



Studi Perancangan dan Simulasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-grid* di Atap Bangunan Rumah

Yudha Aditya Nugraha ¹, Muhammad Sabilillah ², Raja Azhar Harun Khadafi ³, Arief Budiman Krama ⁴,

^{1,2,3} Universitas 17 Agustus 1945, 14350, Indonesia

⁴ STT Mandala, 40284, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
Received: July 09, 25 Revised: August 15, 25 Available online: Sept 27, 25	Indonesia memiliki potensi energi surya yang signifikan dengan rata-rata radiasi harian mencapai 4,5–4,8 kWh/m²/hari, sehingga pemanfaatan sistem PLTS atap rumah tangga menjadi relevan untuk meningkatkan efisiensi biaya listrik sekaligus mendukung ketahanan energi nasional. Hal ini juga sejalan dengan target Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan bauran Energi Baru Terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025.
CORRESPONDENCE	A B S T R A K
E-mail: yudhaadityanugra@gmail.com	Perancangan sistem PLTS dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak PVsyst, yang memungkinkan perancang melakukan pemilihan komponen seperti modul surya dan inverter, serta melakukan simulasi kinerja dan prediksi produksi energi. Analisis dalam PVsyst mempertimbangkan sejumlah variabel penting, mulai dari geometri lokasi, spesifikasi teknis perangkat, data meteorologi, hingga intensitas radiasi matahari, dengan tujuan mengoptimalkan kapasitas sistem sekaligus meminimalkan kebutuhan lahan. Pada studi kasus ini, dipilih konfigurasi <i>Off-grid</i> untuk memastikan seluruh produksi energi dialokasikan ke beban lokal dan/atau penyimpanan tanpa adanya aliran balik ke jaringan listrik. Pemilihan ini didasarkan pada regulasi terbaru yang tidak lagi mengatur mekanisme ekspor-impor listrik, serta mewajibkan izin khusus untuk setiap interkoneksi <i>On-Grid</i>. Hasil simulasi melalui PVsyst untuk sistem PLTS atap berkapasitas 825 Wp (menggunakan 5 modul PV masing-masing 165 Wp) menunjukkan kebutuhan lahan sebesar 10 m². Sistem <i>Off-grid</i> tersebut diperkirakan mampu menghasilkan energi listrik tahunan sebesar 1.227 kWh. Evaluasi kelayakan teknis dilakukan menggunakan indikator <i>Performance Ratio</i> (PR), di mana nilai standar layak diaplikasikan berada di atas 0,6. Berdasarkan simulasi di lokasi Demak, diperoleh nilai PR sebesar 0,691 yang menunjukkan bahwa sistem mampu mengonversi energi surya dengan efisiensi yang baik setelah memperhitungkan rugi-rugi teknis. Kata kunci— Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), <i>On-Grid</i>, PVsyst, Simulasi, <i>Performance Ratio</i>
	A B S T R A K
	<i>The design of PV systems can be carried out using software such as PVsyst, which enables component selection (e.g., PV modules and inverters), performance simulation, and energy production forecasting. The PVsyst modeling process takes into account various factors, including site geometry, equipment specifications, meteorological data, and solar radiation, to optimize the system's capacity while minimizing land requirements.</i> <i>In this study, an Off-grid configuration was selected to ensure that all generated electricity is directed to local loads and/or storage without any feedback into the utility grid. This choice was made in accordance with recent regulations that no longer govern electricity export-import mechanisms and require explicit approval for any On-Grid connections.</i> <i>A simulation conducted with PVsyst for a rooftop PV system with a total capacity of 825 Wp (using five 165 Wp modules) indicated a land requirement of 10 m². The Off-grid system was estimated to generate 1,227 kWh of electricity annually. Technical feasibility was evaluated using the Performance Ratio (PR) indicator, where values above 0.6 are considered acceptable. The simulation results for a site in Demak showed a PR of 0.691, demonstrating efficient energy conversion after accounting for system losses.</i> <i>Keywords— Solar Power Plant (PLTS), On-Grid, PVsyst, Simulation, Performance Ratio</i>

I. PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi listrik mendorong pemanfaatan sumber energi terbarukan yang efisien dan efektif, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Energi surya menawarkan keunggulan signifikan, antara lain ketersediaannya yang tidak terbatas, operasional tanpa bahan bakar, ramah lingkungan, serta biaya operasional yang relatif rendah. Indonesia, sebagai negara tropis, dianugerahi potensi energi surya yang melimpah dengan rerata radiasi harian mencapai 4,5–4,8 kWh/m², sehingga optimalisasinya menjadi krusial untuk menghadapi krisis energi dan mewujudkan kemandirian energi nasional.

