

Performance Analysis of the 1 MW Rooftop Solar Power Generation System at the Karawang

Analisa Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap 1 MW di Daerah Karawang

Rizqullah Yoga Prasetya¹, Sulthon Alfa Adilla², Muhammad Farid Khol'ilmy^{3*}, Eрманu A. Hakim⁴, Diding Suhardi⁵

^{1,2,3,4,5}Departement of Electrical Engineering, University Muhammadiyah of Malang, Indonesia

¹Rizqullahyp@gmail.com

²Sulthonalfa57@gmail.com

³faridkholilmy@gmail.com

⁴ermanu@umm.ac.id

⁵diding@umm.ac.id

Abstract _ Electric energy is crucial for development, with Indonesia's projected electricity demand reaching 120 GW by 2025. The National Energy Policy emphasizes the development of renewable energy, particularly Solar Power Plants (PLTS), which have rapidly advanced with increased efficiency and reduced production costs. PLTS has become an attractive option, especially in areas with high solar intensity, for applications such as home lighting and vaccine storage. The target PLTS capacity is 400 MW by 2024. Despite growing popularity, challenges such as high initial costs and efficiency in unstable weather conditions remain. Research shows that environmental factors and shading can affect PLTS performance. This study analyzes the performance of a 1 MW PLTS system at a ceramic factory in Karawang using Global Solar Atlas and PVsyst for simulation and comparison with field data. Simulation results indicate optimal power production >90% with a performance ratio between 81.90% and 84.70%. The built PLTS shows a stable performance ratio above 79%, with power production differing by <10% compared to PVsyst simulation, demonstrating system reliability in actual operational conditions. This research underscores the importance of environmental factors in PLTS design and operation to achieve maximum efficiency.

Keywords: electric energy, renewable energy, PLTS, energy efficiency, and performance ratio.

Abstrak _ Energi listrik sangat penting untuk pembangunan, dengan proyeksi kebutuhan listrik Indonesia mencapai 120 GW pada tahun 2025. Kebijakan Energi Nasional menekankan pengembangan energi terbarukan, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), yang telah berkembang pesat dengan peningkatan efisiensi dan penurunan biaya produksi. PLTS menjadi pilihan menarik, terutama di daerah dengan intensitas matahari tinggi, untuk aplikasi seperti penerangan rumah dan penyimpanan vaksin. Target kapasitas PLTS adalah 400 MW pada tahun 2024. Meskipun PLTS semakin populer, tantangan seperti biaya awal tinggi dan efisiensi dalam kondisi cuaca tidak stabil masih ada. Penelitian menunjukkan bahwa faktor lingkungan dan shading dapat mempengaruhi kinerja PLTS. Studi ini menganalisis kinerja PLTS berkapasitas 1 MW di pabrik keramik Karawang menggunakan Global Solar Atlas dan PVsyst untuk simulasi serta perbandingan data lapangan. Hasil simulasi menunjukkan produksi daya optimal >90% dengan performance ratio antara 81,90% dan 84,70%. Kinerja PLTS yang sudah dibangun menunjukkan performance ratio stabil di atas 79%, dengan produksi daya hanya selisih <10% dibandingkan simulasi PVsyst, membuktikan keandalan sistem dalam kondisi operasional sebenarnya. Penelitian ini menggarisbawahi pentingnya faktor lingkungan dalam desain dan operasional PLTS untuk mencapai efisiensi maksimal.

Kata kunci: energi listrik, energi terbarukan, PLTS, efisiensi energi, dan performance ratio

I. PENDAHULUAN

Salah satu jenis energi yang sangat penting untuk pembangunan adalah energi listrik. Diperkirakan konsumsi energi listrik di Indonesia sampai tahun 2025 mengalami kenaikan yang cukup tinggi, dengan pertumbuhan ekonomi sekitar 7–10% per tahun. Pada tahun 2025, diperkirakan kebutuhan daya listrik Indonesia akan mencapai sekitar 120 GW[1]. Sesuai dengan Kebijakan Energi Nasional, diperlukan pengembangan lebih lanjut mengenai pemanfaatan energi baru terbarukan [2].

Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi PLTS telah berkembang dengan cepat, dengan peningkatan efisiensi panel surya dan biaya produksi yang lebih rendah[3]. Hal ini telah membuat PLTS menjadi pilihan yang lebih menarik bagi pengguna energi, terutama di wilayah-wilayah yang memiliki intensitas sinar matahari yang tinggi[4]. Pengembangan PLTS menjadi produk kunci dalam upaya memanfaatkan energi terbarukan yang bersumber dari matahari. Sistem fotovoltaik termasuk modul sel surya dapat digunakan untuk aplikasi praktis seperti penerangan rumah, irigasi, penyimpanan vaksin, dan komunikasi stasiun kereta api. Blueprint Pengelolaan Energi Nasional menargetkan kapasitas PLTS sebesar 400 MW pada tahun 2024 untuk mendukung sasaran keberlanjutan energi[5].

Namun, walaupun PLTS telah menjadi pilihan yang lebih populer, masih terdapat beberapa kendala yang harus diatasi, seperti biaya awal yang tinggi dan keterbatasan dalam penggunaan energi yang dihasilkan[6]. Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian tentang PLTS telah meningkat, dengan fokus pada pengembangan teknologi yang lebih efektif dan efisien[7]. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi panel surya, meningkatkan kualitas baterai, dan mengembangkan sistem kontrol yang lebih baik. Namun, masih terdapat beberapa masalah yang harus dipecahkan, seperti bagaimana meningkatkan kinerja PLTS dalam kondisi cuaca yang tidak stabil dan bagaimana mengurangi biaya produksi[8].

Terdapat penelitian sebelumnya yang melakukan analisis kinerja PLTS. Penelitian oleh Andrian Mansur yang dilakukan di PLTS On Grid UPDL Makassar menyimpulkan bahwa rendahnya *performance ratio* (PR) menyebabkan menurunnya daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS, selain itu aspek lingkungan juga sangat berpengaruh pada usia komponen serta kinerja sistem[9]. Penelitian yang dilakukan oleh Gunawan dkk menganalisa data hasil simulasi menggunakan HelioScope dengan data real lapangan menunjukkan bahwa terdapat perbedaan daya yang dihasilkan sebesar 9,53% lebih rendah dari hasil simulasi, faktor yang mempengaruhi daya yang dihasilkan yaitu shading dari benda-benda dekat dengan sistem PLTS, lalu faktor kebersihan pada modul, serta terdapat perbedaan pada orientasi sistem PLTS[10].

Penelitian kali ini, analisa kinerja sistem PLTS pada industri pabrik keramik di Karawang dengan Kapasitas 1 MW dilaksanakan. Untuk mendukung penelitian ini digunakanlah aplikasi PVsyst dan *Global Solar Atlas* (GSA) yang berbasis online, penggunaan aplikasi ini untuk mengetahui data radiasi matahari pada lokasi yang ditentukan. Simulasi yang dibuat disesuaikan dengan rancangan awal yang telah dibuat serta lokasi pembangunan sistem PLTS yaitu di pabrik keramik daerah industri Karawang total kapasitas yang dibangun yaitu sebesar 1 MW. Kemudian dari hasil simulasi akan didapatkan data produksi daya lalu data ini dibandingkan dengan data yang ada di lapangan setelah itu dilakukan analisa berupa faktor-faktor apa saja yang berpengaruh pada perbedaan data hasil simulasi serta data lapangan.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Sistem PLTS

Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui *Performance Ratio* dari sistem yang dibangun dan simulasi yang telah dilakukan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja dari sistem PLTS sehingga terjadi perbedaan maupun persamaan data pada hasil simulasi dan real di lapangan.

2.2 Penggunaan Modul PV & Inverter

Pemilihan modul PV dan Inverter ini disesuaikan dengan kebutuhan serta perancangan yang telah ditetapkan. Modul panel yang digunakan yaitu JKM550M-72HL4 Monocrystalline. Untuk spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada Table 1. Kemudian terdapat 2 jenis penggunaan inverter, pemilihan ini disesuaikan dengan rancangan sistem yang telah dibuat. Inverter yang dipakai yaitu Huawei Smart String SUN2000-100KTL-M1 dan Huawei Smart String SUN2000-60KTL-M0, spesifikasinya dapat dilihat pada Table 2 dan Table 3.

