



Analisis Kontribusi Panel Surya Atap Parkir 3,3 kWp terhadap Efisiensi Operasional PLTS Sengkol 7 MWp

Nanang Andhika Putra

Universitas Mataram

Wieny Amalia Pratiwi

Universitas Mataram

Rosmaliati

Universitas Mataram

Alamat: Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kec. Selaparang
Mataram, Nusa Tenggara Barat

Korespondensi penulis: nanangandhika66@gmail.com

Abstract. *Abstract Auxiliary load in utility-scale PV plants acts as a parasitic load that diminishes the net energy yield exported to the grid. Utilizing solar carports offers a mitigation strategy; however, field-data-based performance studies in tropical climates remain limited compared to simulations. This research evaluates the technical performance and energy self-sufficiency of a 3.3 kWp solar carport at Sengkol PV Plant using field measurement data based on IEC 61724 standards. The analysis covers irradiation, temperature, energy yield, and load profiles. Measurements indicate the system achieved 100% Self-Consumption with no reverse power flow, contributing an average Self-Sufficiency of 10.65%. However, the Performance Ratio (PR) averaged 63.70%, indicating significant thermal losses due to power temperature coefficients when ambient temperatures exceeded 28.5°C. This study confirms that solar carport integration effectively supports the facility's base load, though passive thermal management strategies are recommended to optimize efficiency in low-roof installations*

Keywords: *Auxiliary load, Performance Ratio, Self-Sufficiency, Solar Carport.*

Abstrak. Beban pemakaian sendiri (*auxiliary load*) pada PLTS skala utilitas merupakan beban parasitik yang mengurangi total ekspor energi bersih (*net energy yield*). Pemanfaatan lahan non-produktif melalui instalasi *solar carport* menjadi solusi potensial, namun studi performa berbasis data lapangan di iklim tropis masih terbatas dibandingkan simulasi. Penelitian ini mengevaluasi kinerja teknis dan kontribusi kemandirian energi sistem *solar carport* 3,3 kWp di PLTS Sengkol menggunakan data pengukuran lapangan berbasis standar IEC 61724. Analisis dilakukan terhadap parameter iradiasi, suhu, produksi energi, dan profil beban. Hasil pengukuran menunjukkan sistem mencapai *Self-Consumption* 100% tanpa aliran daya balik, dengan kontribusi kemandirian energi (*Self-Sufficiency*) rata-rata 10,65% terhadap beban gedung. Namun, *Performance Ratio* (PR) tercatat rendah pada rata-rata 63,70%, mengindikasikan kerugian termal signifikan akibat koefisien temperatur daya saat suhu lingkungan melampaui 28,5°C. Studi ini

Received Januari 02, 2026; Accepted Februari 02, 2026; Published Maret 30, 2026

*Corresponding author, nanangandhika66@gmail.com

mengonfirmasi efektivitas *solar carport* sebagai penyangga beban dasar, meskipun strategi manajemen termal pasif diperlukan untuk optimalisasi pada instalasi atap rendah.

Kata kunci: Beban *Auxiliary*, *Performance Ratio*, *Self-Sufficiency*, *Solar Carport*.

LATAR BELAKANG

Transisi menuju sistem kelistrikan rendah karbon telah menempatkan pengembangan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai prioritas strategis nasional. Pemerintah Indonesia melalui Kebijakan Energi Nasional yang tertuang dalam RUEN menetapkan percepatan target bauran EBT sebesar 23 persen pada tahun 2025 (Taufiqurrahman & Windarta, 2020). Dalam konteks ini, peningkatan kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi instrumen vital karena dinilai memiliki keunggulan masa konstruksi jauh lebih cepat dibandingkan jenis pembangkit listrik lainnya (Harianto & Karjadi, 2022). Potensi ini diperkuat oleh letak geografis Indonesia di garis khatulistiwa yang memiliki potensi iradiasi matahari rata-rata harian yang melimpah, yakni sekitar 4,8 kWh/m² (Halim, 2022). Namun, tantangan utama dalam operasional PLTS di iklim tropis bukan hanya pada ketersediaan iradiasi, melainkan juga pada efisiensi konversi yang rentan terhadap kenaikan temperatur lingkungan yang ekstrem. Hal ini dikarenakan setiap kenaikan suhu 1°C di atas kondisi standar, efisiensi modul fotovoltaik menurun rata-rata 0,4%–0,5% sehingga berdampak pada produktivitas di wilayah beriklim panas (Bamisile et al., 2025).

