



# Perancangan dan Implementasi PLTS 200 WP untuk Beban Penerangan dan Submersible Pump serta Analisis Kerusakan akibat Overload

Virgiawan Ramadhan Ahmad<sup>1</sup>, Desy Kristyawati<sup>2</sup>, Jamilah<sup>3</sup>, Fivi Syukriah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Universitas Gunadarma, 16426, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL	A B S T R A K
<p>Received: August 01, 25  Revised: Sept 05, 25  Available online: Sept 27, 25</p>	<p>Kebutuhan energi listrik diberbagai sektor yang terus meningkat berdampak pada tingginya biaya operasional, terutama untuk penerangan dan pengoperasian pompa air. Salah satu solusi yang berkelanjutan adalah penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid. Penelitian ini berfokus pada perancangan, implementasi dan evaluasi kinerja sistem PLTS off-grid berkapasitas 200 Wp yang diterapkan di Depok menggunakan modul surya polycrystalline untuk memenuhi beban listrik dasar. Metodologi penelitian meliputi perancangan dan instalasi sistem dengan kebutuhan energi total 1973,4 Wh dalam sehari untuk kepentingan beban maka potensi intensitas radiasi matahari harus melebihi dari 2000 Wh per harinya agar sanggup untuk memenuhi Watt/hour untuk keperluan PLTS untuk beban lampu sebanyak 2 dengan daya 45 W yang digunakan selama 10 Jam dan <i>submersible pump</i> dengan daya 40 W sebanyak 2 buah yang digunakan selama 6 Jam. Hasil pengukuran mendapatkan rancangan pembangkit dengan menggunakan 4 panel dengan sistem 24 V yang disusun 2 seri dan 1 paralel. Pengukuran intensitas radiasi matahari, tegangan, arus, dan daya, serta perbandingan hasil pengukuran dengan data estimasi Global Solar Atlas. Hasil pengujian menunjukkan daya rata-rata aktual sebesar 334,77 W pada interval waktu 11.00–16.00 WIB, lebih rendah 36,11% dibandingkan estimasi sebesar 524 W. Selisih kinerja dipengaruhi oleh kondisi cuaca, sudut kemiringan modul, dan kebersihan panel. Analisis beban menunjukkan potensi risiko kelebihan daya saat pengoperasian pompa air 125 W bersamaan dengan penambahan beban lampu yang melebihi kapasitas desain.</p> <p>Kata kunci— PLTS Off-grid 200 Wp, Kebutuhan Beban, Modul Surya Polycrystalline, Analisis Kinerja</p>
CORRESPONDENCE	
<p>E-mail:  <sup>2</sup>desy_kristyawati@staff.gunadarma.ac.id</p>	
A B S T R A C T	<p><i>The increasing demand for electrical energy in various sectors has led to high operational costs, especially for lighting and water pump operation. One sustainable solution is the implementation of off-grid solar power plants (PLTS). This study focuses on the design, implementation, and performance evaluation of a 200 Wp off-grid SPP system installed in Depok using polycrystalline solar modules to meet basic electricity loads. The research methodology includes the design and installation of a system with a total energy requirement of 1973.4 Wh per day for load purposes, so the potential solar radiation intensity must exceed 2000 Wh per day to be able to meet the Watt/ hour for the needs of the solar power system for 2 lights with a power of 45 W used for 10 hours and 2 submersible pumps with a power of 40 W used for 6 hours. The measurement results obtained a generator design using 4 panels with a 24 V system arranged in 2 series and 1 parallel. Measurements of solar radiation intensity, voltage, current, and power, as well as a comparison of the measurement results with the Global Solar Atlas estimation data. The test results showed an actual average power of 334.77 W during the 11:00–16:00 WIB time interval, which was 36.11% lower than the estimated 524 W. The performance difference was influenced by weather conditions, module tilt angle, and panel cleanliness. Translated with DeepL.com (free version)The analysis also highlights the potential damage caused by overload when the use of a 125 W water pump and additional lights exceeds the design capacity.</i></p> <p><i>Keywords— 200 Wp Off-grid Solar Power Plant, Load Requirements, Polycrystalline Solar Modules, Performance Analysis</i></p>

## I. PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan produksi, permintaan energi listrik

di berbagai sektor terus meningkat. Penggunaan listrik yang stabil sangat dibutuhkan untuk mendukung kegiatan penerangan dan pengoperasian peralatan listrik. Namun, tingginya konsumsi listrik berbanding lurus dengan biaya

operasional yang semakin besar, sehingga diperlukan solusi alternatif yang lebih hemat dan berkelanjutan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan memanfaatkan energi baru terbarukan, khususnya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid*.

