

DISAIN *LOW PASS ACTIVE FILTER* UNTUK MEREDUKSI HARMONIK PADA KELUARAN INVERTER PLTS *ON-GRID* MENGGUNAKAN MULTISIM DI LABORATORIUM TEKNIK MESIN UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA

¹Yohannes Prayoga T, ²Eva Magdalena Silalahi*, ³Atmonobudi Soebagio

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

^{1,2,3}Jl. Mayjen Sutoyo 2 Cawang, Jakarta Timur 13630, DKI Jakarta

¹yohannesprayoga2002@gmail.com

*Corresponding author: ²eva.silalahi@uki.ac.id

Abstrak

Penelitian lebih lanjut untuk menganalisis harmonisa pada keluaran inverter PLTS dengan berbagai konfigurasi dan kondisi operasi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis harmonisa pada keluaran inverter PLTS menggunakan Multisim, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi sistem PLTS. Tujuan penulis melakukan penelitian adalah: mengetahui tingkat harmonisa arus dan tegangan pada sisi keluaran inverter PLTS on-grid, dan merancang rangkaian filter aktif low pass berdasarkan tingkat harmonisa pada sisi keluaran inverter PLTS on-grid yang mengacu standar IEEE 519-2014 menggunakan Multisim. Berdasarkan hasil simulasi rangkaian filter aktif low pass diatas, diperoleh Kesimpulan yaitu: dari hasil pengukuran, diperoleh bahwa THD-v pada sisi keluaran inverter PLTS on-grid sebesar 1,55% masih dibawah nilai batas standar IEEE, dan nilai THD-i sebesar 5,38% melebihi standar IEEE 519-2014, Dan diperoleh THD-i dominan orde 3 sebesar 4,09%, dengan memperhitungkan THDv dan THDi, maka diperoleh TPF 0,83, belum memenuhi standar faktor daya $\geq 0,85$, Setelah dilakukan simulasi Multisim, filter aktif dapat mereduksi THD-i menjadi 2,063%, sesuai standar dan faktor daya menjadi 0,94.

Kata Kunci: inverter, harmonisa, Multisim, PLTS, THD

Abstract

Further research to analyze harmonics at the output of the PLTS inverter with various configurations and operating conditions. Therefore, this study aims to analyze harmonics at the output of the PLTS inverter using Multisim, so that it can contribute to increasing the efficiency of the PLTS system. The author's objectives in conducting the research are: to determine the level of current and voltage harmonics at the output side of the on-grid PLTS inverter, and to design a low-pass active filter circuit based on the harmonic level at the output side of the on-grid PLTS inverter referring to the IEEE 519-2014 standard using Multisim. Based on the simulation results of the low pass active filter circuit above, the following conclusions are obtained: from the measurement results, it is obtained that the THD-v on the output side of the on-grid PLTS inverter of 1.55% is still below the IEEE standard limit value, and the THD-i value of 5.38% exceeds the IEEE 519-2014 standard, and the dominant THD-i of order 3 is 4.09%, taking into account THDv and THDi, the TPF is 0.83, which does not meet the power factor standard ≥ 0.85 . After the Multisim simulation, the active filter can reduce THD-i to 2.063%, according to the standard and the power factor to 0.94.

Keywords: inverter, harmonics, Multisim, PLTS, THD

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi. Sumber energi fosil yang selama ini menjadi andalan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan dan ketersediaannya yang terbatas. Oleh karena itu, pengembangan dan pemanfaatan sumber energi terbarukan menjadi semakin penting. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah energi surya melalui Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

PLTS merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang memanfaatkan matahari sebagai energi utamanya. Umumnya PLTS terbagi menjadi 2 sistem yaitu: PLTS sistem *on-grid* dan PLTS sistem *off-grid*. PLTS sistem *on-grid* yang terhubung langsung dengan jaringan PLN dan tidak menggunakan penyimpanan energi. Dan, PLTS sistem *off-grid* merupakan sistem mandiri yang tidak terkoneksi ke jaringan PLN sehingga memerlukan penyimpanan energi seperti baterai.

Dalam sistem PLTS, *converter* DC-DC berperan penting dalam mengatur tegangan keluaran dari panel surya agar sesuai dengan kebutuhan inverter atau sistem penyimpanan energi. Selanjutnya, inverter DC-AC mengubah arus searah (DC) dari *converter* atau baterai menjadi arus bolak-balik (AC) yang dapat digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan listrik.

Dalam pengoperasiannya, inverter dapat menghasilkan harmonisa pada tegangan dan arus keluaran. Harmonisa adalah gelombang sinusoidal yang memiliki frekuensi dengan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar sistem. Keberadaan harmonisa dalam sistem kelistrikan dapat menimbulkan berbagai permasalahan, seperti peningkatan rugi-

rugi daya, gangguan pada peralatan elektronik, dan penurunan kualitas daya secara keseluruhan. Selain itu, harmonisa yang tinggi umumnya menyebabkan faktor daya yang rendah. Faktor daya yang rendah menunjukkan adanya daya reaktif yang tinggi, yang tidak berkontribusi pada kerja nyata dan dapat meningkatkan arus sistem.