Pengembangan ini sejalan dengan regulasi pemerintah, khususnya Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menargetkan porsi energi terbarukan sebesar 23% dalam bauran energi primer pada tahun 2025. Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem PLTS *Off-grid* di rumah untuk beroperasi secara mandiri tanpa tambahan listrik selain backup[1]. Sistem *Off-grid* dipilih karena efisiensi investasi yang lebih tinggi sebab tidak memerlukan listrik sumber eksternal dimasa mendatang[2].

Untuk perancangan dan analisis teknis, digunakan perangkat lunak PVsyst. Perangkat lunak ini dipilih karena kemampuannya menyajikan simulasi yang akurat dengan memanfaatkan basis data meteorologi dan komponen komersial yang diperbarui. Kelayakan teknis rancangan dievaluasi berdasarkan nilai *Performance Ratio* (PR), dengan standar kelayakan di atas 0,6 .

II. METODE

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan menggunakan pendekatan simulasi komputasi. Instrumen utama yang digunakan adalah perangkat lunak PVsyst versi 7.4.8, berfungsi untuk melakukan pemodelan, perhitungan, dan analisis teknis terhadap sistem PLTS. Proses penelitian diawali dengan pengumpulan data primer dan sekunder di lokasi studi Demak, Jawa Tengah yang mencakup data titik koordinat, luas dan orientasi area pemasangan, serta data meteorologi dan intensitas radiasi matahari.

Data-data tersebut diinput dalam PVsyst untuk membangun model simulasi. Analisis yang dilakukan meliputi pemodelan geometri, penentuan konfigurasi modul surya, seleksi inverter yang sesuai, serta simulasi kinerja dan efisiensi sistem. Fokus pemodelan adalah pada sistem *Off-grid*, yang merupakan salah satu dari beberapa konfigurasi sistem yang tersedia dalam perangkat lunak. Pendekatan ini esensial karena desain sistem *fotovoltaik* sangat dipengaruhi oleh variasi radiasi matahari yang diterima di setiap lokasi spesifik.

A. Alur Perencanaan

Dengan metode analisis menggunakan software PVsyst Ver. 7.4.8, langkah –langkah yang dilakukan meliputi :

1. Pemetaan Lokasi
2. Menghimpun data radiasi matahari
3. Menghimpun data radiasi matahari pada permukaan horizontal

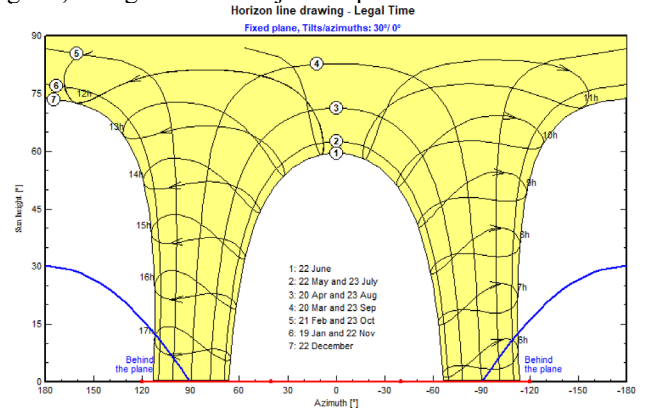
4. Menghimpun data suhu
5. Menghimpun data Kecepatan angin
6. Menghimpun data Kelembaban relatif
7. Menentukan bidang kemiringan panel surya
8. Menentukan Kapasitas panel surya dengan acuan Daya yang dibutuhkan / luas lokasi.
9. Melakukan simulasi dengan software PVsyst

Variabel pada penelitian ini meliputi radiasi matahari, spesifikasi panel surya, jumlah dan kapasitas.

B. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada objek berupa bangunan rumah tinggal yang berlokasi di wilayah Demak, Jawa Tengah. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dirancang untuk dipasang pada bagian atap (*rooftop*) bangunan dengan ketersediaan luas area instalasi sekitar 10 m²[1].

