

## Pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Mushalla Al Barkah di Kecamatan Pauh, Kota Padang

Valdi Rizki Yandri<sup>1\*</sup>, Wiwik Wiharti<sup>2</sup>, Zulka Hendri<sup>3</sup>, Lenny Novi Hendri<sup>4</sup>, Fairuz Kafur Bistra<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Kelompok Bidang Keahlian Sistem Instrumentasi dan Kendali Kelistrikan,  
Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia

<sup>5</sup> Program Studi D3 Teknik Listrik, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia

Email: [valdi@pnp.ac.id](mailto:valdi@pnp.ac.id)<sup>1</sup>; [wiwikwiharti@pnp.ac.id](mailto:wiwikwiharti@pnp.ac.id)<sup>2</sup>; [zulkahendri@pnp.ac.id](mailto:zulkahendri@pnp.ac.id)<sup>3</sup>; [lennynovi@pnp.ac.id](mailto:lennynovi@pnp.ac.id)<sup>4</sup>

### Abstract

*The Al Barkah prayer room is located in Lambung Bukit Village, Pauh District, Padang City and still frequently experiences power outages. This condition often causes disturbances to residents when carrying out their worship, so an alternative source of electricity is needed, namely a Solar Power Plant (SPP). The electrical load in this prayer room consists of 8 lamp units. The optimal time for SPP energy conversion is morning until midday, around 08.00 to 12.00. The effect of temperature on the efficiency of the SPP system can be seen from the decrease in power produced even though the intensity of sunlight is still high. This analysis provides a general overview of the performance of SPP without load in one day, showing the importance of monitoring temperature and sunlight intensity to optimize electrical energy output. At noon, around 12:00 to 13:00, the SPP system reaches peak energy conversion. The voltage and current reached their highest values, with power reaching 146.2 W at 12:00 and decreasing slightly to 119.7 W at 13:00 even though the sun's intensity reached its highest peak, namely 1115 W/m<sup>2</sup>. In the afternoon, from 14:00 to 17:00, it shows a significant drop in voltage, current and power. At 14:00, the power produced is still quite high, namely 142.1 W, with a solar intensity of 1009 W/m<sup>2</sup>. However, after 15:00, the power generated decreases drastically, only reaching 36.3 W at 15:00 and decreasing further to 23.5 W at 17:00, with a solar intensity of only 100 W/m<sup>2</sup>.*

*Keywords: solar power plant, electrical energy; temperature; solar intensity*

### Abstrak

Mushalla Al Barkah terletak di Kelurahan Lambung Bukit, Kecamatan Pauh, Kota Padang yang masih sering mengalami pemadaman listrik. Kondisi ini menyebabkan sering terganggunya warga saat melaksanakan ibadah sehingga diperlukan sumber tenaga listrik alternatif yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Beban listrik di mushalla ini terdiri dari 8 unit lampu. Waktu optimal untuk konversi energi PLTS adalah pagi hingga menjelang tengah hari, sekitar pukul 08.00 hingga 12.00. Pengaruh temperatur terhadap efisiensi sistem PLTS terlihat dari penurunan daya yang dihasilkan meskipun intensitas cahaya matahari masih tinggi. Analisis ini memberikan gambaran umum tentang kinerja PLTS tanpa beban dalam satu hari, menunjukkan pentingnya pemantauan temperatur dan intensitas cahaya matahari untuk mengoptimalkan output energi listrik. Pada tengah hari, sekitar pukul 12:00 hingga 13:00, sistem PLTS mencapai puncak konversi energi. Tegangan dan arus mencapai nilai tertinggi, dengan daya mencapai 146,2 W pada pukul 12:00 dan sedikit menurun menjadi 119,7 W pada pukul 13:00 meskipun intensitas matahari mencapai puncak tertinggi yaitu 1115 W/m<sup>2</sup>. Pada sore hari, mulai pukul 14:00 hingga 17:00, menunjukkan penurunan signifikan pada tegangan, arus, dan daya. Pada pukul 14:00, daya yang dihasilkan masih cukup tinggi, yaitu 142,1 W, dengan intensitas matahari 1009 W/m<sup>2</sup>. Namun, setelah pukul 15:00, daya yang dihasilkan menurun drastis, hanya mencapai 36,3 W pada pukul 15:00 dan menurun lebih lanjut menjadi 23,5 W pada pukul 17:00, dengan intensitas matahari hanya 100 W/m<sup>2</sup>.