Sebagai alternatif, pemanfaatan energi terbarukan khususnya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* mulai dilirik sebagai solusi praktis dan berkelanjutan. PLTS *off-grid* mampu menyediakan sumber listrik secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan PLN, sehingga sangat cocok diterapkan di daerah terpencil. Beberapa penelitian sebelumnya juga telah menunjukkan efektivitas teknologi ini. Salah satunya adalah penelitian yang merancang sistem PLTS *off-grid* untuk menghidupkan irigasi hidroponik di wilayah perdesaan. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa sistem PLTS dapat secara langsung mendukung kebutuhan energi dalam kegiatan pertanian skala kecil[1]. Namun, penelitian tersebut belum mengkaji secara mendalam bagaimana hasil daya listrik yang dihasilkan di lapangan dibandingkan dengan potensi energi surya teoritis yang tersedia berdasarkan data dari Global Solar Atlas. Perbandingan ini sangat penting untuk menilai tingkat efisiensi sistem dan akurasi perencanaannya.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem PLTS *off-grid* berkapasitas 200 Wp berdasarkan kebutuhan beban yaitu lampu dan *submersible pump*, sehingga sistem PLTS *off-grid* dirancang dengan menggunakan tipe *polycrystalline*. Hasil pengukuran daya aktual di lapangan akan dibandingkan dengan estimasi teoritis yang diperoleh dari *Global Solar Atlas* berdasarkan koordinat lokasi serta analisis kelebihan beban dilakukan untuk menghindari kerusakan pada sistem.

## II. TIJUAN PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya/energi matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam[2]. PLTS terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu sistem *on-grid* dan sistem *off-grid*. PLTS *on-grid* adalah sistem fotovoltaik yang hanya menghasilkan energi saat terhubung dengan Jaringan Listrik *Universal*, yang dapat mengirimkan kelebihan energi yang diproduksi ke Jaringan Listrik Universal ketika sel surya memproduksi energi lebih, sehingga ada surplus untuk digunakan di lain waktu. Sistem *on-grid* tidak memerlukan baterai, dan listrik yang dihasilkan dapat langsung digunakan untuk berbagai kebutuhan. PLTS *on-grid* adalah sistem yang sangat sederhana dan sangat ekonomis untuk pemasangannya[3]. PLTS *off-grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang tidak terhubung dengan jaringan listrik dari PLN. Sistem ini juga dikenal sebagai Sistem Mandiri karena hanya bergantung pada energi matahari sebagai sumber energi utama dengan menggunakan kumpulan modul solar untuk menciptakan listrik sesuai dengan kebutuhan dari konsumen[4]. Penelitian evaluasi pada PLTS *off-grid* terkait berdasarkan Panduan Studi Kelayakan PLTS dan IEC 61724[5]. Pengujian dilakukan selama 3 hari mulai pukul 09.00 – 14.30 dengan interval 30 menit menggunakan 2 lampu halogen dengan total daya 800 W untuk mengetahui

kinerja sistem menjadikan rujukan untuk menganalisis beban lebih padat penelitian.

Dalam desain panel surya, terdapat 4 bagian penting yang diperlukan, yaitu daya dan waktu beban saat menyala, daya inverter, daya panel surya, dan juga daya baterai[6]. Untuk menentukan berapa daya PLTS *off-grid* pada daerah Depok yang ingin dibangun perlu mengetahui Potensi Intensitas Radiasi Matahari didapat dari website portal statistik kota depok rata-rata lama penyinaran pertahun adalah 49,8% dan *Direct Normal Irradiation* (DNI) yang didapat dari *Solar Global Atlas* adalah 2605 W[7].

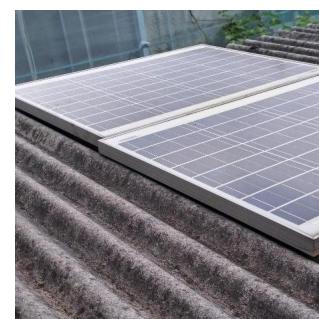
Selain itu harus juga memperhitungkan *Temperature Correction Factor* (TCF) karena temperatur mempengaruhi efektivitas dari kerja PLTS, menurut data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) suhu di kota Depok berkisar dari 24 hingga 32 °C dengan menentukan TCF pada kota[7].