Secara geografis, lokasi studi terletak pada titik koordinat -7.0802 ° Lintang Selatan (LS) dan 110.4958° Bujur Timur (BT). Analisis potensi energi surya pada lokasi ini juga mempertimbangkan data pergerakan matahari, yang divisualisasikan melalui diagram jalur matahari (*sun path diagram*) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1



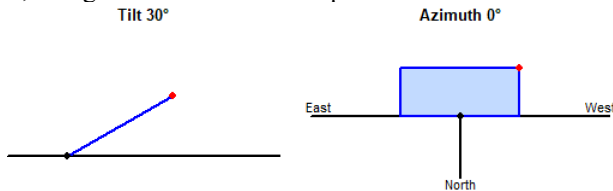
Gambar 1 Horizon Line Drawing

Analisis diagram jalur matahari (Gambar 1) merupakan langkah krusial dalam perancangan sistem fotovoltaik. Diagram ini secara grafis menggambarkan posisi matahari pada waktu dan lokasi tertentu. Pemanfaatan data dari diagram ini bertujuan untuk mengoptimalkan orientasi pemasangan panel surya, baik dari sisi arah hadap (*azimuth*) maupun sudut kemiringan (*tilt*)[3]. Penentuan posisi yang tepat memastikan panel surya menerima paparan sinar matahari secara maksimal, yang merupakan faktor kunci untuk meningkatkan efisiensi penangkapan energi.

C. Bidang Kemiringan

Selain analisis jalur matahari, optimisasi kinerja sistem fotovoltaik secara fundamental bergantung pada dua parameter kunci: sudut kemiringan (*tilt*) dan sudut azimuth[3]. Kedua parameter ini secara langsung menentukan jumlah radiasi surya yang diterima permukaan modul, yang selanjutnya berpengaruh pada efisiensi konversi energi listrik. Secara teoretis, sudut kemiringan optimal seringkali disesuaikan dengan garis lintang lokasi untuk memaksimalkan serapan energi tahunan.

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk lokasi penelitian, diperoleh konfigurasi pemasangan yang optimal. Ditetapkan sudut kemiringan (*tilt angle*) sebesar 10° dan sudut *azimuth* sebesar 180° [4]. Perlu dicatat bahwa dalam konvensi perangkat lunak yang digunakan, nilai *azimuth* 180° pada studi ini merepresentasikan orientasi panel yang menghadap ke arah Utara, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Sudut Kemiringan

Dalam perancangan sistem fotovoltaik, optimalisasi keluaran energi sangat bergantung pada dua parameter orientasi geometris: sudut kemiringan (*tilt*) dan sudut *azimuth* [4]. Sudut kemiringan pada Gambar 2, yang merupakan sudut panel terhadap permukaan horizontal, diatur untuk memaksimalkan penyerapan radiasi surya dalam skala tahunan, di mana nilainya sering kali disesuaikan dengan garis lintang lokasi. Di sisi lain, sudut *azimuth* menentukan arah hadap panel (relatif terhadap Utara) untuk mengikuti pergerakan harian matahari. Penentuan *azimuth* yang tepat memastikan permukaan sel surya menerima paparan sinar matahari paling intensif, sehingga produksi listrik dapat dioptimalkan sepanjang hari. Kombinasi kedua parameter ini secara sinergis menentukan efektivitas panel surya dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik.

D. PV Module

Pemilihan komponen modul fotovoltaik (PV) untuk pemodelan dalam penelitian ini didasarkan pada basis data (database) PVsyst. Model yang dipilih untuk digunakan dalam simulasi adalah Si-poly AE 165P6-36. Rincian spesifikasi teknis modul ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Pv Modul AE 165P6-36

Parameter	Value
Pabrikan	AE Solar
Model	AE Solar 165P6-36
P.nom STC power (pabrikan)	165Wp
Ukuran Modul (l x p)	0,670 x 1,480 m2
Jumlah Sel	6
Spesifikasi	
Suhu Referensi (TRef)	25°C
Tegangan Rangkaian Terbuka (Voc)	23,10 V
Tegangan Titik Daya Maks (Vmpp)	18,73 V
=> Daya Maksimal (Pmpp)	165 W
Referensi radiasi (GRef)	1000 W/m2
Arus Short-circuit (Isc)	9,35 A
Arus Titik Daya Maksimal (Impp)	8,810 A
Isc koefisien suhu (muIsc)	0,053mA/°C

