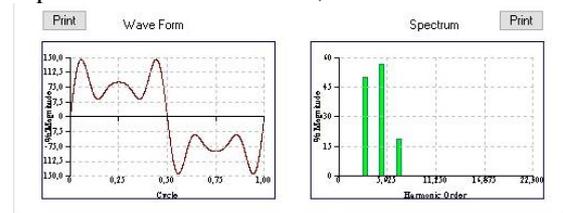
Pada gambar 11, simulasi untuk grafik dan gelombang harmonisa, harmonisa muncul pada orde ganjil mulai dari 3 sampai dengan 20, tetapi terdapat harmonisa yang muncul di orde genap, dikarenakan harmonisa ganjil berpengaruh besar terhadap sistem tenaga listrik bahwa orde ganjil memiliki nilai rms (*root mean square*) yang lebih besar dibandingkan orde genap.[15]

Gambar hasil simulasi gelombang harmonisa arus dengan sumber dari PLTS menggunakan software ETAP 12.6 ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Simulasi Etap Gelombang Harmonisa Arus Sumber PLN

Pada gambar 12 menunjukkan hasil dari simulasi gelombang harmonisa arus yang bersumber dari PLN menggunakan software Etap 12.6. bahwa grafik gelombang tidak membentuk sinusoidal yang berarti dianggap menimbulkan harmonisa. Pada simulasi ini, diperoleh THDi sebesar 7,9 %.



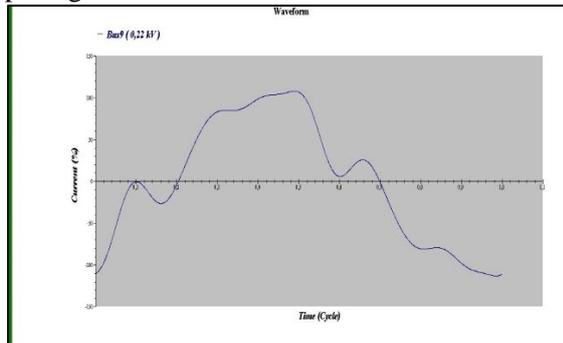
Gambar 13. Grafik dan gelombang ETAP harmonisa arus PLN

Pada gambar 13 simulasi untuk grafik dan gelombang harmonisa, harmonisa muncul pada orde ganjil dan hanya terdapat pada orde 3, 5, dan 7 saja, artinya harmonisa hanya sedikit mempengaruhi arus pada motor listrik 1 fasa. [15]

Untuk rangkaian simulasi yang bersumber dari PLTS dikarenakan komponen yang terdapat pada software ETAP 12.6 tidak

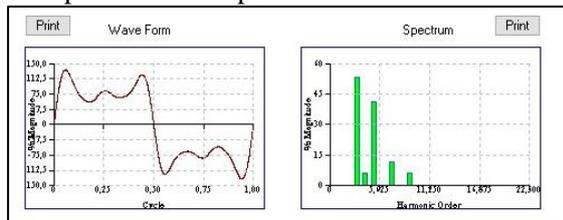
tersedia, maka hasil simulasi untuk harmonisa dengan suplai tenaga surya menggunakan rangkaian dari sumber PLN pada ETAP 12.6.

Gambar hasil simulasi gelombang harmonisa tegangan dengan sumber dari PLTS menggunakan software ETAP 12.6 ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Simulasi Etap Gelombang Harmonisa Tegangan Sumber PLTS

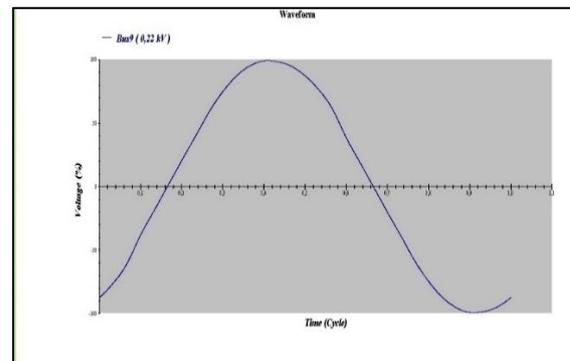
Pada gambar 14 menunjukkan hasil dari simulasi gelombang harmonisa tegangan yang bersumber dari PLTS dengan beban motor listrik 1 fasa 300 watt menggunakan software etap 12.6 bahwa grafik gelombang berbentuk sinusoidal yang berarti dianggap tidak menimbulkan harmonisa, tetapi masih terdapat nilai THDv sebesar 2,2 %, yang berarti masih terdapat harmonisa pada beban



