

DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) *ON-GRID* 60 KWP

Herri Gusmedi^{1*}, Rizki Pratama Putra¹, Ahmad Saudi Samosir¹

¹Universitas Lampung; Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Kota Bandar Lampung, Lampung 35145; 0721 704947

Received: 4 November 2024

Accepted: 14 Januari 2025

Published: 20 Januari 2025

Keywords:

PLTS *On-Grid*;
 Energi Surya;
GHG Emission;
 Analisis Performa;
 Software PVSyst;

Correspondent Email:

rizki.pratamaputra2041@students.unila.ac.id

Abstrak. Pada 2021, sektor energi Indonesia menghasilkan hampir 600 MtCO₂, terutama dari industri energi pembangkitan listrik. Sektor ini menyumbang 50% dari total semua sektor yang menyumbang emisi di Indonesia. Sektor energi sangat berpeluang sebagai sasaran dalam transisi energi dalam mengurangi emisi karbon akibat bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan merencanakan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid*. Metode penelitian meliputi perancangan sistem PLTS *On-Grid* di Gedung Serba Guna Universitas Lampung dengan kapasitas 60 kWp dan simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.4 untuk mendapatkan potensi energi berdasarkan data radiasi matahari dan suhu pada Meteonorm 8.1 dan menguji performa sistem. Hasil simulasi menunjukkan bahwa PLTS *On-Grid* ini mampu menghasilkan energi sebesar 88,636 MWh/tahun dengan nilai *Performance Ratio* sebesar 84,34%, *Capacity Utilization Factor* sebesar 16,85%, nilai *Reference Yield* tahunan mencapai 1749,8 kWh/kWp, nilai *Array Yield* tahunan mencapai 1504,5 kWh/kWp, dan nilai *Final Yield* tahunan mencapai 1475,8 kWh/kWp. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem PLTS yang dirancang dapat beroperasi secara efisien dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

Abstract. In 2021, Indonesia's energy sector generated nearly 600 MtCO₂, primarily from electricity generation. This sector contributes 50% of emissions from all sectors in Indonesia, making it a prime target for energy transition to reduce carbon emissions from fossil fuels. This study aims to plan an *On-Grid Solar Power Plant (PLTS) System*. The research methodology includes designing a 60 kWp *On-Grid PLTS system* at the University of Lampung Convention Center and simulating its potential energy output using PVSyst 7.4, based on solar radiation and temperature data from Meteonorm 8.1, to test system performance. Simulation results show that this *On-Grid PLTS* can generate 88.636 MWh per year, with a *Performance Ratio* of 84.34%, a *Capacity Utilization Factor* of 16.85%, an annual *Reference Yield* of 1749.8 kWh/kWp, an annual *Array Yield* of 1504.5 kWh/kWp, and an annual *Final Yield* of 1475.8 kWh/kWp. These results indicate that the designed PLTS system can operate efficiently in converting solar energy into electrical energy.

1. PENDAHULUAN

Sektor energi di Indonesia menghasilkan emisi mencapai hampir 600 MtCO₂ pada tahun 2021, terutama dari industri energi pembangkitan listrik. Sektor ini menyumbang

50% dari total semua sektor yang menyumbang emisi di Indonesia [1]. Sektor energi diproyeksikan menjadi penyumbang emisi GRK terbesar di tahun 2030 dengan porsi 58-71% dari total emisi GRK nasional. Dengan

demikian, sektor energi pun ditargetkan dapat menurunkan emisi GRK sebesar 11-14%, atau sekitar 314-398 juta ton CO₂e, terhadap skenario BAU (*Business as Usual*) pada 2030 [2].

Berdasarkan data dan angka tersebut menunjukkan bahwa sektor energi sangat berpeluang sebagai sasaran dalam transisi energi mengurangi emisi karbon akibat bahan bakar fosil. Indonesia merupakan negara khatulistiwa dengan memiliki potensi energi terbarukan yang melimpah, yaitu sekitar 442 GW dan 207,8 GWp diantaranya berasal dari energi surya. Menurut PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 sebesar 31% [3].

Intensitas iradiasi matahari yang dimiliki Indonesia rata-rata sebesar 4,8 kWh/m²/hari atau setara dengan 112.000 GWp/hari dengan variasi rata-rata 9% tiap bulannya [4]. Khususnya Provinsi Lampung memiliki rata-rata intensitas iradiasi matahari sebesar 4,43 kWh/m²/hari dengan variasi rata-rata 7% tiap bulannya [5].