Hasil Model Kondisi Standard

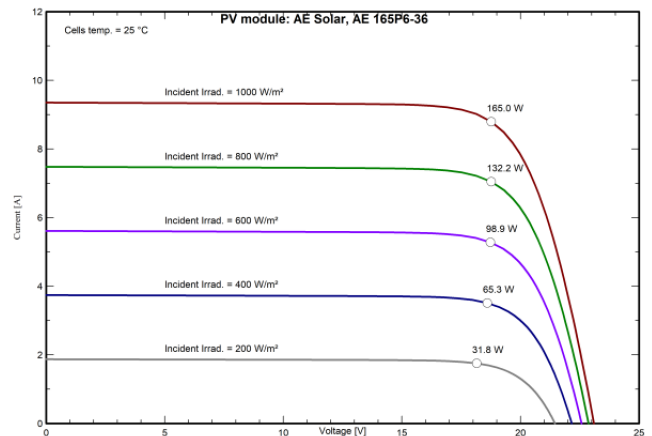
Tegangan Titik Daya Maks (Vmpp)	18,8 V
Daya maksimal (Pmpp)	165 Wp
Efisiensi (/ Luas Modul) (Eff _{mod})	16,64%
Efisiensi (/ Luas Sel) (Eff _{cells})	18,67%
Arus Titik Daya Maksimal (Impp)	8,79 A
Koefisien Power temperature (muPmpp)	0,39%/°C

E. Bagian Heading

Variasi radiasi matahari, atau fluktuasi insolasi surya, didefinisikan sebagai perubahan intensitas energi matahari yang diterima pada suatu lokasi di permukaan bumi dalam rentang waktu tertentu. Fluktuasi ini merupakan fenomena alamiah yang dipengaruhi oleh sejumlah faktor [5], [6], [7], antara lain:

- Faktor Astronomis: Perubahan posisi bumi relatif terhadap matahari, seperti kemiringan sumbu rotasi dan bentuk orbit bumi.
- Siklus Musiman dan Harian: Perubahan yang terjadi akibat pergerakan tahunan dan perputaran harian bumi.
- Lokasi Geografis: Posisi lintang dan bujur suatu wilayah yang menentukan sudut datangnya sinar matahari [8].

Analisis terhadap data variasi radiasi ini memegang peranan esensial dalam beberapa aplikasi, seperti optimalisasi desain dan kinerja sistem energi surya [9], pemodelan untuk memprediksi potensi produksi energi, serta kajian mengenai dampak radiasi matahari terhadap lingkungan dan iklim setempat.



Gambar 3 data iradiasi matahari

Berdasarkan data iradiasi matahari Gambar 3 yang diperoleh dari basis data Nasa Power dalam perangkat lunak PVsyst, dilakukan analisis kinerja untuk modul Si-Poly. Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3, keluaran daya modul sangat bergantung pada tingkat iradiasi yang diterima.

Pada kondisi iradiasi puncak 1000 W/m^2 , simulasi menunjukkan modul mampu menghasilkan daya maksimum (P_{max}) sebesar 165,0 W. Titik daya maksimum ini dicapai dengan keluaran arus (I_{mp}) sebesar 8,81 A dan tegangan

(Vmp) sebesar 23,1 V. Data ini menegaskan prinsip bahwa ketika intensitas cahaya matahari menurun, terjadi penurunan pada keluaran arus dan tegangan, dengan dampak yang lebih signifikan pada penurunan arus.

III. HASIL

A. Beban Listrik

Beban listrik industri sebagai kebutuhan beban per hari. Pada Tabel II memperlihatkan kebutuhan dari beban listrik selama satu tahun penuh dengan total kebutuhan sebesar 1227 kWh/Tahun.

Terlihat beban paling tinggi adalah pada bulan Juli.