Ada banyak penelitian yang membahas tentang ini, diantaranya penelitian oleh Openg et al. (2024) tentang “Analisa Harmonisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-Grid* 290 Wp Dengan Kombinasi Beban *Linier* Dan *Non-Linear* Di Gedung Fakultas Teknik UKI – Jakarta Menggunakan *MATLAB Simulink*”, yang menganalisis harmonisa pada PLTS sistem *off-grid* 290 Wp dengan kombinasi beban linier dan non-linier, dan menunjukkan bahwa penggunaan filter LC pasif dapat menurunkan nilai THDi dari 16,42% menjadi 1,81%.(Elisabet Oppeng, Bambang Widodo, and Robinson Purba 2024)

Hasil penelitian Fahmi Naufal Mumtaz, Indhana Sudiharto, dan Ony Asrarul Qudsi (2022) dengan judul: “*Shunt Active Power Filter* untuk Meredam Harmonisa Beban Non-Linear Satu Fasa”, yang dipublikasikan pada Jurnal Teknik Elektro dan Teknologi ELECTRICIAN Volume 16, Nomor 1, berdasarkan penelitian, hasil simulasi menunjukkan bahwa THD sumber arus mencapai 32,63% sebelum pemasangan SAPF. Sebaliknya setelah pemasangan SAPF pada THD arus tersebut, hanya dihasilkan 4,47% dari total keluaran. Untuk mereduksi harmonisa sebesar 28,16% dapat digunakan simulasi SAPF yang disimulasikan memiliki kemampuan peredaman harmonisa yang memenuhi standar yang ditoleransi oleh IEEE 519-2014.(Fahmi Naufala Mumtaz, Indhana

Sudiharto, and Ony Qudsi 2022)

Penelitian oleh Prabowo et al. (2016) berjudul “Reduksi Harmonisa Dengan *Filter* Aktif *Shunt* Berbasis *MATLAB/SIMULINK*”, menunjukkan bahwa penggunaan filter aktif shunt dapat mereduksi nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) arus pada sistem kelistrikan rumah sakit, dengan penurunan THD arus fasa R sebesar 1,4%, fasa S sebesar 1,51%, dan fasa T sebesar 1,37%. (Prabowo, Haddin, and Nugroho 2016)

Penelitian oleh Eva Magdalena Silalahi, (2024) berjudul “Analisa Harmonisa Dan Faktor Daya Peralatan Listrik Rumah Tangga Pada Sistem Tegangan Rendah 220 V”, Penelitian ini bertujuan untuk menentukan THDv dan THDi peralatan listrik dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014, dan faktor daya mengacu standar faktor daya PLN $\geq 0,85$. Hasil analisis data menunjukkan peralatan listrik ini memiliki THDv yang memenuhi standar. Peralatan listrik kategori beban nonlinier, umumnya menggunakan komponen elektronik, THDi 118,36 % hingga 216,42% dan faktor daya 0,36 hingga 0,6. Peralatan listrik untuk menggerakkan motor listrik, THDi dan faktor daya bervariasi, THDi 7,60% hingga 22,73% dan faktor daya 0,46 hingga 0,98. Peralatan listrik beban linier, THDi 1,07% hingga 2,10%, dan faktor daya 0,98 hingga 1,0. (Eva Magdalena Silalahi 2024)

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Eva Magdalena Silalahi et al. (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”, dalam Jurnal Fokus Elektroda, Vol.6 No.1 hal.54-62, 28 Februari 2021, dimana hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan

enam puluh lampu kombinasi LHE dan LED secara bersamaan akan menyebabkan tingkat harmonisa arus 63,97% yang melampaui batasan dari IEEE Standard 519-2014. Arus harmonisa terbesar terjadi pada orde 3 dengan THDi sebesar 74% dan orde 5 dengan THDi sebesar 37% dan THDv sebesar 2,4% yang berada di bawah ketentuan IEEE Std 519-2014 sebesar 5%. Karena THDi tinggi, PF 0,722 lebih rendah dari 0,85 yang dibutuhkan PLN. Karena harmonisa, faktor daya aktual adalah 0,608, yang lebih rendah dari 0,722. (Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, and Robinson Purba 2021)

Penelitian oleh Feren Susanto et al. (2021) yang berjudul: “*Simulation of passive filter design to reduce Total Harmonic Distortion (THD) in Energy-Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diodes (LED)*”, membahas perancangan sistem filter pasif untuk Lampu Hemat Energi (LHE) dan lampu LED dengan menggunakan MATLAB Simulink. Untuk menurunkan tingkat harmonisa arus, maka dirancang *LC single tuned passive filter*. Filter yang dirancang bekerja pada frekuensi 50 Hz ini diharapkan mampu menurunkan tingkat harmonisa pada orde harmonik 3, 5, 7, 9, dan 11, yang memenuhi standar IEEE 519-2014. (Feren Susanto et al. 2021)

Penelitian yang membahas tentang “*Current Controller with FOPI Modification for VSI-based Active Power Filter*”, oleh Antonius Doddy Tyas Prasetyo et al (2025), menyatakan bahwa integrasi sistem fotovoltaik (PV) ke dalam jaringan, dikombinasikan dengan beban nonlinier dan aliran daya dua arah, berdampak signifikan pada stabilitas tegangan jaringan dan distorsi harmonik total (THD) dalam sistem distribusi tegangan rendah. Studi ini mengusulkan penerapan Filter Daya Aktif (APF) untuk

meningkatkan kualitas daya (PQ) dan mengurangi distorsi harmonik yang disebabkan oleh beban nonlinier. Distorsi harmonik dari beban nonlinier menimbulkan risiko besar kerusakan peralatan elektronik dan menurunkan kualitas daya secara keseluruhan. APF yang diusulkan menggunakan pengontrol *Fractional Order Proportional-Integral* (FOPI) yang diimplementasikan melalui *Voltage Source Inverter* (VSI). Efektivitas pengontrol FOPI dievaluasi melalui simulasi dan dibandingkan dengan pengontrol PI konvensional. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem yang dikendalikan FOPI berhasil mengurangi THD arus untuk memenuhi standar IEEE 519. (Antonius Doddy Tyas Prasetyo, Dery Elfando, and Eva Magdalena Silalahi 2025)