Meskipun fungsi utama PLTS skala utilitas adalah memproduksi energi, keberlangsungan operasionalnya sangat dipengaruhi oleh pemenuhan beban pemakaian sendiri (*auxiliary consumption*). Komponen beban ini meliputi suplai energi bagi fasilitas gedung, sistem pendingin, serta infrastruktur kontrol dan monitoring yang esensial untuk menjamin kontinuitas operasional sistem. Konsekuensinya, karakteristik beban bantu yang bersifat kontinu ini dikategorikan sebagai beban parasitik (*parasitic loads*) yang secara teknis mengurangi total energi bersih yang dapat diekspor ke jaringan (Cox et al., 2023). Akurasi dalam memitigasi beban parasitik ini menjadi krusial untuk memastikan perhitungan *Net Energy Yield* yang presisi. Fluktuasi daya keluaran akibat faktor lingkungan menuntut analisis kinerja berbasis pengukuran riil yang lebih akurat dibandingkan sekadar estimasi teoritis (Silalahi & Setiawan, 2025). Salah satu upaya strategis untuk memitigasi kerugian tersebut adalah pemanfaatan lahan non-produktif

seperti area parkir melalui instalasi *solar carport* yang mampu meningkatkan produksi energi tanpa mengganggu fungsi lahan tersebut (Fakour et al., 2023).

Terlepas dari perkembangan pesat implementasi solar carport, literatur yang membahas evaluasi kinerjanya berbasis data operasional nyata di lingkungan industri pembangkit listrik tropis masih terbatas. Mayoritas studi terdahulu oleh (Burhandono et al., 2022), (Jumpon et al., 2024) lebih memprioritaskan analisis kelayakan ekonomi dan simulasi desain menggunakan perangkat lunak Pvsyst. Namun, pendekatan simulasi sering kali memiliki keterbatasan dalam menangkap kondisi dinamis lapangan. Alaçam et al. (2024) dalam studi komparasinya membuktikan adanya deviasi hasil yang nyata antara prediksi *software* simulasi (PVsyst/PVSOL) dengan data produksi aktual, sehingga validasi berbasis pengukuran lapangan menjadi metode yang lebih reliabel. Meskipun evaluasi berbasis data operasional telah dilakukan oleh Mohammad et al. (2023), penelitian tersebut hanya menyoroti deviasi produksi aktual terhadap simulasi yang terbatas pada instalasi atap standar. Di sisi lain, tantangan teknis spesifik seperti pengaruh temperatur lingkungan yang tinggi terhadap rasio performa (*Performance Ratio*) pada struktur *carport* yang rendah sering kali tidak terpotret akurat dalam studi berbasis simulasi.

Tujuan dari Penelitian adalah untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menyajikan evaluasi kinerja teknis dan kontribusi energi aktual dari sistem *solar carport* berkapasitas 3,3 kWp yang terintegrasi di PLTS Sengkol, Lombok Tengah. Berbeda dengan pendekatan simulasi atau analisis rata-rata harian, penelitian ini menggunakan data pengukuran lapangan untuk menganalisis profil beban, tingkat kemandirian energi (*self-sufficiency*), dan korelasi kinerja sistem terhadap faktor lingkungan. Hasil analisis diharapkan memberikan validasi empiris mengenai efektivitas *solar carport* sebagai penyangga beban operasional pada fasilitas pembangkit skala utilitas.