Gambar 15. Simulasi Etap Gelombang Harmonisa Arus

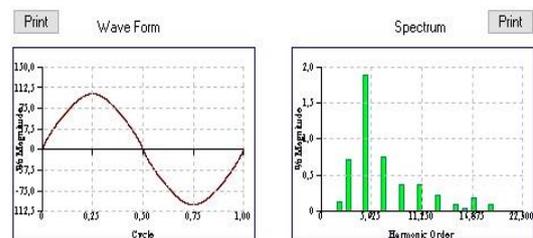
Pada gambar 15 simulasi untuk grafik dan gelombang harmonisa, harmonisa muncul pada orde ganjil mulai dari 3 sampai dengan 20, tetapi terdapat harmonisa yang muncul di orde genap, dikarenakan harmonisa ganjil berpengaruh besar terhadap sistem tenaga listrik bahwa orde ganjil memiliki nilai rms (*root mean square*) yang lebih besar dibandingkan orde genap.[15]

Gambar hasil simulasi gelombang harmonisa arus dengan sumber dari PLTS menggunakan software ETAP 12.6 ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Grafik dan Gelombang ETAP harmonisa tegangan PLTS

Pada gambar 16 menunjukkan hasil dari simulasi gelombang harmonisa arus yang bersumber dari PLTS menggunakan software Etap 12.6. bahwa grafik gelombang tidak membentuk sinusoidal yang berarti dianggap menimbulkan harmonisa. Pada simulasi ini, diperoleh THDi sebesar 7,5 % Untuk rangkaian simulasi yang bersumber dari PLTS dikarenakan komponen yang terdapat pada software ETAP 12.6 tidak tersedia, maka hasil simulasi untuk harmonisa dengan suplai tenaga surya menggunakan rangkaian dari sumber PLN pada ETAP 12.6



Gambar 17. Grafik dan Gelombang ETAP harmonisa tegangan PLTS

Pada gambar 17, simulasi untuk grafik dan gelombang harmonisa, harmonisa muncul pada orde ganjil mulai dari 3 sampai dengan 20, tetapi terdapat harmonisa yang muncul di orde genap, dikarenakan harmonisa ganjil berpengaruh besar terhadap sistem tenaga listrik bahwa orde ganjil memiliki nilai rms (*root mean square*) yang lebih besar dibandingkan orde genap.

4.3. Analisis Perbandingan Pengukuran dan Simulasi

Pada penelitian ini didapat beberapa data harmonisa yang dihasilkan dari kedua

pengukuran secara langsung dan melakukan simulasi menggunakan ETAP 12.6 pada motor listrik 1 fasa yang diberi suplai PLTS dan PLN yang Terlihat pada tabel 3 yang menunjukkan hasil dari perbandingan pengukuran dan simulasi yang dilakukan menggunakan persamaan 3 untuk mengetahui hasil deviasi.

Table 3. Perbandingan hasil pengukuran dan simulasi

Data	THDV (%)	$\Delta\%$	THDi (%)	$\Delta\%$
PLN/PLTS	2,3/2,3	0	7,7/7,2	0,5
PLN/ETAP	2,3/2,3	0	7,7/7,7	0
ETAP/PLTS	2,3/2,3	0	7,7/7,2	0,5

Berdasarkan data hasil perbandingan pengukuran dan simulasi yang terlihat pada tabel 1 terdapat perbedaan pada pengukuran harmonisa arus. Nilai tertinggi terjadi pada pengukuran yang bersumber dari PLN yaitu sebesar 7,7 %. Sedangkan untuk harmonisa tegangan pada pengukuran langsung dan simulasi tidak terdapat perbedaan. Dari kedua pengukuran harmonisa masih dalam kualitas yang cukup baik dibawah standar.