### B. Panel Surya

Panel pada PLTS yang akan dipasang perlu dihitung jumlahnya terhadap kebutuhan dengan mencari daya PLTS yang dibangkitkan pada suatu daerah dan membaginya dengan watt panel surya yang akan dipasang. Daya PLTS *off-grid* yang dibangkitkan (Pp). Daya yang dihasilkan panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu PSI sebagai intensitas radiasi matahari maksimum yang diterima permukaan,  $\eta_{PV}$  yang menunjukkan efisiensi panel surya dalam mengubah energi cahaya menjadi listrik, serta PV watt yang merupakan daya keluaran dari panel surya itu sendiri. Ketiga parameter tersebut saling berkaitan dalam menentukan besarnya energi yang dapat dihasilkan oleh sistem. Panel surya merupakan komponen utama dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Seiring dengan perkembangan teknologi, terdapat berbagai jenis panel surya yang dikembangkan dengan karakteristik, efisiensi, dan biaya produksi yang berbeda. Pemilihan jenis panel surya yang tepat sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem secara keseluruhan[8]. Secara umum, panel surya dapat dibedakan menjadi beberapa jenis.

### C. Polycrystalline

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian dilakukan pendinginan secara perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang timbul di atas lapisan silikon. Gambar 1. menunjukkan gambar fisik panel surya *polycrystalline*.



Gambar 1. Panel Surya *polycrystalline*

Sel ini kurang efektif dibandingkan dengan sel *monocrystalline*, karena panel surya *polycrystalline* hanya sebesar 18% tetapi *polycrystalline* lebih murah dari segi biaya dibanding dengan *monocrystalline*[9].

#### D. Miniature Circuit Breaker

*Miniature circuit breaker (MCB)* salah satu komponen penting dari alat proteksi dalam sistem kelistrikan, *MCB* berfungsi untuk melindungi sirkuit Listrik dari kelebihan beban, hubung singkat, dan arus yang berlebih. Gambar 2. menunjukkan bentuk fisik *Miniature Circuit Breaker*.



Gambar 2. *Miniature Circuit Breaker*

Fungsi utama dari *MCB* yaitu menghentikan aliran Listrik saat ada masalah atau situasi berbahaya maka *MCB* akan langsung memutus aliran listrik yang masuk sehingga tidak menimbulkan kerusakan yang lebih parah ataupun risiko kebakaran. Pada PLTS ini menggunakan *MCB* untuk input pada *Solar Charge Controller* dan juga pada *input* baterai untuk mencegah kerusakan pada komponen jika ada kondisi tidak normal seperti hubung singkat, kelebihan beban dan juga arus berlebih[10].

#### E. Solar Charge Controller-Pulse Width Modulation (SCC-PWM)

Komponen pada PLTS yang berfungsi untuk mengoptimalkan pengisian baterai yang diisi dayanya dari listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga mencegah kerusakan pada baterai dan meningkatkan masa pakai dari baterai itu sendiri dan juga pada sistem PLTS sendiri. *Pulse Width Modulation (PWM)* adalah salah satu jenis SCC dengan kontroler pengisian energi surya yang paling sederhana. PWM bekerja dengan mengirimkan sinyal terputus-putus ke baterai untuk mengatur arus Listrik yang akan masuk ke baterai. Gambar 3. menunjukkan bentuk fisik dari *Solar Charge Controller*.



Gambar 3. *Solar Charge Controller*

PWM, atau *Pulse Width Modulation*, lebih sederhana dan lebih murah dibandingkan MPPT. Cara kerjanya adalah dengan mengatur aliran energi ke baterai dengan mengurangi arus secara bertahap, yang disebut *Pulse Width Modulation*. Ketika baterai sudah penuh, PWM masih memberikan daya dalam jumlah kecil agar baterai tetap terisi penuh. Teknologi PWM cocok digunakan pada sistem dengan skala kecil. Keuntungan utama dari SCC tipe PWM adalah harganya lebih rendah dibandingkan MPPT, cocok untuk sistem skala kecil, memiliki daya tahan lebih lama karena menggunakan komponen yang lebih sedikit, serta bekerja lebih baik saat baterai dalam kondisi[11].