KAJIAN TEORITIS

Transformasi Fungsi Lahan melalui *Solar Carport*

Pemanfaatan lahan non-produktif menjadi strategi krusial dalam pengembangan infrastruktur energi terbarukan di kawasan pembangkit listrik yang memiliki keterbatasan lahan. Secara konseptual, struktur atap parkir (*solar carport*) bertransformasi dari sekadar pelindung kendaraan menjadi aset pembangkit energi aktif yang terdesentralisasi. Studi yang dilakukan oleh Biantara et al. (2022) menegaskan bahwa instalasi panel surya pada

area parkir mampu mengoptimalkan fungsi lahan yang sudah terbangun tanpa memerlukan pembukaan area hijau baru. Berbeda dari sistem *rooftop* konvensional, integrasi ini menghadapi tantangan teknis spesifik terkait orientasi struktur dan paparan lingkungan terbuka yang memengaruhi suhu kerja modul secara langsung. Oleh karena itu, evaluasi kinerja *solar carport* tidak hanya dinilai dari sisi produksi energi semata, tetapi juga dari efisiensi pemanfaatan ruang dan kontribusinya terhadap beban lokal melalui mekanisme pemakaian sendiri.

Standarisasi Evaluasi Kinerja Fotovoltaik

Secara global validitas kinerja sistem fotovoltaik mengacu pada standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61724 yang menetapkan parameter keseragaman data operasional. Rafhel Panjaitan et al. (2023) menjelaskan bahwa *Performance Ratio* (PR) merupakan indikator universal yang penting karena merepresentasikan efisiensi sistem dalam mengonversi iradiasi matahari menjadi energi listrik dengan memperhitungkan seluruh kerugian sistem (*losses*). Nilai PR memungkinkan perbandingan kinerja antar sistem PV di lokasi geografis yang berbeda tanpa bias durasi penyinaran matahari. Namun, masalah penurunan performa yang disebabkan oleh faktor lingkungan sering kali mengakibatkan nilai PR terukur di lapangan lebih rendah dibandingkan spesifikasi teknis. Dengan demikian, pemantauan parameter ini secara *real-time* menjadi instrumen diagnosis utama untuk mendeteksi anomali operasional seperti efek bayangan (*shading*) atau degradasi termal.

Degradasi Termal pada Modul Silikon

Efisiensi konversi energi pada modul fotovoltaik berbasis *crystalline silicon* memiliki korelasi terbalik yang signifikan terhadap kenaikan temperatur operasional sel. Jiang & Madsen (2025) menegaskan bahwa material semikonduktor mengalami penurunan tegangan signifikan saat temperatur meningkat ekstrem yang tidak dapat dikompensasi oleh kenaikan arus. Penurunan ini dianalisis lebih lanjut oleh Bamisile et al. (2025) yang menyatakan bahwa efisiensi modul kristalin menurun rata-rata sebesar 0,4% hingga 0,5% untuk setiap kenaikan temperatur 1°C. Fenomena ini menjadi kendala teknis utama bagi instalasi *solar carport* di iklim tropis dengan iradiasi tinggi yang sering kali memiliki keterbatasan ventilasi alami. Peningkatan suhu sel tidak hanya menurunkan daya keluaran sesaat, tetapi juga berpotensi mempercepat laju degradasi komponen dalam jangka panjang jika tidak dimitigasi.

Self-Consumption* untuk Beban *Auxiliary

Efektivitas integrasi pembangkit terbarukan dengan beban lokal dinilai berdasarkan kemampuannya dalam meminimalkan impor energi dari jaringan eksternal. Ciocia et al. (2021) mendefinisikan *Self-Consumption* sebagai rasio energi yang dikonsumsi langsung oleh beban di tempat terhadap total produksi energi sistem. Dalam konteks pembangkit listrik skala utilitas, penerapan konsep ini ditujukan untuk menyuplai daya pemakaian sendiri (*auxiliary power*), yang menurut Burhandono et al. (2022) dapat meningkatkan efisiensi bersih pembangkit dengan mensubstitusi daya yang seharusnya diambil dari jala-jala. Karakteristik beban *auxiliary* fasilitas industri yang memiliki profil beban dasar (*base load*) stabil menciptakan peluang teknis untuk mencapai nilai penyerapan energi yang tinggi. Analisis keseimbangan energi antara produksi PV dan profil beban ini menjadi metode krusial untuk memvalidasi kontribusi nyata sistem terhadap efisiensi operasional fasilitas.