*Kata kunci: PLTS; energi listrik; temperatur; intensitas cahaya matahari.*

## PENDAHULUAN

Penggunaan PLTS dapat bersifat *on-grid*, yang tersambung ke jaringan distribusi PT. PLN (Persero) atau *off-grid*, tidak tersambung ke jaringan distribusi [1]. Dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, PLTS yang digunakan bersifat *off-grid* karena hanya akan digunakan untuk kebutuhan fasilitas ibadah Mushalla Al-Barkah, Kelurahan Lambung Bukit, Kecamatan Pauh, Kota Padang. Pemadaman listrik yang sering terjadi di daerah ini dapat mengganggu aktivitas warga di mushalla. Oleh karena itu, pemasangan PLTS yang berjenis *off-grid* di mushalla ini diharapkan dapat membantu warga saat terjadinya pemadaman listrik dan juga dapat mengurangi beban listrik bagi PT. PLN (Persero).

Pada mushalla ini, terdapat 7 unit lampu dengan perkiraan konsumsi energi listrik adalah 685 Wh. Kondisi daerah Kelurahan Lambung Bukit yang terpapar sinar matahari secara sempurna membuat PLTS menjadi salah satu pembangkit yang sangat potensial untuk diaplikasikan. Selain itu, pembangunan PLTS ini juga berkontribusi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan keberlanjutan energi. Secara umum, pada permasalahan untuk pemasangan listrik tenaga surya dapat memberikan suplai energi penerangan di mushalla Al-Barkah yang berada pada lokasi di atas bukit.

Akses dan mobilisasi yang sulit menuju lokasi menjadikan biaya investasi pengembangan jaringan listrik atau pembangkit konvensional menjadi besar, serta biaya operasional dan pemeliharaan yang sedikit akibat sulitnya jalur transportasi menuju lokasi. Penggunaan sistem PLTS *off-grid* dengan mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber listrik dapat mengurangi polusi udara. Sistem PLTS *off-grid* merupakan solusi terbaik dalam penyediaan energi listrik di daerah terpencil dengan memanfaatkan energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik untuk melayani kebutuhan listrik penduduk dengan sistem pengoperasian dan perawatan yang sangat mudah serta dapat berfungsi selama 10 tahun tanpa adanya penggantian peralatan.

Pemilihan Sistem PLTS *off-grid* didasarkan atas pertimbangan beberapa faktor, yaitu pola pemukiman antar rumah yang cukup menyebar, sulit untuk mendapatkan transportasi darat, belum memerlukan integrasi dengan pembangkit lain, modular dan mudah dikembangkan, kapasitas kecil sehingga mudah di instalasi, harga terjangkau, radiasi matahari sebagai sumber energi mencukupi dan tidak tergantung terhadap bahan bakar minyak [2]. Perancangan dan pemasangan PLTS *off-grid* dilakukan pada Al-Barkah di Kelurahan Limau Manis, Kecamatan Pauh, Kota Padang. PLTS *off-grid* ini akan memasok kebutuhan beban penerangan pada beberapa titik lampu pada mushalla tersebut. Kondisi Mushalla Al Barkah saat awal pembangunan dan saat ini ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b. Kondisi lingkungan di sekitar Mushalla Al Barkah ditunjukkan pada Gambar 1c. Lokasi Mushalla Al-Barkah ditinjau dari aplikasi *Google Maps* ditunjukkan pada Gambar 1d.



(a)



(b)



Gambar 1 (a) Kondisi Mushalla Al-Barkah saat awal Pembangunan (b) Kondisi Mushalla Al-Barkah saat ini (c) Kondisi lingkungan di sekitar Mushalla Al-Barkah (d) Lokasi Mushalla Al-Barkah ditinjau dari aplikasi *Google Maps*

## METODE PELAKSANAAN PENGABDIAN

### Perencanaan Pemasangan PLTS

Secara umum, sistem PLTS terdiri dari *solar panel*, *solar charge controller* (SCC), inverter, kabel instalasi dan akumulator [3], [4]. Solar panel berfungsi untuk menyerap energi cahaya dan mengkonversi menjadi energi listrik. SCC berfungsi sebagai untuk mengendalikan *charging* akumulator, sedangkan inverter berfungsi untuk merubah arus searah dari akumulator menjadi arus bolak-balik sebelum disalurkan ke beban listrik AC [5], seperti lampu dan pompa air. Pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, sistem PLTS *off-grid* yang dirancang ditunjukkan pada Gambar 2.