[Table 1 about here]

[Tabel 2 about here]

[Tabel 3 about here]

2.3 Desain sistem PLTS

Pada pembangunan sistem ini modul panel surya yang dibutuhkan sebanyak 1920 unit dengan pemasangan secara paralel untuk antar modul kemudian tiap string dihubungkan secara seri, tujuannya yaitu untuk memaksimalkan daya yang dapat dihasilkan oleh modul panel surya. Kemudian panel tersebut terbagi menjadi 120 string yang dimana setiap string terdiri dari 16 unit modul panel surya. Inverter yang digunakan sebanyak 9 unit dengan konfigurasi 8 unit kapasitas 100KTL dan 1 unit kapasitas 60KTL. Sistem ini dibagi

menjadi 2 outputan yang dihubungkan ke jaringan *Sub Distribution Panel* (SDP) dan juga *Low Voltage Main Distribution Panel 2* (LVMDP 2) pabrik.

2.4 Daya Terpasang

Untuk sistem yang dibangun memiliki kapasitas daya sebesar 1 MW, kapasitas ini sudah disesuaikan dengan desain rencana yang telah disetujui oleh pihak client. Dari kapasitas yang ada dibagi ke 2 jaringan pabrik, untuk jaringan pada SDP total daya 450 kWp sedangkan untuk jaringan LVMDP total daya sebesar 550 kWp.

2.5 Efektifitas dan *Performance Ratio* Sistem PLTS

Tingkat efektifitas sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan rasio kinerjanya, yang biasanya ditunjukkan dalam persentase, menunjukkan seberapa efektif sistem PLTS dalam menghasilkan energi listrik dari sinar matahari. Menurut beberapa penelitian, rasio kinerja PLTS dapat berkisar antara 70% sampai 80%. Namun, kondisi cuaca, lokasi geografis, ukuran, dan kualitas sistem PLTS yang digunakan dapat mempengaruhi nilai ini. Sistem PLTS yang memiliki rasio performa yang lebih tinggi akan lebih produktif dan efisien.[11][12].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi yang dilakukan pada website *Global Solar Atlas* (GSA), lokasi pembangunan sistem PLTS didapatkan nilai *Global Horizontal Irradiation* (GHI) sebesar 4.867 kWh/m² per hari. Kemudian nilai *Global Tilted Irradiation* (GTI) pada posisi sudut optimal bernilai 4.933 kWh/m² per hari.

[Figure 1 about here]

Setelah data di *breakdown* produksi daya paling maksimal berada di antara jam 10 sampai jam 1, dengan nilai paling rendah pada bulan Januari sampai Februari sedangkan untuk bulan Agustus sampai Oktober daya yang diproduksi lebih banyak daripada bulan yang lain dengan puncaknya berada di bulan September.

[Figure 2 about here]

Pada simulasi PVsyst nilai *irradiance* yang didapatkan yaitu sebesar 4.867 kWh/m²/tahun dengan rata-rata produksi daya sebesar 1.411 kWh/tahun. Kemudian terdapat *losses* sistem sebesar 0,13 kWh/hari dan juga *losses* modul 0,78 kWh/hari.

[Figure 3 about here]

Kinerja *performance ratio* sistem pada simulasi PVsyst mendapatkan nilai yang cukup stabil dengan rata-rata 81%, kemudian terdapat *losses* dari faktor lain

seperti *soiling*, suhu kinerja dan aspek lain yang bernilai 16%.

[Figure 4 about here]

Setelah dilakukan pengetesan kinerja sistem lapangan didapatkan bahwa hasil *performance ratio* pada jaringan SDP sebesar 81,90% kemudian 80% untuk LVMDP. Sedangkan pada ekspektasi *performance ratio* untuk SDP sebesar 84,70% dan LVMDP sebesar 80,10%.

[Figure 5 about here]

Kemudian pada tiap kabel DC yang terhubung ke inverter terdapat *losses* dengan rata-rata *voltage drop* sebesar 1,445 V atau < 3% dari daya yang dibangkitkan.

[Figure 6 about here]

Lalu dari sisi AC *voltage drop* yang didapatkan tidak sebesar pada kabel DC, nilai ini lebih rendah 1 V atau 0,2% dari daya yang dihasilkan oleh sistem.