Provinsi Lampung memiliki luas wilayah sebesar 34.623,8 km². Provinsi Lampung memiliki proyeksi penyediaan energi primer untuk sektor energi baru dan terbarukan sebesar 2.355,9 Ribu TOE di tahun 2025 dan sebesar 9.032,3 Ribu TOE di tahun 2050 [6]. Presentase target bauran energi baru dan terbarukan di Provinsi Lampung sebesar 36% di tahun 2025 dan 47% di tahun 2050 [6].

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilihat potensi pemanfaatan energi surya di Provinsi Lampung khususnya di lingkungan Universitas Lampung. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk melakukan perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid* untuk dijadikan alternatif bagi pihak Universitas Lampung dalam memanfaatkan potensi energi surya di lingkungan Universitas Lampung sebagai upaya dalam membantu mencapai target bauran energi baru dan terbarukan di Provinsi Lampung.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit daya listrik yang

memanfaatkan pancaran sinar atau cahaya matahari untuk mengkonversi radiasi sinar foton matahari menjadi energi listrik melalui sel surya (*Photovoltaic*) [7]. Sel surya atau photovoltaic sendiri adalah lapisan tipis terbuat dari bahan semikonduktor yang tersusun menjadi modul surya. Listrik yang dihasilkan dari modul surya adalah listrik DC [8].

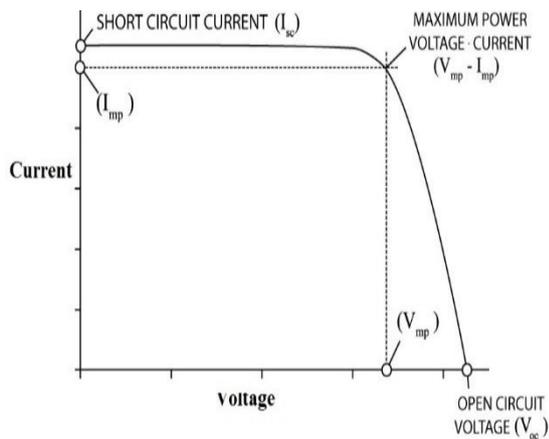
Berdasarkan lokasi pemasangan PLTS terbagi menjadi 2 sistem, yaitu sistem tersebar (*distribute PV plant*) dan sistem terpusat (*centralized PV plant*). Sedangkan, berdasarkan konfigurasi PLTS dibagi menjadi 2 macam, yaitu sistem PLTS terhubung dengan jaringan atau PLTS *On-grid (grid-connected PV plant)* dan sistem PLTS tidak terhubung dengan jaringan atau PLTS *Off-Grid (off-grid PV plant)*. Bila penggunaan pembangkit listrik tenaga surya digabungkan dengan pembangkit listrik lain maka sistem ini disebut sistem *hybrid* [8].

2.2. Komponen PLTS

Secara umum komponen pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), antara lain modul surya, inverter, dan baterai. Pemilihan komponen yang akan digunakan pada sistem PLTS bergantung pada konfigurasi sistem yang akan dipasang. Pada sistem PLTS *On-Grid* umumnya hanya menggunakan komponen berupa modul panel surya, inverter serta komponen pendukung lainnya. Komponen pendukung lain untuk PLTS *On-Grid* berupa *combiner box*, alat proteksi dan KWh EXIM. Ada beberapa macam jenis panel surya yaitu monokristal, polikristal dan *thin film*.

2.3. Karakteristik Panel Surya

Keluaran daya yang dihasilkan oleh perangkat semikonduktor pada panel surya memiliki hubungan linear dengan tingkat intensitas cahaya matahari yang diterimanya. Besarnya radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti letak geografis, periode waktu dalam sehari, musim dalam setahun, kondisi cuaca, kandungan atmosfer, elevasi, serta faktor-faktor lainnya. Spesifikasi dan performa panel surya umumnya mengacu pada *Standard Test Condition (STC)*, yaitu kondisi pengujian standar dengan radiasi matahari sebesar 1000 W/m² pada temperatur 25°C [9].



Gambar 1. Hubungan Arus dan Tegangan Pada Panel Surya

Kurva V-I pada Gambar 1 menggambarkan keadaan sel surya yang beroperasi dalam keadaan normal. Sel surya menghasilkan daya maksimum (P_{mp}) jika mencapai titik tegangan maksimum (V_{mp}) dan arus maksimum (I_{mp}). I_{sc} adalah arus maksimum pada saat tegangan bernilai nol. I_{sc} berbanding langsung dengan tersedianya sinar matahari. V_{oc} adalah tegangan maksimum pada saat nilai arus nol atau saat tidak terhubung dengan beban.