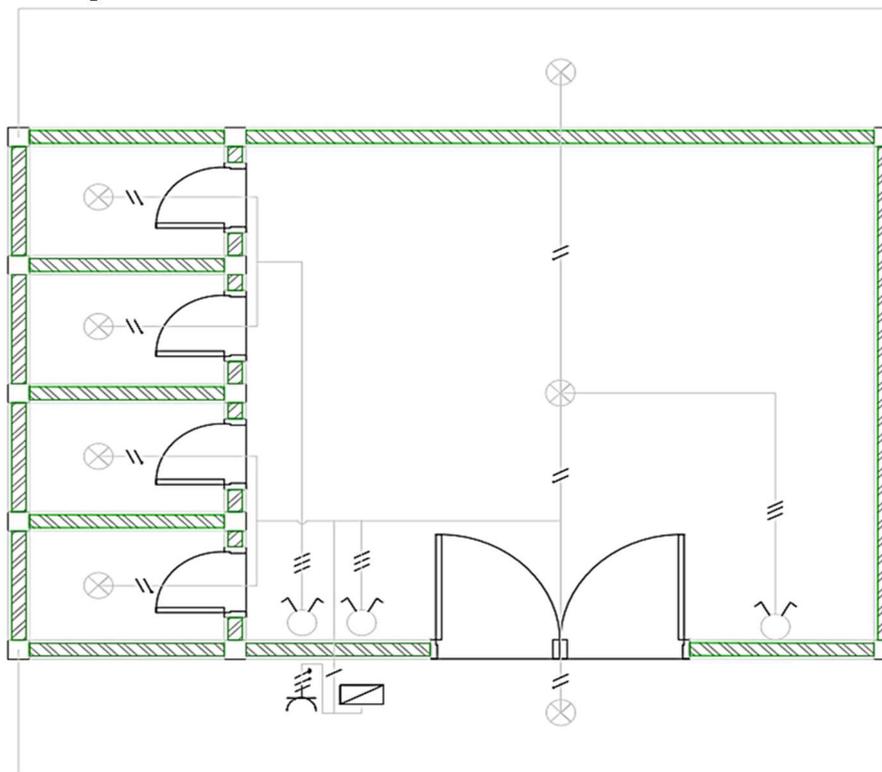


Gambar 2. Sistem PLTS *off-grid* yang dirancang untuk dipasang pada Mushalla Al Barkah

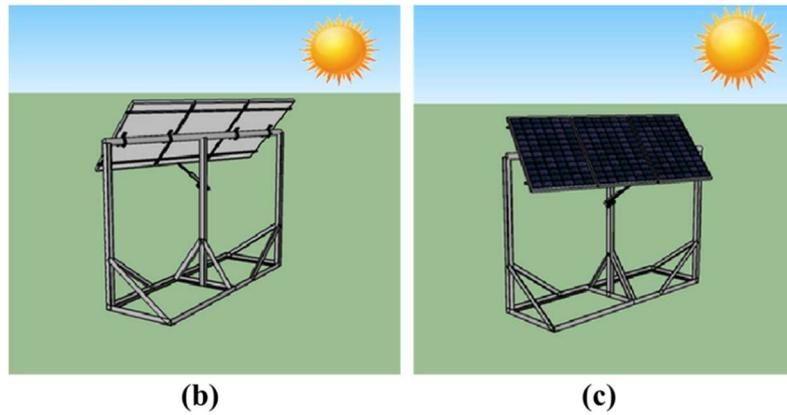
Rangkaian instalasi PLTS *off-grid* terdiri dari 3 solar panel yang terhubung secara seri paralel, input (+) dari *solar panel* 1 terhubung ke input (+) *solar panel* 2, keluaran dari (+) kedua panel tersebut terhubung ke masukan (+) MCB DC, (+) dari *solar panel* 3 terhubung ke (-) *solar panel* 2 dan *solar panel* 1, keluaran dari *solar panel* 3 (-) terhubung ke masukan (-) MCB DC, keluaran (+) dari MCB DC terhubung ke (+) SCC, keluaran (-) dari MCB DC terhubung ke (-) SCC. Terminal SCC yang bergambar baterai terhubung ke input dan *output* dua buah aki yang terhubung secara seri. Kemudian input dan *output* aki terhubung ke input inverter. Keluaran (+) dari inverter terhubung ke MCB dan keluaran dari MCB terhubung ke (+) lampu, keluaran (-) dari inverter terhubung ke (-) lampu yang digunakan sebagai beban dari rangkaian ini.