Penelitian yang dilakukan oleh Antonius Doddy Tyas Prasetyo, et al. (2021), membahas tentang “*Reducing of total harmonic distortion by simulating passive filters to suppress harmonic currents with the case: faculty of engineering building, Universitas Kristen Indonesia Jakarta*”. Penelitian ini dilakukan di Gedung Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta yang terdapat banyak kombinasi beban seperti komputer, berbagai jenis lampu, peralatan laboratorium seperti transformator, motor listrik dan sebagainya. Penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif. Pengumpulan data dilakukan langsung di panel utama. Melalui nilai-nilai tersebut dapat diketahui apakah nilai dan orde harmonik dominan ganjil tersebut memenuhi standar IEEE 519-2014 atau tidak. Perhitungan dan analisis hasil pengukuran menunjukkan bahwa %THDI di gedung FT UKI belum memenuhi standar. Oleh karena itu, perlu dilakukan simulasi perancangan filter untuk menurunkan %THDI agar hasilnya

dapat memenuhi standar IEEE 519-2014. (Antonius Doddy Tyas Prasetyo et al. 2021)

Penelitian dengan topik yang sama tahun 2021 dilakukan oleh Dery Elfando et al., berjudul “*Reducing of total harmonic distortion using passive filter simulation to suppress harmonic currents with the case: General Hospital, Universitas Kristen Indonesia Jakarta*”. Hasil pengukuran THD pada Panel Distribusi Utama (MDP) RSUD UKI didapatkan nilai THD tegangan bervariasi antara 0,7877% - 2,4363% dan THD arus bervariasi antara 5,3073% - 9,2363%, yang melebihi standar IEEE 519-2014. Dengan simulasi desain *LC single tuned filter*, THD arus menurun dalam nilai standar. Nilai THD arus setelah pemasangan filter pada tiga MDP RSUD UKI, yaitu di MDP A 1,72 persen, di MDP B 0,64 persen, dan di MDP C 1,30 persen. (Dery Elfando et al. 2021)

Penelitian yang dilakukan oleh Nugraha et al. (2017) tentang “*Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa Pada Pemasangan Grid Tie Inverter Dengan Menggunakan Simulink MATLAB*”, menganalisis distorsi harmonisa pada pemasangan grid tie inverter menggunakan Simulink MATLAB dan menemukan bahwa nilai Total Harmonic Distortion (THD) dapat dikurangi dengan penggunaan filter pasif, meskipun masih melebihi standar IEEE 519-1992. (Nugraha, Partha, and Wijaya 2017)

Penelitian yang dilakukan oleh Afin (2015) tentang “*Desain dan Simulasi Filter Aktif Shunt Multilevel Inverter untuk Kompensasi Harmonisa Akibat Penggunaan Beban Non-Linear*”, merancang dan menganalisis rancang pemodelan filter aktif shunt multilevel inverter tiga tingkat sebagai upaya untuk mengurangi *Total Harmonic Distortion* (THD) dalam sistem kelistrikan. Software

MATLAB Simulink R2009a digunakan untuk membuat pemodelan dan melakukan simulasi. THDi sebelum pemasangan filter aktif shunt pada fasa R=45.09%, fasa S=73.77% dan fasa T=54.66%. Pemasangan filter aktif shunt multilevel inverter H-bridge tiga tingkat dengan menggunakan komponen switching IGBT mampu mengurangi THDi pada fasa R menjadi 1.78%, fasa S=0.93% dan fasa T=0.88%. Sedangkan saat menggunakan komponen ideal switch THDi pada fasa R=1.78%, fasa S=0.92% dan fasa T=0.91%. Sistem dengan pemasangan filter aktif shunt multilevel inverter diode clamped tiga tingkat menggunakan komponen IGBT mampu mengurangi THDi fasa R=0.98%, fasa S=0.37% dan fasa T=0.63% dan dengan menggunakan komponen ideal switch fasa R=2%, fasa S=0.82% dan fasa T=1.09%. (Afin 2015)

Pemanfaatan perangkat lunak MULTISIM dalam analisis rangkaian sistem kelistrikan, termasuk PLTS dan harmonisa, telah banyak dilakukan. MULTISIM menyediakan berbagai *tools* dan simulasi yang memungkinkan peneliti untuk memodelkan, menganalisis, dan memvisualisasikan karakteristik sistem dengan akurat dan efisien.

Penelitian ini membahas harmonisa yang ditimbulkan oleh inverter, dengan tujuan untuk menganalisis harmonisa pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* menggunakan Multisim, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam meminimalisir tingkat harmonisa inverter.

Tujuan penulis melakukan penelitian adalah sebagai berikut :

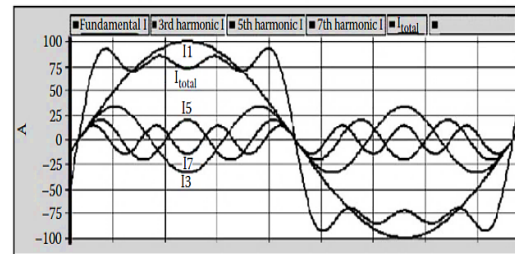
- 1 Mengetahui tingkat harmonisa arus dan tegangan pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid*.
- 2 Bila tingkat harmonisa pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid*

melebihi batas maksimum standar IEEE 519-2014 (*The Institute of Electrical and Electronics Engineers* 2014), maka akan dirancang rangkaian filter aktif *low pass* untuk menurunkan tingkat harmonisa sesuai standar.