2.4. Perangkat Lunak PVSyst

PVSyst merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat desain dan melakukan evaluasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). *Input* simulasi PVSyst dikategorikan menjadi dua bagian: informasi proyek dan informasi simulasi. Informasi proyek terdiri dari detail lokasi seperti nama proyek dan koordinat. Dari koordinat tersebut, data meteorologi sistem yang dipilih dihasilkan menggunakan *database* Meteonorm 8.0 [10].

3. METODE PENELITIAN

Studi ini berfokus pada desain dan kelayakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung ke jaringan di Gedung Serba Guna Universitas Lampung dengan memanfaatkan luas atap yang tersedia [11]. Penelitian ini menganalisis kinerja sistem berdasarkan data iradiasi lokal dan mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomis dari sistem yang dirancang [12]. Penelitian ini bertujuan untuk berkontribusi pada pengembangan solusi energi berkelanjutan [13]. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak PVSyst 7.4.

3.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian untuk implementasi sistem PLTS *On-Grid* terletak di atap Gedung Serba Guna Universitas Lampung, Indonesia. Lokasi ini berada pada koordinat 5.3620° Lintang Selatan dan 105.2398° Bujur Timur. Panel surya akan dipasang di salah satu sisi atap Gedung Serba Guna Universitas Lampung. Atap yang dipilih untuk pemasangan modul surya memiliki sudut azimuth -35° ke arah utara dan sudut kemiringan 20° , yang memungkinkan orientasi panel surya sejajar dengan kondisi atap yang tersedia [14][15]. Pembangkit listrik tenaga surya yang besar mencakup area yang luas untuk penempatan modul PV, inverter, peralatan listrik [16].



Gambar 2. Atap Gedung Serba Guna Universitas Lampung

3.2. Data Meteorologi

Dalam melakukan desain sistem pembangkit listrik tenaga surya, akurasi data meteorologi memainkan peran penting dalam memprediksi kinerja sistem [17]. Penelitian ini menggunakan basis data Meteonorm 8.1 yang terintegrasi dalam perangkat lunak PVSyst 7.4 untuk mendapatkan data iradiasi matahari dan suhu lingkungan [18]. Gambar 3 merupakan data meteorologi berupa rata-rata iradiasi matahari harian, suhu lingkungan, kecepatan angin, kekeruhan lingkungan, dan kelembaban relatif per bulan selama satu tahun. Nilai *Global on Collector Plane* dipengaruhi oleh sudut kemiringan panel surya relatif terhadap permukaan horizontal [19].

	Global horizontal irradiation kWh/(m ²)day	Horizontal diffuse irradiation kWh/(m ²)day	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	4.94	2.52	26.6	1.49	3.711	82.7
February	5.23	2.88	26.5	1.39	3.927	83.7
March	5.20	2.69	27.0	1.40	3.945	81.3
April	5.02	2.55	26.9	1.19	4.122	83.3
May	4.65	2.36	27.4	0.89	4.493	81.1
June	4.44	2.32	26.6	0.90	4.738	81.6
July	4.58	2.39	26.6	0.90	5.194	78.6
August	4.58	2.46	26.9	1.10	5.613	75.5
September	4.85	2.57	26.8	1.10	5.929	76.5
October	5.30	3.03	27.4	1.10	6.253	76.5
November	4.92	2.78	26.7	1.09	5.537	80.8
December	5.01	2.51	26.9	1.50	4.031	80.6
Year	4.89	2.59	26.9	1.2	4.791	80.2

Global horizontal irradiation year-to-year variability 5.6%

Gambar 3. Data Meteorologi di Gedung Serba Guna Unila

Nilai rata-rata iradiasi matahari harian per tahun adalah 4,89 kWh/m²/hari. Nilai rata-rata iradiasi matahari harian ini dapat digunakan untuk menentukan waktu rata-rata penyinaran matahari dalam sehari atau yang dikenal dengan *Peak Sun Hour*. Nilai *Peak Sun Hour* di lokasi penelitian adalah 4,89 jam. Rata-rata iradiasi matahari harian merupakan parameter penting dalam perancangan dan optimasi sistem pembangkit listrik tenaga surya [20].

3.3. Desain PLTS On-Grid

Desain sistem pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* terdiri dari beberapa tahap penting. Pertama, kapasitas sistem ditentukan dengan mempertimbangkan kondisi iradiasi matahari setempat dan area yang tersedia untuk instalasi panel surya. Kedua, analisis kebutuhan energi harian dilakukan untuk memastikan sistem dapat memenuhi kebutuhan listrik. Selanjutnya, pemilihan komponen seperti panel surya, inverter, dan peralatan pendukung lainnya.