#### F. Baterai VRLA

Baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi Listrik yang dihasilkan oleh panel surya saat siang hari. Energi Listrik yang terdapat dalam panel surya disimpan dan dapat digunakan pada malam atau sedang tidak adanya cahaya matahari sehingga menjadikannya PLTS mandiri tidak tersambung pada listrik PLN. Gambar 4. menunjukkan bentuk fisik baterai *VRLA*.



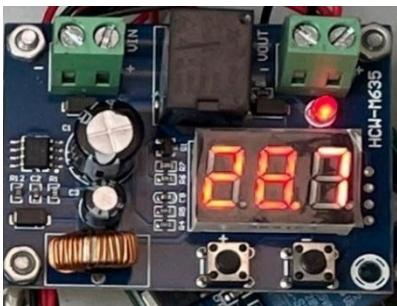
Gambar 4. Baterai VRLA

Baterai harus dirawat agar memiliki masa pakai yang panjang, masa pakai baterai tergantung pada kecepatan dan kedalamannya siklus serta kondisi lain seperti suhu dan kelembapan. Semakin tinggi tingkat penggunaan daya (*DOD*), semakin singkat usia baterai. Baterai *VRLA* dari setiap merek pabrikan biasanya merekomendasikan penggunaan *DOD* tidak melebihi 80%. Hal ini dilakukan agar usia baterai tetap tahan lama dan performanya tidak cepat menurun, serta untuk mencegah kerusakan pada bagian-bagian dalam baterai. Dengan kata lain, jika *DOD* terus-menerus melebihi 80%, maka usia baterai tidak akan sesuai[12]. Pemakaian SCC juga menjadi salah satu cara perawatan baterai dan untuk penggunaan *DOD* baterai menggunakan *Low Voltage Disconnect (LVD)* adalah untuk melindungi baterai yang terhubung dengan perangkat listrik dari kerusakan yang diakibatkan oleh pengosongan yang berlebihan. Pemasangan baterai dapat dipasang seri ataupun paralel namun dengan perbedaan pada tegangan ataupun arus yang dihasilkan.

#### G. Low Voltage Disconnect (LVD)

*Low Voltage Disconnect (LVD)* adalah suatu perangkat atau sistem perlindungan yang berfungsi untuk menjaga baterai dari kerusakan akibat pengosongan atau pelepasan muatan yang berlebihan (*over-discharge*). Dalam sistem listrik, khususnya yang menggunakan sumber daya baterai seperti pada sistem PLTS, pengosongan baterai hingga di bawah level tegangan minimum yang dianjurkan dapat menyebabkan kerusakan permanen pada sel baterai, mengurangi kapasitas penyimpanan energi, serta memperpendek umur operasional baterai secara keseluruhan. Oleh karena itu, keberadaan *LVD* sangat

krusial karena akan secara otomatis memutuskan sambungan beban dari baterai apabila tegangan telah mencapai ambang batas bawah tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan memutus aliran daya ke beban pada titik tegangan yang aman, *LVD* berperan dalam menjaga integritas kimiawi baterai dan mencegah kerusakan fatal yang bersifat tidak dapat diperbaiki[13]. Gambar 5. menunjukkan bentuk fisik *Low Voltage Disconnect*.



Gambar 5. Low Voltage Disconnect

Penentuan titik ambang tegangan *LVD* ini harus dilakukan dengan cermat dan diselaraskan dengan spesifikasi teknis baterai yang digunakan, agar perlindungan yang diberikan tetap efisien tanpa mengorbankan terlalu banyak kapasitas energi yang tersedia. Dengan penyesuaian yang benar, *LVD* bukan hanya menjaga kesehatan baterai dalam jangka panjang, tetapi juga meningkatkan efisiensi penggunaan daya dari baterai tersebut, sehingga sistem secara keseluruhan dapat beroperasi dengan stabil, andal, dan tahan lama.

#### H. INVERTER

Inverter merupakan komponen penting dalam sistem PLTS ini karena inverter berfungsi mengubah arus DC yang dihasilkan oleh panel surya dan disimpan pada baterai menjadi arus AC yang merupakan arus untuk kebutuhan lampu dan juga *sumersible pump* yang menjadi beban daya pada PLTS ini. Gambar 6. menunjukkan gambar fisik inverter.