[Figure 7 about here]

Dari data lapangan yang diambil selama 1 bulan, dengan nilai *irradiance* sebesar 5.008 kWh/m² rata-rata produksi dayanya sebesar 4.071 kWh/m². Sedangkan *performance ratio* yang didapatkan stabil diatas 79% dan nilai maksimal sebesar 82,19%.

[Figure 8 about here]

IV. ESIMPULAN

Hasil analisa yang didapatkan dari simulasi serta data lapangan diketahui bahwa sistem memiliki kinerja yang baik dan stabil. Simulasi dari *Global Solar Atlas* menunjukkan dengan nilai *irradiance* 4.867 kWh/m²/tahun sistem dapat menghasilkan daya sebesar 1.447 GWh/tahun. Produksi daya yang didapatkan pada simulasi ini menunjukkan kinerja sistem bekerja secara optimal > 90% dengan kecenderungan faktor lain yang lebih sedikit. Kemudian simulasi yang dilakukan pada PVsyst dengan nilai *irradiance* 4.867 kWh/m² per tahun didapatkan daya produksi sebesar 1.411 kWh/tahun, *performance ratio* yang diperoleh yaitu 81,90% dan 84,70%. Daya ini lebih rendah dari simulasi sebelumnya karena adanya faktor yang mempengaruhi kinerja dari sistem PLTS seperti *losses*, *soiling*, suhu kinerja modul dan aspek lingkungan lainnya. Sedangkan pada PLTS yang sudah dibangun nilai dari *performance ratio* stabil diatas 79% dengan rata-rata 81,27% dan daya produksi sebesar 4.072 kWh pada bulan November. Hal tersebut membuktikan bahwa sistem yang telah dibangun memiliki kinerja yang baik karena memiliki

performance ratio yang stabil di atas 79% dan memiliki selisih produksi daya < 10% dengan simulasi PVsyst.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. Boedoyo, "POTENSI DAN PERANAN PLTS SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF MASA DEPAN DI INDONESIA," *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, vol. 14, no. 2, Jun. 2013, doi: 10.29122/jsti.v14i2.919.
- [2] S. Junior, I. N. Satya Kumara, and I. A. Dwi Giriantari, "PERKEMBANGAN PEMANFAATAN PLTS DI DKI JAKARTA MENUJU TARGET 13,8 MW TAHUN 2025," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 9, no. 1, p. 62, May 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i01.p8.
- [3] Suwarti and - Wahyono, "Analisis Pengaruh Intensitas Matahari, Suhu Permukaan & Sudut Pengarah Terhadap Kinerja Panel Surya," *Eksergi*, vol. 14, no. 2, Feb. 2019, doi: 10.32497/eksergi.v14i2.1325.
- [4] S. H. Kiki, U. Prayogi, and B. Y. Dewantara, "Perancangan Tata Letak Mesin Pendingin dan Instalasi Panel Surya sebagai Supply Daya Sistem Pendingin Ruang Muat Kapal Ikan KM. Jaya Putra," *Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)*, vol. 7, no. 1, pp. 255–260, Oct. 2022, doi: 10.36277/jteuniba.v7i1.163.
- [5] H. B. Nurjaman and T. Purnama, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Solusi Energi Terbaru Rumah Tangga," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 136–142, Nov. 2022, doi: 10.21831/jee.v6i2.51617.
- [6] J. Indra Bayu, I. Budi Sulistiyawati, and N. Putu Agustini, "Monitoring Pengaruh Suhu Pada Panel Surya Terhadap Performa Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jurnal FORTECH*, vol. 4, no. 1, pp. 27–32, Jan. 2023, doi: 10.56795/fortech.v4i1.4104.
- [7] M. E. Martawati, "Analisis stabilitas tegangan pengisian baterai terhadap putaran kincir angin pada pembangkit listrik tenaga angin," *JURNAL ELTEK*, vol. 18, no. 1, p. 57, Apr. 2020, doi: 10.33795/eltek.v18i1.214.
- [8] N. S. Gunawan, I. N. S. Kumara, and R. Irawati, "UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 26,4 KWP PADA SISTEM SMART MICROGRID UNUD," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 1, Sep. 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p01.
- [9] A. Mansur, "ANALISA KINERJA PLTS ON GRID 50 KWP AKIBAT EFEK BAYANGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PVSYST," *Transmisi*, vol. 23, no. 1, pp. 28–33, Jan. 2021, doi: 10.14710/transmisi.23.1.28-33.
- [10] N. S. Gunawan, I. N. S. Kumara, and R. Irawati, "UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) 26,4 KWP PADA SISTEM SMART MICROGRID UNUD," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 6, no. 3, p. 1, Sep. 2019, doi: 10.24843/spektrum.2019.v06.i03.p01.
- [11] L. A. Salsabila Ayu, I. A. Dwi Giriantari, and I. N. Setiawan, "ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP ON-GRID 11,2 KWP DI RESIDENSIAL BUKIT GADING MEDITERANIA, JAKARTA UTARA," *Jurnal SPEKTRUM*, vol. 10, no. 1, p. 32, Mar. 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i01.p5.
- [12] R. C. Pambudi, R. Hantoro, and H. Cordova, "Analisa Performansi dan Monitoring Berbasis Web pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Fakultas Teknologi Industri ITS," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, Mar. 2018, doi: 10.12962/j23373539.v7i1.27827.