3.3.1. Penentuan Sistem PLTS On-Grid

Dalam menentukan kapasitas *array* panel surya pada penelitian ini berdasarkan pada luasan atap Gedung Serba Guna Universitas Lampung yang tersedia. Diketahui bahwa luas atap yang tersedia sebesar 604,77 m² tetapi luas tersebut tidak dapat digunakan sepenuhnya karena perlu adanya jarak antar panel surya, jarak antar baris *array* panel surya, dan jarak dengan tepi ujung atap. Berdasarkan desain penempatan *array* panel surya menggunakan perangkat lunak HelioScope pada Gambar 2, jumlah panel surya yang dapat dipasang pada atap sebanyak 120 modul panel surya. Bila

menggunakan modul panel surya berkapasitas 500 Wp maka kapasitas *array* panel surya sebesar 60 kWp.

3.3.2. Pemilihan Komponen

Dalam penelitian ini, modul Trina Solar TSM-DE18(II) dengan kapasitas 500 Wp dipilih untuk panel surya, sedangkan inverter menggunakan SunGrow SG50CX dengan kapasitas 50 kW. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan kompatibilitas teknis dan potensi kinerja yang optimal dalam sistem yang dirancang. Modul surya akan dipasang di atap Gedung Serba Guna Universitas Lampung dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti orientasi atap dan sudut kemiringan sesuai dengan kondisi atap yang tersedia.

3.3.3. Konfigurasi Sistem

Untuk menentukan konfigurasi susunan panel surya yang akan dipasang, perlu diperhatikan spesifikasi inverter dan modul surya yang digunakan. Menentukan susunan modul secara seri dan paralel dapat menggunakan persamaan (1), (2), dan (3) berikut ini.

$$\text{Min. seri per string} = \frac{V_{\min \text{Inverter}}}{V_{oc \text{Modul}}} \quad (1)$$

$$\text{Maks. seri per string} = \frac{V_{\max \text{Inverter}}}{V_{oc \text{Modul}}} \quad (2)$$

$$\text{Maks. paralel per string} = \frac{I_{\max \text{Inverter}}}{I_{sc \text{Modul}}} \quad (3)$$

$$\text{Jumlah String} = \frac{\text{Total modul surya}}{\text{Total modul seri per string}} \quad (4)$$

$V_{\min \text{Inverter}}$ adalah *input* tegangan minimum DC inverter, $V_{\max \text{Inverter}}$ adalah *input* tegangan maksimum DC inverter, $I_{\max \text{Inverter}}$ *input* arus maksimum DC inverter, V_{oc} adalah tegangan *open circuit* panel surya, dan I_{sc} adalah arus hubung singkat panel surya.

3.4. Analisis Performa PLTS On-Grid

Kinerja sistem PLTS *On-Grid* dievaluasi menggunakan standar IEC 61724 yang menyediakan indeks kinerja penting untuk menilai efisiensi dan kerugian sistem [10]. Parameter utama yang dianalisis meliputi *performance ratio*, *energy output*, *system losses*, *reference yield*, *array yield*, *final yield* dan *capacity utilization factor* (CUF). Studi ini

berfokus pada analisis lima parameter spesifik: *reference yield* (Y_r), *array yield* (Y_A), *final yield* (Y_f), *performance ratio* (PR), dan *capacity utilization factor* (CUF) [10].

Capacity utilization factor (CUF) adalah perbandingan produksi energi aktual sistem PLTS dengan *output* maksimum sistem jika beroperasi pada kapasitas penuh secara terus menerus. CUF memberikan gambaran seberapa efisien sistem PLTS untuk menghasilkan energi selama periode waktu tertentu. Studi ini mengevaluasi CUF selama periode satu tahun [21]. Secara matematis dinyatakan sebagai berikut dalam persamaan (5).

$$CUF = \frac{E_{AC}}{(P_{pv\ rated} \times 8760)} \times 100\% \quad (5)$$

E_{AC} adalah energi aktual yang dihasilkan oleh sistem PLTS dan P_{PV} adalah kapasitas penuh terukur sistem.