KERANGKA TEORI

Harmonisa

Harmonisa pada sinyal listrik merujuk pada gelombang sinyal listrik dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi dasar sistem.



Gambar 1. Gelombang Sinusoidal yang mengalami distorsi. (George J 2001)

Gambar 1 menyajikan gelombang sinyal listrik dengan orde (h) frekuensinya merupakan kelipatan bilangan bulat ganjil dari frekuensi dasar (orde 1) yaitu: orde 3 (I_3), orde 5 (I_5), dan orde 7 (I_7) terhadap orde 1 frekuensi dasar (I_1). Dan bila gelombang sinyal dengan orde frekuensinya kelipatan bilangan bulat ganjil dijumlahkan terhadap gelombang frekuensi dasar (orde 1), akan menghasilkan gelombang yang terdistorsi (I_{total}). (George J 2001)

Total Harmonic Distortion (THD) (Turan Gonen 2014)

1. Indeks Harmonik

Distorsi harmonik total merupakan indeks penting, untuk memperlihatkan pengaruh harmonik pada komponen sistem tenaga ketika menganalisis harmonik (THD). THD adalah perbandingan (rasio) antara nilai rms

(nilai amplitudo) dengan rms frekuensi dasar.

Bentuk gelombang periodik dengan harmonic, akan dibandingkan dengan bentuk gelombang sinusoidal, menggunakan nilai THD ini. THD adalah 0% untuk gelombang sinusoidal murni, sedangkan untuk mengetahui THD untuk arus dan tegangan, dapat menggunakan rumus berikut ini.

2. THDi (THD arus)

Persamaan THDi untuk arus adalah:

$$THD_i = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \dots(1)$$

dimana persamaan (2.10) merupakan perhitungan yang ditujukan untuk mencari nilai total dari distorsi harmonisa arus, yang pada umumnya diberikan sebagai sebuah persentase (%) (dengan mengalikan hasil sebelumnya per 100).

THDi sebagai fungsi dari total rms arus, yaitu:

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^N I_{n,rms}^2} \dots(2)$$

Dapat ditulis,

$$THD_i = \sqrt{\left(\frac{I_{rms}}{I_{1,rms}}\right)^2 - 1} \dots(3)$$

dimana persamaan (4) ditujukan untuk menghitung nilai r.m.s. dari arus tiap orde harmonisanya dimana nilai arus rms tersebut merupakan akar dari jumlah aljabar komponen arus orde harmonisa.

$$I_{rms} = I_{1,rms} \sqrt{1 + THD_i^2} \dots(4)$$

Pada persamaan (3) merupakan persamaan yang ditujukan untuk menghitung THD arus, sedangkan persamaan (4) ditujukan untuk menghitung arus rms.

3. THDv (Tegangan THD)

Persamaan THDv untuk tegangan adalah:

$$THD_V = \sqrt{\sum_{n=2}^N \left(\frac{V_n}{V_{1,rms}}\right)^2} \dots(5)$$

$$THD_V = \sqrt{\left(\frac{V_{rms}}{V_{1,rms}}\right)^2 - 1} \dots(6)$$

dimana persamaan (6) ditujukan untuk menghitung THD tegangan. THD tegangan tersebut rasio penjumlahan nilai rms seluruh komponen harmonisa tegangan hingga orde tertentu terhadap nilai rms komponen tegangan fundamental.

THDv sebagai fungsi dari total rms tegangan, yaitu:

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^N V_{n,rms}^2} \dots(7)$$

Persamaan (6) dapat diubah menjadi persamaan (8) berikut ini:

$$V_{rms} = V_{1,rms} \sqrt{1 + THD_V^2} \dots(8)$$

dimana,

$V_{1,rms}$ = tegangan rms pada frekuensi dasar.

$I_{1,rms}$ = arus rms pada frekuensi dasar.

Faktor Daya Sistem

Daya rata-rata pada tegangan dan arus sinusoidal murni dapat dinyatakan dalam persamaan (9):

$$P_{avg} = \frac{1}{2} V_m I_m \cos \theta \dots(9)$$

$$P_{avg} = V_{rms} I_{rms} \cos \theta \dots(10)$$

dengan,

$$V_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} V_m \dots(11)$$

$$I_{rms} = \frac{1}{\sqrt{2}} I_m \dots(12)$$

dimana, $\cos \theta$ adalah faktor daya (PF)

$$PF = \cos \theta = \frac{P}{S_{1,rms}} \dots(13)$$

Persamaan (10) dapat ditulis sebagai persamaan (13) sebagai berikut pada frekuensi dasar:

$$P = V_{1,rms} I_{1,rms} \cos \theta \quad \dots(13)$$

Ketika arus datang sebelum tegangan, maka faktor dayanya *leading*. Dan saat arus datang setelah tegangan, maka faktor dayanya *lagging*.