*Correspondent e-mail address faridkholilmy@gmail.com

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

© 2024 Muhammadiyah University Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Received: 2024-06-15

Accepted: 2024-10-17

Published: 2024-10-31

DAFTAR TABEL

Table 1. Spesifikasi Modul Panel Surya	65
Table 2. Spesifikasi Inverter 100KTL	65
Table 3. Spesifikasi Inverter 60KTL	66

Table 1. Spesifikasi Modul Panel Surya

Parameter	Nilai
Maximum power (Pmax)	550Wp
Maximum power voltage (Vmp)	40,90V
Maximum power current (Imp)	13,45A
Open-circuit voltage (Voc)	49,62V
Short-circuit voltage (Isc)	14,03A
Module efficiency STC %	21,33%
Operating temperature (°C)	-40°C - +85°C
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)
Maximum series fuse rating	25A
Power tolerance	0 - +3%
Temperature coefficients of Pmax	-0,35%/°C
Temperature coefficients of Voc	-0,28%/°C
Temperature coefficients of Isc	0,048%/°C
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C

Table 2. Spesifikasi Inverter 100KTL

Parameter	Nilai
	Input
Max. Input Voltage	1,100V
Max Current per MPPT	26A
Max. Short Circuit Current per MPPT	40A
Start Voltage	200V
MPPT Operating Voltage Range	200V – 1,000V
Nominal Input Voltage	720V @480Vac, 600V @400Vac, 570V @380Vac
Number of MPPT trackers	10
Max. number of inputs	20
	Output
Nominal AC Active Power	100kW
Max. AC Apparent Power	110kVa
Max. AC Active Power (cosφ=1)	110kW
Nominal Output Voltage	480V/ 400V/ 380V
Rated AC Grid Frequency	50Hz/60Hz
Nominal Output Current	120.3A @480V, 144.4A @400V, 152A @380V
Max. Output Current	133.7A @480V, 160.4A @400V, 168.8A @380V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading..... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

Table 3. Spesifikasi Inverter 60KTL

Parameter	Nilai
	Input
Max. Input Voltage	1,100V
Max Current per MPPT	22A
Max. Short Circuit Current per MPPT	30A
Start Voltage	200V
MPPT Operating Voltage Range	200V – 1,000V
Nominal Input Voltage	600V @380Vac / @400Vac, 720V @480Vac
Number of MPPT trackers	12
Max. number of inputs	6
	Output
Nominal AC Active Power	60kW
Max. AC Apparent Power	66kVa
Max. AC Active Power (cosφ=1)	66kW
Nominal Output Voltage	220V / 380V, 230V / 400V
Rated AC Grid Frequency	50Hz / 60Hz
Nominal Output Current	91.2A @380V, 86.7A @400V, 72.2A @480V
Max. Output Current	100A @380V, 95.3A @400V, 79.4A @480V
Adjustable Power Factor Range	0.8 leading..... 0.8 lagging
Max. Total Harmonic Distortion	<3%

