



Equivalent: Jurnal Ilmiah Sosial Teknik
Volume 7, Issue 2, 115-131
e_ISSN: 2775-0833
<https://jurnalequivalent.id/index.php/jequi/index>
DOI: doi.org/10.59261/jequi.v7i2.226

Optimasi Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Terhubung Jaringan Berkapasitas 265,29 kWp

***Denny Jumbo Ahmad Arif**

Universitas Muhammadiyah Malang,
Indonesia

Naufal Al Khozy

Universitas Muhammadiyah Malang,
Indonesia

Zulfatman

Universitas Muhammadiyah Malang,
Indonesia

Haneef Nouval Alannibras Humaidi

Universitas Muhammadiyah Malang,
Indonesia

***Corresponding author:**

Denny Jumbo Ahmad Arif, Universitas
Muhammadiyah Malang, Indonesia.
✉ dennyjumbo4@gmail.com

Article Info :

Article history:

Received: July 08, 2025

Revised: September 12, 2025

Accepted: November 19, 2025

Keywords:

on-grid photovoltaic system;
PVsyst; performance
optimization; azimuth
orientation; performance ratio;
renewable energy

Kata Kunci:

PLTS On-Grid; PVsyst; efisiensi
daya; orientasi azimuth; rasio
kinerja; energi terbarukan

Abstract

Background: The increasing demand for renewable energy in the industrial sector demands the design of efficient solar power generation (PLTS) systems that are suited to load profiles. On-grid PV systems need to be optimized to produce maximum energy, maintain reliable performance, and meet operational constraints such as zero-export regulations. This is crucial in industrial warehouses, where load characteristics and location limitations significantly impact system effectiveness.

Aims: This study aims to analyze the performance and optimization of an on-grid PV system with a total installed capacity of 265.29 kWp located in an industrial warehouse in Sidoarjo, focusing on determining the optimal capacity configuration and azimuth orientation.

Methods: The study was conducted using a system simulation approach with PVsyst software. Two capacity configurations, 144.3 kWp and 120.99 kWp, were described at azimuth orientations of -98° and 80° , respectively. Performance evaluation was based on annual energy production, performance ratio (PR), and readiness to meet the operational constraints of the on-grid PV system.

Results: Simulation results show that the 144.3 kWp configuration with an 80° azimuth orientation produces the highest annual energy output of 237 MWh with a PR of 82.7%. Meanwhile, the 120.99 kWp configuration produces 198 MWh per year with a PR of 82.3%.

Conclusion: Optimal on-grid solar power plant performance in the industrial sector can be achieved by selecting the appropriate system capacity and panel orientation according to site conditions and load requirements, thus supporting efficient and adaptive solar power plant design.

Abstrak

Latar Belakang: Meningkatnya kebutuhan energi terbarukan di sektor industri menuntut perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang efisien dan sesuai dengan profil beban. PLTS on-grid perlu dioptimalkan agar menghasilkan energi yang maksimal, memiliki kinerja yang andal, serta memenuhi batasan operasional seperti ketentuan zero-export. Kondisi ini menjadi penting pada gudang industri, di mana karakteristik beban dan keterbatasan lokasi sangat memengaruhi efektivitas sistem.

Tujuan: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dan optimasi PLTS on-grid berkapasitas terpasang total 265,29 kWp yang berlokasi di gudang industri di Sidoarjo, dengan fokus pada penentuan konfigurasi kapasitas dan orientasi azimuth yang optimal.

Metode: Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan simulasi sistem dengan perangkat lunak PVsyst. Dua konfigurasi kapasitas, yaitu 144,3 kWp dan 120,99 kWp, dianalisis pada orientasi azimuth -98° dan 80° . Evaluasi kinerja didasarkan pada produksi energi tahunan, performance ratio (PR), dan kesesuaian terhadap batasan operasional PLTS on-grid.

Hasil: Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi 144,3 kWp dengan orientasi azimuth 80° menghasilkan energi tahunan tertinggi sebesar 237 MWh dengan PR 82,7%. Sementara konfigurasi 120,99 kWp menghasilkan 198 MWh per tahun dengan PR 82,3%.

Kesimpulan: Kinerja optimal PLTS on-grid di sektor industri dapat dicapai melalui pemilihan kapasitas sistem dan orientasi panel yang tepat sesuai kondisi lokasi dan kebutuhan beban, sehingga mendukung perancangan PLTS yang efisien dan adaptif.

To cite this article: Arif, D. J. A., Al Khozy, N., Zulfatman, & Humaidi, H. N. A. (2025). Optimasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya terhubung jaringan berkapasitas 265,29 kWp. *Equivalent: Jurnal Ilmiah Sosial Teknik*, 7(2), 115–131. <https://doi.org/10.59261/jequi.v7i2.226>

PENDAHULUAN

Spesifikasi utama produk dari pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atap terhubung jaringan (on-grid) yang terpasang di gudang Sidoarjo didasarkan pada modul fotovoltaik (PV) tipe JKM555M-72HL4-V yang diproduksi oleh Jinko Solar (Damiri & Lamania, 2023; Zulfadli et al., 2022). Sebanyak 478 modul PV terpasang, sehingga menghasilkan kapasitas sistem total sebesar 265,29 kWp (Abed, 2024; Ghoniem et al., 2023; Sanjaya et al., 2024). Modul PV tersebut berfungsi untuk mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik (Hassan & Iqbal, 2025; Zheng, 2022). Untuk memaksimalkan daya listrik yang dihasilkan oleh modul PV, konfigurasi sistem di gudang Sidoarjo menggunakan sambungan seri guna meningkatkan tegangan operasi sesuai dengan kebutuhan perancangan sistem.

Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan akan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang efisien dan mampu beradaptasi dengan karakteristik beban industri mengalami peningkatan yang signifikan. Jiang et al. (2022) menunjukkan bahwa efisiensi sistem PV surya sangat dipengaruhi oleh orientasi panel dan konfigurasi rasio DC/AC, khususnya pada aplikasi industri berskala besar. Sejalan dengan itu, Farghally et al. (2022) menekankan pentingnya simulasi berbasis perangkat lunak, seperti PVsyst, dalam mengoptimalkan parameter desain sistem sebelum instalasi, sehingga dapat mengurangi kehilangan kinerja dan ketidakpastian desain. Selain itu, Putri et al. (2025) menyoroti perlunya memasukkan batasan teknis, seperti kebijakan zero export, ke dalam perancangan sistem terutama di kawasan industri dengan kepadatan tinggi yang menuntut stabilitas jaringan listrik. Meskipun demikian, masih terbatas penelitian yang secara langsung membandingkan kinerja orientasi azimuth dan konfigurasi kapasitas dalam konteks gudang industri di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan kontribusi empiris yang penting dalam pengembangan sistem PLTS on-grid yang responsif terhadap karakteristik beban industri serta regulasi teknis setempat.

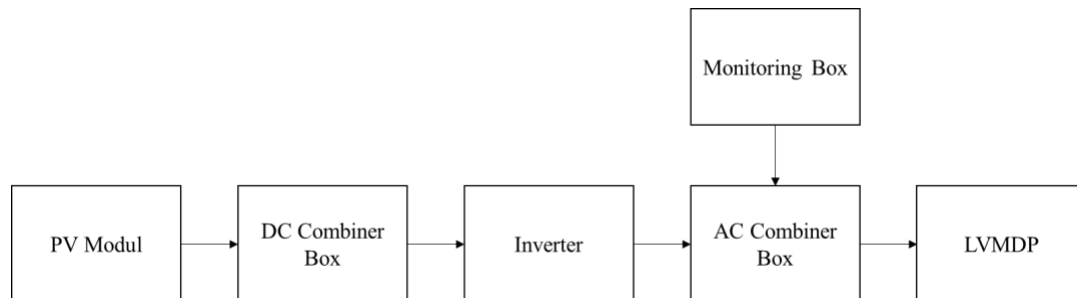
Konfigurasi inverter yang digunakan pada sistem ini terdiri atas dua unit inverter produksi Sungrow, yaitu tipe SG125CX dan SG110CX, dengan kapasitas masing-masing sebesar 125 kW dan 100 kW, sehingga total kapasitas inverter mencapai 225 kW (García et al., 2008; Rodrigo et al., 2016; Setiawan et al., 2017). Inverter berfungsi untuk mengonversi arus searah (DC) yang dihasilkan oleh modul PV menjadi arus bolak-balik (AC), yang selanjutnya disalurkan ke beban serta disinkronkan dengan jaringan listrik umum (PLN). Spesifikasi rinci modul PV dan inverter disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Sistem PLTS On-Grid

