

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dengan pertumbuhan populasi dan teknologi, kebutuhan listrik terus meningkat. 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, yang sehingga menghasilkan melalui pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).

PLTS solusi energi yang bersih dan berkelanjutan. Panel surya dan inverter digunakan dalam sistem PLTS untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Inverter mengubah arus searah (DC) dari panel surya menjadi arus bolak-balik (AC), yang dapat digunakan untuk berbagai kepentingan lainnya, termasuk mengoperasikan peralatan listrik seperti mesin pencacah sampah.

Dalam pengoperasiannya, inverter dapat menghasilkan harmonisa pada tegangan dan arus keluaran. Gelombang harmonisa adalah gelombang sinusoida menggunakan frekuensi fundamental sebagai kelipatan bilangan bulatnya (frekuensi 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.

Teknologi *Photovoltaic* (PV) atau salah satu sumber energi terbarukan yang berkembang pesat sel surya. PV bekerja dengan energi listrik melalui efek fotolistrik sel surya berbasis semikonduktor.. Dengan meningkatnya kebutuhan energi dunia serta kesadaran akan pentingnya pengurangan emisi karbon, PV menjadi komponen vital sejak perubahan energi berkelanjutan. Sistem PV dapat digunakan dalam berbagai skenario, seperti *terhubung ke jaringan listrik* utama) dan off-grid (dengan sistem penyimpanan energi). Perkembangan terkini dalam teknologi PV mencakup peningkatan efisiensi sel surya, integrasi dengan sistem

penyimpanan energi seperti baterai, serta penerapan dalam sistem energi hybrid yang mengombinasikan beberapa sumber energi terbarukan.

Beberapa tantangan utama dalam pengembangan sistem PV meliputi efisiensi konversi energi yang masih terbatas, ketergantungan pada cuaca serta biaya awal investasi yang tinggi. sehingga, penelitian dan inovasi PV terus dilakukan untuk meningkatkan efisiensi sistem, memperpanjang umur pakai, serta menurunkan biaya produksi dan instalasi.

Transisi ke energi terbarukan, khususnya sistem fotovoltaik (PV), sangat penting dalam mencapai tujuan netralitas karbon. Namun, pemantauan kinerja yang efektif melalui berbagi data tetap menjadi tantangan, terutama di wilayah dengan kondisi lingkungan yang unik. Studi ini mengatasi kesenjangan ini dengan memperkenalkan repositori data publik pertama Malta untuk PV di bawah proyek PROMISE. Inisiatif ini mengintegrasikan sensor kelas laboratorium presisi tinggi yang sesuai dengan standar IEC untuk memastikan akuisisi dan pemrosesan data yang kuat. Metodologi ini dibangun berdasarkan praktik terbaik internasional, menggunakan kerangka kerja pemantauan canggih untuk menangkap parameter meteorologi dan sistem dengan resolusi temporal yang tinggi. Dengan menggunakan tiga dari sepuluh Laboratorium *PV Living* di Malta, sistem ini mencerminkan instalasi umum dalam iklim Wilayah Kepulauan Mediterania dan konteks Malta. Pengumpulan dan pemrosesan data mematuhi standar Eropa dan praktik yang ditetapkan dari repositori data publik yang ada, memastikan kompatibilitas dan interoperabilitas. Dengan memanfaatkan platform sumber terbuka, repositori memungkinkan visualisasi waktu nyata dan penyediaan kumpulan data historis terstruktur. Metrik kinerja, seperti rasio kinerja DC, selanjutnya digunakan untuk menyoroti nilai berbagi data dan kolaborasi dalam mengoptimalkan kinerja sistem dan memajukan strategi pemeliharaan prediktif. Pekerjaan ini menetapkan kerangka kerja yang dapat diskalakan untuk pemantauan dan berbagi data PV lokal, memajukan penelitian dan inovasi dalam energi terbarukan, dan mempromosikan partisipasi Malta dalam program-program asing. Perluasan di masa mendatang bertujuan untuk menyertakan laboratorium tambahan, mengotomatiskan pengunggahan data, dan mengintegrasikan alat