Gambar 6. Inverter

Inverter berfungsi sebagai perangkat yang mengonversi tegangan arus searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Tugas utama inverter adalah mengubah voltase *input* DC menjadi *output* AC yang simetris dengan nilai magnitudo dan frekuensi yang diinginkan. Tegangan keluaran dapat bersifat konstan atau bervariasi pada frekuensi yang tetap atau berubah. Variasi *output* yang dinamis dapat dicapai dengan mengubah tegangan *input* DC sembari mempertahankan nilai penguatan inverter yang konstan. Sebaliknya, jika tegangan *input* DC tetap dan tidak berubah, *output* yang fluktuatif bisa diperoleh dengan mengubah penguatan dari inverter. Perubahan penguatan inverter umumnya dilakukan dengan memanfaatkan kontrol

*Pulse Width Modulation (PWM)* dan *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)* yang terdapat di dalam inverter[14].

#### I. Relay

*Relay* adalah saklar elektromekanikal yang menjadikannya bisa menjadi saklar otomatis. *Relay* dioperasikan dengan listrik, dilengkapi 2 bagian di antaranya *coil* (elektromagnet) dan juga *switch* (mekanik). Komponen tersebut memanfaatkan prinsip elektromagnetik untuk dapat menggerakkan saklar sehingga dapat menghantarkan arus listrik. Gambar 7. menunjukkan gambar *relay*.

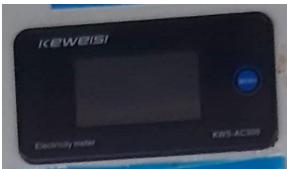


Gambar 7. Relay

*Relay* juga merupakan saklar elektronik yang dioperasikan oleh arus listrik. Secara prinsip, *relay* berfungsi sebagai tuas saklar dengan lilitan kawat yang terletak pada batang besi (*solenoid*) di sekitarnya. Ketika *solenoid* mendapat aliran arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang dihasilkan oleh *solenoid*, sehingga kontak saklar akan menutup. Saat aliran listrik dihentikan, gaya magnet akan hilang, dan tuas akan kembali ke posisi awal, sementara kontak saklar akan membuka kembali. Sebagai komponen elektronik, *relay* memiliki peran yang krusial dalam sebuah sistem elektronik dan rangkaian listrik untuk mengoperasikan perangkat yang memerlukan arus besar tanpa terhubung langsung dengan perangkat pengendali yang memiliki arus kecil. Dengan demikian, *relay* dapat berfungsi sebagai alat pengaman. Dalam sebuah *relay* terdapat komponen yang disebut *coil*, jika komponen ini diberi tegangan, arus akan mengalir melalui *coil* dan menyebabkan kontak pada *relay* berfungsi. Jadi, prinsip kerja sederhana dari *coil relay* adalah diberikan tegangan untuk menggerakkan kontak *relay*[15].

#### J. Watt meter

*Watt meter* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu elemen krusial yang berfungsi untuk mengukur tingkat daya listrik (dalam satuan *watt*) yang mengalir dalam sistem, baik yang dihasilkan oleh panel surya, disimpan di baterai, maupun yang digunakan oleh beban. Alat ini menyediakan informasi secara langsung mengenai kinerja sistem, seperti tegangan (*volt*), arus (*ampere*), dan daya (*watt*), sehingga sangat membantu dalam pemantauan serta penilaian performa PLTS secara keseluruhan. Dengan adanya *watt meter*, pengguna dapat mengetahui apakah panel surya beroperasi secara optimal atau tidak, misalnya ketika daya yang dihasilkan jauh di bawah harapan akibat debu pada panel, penurunan efisiensi, atau masalah teknis lainnya[16]. Gambar 8. menunjukkan gambar fisik *watt meter*.



Gambar 8. Watt Meter

*Watt meter* juga berperan dalam menganalisis kebutuhan daya dari beban listrik yang digunakan, sehingga dapat menyesuaikan kapasitas panel dan baterai agar sistem tetap stabil dan efisien. Selain itu, alat ini sangat berguna dalam kegiatan pemeliharaan berkala dan penyelesaian masalah, karena dapat menunjukkan adanya gangguan atau ketidaksesuaian daya dalam sistem sejak dulu. Dalam praktiknya, watt meter biasanya dipasang di antara panel surya, pengontrol pengisian (*charge controller*), baterai, dan inverter, tergantung dari jenis dan konfigurasi sistem PLTS yang diterapkan.