No	Komponen	Spesifikasi	Kapasitas	Jumlah	Total	Rasio DC:AC
1	Modul PV	JKM555M-72HL4-V	555 Wp	478	265,29 kWp	1,17
2	Inverter	SG125CX	125 kW	1	125	
3		SG110CX	100 kW	1	100	

Sumber: data olahan

Berdasarkan spesifikasi terpasang tersebut, rasio DC/AC sistem sebesar 1,17 diperoleh dari perbandingan antara total kapasitas PV terpasang dan total kapasitas inverter. Nilai ini menunjukkan bahwa inverter beroperasi dalam rentang kinerja yang dapat diterima, umumnya antara 1,1 hingga 1,3. Rasio DC/AC yang sedikit lebih tinggi dapat meningkatkan tingkat pemanfaatan inverter dengan mengurangi kemungkinan inverter beroperasi pada beban yang tidak optimal, sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Alur kerja sistem PLTS on-grid

Sumber: data olahan

Gambar 1 menggambarkan alur operasional sistem PLTS on-grid di gudang Sidoarjo. Dalam konfigurasi ini, modul PV dihubungkan ke DC combiner box yang berfungsi sebagai perangkat proteksi terhadap kondisi arus lebih. Keluaran dari DC combiner box kemudian dialirkan ke masukan *maximum power point tracking* (MPPT) pada inverter, tempat arus DC dikonversi menjadi arus AC (Mahfudz & Saputera, 2022; Naim, 2020; Sugirianta et al., 2019). Selanjutnya, keluaran inverter dihubungkan ke AC combiner box yang mengintegrasikan keluaran dari kedua inverter ke dalam satu titik interkoneksi. Konfigurasi ini diperlukan karena gudang Sidoarjo hanya memiliki satu titik interkoneksi jaringan dan membutuhkan sistem proteksi serta pemantauan terpusat. AC combiner box dilengkapi dengan perangkat proteksi, seperti molded case circuit breakers (MCCB), untuk melindungi sistem dari kejadian arus lebih.

Sistem ini juga dilengkapi dengan monitoring box yang berisi sensor radiasi matahari, sensor suhu, dan meter energi. Unit pemantauan ini terhubung ke panel AC combiner untuk menilai kinerja sistem secara berkelanjutan dengan membandingkan radiasi matahari dan suhu modul yang terukur terhadap produksi energi aktual. Energi listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke panel distribusi utama tegangan rendah (low-voltage main distribution panel atau LVMDP), tempat titik interkoneksi dengan jaringan PLN berada di sisi hulu pemutus sirkuit. Pada titik ini dipasang perangkat zero export untuk mencegah kelebihan daya disalurkan ke jaringan (Wibowo, 2024). Mekanisme pengendalian ini memastikan bahwa energi yang dihasilkan sepenuhnya diserap oleh beban lokal gudang, meminimalkan gangguan pada jaringan, serta meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan (Gibranata & Pustaka, 2025).

Beberapa komponen pendukung berperan penting dalam menjamin kinerja sistem yang optimal. Modul PV berfungsi sebagai perangkat utama konversi energi, mengubah radiasi matahari menjadi listrik DC (Sumbung et al., 2016). Kompas digunakan untuk memastikan orientasi panel mengarah pada azimuth yang optimal. Perangkat lunak PVsyst dimanfaatkan untuk perancangan, analisis, dan simulasi kinerja sistem guna mendukung proses optimasi sebelum implementasi. Sensor radiasi matahari mengukur intensitas iradiasi dan suhu lingkungan untuk evaluasi kinerja. Inverter mengonversi daya DC menjadi AC dan menyinkronkan sistem dengan jaringan PLN (Nugraha et al., 2020; Yulianto et al., 2019). Monitoring box menyediakan pemantauan kinerja secara waktu nyata, sedangkan sistem zero export memastikan kepatuhan terhadap regulasi jaringan dengan membatasi ekspor daya.

Penelitian sebelumnya oleh Jiang et al. (2022) dan Farghally et al. (2023) memberikan wawasan penting terkait optimasi sistem PV melalui penyesuaian orientasi dan desain berbasis simulasi; namun, studi-studi tersebut umumnya berfokus pada sistem industri atau utilitas secara umum tanpa secara eksplisit mempertimbangkan batasan operasional spesifik lokasi, seperti kebijakan zero export. Selain itu, meskipun Putri et al. (2025) membahas kendala regulasi dalam penerapan PLTS di Indonesia, penelitian tersebut belum melakukan perbandingan kuantitatif

antara berbagai orientasi azimuth dan konfigurasi kapasitas pada kondisi beban industri yang nyata. Oleh karena itu, masih terdapat celah penelitian dalam memahami bagaimana optimasi gabungan antara orientasi azimuth, konfigurasi kapasitas, dan batasan zero export memengaruhi kinerja sistem PLTS on-grid pada gudang industri di Indonesia. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan evaluasi kinerja berbasis simulasi dan batasan lapangan yang bersifat praktis, sehingga memperluas penelitian sebelumnya menuju optimasi sistem yang lebih kontekstual.

Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah mengoptimalkan kinerja sistem fotovoltaik terhubung jaringan berkapasitas 265,29 kWp melalui analisis komparatif konfigurasi kapasitas dan orientasi azimuth menggunakan simulasi PVsyst, dengan mempertimbangkan karakteristik beban industri dan batasan zero export. Hasil penelitian ini memberikan manfaat praktis berupa pedoman perancangan bagi insinyur, pembuat kebijakan, dan pemangku kepentingan industri dalam mengembangkan sistem PLTS on-grid yang lebih efisien, patuh terhadap regulasi, dan adaptif, khususnya untuk aplikasi gudang industri yang menuntut keseimbangan antara efisiensi energi dan stabilitas jaringan.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa kuantitatif berbasis simulasi untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan kinerja sistem fotovoltaik (PV) terhubung jaringan (on-grid). Metode penelitian diklasifikasikan sebagai studi deskriptif-analitis, di mana kinerja sistem dianalisis melalui simulasi numerik tanpa melibatkan eksperimen fisik secara langsung. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk menganalisis potensi produksi energi, performance ratio (PR), serta kerugian sistem pada berbagai skenario desain. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi sistematis terhadap alternatif konfigurasi sistem dengan tetap mempertimbangkan batasan teknis yang bersifat spesifik lokasi.

Lokasi dan Spesifikasi PLTS

Penelitian ini dilaksanakan pada sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) on-grid yang terpasang di gudang Alfamart yang berlokasi di Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur, Indonesia. Sistem ini menggunakan 478 unit modul fotovoltaik (PV) tipe JINKO SOLAR JKM555M-72HL4-V dengan total kapasitas terpasang sebesar 265,29 kWp. Konversi daya dilakukan menggunakan dua unit inverter produksi SUNGROW, yaitu inverter SG125CX dengan kapasitas terpasang 125 kW dan inverter SG110CX dengan kapasitas terpasang 100 kW, sehingga total kapasitas inverter mencapai 225 kW. Sistem PLTS ini terhubung langsung dengan jaringan listrik PLN dan dilengkapi dengan fitur zero export untuk mencegah kelebihan energi listrik disalurkan ke jaringan.

Simulasi Menggunakan PVsyst

Penelitian ini memanfaatkan perangkat lunak PVsyst untuk melakukan simulasi dan analisis kinerja sistem PLTS on-grid. Simulasi dilakukan dengan mengombinasikan dua skenario kapasitas sistem, yaitu 144,3 kWp dan 120,99 kWp, serta dua orientasi azimuth panel, yaitu -98° dan 80° . Data meteorologi diperoleh dari basis data Meteonorm yang merepresentasikan kondisi iklim wilayah Sidoarjo. Setiap konfigurasi sistem dimodelkan menggunakan spesifikasi teknis aktual dari komponen yang terpasang, termasuk modul PV, inverter, sudut kemiringan atap sebesar 6° , serta integrasi dengan sistem pemantauan (*monitoring system*).