Untuk menghitung *True Power Factor* (TPF) dapat menggunakan Persamaan (14): (George J 2001)

$$\text{TPF} = \text{PF} \times \text{DPF} \quad \dots(14)$$

dimana:

$$\text{PF} = \cos \theta = \frac{P}{S_{1,rms}} \quad \dots(13)$$

dan,

$$\text{DPF} = \frac{1}{\left(\sqrt{1 + \text{THD}_V^2}\right) \left(\sqrt{1 + \text{THD}_I^2}\right)} \quad \dots(15)$$

dengan,

- **Faktor daya** = $\text{PF} = P/S_{1,rms}$
- **DPF** berarti faktor daya distorsi (*Distortion Power Factor*).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif yang mengumpulkan data tingkat harmonisa tegangan dan arus pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* dengan menggunakan alat ukur *Power Quality Analyzer* (PQA) Kyoritsu KEW 6315.

Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengambilan data untuk kebutuhan analisis penelitian dilakukan pada 15 – 23 Mei 2025 pada pukul 06.00 – 18.00 WIB. Objek penelitian yaitu pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* berlokasi di Laboratorium Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik UKI.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian kliteratur dan penelitian yang bersifat kuantitatif, dengan tahapan penelitian sebagai berikut:

1.1 Identifikasi Masalah

Sebelum melakukan penelitian, identifikasi masalah sangat penting. Tujuannya adalah untuk mendapatkan kemampuan untuk menangkap dan menjelaskan fenomena yang sedang terjadi, serta untuk mengidentifikasi masalah yang akan dihadapi.

1. Studi Literatur

Tujuan tahap awal penelitian ini diawali dengan kajian pustaka terhadap teori-teori dasar yang berkaitan dengan PLTS *on-grid*, inverter, fenomena harmonisa, serta metode analisis harmonisa, yang diperoleh baik dari buku atau jurnal dengan topik penelitian dari berbagai sumber.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah tahap dan proses yang paling penting yang harus dilakukan dalam penelitian. Hal ini bertujuan agar penulis mendapatkan informasi atau mengetahui Tingkat harmonisa arus dan tegangan pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid*.

3. Pengolahan Data

Setelah proses pengumpulan data dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data. Tahapan ini bertujuan untuk mengkaji serta mengevaluasi kembali data yang telah diperoleh sebelumnya, dan analisis ini dilanjutkan ke tahap pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak Multisim.

4. Disain dan Simulasi

Penelitian ini akan melakukan proses disain filter berdasarkan hasil pengolahan data dan dilanjutkan dengan simulasi menggunakan Multisim.

5. Analisis Hasil Simulasi

Bertujuan menganalisis hasil

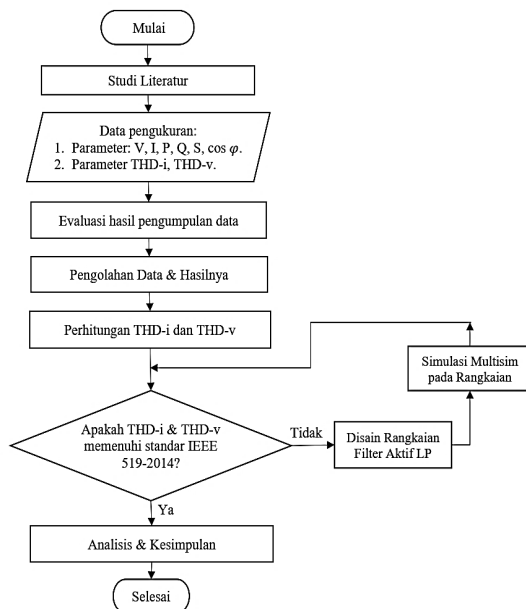
simulasi mengacu pada standar yang berlaku.

6. Kesimpulan

Bagian kesimpulan berfungsi sebagai penutup yang merangkum secara keseluruhan hasil dari penelitian yang telah dilaksanakan.

Diagram Alir Penelitian

Diagram alir menunjukkan urutan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian. tujuannya untuk membuat penelitian lebih mudah dipahami. Gambar 2 berikut menunjukkan diagram alir penelitian ini.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian.

Tahapan Simulasi dan Pemodelan.

Langkah-langkah berikut akan dilakukan dalam proses simulasi rangkaian menggunakan Multisim:

- Perhitungan awal untuk mencari nilai komponen: TPF (*True Power Factor*), C dan nilai parameter rangkaian filter aktif *low pass* yaitu nilai R_F , C_F and R .
- Setelah rangkaian filter aktif *low pass* dirancang, dilakukan simulasi rangkaian filter aktif *low pass*

menggunakan Multisim.

- Selanjutnya, hasil simulasi dianalisis dengan mengacu pada standar faktor daya dan IEEE 519-2014.
- Dan terakhir, ditarik kesimpulan berdasarkan hasil analisa hasil simulasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian berikut ini akan membahas data hasil pengukuran harmonisa arus dan tegangan pada sisi keluaran inverter PLTS on-grid. Setelah data hasil pengukuran diolah dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014, selanjutnya dianalisa apakah ditemukan tingkat harmonisa arus atau tegangan yang melebihi standar. Bila melebihi standar harmonisa, maka akan disain rangkaian filter aktif *low-pass* dan dilakukan simulasi rangkaian filter menggunakan perangkat lunak Multisim.

Data Hasil Pengukuran Harmonisa

Penelitian ini menggunakan PQA *Kyoritsu KEW-6315* yang mengukur tingkat harmonik pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid*.

Pengukuran langsung pada main panel dimana *clamp current* KEW 8128 untuk mendapatkan data harmonisa arus. Hasil pengukuran diperoleh data yaitu: tegangan, arus, daya, faktor daya, THD-v, THD-i, sudut fasa arus dan tegangan, dengan orde 1 sampai orde 15.