### Perancangan Konstruksi Solar Panel dan Beban Listrik

Denah instalasi beban PLTS *off-grid*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3a, menggunakan beberapa komponen, yaitu MCB AC 1 fasa dengan rating 2 A, untuk perlindungan sirkuit dengan beban ringan yang dipasang di panel distribusi dan mudah diakses untuk perawatan dan penggantian, saklar seri yang dipasang pada ketinggian yang nyaman untuk dioperasikan, biasanya sekitar 1,2 m dari lantai dan harus dipastikan bahwa koneksi kabel ke saklar kuat dan aman untuk menghindari percikan atau hubungan arus pendek. Komponen selanjutnya, yaitu elbow digunakan untuk perubahan arah jalur pipa, harus dipasang dengan benar untuk memastikan perlindungan kabel dan T dos untuk percabangan jalur pipa, harus dipasang dengan kuat dan aman untuk memudahkan distribusi kabel. Jenis kabel yang digunakan adalah NYA yang dipasang di dalam pipa atau saluran kabel untuk melindungi dari kerusakan fisik dan memastikan keselamatan. Rancangan konstruksi pada pembuatan PLTS *off-grid* dalam kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini ditunjukkan pada Gambar 3b dan 3c. Pada konstruksi tersebut terdapat 3 *solar panel* yang terhubung secara seri paralel dengan ukuran panel secara keseluruhan yaitu 2,21 m dan tinggi penyangga panel 1,50 m serta menggunakan *linear actuator* sebagai pengontrolan panel surya. Pada bagian belakang konstruksi tersebut terdapat kedudukan bearing yang berfungsi untuk menggerakkan *solar panel*.



(a)



Gambar 3 (a) Kontruksi PLTS *off-grid* tampak belakang (b) Kontruksi PLTS *off-grid* tampak depan (c) Denah Instalasi PLTS

Perencanaan beban pada PLTS *off-grid* membutuhkan perkiraan kebutuhan daya beban yang akan digunakan. Beban PLTS *off-grid* ini adalah beberapa lampu yang diuraikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perencanaan Beban PLTS

No.	Jenis Beban Listrik	Jumlah (unit)	Durasi Pemakaian (jam)	Daya (Watt)	Energi Listrik (Wh)
1	Lampu toilet	4	5	5	<b>100</b>
2	Lampu Tengah	1	5	45	<b>225</b>
3	Lampu depan	1	12	15	<b>180</b>
4	Lampu belakang	1	12	15	<b>180</b>
<b>Total konsumsi energi listrik</b>					<b>685</b>

### Perencanaan Komponen Instalasi PLTS *off-grid*

PLTS *off-grid* membutuhkan perencanaan alat yang baik agar dapat memenuhi kebutuhan beban. Komponen yang digunakan pada PLTS *off-grid* dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen yang digunakan pada PLTS

No.	Jenis Komponen	Spesifikasi
1	<i>Solar monocrystalline</i> sebanyak 3 unit	<i>panel</i> Rated maximum power ( $P_{max}$ ) : 120 WP Tolerance : 0 ~ +5% Voltage at $P_{max}$ ( $V_{mp}$ ) : 21,20 V Current at $P_{max}$ ( $I_{mp}$ ) : 5,67 A Open circuit volatge ( $V_{oc}$ ) : 24,58 V Short circuit voltage ( $V_{sc}$ ) : 6,38 A Normal operating cell temp (NOCT) : $47 \pm 2^{\circ}C$ Maximum system voltage : 1000 V DC Maximum series fuse rating : 10 A Operating temperature : 40 to + 85° C Application class : Class A Fire safety class : Class C Weight : 6,30 kg Dimension (mm) : 900 x 670 x 35 mm