Skema Perancangan dan Analisis

Proses analisis dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- 1) Penentuan lokasi sistem dan impor data meteorologi;
- 2) Pemilihan modul PV dan inverter sesuai dengan konfigurasi sistem yang ditetapkan;
- 3) Penyesuaian orientasi azimuth dan sudut kemiringan panel;
- 4) Pengaturan analisis bayangan (*shading analysis*) menggunakan evaluasi near shading dan fitur desain tiga dimensi (3D);

Simulasi kinerja sistem dan evaluasi berdasarkan produksi energi tahunan (MWh), performance ratio (PR), serta estimasi kerugian sistem, yang meliputi kerugian pada susunan modul (array losses) dan kerugian sistem secara keseluruhan.

Dasar Pemilihan Kapasitas dan Orientasi Azimut

Pemilihan dua skenario kapasitas sistem, yaitu 144,3 kWp dan 120,99 kWp, didasarkan pada kebutuhan beban listrik aktual gudang serta pembatasan yang diberlakukan oleh kebijakan zero export, yang membatasi daya maksimum yang dapat disalurkan ke jaringan PLN. Konfigurasi 144,3 kWp merepresentasikan kapasitas sistem yang optimal dalam kondisi tanpa batasan ekspor daya, sedangkan konfigurasi 120,99 kWp mencerminkan desain yang lebih konservatif untuk memastikan operasi sistem tetap berada di bawah ambang batas ekspor yang diizinkan.

Orientasi azimut -98° dan 80° dipilih untuk merepresentasikan kondisi aktual arah pemasangan modul PV pada atap gudang, yang masing-masing menghadap ke arah barat daya (-98°) dan timur (80°). Analisis ini penting untuk mengevaluasi dan membandingkan pengaruh perbedaan orientasi panel terhadap produksi energi tahunan dan kinerja sistem secara keseluruhan.

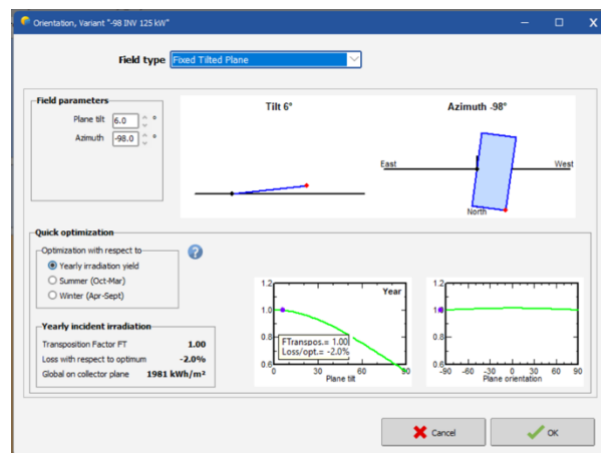
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98 Pada Kapasitas 144,3 kWp/ hasil dan pembahasan

Langkah Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98

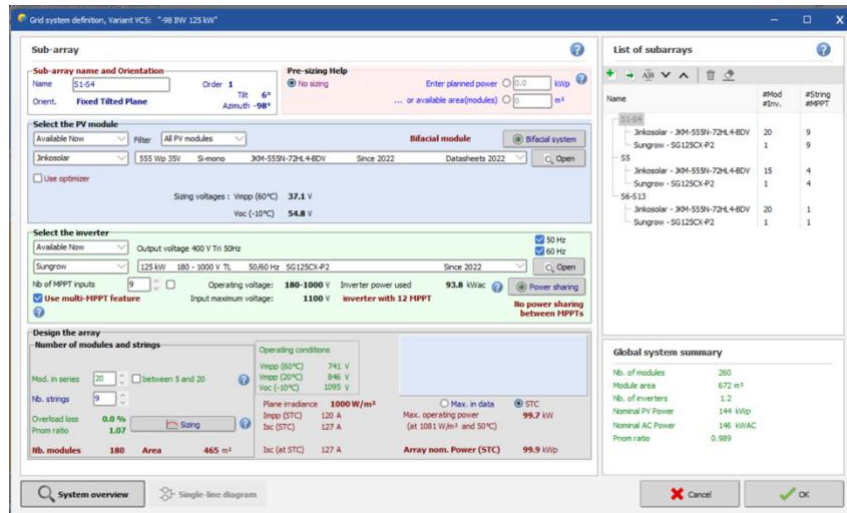
- Menentukan Lokasi dan Data Meteo
 - Memilih lokasi sistem PV pada proyek site
 - Impor data cuaca dari meteonorm
- Mengatur orientasi di azimuth -98 dan plane tilt (Kemiringan atap) di 6° pada bagian field parameter



Gambar 2. Orientasi Arah dan Sudut Kemiringan Pv System Azimuth -98

Sumber: data olahan

- Pemilihan Komponen (PV Module & Inverter)
 - Menggunakan modul PV dari JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV
 - Memakai Inverter dari SUNGROW 125 kW SG125CX-P2



Gambar 3. Mengisi Kebutuhan user PVSYST pada Azimuth -98
Sumber: data olahan

d. Desain Sistem (System Sizing)

- 1) Memasukkan kapasitas daya sistem sebesar 144,3 kWp
- 2) Mengatur konfigurasi dari string 1- 4 jumlah modul per string yaitu 20 modul diseri, dan jumlah input MPPT ialah 9 string per MPPT, kemudian pada string 5 jumlah modul per string 15 modul diseri dan jumlah input MPPT adalah 4 String per MPPT, Serta string 6 - 13 didapat jumlah modul 20 yang diseri dan jumlah input MPPT adalah 1 string per MPPT

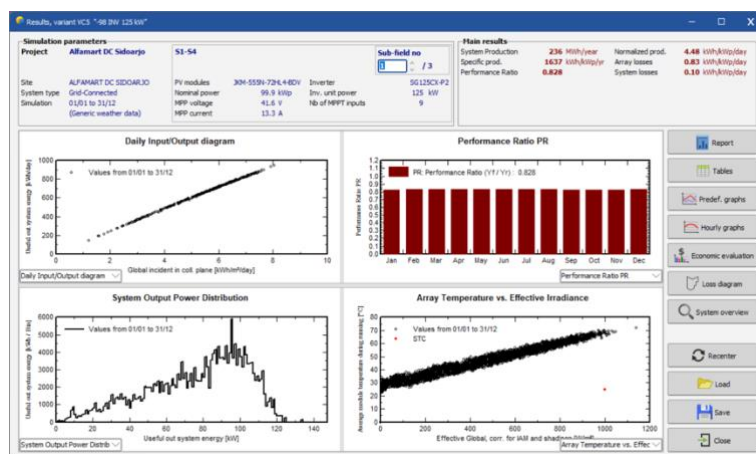
e. Membuat shading Analysis

- 1) Memakai fitur Near Shading untuk memodelkan potensi pada bayangannya
- 2) Membuat desain 3D untuk evaluasi dari efek bayangan terhadap produksi energi

f. Melakukan Simulasi Energi (Energy Simulation): Melihat parameter kinerja dari PR (Performance Ratio), produksi energi dan lain lain.

Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98

Setelah mengatur semua orientasi dan system yang diperlukan maka di dapat hasil seperti gambar 4.



Gambar 4. Result Pada Simulasi PVSYST Orientasi -98
Sumber: data olahan

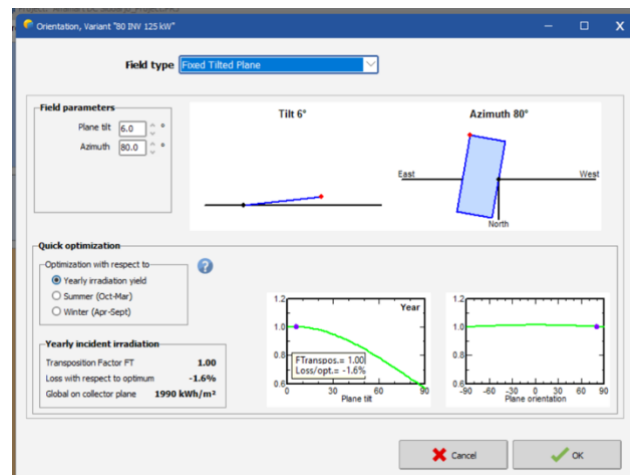
Gambar 4 menampilkan hasil dari simulasi sistem PLTS pada Pvsyst dengan total daya pembangkitan sebesar 236 MWh/year. PR (Performance ratio) berada di 82,8 % dan juga

disertakan beberapa grafik secara keseluruhan. Gambar ini menunjukkan grafik estimasi kinerja dan sistem PLTS.

Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80 Pada Kapasitas 144,3 kWp

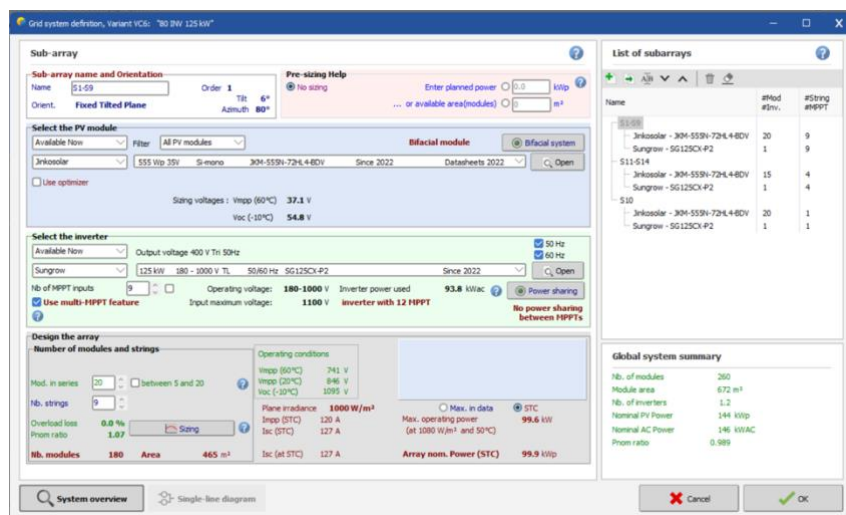
Langkah Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80

1. Menentukan Lokasi dan Data Meteo
 - a) Memilih lokasi sistem PV pada proyek site
 - b) Impor data cuaca dari meteonorm
2. Mengatur orientasi di azimuth 80 dan plane tilt (Kemiringan atap) di 6° pada bagian field parameter.



Gambar 5. Orientasi Arah dan Sudut Kemiringan Pv System Azimuth 80
Sumber: data olahan

3. Pemilihan Komponen (PV Module & Inverter)
 - a) Menggunakan modul PV dari JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV
 - b) Memakai Inverter dari SUNGROW 125 kW SG125CX-P2



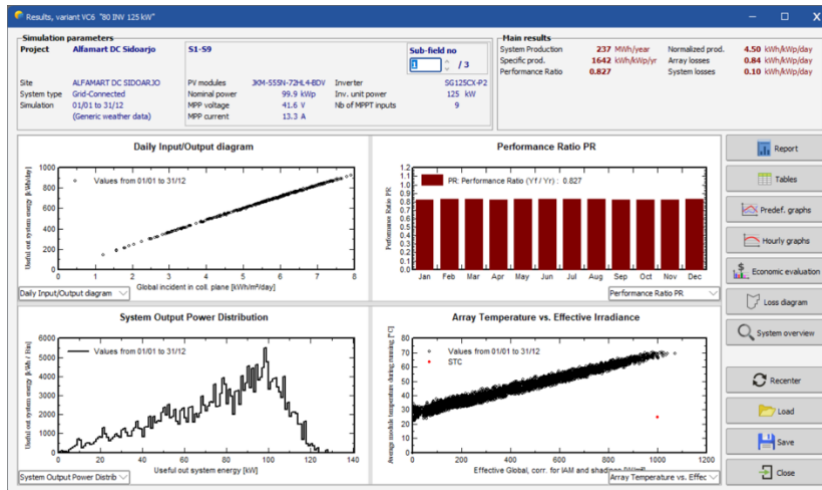
Gambar 6. Mengisi Kebutuhan user PVSYST pada Azimuth 80
Sumber: data olahan

4. Desain Sistem (System Sizing)
 - a) Memasukkan kapasitas daya sistem sebesar 144,3 kWp
 - b) Mengatur konfigurasi dari jumlah modul per string yang sama dengan desain sebelumnya di orientasi -98
 5. Membuat shading Analysis
 - a) Memakai fitur Near Shading untuk memodelkan potensi pada bayangannya
- 121 | Equivalent: Jurnal Ilmiah Sosial Teknik

- b) Membuat desain 3D untuk evaluasi dari efek bayangan terhadap produksi energi
6. Melakukan Simulasi Energi (Energy Simulation)
- a) Melihat parameter kinerja dari PR (Performance Ratio), produksi energi dan lain lain.

Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80

Setelah mengatur semua orientasi dan system yang diperlukan maka di dapat hasil seperti gambar 7.



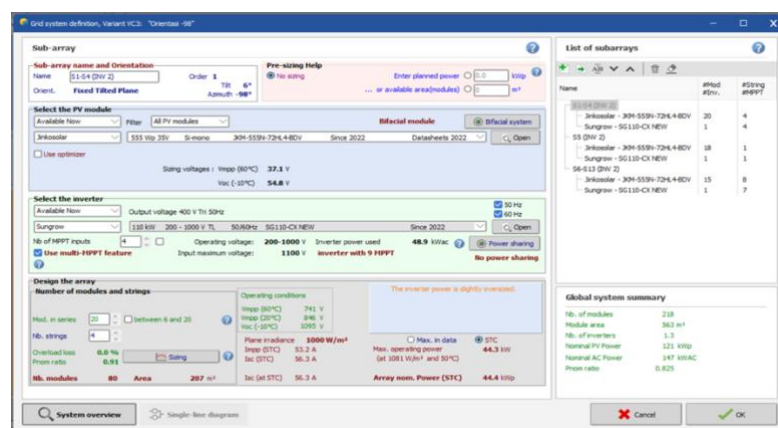
Gambar 7. Hasil Pada Simulasi PVSYST dengan Orientasi 80
Sumber: data olahan

Hasil simulasi PVsyst pada gambar 7 menunjukkan produksi energi tahunan 237 Mwh dan performance Ratio (PR) di 82,7%. Ada beberapa diagram untuk menunjukkan data, seperti output harian. Gambar diatas menjelaskan secara ringkas analisis kinerja dan hasil tahunan dari sistem fotovoltaik.

Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98 Pada Kapasitas 120,99 kWp

Langkah Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98

- Menentukan Lokasi dan Data Meteo
 - Memilih lokasi sistem PV pada proyek site
 - Impor data cuaca dari meteonorm
- Mengatur orientasi di azimuth -98 dan plane tilt (Kemiringan atap) di 6° pada bagian field parameter, sama seperti gambar 2.1.
- Pemilihan Komponen (PV Module & Inverter)
 - Menggunakan modul PV dari JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV
 - Memakai Inverter dari SUNGROW 110 kW SG110CX

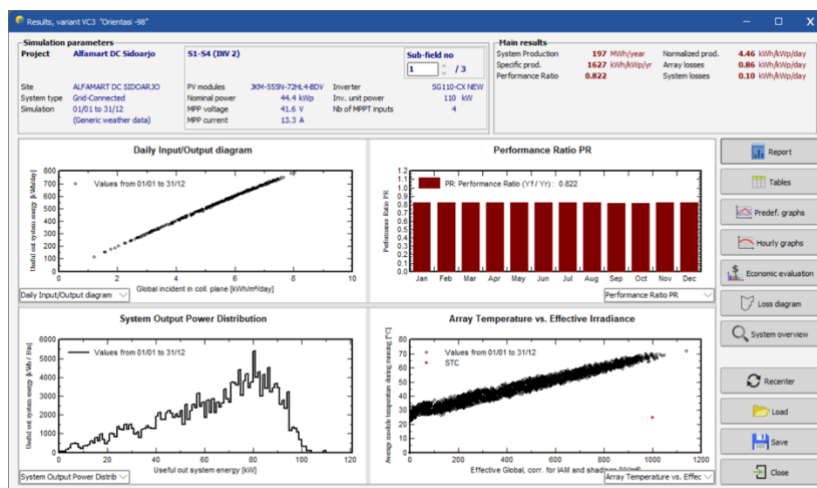


Gambar 8. Need User Pada Bagian Sistem di PVSYST pada Kapasitas 120,99 kWp
Sumber: data olahan

4. Desain Sistem (System Sizing)
 - a) Memasukkan kapasitas daya sistem sebesar 120,99 kWp
 - b) Mengatur konfigurasi Pada String 1 – 4 jumlah modul per string yaitu 20 modul diseri, dan jumlah input MPPT ialah 4 string per MPPT, Kemudian pada string 5 jumlah modul per string adalah 18 PV Modul yang di rangkai secara seri, dengan jumlah input MPPT adalah 1 string per MPPT. Dan juga pada string 6 – 13 jumlah modul per string yaitu 15 PV modul yang dipasang secara seri, dan jumlah input MPPT adalah 8 string per MPPT.
5. Membuat shading Analysis
 - a) Memakai fitur Near Shading untuk memodelkan potensi pada bayangannya
 - b) Membuat desain 3D untuk evaluasi dari efek bayangan terhadap produksi energi
6. Melakukan Simulasi Energi (Energy Simulation)
 - a) Melihat parameter kinerja dari PR (Performance Ratio), produksi energi dan lain lain.

Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98

Setelah mengkonfigurasi seluruh orientasi dan sistem yang di butuhkan, diperoleh hasil seperti yang tertera pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil Simulasi PVSYST dengan orientasi -98

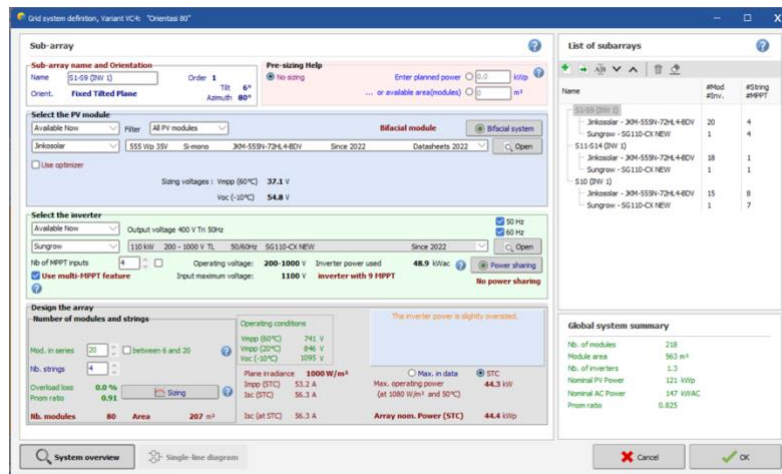
Sumber: data olahan

Gambar 9 menunjukkan hasil dari simulasi PVSYST yang mana secara umum mirip dengan yang berkapasitas 144,3 kWp, yang mana produksi energi pertahunnya ada di 197 MWh dengan performance ratio nya di 82,2%.

Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80 Pada Kapasitas 120,99 kWp

Langkah Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80

1. Menentukan Lokasi dan Data Meteo
 - a) Memilih lokasi sistem PV pada proyek site
 - b) Impor data cuaca dari meteonorm
2. Mengatur orientasi di azimuth 80 dan plane tilt (Kemiringan atap) di 6° pada bagian field parameter, sama seperti gambar 2.4
3. Pemilihan Komponen (PV Module & Inverter)
 - a) Menggunakan modul PV dari JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV
 - b) Memakai Inverter dari SUNGROW 110 kW SG110CX

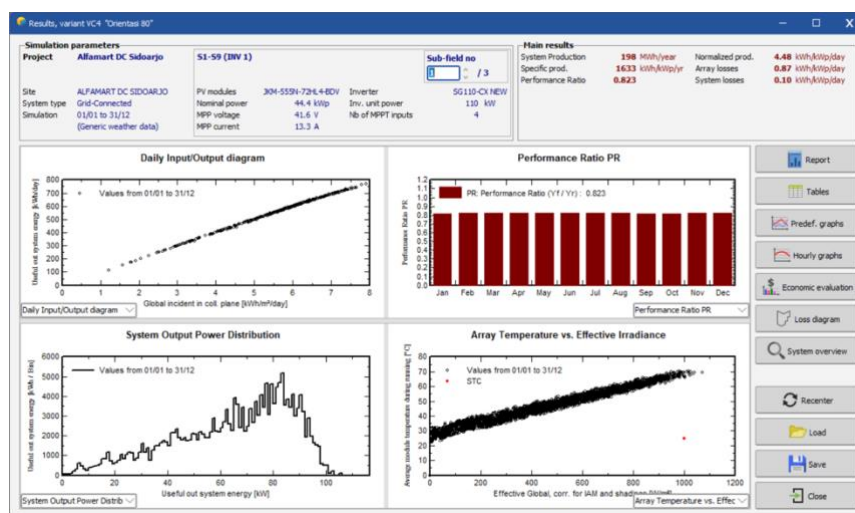


Gambar 10. Need User Pada Bagian Sistem di PVSYST dengan Orientasi 80 pada Kapasitas 120,99 kWp
Sumber: data olahan

4. Desain Sistem (System Sizing)
 - a) Memasukkan kapasitas daya sistem sebesar 144 kWp
 - b) Mengatur konfigurasi dari jumlah modul per string yaitu 20 Modul di seri, dan jumlah input per MPPT ialah 9 string per MPPT
5. Membuat shading Analysis
 - a) Memakai fitur Near Shading untuk memodelkan potensi pada bayangannya
 - b) Membuat desain 3D untuk evaluasi dari efek bayangan terhadap produksi energi
6. Melakukan Simulasi Energi (Energy Simulation)
 - a) Melihat parameter kinerja dari PR (Performance Ratio), produksi energi dan lain lain.

Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80

Dengan penyesuaian orientasi dan sistem yang diperlukan, di dapat hasil seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Hasil dari PVSYST dengan orientasi 80 dan Inverter 110 kW
Sumber: data olahan

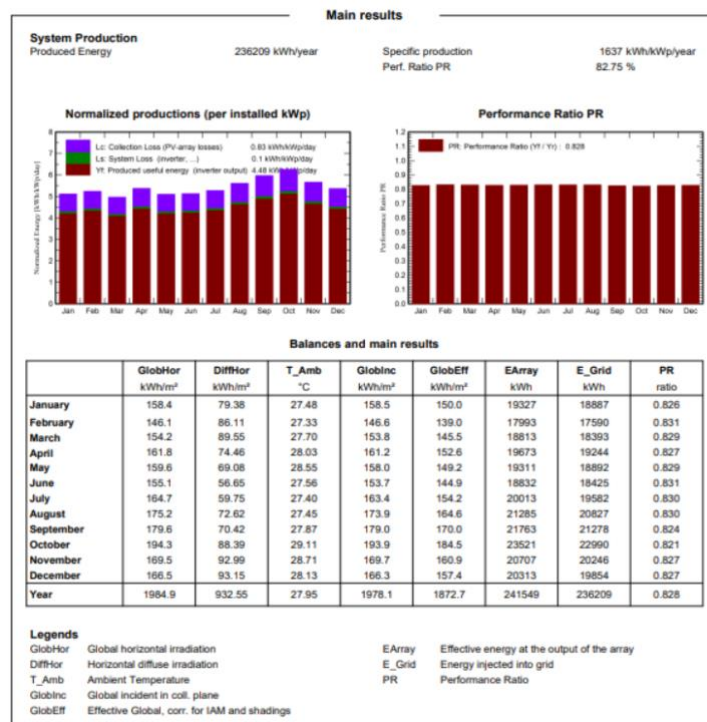
Gambar 11 menunjukkan hasil dari simulasi PVSYST pada kapasitas 120,99 kWp dengan orientasi 80, yang mana diperoleh produksi energi pertahunnya ada di 198 MWh dengan performance ratio nya di 82,3%. Kemudian ada beberapa grafik kinerja dari desain sistem tahunan pada panel surya.

Pembahasan

Analisis Hasil Pengujian

Analisis hasil pengujian PLTS Dengan Azimuth -98 Pada Kapasitas 144,3 kWp

Pengujian ini merupakan desain pertama dari hasil proses perhitungan efisiensi daya yang telah dibuat sebelumnya. Dengan melakukan simulasi melalui PVSyst, maka di dapat seperti gambar 12.



