

# RANCANG BANGUN PLTS *ON-GRID* SEBAGAI PENUNJANG KELISTRIKAN SKALA RUMAH TANGGA

Ilman Kamil<sup>1</sup>, Aripriharta<sup>1\*</sup>, Muhammad Cahyo Bagaskoro<sup>1</sup>, Suhiro Wongso Susilo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang, Malang, Indonesia, 65114

<p><b>INFORMASI ARTIKEL</b></p>	<p><b>A B S T R A K</b></p> <p>Saat ini pemasangan PLTS pada rumah tangga merupakan salah satu program pemerintah yang tertuang dalam peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018. Pada penelitian ini telah dirancang PLTS <i>On-Grid</i> 200W untuk rumah tangga dengan daya listrik 900 VA, yang disesuaikan dengan aturan PLN dimana batas maksimum pemasangan PLTS adalah 100 persen dari daya tersambung. Pemasangan PLTS <i>On-Grid</i> ini diharapkan dapat menghemat biaya listrik hingga 20 persen dari tagihan normal setiap bulannya. Metode yang digunakan adalah perancangan menggunakan <i>software onshape</i> dan eksperimen selama 7 hari dengan pengambilan data 6 jam per hari pada cuaca panas, mendung, dan gerimis, dengan parameter yang diukur meliputi penyinaran matahari, intensitas cahaya, temperatur, tegangan, arus, dan daya. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa besarnya tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem PLTS menurun seiring dengan menurunnya intensitas cahaya. Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh PLTS pada saat cuaca panas adalah 156W, pada saat cuaca mendung daya maksimum yang dihasilkan adalah 73.728W, sedangkan daya maksimum yang dihasilkan oleh PLTS pada saat cuaca gerimis adalah 24.706W. Dari hasil pengujian juga didapatkan bahwa efisiensi dari PLTS <i>On-Grid</i> sebesar 16,5% dimana sistem ini dapat membantu memenuhi daya beban rumah tangga yang digunakan selama kurang lebih 6 jam pada siang hari. Selain itu, nilai <i>Root Mean Square Error</i> untuk pengukuran output dc sebesar 13,13 dan output ac sebesar 14,4. Sedangkan nilai BEP (<i>Break Even Point</i>) atau titik impas untuk pembangunan sistem PLTS <i>On Grid</i> dengan rasio kinerja 93% akan diperoleh selama kurang lebih 9,1 tahun.</p> <p>Kata kunci— Energi Surya, PLTS, <i>On-Grid</i>, Pendukung daya, Panel surya, Inverter</p>
<p>Received: July 10, 2023 Revised: August 22, 2024 Available online: October 24, 2024</p>	
<p><b>CORRESPONDENCE</b></p>	<p><b>A B S T R A C T</b></p> <p>Currently, the installation of PLTS in households is one of the government programmes as stipulated in the Minister of Energy and Mineral Resources regulation No.49 of 2018. This research has designed a 200W <i>On-Grid</i> PLTS for households with 900 VA electric power, which is adjusted to PLN rules where the maximum limit of PLTS installation is 100 per cent of the connected power. The installation of PLTS <i>On-Grid</i> is expected to save electricity costs up to 20 per cent of the normal monthly bill. The method used is design using <i>onshape</i> software and experimentation for 7 days with data collection 6 hours per day in hot, cloudy, and drizzly weather, with measured parameters including sunlight, light intensity, temperature, voltage, current, and power. The measurement results show that the amount of voltage and current generated by the PLTS system decreases as the light intensity decreases. The maximum power that can be generated by PLTS during hot weather is 156W, during cloudy weather the maximum power generated is 73.728W, while the maximum power generated by PLTS during drizzly weather is 24.706W. From the test results, it is also found that the efficiency of the <i>On-Grid</i> PLTS is 16.5% where this system can help fulfill the household load power used for approximately 6 hours during the day. In addition, the <i>Root Mean Square Error</i> value for dc output measurements is 13.13 and ac output is 14.4. While the BEP (<i>Break Even Point</i>) value or break-even point for the construction of the PLTS <i>On Grid</i> system with a performance ratio of 93% will be obtained for approximately 9.1 years.</p> <p>Keywords— Solar Energy, Solar PV, <i>On-Grid</i>, Power support, Solar panel, Inverter</p>
<p>E-mail: <sup>1</sup>aripriharta.ft@um.ac.id</p>	

## I. PENDAHULUAN

Energi matahari merupakan energi yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Ketersediaannya yang melimpah, ramah lingkungan dan tidak menghasilkan emisi

CO2 membuat energi ini menjadi andalan pembangkit listrik yang biasa disebut dengan PLTS atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya [1]. PLTS merupakan sistem pembangkit listrik yang menggunakan energi matahari kemudian mengubahnya menjadi energi listrik melalui photovoltaic

yang termasuk dalam *green energy* sehingga menjadikan pembangkit yang terbarukan. Pembangkit listrik tenaga surya ini lebih efisien, efektif, handal, dan mampu menyuplai kebutuhan listrik. Secara geografis dengan iklim tropis Indonesia, penerapan PLTS dapat menjadi sumber energi baru jika dikembangkan secara serius [2].

Besarnya biaya tagihan listrik yang dibayarkan oleh pengguna jaringan listrik PLN menjadi salah satu alasan mengapa PLTS harus diaplikasikan pada perumahan. Selain itu, saat ini banyak kebijakan pemerintah yang mendukung penerapan energi terbarukan di perumahan, karena sejak 1 Januari 2019 pemasangan panel surya atap, produksi listrik mandiri, dan mengekspor listrik ke PLN diperbolehkan seperti yang tertuang dalam peraturan Menteri ESDM No.49 tahun 2018 [3]. Oleh karena itu, memilih *Photovoltaic Microgrid* yang tersambung dengan listrik PLN dirasa cocok untuk digunakan di daerah yang sudah tersedia listrik dari PLN (*On Grid*). PLTS yang terhubung dengan sumber listrik merupakan salah satu bentuk energi yang ramah lingkungan bagi penduduk perkotaan maupun pedesaan [18].

Penerapan PLTS *On Grid* pada perumahan membutuhkan dua komponen penting, yaitu modul Solar Panel dan *grid tie* inverter [19]-[21]. Panel surya sebagai komponen yang menyerap panas matahari yang menghasilkan tegangan dan arus DC, kemudian dihubungkan dengan *grid tie* inverter yang digunakan terhubung langsung dengan listrik rumah tangga dan akan menghasilkan tegangan dan arus AC, sistem ini akan membagi daya untuk memenuhi kebutuhan beban yang digunakan pada rumah tangga.