Reference yield adalah jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh *array* panel surya berdasarkan iradiasi matahari. Hal ini ditentukan dengan membagi iradiasi matahari pada bidang panel dengan 1 kW/m^2 [21][22]. Hasil referensi menunjukkan jumlah penyinaran matahari pada panel, seperti yang ditunjukkan pada persamaan (6).

$$Y_r = \left(\frac{H_t}{G_{STC}} \right) \frac{kWh}{kWp} \quad (6)$$

H_t adalah *total in-plane solar radiation* dan G_{STC} adalah nilai iradiasi matahari dalam kondisi *Standard Test Condition* (1 kW/m^2).

Array yield adalah jumlah energi yang dihasilkan oleh *array* panel surya setelah mempertimbangkan efisiensi konversi panel dan kerugian lainnya sebelum masuk ke inverter [21][22]. Parameter ini menghitung *output* energi hari itu dari modul panel surya. *Array yield* dapat dihitung dengan persamaan (7).

$$Y_A = \left(\frac{E_{DC}}{P_o} \right) \frac{kWh}{kWp} \quad (7)$$

E_{DC} adalah keluaran energi DC dari *array* panel surya (kWh) dan P_o adalah keluaran daya *array* panel surya terpasang (kW).

Final yield adalah rasio *output* energi dari inverter terhadap daya nominal *array* panel surya, biasanya diukur dalam kWh/kWp/hari. Ini mewakili energi bersih yang tersedia untuk konsumsi atau ekspor jaringan setelah memperhitungkan semua kerugian sistem, termasuk kerugian inverter [21][22]. Hubungan ini secara matematis ditulis pada persamaan (8) berikut.

$$Y_f = \left(\frac{E_{AC}}{P_o} \right) \frac{kWh}{kWp} \quad (8)$$

E_{AC} adalah keluaran energi AC dari inverter dan P_o adalah keluaran daya *array* panel surya terpasang (kW).

Performance Ratio adalah rasio kualitas sistem dilihat dari energi tahunan yang dihasilkan dengan energi yang seharusnya dihasilkan berdasarkan kondisi ideal. PR sangat penting untuk menilai efisiensi sistem menghasilkan energi listrik dibandingkan dengan potensi maksimalnya yang dipengaruhi oleh kinerja sistem dan faktor lingkungan [21][22]. Standar IEC mendefinisikan hubungan ini dengan menggunakan persamaan (9) berikut.

$$Performance\ Ratio = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\% \quad (9)$$

Y_f adalah *Final yield* dan Y_r adalah *Reference yield*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Penentuan Konfigurasi Array Panel Surya

Diketahui bahwa nilai tegangan minimum *input* inverter sebesar 250 V, nilai tegangan maksimum *input* inverter 1100 V, nilai arus *input* maksimum inverter sebesar 26 A, nilai V_{OC} dari modul surya sebesar 51,7 V, dan nilai I_{SC} dari modul surya sebesar 12,28 A. Sehingga untuk menentukan susunan dari *array* panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan (1), (2), (3), dan (4).

$$Min.\ seri\ per\ string = \frac{250}{51,7}$$

$$Min.\ seri\ per\ string = 4,83 \approx 5$$

$$Maks. seri per string = \frac{1100}{51,7}$$

$$Maks. seri per string = 21,27 \approx 21$$

$$Maks. paralel per string = \frac{26}{12,28}$$

$$Jumlah String = \frac{120}{15}$$

$$Jumlah String = 8$$

Berdasarkan perhitungan tersebut dapat diketahui konfigurasi antara modul panel surya dengan inverter dalam satu string dibutuhkan minimal 5 modul panel surya dirangkai seri dan maksimal 21 modul panel surya dirangkai seri. Untuk jumlah maksimal string paralel adalah 2. Dalam perencanaan yang dilakukan pada penelitian ini digunakan konfigurasi 8 string dengan 15 modul panel surya dirangkai seri dan 2 string panel surya dirangkai paralel.

4.2. Produksi Energi PLTS On-Grid

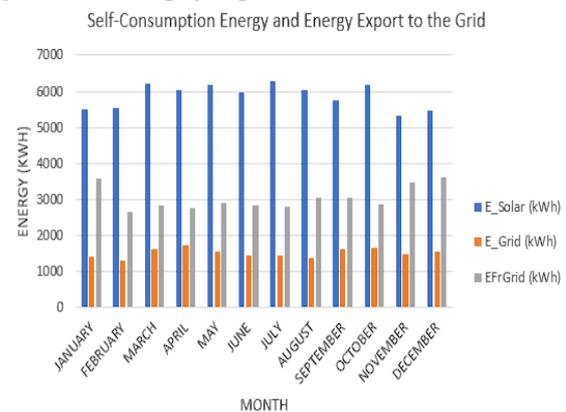
Pada bagian ini akan dianalisis produksi energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* yang telah direncanakan di Gedung Serba Guna Universitas Lampung. Data produksi energi diperoleh berdasarkan prediksi dari simulasi menggunakan perangkat lunak PVSyst.