Tabel II Data Penggunaan kWh Bulanan

Bulan	kWh
Januari	117
Februari	97
Maret	80
April	102
Mei	95
Juni	110
Juli	142
Agustus	100
September	87
Oktober	96
November	87
Desember	114
Total	1227

Dari Tabel II beban bulanan terlihat kebutuhan pasokan energi listrik untuk mencukupi dalam satu tahun. Merupakan nilai dari energi listrik yang di pasok menggunakan sel surya selama satu tahun guna mencukupi kebutuhan beban yang terpasang[10], [11].

B. Data Radiasi Matahari

Analisis performa sistem fotovoltaik memerlukan data meteorologi yang akurat untuk lokasi studi. Dalam penelitian ini, data radiasi matahari, temperatur ambien dan kecepatan angin untuk lokasi (koordinat 7°04'48.7"S 110°29'45.2"E) diperoleh dari basis data Nasa Power.

Tabel III Data Radiasi Matahari, Suhu dan Kecepatan Angin

Parameter	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Tahun	Unit
Horizontal Global	4.75	4.88	4.75	4.85	05.08	4.55	5.13	5.74	5.58	5.81	4.94	4.32	05.03	kWh/m ² /day
Horizontal Diffuse	2.77	2.98	2.72	2.95	2.27	2.31	2.16	2.44	2.66	2.98	2.96	2.73	2.66	kWh/m ² /day
Extraterrestrial	10.75	10.79	10.52	9.79	8.86	8.47	8.63	9.33	10.14	10.62	10.72	10.67	9.94	kWh/m ² /day
Clearness Index	442	452	452	495	567	537	595	615	0.55	547	461	405	596	ratio
Ambient Temper	27.2	27.2	27.2	27.6	27.4	26.7	26.5	27.7	28.3	28.8	27.9	26.8	27.4	°C
Wind Velocity	2.3	2.2	2.6	2.0	2.8	2.6	3.0	3.2	2.8	2.6	2.0	2.7	2.6	m/s

Data rerata bulanan untuk radiasi matahari horizontal global (Global Horizontal Irradiation - GHI), temperatur udara, dan Kecepatan Angin disajikan secara rinci pada Tabel III. Berdasarkan rekapitulasi data historis tersebut, diketahui bahwa nilai variabilitas iradiasi horizontal global adalah 5,03 kWh/m²/day.

Pada bagian ini, disajikan analisis hasil simulasi dari Sistem Panel Surya yang telah dirancang. Kinerja sistem dievaluasi berdasarkan beberapa parameter keluaran utama, yang meliputi daya keluaran sistem (system output power), rugi-rugi sistem (System Losses), dan *Performance Ratio* (PR)[12], [13].

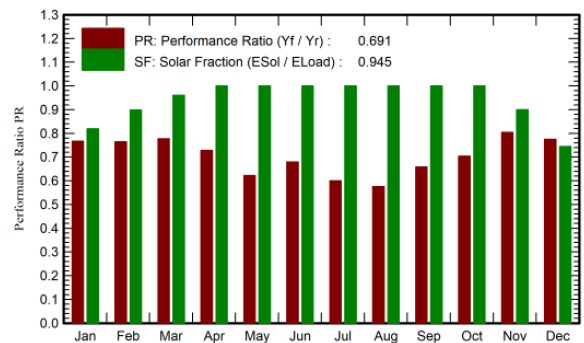
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	AE Solar	Manufacturer	Huawei
Model	AE 165P6-36	Model	Luna2000-15-SO, with inverter 5 kW
(Original PVsyst database)		Technology	Lithium-ion, LFP
Unit Nom. Power	165 Wp	Nb. of units	1 Unit
Number of PV modules	6 units	Discharging min. SOC	10.0 %
Nominal (STC)	990 Wp	Stored energy	13.0 kWh
Modules	3 string x 2 in series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	48 V
Pmpp	891 Wp	Nominal Capacity	300 Ah (C10)
U mpp	34 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	26 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Universal controller		Charging	SOC = 0.96 / 0.80
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.10 / 0.35
Temp. coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.	Back-Up Genset Command	SOC = 0.15/0.45
Converter			
Maxi and EURO efficiencies	97.0 / 95.0 %		
Back-up genset			
Manufacturer	Back-up generator		
Model			
Nominal power	1.5 kW		
Effective power	0.8 kW		
Total PV power			
Nominal (STC)	0.990 kWp		
Total	6 modules		
Module area	5.9 m ²		
Cell area	5.3 m ²		

Gambar 4 Karakteristik PV

Hasil ini diperoleh melalui simulasi menggunakan perangkat lunak PVsyst untuk konfigurasi sistem *Off-grid* yang memanfaatkan modul surya berkapasitas 165 Wp. Rangkuman lengkap mengenai parameter input dan karakteristik seluruh komponen sistem yang digunakan dalam simulasi ini disajikan pada Gambar 4[14], [15].