METODE PENELITIAN

Objek dan Konfigurasi Sistem

Penelitian dilakukan secara *ex-post evaluation* pada sistem solar carport berkapasitas 3,3 kWp yang terintegrasi di jaringan tegangan rendah fasilitas PLTS Sengkol dengan Latitude 8°47'38.76"S dan Longitude 116°17'41.36"E. Sistem ini dikonfigurasi dalam topologi grid-tied untuk menyuplai beban *auxiliary* gedung operasional.

Spesifikasi teknis perangkat keras utama yang menjadi objek evaluasi disajikan dalam Tabel 1. Konfigurasi 10 modul fotovoltaik dipasang dengan orientasi Azimuth 0°(Utara) dengan sudut kemiringan (*tilt angle*) 10° mengikuti kontur atap parkir yang terhubung ke satu unit string inverter.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Perangkat Utama Sistem

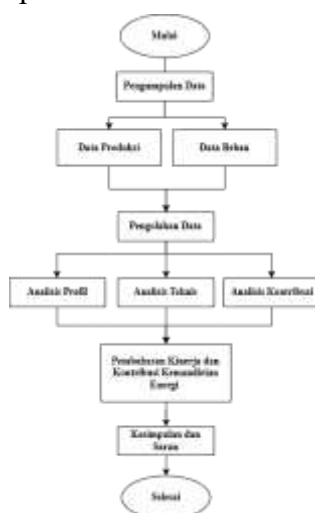
Parameter	Nilai Spesifikasi	Satuan
A. Modul Fotovoltaik (Trina Solar TSM-330PE14A)		
Tipe Sel (<i>Cell Type</i>)	<i>Multicrystalline</i>	-
Daya Puncak (Pmax)	330	Wp
Tegangan MPP (Vmp)	37,4	V
Arus MPP (Imp)	8,83	A

Koefisien Temperatur (Pmax)	-0,41	%/°C
B. Inverter Grid-Tied (Solis S6-GR1P3K-M)		
Daya Output Nominal (PAC)	3	kW
Rentang Tegangan MPPT	80-500	V
Jumlah MPPT	1	Unit

Instrumen dan Akuisisi Data

Pengumpulan data menerapkan metode observasi instrumental kuantitatif selama periode operasional penuh bulan Mei 2025. Data meteorologi dan kelistrikan direkam menggunakan sistem pemantauan terintegrasi yang mencakup tiga parameter utama. Pertama, data produksi energi (E_{AC}) diambil dari data logger Inverter Solis dengan resolusi temporal 15 menit. Kedua, profil beban auxiliary (E_{load}) direkam melalui *Power Meter* digital pada panel distribusi utama yang terhubung ke sistem SCADA pembangkit. Ketiga, parameter lingkungan berupa iradiasi bidang miring (G_T) dan suhu lingkungan (T_{amb}) diperoleh dari Weather Station yang terkalibrasi di lokasi penelitian.

Untuk memvalidasi kesesuaian suplai dan permintaan (*load matching*), data mentah (*raw data*) selanjutnya diolah menjadi profil rata-rata harian (*daily average profile*) dengan resolusi per jam. Tahapan lengkap prosedur penelitian mulai dari akuisisi data hingga evaluasi kinerja diilustrasikan pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Analisis Kinerja Teknis

Evaluasi kinerja teknis sistem mengacu pada standar *International Electrotechnical Commission* (IEC) 61724 yang mendefinisikan parameter utama *Yield Factor* (YF),

Reference Yield (YR), dan *Performance Ratio* (PR). *Yield Factor* dihitung dengan membagi total energi keluaran sistem (E_{ac}) dengan kapasitas daya puncak terpasang (P_{pv}), yang merepresentasikan produktivitas efektif sistem per satuan kapasitas. Selanjutnya, *Reference Yield* ditentukan dari rasio total iradiasi matahari di bidang array (HT) terhadap iradiasi referensi standar (G_{stc}) sebesar 1 kW/m^2 , yang menggambarkan potensi sumber daya matahari yang tersedia. Berdasarkan kedua parameter tersebut, *Performance Ratio* (PR) dihitung sebagai perbandingan antara *Yield Factor* (YF) terhadap *Reference Yield* (YR) dan dinyatakan dalam persentase.