Tabel 1 menunjukkan data hasil pengukuran langsung menggunakan PQA *Kyoritsu KEW 6315* pada sisi keluaran inverter PLTS.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pada Sisi Keluaran Inverter PLTS *on-grid*.

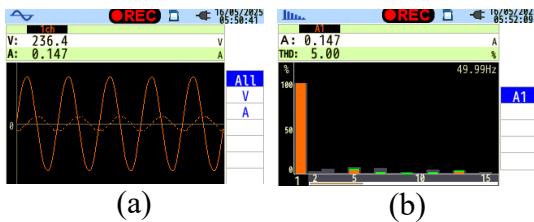
Parameter Listrik	Hasil Pengukuran
Tegangan (Volt)	239.45
Arus, I (A)	1.89
Daya aktif, P (W)	777.57

Daya reaktif, Q (Var)	128.15
Daya semu, S (VA)	801.44
Faktor Daya	0.83
Frekuensi, f (Hz)	50.02
THD-V (%)	1.55
THD-I (%)	5.38

Pada Tabel 1, diperoleh hasil, nilai THD-v = 1,55%, yang dalam batas maksimum 8% dari standar IEEE 519-2014. Namun, nilai THD-i = 5,38% pada sisi keluaran inverter, melebihi batas maksimum 5% dari standar IEEE 519-2014.

Pengolahan Data Hasil Pengukuran

Sampel pengukuran bentuk gelombang V (tegangan) dan I (arus) ditunjukkan oleh gambar 3 dengan nilai THD-i = 5,0%.



Gambar 3. (a). Sampel pengukuran bentuk gelombang V dan I, (b). Spektrum harmonik sampel pengukuran harmonisa arus dengan THD-i 5,0 persen.

Berikut Tabel 2 memperlihatkan data hasil pengukuran THD-i dan dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014.

Tabel 2. Hasil Pengukuran THD-i dan Standar IEEE 519-2014.

Orde n	THD-i (A)	THD-i (%)
1	1.471	100.0
2	0.005	0.306
3	0.060	4.090
4	0.004	0.264
5	0.035	2.358
6	0.003	0.195
7	0.028	1.910

8	0.002	0.108
9	0.022	1.476
10	0.002	0.104
11	0.026	1.762
12	0.001	0.083
13	0.021	1.440
14	0.001	0.083
15	0.016	1.102

Berdasarkan data pada Tabel 2, untuk sistem beban listrik rumah tangga, nilai sistem THD-i = 5,38%, masih melebihi batas maksimum 5% standar IEEE 519-2014. Mengacu data individu harmonisa orde ganjil standar IEEE 519-2014 untuk orde 3 sampai orde 11 dengan batas maksimum 4%, maka diperoleh urutan orde dominan arus harmonisa pada Tabel 2, yaitu:

- Arus harmonik orde 3 sebesar 0,060A atau THD-i₃ = 4,090%, masih melebihi 4% dari standar IEEE 519-2014.

Disain dan Simulasi Filter

Berdasarkan data Tabel 1, diperoleh nilai faktor daya sebesar 0,83. Namun karena adanya pengaruh THD-v sebesar 1,55% dan THD-i sebesar 5,38% maka perhitungan TPF (*True Power Factor*) berdasarkan persamaan (14), diperoleh TPF = 0,83 yang tidak memenuhi standar faktor daya PLN $\geq 0,85$.

Perhitungan Kapasitas Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya

Untuk menentukan besarnya kapasitas kapasitor yang diperlukan untuk mereduksi daya reaktif dari $\cos \theta_1 = \text{TPF} = 0,83$ menjadi $\cos \theta_2 = 0,95$, dengan data tabel 1 yaitu: P = 777,57 Watt, dan V = 239,45 volt

Peningkatan faktor daya yang diinginkan adalah $\cos \theta_2 = 0,95$. Maka, $\theta_1 = \cos^{-1} 0,83 = 33,90^\circ$ dan $\theta_2 = \cos^{-1} 0,95 = 18,19^\circ$.

Besar nilai kapasitor C yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_c = P \times (\tan \theta_1 - \tan \theta_2)$$

$$Q_c = 777,57 \times (\tan 33,90^\circ - \tan 18,19^\circ)$$

$$Q_c = 266,70 \text{ VAR}$$

Diketahui: $Q_c = 266,70 \text{ VAR}$ dengan $f = 50 \text{ Hz}$.

Maka diperoleh,

$$C = \frac{Q_c}{V^2 (2\pi f)} = 14,8 \mu F$$

Kapasitansi kapasitor yang diperlukan sebesar $C = C_f = 14,8 \mu F$ untuk mengubah faktor daya dari $\cos \theta_1 = 0,83$ menjadi $\cos \theta_2 = 0,95$.

Perhitungan Parameter R_F , C_F dan R pada Filter Aktif Low-Pass

Dengan diperoleh nilai $C_f = 14,8 \mu F$ pada frekuensi 50 Hz, maka akan dihitung nilai R_f yaitu:

$$R_f = \frac{1}{2\pi f C_f} = 215 \Omega$$

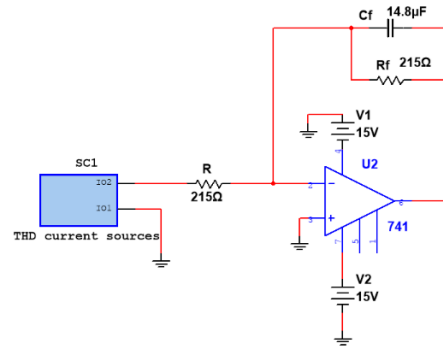
Tabel 3 menampilkan data komponen rangkaian filter aktif *low pass* aktif berdasarkan hasil perhitungan.