No.	Jenis Komponen	Spesifikasi
2	Mppt Solar Charge Controller (12/24 V)	$I_{sc} = I_{sc} \text{ Panel} \times \text{jumlah panel}$ Jumlah panel = 3 Perhitungan = $I_{sc} \text{ panel} \times \text{jumlah panel}$ = $6,38 \times 3$ = 19,14 A  dimana $I_{sc}$ adalah arus SCC dan $I_{sc}$ adalah arus <i>short circuit panel</i> . Jadi kapasitas SCC yang diperlukan minimal 19,14 A. Kapasitas SCC yang tersedia di distributor yang paling mendekati nilai 19,14 A adalah 30 A.
3	Baterai aki (12 V/ 50 Ah)	Efisiensi baterai = 100%-5 % (rugi-rugi) = 95%  Energi + Cadangan = kebutuhan energi : efisiensi = $685 \text{ Wh} : 95\%$ = 721,05 Wh  Jumlah baterai = Daya listrik x kapasitas baterai = $721,05 \text{ Wh} : (12 \text{ V} \times 50 \text{ Ah})$ = $721,05 \text{ Wh} : 600 \text{ Wh}$ = 1,21 unit  Jadi jumlah baterai yang dibutuhkan sebanyak 2 unit (12 V) dengan kapasitas 50 Ah dan dimensi 260 x 173 x 201 x 225 (P x L x T x TT dalam mm)
4	Inverter (24 V/ 1000 W)	Bagian output: Model : STA1000B Output voltage : AC 220 V Output power : 650 W Peak power : 1000 W Frequency : 50 Hz USB : DC 5V 1A  Bagian input: No-load current : < 0,3A Working volt : DC 24 V Voltage range : 21 – 30 V Alarm voltage : 21 V Low voltage protection : 20,5 V Over voltage : 31 V Efficiency : >85% Product size : 24,5 x 12,5 x 7,5 cm Weight : 1,37 kg
5	Connector MC 4	2,5 - 6 m
6	Kabel Panel Surya	Ukuran 2,5 mm

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Instalasi PLTS *off-grid* membutuhkan waktu selama 2 bulan dimulai pada bulan Mei hingga bulan Juli 2024 yang meliputi perancangan alat, pembelian komponen, proses pembuatan atau perakitan alat dan proses pengujian alat pada PLTS *off-grid*. Hasil perancangan instalasi yang diterapkan pada PLTS *off-grid* ditunjukkan pada gambar 4. Pengujian perancangan instalasi PLTS *off-grid* dilakukan pada tanggal 30 Juli 2024 untuk mendapatkan data arus, tegangan, daya ketika tanpa beban

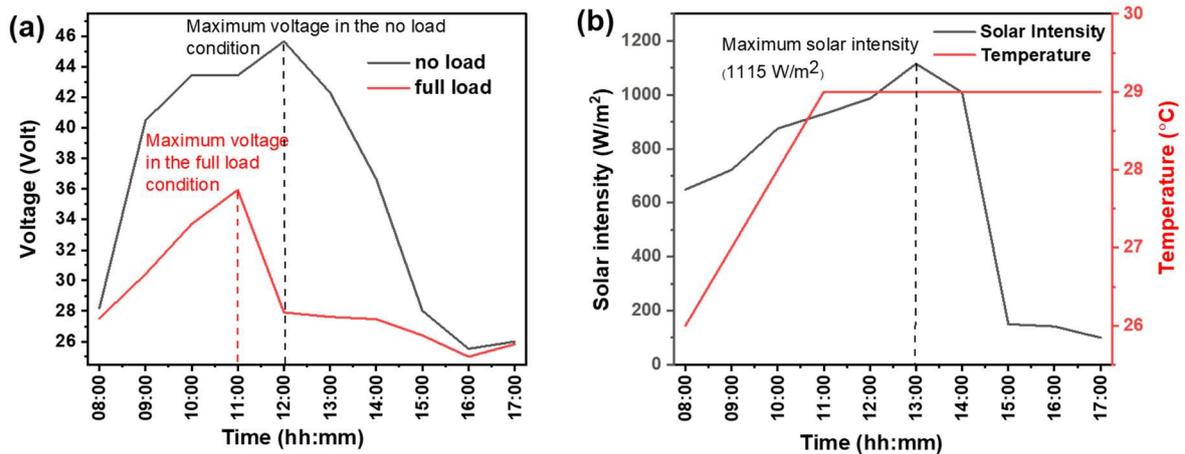
dan berbeban. Pengujian dimulai dari jam 08.00 WIB-17.00 WIB dengan jarak waktu pengujian satu jam. Pengujian ini menggunakan alat ukur *solar power meter* yang digunakan untuk mengukur radiasi matahari yang diterima oleh panel surya dalam satuan Watt per meter persegi ( $W/m^2$ ) dan menggunakan Watt meter untuk pengukuran *output* PLTS. Untuk pengukuran suhu cuaca menggunakan aplikasi cuaca yang terdapat di *smartphone*.