Analisis Kontribusi Energi

Analisis kontribusi energi difokuskan untuk mengukur efektivitas sistem solar carport dalam mensubstitusi kebutuhan daya operasional gedung melalui parameter *Self-Consumption* (SC) dan *Self-Sufficiency* (SS).

1. *Self-Sufficiency* (SS)

Mengukur persentase beban yang disuplai mandiri oleh sistem PV. Dihitung menggunakan persamaan:

$$SS = \frac{E_{gen}}{E_{load}} \times 100\% \quad (1)$$

2. *Self-Consumption* (SC)

Mengukur rasio penyerapan energi PV oleh beban lokal. Dikarenakan konfigurasi sistem menerapkan skema instalasi *behind-the-meter* dengan batasan nihil ekspor ke jaringan utilitas. Kondisi operasional saat permintaan beban (P_{load}) melampaui suplai produksi (P_{gen}) diinterpretasikan sebagai penyerapan energi total. Asumsi teknis tersebut mengimplikasikan capaian nilai *Self-Consumption* mendekati 100%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber data operasional Solis Inverter

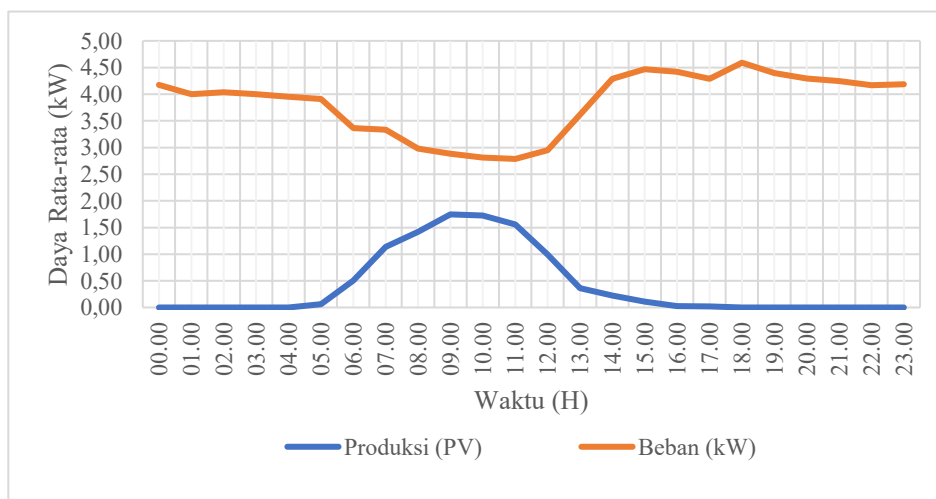
Penelitian ini memfokuskan evaluasi kinerja pada periode operasi bulan Mei 2025. Sebelum dilakukan analisis profil beban, validasi terhadap sumber data dilakukan untuk memastikan integritas pengukuran. Data produksi energi harian (E_{gen}) diambil langsung dari *dashboard* Inverter Solis, sedangkan data beban pemakaian sendiri (*auxiliary load*) diambil dari rekaman SCADA sistem utama. Tampilan produksi energi harian yang terekam pada sistem pemantauan inverter disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Tampilan Dashboard Monitoring Inverter Solis (Mei 2025)

Profil Daya Rata-Rata dan Kesesuaian Beban

Hubungan antara suplai energi PLTS parkir dan permintaan beban gedung dianalisis menggunakan metode profil harian rata-rata. Metode ini menganalisis data deret waktu daya beban (P_{load}) dan daya produksi (P_{gen}) selama 31 hari menjadi satu kurva representatif 24-jam. Hasil pemetaan profil daya rata-rata tersebut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3 Profil Harian Rata-Rata Daya Beban Operasional dan Produksi PV

Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa kurva rata-rata beban operasional (garis oranye) selalu berada di atas kurva produksi PV (garis biru) sepanjang siklus harian. Puncak produksi sistem rata-rata tercatat mencapai angka 1,75 kW pada rentang pukul 09.00 hingga 10.00 WITA. Meskipun terjadi lonjakan produksi pada pagi menjelang siang, beban dasar (*base load*) gedung pada rentang waktu yang sama tetap mendominasi dengan nilai rata-rata terendah berada di kisaran 2,80 kW.