deteksi kesalahan yang digerakkan oleh kecerdasan buatan (AI), yang meningkatkan utilitas dan keandalan metode.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) menggunakan matahari sebagai sumber daya utamanya. Ada dua jenis utama PLTS: yang terhubung langsung ke jaringan (on-grid) dan yang tidak terhubung ke jaringan (off-grid). Sistem on-grid terhubung langsung ke PLN dan tidak bergantung pada baterai untuk sumber daya sekunder. Sekalipun, sistem off-grid tidak terhubung ke jaringan Perusahaan Listrik Negara (PLN), tetapi sistem off-grid membutuhkan baterai. Listrik Negara (PLN) dan memerlukan 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 baterai atau *converter* menjadi arus bolak-balik (AC), yang dapat digunakan untuk mengoperasikan berbagai peralatan listrik.

Beban non-linear cenderung menarik arus yang tidak sinusoidal, yang dapat menghasilkan harmonisa pada sistem kelistrikan. Harmonisa adalah gelombang sinusoida kelipatan bilangan bulat frekuensi fundamental dengan frekuensi. Harmony dapat menyebabkan banyak masalah, termasuk peningkatan rugi-rugi daya, gangguan pada peralatan elektronik, dan penurunan kualitas daya secara keseluruhan.

Selain harmonisa, faktor daya (*power factor*) juga merupakan indikator penting dari efisiensi penggunaan daya listrik. 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**”, meriset PLTS dengan mencari harmony nya dengan off grid 290wp memakai metode campuran beban non linier dan linier menunjukkan bahwa penggunaan filter LC pasif dapat menurunkan nilai THDi dari 16,42% menjadi

1,81%.[1]

Hasil penelitian Fahmi Naufal Mumtaz, Indhana Sudiharto, dan Ony Asrarul Qudsi dipublikasikan pada tahun 2022 dengan judul: “**Shunt Active Power Filter untuk Meredam Harmonisa Beban Non-Linear Satu Fasa**”, yang dipublikasikan pada Publikasi 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 Kemampuan simulasi SAPF agar menghasilkan harmonisa memenuhi persyaratan yang diakui oleh IEEE 519-2014.[2]

Penelitian oleh Prabowo et al. (2016) berjudul “**Reduksi Harmonisa Dengan Filter Aktif Shunt Berbasis MATLAB/SIMULINK**”, menunjukkan bahwa penggunaan filter shunt aktif dapat mereduksi nilai distorsi harmonik total sistem (THD) kelistrikan rumah sakit, dengan penurunan THD arus sebesar 1,4% fasa R, 1,51% serta fasa S, lalu 1,37% pada fasa T.[3]

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. Komponen listrik beban nonlinier memakai komponen elektronik dengan faktor daya antara 0,36 dan 0,6 dan THDi antara 118,36% dan 216,42%. Motor listrik memerlukan peralatan listrik dengan faktor daya, dengan THDi antara 0,46 dan 0,98 dan 7,60% hingga 22,73%, masing-masing. Faktor daya antara 0,98 dan 1,0, dan perangkat listrik dengan beban linier menerapkan komponen elektronik dengan faktor daya antara 0,36 dan 0,6.[4]

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Eva Magdalena Silalahi, Bambang Widodo, dan R. 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”, dalam Publikasi ilmiah Elektroda, Vol.6 No.1 hal.54-62, 28 Februari 2021, dimana hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan 60 biji LED dan LHE secara bersamaan akan menyebabkan terjadinya distorsi bentuk gelombang arus sebesar 63,97 persen yang melampaui batasan dari IEEE Standard 519-2014. Arus harmonisa terbesar terjadi pada orde orde 3 dengan THD i 74% dan orde 5 dengan THD i 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.[5]

Penelitian oleh Feren Susanto, Eva Magdalena Silalahi, Stepanus, Bambang Widodo, Robinson Purba, tahun 2021, yang berjudul: “*Simulation of passive filter design to reduce Total Harmonic Distortion (THD) in Energy-Saving Lamps (LHE) and Light Emitting Diodes (LED)*”, Mengkaji desain sistem filter pasif untuk lampu hemat energi (LED) dan lampu hemat energi (ELP). dengan MATLAB Simulink untuk memutuskan skala komponen filter pasif. Untuk menyusutkan tingkat harmonik arus, filter pasif LC tunggal disetel. Filter yang dirancang bekerja pada frekuensi 50 Hz ini diharapkan mampu menurunkan tingkat harmonisa pada orde harmonik ke-3, ke-5, ke-7, ke-9, ke-11 agar THD yang dihasilkan oleh LED dan LHE memenuhi persyaratan IEEE 519-2014.[6]