Gambar 4. Hasil Perancangan PLTS *off-grid* (a) *Solar panel* yang telah dipasang (b) Ruang untuk menyimpan inverter dan *panel box*

Berdasarkan data pengukuran PLTS tanpa beban yang dilakukan dari pukul 08.00 hingga 17.00 (Gambar 5a), dapat dianalisis beberapa pola kinerja sistem tersebut. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh panel surya menunjukkan peningkatan dari pagi hingga menjelang siang hari. Tegangan tertinggi tercatat pada pukul 14.00 dengan nilai 42,83 V, sementara arus tertinggi sebesar 3,73 A terjadi pada pukul 09.00. Daya listrik yang dihasilkan mencapai puncaknya pada pukul 09.00 dengan nilai 104,7 Watt, namun setelah itu cenderung menurun meskipun tegangan tetap tinggi. Intensitas matahari yang diterima oleh panel surya meningkat dari pagi hari, mencapai nilai tertinggi sebesar  $1115 W/m^2$  pada pukul 13.00 (Gambar 5b), kemudian menurun hingga sore hari. Suhu lingkungan juga mempengaruhi kinerja panel surya, dengan suhu yang stabil di sekitar  $29^{\circ}C$  setelah pukul 11.00. Meskipun intensitas matahari tetap tinggi, daya yang dihasilkan menurun setelah tengah hari, mengindikasikan bahwa suhu tinggi mungkin menurunkan efisiensi panel surya.

Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa waktu optimal untuk konversi energi surya pada PLTS adalah pagi hingga menjelang tengah hari, sekitar pukul 08.00 hingga 12.00. Pengaruh suhu terhadap efisiensi sistem terlihat dari penurunan daya yang dihasilkan meskipun intensitas matahari masih tinggi. Analisis ini memberikan gambaran umum tentang kinerja PLTS tanpa beban dalam satu hari, menunjukkan pentingnya pemantauan temperatur dan intensitas matahari untuk mengoptimalkan *output* energi [6], [7]. Temperatur dapat mempengaruhi kinerja *solar panel* karena saat jumlah foton yang diserap dari cahaya matahari kemudian dikonversi menjadi arus listrik bergantung pada temperatur [8], [9]. Hal ini diakibatkan oleh karakter material semikonduktor pada *solar panel* bersifat semakin konduktif jika temperatur semakin tinggi sehingga semakin banyak foton yang terserap dan dikonversi [10], [11].



Gambar 5. Hasil pengukuran tegangan listrik, *solar intensity* dan temperatur (a) Perbandingan tegangan listrik yang dihasilkan saat dalam kondisi berbeban dan tanpa beban listrik (b) Fluktuasi *solar intensity* dan temperatur pada pukul 08.00 – 17.00