#### K. Pilot lamp

*Pilot lamp* atau lampu indikator adalah komponen sederhana namun sangat penting dalam sistem PLTS. Lampu ini berfungsi sebagai penanda visual untuk menunjukkan status operasional. *Pilot lamp* dapat menyala untuk menunjukkan bahwa sistem PLTS bekerja dengan baik dan dapat dipakai untuk keperluan beban. Dengan adanya *pilot lamp*, pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung tanpa memerlukan alat ukur digital yang kompleks. Gambar 9. menunjukkan bentuk fisik.



Gambar 9. Pilot Lamp

Karena sistem PLTS *off-grid* berdiri sendiri dan tidak terhubung ke jaringan listrik umum, pemantauan kondisi sistem menjadi hal yang krusial agar sistem tetap berjalan dengan efisien dan aman. *Pilot lamp* memberikan indikator awal jika terjadi gangguan, sehingga pengguna dapat segera mengambil tindakan perbaikan[17].

#### L. DC Battery Meter Power Monitor

*DC Battery Meter Power Monitor*, berfungsi utama sebagai indikator status baterai—apakah sudah terisi penuh atau belum—serta informasi tentang tegangan baterai, merupakan alat yang sangat bermanfaat dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid*. Meskipun tampak sederhana, alat ini menyediakan informasi vital yang diperlukan pengguna untuk mengetahui kondisi baterai secara langsung tanpa harus melakukan pengukuran manual dengan alat yang terpisah. Indikator 'baterai terisi penuh' sangat membantu untuk memahami kapan proses pengisian dari panel solaire ke baterai telah mencapai kapasitas maksimal, sehingga pengguna bisa mengelola penggunaan beban listrik dengan lebih bijaksana atau mencegah pemborosan energi[18]. Gambar 10. menunjukkan bentuk fisik DC *Battery Meter Power Monitor*.



Gambar 10. Battery Meter Power

Informasi mengenai tegangan baterai yang ditampilkan oleh alat ini juga berperan penting dalam mempertahankan umur dan kinerja baterai. Tegangan baterai bisa menjadi indikator awal dari kesehatan baterai, misalnya jika tegangan terlalu rendah maka bisa mengindikasikan bahwa baterai mulai habis dan perlu segera diisi ulang untuk menghindari kerusakan akibat *overdischarge*. Sebaliknya, jika tegangan terlalu tinggi, bisa jadi terjadi *overcharge* yang berisiko merusak baterai. Dengan memantau dua parameter sederhana ini status penuh dan tegangan pengguna PLTS *off-grid* dapat membuat keputusan yang cepat dan efisien untuk menjaga sistem tetap stabil dan tahan lama.

#### M. Submersible pump

*Submersible pump* atau pompa celup ini digunakan untuk mengaliri air untuk keperluan tanaman hidroponik. *Submersible pump* adalah pompa air yang dirancang untuk bekerja di dalam air, dengan seluruh bodinya terendam saat beroperasi. Pompa ini biasanya digunakan untuk memompa air dari sumur dalam, kolam, atau tangki, karena mampu mendorong air ke permukaan secara efisien[19] seperti pada Gambar 11.

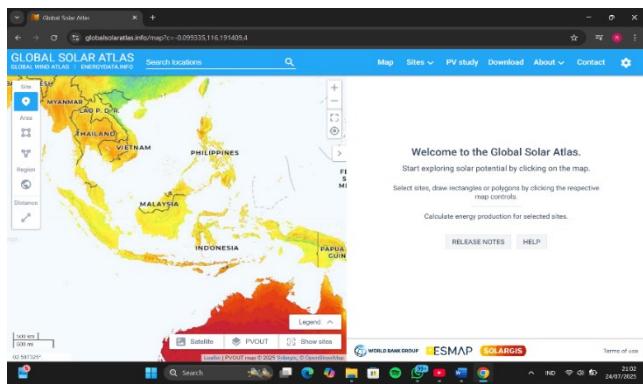


Gambar 11. Submersible pump

Keunggulan utama *submersible pump* adalah efisiensinya yang tinggi karena tidak perlu menarik air, melainkan langsung mendorongnya dari dalam. Pompa ini juga lebih senyap dan terlindungi dari *overheating* karena didinginkan oleh air di sekitarnya.