Berdasarkan uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk merencanakan dan merancang PLTS 200 wp dengan model *On Grid* untuk rumah tangga dengan daya 900 VA.

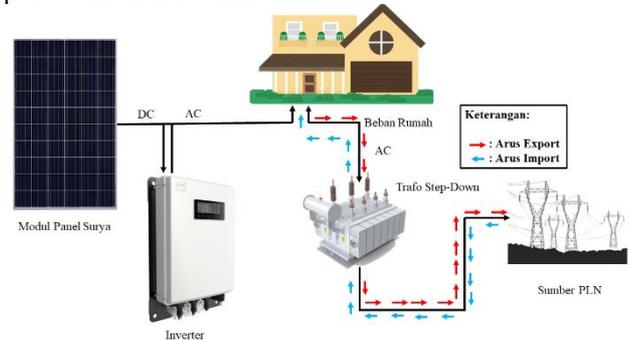
Penelitian ini secara khusus merancang dan menguji sistem PLTS *On-Grid* 200Wp untuk rumah tangga berdaya 900 VA, sementara banyak penelitian sebelumnya berfokus pada sistem *off-grid* atau skala yang lebih besar; penelitian ini melakukan pengujian selama 7 hari dengan pengambilan data setiap 6 jam sekali, serta menganalisa secara komprehensif mengenai efisiensi sistem, RMSE, dan BEP, sementara beberapa penelitian sebelumnya mungkin tidak melakukan analisa yang komprehensif ini; penelitian ini menguji sistem dengan berbagai jenis beban (lampu LED, penanak nasi, kipas angin, bor listrik) untuk mensimulasikan kondisi rumah tangga yang realistis, sementara beberapa penelitian sebelumnya hanya berfokus pada satu jenis beban; studi ini secara khusus menganalisis kinerja sistem dalam kondisi cuaca yang berbeda (panas, mendung, gerimis), memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kinerja sistem dalam berbagai kondisi, serta menghitung Rasio Kinerja sistem, yang mungkin tidak disertakan dalam beberapa studi lainnya; studi ini merancang kerangka khusus yang dapat dipindahkan, serta memberikan perincian yang sangat rinci tentang biaya pembuatan sistem, termasuk biaya pemeliharaan, yang mungkin tidak selengkap studi lainnya.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. PLTS *On-Grid*

PLTS *On-Grid* merupakan sistem tenaga surya (PLTS) yang berfungsi untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik. Sistem ini biasanya digunakan di

rumah, pabrik ataupun Kantor. Penghematan signifikan dalam pembayaran tagihan listrik bulanan dapat dilakukan dengan sistem PLTS *on grid*. PLTS jenis ini dipasang di atap agar terkena cahaya matahari langsung dan optimal dalam penyerapan energi. Panas pada PV nantinya akan diubah menjadi energi listrik yang disinkronkan langsung dengan arus dari PLN [4]. Siklus sistem PLTS *On-Grid* dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 1. Sistem PLTS *On-Grid*

Rangkaian PLTS dengan model *On-Grid* ini digunakan untuk menyuplai daya ke pengguna dan terhubung langsung ke jaringan listrik [5]. PLTS *On-Grid* dapat menyuplai daya yang berlebih pada jaringan sehingga beban tidak hanya menggunakan daya dari PLN. Beberapa pertimbangan perlu diperhatikan dalam pemasangan PLTS *On-Grid*, yaitu lokasi bangunan, lokasi yang mendapat suplai PLN 24 jam, bangunan yang sudah terpasang kWh Meter, dan lokasi yang telah memiliki sertifikat SLO [22].

### B. Break Even Point

*Break Even Point* (BEP) merupakan keadaan impas yaitu jika keuntungan atau kerugian untuk periode tertentu telah dihitung perusahaan tidak mendapatkan untung dan tidak pula mengalami kerugian [13]. *Break even point* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$BEP = \frac{\text{Biaya pembangunan PLTS}}{\text{Tarif listrik per tahun}} \quad (1)$$

### C. Performance Ratio

*Performance Ratio* merupakan salah satu variabel yang digunakan untuk mengevaluasi efisiensi pembangkit listrik PV. Performa rasio dinyatakan sebagai persen dan menggambarkan hubungan antara keluaran energi aktual dan teoritis dari PLTS. Perhitungan ini dilakukan untuk mendapatkan proporsi energi yang sebenarnya tersedia untuk diekspor ke jaringan setelah dikurangi kehilangan energi. Jika nilai PR mendekati 100% maka semakin efisien pembangkit yang digunakan [14]. Sebelum mendapatkan nilai performa ratio, data irradiasi yang di ekstrapolasi ke pembangkit dihitung dengan persamaan berikut:

$$H_{eks} = H_{rata-rata} \times L_{PLTS} \quad (2)$$

Dimana:

$H_{eks}$  : Irradiasi yang diterima pembangkit (kWh)

$H_{rata-rata}$  : Irradiasi rata-rata 1 tahun (kWh/m<sup>2</sup>)

$L_{PLTS}$  : Luas pembangkit (m<sup>2</sup>)

Setelah didapatkan besar irradiansi yang diterima pembangkit, maka perkiraan daya yang dihasilkan sistem sesuai dengan efisiensi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_{prediksi} = H_{eks} \times \eta_{PV} \tag{3}$$

Dimana:

- $P_{prediksi}$  : Daya output perkiraan (kWh)
- $H_{eks}$  : Irradiansi rata-rata 1 tahun (kWh/m<sup>2</sup>)
- $\eta_{PV}$  : Efisiensi PV (%)