Tabel 1. Potensi Energi PLTS *On-Grid*

MONTH	EArray (kWh)	E_User (kWh)	E_Solar (kWh)	E_Grid (kWh)	EFrGrid (kWh)	Total Energy (kWh)
JANUARY	7048	9066	5507	1407	3560	6914
FEBRUARY	6956	8189	5524	1301	2665	6825
MARCH	7976	9066	6221	1602	2846	7823
APRIL	7914	8774	6031	1730	2743	7761
MAY	7878	9066	6166	1560	2901	7726
JUNE	7513	8774	5950	1422	2824	7372
JULY	7860	9066	6282	1430	2784	7712
AUGUST	7554	9066	6041	1366	3025	7407
SEPTEMBER	7520	8774	5742	1632	3032	7374
OCTOBER	7987	9066	6185	1650	2881	7835
NOVEMBER	6921	8774	5312	1482	3462	6794
DECEMBER	7142	9066	5449	1559	3617	7008
YEAR	90270	106748	70408	18140	36340	88548

Simulasi PVSyst digunakan untuk memproyeksikan produksi energi berdasarkan

parameter seperti iradiasi matahari dan suhu lingkungan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem menghasilkan produksi listrik dalam setahun sebesar 88,54 MWh. Produksi energi tertinggi terjadi pada bulan Oktober sebesar 7,83 MWh sedangkan produksi energi terendah terjadi pada bulan November sebesar 6,79 MWh. Fluktuasi ini sejalan dengan variasi musiman iradiasi matahari, dimana bulan dengan curah hujan yang lebih tinggi seperti November dan Desember cenderung memiliki produksi energi yang lebih rendah.



Gambar 4. Energi Pemakaian Sendiri, Energi Terkirim Ke *Grid*, dan Energi Dari *Grid*

E_Solar adalah energi yang digunakan oleh beban yang berasal dari sistem PLTS. *E_Grid* adalah kelebihan energi dari PLTS yang dikirim ke *grid*. *EFrGrid* adalah energi yang digunakan oleh beban yang berasal dari jaringan listrik

(*grid*). PLTS menginjeksi energi ke jaringan (*grid*) sebesar 18,14 MWh selama setahun sebagai kelebihan energi yang dihasilkan oleh

PLTS dan sistem mendapatkan energi dari jaringan (*grid*) sebesar 36,34 MWh selama setahun untuk memenuhi kekurangan energi yang tidak dipenuhi oleh PLTS untuk beban.

4.3. Analisis Performa PLTS On-Grid

Capacity Utilization Factor (CUF) untuk sistem PLTS *On-Grid* 60 kWp di Gedung Serba Guna Universitas Lampung bervariasi setiap bulannya karena faktor iklim lokal yang berubah-ubah dan kerugian sistem. Dalam menghitung CUF dapat menggunakan persamaan (5). CUF mencapai puncaknya di bulan Oktober sebesar 17,6% karena produksi energi yang tinggi di bulan tersebut. Sebaliknya, bulan November mencatat CUF terendah sebesar 15,2% karena produksi energi yang terendah. CUF sistem selama setahun adalah 16,85%.

$$CUF = \frac{88548}{(60 \times 8760)} \times 100\%$$

$$CUF = \frac{E_{AC}}{(P_{pv\ rated} \times 8760)} \times 100\%$$

$$CUF = 16,85\%$$

Tabel 2. Iradiasi Matahari Meteonorm 8.1

MONTH	GlobHor (kWh/m ²)	DiffHor (kWh/m ²)	GlobEff (kWh/m ²)	GlobInc (kWh/m ²)	EArray (kWh)	Total Energy (kWh)
JANUARY	153,1	78,03	132,6	136,6	7048	6914
FEBRUARY	146,5	80,53	130,8	134,2	6956	6825
MARCH	161,3	83,30	151,6	155,1	7976	7823
APRIL	150,6	76,60	151,0	154,1	7914	7761
MAY	144,2	73,31	149,8	152,9	7878	7726
JUNE	133,1	69,57	141,9	144,7	7513	7372
JULY	141,9	74,08	148,6	151,7	7860	7712
AUGUST	141,9	76,28	143,8	146,6	7554	7407
SEPTEMBER	145,4	77,05	143,3	146,3	7520	7374
OCTOBER	164,4	94,03	151,5	155,3	7987	7835
NOVEMBER	147,7	83,39	129,9	133,7	6921	6794
DECEMBER	155,4	77,74	134,3	138,6	7142	7008
YEAR	1785,7	943,92	1709,1	1749,8	90270	88548