Gambar 12. Hasil Utama Dari Desain PLTS Azimuth -98 Pada Kapasitas 144,3 kWp
Sumber: data olahan

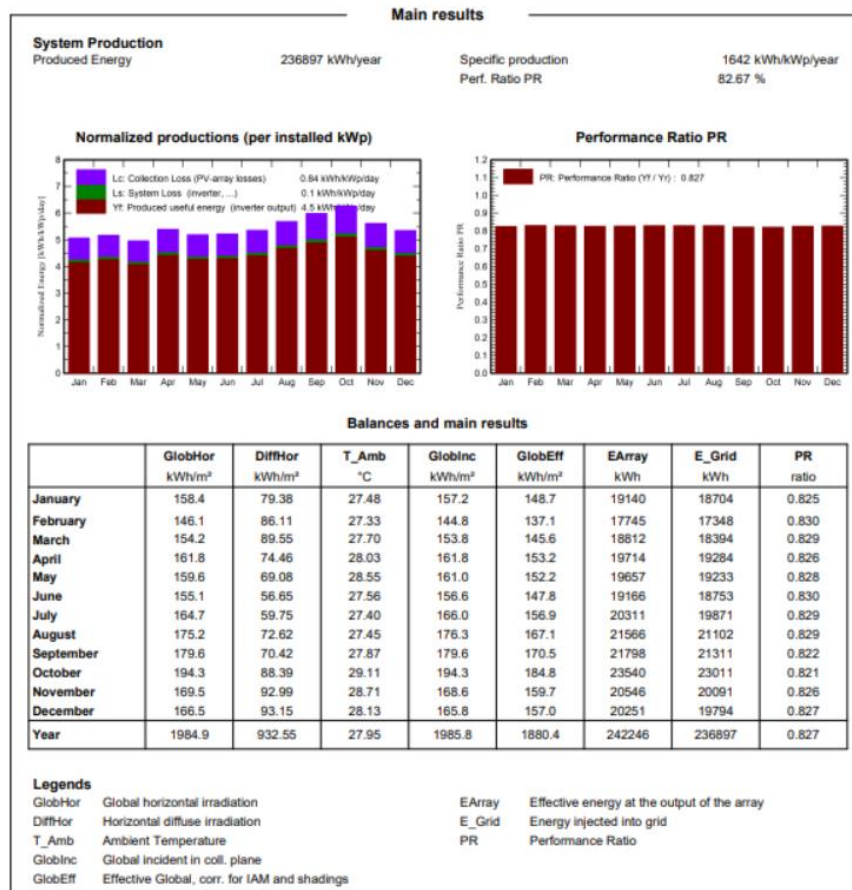
Gambar 12 memperlihatkan bagian global horizontal irradiation pertahunnya 1984.9 kWh/m², global horizontal irradiation itu sendiri ialah total dari radiasi tersebar yang jatuh pada permukaan horizontal dan ditambah iradiansi normal yang dijatuhkan ke permukaan horizontal.

Kemudian energi yang dialirkan ke jaringan listrik diadpat 236,209 kWh/year, yang mana didapat dari hasil sinar matahari yang masuk ke PV menjadi energi listrik. Selain itu Performance Ratio yang dihasilkan dari simulasi desain ini sebesar 82,75 %, performance ratio adalah rasio antara energi efektif yang dihasilkan dengan yang digunakan dan energi itu sendiri digunakan untuk membandingkan fotovoltaiik yang tersebar di berbagai lokasi, PR yang bagus biasanya berkisar 70 -80%.

Pada desain ini menggunakan type PV modul JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV yang awalnya mempunyai jumlah total PV modul 478 setelah di lakukan proses perhitungan efisiensi daya, maka menjadi 260 PV modul dengan total 144,3 kWp. Yang mana dipasang secara seri nya di 20 buah PV modul.

Analisis Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80 Pada Kapasitas 144,3 kWp

Berdasarkan dari proses perhitungan efisiensi daya yang sudah di buat sebelumnya, pengujian ini mewakili desain kedua. Hasilnya ditunjukkan dengan simulasi dari PVSyt yang telah dibuat.



Gambar 13. Hasil Utama Dari Desain PLTS Azimuth 80 Pada Kapasitas 144,3 kWp
Sumber: data olahan

Pada gambar 13 menampilkan sistem PLTS yang dianalisis selama satu tahun mencapai total energi yang dihasilkan 237 MWh dengan nilai produksi spesifik sebesar 1.642 kWh/kWp/tahun. Kemudian nilai performance ratio (PR) pertahunnya sebesar 82,67 % menggambarkan efisiensi pada

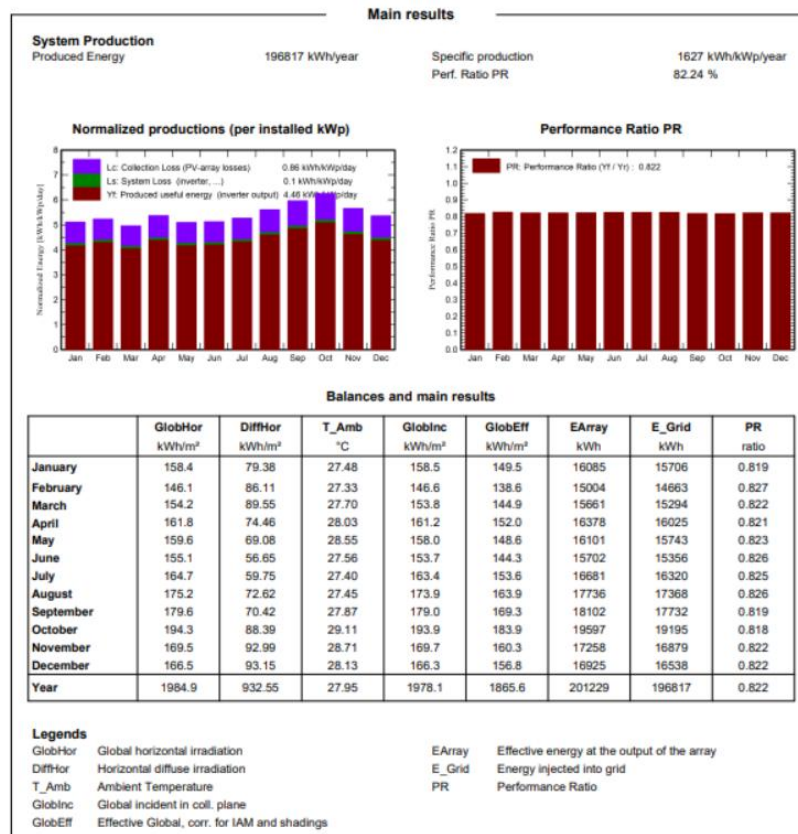
sistem dalam mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik sudah optimal karena biasanya nilai yang bagus berada diantara 75 – 85 %.

Setelah itu melihat bagian data Global Horizontal Global (GHI) di dapat 198,4 kWh/m² yang digunakan untuk membantu memprediksi variasi produksi akibat dari perubahan cuaca. Kemudian pada grafik produksi energi yang ternormal menampilkan collection loss nya seperti PV array losses sebesar 0,84 kWh/kWp/day serta system loss yang berasal dari inverter sebesar 0,1 kWh/kWp/day dan penggunaan energi dari output inveter sebesar 4,5 kWh/kWp/day.

Sama seperti orientasi -98 menggunakan JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV yang awalnya mempunyai total PV modul 478 menjadi 260 PV modul dengan jumlah total 144,3 kWp namun di orientasi yang berbeda, yang mana dengan total 14 string.

Analisis Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth -98 Pada Kapasitas 120,99 kWp

Pada desain ketiga ini merupakan hasil simulasi dari PVSyst dengan azimuth -98, maka di dapat analisa seperti gambar 14.



Gambar 14. Hasil Dari Desain PLTS Azimuth -98 Pada Kapasitas 120,99 kWp
Sumber: data olahan