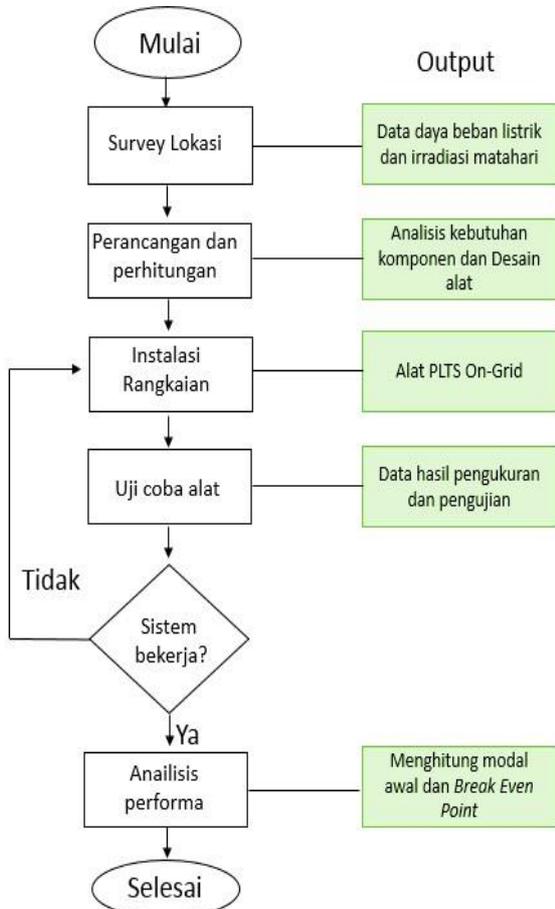
Performa rasio dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_R = \frac{\text{Pembacaan Aktual (kWh)}}{\text{daya output perkiraan (kWh)}} \tag{4}$$

### III. METODE

#### A. Diagram Alir

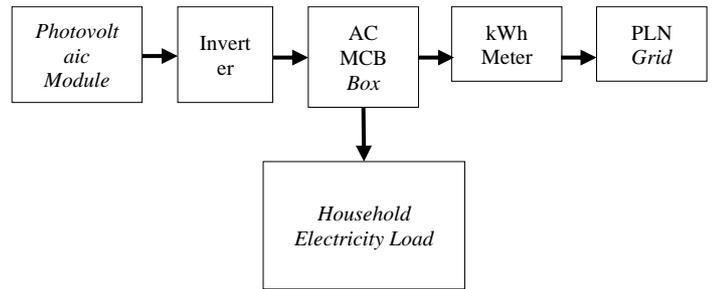
Alur desain yang ditunjukkan pada gambar 2. merupakan tahapan yang dilakukan saat melakukan penelitian. Alur ini dibuat dengan menggunakan *flowchart* dengan simbol-simbol grafis yang mewakili alur kerja, algoritma, yang berbentuk kotak-kotak dan dihubungkan dengan anak panah. *Flowchart* ini bermaksud untuk memberikan poin-poin singkat mengenai gambaran alur perancangan sistem.



Gambar 2. Diagram Alir Desain

#### B. Blok Diagram

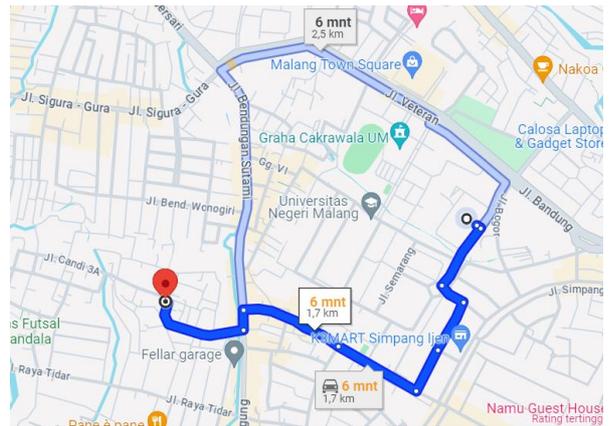
Perancangan sistem memerlukan diagram blok, dimana setiap blok memiliki cara kerja masing-masing dalam pengoperasiannya. Perancangan sistem PLTS *On-Grid* tersusun dalam diagram blok pada Gambar 3.



Gambar 1. Blok Diagram

#### C. Waktu dan Tempat Penelitian

Proses perancangan sistem PLTS *On-Grid* sebagai penunjang listrik skala rumah tangga ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai dengan Mei 2022. Tempat pelaksanaan berada di domisili penulis, yaitu di Jl. Raya Candi 2 No 246 Kel. Karang Besuki Kec. Sukun Kota Malang.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

#### D. Menghitung Total Pengeluaran Harian

TABEL I. KEBUTUHAN DAYA

N o.	Tipe Beban	Daya Listrik (Watt)	Jumlah	Lama Penggunaan (Ah)	Total Penggunaan Beban per Hari (Wh)
1	LED Lamp	10	5	6	300
2	Electric Fan	60	2	5	600
Total				170W	900Wh

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa total kebutuhan daya yang harus dipenuhi adalah 900 Wh. Energi listrik dari PLTS *On-Grid* dapat membantu menyuplai daya

dari jaringan PLN untuk memenuhi kebutuhan energi yang digunakan. Karena sistem ini tidak menggunakan baterai, maka semua beban yang digunakan diasumsikan dapat digunakan selama 5 sampai 6 jam.

#### E. Menghitung Kebutuhan Panel Surya

Data iradiasi matahari di lokasi penelitian adalah 5,43 kWh/m<sup>2</sup> /hari, sehingga kebutuhan panel surya yang digunakan dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$kW_{peak} = \frac{E_{total}}{H_{sun}} \quad (5)$$

$$kW_{peak} = \frac{900Wh}{5.43kWh/m^2}$$

$$kW_{peak} = 0.165kWp \text{ atau } 165Wp$$

Nilai yang diperoleh perlu ditambahkan 15% hingga 25% sebagai rugi-rugi sistem. Nilai yang ditambahkan sebagai rugi-rugi sistem adalah 190 Wp hingga 206 Wp. Dari perhitungan didapatkan kebutuhan panel sebesar 190 Wp. Jika menggunakan panel dengan spesifikasi 100 wp, maka berdasarkan persamaan 5 jumlah panel yang dibutuhkan adalah:

$$\sum pv = \frac{190 Wp}{100 Wp} \quad (6)$$

$$\sum pv = 1,9 \text{ pcs} \approx 2 \text{ pcs}$$

Artinya kebutuhan panel surya yang digunakan adalah sebanyak 2 buah dengan spesifikasi panel surya 100 Wp.

#### F. Menentukan Inverter

Jika diasumsikan semua beban menyala pada saat yang sama, daya keseluruhan adalah 170W, maka pilihlah inverter dengan spesifikasi yang lebih besar dari daya yang digunakan. Berdasarkan persamaan 7, inverter yang dapat digunakan dihitung sebagai berikut:

$$P_{inv} = 170 + (25\% \times 170) \quad (7)$$

$$P_{inv} = 212.5 W$$

Dari perhitungan diatas, maka inverter yang digunakan adalah kurang lebih 212.5 W.