Kondisi undersupply ini menunjukkan bahwa tidak terjadi aliran daya balik (*reverse power flow*) ke jaringan distribusi internal maupun eksternal. Seluruh energi

listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS atap terserap sepenuhnya untuk mensubstitusi sebagian beban dasar gedung tanpa adanya residu energi. Dengan demikian, konfigurasi sistem saat ini beroperasi dengan efisiensi pemanfaatan (*Self-Consumption*) mencapai 100%, di mana tidak terdapat energi terbarukan yang terbuang akibat ketidaksesuaian beban.

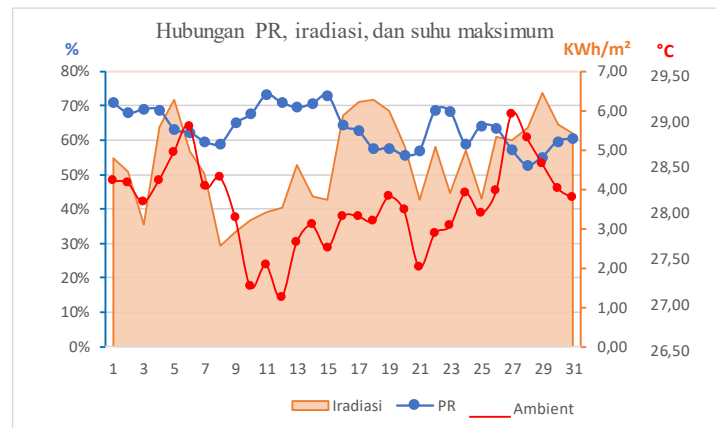
Evaluasi Kinerja Teknis

Kinerja teknis sistem dievaluasi menggunakan parameter Performance Ratio (PR) untuk mengukur efisiensi sistem dalam mengonversi potensi iradiasi matahari menjadi energi listrik berguna. Ringkasan parameter statistik kinerja selama bulan Mei 2025 dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Ringkasan Statistik Kinerja Teknis dan Kontribusi Energi (Mei 2025)

Parameter Evaluasi	Satuan	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata (Mean)
Produksi Energi (Egen)	kWh/hari	5	13,1	9,87
Yield Factor (YF)	kWh/kWp	1,52	3,97	2,97
Reference Yield (YR)	jam/hari	2,57	6,44	4,71
Performance Ratio (PR)	%	52,71	73,31	63,7
<i>Self-Sufficiency</i> (SS)	%	6,16	18,99	10,65
<i>Self-Consumption</i> (SC)	%	100	100	100

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rata-rata PR tercatat sebesar 63,7% dengan fluktuasi harian antara 52,71% hingga 73,31%. Nilai ini tergolong rendah jika dibandingkan dengan standar kinerja sistem PV modern pada kondisi ideal dan juga jika dibandingkan dengan studi sejenis oleh Gusmedi et al. (2025) yang mencatatkan nilai Performance Ratio mencapai 84,34% pada sistem On-Grid 60 kWp. Perbedaan kinerja ini mengindikasikan adanya faktor eksternal yang mempengaruhi efisiensi konversi secara dinamis. Salah satu kondisi yang berkaitan erat dengan penurunan PR yaitu tingginya temperatur lingkungan di lokasi PLTS. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4, tren penurunan PR terjadi secara konsisten saat suhu lingkungan meningkat di atas 28,5°C.



Gambar 4. Korelasi Performance Ratio terhadap Suhu Lingkungan

Analisis data memperlihatkan bahwa penurunan efisiensi drastis terjadi saat suhu lingkungan melampaui ambang batas 28,5°C. Temuan ini memvalidasi studi Bamisile et al. (2025) yang menyatakan bahwa modul silikon memiliki koefisien temperatur daya negatif, di mana kenaikan temperatur sel akibat paparan panas berlebih menyebabkan penurunan tegangan (*voltage drop*) yang mereduksi daya keluaran secara linear.