Tabel 3. Komponen Filter Aktif *Low Pass*.

Komponen	Nilai komponen
C_F	$14,8 \mu F$
R_F	215Ω
R	215Ω

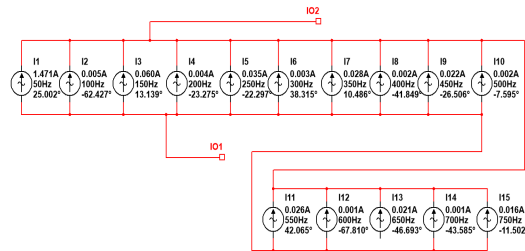
Rangkaian Filter Aktif *Low Pass*

Gambar 4 menunjukkan rangkaian filter aktif *low pass* yang dibuat menggunakan perangkat lunak Multisim, dengan blok sumber arus THD-i dari orde 1 hingga orde 15 dan frekuensi *cut-off* 50 Hz.



Gambar 4. Rangkaian Filter Aktif *Low Pass*.

Pada Gambar 4 diatas, blok THD *current sources* diperlihatkan secara detail dalam Gambar 5.

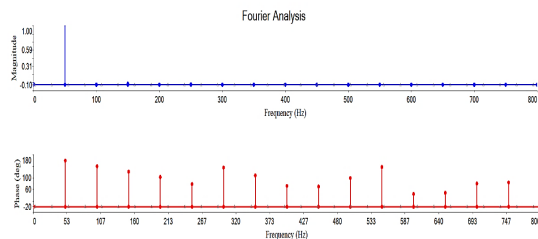


Gambar 5. Blok THD *current sources*.

Analisis Hasil Simulasi

Setelah simulasi Multisim dilakukan pada rangkaian filter aktif *low pass*, diperoleh nilai THD-i turun menjadi 2,063 %, yang memenuhi batas maksimum 5% standar IEEE 519-2014.

Dari hasil simulasi, diperoleh faktor daya $= \cos (180^\circ - 160,567^\circ) = 0,94$, memenuhi standar faktor daya $\geq 0,85$. Hasil simulasi diperlihatkan pada Gambar 6 dan Tabel 4 berikut ini.



Gambar 6. Hasil simulasi Multisim.

Multisim.

Tabel 4. Nilai THD-i setelah difilter.

orde n	F (Hz)	Arus (A)	Sudut	Norm. Mag	Norm. Phase
0	0	0.0124137	0	0.012052	0
1	50	1.02998	160.567	1	0
2	100	0.00375706	140.449	0.003648	-20.117
3	150	0.0189172	121.71	0.018367	-38.856
4	200	0.00136808	103.252	0.001328	-57.315
5	250	0.00683847	78.9275	0.006639	-81.639
6	300	0.00066855	135.954	0.000649	-24.613
7	350	0.00392409	108.939	0.00381	-51.627
8	400	0.00025839	71.8217	0.000251	-88.745
9	450	0.00239379	70.0813	0.002324	-90.485
10	500	0.00020713	99.9727	0.000201	-60.594
11	550	0.00235895	138.23	0.00229	-22.337
12	600	4.1825E-05	43.949	4.06E-05	-116.62
13	650	0.00157844	48.3166	0.001533	-112.25
14	700	4.3855E-05	80.5951	4.26E-05	-79.971
15	750	0.00105363	84.1095	0.001023	-76.457

Selanjutnya, pada Tabel 5 diperlihatkan nilai THD-i orde 3 hingga orde 10 setelah difilter menggunakan rangkaian filter aktif *low pass*.

Tabel 5. Nilai THD-i setelah difilter.

Orde n	f (Hz)	THD-i Setelah Difilter	
		THD-i (A)	THD-i (%)
1	50	0.012	1.205
2	100	1.030	100.00
3	150	0.004	0.365
4	200	0.019	1.837
5	250	0.001	0.133
6	300	0.007	0.664
7	350	0.001	0.065
8	400	0.004	0.381
9	450	0.000	0.025
10	500	0.002	0.232
11	550	0.000	0.020
12	600	0.002	0.229
13	650	0.000	0.004
14	700	0.002	0.153
15	750	0.000	0.004

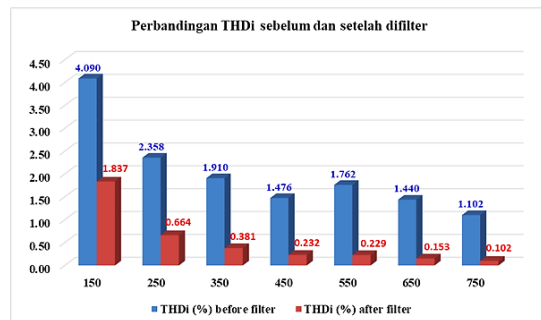
Selanjutnya, pada Tabel 6 memperlihatkan THDi sebelum difilter dan setelah difilter melalui simulasi

Tabel 6. Perbandingan nilai THD-i sebelum dan sesudah difilter.