#### G. Desain Hardware

Sebelum memulai perancangan perangkat keras, Anda harus mengetahui spesifikasi komponen dan membuat rangkaian skematik agar komponen-komponen tersebut terhubung satu sama lain. Berikut ini adalah spesifikasi dan gambar skematik dari PLTS *on grid* sistem:

##### 1. Spesifikasi Komponen

Dalam perancangan sistem ini komponen yang digunakan adalah modul panel surya dengan daya 100 Wp dan inverter grid tie 600W. Spesifikasi dari komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut:

Merek : SUNASIA

Tipe : *Monocrystalline*

TABEL II. SPESIFIKASI PANEL SURYA

NO	Spesifikasi	
1	Model	SP100-18P
2	Peak power (Pmax)	100
3	cell efficiency	16.93%
4	Max. Power volts (Vmp)	17.8V
5	Max. Power current(Imp)	5.62A
6	Open circuit volts (Voc)	21.8V
7	Open Circuit current (Isc)	6.05A
8	power tolerance	±3%
9	Max system voltage	1000V
10	Series Fuse Rating	12A
11	Operating irradiance	-4 °C – 8.5 °C
12	Temperature Module	1000W/ m <sup>2</sup>
13		25 °C

Sedangkan spesifikasi untuk inverter adalah sebagai berikut:

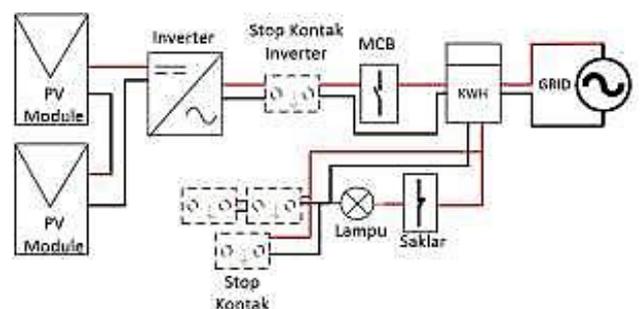
Merek : -

Tipe : *Smart Grid Tie Inverter*

TABEL III. SPESIFIKASI INVERTER

No	SPECIFICATION	
1	Rated Power	600W
2	Solar Panels	≥600 Wp (Max 120% of the rated inverter power)
3	DC Input Range	22-60VDC
4	MPPT Voltage	22-48 VDC
5	DC MaxCurrent	50 A
6	AC Output	220 VAC (190-260 VAC)
7	frequency	50Hz/60Hz
8	PowerFactor	≥ 97%
9	Peak Efficiency	85%
10	Stable Efficiency	84%
11	temperature	-20 °C -65 °C
12	Stand-by Power	<2 W

#### H. Rangkaian Skematik



Gambar 4. Jaringan Rangkaian

Gambar di atas adalah hasil rangkaian skematik sistem PLTS *On-Grid* yang digunakan di rumah tangga. Pada skematik tersebut terdapat 2 buah modul panel surya yang dihubungkan secara seri dan terhubung dengan inverter untuk mengubah arus DC (searah) yang masuk dan mengubahnya menjadi arus AC (bolak-balik). Arus yang dikeluarkan oleh inverter langsung dihubungkan ke listrik rumah yang bersumber dari jaringan PLN. Beban yang

masuk diantara kedua sistem tersebut akan secara otomatis ditopang oleh panel surya terlebih dahulu dan jaringan PLN akan menyuplai daya ketika terjadi kekurangan daya pada sistem PLTS.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Survey Lokasi

Survei lokasi dilakukan untuk mendapatkan beberapa parameter yang perlu diketahui sebelum instalasi PLTS dilakukan. Parameter tersebut adalah intensitas cahaya, temperatur, dan penyinaran matahari. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan *website* simulasi *online* *pvwatts* dan pengukuran langsung di lokasi.

B. Hasil Pengukuran Dalam Perangkat Lunak

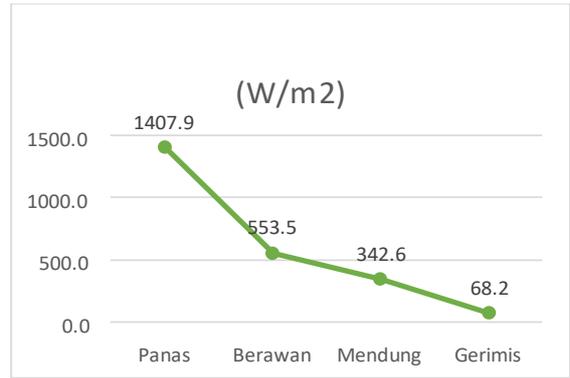
Pada *website* simulasi ini data dapat diambil sesuai dengan bulan, hari dan jam yang diinginkan. Berdasarkan rencana penelitian, lokasi pengujian dilakukan di Jl. Raya candi 2 no 246 karang besuki Kec. Sukun Kota Malang. Lokasi tersebut dimasukkan pada *software* sehingga parameter yang dibutuhkan akan muncul secara otomatis. Data pada tabel 4 di bawah ini adalah nilai emisi cahaya dan suhu yang diambil pada *website* simulasi pada minggu-minggu awal bulan Mei.

TABEL IV. DATA SINAR DAN SUHU BULAN MEI

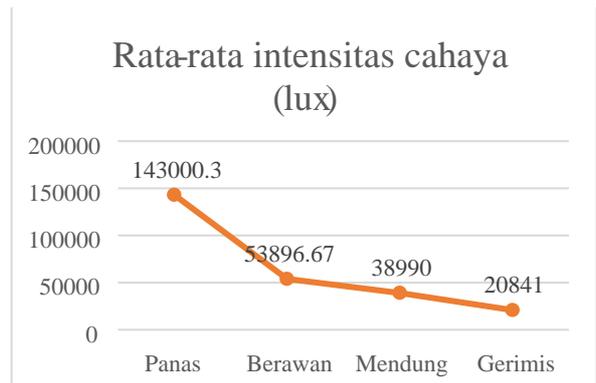
Bulan	Hari	Waktu	Parameter	Nilai
MEI	1	08.00 - 14.00	Luminance (W/m 2 )	247,14
			Temperature ( oC )	28
			DC Output (W)	82
	2	08.00 - 14.00	AC Output (W)	78,76
			Luminance (W/m 2 )	405,14
			Temperature ( oC )	28
	3	08.00 - 14.00	DC Output (W)	99
			AC Output (W)	95
			Luminance (W/m 2 )	621
	4	08.00 - 14.00	Temperature ( oC )	28,4
			DC Output (W)	117,7
			AC Output (W)	113,3
	5	08.00 - 14.00	Luminance (W/m 2 )	812,3
			Temperature ( oC )	28,4
			DC Output (W)	133,8
	6	08.00 - 14.00	AC Output (W)	128,7
			Luminance (W/m 2 )	603,9
			Temperature ( oC )	28,7
	7	08.00 - 14.00	DC Output (W)	116,5
			AC Output (W)	112
			Luminance (W/m 2 )	456,3
8	08.00 - 14.00	Temperature ( oC )	28,6	
		DC Output (W)	103	
		AC Output (W)	99	
9	08.00 - 14.00	Luminance (W/m 2 )	460,4	
		Temperature ( oC )	28,5	
		DC Output (W)	107,3	
10	08.00 - 14.00	AC Output (W)	103,15	