Reference, *array*, dan *final yield* dihitung menggunakan data yang diperoleh dari simulasi perangkat lunak PVSyst. Parameter-parameter ini dinilai untuk memperkirakan kinerja sistem PLTS. Nilai *reference yield* bervariasi dari 133,7 kWh/kWp di bulan November hingga

155,3 kWh/kWp di bulan Oktober. Demikian pula, *array yield* berkisar antara 115,4 kWh/kWp pada bulan November hingga 133,1 kWh/kWp pada bulan Oktober. *Final yield* berfluktuasi antara 113,2 kWh/kWp di bulan November dan 130,6 kWh/kWp di bulan Oktober. Hasil yang lebih tinggi yang diamati pada bulan Maret dapat dikaitkan dengan peningkatan tingkat iradiasi matahari. Untuk menghitung nilai *Reference*, *array*, dan *final yield* dapat menggunakan persamaan (6), (7), dan (8).

$$Y_r = \left(\frac{H_t}{G_{STC}} \right) \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_r = \left(\frac{1749,8}{1} \right) \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_r = 1749,8 \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_A = \left(\frac{E_{DC}}{P_o} \right) \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_A = \left(\frac{90270}{60} \right) \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_A = 1504,5 \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_f = \left(\frac{E_{AC}}{P_o} \right) \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_f = \left(\frac{88548}{60} \right) \frac{kWh}{kWp}$$

$$Y_f = 1475,8 \frac{kWh}{kWp}$$

Performance Ratio (PR) dihitung berdasarkan data yang diperoleh setelah melakukan simulasi sistem PLTS *On-Grid* yang telah didesain dengan daya 60 kWp. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai *Final Yield* sebesar 1475,8 kWh/kWp/tahun dan nilai *Reference Yield* sebesar 1749,8 kWh/kWp/tahun. Nilai PR sistem selama setahun sebesar 84,34%. PR tahunan berkisar antara 84,01% pada bulan September (terendah) dan 84,94% pada bulan April (tertinggi).

$$Performance\ Ratio = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100\%$$

$$Performance\ Ratio = \frac{1475,8}{1749,8} \times 100\%$$

$$Performance\ Ratio = 84,34\%$$

Kerugian tersebut terdiri dari kerugian akibat inverter, sistem pengkabelan, modul yang kotor, akumulasi debu pada modul, suhu lingkungan yang tinggi, dan kecepatan angin yang rendah.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On-Grid* dengan kapasitas sebesar 60 kWp yang mana mampu menyuplai energi untuk memenuhi kebutuhan beban listrik. Sistem yang dirancang menghasilkan potensi energi listrik sebesar 88,548 MWh per tahun, dengan 70,408 MWh digunakan langsung oleh beban, 18,140 MWh diekspor ke jaringan, dan membutuhkan 36,340 MWh dari jaringan untuk memenuhi kebutuhan beban.

Analisis performa sistem menunjukkan kinerja yang baik dengan *Performance Ratio* (PR) sebesar 84,34%, *Capacity Utilization Factor* (CUF) sebesar 16,85%, nilai *Reference Yield* tahunan mencapai 1749,8 kWh/kWp, nilai *Array Yield* tahunan mencapai 1504,5 kWh/kWp, dan nilai *Final Yield* tahunan mencapai 1475,8 kWh/kWp. Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem PLTS yang dirancang dapat beroperasi secara efisien dalam mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Adnan Padhilah Ilham Rizqian Fahreza Surya Pintoko Aji, D. D. Arinaldo Handriyanti Puspitarini Julius C Adiatma, and F. C. Tumiwa Julius Adiatma, "Indonesia Electric Vehicle Outlook 2023 Electrifying Transport Sector: Tracking Indonesia EV Industries and Ecosystem Readiness," *Inst. Essent. Serv. Reform*, 2023.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi," 2020.
- [3] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, "Indonesia Energy Outlook 2019," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [4] E. Radwitya and Y. Chandra, "Perencanaan Plts on Grid Dilengkapi Panel Ats Di Laboratorium Teknik Elektro Politeknik Negeri Ketapang," *Epic J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 3, no. 1, p. 52, 2020, doi: 10.32493/epic.v3i1.5740.
- [5] K. Kananda, "Studi Awal Potensi Energi Surya Wilayah Lampung: Studi Kasus Kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) Menuju Smart Campus," *J. Sci. Appl. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 75–81, 2017.
- [6] G. Lampung, *Rencana Umum Energi Daerah*, no. August 2008, 2010, pp. 1–31.
- [7] R. Nurohmah, T. Tohir, and S. M. Ilman, "Desain dan implementasi sistem plts off-grid skema hibrida sebagai alternatif suplai daya listrik beban satu fasa," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 3, pp. 3471–3478, 2024.
- [8] I. K. A. Setiawan, I. N. S. Kumara, and I. W. Sukerayasa, "Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1, pp. 27–33, 2014.
- [9] N. Sartika, A. N. R. Fajri, and L. Kamelia, "Perancangan Dan Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Atap Pada Masjid Jami' Al-Muhajirin Bekasi," *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 25, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.14710/transmisi.25.1.1-9.
- [10] Y. Ilya, A. Abdul, H. Zainuddin, and E. A. Setiawan, "Performance of grid-connected photovoltaic systems in Northern and Southern Hemispheres under equatorial climate," *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 15, no. 2, pp.