Orde n	THDi (%) pre-filter	THDi (%) post-filter
1	100.00	100.000
2	0.306	0.365
3	4.090	1.837
4	0.264	0.133
5	2.358	0.664
6	0.195	0.065
7	1.910	0.381
8	0.108	0.025
9	1.476	0.232
10	0.104	0.020
11	1.762	0.229
12	0.083	0.004
13	1.440	0.153
14	0.083	0.004
15	1.102	0.102

Hasil reduksi THD-i setelah difilter dibandingkan dengan THD-i sebelum difilter, yang ditampilkan dalam Gambar 6 berupa grafik batang yang cenderung menurun nilai THD-i seiring bertambahnya nilai frekuensi, Nilai THD-i setelah difilter disajikan dalam batang warna biru, dan THD-i sebelum difilter disajikan dalam batang warna merah.

Gambar 7 menunjukkan nilai THD-i sebelum difilter dan setelah difilter menggunakan rangkaian filter aktif *low pass*,



Gambar 7. Kurva Penurunan THD-i orde 3, 5, 7, 9, 11, 13 dan 15.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisa hasil simulasi rangkaian filter aktif *low pass* diatas, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran menggunakan PQA, diperoleh bahwa THD-v pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* sebesar 1,55% masih dibawah nilai batas standar IEEE, dan nilai THD-i sebesar 5,38% melebihi standar IEEE 519-2014, Dan diperoleh THD-Dery dominan orde 3 sebesar 4,09%, dengan memperhitungkan THDv dan THDi, maka diperoleh TPF 0,83, belum memenuhi standar faktor daya $\geq 0,85$,
2. Setelah didisain rangkaian filter aktif *low pass* dan dilakukan simulasi Multisim, diperoleh hasil bahwa filter aktif dapat mereduksi THD-i menjadi 2,063%, yang memenuhi standar IEEE 519-2014. Dan juga, meningkatkan faktor daya menjadi 0,94, yang memenuhi standar faktor daya $\geq 0,85$. Selain itu, THD-i orde 3 direduksi dalam batas standar.

Untuk pengembangan lebih lanjut masalah harmonisa, perlu penelitian lebih lanjut untuk meminimalisir tingka harmonisa pada keluaran inverter, agar keluaran inverter sesuai standar.

DAFTAR PUSTAKA

- Afin, Z. S. 2015. *Desain Dan Simulasi Filter Aktif Shunt Multilevel Inverter Untuk Kompensasi Harmonisa Akibat Penggunaan Beban NonLinear*. Serang.
- Antonius Doddy Tyas Prasetyo, Dery Elfando, and Eva Magdalena Silalahi. 2025. "Current Controller with FOPI Modification for VSI-Based Active Power Filter." *Emitor: Jurnal Teknik Elektro* 25(1):33–38.
- Antonius Doddy Tyas Prasetyo, Eva Magdalena Silalahi, Stepanus, Bambang Widodo, and Robinson Purba. 2021. "Reducing of Total Harmonic Distortion by Simulating Passive Filters to Suppress Harmonic Currents with the Case: Faculty of Engineering Building, Universitas Kristen Indonesia Jakarta." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 878(1):012060. doi:10.1088/1755-1315/878/1/012060.
- Dery Elfando, Eva Magdalena Silalahi, Stepanus, Bambang Widodo, and Robinson Purba. 2021. "Reducing of Total Harmonic Distortion Using Passive Filter Simulation to Suppress Harmonic Currents with the Case: General Hospital, Universitas Kristen Indonesia Jakarta." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 878(1):012061. doi:10.1088/1755-1315/878/1/012061.
- Elisabet Oppeng, Bambang Widodo, and Robinson Purba. 2024. "Analisa Harmonisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off-Grid 290 Wp Dengan Kombinasi Beban Linier Dan NonLinier Di Gedung Fakultas Teknik UKI - Jakarta Menggunakan MATLAB Simulink." *Ektrokom: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 7(1):1–13.
- Eva Magdalena Silalahi. 2024. "Analisa Harmonisa Dan Faktor Daya Peralatan Listrik Rumah Tangga Pada Sistem Tegangan Rendah 220 V." *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan* 8(4):2545–56. doi:10.70609/gtech.v8i4.5352.
- Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, and Robinson Purba. 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, Telekomunikasi, Komputer, Elektronika Dan Kendali* 6(1):54.
doi:10.33772/jfe.v6i1.16044.
- Fahmi Naufala Mumtaz, Indhana Sudiharto, and Ony Qudsi. 2022. "Shunt Active Power Filter Untuk Meredam Harmonisa Beban Non-Linear Satu Fasa." *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro* 16(1):9–19.
- Feren Susanto, Eva Magdalena Silalahi, Stepanus, Bambang Widodo, and Robinson Purba. 2021. "Simulation of Passive Filter Design to Reduce Total Harmonic Distortion (THD) in Energy-Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diodes (LED)." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 878(1):012059. doi:10.1088/1755-1315/878/1/012059.
- George J. Wakileh. 2001. *Power Systems Harmonics: Fundamental, Analysis and Filter Design*. 3rd ed. Berlin: Springer.
- Nugraha, I. D. G. B. S., C. G. I. Partha, and I. W. A. Wijaya. 2017. "Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa Pada Pemasangan Grid Tie Inverter Dengan Menggunakan Simulink MATLAB." *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro* 16(3):72–78.
- Prabowo, D. N., M. Haddin, and D. Nugroho. 2016. "Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis MATLAB/SIMULINK." *Media ElektriKA* 8.
- The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2014. *IEEE Std 159TM-2014, Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*.
- Turan Gonen. 2014. *Electric Power Distribution Engineering Third Edition*. 3rd ed. CRC Press, Taylor & Francis Group.