C. Hasil Pengukuran Langsung di Lokasi

Pengukuran langsung ini meliputi pengukuran intensitas cahaya, suhu, dan emisi cahaya. Dari pengukuran ini, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 5. Iradiasi Matahari Rata-Rata Menurut Cuaca

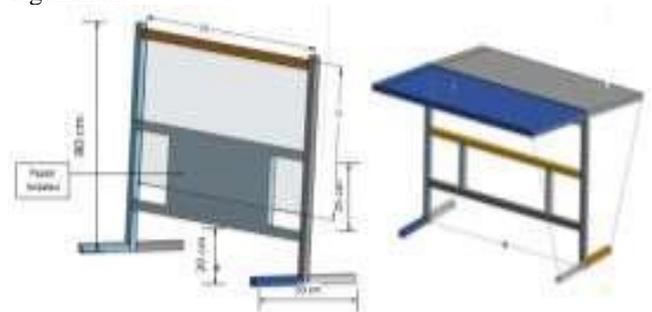


Gambar 6. Intensitas Cahaya Rata-rata Menurut Cuaca

Berdasarkan Gambar 5 dan 6 mengenai nilai rata-rata penyinaran matahari dan intensitas cahaya, dapat dilihat bahwa grafik yang dihasilkan memiliki kemiripan. Pada saat cuaca panas nilai yang dihasilkan tinggi, nilai ini akan menurun sesuai dengan kondisi cuaca yang terjadi. Penyinaran dan intensitas cahaya terendah didapatkan pada kondisi gerimis atau hujan, hal ini disebabkan karena matahari tertutup oleh awan dan hujan.

D. Hasil Desain

Perancangan sistem PLTS *On-Grid* membutuhkan sebuah wadah atau tempat untuk menopang seluruh sistem yang dirancang. Berdasarkan rancangan yang telah dibuat, dan setelah mengetahui kebutuhan komponen-komponen yang digunakan, maka dibuatlah desain rangka yang fungsinya untuk menempatkan seluruh komponen tersebut. Gambar 7 di bawah ini adalah desain rangka yang digunakan:



Gambar 7. Desain Rangka

Desain ini dibuat dengan mempertimbangkan kebutuhan, sehingga harus dibuat secara sederhana dan

dapat dipindah-pindahkan (*mobile*). Rangka diatas dibuat dengan dua buah pilar dengan tinggi 80 cm, dua buah kaki penyangga dengan panjang 50 cm, tiga buah penyangga baja tengah dengan panjang masing-masing 100 cm. Kemudian terdapat papan instalasi yang berjarak 20 cm dari lantai. Besi penyangga bagian atas berfungsi sebagai gantungan panel surya. Panel surya yang digantung pada rangka dapat dibuka ketika digunakan dan dapat dilipat ketika tidak digunakan. Di bawah ini adalah gambar implementasi desain rangka dan pemasangan PLTS *On Grid*:



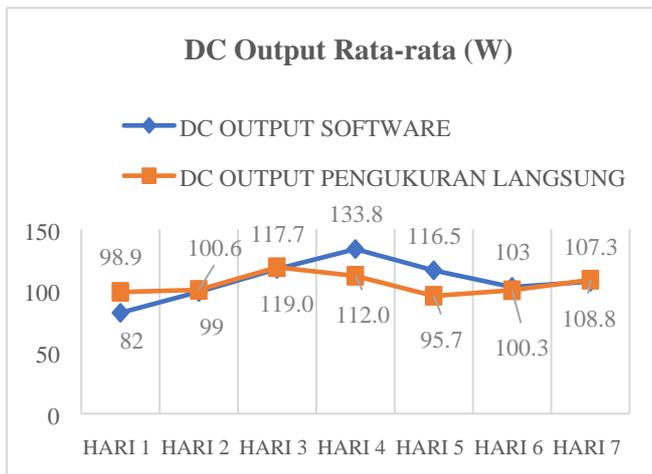
Gambar 8. Rangka dan Instalasi Listrik

E. Analisis

Pengujian dan pengukuran dilakukan selama 7 hari dan pengambilan data selama 6 jam dari jam 08.00 WIB sampai jam 14.00 WIB. Pengujian menggunakan 2 buah panel surya dengan spesifikasi 100 Wp yang dihubungkan secara seri. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil pengujian DC *Output* dan AC *Output*.

1. Hasil Pengukuran *Output* DC

Setelah melakukan pengukuran langsung pada panel surya yang terpasang di lokasi, data pada tabel 4 dapat dibandingkan dengan data yang diukur langsung di lokasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 9 di bawah ini:



Gambar 9. Grafik Output DC

Hasil pada Gambar 9 menunjukkan bahwa daya tertinggi pada pengukuran *software* simulasi adalah 133.8W sedangkan pada pengukuran langsung nilai terbesarnya adalah 117.7W. Daya terendah yang didapatkan pada perangkat lunak adalah 82W, sedangkan pada pengukuran langsung adalah 98,9W.