Penelitian yang membahas tentang “*Current Controller with FOPI Modification for VSI-based Active Power Filter*”, oleh Antonius Doddy Tyas Prasetyo, Dery Elfando, Eva Magdalena Silalahi, pada tahun 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 kriteria IEEE519.[7]

Penelitian yang dilakukan oleh Antonius Doddy Tyas Prasetyo, Eva Magdalena Silalahi, Stepanus, Bambang Widodo, Robinson Purba tahun 2021, yang 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 UKI Jakarta FT, yang terdapat banyak kombinasi beban seperti komputer, berbagai jenis lampu, peralatan laboratorium seperti transformator, motor listrik dan sebagainya. Dokumentasi data 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 kriteria IEEE 519-2014.[8]

Studi yang sama dilakukan pada tahun 2021 oleh Dery Elfando, Eva Magdalena Silalahi, Stepanus, Bambang Widodo, Robinson Purba, yang 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%. Nilai THD yang diukur mengacu pada standar IEEE 519-2014. Dengan model desain filter harmonik pasif LC, THD arus menurun dalam nilai standar. Nilai THD arus setelah pemasangan filter pada tiga MDP RSUD UKI, yaitu MDP A sebesar 1,72%, MDP B sebesar 0,64%, dan MDP C sebesar 1,30%.[9]

Penelitian yang dilakukan oleh Nugraha et al. (2017) tentang “**Analisis Pengaruh Distorsi Harmonisa Pada Pemasangan Grid Tie Inverter Dengan**

Menggunakan Simulink MATLAB”, menggunakan Simulink MATLAB menganalisis distorsi harmonisa pada pemasangan grid tie inverter dan menemukan bahwa nilai Total Harmonic Distortion (THD) dapat dikurangi dengan penggunaan filter pasif, meskipun masih melebihi standar IEEE 519-1992.[10]

Penelitian yang dilakukan oleh Afin (2015) tentang “**Desain dan Simulasi Filter Aktif Shunt Multilevel Inverter untuk Kompensasi Harmonisa Akibat Penggunaan Beban Non-Linear**”, mencoba menurunkan Total Harmonic Distortion (THD) sistem kelistrikan dengan membuat dan mengevaluasi pemodelan filter aktif shunt inverter bertingkat tiga. Sebelum filter aktif shunt dipasang, THDi sebesar 45,09% dalam fase R, 73,77% di fase S, dan 54,66% di fase T. Pemodelan dan simulasi dilakukan menggunakan MATLAB Simulink R2009a. THDi pada fase R dikurangi menjadi 1,78% dengan memasang inverter H-bridge tiga tingkat dengan filter aktif shunt multilevel dan komponen switching IGBT, fase S menjadi 0,93%, dan fasa T menjadi 0,88%. Dengan komponen switch ideal, sistem dengan Dengan menggunakan komponen IGBT, filter aktif shunt multilevel inverter diode clamped tiga tingkat dapat mengurangi THDi pada fase R menjadi 0,98%, dan pada fasaa S menjadi 0,37%, dan fasa T menjadi 0,88%.[11]

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 judul “**ANALISA HARMONISA PADA KELUARAN INVERTER PLTS ON-GRID MENGGUNAKAN MULTISIM DI LABORATORIUM PRODI TEKNIK MESIN UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA**” yang bertujuan untuk menganalisis harmonisa pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* menggunakan Multisim, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam meminimalisir tingkat harmonisa inverter.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah penulis jelaskan diatas, maka dapat diidentifikasi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

- 1 Bagaimanakah tingkat harmonisa arus dan tegangan dari sisi keluaran inverter PLTS *on-grid*?
- 2 Bagaimanakah bila tingkat harmonisa pada sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* melebihi batas maksimum standar IEEE 519-2014[12].