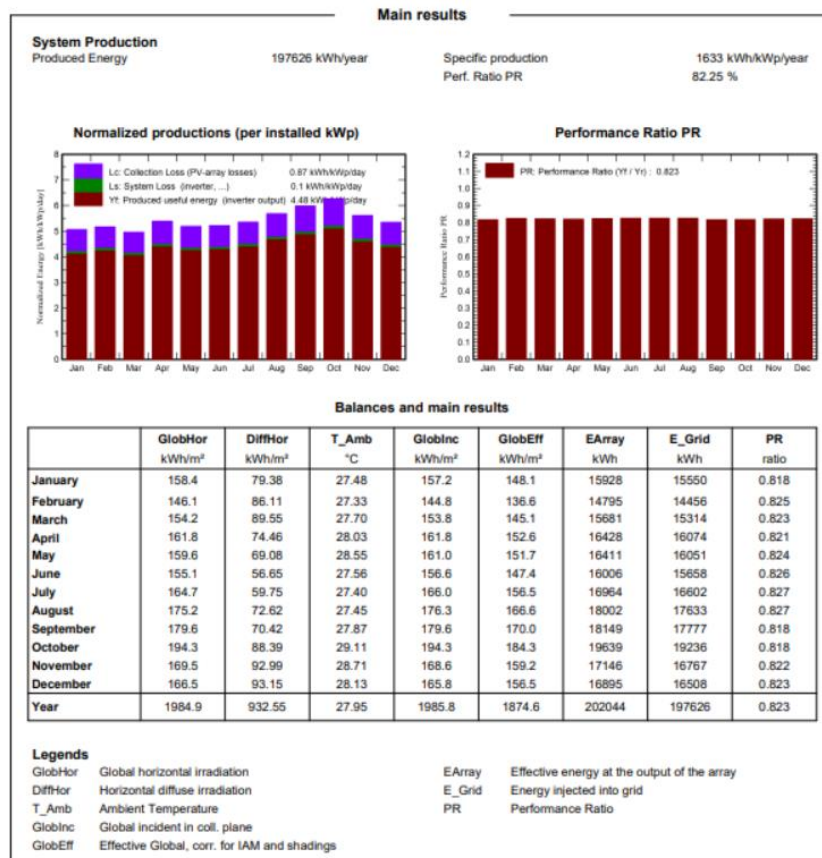
Gambar 14 memperlihatkan hasil dari simulasi PVSyst dengan analisa total energi yang di dapatkan mencapai 196,817 kWh/year dengan total nilai produksi yang spesifik sebesar 1627 kWh/kWp/year. Kemudian dilihat dari tabel PR dapat dianalisa yaitu performance ratio (PR) dengan nilai 82,24 % pertahunnya. Dan juga nilai dari GHI nya sebesar 1984,9 kWh/m².

Kemudian ambient temperature juga menjadi faktor dalam mempengaruhi kinerja dari PV modul. Temperature pada permukaan PV modul memiliki fungsi yang sejajar dengan temperatur lingkungan. Temperatur lingkungan dan radiasi matahari harus di dasarkan dengan kondisi yang standar Nominal Operating Cell Temperature (NOCT). Dilihat pada tabel ambient temperature nya selama setahun sebesar 27,95 °C.

Pada desain ini sama seperti desain pertama menggunakan type PV JINKO SOLAR 555 Wp JKM-555N-72HL4-BDV yang mana melepas beberapa PV menjadi 218 PV modul.

Analisis Hasil Pengujian PLTS Dengan Azimuth 80 Pada Kapasitas 120,99 kWp

Pengujian desain keempat ini dilakukan simulasi menggunakan PVSyst dan di dapat hasil simulasi seperti di gambar 15.



Gambar 15. Hasil Utama Dari Desain PLTS Azimuth 80 Pada Kapasitas 120,99 kWp
Sumber: data olahan

Gambar 15 menjelaskan hasil keseluruhan dari simulasi desain keempat ini memiliki total 218 PV, dan ketika di liat pada bagian produksi energi yang didapat pada panel surya sebesar 197,626 kWh pertahunnya. Setelah itu pada tabel global horizontal irradiation yaitu total energi radiasi matahari yang diterima selama setahun dengan rata rata sebesar 1984,9 kWh/m².

Kemudian pada tabel horizontal diffuse irradiation yaitu energi matahari yang sampai ke permukaan bumi setelah tersebar di udara yang didapat selama setahun di dapat rata rata sebesar 932,55 kWh/m². Kemudian pada ambient temperatur paling tinggi ada di bulan agustus, namun di dapat rata rata selama setahun sebesar 27,95 °C. kemudian performance ratio yang di dapat dari simulasi desain ini sebesar 82,25 % dengan produksi spesifik di nilai 1633 kWh/kWp/year.

Pada grafik normalized production dapat di analisa bahwa tercatat kerugian dari array pv tertulis sebesar 0,87 kWh/kWp/hari. Kerugian dapat disebabkan berbagai faktor oleh bayangan, suhu yang tinggi, atau pun ketidakcocokan dari modul fotovoltaiik. Kemudian pada bagian sistem losses, kerugian sistem total tercatat sebesar 0,1 kWh/kWp/hari, disebabkan antara lain inverter, kabel, dan juga komponen lain pada sistem yang dapat mengurangi jumlah energi yang dihasilkan sistem.

Hasil Akhir Pengujian

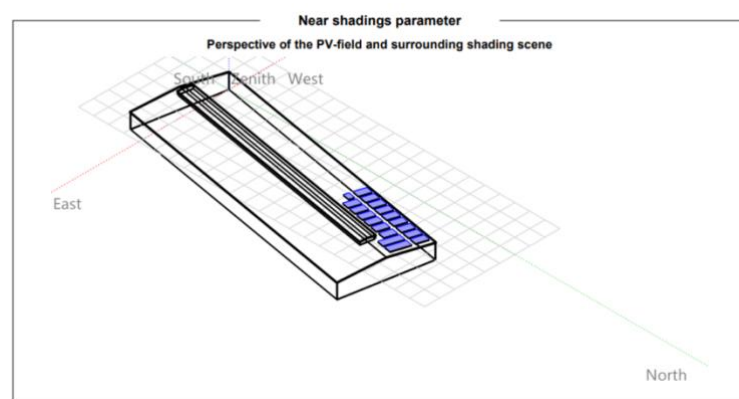
Hasil akhir dari segi empat desain terdapat dua keluaran energi yang telah melalui proses perhitungan efisiensi pada bab implementasi yang pertama yaitu 144,3 kWp dan yang kedua yaitu sebesar 120,99 kWp, yang mana pada inverter 125 kW dengan melihat hasil dari simulasi PVSyst. Pada kapasitas 144,3 kWp di orientasi -98 produksi energi yang dihasilkan sebesar 236 MWh dengan PR nya sebesar 82,8% dengan menggunakan 260 total PV modul, Sedangkan pada orientasi 80 produksi energi yang dihasilkan sebesar 237 MWh dengan PR nya sebesar 82,7% dengan total PV modul yang sama dengan orientasi -98.

Pada desain yang ketiga dan keempat jika melihat dari hasil dari simulasi PVSyst dengan kapasitas 120,99 kWp dengan orientasi -98 dengan melihat dari produksi energi yang dihasilkan

sebesar 197 MWh dengan performance ratio sebesar 82,2% untuk penggunaan total pv modul di 218 buah. Sedangkan pada desain 4 ini dengan orientasi 80 produksi energi yang dihasilkan setahun sebanyak 198 MWh dengan PR sebesar 82,3 % dengan total pv modul yang sama dengan desain ketiga yaitu sebanyak 218 buah PV modul.

Jika melihat dari dua keluaran energi diatas, untuk Kapasitas 144,3 kWp dapat dikatakan desain 2 dengan orientasi 80 sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan beban yang ada pada gudang Sidoarjo dan pada kapasitas 120,99 kWp dapat menggunakan desain 4 bisa menjadi solusi karena sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan beban pada gudang Sidoarjo yang sebelumnya terkena zero export. Untuk kapasitas 144,3 kWp dapat dilakukan dengan cara melepas dan memindahkan bagian orientasi -98 ke lokasi gudang lain yang baebannya sesuai dengan keluaran dari panel surya. Sehingga pemasangan ini dapat membantu penghematan produksi dari gudang lain, dan dapat menjadi investasi ke masa yang akan datang.

Berikut ini ialah gambar 3D desain PLTS On-Grid rooftop yang telah dilakukan efisiensi daya pada gudang sidoarjo.



Gambar 16. Desain 3D PLTS dengan orientasi 80
Sumber: data olahan

Pada gambar 16 menunjukkan gambar 3D sistem PLTS dengan orientasi 80 setelah dilakukan proses perhitungan efisiensi yakni dengan kapasitas 144,3 kWp yang tetap dalam kondisi terpasang. Sedangkan bagian orientasi -98 dengan kapasitas 120,99 kWp bisa dilakukan pelepasan dan memindahkan panel surya ke lokasi gudang lain.

Kinerja optimal sistem fotovoltaik terhubung jaringan (on-grid) pada aplikasi gudang industri sangat dipengaruhi oleh kombinasi kapasitas sistem, orientasi azimuth, serta batasan operasional seperti kebijakan zero export. Meskipun variasi orientasi panel hanya menghasilkan perbedaan yang relatif kecil terhadap produksi energi tahunan, nilai performance ratio (PR) yang konsisten tinggi pada seluruh konfigurasi menunjukkan bahwa sistem dirancang secara andal dengan pemilihan komponen yang tepat. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa orientasi panel menghadap ke timur (80°) memberikan keunggulan kinerja yang sedikit lebih baik pada kondisi iklim setempat, khususnya ketika kapasitas sistem disesuaikan dengan kebutuhan beban aktual. Dari sudut pandang praktis, penelitian ini menegaskan pentingnya strategi perancangan sistem yang adaptif dengan mengintegrasikan simulasi teknis dan kondisi lapangan, sehingga memungkinkan pemanfaatan energi yang lebih efisien serta berpotensi meningkatkan tingkat pengembalian investasi pada instalasi PLTS industri.