DAFTAR GAMBAR

Figure 1. Peta Irradiasi Matahari Lokal	68
Figure 2. Rata-rata Photovoltaic Power Output Per 1 Jam di Tiap Bulan.....	68
Figure 3. Hasil Produksi Daya Simulasi PVsyst	68
Figure 4. Performance Ratio Sistem Pada Simulasi PVsyst	69
Figure 5. Grafik Data PR Test Sistem di Lapangan	69
Figure 6. Grafik Data Losses Kabel DC	69
Figure 7. Grafik Data Losses Kabel AC	70
Figure 8. Grafik Data Nilai Irradiance, Produksi Daya dan PR di Lapangan	70

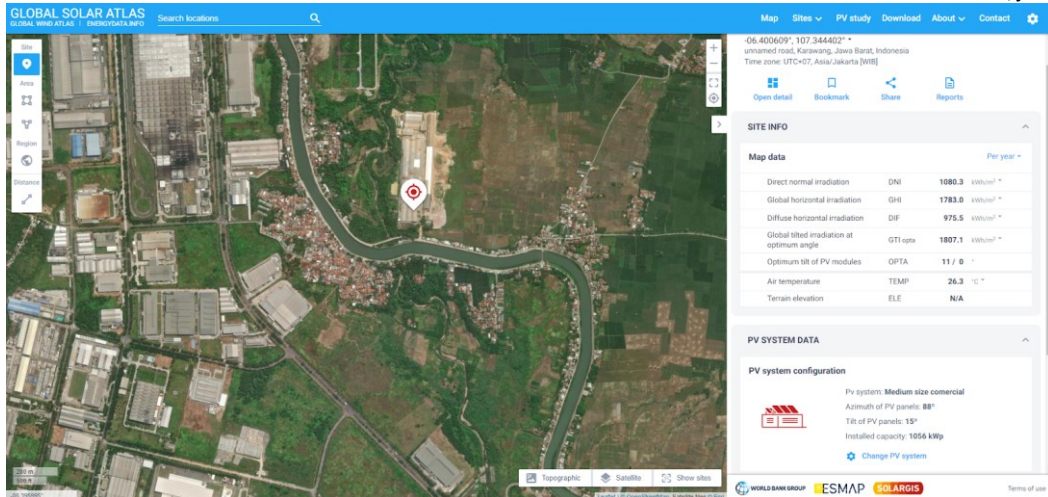


Figure 1. Peta Irradiasi Matahari Lokal

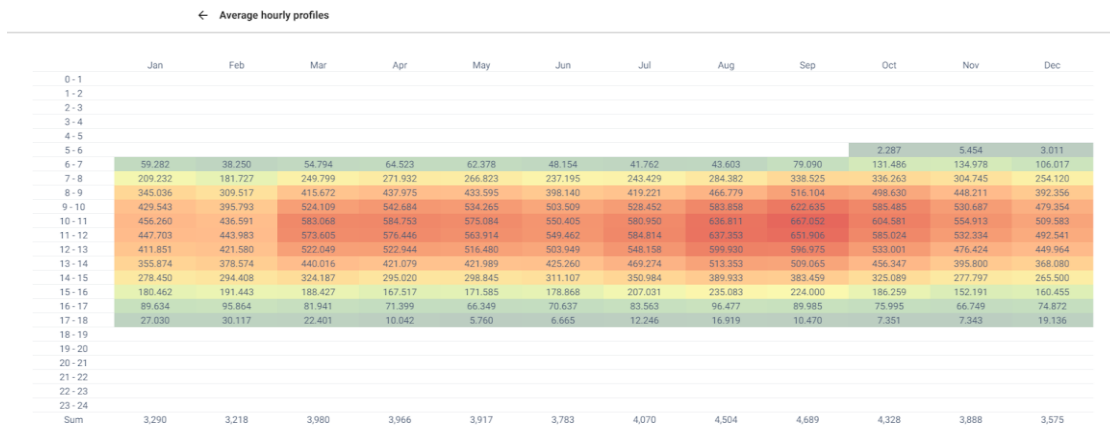


Figure 2. Rata-rata Photovoltaic Power Output Per 1 Jam di Tiap Bulan

Normalized productions (per installed kWp): Nominal power 1056 kWp

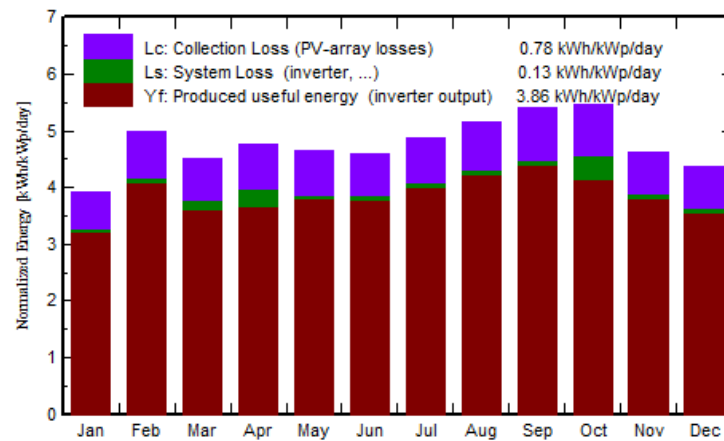


Figure 3. Hasil Produksi Daya Simulasi PVsyst

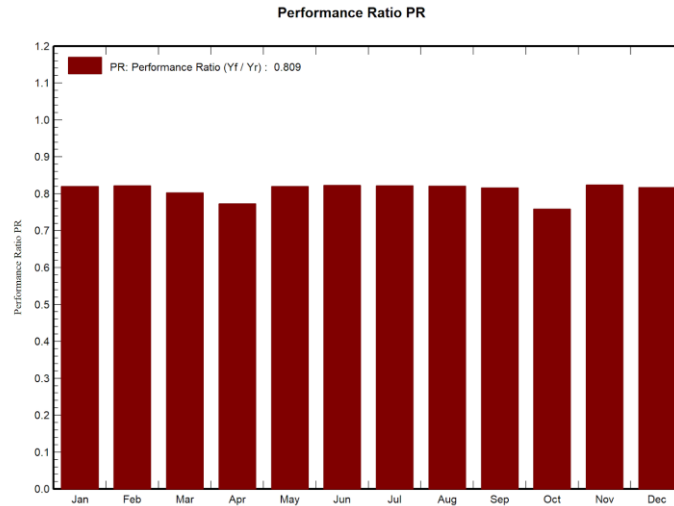