Kontribusi Kemandirian Energi

Dalam mengevaluasi kontribusi nyata sistem PLTS parkir terhadap kebutuhan energi gedung operasional dianalisis dengan parameter *Self-Sufficiency* (SS). Analisis ini menggunakan basis data neraca energi aktual selama periode observasi bulan Mei 2025. Akumulasi data pengukuran mencatat total produksi energi (*Egen*) sebesar 303,90 kWh, sedangkan total konsumsi beban (*auxiliary*) tercatat sebesar 2.854,26 kWh selama satu bulan. Mengacu pada Persamaan (1), tingkat kemandirian energi rata-rata diperoleh sebesar:

$$SS = \frac{303,90}{2.854,26} \times 100\% = 10,65\%$$

Meskipun persentase rata-rata tersebut tampak terbatas secara kuantitas, analisis dinamika harian menunjukkan peran strategis sistem pada kondisi operasional spesifik. Sebagaimana tercatat pada tabel 2 yang memperlihatkan bahwa tingkat kemandirian energi mampu mencapai nilai maksimum sebesar 18,99% pada saat iradiasi matahari optimal bertepatan dengan aktivitas gedung minimum. Selain itu, penyerapan energi surya secara lokal ini berfungsi efektif dalam menanggung beban dasar (*base load*) gedung pada siang hari. Pengurangan beban auxiliary rata-rata sebesar 10–11% ini secara tidak langsung berkontribusi pada peningkatan efisiensi total pembangkit (PLTS Utama)

dengan meminimalisir pengambilan daya dari unit produksi utama. Akibatnya, mekanisme substitusi energi ini meningkatkan ketersediaan volume energi bersih yang dapat diekspor ke jaringan distribusi PLN.

KESIMPULAN DAN SARAN

Integrasi *solar carport* 3,3 kWp di PLTS Sengkol terbukti mampu mensubstitusi beban pemakaian sendiri (*auxiliary consumption*) tanpa aliran daya balik, dengan tingkat kemandirian energi (*Self-Sufficiency*) rata-rata 10,65% dan efisiensi penyerapan (*Self-Consumption*) mencapai 100%. Meskipun secara operasional sistem efektif meningkatkan ketersediaan energi bersih dari pembangkit utama, evaluasi teknis menunjukkan adanya degradasi efisiensi akibat faktor lingkungan, di mana rata-rata *Performance Ratio* (PR) hanya mencapai 63,70%. Analisis korelasi termal mengonfirmasi bahwa rendahnya kinerja ini disebabkan oleh tingginya temperatur operasional modul yang melampaui ambang batas 28,5°C, sehingga memicu kerugian daya (*thermal losses*) pada material semikonduktor saat penyinaran puncak.

Strategi manajemen termal pasif melalui penambahan ventilasi alami pada struktur atap atau penggunaan modul dengan koefisien temperatur rendah sangat disarankan untuk mempertahankan nilai *Performance Ratio* di atas 75%. Selain itu, mengingat profil beban *auxiliary* yang masih jauh melampaui kapasitas produksi saat ini, perluasan kapasitas terpasang (*repowering*) sangat direkomendasikan untuk meningkatkan rasio kemandirian energi secara signifikan tanpa melanggar batasan regulasi terkait ekspor daya ke jaringan distribusi.