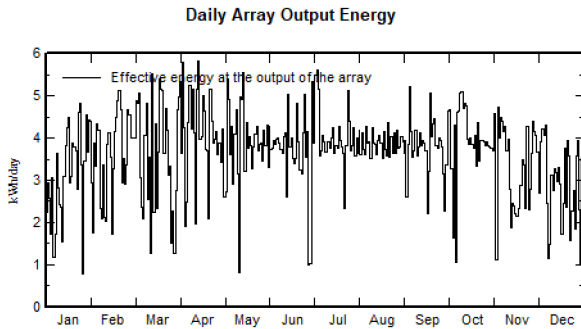
Simulasi kinerja sistem *Off-grid* berbasis modul surya 165 Wp telah dilakukan menggunakan perangkat lunak PVsyst[16], [17]. Pada bagian ini, diuraikan analisis dari hasil simulasi tersebut dengan meninjau tiga indikator kinerja utama, yaitu daya keluaran sistem (system output power), total rugi-rugi sistem (System Losses)[18], dan *Performance Ratio* (PR)[13].

Performance Ratio PR



Gambar 5 Performa Ratio

Performance Ratio (PR) merupakan perbandingan antara produksi energi listrik AC final dari sebuah sistem PLTS dengan hasil energi referensi teoretisnya, dihitung dari total iradiasi yang diterima modul[12], [19]. Nilai PR secara efektif mengukur seberapa efisien sistem mengubah energi matahari yang tersedia menjadi listrik yang dapat digunakan setelah memperhitungkan semua faktor kerugian (*system losses*). Dari hasil simulasi Gambar 5, sistem PLTS ini berhasil mencapai nilai *Performance Ratio* (PR) sebesar 0,691.



Gambar 6 Data Produksi Energi

Gambar 6 menyajikan data produksi energi harian (kWh/hari) yang dihasilkan oleh sistem panel surya. Grafik tersebut secara visual menunjukkan adanya fluktuasi keluaran energi dari hari ke hari[20]. Variasi ini secara langsung disebabkan oleh perubahan kondisi cuaca dan tingkat iradiasi matahari yang diterima setiap harinya sepanjang bulan.

Tabel IV Rekapitulasi Kinerja Tahunan Sistem

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	E_unused kWh	E_BkUp kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFac ratio
Jan	147.2	114	93.4	0.01	21.06	110.9	110.9	0.819
Feb	136.6	114.5	93.7	0	10.76	100.1	100.1	0.899
Mar	147.2	134.8	109	0	4.55	110.9	110.9	0.961
Apr	145.5	145.7	118.4	2.76	0	107.3	107.3	1
May	157.5	177.2	143.1	26.43	0	110.9	110.9	1
Jun	136.5	157.1	127.9	20.7	0	107.3	107.3	1
Jul	159	184.1	149	29.26	0	110.9	110.9	1
Aug	177.9	191.4	154.2	38.94	0	110.9	110.9	1
Sep	167.4	161	129.4	19.93	0	107.3	107.3	1
Oct	180.1	155	124.7	8	0	110.9	110.9	1
Nov	148.2	117.3	95.9	0.63	10.49	107.3	107.3	0.9
Dec	133.9	102.1	84	0	29.28	110.9	110.9	0.744

Rekapitulasi kinerja tahunan sistem, sebagaimana dirinci dalam Tabel III, menyajikan neraca energi dari sumber hingga konsumsi. Data iradiasi menunjukkan potensi energi surya tahunan dengan Iradiasi Horizontal Global sebesar 1837 kWh/m² dan iradiasi efektif global sebesar 1754,2 kWh/m².

Secara operasional, sistem ini menghasilkan 1422,7 kWh energi listrik, dengan 1305,2 kWh di antaranya berhasil disuplai ke beban. Hasil ini dievaluasi terhadap total konsumsi energi beban tahunan yang tercatat sebesar 1305,2 kWh.