Figure 4. Performance Ratio Sistem Pada Simulasi PVsyst

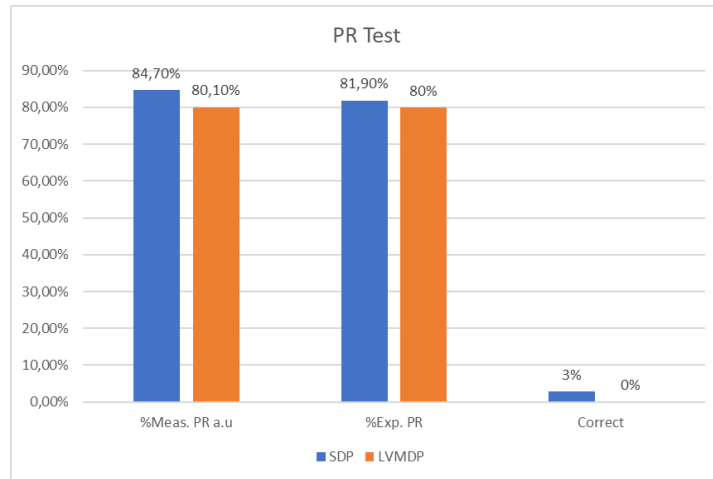


Figure 5. Grafik Data PR Test Sistem di Lapangan

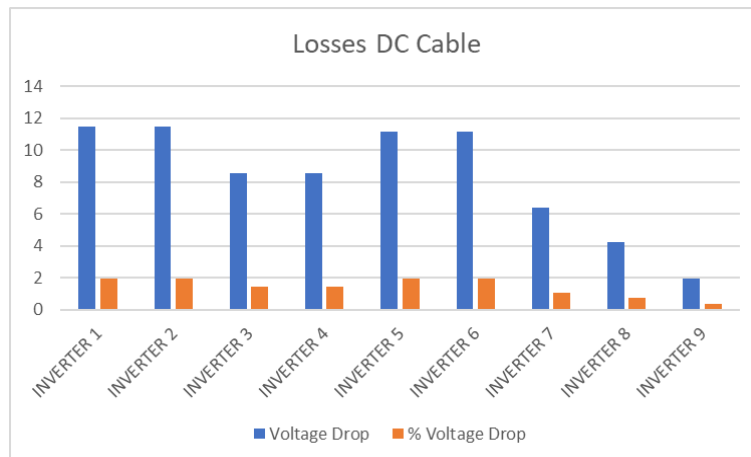


Figure 6. Grafik Data Losses Kabel DC

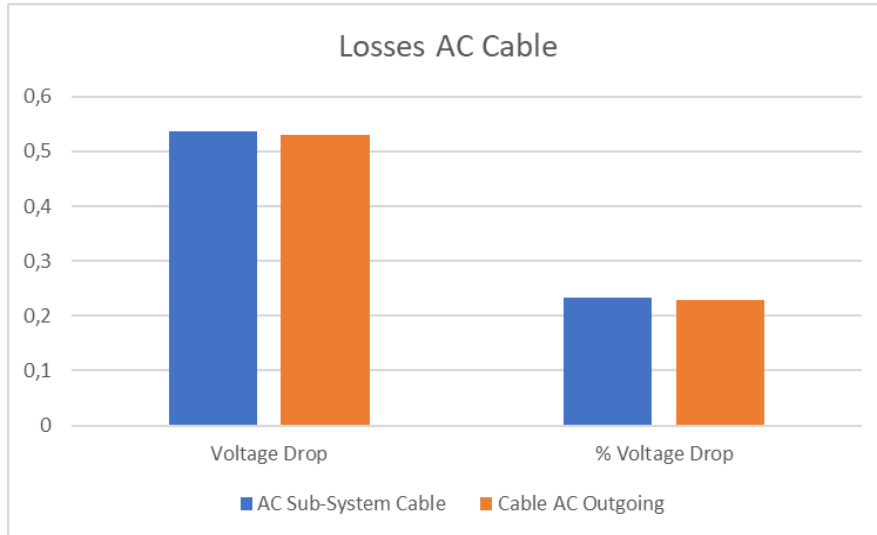


Figure 7. Grafik Data Losses Kabel AC

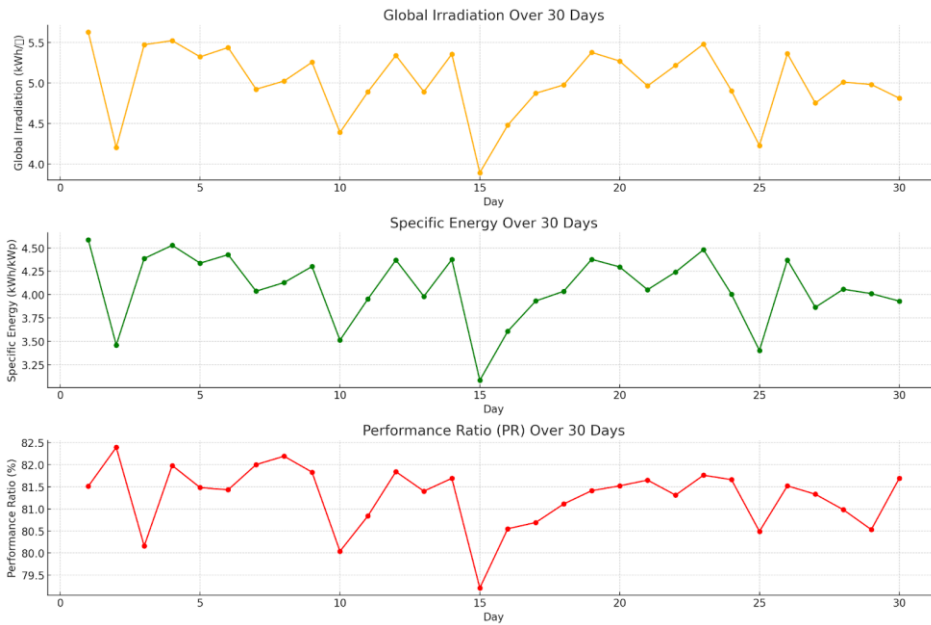


Figure 8. Grafik Data Nilai Irradiance, Produksi Daya dan PR di Lapangan