#### N. Global Solar Atlas ( GSA )

*Global Solar Atlas ( GSA )* adalah aplikasi daring gratis berbasis peta yang menyediakan informasi tentang sumber daya surya dan potensi energi fotovoltaik secara global. Aplikasi ini dilengkapi dengan peta interaktif daring, kalkulator daya fotovoltaik (PV) yang disederhanakan, alat pelaporan, dan bagian unduhan yang lengkap. Atlas ini dirancang untuk membantu para pembuat kebijakan, akademisi, dan pemangku kepentingan energi terbarukan dalam meningkatkan kesadaran di bidang energi surya, mendukung pengembangan kebijakan dan rencana, serta untuk keperluan zonasi dan identifikasi lokasi awal[20][5]. Gambar 12. menunjukkan website *Global Solar Atlas*



Gambar 12 Website Global Solar Atlas

Panduan pengguna *Global Solar Atlas* menjelaskan cara memanfaatkan platform ini untuk mengevaluasi potensi energi surya di berbagai lokasi. Pengguna dapat:

1. Menjelajahi berbagai lapisan peta seperti iradiasi, suhu, elevasi, dan jaringan jalan untuk menilai kelayakan lokasi.
2. Memeriksa potensi energi surya di titik tertentu berdasarkan data radiasi yang dimodelkan oleh Solargis.
3. Menyimpan dan membagikan proyek melalui fitur *bookmark* dan URL unik.
4. Mengunduh data spesifik lokasi dan peta dalam format PDF, XLS, dan SIG, yang disediakan di bawah lisensi terbuka (CC BY 4.0).

Platform ini mendukung perencanaan awal proyek energi surya dengan menyediakan data yang akurat, praktis, dan mudah diakses.

### III. METODE PENELITIAN

Pada perancangan kali ini PLTS ini dibuat untuk keperluan penerangan dan pengairan tanaman hidroponik sehingga diperlukan lampu dan juga *submersible pump*, maka dipakai lampu LED dengan daya 45 W sebanyak 4 buah untuk penerangan pada malam hari dan juga untuk pengairan menggunakan *submersible pump* dengan daya 40 W sebanyak 2 buah yang daya listriknya diambil dari PLTS. Sehingga diperlukan analisis kebutuhan energi bertujuan untuk menentukan kapasitas PLTS yang sesuai dengan kebutuhan daya.

TABEL I. KEBUTUHAN ENERGI TOTAL

No	Jenis Beban	Jumlah	Lama Pemakaian (Jam)	Daya Beban	Total Energi (Watt-hour)/hari
1	Lampu	2	10	45	900
2	<i>Submersible Pump</i>	2	6	40	480
Total A					1380
Cadangan Energi = 30% × Total A					414
Total B = Cadangan Energi + Total A					1794

$$\text{Rugi-Rugi Sistem} = 10\% \times \text{Total B} \quad 179,4$$

$$\text{Jumlah Total (El)} = \text{Rugi-Rugi Sistem} + \text{Total B} \quad 1973,4$$

Berdasarkan perhitungan di atas maka didapat 1973,4 Wh dalam sehari untuk kepentingan beban maka potensi intensitas radiasi matahari harus melebihi dari 2000 Wh per harinya agar sanggup untuk memenuhi *Watt/hour* untuk keperluan PLTS yang akan dibangun. Perhitungan Potensi Intensitas Radiasi Matahari (Gav) daerah Depok.

$$\text{Gav perhari (Wh/m}^2) = 49,8\% \times 8 \text{ jam} \times 2605 \text{ W/m}^2 \quad (1)$$

$$\text{Gav perhari} = 10.378 (\text{Wh/m}^2)$$

Perhitungan Potensi Intensitas Radiasi Matahari (Gav) di Depok per harinya memenuhi kebutuhan PLTS, sehingga cocok untuk kebutuhan. Kenaikan suhu pada temperatur maksimum tahunan adalah  $(32 - 24) {}^\circ\text{C} = 8 {}^\circ\text{C}$ . Panel surya yang akan dipakai adalah 50 Wp pada 1 panel surya. Pengurangan daya setiap modul surya akibat kenaikan temperatur sebesar  $8 {}^\circ\text{C}$  ( $\Delta t$ ).

$$\begin{aligned} \Delta P_t &= 0,5\% \times P_{\max} \times \text{kenaikan temperatur} \\ &= 0,5\% \times 50 \text{ Wp} \times 8 {}^\circ\text{C} \\ &= 2 \text{ Wp} \end{aligned} \quad (2)$$