- 858–873, 2024, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i2.pp858-873.
- [11] B. Bylykbashi and B. Hoxha, “Design and energy performance of PV systems: a case study Kosova,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 15, no. 3, pp. 1871–1877, 2024, doi: 10.11591/ijpeds.v15.i3.pp1871-1877.
- [12] E. Ayora, M. Munji, K. Kaberere, and B. Thomas, “Performance analysis of 600 kWp grid-tied rooftop solar photovoltaic systems at strathmore university in Kenya,” *Results Eng.*, vol. 19, no. May, p. 101302, 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101302.
- [13] T. Gómez-Navarro, T. Brazzini, D. Alfonso-Solar, and C. Vargas-Salgado, “Analysis of the potential for PV rooftop prosumer production: Technical, economic and environmental assessment for the city of Valencia (Spain),” *Renew. Energy*, vol. 174, pp. 372–381, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.04.049.
- [14] 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,” *Sol. Energy Adv.*, vol. 3, no. January, 2023, doi: 10.1016/j.seja.2023.100036.
- [15] X. Wang, X. Gao, and Y. Wu, “Comprehensive analysis of tropical rooftop PV project : A case study in nanning,” *Heliyon*, vol. 9, no. February, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e14131.
- [16] B. Paudel *et al.*, “Techno-economic and environmental assessment of utilizing campus building rooftops for solar PV power generation,” *Int. J. Green Energy*, vol. 00, no. 00, pp. 1–13, 2021, doi: 10.1080/15435075.2021.1904946.
- [17] A. Singh, S. S. Shaha, P. G. Nikhil, Y. R. Sekhar, S. Saboor, and A. Ghosh, “Design and Analysis of a Solar-Powered Electric Vehicle Charging Station for Indian Cities,” *World Electr. Veh. J.*, vol. 12, p. 132, 2021, doi: 10.3390/wevj12030132.
- [18] S. N. M. Abdalla and H. Özcan, “Design and simulation of a 1-GWp solar photovoltaic power station in Sudan,” *Clean Energy*, no. December 2020, pp. 57–78, 2021, doi: 10.1093/ce/zkaa030.
- [19] I. S. Aktas and S. Ozenc, “A case study of techno-economic and environmental analysis of college rooftop for grid-connected PV power generation : Net zero 2050 pathway General Directorate of Energy Affairs,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 56, no. March, 2024, doi: 10.1016/j.csite.2024.104272.
- [20] S. Gyamfi, B. Aboagye, M. Obeng, and F. Peprah, “Criticality and severity of adverse effects of the sun on performance of solar PV systems,” *Sol. Energy Adv.*, vol. 4, no. March, p. 100058, 2024, doi: 10.1016/j.seja.2024.100058.
- [21] K. Mohamed, H. Shareef, I. Nizam, and A. Benjamin, “Operational Performance Assessment of Rooftop PV Systems in the Maldives,” *Energy Reports*, vol. 11, no. November 2023, pp. 2592–2607, 2024, doi: 10.1016/j.egyr.2024.02.014.
- [22] A. Allouhi, R. Saadani, M. S. Buker, T. Kousksou, A. Jamil, and M. Rahmoune, “Energetic , economic and environmental (3E) analyses and LCOE estimation of three technologies of PV grid-connected systems under di ff erent climates,” *Sol. Energy*, vol. 178, no. July 2018, pp. 25–36, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2018.11.060.