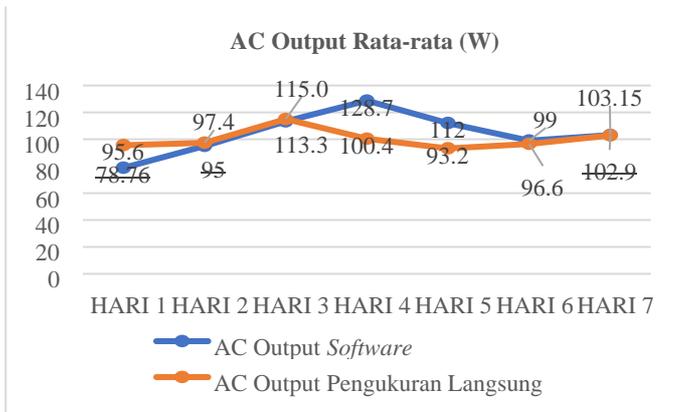
Pengukuran langsung di lokasi juga mendapatkan hasil daya yang diserap oleh inverter, tegangan, arus dan faktor daya. Tabel di bawah ini adalah hasil pengukuran pada *output* inverter:

TABEL V. HASIL PENGUKURAN OUTPUT AC

Hari	Waktu	Parameter	Rata-rata Nilai	Energi / hari (kWh)
1	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	95.6	592
		Current (A)	0.46	
		Voltage (V)	228	
		PowerFactor	0.9	
2	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	97.4	687
		Current (A)	0.47	
		Voltage (V)	226	
		PowerFactor	0.9	
3	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	115	433
		Current (A)	0.56	
		Voltage (V)	225.6	
		PowerFactor	0.9	
4	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	100.4	694
		Current (A)	0.49	
		Voltage (V)	227.6	
		PowerFactor	0.9	
5	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	93.2	401
		Current (A)	0.45	
		Voltage (V)	227.6	
		PowerFactor	0.9	
6	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	96.6	548
		Current (A)	0.65	
		Voltage (V)	225	
		PowerFactor	0.9	
7	08.00 - 14.00	Power absorbed (Watt)	102.9	732
		Current (A)	0.51	
		Voltage (V)	227	
		PowerFactor	0.9	
<b>Rata-rata Energi</b>				<b>584</b>

2. Hasil Pengukuran *Output* AC

Dari hasil pengukuran pada tabel 5 dapat dilihat perbandingan nilai pengukuran langsung dengan hasil pengukuran yang tersedia di *website* pv watts seperti yang terlihat pada gambar 10 di bawah ini:



Gambar 10. Grafik Output AC

Kondisi cerah, mendung, gerimis atau hujan sangat mempengaruhi parameter yang diuji. Hal ini menyebabkan tegangan dan arus pada panel surya menurun, sehingga menyebabkan daya input inverter dan *output* inverter menjadi sangat kecil. Hasil pengujian pada beberapa cuaca adalah sebagai berikut:

TABEL VI. OUTPUT AC MENURUT CUACA

Cuaca	PV Voltage (V)	PV Current (A)	Voltage (V)	Current (A)	AC Output (Watts)
Panas	38	4.1	230	0.67	156
Mendung	36	2.08	230.4	0.32	73,728
Gerimis	35	0.71	224.6	0.11	24,706

Berdasarkan tabel 6 dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan ketika cuaca panas lebih tinggi yaitu 156 watt, ketika cuaca mendung daya maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 73.728 watt, sedangkan pada kondisi gerimis daya maksimum yang dapat dihasilkan hanya sebesar 24.706 watt. Berdasarkan Tabel 4.2 dan Gambar 4.4, intensitas cahaya tertinggi didapatkan pada hari ke-7 dengan nilai 163700 lux hingga 182100 lux. Rata-rata *output* ac yang didapatkan pada hari ke-7 adalah 102.9W, sedangkan data dari *software* adalah 103.15W. Kondisi mendung didapatkan pada hari ke-5 pengukuran, intensitas cahaya yang didapatkan sangat rendah yaitu 20780 lux. Hal ini juga mempengaruhi rata-rata *output* ac pada pengukuran di lapangan, yaitu sebesar 96.6W dan nilai ini hampir mirip dengan prakiraan simulasi yaitu 99W. *Output* ac terendah didapatkan pada hari ke-2 pengukuran di lokasi yaitu 95W, nilai ini juga hampir menyerupai prediksi simulasi yaitu 97,4W.

Setelah mendapatkan data pengukuran mengenai daya *output* DC dan AC, pengujian selanjutnya adalah mengukur daya output saat beban terpasang. Jenis beban pada pengujian adalah sebagai berikut:

TABEL VII. TIPE BEBAN YANG DIGUNAKAN

Jenis Beban	Alat	Power (watts)
Resistive load	Lampu LED	4.5
	Penanak nasi	375.9
Inductive load	Kipas	32.7
	Bor listrik	175.7
<b>Total power</b>		<b>588.8</b>

Tabel 7 menunjukkan bahwa daya pada setiap beban yang digunakan berbeda. Hal ini dilakukan untuk menguji apakah sistem PLTS yang dibuat dapat menahan beban sebesar 588,8W. Jika diasumsikan beban ini menyala selama 6 jam bersamaan dengan penggunaan PLTS, maka berdasarkan persamaan 8 dapat diketahui efisiensi dari PLTS:

$$E_t = 588W \times 6h \tag{8}$$

$$E_t = 3.528Wh$$

Sehingga

$$\eta = \frac{584Wh}{3.528Wh} \times 100\%$$

$$\eta = 16.5\%$$

Berdasarkan Gambar 7 dan 8, diketahui bahwa daya yang diserap oleh panel surya akan berkurang ketika disalurkan ke inverter dan beban. Perbandingan *error* nilai pengukuran *software* dan pengukuran langsung dapat dihitung menggunakan persamaan RMSE (*Root Mean Square Error*). *Error output* DC pengukuran langsung dan *software* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 9 berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{(98.9 - 82)^2 + (100.6 - 99)^2 + \dots + (108.8 - 107.3)^2}{7}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1207.457}{7}}$$

$$RMSE = \sqrt{172.49}$$

$$RMSE = 13.13$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai *error* yang terjadi antara nilai peramalan dengan nilai aktual adalah sebesar 13.134. Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka *error output* AC yang dihasilkan dari data yang diambil pada Gambar 4 adalah:

$$RMSE =$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(95.6 - 78.76)^2 + (97.4 - 95)^2 + \dots + (102.9 - 103.15)^2}{7}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1452.63}{7}}$$

$$RMSE = \sqrt{207.518}$$

$$RMSE = 14.4$$

Hasil *error* yang didapat pada perbandingan *output AC software* dan *output AC* serta pengukuran langsung adalah sebesar 14.4. Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai yang terukur menggunakan *software* hampir sama dengan nilai yang terukur di lokasi penelitian langsung. Semakin besar *error* yang didapat maka nilai pada simulasi tidak dapat dijadikan acuan untuk mendesain suatu sistem. Sebaliknya, jika nilai *error* yang didapat kecil, maka *software* simulasi dapat digunakan sebagai acuan untuk merancang suatu sistem.