1.3 Tujuan Penulisan

Sebagai berikut adalah tujuan penelitian penulis:

- 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, maka akan dirancang rangkaian filter aktif *low pass* untuk menurunkan tingkat harmonisa sesuai standar.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah sangat diperlukan agar pembahasan tidak menjadi luas untuk menjawab pertanyaan diatas meliputi :

- 1 PLTS yang sudah terpasang di Gedung Fakultas Teknik Mesin UKI di Jalan, Mayor Jendral Sutoyo No.2, RT.5/RW.11, Cawang, Kec. Kramatjati, Kota Jakarta Timur, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 13630, sebagai objek penelitian.
- 2 Analisis harmonisa dibatasi pada *Tegangan dan arus total distorsi harmonik (THD) pada* sisi keluaran inverter PLTS sebelum titik sambungan panel, dengan kondisi PLTS tidak terhubung ke beban mesin pencacah.
- 3 Tidak membahas sisi input PLTS yaitu: PLTS menghasilkan tegangan, arus, dan daya langsung ke panel input.
- 4 Studi ini hanya membahas keluaran THD dari inverter, tidak mempertimbangkan gangguan lainnya seperti tegangan lebih, keandalan sistem dan sistem proteksi.
- 5 Perhitungan dan simulasi filter dilakukan menggunakan aplikasi MULTISIM

sebagai alat bantu analisis.

- 6 Tidak membahas tentang aspek ekonomis, gangguan transien, aliran daya, *swell, sag, voltage dip* dan aspek teknis.

1.5 Manfaat Penelitian

Berikut adalah beberapa keuntungan dari penelitian ini:

1. Membagikan informasi kepada pengelola Laboratorium Mesin UKI mengenai kualitas daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS.
2. Mengidentifikasi potensi permasalahan kualitas daya (tingginya harmonisa) dari sisi keluaran inverter.
3. Menyediakan rekomendasi metode mitigasi harmonisa yang dapat diterapkan guna meningkatkan keamanan dan efisiensi sistem PLTS di laboratorium.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan akan dijelaskan secara ringkas dalam pembahasan sistematika berikut:

Bab I : Pendahuluan

Latar belakang masalah penelitian, rumusan dan tujuan, serta metodologi penelitian, batasan, dan sistematika penulisan dibahas dalam bab ini, yang memberikan gambaran umum tentang subjek penelitian.

Bab II : Landasan Teori

Bab ini membahas sejumlah teori mendasar yang akan membantu dalam penyusunan dan penulisan tesis ini. Teori-teori ini mencakup :

1. Pengertian dan prosedur operasi PLTS.
2. Definisi dan sistem ON-Grid.
3. Pengertian DC-AC Inverter
4. Pengertian Filter Aktif
5. Pengertian Filter Aktif *Low Pass*
6. Pengertian Sinusoidal Pure, Sinusoidal semi, dan Sinusoidal Non
7. Pengertian dan pengenalan Multisim

8. Pemodelan dan simulasi Filter Aktif *Low pass* dengan sumber arus harmonisa dari sisi keluaran inverter PLTS *on-grid* menggunakan Multisim.

Bab III: Metodologi Penelitian

Bab ini akan membahas prosedur metodis untuk menganalisis data guna mengatasi tantangan penelitian. Ini akan mencakup tinjauan literatur, pengumpulan data, analisis data, simulasi, dan teknik lain yang digunakan untuk meningkatkan pemahaman dan memperoleh data yang dibutuhkan untuk penelitian.

Bab IV: Hasil Penelitian dan Pembahasan

Bab ini akan menerangkan hasil penelitian, dan akhirnya akan menguraikan dan menelaah implikasinya. Bagian ini penting karena memperjelas hasil penelitian dan menampilkan bagaimana hasil tersebut dapat diterapkan lebih luas.

Bab V: Rangkuman dan Saran

Dalam bab ini, data yang dikumpulkan dari penelitian penulis dianalisis dan diinterpretasikan. Di sisi lain, komentar akan mencakup gagasan untuk memperluas temuan terbaru atau menerapkan temuan tersebut dalam penelitian lebih lanjut. Rekomendasi untuk penelitian tambahan atau cara untuk menerapkan temuan tersebut pada subjek yang lebih spesifik dan relevan juga akan dimasukkan.