KESIMPULAN

Melalui pemodelan dan simulasi sistem menggunakan perangkat lunak PVsyst, penelitian ini berhasil mengidentifikasi konfigurasi desain sistem PLTS on-grid yang paling efektif berdasarkan produksi energi tahunan dan nilai performance ratio (PR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa orientasi panel surya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja sistem secara keseluruhan. Di antara berbagai konfigurasi yang dievaluasi, sistem dengan kapasitas 144,3 kWp dan orientasi azimut 80° menghasilkan kinerja paling optimal, baik dari sisi produksi energi maupun nilai PR. Temuan ini memberikan kontribusi penting terhadap literatur teknis terkait perencanaan sistem PLTS skala industri, khususnya dalam konteks perancangan sistem yang efisien dan tetap mematuhi batasan operasional seperti kebijakan zero export. Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya integrasi antara analisis kinerja teknis dan pertimbangan operasional serta regulasi dalam menentukan konfigurasi sistem PLTS yang berkelanjutan secara ekonomi dan lingkungan.

Namun penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Simulasi yang dilakukan masih bergantung pada data meteorologi umum dan asumsi lingkungan standar, yang berpotensi memengaruhi tingkat akurasi hasil. Selain itu, analisis aspek ekonomi, seperti biaya investasi dan tingkat pengembalian investasi, belum dibahas secara mendalam, padahal aspek tersebut sangat penting dalam implementasi proyek energi terbarukan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data pengukuran lapangan secara real-time guna meningkatkan ketelitian simulasi, serta menambahkan analisis teknis-ekonomis secara komprehensif. Faktor lingkungan tambahan, seperti tingkat polusi udara, kondisi suhu ekstrem, dan kebersihan permukaan panel, juga perlu dipertimbangkan untuk menghasilkan desain PLTS yang tidak hanya efisien tetapi juga adaptif terhadap kondisi operasi nyata. Berdasarkan hasil penelitian ini, sistem PLTS on-grid berkapasitas 144,3 kWp dengan orientasi azimut 80° direkomendasikan untuk aplikasi gudang industri yang memiliki karakteristik konsumsi listrik tinggi pada siang hari serta menerapkan kebijakan zero export.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus disampaikan kepada manajemen dan staf teknis gudang industri di Sidoarjo atas izin akses data sistem dan informasi lokasi penelitian. Penulis juga mengapresiasi penggunaan perangkat lunak PVsyst sebagai alat analisis utama dalam simulasi sistem dan evaluasi kinerja. Segala kekeliruan maupun interpretasi yang mungkin terdapat dalam artikel ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

DJAA bertanggung jawab atas konseptualisasi penelitian, perancangan penelitian, pemodelan sistem, serta penyusunan draf awal manuskrip. NAG berkontribusi dalam pengumpulan data, pelaksanaan simulasi menggunakan PVsyst, dan analisis hasil kinerja sistem. Z berperan dalam interpretasi hasil, validasi teknis, serta peninjauan kritis terhadap manuskrip. HNAH berkontribusi dalam telaah pustaka, penyempurnaan metodologi, serta penyuntingan dan penataan akhir manuskrip.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, M. Al. (2024). Feasibility Analysis of Grid-Connected Solar Photovoltaic Systems in Dhahran and Bisha, Saudi Arabia. *Journal of Ecological Engineering*, 25(9). <https://doi.org/10.12911/22998993/191435>
- Damiri, D. J., & Lamanía, R. R. L. (2023). Design and Simulation of On-Grid Rooftop Solar Power Plant (Rooftop PV) System on Office Buildings with a PLN Grid System. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 11(1). <https://doi.org/10.26760/elkomika.v11i1.231>
- Farghally, H. M., Sweelem, E. A., Abu El-Sebah, M. I., & Syam, F. A. (2022). Agricultural Grid Connected Photovoltaic System Design and Simulation in Egypt by using PVSYSY Software. *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, 21. <https://doi.org/10.37394/23201.2022.21.33>

- García, M., Maruri, J. M., Marroyo, L., Lorenzo, E., & Pérez, M. (2008). Partial shadowing, MPPT performance and inverter configurations: Observations at tracking PV plants. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 16(6). <https://doi.org/10.1002/pip.833>
- Ghoniem, R. M., Alahmer, A., Rezk, H., & As'ad, S. (2023). Optimal Design and Sizing of Hybrid Photovoltaic/Fuel Cell Electrical Power System. *Sustainability (Switzerland)*, 15(15). <https://doi.org/10.3390/su151512026>
- Gibranata, I., & Pustaka, D. (2025). *Supply Chain Hacks*. Detak Pustaka.
- Hassan, A. M., & Iqbal, M. T. (2025). The Dynamic Modeling of a Grid-Connected Photovoltaic Setup using MATLAB/Simulink. *European Journal of Energy Research*, 5(4). <https://doi.org/10.24018/ejenergy.2025.5.4.167>
- Mahfudz, H. L., & Saputera, N. (2022). Studi Perencanaan Panel Kendali PLTS-PLN Berdasarkan Kapasitas Baterai untuk PLTS Off-Grid. *Jurnal Sain Terapan*, 8(1).
- Naim, M. (2020). Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti. *Vertex Elektro*, 12(01).
- Nugraha, K. A., Krismanto, A. U., & Nakhoda, Y. I. (2020). Rancang Bangun Solar Tracker Dual Axis Menggunakan Fuzzy Based Untuk Optimasi PLTS Skala Kecil. *SinarFe7*, 07.
- Putri, D. N. N., Rizanulhaq, F. M., Sari, T. K., & Irianto, C. G. (2025). Design and Cost benefit Photovoltaic Rooftop for Residential in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1564(1), 012131.
- Rodrigo, P., Velázquez, R., Fernández, E. F., Almonacid, F., & Pérez-Higueras, P. J. (2016). Analysis of electrical mismatches in high-concentrator photovoltaic power plants with distributed inverter configurations. *Energy*, 107. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.04.039>
- Sanjaya, R. E., Gianto, R., & Junaidi, J. (2024). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sistem Hybrid Pada Jaringan Kelistrikan Di Rumah Sakit Umum Yarsi Pontianak. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 3(9). <https://doi.org/10.59188/jcs.v3i9.984>
- Setiawan, E. A., Setiawan, A., & Siregar, D. (2017). Analysis on solar panel performance and PV-inverter configuration for tropical region. *Journal of Thermal Engineering*, 3(3). <https://doi.org/10.18186/journal-of-thermal-engineering.323392>
- Sugirianta, I., Saputra, G., & Sunaya, G. (2019). Modul Praktek PLTS On-Grid Berbasis Micro Inverter. *Jurnal Matrix*, 9(1).
- Sumbung, F. H., Letsoin, Y., & Hardiantono, D. (2016a). Penentuan Kapasitas Dan Karakteristik Modul PV Pada Perencanaan Pembangunan PLTS Komunal Di Distrik Okaba. *MUSTEK ANIM HA*, 5(2). <https://doi.org/10.35724/mustek.v5i2.623>
- Yulianto, T. B., Taufiq, A. J., & Suyadi, A. (2019). Rancang Bangun Pengaturan Intensitas Sinar Uv (Ultraviolet) Dengan Mikrokontroler PIC Untuk Tanaman. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*, 1(1). <https://doi.org/10.30595/jrre.v1i1.4929>
- Wibowo, A. (2024). Teori & Praktik Jaringan Komputer. *Penerbit Yayasan Prima Agus Teknik*, 1–174.
- Zheng, H. (2022). Evaluation of Jinko Solar Holding Co., Ltd: What can we expect from the rapid growth and challenges. *BCP Business & Management*, 29. <https://doi.org/10.54691/bcpbm.v29i.2279>
- Zulfadli, T., Sary, R., & Nazar, M. (2022). Feasibility Study on the Use of On-Grid Rooftop Solar Power Plants to Reduce Electrical Energy Consumption at LPI. Dayah Ulee Titi Foundation. *Desiminating Information on the Research of Mechanical Engineering-Jurnal Polimesin*, 20(2).