Hasil pengukuran sistem PLTS *off-grid* dalam kondisi berbeban yang menggunakan tujuh buah lampu menunjukkan variasi tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan sepanjang hari, mulai dari pukul 08:00 hingga 17:00. Pada pagi hari, pukul 08:00, tegangan yang dihasilkan adalah 27,24 V dengan arus 2,94 A, menghasilkan daya sebesar 80 W. Intensitas matahari saat itu adalah 649 W/m<sup>2</sup> dengan suhu lingkungan 26°C. Seiring berjalannya waktu, tegangan, arus, dan daya terus meningkat seiring dengan meningkatnya intensitas matahari. Pada pukul 11:00, daya yang dihasilkan mencapai 142,2 W dengan intensitas matahari sebesar 929 W/m<sup>2</sup> dan suhu 29°C. Pada tengah hari, sekitar pukul 12:00 hingga 13:00, sistem PLTS mencapai puncak konversi energi surya menjadi energi listrik. Tegangan dan arus mencapai nilai tertinggi, dengan daya mencapai 146,2 W pada pukul 12:00 dan sedikit menurun menjadi 119,7 W pada pukul 13:00 meskipun intensitas matahari mencapai puncak tertinggi yaitu 1115 W/m<sup>2</sup>. Pada sore hari, mulai pukul 14:00 hingga 17:00, menunjukkan penurunan signifikan pada tegangan, arus, dan daya. Pada pukul 14:00, daya yang dihasilkan masih cukup tinggi, yaitu 142,1 W, dengan intensitas matahari 1009 W/m<sup>2</sup>. Namun, setelah pukul 15:00, daya yang dihasilkan menurun drastis, hanya mencapai 36,3 W pada pukul 15:00 dan menurun lebih lanjut menjadi 23,5 W pada pukul 17:00, dengan intensitas matahari hanya 100 W/m<sup>2</sup>.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa intensitas matahari memiliki pengaruh besar terhadap tegangan, arus, dan daya yang dihasilkan oleh sistem PLTS. Waktu optimal untuk konversi energi surya adalah sekitar pukul 11:00 hingga 14:00, ketika intensitas matahari berada pada puncaknya. konversi energi surya menurun drastis setelah pukul 15:00, seiring dengan menurunnya intensitas matahari. Suhu lingkungan relatif stabil sepanjang hari, sekitar 26°C hingga 29°C, dan tidak menunjukkan perubahan besar yang mempengaruhi kinerja sistem secara signifikan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Padang yang memfasilitasi dalam pengadaan dana kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dengan Kontrak Nomor 257/PL9.15/AL.04/2024, tanggal 22 April 2024.

### DAFTAR REFERENSI

- [1] Q. Hassan, "Evaluation and optimization of off-grid and on-grid photovoltaic power system for typical household electrification," *Renew. Energy*, vol. 164, pp. 375–390, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2020.09.008.
- [2] M. Naim, "Rancangan Sistem Kelistrikan Plts Off Grid 1000 Watt Di Desa Loeha Kecamatan Towuti," *Vertex Elektro*, vol. 12, no. 01, pp. 17–25, 2020.
- [3] T. E. K. Zidane *et al.*, "Grid-Connected Solar PV Power Plants Optimization: A Review," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 79588–79592, 2023.
- [4] L. Yao, Y. Wang, and X. Xiao, "Concentrated Solar Power Plant Modeling for Power System Studies," *IEEE Access*, vol. 39, no. 2, pp. 79590–79598, 2023.
- [5] F. Shaik, S. S. Lingala, and P. Veeraboina, "Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study," *Sustain. Energy Res.*, vol. 10, no. 6, 2023.
- [6] H. R. A. Ameer *et al.*, "A role of back contact and temperature on the parameters of CdTe solar cell," *Adv. Mater. Process. Technol.*, vol. 21, pp. 1–8, 2023, doi: <https://doi.org/10.1080/2374068X.2023.2168264>.
- [7] A. Gholami *et al.*, "Impact of harsh weather conditions on solar photovoltaic cell temperature: Experimental analysis and thermal-optical modeling," *Sol. Energy*, vol. 252, pp. 176–194, 2023, doi: 10.1016/j.solener.2023.01.039.
- [8] W. S. Ebhota and P. Y. Tabakov, "Influence of photovoltaic cell technologies and elevated temperature on photovoltaic system performance," *Ain Shams Eng. J.*, vol. 14, no. 7, p. 101984, 2023, doi: 10.1016/j.asej.2022.101984.
- [9] D. Parajuli *et al.*, "Numerical Approach of Single-Junction InGaN Solar Cell Affected by Carrier Lifetime and Temperature," *Pragya Darshan*, vol. 5, no. 1, pp. 15–23, 2023, doi: 10.3126/pdmdj.v5i1.52309.
- [10] D. Govindasamy and A. Kumar, "Evaluation of the impact of different composite phase change materials on reduction in temperature and enhancement of solar panel efficiency," *J. Energy Storage*, vol. 60, p. 106631, 2023, doi: 10.1016/j.est.2023.106631.
- [11] M. Sheikholeslami and Z. Khalili, "Enhancing photovoltaic solar panel performance with integration of PCM-based spectral filter and self-cleaning coating," *J. Build. Eng.*, vol. 94, p. 110019, 2024, doi: 10.1016/j.job.2024.110019.