Kapasitas terpasang: $P_{nom} = 5 \times 165 \text{ Wp} = 825 \text{ Wp} = 0,825 \text{ kWp}$

Iradiasi efektif bidang array: $HPOA \approx 1.754,2 \text{ kWh/kWp/tahun}$, $HPOA \approx 1.754,2 \text{ kWh/kWp/tahun}$ (dari rekap iradiasi global efektif) Estimasi produksi tahunan sisi AC: $EAC \approx P_{nom} \times HPOA \times PR = 0,825 \times 1.754,2 \times 0,691 \approx 9,99 \times 102 \text{ kWh/tahun}$ ($\approx 1,0 \text{ MWh/tahun}$) $EAC \approx P_{nom} \times HPOA \times PR = 0,825 \times 1.754,2 \times 0,691 \approx 9,99 \times 102 \text{ kWh/tahun}$ ($\approx 1,0 \text{ MWh/tahun}$).

Kebutuhan beban tahunan: $E_{load} = 1.227 \text{ kWh/tahun}$, $E_{load} = 1.227 \text{ kWh/tahun}$ dari Tabel II, sehingga porsi pemenuhan bergantung pada overlap beban-produksi harian.

IV. PENUTUP

Penelitian ini mengonfirmasi bahwa perangkat lunak PVsyst merupakan alat yang efektif untuk merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) secara komprehensif. Perangkat lunak ini memungkinkan pemilihan komponen, optimisasi penggunaan lahan, hingga prediksi keluaran energi dengan mempertimbangkan faktor

krusial seperti lokasi geografis, kondisi meteorologi, dan data iradiasi matahari.

Studi ini menunjukkan bahwa PVsyst efektif untuk perancangan komprehensif PLTS atap off-grid, mulai dari pemilihan komponen hingga prediksi keluaran energi berbasis kondisi lokasi dan data iradiasi.

Hasil simulasi untuk studi kasus instalasi PLTS atap (*rooftop*) berkapasitas 165 kWp menunjukkan bahwa sistem tersebut memerlukan lahan sekitar 10 m². Rencana komponennya terdiri dari 5 unit modul PV 165 Wp yang terhubung secara *Off-grid*. Dari aspek produksi, sistem ini diprediksi menghasilkan energi listrik sebesar 902,7 kWh per tahun.

REFERENSI

- [1] F. C. Nkado, I. E. Aigwi, D. T. Doan, and A. GhaffarianHoseini, "Powering the future: A comprehensive analysis of solar photovoltaic systems adoption in passive houses," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 73, p. 104166, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.SETA.2024.104166.
- [2] R. Dubey *et al.*, "Measurement of temperature coefficient of photovoltaic modules in field and comparison with laboratory measurements," *2015 IEEE 42nd Photovoltaic Specialist Conference, PVSC 2015*, Dec. 2015, doi: 10.1109/PVSC.2015.7355852.
- [3] R. Bakhshi-Jafarabadi and C. Doh Dinga, "Optimum *tilt* and *azimuth* of fixed grid-connected photovoltaic system for peak load shaving: a multi-scale model," *Renew Energy*, vol. 255, p. 123714, Dec. 2025, doi: 10.1016/J.RENENE.2025.123714.
- [4] U. H. Ramadhani, D. Lingfors, J. Munkhammar, and J. Widén, "On the properties of residential *rooftop azimuth* and *tilt* uncertainties for photovoltaic power generation modeling and hosting capacity analysis," *Solar Energy Advances*, vol. 3, p. 100036, Jan. 2023, doi: 10.1016/J.SEJA.2023.100036.
- [5] F. Sun, L. Li, D. Bian, W. Bian, Q. Wang, and S. Wang, "Photovoltaic power prediction based on multi-scale photovoltaic power fluctuation characteristics and multi-channel LSTM prediction models," *Renew Energy*, vol. 246, p. 122866, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.RENENE.2025.122866.
- [6] A. Kowsar *et al.*, "Unlocking the potential of *rooftop* photovoltaic power generation for healthcare in Bangladesh," *Renew Energy*, vol. 243, p. 122509, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.RENENE.2025.122509.
- [7] S. Al-Ali, A. G. Olabi, and M. Mahmoud, "A review of solar photovoltaic technologies: developments, challenges, and future perspectives," *Energy Conversion and Management: X*, vol. 27, p. 101057, Jul. 2025, doi: 10.1016/J.ECMX.2025.101057.
- [8] W. Li, M. Zhang, and M. Han, "Geographical linkage and trade disruption within global photovoltaic supply chains," *Geography and Sustainability*, vol. 6, no. 5, p. 100323, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.GEOSUS.2025.100323.