DAFTAR REFERENSI

- Alaçam, B., Vural, H., & Orbay, M. (2024). Validating the Credibility of Photovoltaic Systems Simulation Tools with a Case Study. *Sakarya University Journal of Science*, 28(4), 855–865. <https://doi.org/10.16984/aufenbilder.1481285>
- Bamisile, O., Acen, C., Cai, D., Huang, Q., & Staffell, I. (2025). The environmental factors affecting solar photovoltaic output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 208, 115073. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2024.115073>
- Biantara, I. G. A., Kumara, N. S., & Giriantari, I. A. D. (2022). POTENSI BANGUNAN PARKIR SEBAGAI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ATAP. *Jurnal SPEKTRUM*, 8(4), 180–192. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2021.V08.I04.P21>
- Burhandono, A., Windarta, J., & Sinaga, N. (2022). Perencanaan PLTS Roof Top On-Grid Untuk Gedung Kantor PLTU Amurang Sebagai Upaya Mengurangi Auxiliary

- Power dan Memperbaiki Nilai Nett Plant Heat Rate Pembangkit. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 3(2), 61–79. <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13051>
- Ciocia, A., Amato, A., Leo, P. Di, Fichera, S., Malgaroli, G., Spertino, F., & Tzanova, S. (2021). Self-Consumption and Self-Sufficiency in Photovoltaic Systems: Effect of Grid Limitation and Storage Installation. *Energies*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/en14061591>
- Cox, J. L., Hamilton, W. T., & Newman, A. M. (2023). Parametric analysis on optimized design of hybrid solar power plants. *Solar Energy*, 252, 195–217. <https://doi.org/10.1016/J.SOLENER.2023.01.016>
- Fakour, H., Imani, M., Lo, S. L., Yuan, M. H., Chen, C. K., Mobasser, S., & Muangthai, I. (2023). Evaluation of solar photovoltaic carport canopy with electric vehicle charging potential. *Scientific Reports 2023 13:1*, 13(1), 2136-. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29223-6>
- Gusmedi, H., Putra, R. P., & Samosir, A. S. (2025). DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ON-GRID 60 KWP. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i1.5537>
- Halim, L. (2022). Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia. *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 5(2), 131–136. <https://doi.org/10.24853/RESISTOR.5.2.131-136>
- Hariato, B., & Karjadi, M. (2022). Planning of Photovoltaic (PV) Type Solar Power Plant as An Alternative Energy of the Future in Indonesia. *ENDLESS: International Journal of Future Studies*, 5(2), 182–195. <https://doi.org/10.54783/endlessjournal.v5i2.87>
- Jiang, B., & Madsen, C. (2025). Multi-Climate Simulation of Temperature-Driven Efficiency Losses in Crystalline Silicon PV Modules with Cost–Benefit Thresholds for Evaluating Cooling Strategies. *Energies 2025, Vol. 18*, 18(14). <https://doi.org/10.3390/EN18143609>
- Jumpon, E. G., Pravitasari, D., & Kurniawan, A. A. (2024). PERFORMANCE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) ATAP BERKAPASITAS 1,1 MWP DI INDUSTRI DALAM KONTEKS PENINGKATAN KEMANDIRIAN ENERGI DAN PENGURANGAN BIAYA OPERASIONAL. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 7(2), 247–254. <https://doi.org/10.30596/RELE.V7I1.20594>
- Mohammad, L., Istiqomah, A., H Tahier, A. R., Syamputra, D. N., Yihaa Roodhiyah, L., Studi Teknologi Rekayasa Otomasi, P., & Vokasi, S. (2023). Evaluasi Hasil Kinerja Tekno-Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Pada Bangunan Perguruan Tinggi di Indonesia. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 8(2), 496–510. <https://doi.org/10.28926/BRILIANT.V8I2.1360>
- Rafhel Panjaitan, K., Dwi Giriantari, I. A., & Setiawan, I. N. (2023). ANALISIS UNJUK KERJA PLTS CARPORT 37,8 KWP DI AREA PERKANTORAN KEMENTERIAN ESDM REPUBLIK INDONESIA JAKARTA PUSAT. *Jurnal SPEKTRUM*, 10(1), 25. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2023.v10.i01.p4>

- Silalahi, C. L., & Setiawan, E. A. (2025). An Efficiency of Auxiliary Power Consumption in Substations Using Renewable Energy Potentials in East Kalimantan Province. *International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESE)*, 8(1), 34–44. <https://doi.org/10.36079/lamintang.ijeste-0801.840>
- Taufiqurrahman, A., & Windarta, J. (2020). Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 124–132. <https://doi.org/10.14710/JEBT.2020.10036>