5. KESIMPULAN

- Hasil dari pengukuran secara langsung pada motor listrik dengan suplai PLTS dan PLN, nilai harmonisa untuk tegangan masih dibawah standar yaitu 2,3 % dari nilai standar berdasarkan std IEEE 519 – 2014.
- Untuk pengukuran harmonisa arus pada motor listrik yang diberi suplai PLN dengan nilai sebesar 7,7 % sedangkan yang diberi suplai PLTS sebesar 7,2 % yang berarti nilai tersebut masih dibawah standar yang mengacu pada std IEEE 519 – 2014.
- Hasil perbandingan harmonisa arus antara pengukuran langsung pada motor listrik yang diberi suplai PLTS dan PLN terdapat perbandingan pada pengukuran menggunakan sumber PLTS nilainya lebih besar dibandingkan dengan pengukuran menggunakan sumber PLN yaitu sebesar 7 %. Sedangkan pada pengukuran harmonisa tegangan tidak terdapat perbedaan.

- Berdasarkan hasil penelitian, kualitas daya didapat paling baik ada pada pengukuran dengan sumber PLTS dikarenakan peralatan transmisi seperti inverter kondisi masih dalam keadaan baik.
- Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan software ETAP 12.6 untuk menentukan hasil yang akurat dan dapat diandalkan dengan mengacu pada data pengukuran

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini khususnya kepada Muhammad Zulfiqar Ramadhan Nurhadi yang telah membantu dalam proses penelitian serta proses penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- Humas EBTKE, “Menteri Arifin: Transisi Energi Mutlak Diperlukan.” Accessed: Oct. 31, 2023. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/10/22/2667/menteri.arifin.transisi.energi.mutlak.diperlukan?lang=en>
- M. A. Rizkiawan, A. Sofwan, and A. Multi, “Two-Axis Solar Panel Tracking Device Prototype With Iot-Based Monitoring,” *International Journal Science and Technology*, vol. ISSN, no. 1, pp. 13–24, 2024, doi: 10.56127/ijst.
- R. Irwanto and J. Hidayat1, “Analisa Harmonisa Pada Transformator 3 Fasa,” vol. 1, no. 1, Apr. 2022.
- N. Yuniarti and I. Wisnu Aji, *Modul Pembelajaran Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Teknik Elektro FT. UNY, 2019.
- Suhendar, *Listrik Tenaga Surya*. Tangerang: Media Edukasi Indonesia (Anggota IKAPI), 2022.
- I Wayan Rinas, *Kualitas Daya Listrik & Beberapa Solusinya*. 2017.
- Aini zulfatri and Mar’i Aqil, *Desain Single Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi*. Riau: Al-Mujtahadah Press, 2021.
- M. F. Rizaldy, K. Khairudin, N. Soedjarwanto, and N. Purwasih, “Analisa Dampak Penggunaan Filter L-C-L Terhadap Kinerja Pengatur Kecepatan Motor Induksi,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 10, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.23960/jitet.v10i1.2254.

- [9] Transmission and Distribution Committee, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems Sponsored by the Transmission and Distribution Committee IEEE Power and Energy Society," New York, 2014.
- [10] R. Permadi, "Analisis Aliran Daya Pada Jalur Kelistrikan Gedung Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Menggunakan Software Etap 12.6," North Sumatera, Oct. 2022.
- [11] M. Z. Mohd Radzi, M. M. Azizan, and B. Ismail, "Observatory case study on total harmonic distortion in current at laboratory and office building," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1432/1/012008.
- [12] M. Fathur Rochman and A. Sofwan, "Analisa Koordinasi Kerja Relay Dengan Recloser Pada Penyulang Srikandi," 2022.
- [13] Hioki, *Manual Book Clamp On Power Hitester 3286-20*. HIOKI, 2015.
- [14] T. Ongko P and Fauzan, "Analisa Beban Non Linier Terhadap Nilai THDi dan THDv di Gedung Equity Tower," *Jurnal Elektro*, vol. 11, Feb. 2023.
- [15] O. A. Rozak, "Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6.0," *Journal Of Electrical Power, Instrumentation and Control*, 2019.