- [9] W. Lai *et al.*, "Improved artificial protozoa optimizer: A new method for solar photovoltaic parameter estimation," *Results in Engineering*, vol. 27, p. 106234, Sep. 2025, doi: 10.1016/J.RINENG.2025.106234.
- [10] H. Wang, L. Mao, H. Zhang, and Q. Wu, "Multi-prediction of electric load and photovoltaic solar power in grid-connected photovoltaic system using state transition method," *Appl Energy*, vol. 353, p. 122138, Jan. 2024, doi: 10.1016/J.APENERGY.2023.122138.
- [11] Z. Liu *et al.*, "Prediction of long-term photovoltaic power generation in the context of climate change," *Renew Energy*, vol. 235, p. 121263, Nov. 2024, doi: 10.1016/J.RENENE.2024.121263.
- [12] A. Kazemian, H. Yang, and C. Xiang, "Assessing the effects of photovoltaic and solar thermal ratios on performance, cost, and emissions in combined solar configurations," *Appl Energy*, vol. 384, p. 125438, Apr. 2025, doi: 10.1016/J.APENERGY.2025.125438.
- [13] Q. Lagarde, B. Beillard, S. Mazen, M. S. Denis, and J. Leylaverigne, "Performance Ratio of photovoltaic installations in France: Comparison between inverters and micro-inverters," *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, vol. 35, no. 8, pp. 531–538, Dec. 2023, doi: 10.1016/J.JKSUES.2021.11.007.
- [14] A. Meriläinen, P. Puranen, A. Kosonen, and J. Ahola, "Optimization of rooftop photovoltaic installations to maximize revenue in Finland based on customer class load profiles and simulated generation," *Solar Energy*, vol. 240, pp. 422–434, Jul. 2022, doi: 10.1016/J.SOLENER.2022.05.057.
- [15] A. Saeed, S. Rehman, and F. A. Al-Sulaiman, "Study of a grid-connected floating photovoltaic power plant of 1.0 MW installed capacity in Saudi Arabia," *Heliyon*, vol. 10, no. 16, p. e35180, Aug. 2024, doi: 10.1016/J.HELİYON.2024.E35180.
- [16] J. Liu, Z. Ji, R. Qi, J. Lin, J. Wang, and J. Zhao, "Cost-effective architecture and coordinated control strategy for Off-grid photovoltaic hydrogen production system," *J Power Sources*, vol. 654, p. 237738, Oct. 2025, doi: 10.1016/J.JPOWSOUR.2025.237738.
- [17] I. F. Fotsing Metegam, E. Wolff, R. Tchinda, M. Huart, and V. S. Chara-Dackou, "Evaluation of On-Grid and Off-grid solar photovoltaic sites in Cameroon using geographic information systems, fuzzy logic, and multi-criteria analysis," *Energy*, vol. 318, p. 134614, Mar. 2025, doi: 10.1016/J.ENERGY.2025.134614.
- [18] S. Mittal, A. Mittal, and D. Nitnawre, "Reduction of Mismatch Power Loss in a Partially Shaded Photovoltaic System Using the OTR," *Procedia Comput Sci*, vol. 252, pp. 776–783, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.PROCS.2025.01.038.
- [19] B. Mota, P. Faria, and Z. Vale, "Energy cost optimization through load shifting in a photovoltaic energy-sharing household community," *Renew Energy*, vol. 221, p. 119812, Feb. 2024, doi: 10.1016/J.RENENE.2023.119812.
- [20] S. I. Sulaiman, H. A. Majid, and Z. Othman, "Loss of load probability minimization for stand-alone photovoltaic system using elephant herding optimization," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 1038–1044, Nov. 2022, doi: 10.1016/J.EGYR.2022.05.278.