3. *Cost Performance*

*Cost Performance* adalah metode untuk menghitung efisiensi biaya yang dikeluarkan dalam membuat suatu produk terhadap kinerja yang diberikan oleh produk tersebut. *Cost performance* dapat diidentifikasi dengan menggunakan dua aspek, yaitu modal awal dan menghitung BEP (*Break Even Point*).

F. Modal Awal

Desain Pembuatan sebuah produk membutuhkan data biaya yang dikeluarkan untuk melengkapi alat dan bahan. Hal ini dilakukan agar biaya keseluruhan pembuatan alat sebanding dengan fungsi dari alat tersebut. Oleh karena itu seluruh biaya yang dikeluarkan dalam penelitian ini telah disusun dalam rancangan anggaran biaya pembuatan sistem PLTS *On-Grid* di bawah ini:

TABEL VIII. BIAYA BAHAN

HARGA BAHAN			
ITEM: PLTS ON GRID			
TOTAL: 1			
No	Komponen	Jumlah	Harga
1	Solar cells solar panels sunasia 100 wp Mono inverters grids tie 600 W	2	IDR 1,370,000
2	GTI solar panel solar PLTS PV Input 22-60V	1	IDR 1,245,000
3	Electrical metering socket Digital KWH	1	IDR 104,800
4	Y skunk	1 pack	IDR 30,000
5	Terminal Block 1512	1	IDR 12,000
6	Wall mount plug	1	IDR 13,500
7	Black round fittings	1	IDR 6,000
8	3P socket	1	IDR 19,000
9	Cable ties	1 pcs	IDR 16,000
10	MCB 4A SHUKAKU	1	IDR 25,000
11	NYM cable 1.5mm	4m	IDR 24,000
12	1P socket	1	IDR 13,500
13	Melamine Board 60x30cm	2	IDR 70,000

14	mcb box	1	IDR 5,000
15	Screw	15	IDR 5,000
16	2cm bolt	10	IDR 10,000
17	Bolt rings	10	IDR 10,000
18	Nut and bolt	10	IDR 10,000
<b>Total harga komponen</b>			<b>IDR 2,983,800</b>
Biaya jasa pembuatan		Biaya jasa pengelasan: IDR 300,000	
Pekerjaan dilakukan 1 hari Dikerjakan oleh 1 orang		Biaya jasa pengolahan bahan: IDR 300,000	
		Biaya penambahan bahan	
		Total layanan + bahan bingkai: <b>IDR 650,000</b>	
<b>Total Keseluruhan Biaya</b>			<b>IDR 3,633,800</b>

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa biaya pembuatan sistem PLTS *On-Grid* adalah Rp 3.633.800. Biaya pemeliharaan sistem PLTS biasanya 1-2% dari investasi awal. Artinya total modal awal untuk PLTS dan perawatan adalah sebagai berikut:

$$\text{Total biaya PLTS} = (1\% \times \text{Rp } 3.633.800) + \text{Rp } 3.633.800$$

$$\text{Total biaya PLTS} = \text{Rp } 3.670.138$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa modal awal untuk membuat sistem PLTS *On Grid* dan pemeliharaannya adalah Rp 3.670.138

G. Perhitungan BEP (*Break Even Point*)

Penggunaan PLTS dengan daya 200Wp dapat beroperasi selama 6 jam dan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 1200Wh per hari pada saat cuaca cerah maupun panas. Berdasarkan Tabel 4.3, pada kondisi mendung atau gerimis, daya yang dihasilkan sistem turun hingga 63%. Berdasarkan daya yang dihasilkan oleh sistem, maka dapat dihitung berapa lama waktu yang dibutuhkan agar investasi untuk membangun PLTS ini dapat kembali modal dengan persamaan BEP (*Break Even Point*). Tarif listrik dengan daya 900VA adalah Rp 1.352 per kWh. Jika diasumsikan terdapat dua musim setiap tahunnya, yaitu musim kemarau selama 6 bulan dan musim hujan selama 6 bulan, maka dapat dihitung biaya tagihan yang harus dikeluarkan:

Musim kemarau selama 6 bulan:

$$\text{Tarif Listrik} = 1.2kWh \times \text{Rp } 1.352$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 1,622.4 \text{ -/hari}$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 1,622.4 \times 183 \text{ hari}$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 296,899.2, \text{ -/ 6 bulan}$$

Musim penghujan selama 6 bulan:

$$\text{Tarif Listrik} = 0.438kWh \times \text{Rp } 1.352$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 592,176 \text{ -/hari}$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 592,176 \times 182 \text{ hari}$$

$$\text{Tarif Listrik} = \text{Rp } 107.776, \text{ -/6 bulan}$$

Maka total biaya yang dapat dihemat dalam satu tahun, disesuaikan dengan cuaca, adalah:

$$\begin{aligned} \text{Tarif Listrik} &= \text{Rp } 296.899,2, + \text{Rp } 107.776, -/\text{Tahun} \\ \text{Tarif Listrik} &= \text{Rp } 404.675,2 -/\text{Tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan tarif listrik di atas, dapat dihitung berapa lama waktu yang dibutuhkan biaya pembangunan PLTS *On-Grid* untuk kembali modal dengan persamaan.

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{Rp. } 3.670.138}{\text{Rp. } 404.675,2} \\ \text{BEP} &= 9,1 \text{ Tahun} \end{aligned}$$

Sehingga dapat diketahui bahwa biaya pembangunan PLTS akan kembali dalam waktu kurang lebih 9,1 tahun.

#### H. Performance Ratio

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data pada perangkat lunak pvwatts, ditemukan bahwa:

TABEL IX. TABEL IRADIASI

Periode	Rata-rata Iradiasi (kWh/m <sup>2</sup> )	Luas Generator (m <sup>2</sup> )	Efisiensi PV(%)	Energi Aktual yang Dihasilkan (kWh)
PLTS 1 Tahun	161.4	1,188	16.93	30.4

Berdasarkan Tabel 9, nilai iradiasi yang diekstrapolasi ke generator dapat dihitung dengan persamaan 11 berikut:

$$\begin{aligned} H_{eks} &= 161.4 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \times 1.188 \text{ m}^2 \quad (11) \\ H_{eks} &= 191.74 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Dari nilai yang diperoleh di atas, daya yang seharusnya dibangkitkan dapat diketahui dengan persamaan 12:

$$\begin{aligned} P_{\text{prediction}} &= 191.74 \text{ kWh} \times 16.93\% \quad (12) \\ P_{\text{prediction}} &= 32.46 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Nilai *performance ratio* didapatkan dari perbandingan antara energi aktual yang dihasilkan dengan energi prediksi yang dihasilkan sesuai dengan spesifikasi pabrik, sehingga nilai ini dapat dihitung dengan persamaan 13:

$$\begin{aligned} PR &= \frac{30.4 \text{ kWh}}{32.46 \text{ kWh}} \quad (13) \\ PR &= 0.93 \approx 93\% \end{aligned}$$

#### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis sistem PLTS *On-Grid* sebagai Penunjang Daya Listrik Skala Rumah Tangga dapat disimpulkan bahwa:

Hasil rancang bangun dan pengujian sistem PLTS *OnGrid* 200Wp di rumah dengan daya listrik 900VA bekerja dengan baik. Penelitian dan perancangan dibuat berdasarkan Pedoman Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat.

Pengujian sistem dilakukan selama 6 jam dengan 2 jenis beban, yaitu beban resistif dan beban induktif. Beban resistif yang digunakan dalam pengujian adalah lampu dengan daya 4,5W dan penanak nasi 375,9W. Beban induktif yang

digunakan adalah kipas angin dengan daya 32,7W dan bor listrik dengan daya 175,7W. Total daya keseluruhan yang digunakan dalam pengujian adalah 588 watt. Hasil dari pengujian ini menunjukkan bahwa nilai efisiensi dari PLTS yang digunakan untuk menyokong beban rumah tangga adalah 16,5%.

Pengujian kinerja dilakukan dengan menghitung efisiensi PLTS, RMSE (*Root Mean Square Error*) dan return on investment dengan menggunakan perhitungan BEP (*Break Even Point*). Nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) untuk pengukuran daya sebesar 13,34 untuk keluaran DC dan 14,4 untuk keluaran AC. Berdasarkan perhitungan BEP (*Break Even Point*), dengan biaya pemakaian listrik satu hari sebesar Rp 444.132 dan pengadaan PLTS sebesar Rp 3.670.138, dengan *performance ratio* sebesar 0,93, maka modal pembuatan PLTS ini akan kembali dalam kurun waktu 9,1 tahun.

#### REFERENSI

- [1] Afandi, A. N., Fadlika, I., Gumilar, L., Andriansyah, M. R., Mistakim, E., Fakhri, A. S., Muazib, A., Robith, M., Asyhari, I., & Sidiq, M. F. (2021). Design of off-grid system of solar power generation (PLTS) as a learning module for students of Universidade Oriental de Timor Lorosa'e (UNITAL). [Online]. Available: [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net)
- [2] Asrori, A., Yudiyanto, E., & Accepted, N. (2019). Study of panel surface temperature characteristics on installation performance of mono and polycrystalline solar panels information article abstract (Issue 2). [Online]. Available: <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jwl>
- [3] Bagaskoro, B., Windarta, J., & Denis, D. (2019). Design and economic analysis of off-grid system solar power generation techniques using HOMER software in Cemara Island beach tourism area (Vol. 8, Issue 2). [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [4] Holmes, D. G., Lipo, T. A., McGrath, B. P., & Kong, W. Y. (2009). Optimized design of stationary frames three-phase AC current regulators. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 24(11), 2417–2426. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2009.2029548>
- [5] Irfan, M. (2017). Technical and economic planning of on-grid system solar power plants.
- [6] Kariongan, Y. (2022). Planning and economic analysis of a rooftop solar power plant with an on-grid system as an additional power supply at the Mimika District Hospital, 6(1), 3763–3773.
- [7] Kusmanto, A., Novita, M., & Thindriati, W. (2018). Planning of solar energy sources in the main building of PGRI University Semarang with on-grid system.
- [8] Nauwir, H., Yusuf Yunus, M., & Elvikasari, N. (n.d.). Design and build PLTS and Genset hybrid power plant as load supply for remote areas.
- [9] Nauwir, H., Yusuf Yunus, M., & Elvikasari, N. (2017). Design and build PLTS and Genset hybrid power plant as load supply for remote areas.
- [10] Perdana, Y., Wardiah, I., & Yohanes, E. (2018). Planning of on-grid 5500-watt solar power plant at Academy Boarding House.
- [11] Pramudita, B. A., Sri Aprillia, B., & Ramdhani, M. (2020). Economic analysis of on-grid PLTS for 2200 VA house, 1(2).
- [12] Rizali, M., & Irwandy. (2015). Effect of solar cell surface temperature on power in experimental and real conditions.
- [13] Safitri, R. U. (2021). What is the definition of PLTS on-grid, off-grid, and hybrids. [Online]. Available: <https://cee.co.id/apa-pengertian-plts-on-grid-off-grid-dan-hybrid/>
- [14] Sianipar, R. (2014). Basic planning of solar power plant, 11, 61–78.
- [15] Suripto, H. (2021). Design of solar energy 300 WP as electrical energy support for hybrid energy systems. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 02(02), 2722–4279. <https://doi.org/10.35970/accurate.v2i2.1079>
- [16] Widiharsa, F. A. (2006). Characteristics of solar panel with variation of radiation intensity and panel surface temperature. *Transmission*, 4, 233–242.
- [17] Wiriastika, I. P. D., Setiawan, I. N., & Sukerayasa, I. W. (2022). Planning for a solar power plant at the local garbage treatment site

- for Werdi Guna, Gunaksa Village, Klungkung Regency (Vol. 9, Issue 1).
- [18] Kariongan, Y. (2022). Planning and economic analysis of a rooftop solar power plant with an on-grid system as an additional power supply at the Mimika District Hospital, 6(1), 3763--3773.
- [19] Pramudita, B. A., Sri Aprillia, B., & Ramdhani, M. (2020). Economic analysis of on-grid PLTS for 2200 VA house, 1(2).
- [20] Suropto, H. (2021). Design of solar energy 300 WP as electrical energy support for hybrid energy systems. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 02(02), 2722--4279.
- [21] Wiriastika, I. P. D., Setiawan, I. N., & Sukerayasa, I. W. (2022). Planning for a solar power plant at the local garbage treatment site for Werdi Guna, Gunaksa Village, Klungkung Regency (Vol. 9, Issue 1).
- [22] Perdana, Y., Wardiah, I., & Yohanes, E. (2018). Planning of on-grid 5500-watt solar power plant at Academy Boarding House.