Dari perhitungan pengurangan daya modul surya didapat pengurangan daya dari efek suhu di sekitar adalah 2 Wp. Daya modul surya pada kenaikan temperatur  $\Delta t = 8 {}^\circ\text{C}$  ( $P_{\max} \Delta t$ ) menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} P_{\max} \Delta t &= P_{\max} - \Delta P_t \\ &= 50 - 2 \\ &= 48 \text{ Wp} \end{aligned} \quad (3)$$

Setelah adanya *Temperatur Correction Factor* maka daya PLTS yang masuk menjadi 48 Wp pada setiap panel surya ketika temperatur kota Depok berada dipuncak suhu kota Depok. Berdasarkan persamaan (2.2) maka *Temperatur Correction Factor* (TCF).

$$\begin{aligned} \text{TCF} &= P_{\max} \Delta t P_{\max} \\ &= 4850 = 0,96 \end{aligned} \quad (4)$$

Efisiensi keluaran ( $\eta_{out}$ ) ditentukan berdasarkan efisiensi komponen-komponen yang melengkapi PLTS *off-grid*, seperti baterai, charge controller dan inverter.  $\eta_{out}$  ini diasumsikan sebesar 0,95. Dengan kebutuhan total energi 1973,4 Wh/ harinya. Dari perhitungan di atas dapat ditentukan luas Panel Surya area. Berdasarkan persamaan

$$\begin{aligned} \text{Maka luas Panel Surya Area} \\ &= 1.973,410,378 \times 0,96 \times 0,1693 \times 0,95 \text{ m}^2 \\ &= 1,23 \text{ m}^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Kebutuhan energi listrik (El)= 1.973,4 Watt hour / hari  
Radiasi rerata tahunan (Gav) = 10,378 kWh/m<sup>2</sup>

*Temperatur Correction Factor* (TCF) = 0,96

Efisiensi Panel surya ( $\eta_{PV}$ ) = 16,93% = 0,1693

Efisiensi keluaran ( $\eta_{out}$ ) = 0,95

Maka luas panel surya akan dipasang pada atap adalah  $1,23 \text{ m}^2$ . Dari perhitungan yang sudah dihitung maka dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan jumlah panel surya yang dibutuhkan dengan daya PLTS *off-grid* yang dibangkitkan ( $P_p$ ) berdasarkan persamaan

$$\begin{aligned} P_p &= \text{Panel Surya Area} \times \text{PSI} \times \eta_{PV} W_p \\ &= 1,23 \times 1000 \times 0,1693 W_p \\ &= 208,239 W_p \end{aligned} \quad (6)$$

Jumlah panel surya berdasarkan persamaan

$$\frac{208,239}{50} = 4,16478 \quad (7)$$

Jumlah panel surya dibulatkan menjadi 4 panel. Dengan sistem 24 V yang berarti modul disusun secara 2 seri 1 paralel. Dengan spesifikasi panel surya.  $V_{mp} = 17,8 \text{ V}$ ,  $I_{mp} = 2,86 \text{ A}$ ,  $V_{oc} = 21 \text{ V}$  dan  $I_{sc} = 3 \text{ A}$ . Sehingga dari spesifikasi panel surya jika disusun 2 seri 1 paralel akan menjadi 2 panel seri yaitu  $17,8 \text{ V} \times 2 = 35,6 \text{ V}$  dan 1 diparalelkan yaitu  $2,86 \text{ A} \times 2 = 5,72 \text{ A}$  sehingga dan daya total di dapat  $35,6 \text{ V} \times 5,72 \text{ A} = 203,632 \text{ W}$ .

Dengan daya yang dihasilkan pada panel surya maka sanggup untuk mencukupi kebutuhan dari beban daya yang diperlukan setiap harinya. Dengan daya yang dibangkitkan sebesar 208,239 Wp, panel yang dipakai sebanyak 4 panel dengan secara 2 seri 1 paralel dengan sistem 24V sehingga menghasilkan *Voltage* 35,6V dan *Ampere* 5,72A yang dapat menghasilkan daya 203,632W.

Spesifikasi panel surya yang sudah diperoleh maka dapat disimpulkan dapat menggunakan Solar *Charge Controller* (SCC) harus mempunyai spesifikasi arus  $>6 \text{ A}$  dan tegangan  $>35 \text{ V}$  dengan *output* 24V agar tegangan dan arus dari panel surya dapat tersalurkan dengan baik. SCC menggunakan tegangan sebesar 24 V yang berarti pada sistem baterai juga harus mengikuti tegangan dari SCC untuk mengisi baterai. Perhitungan Daya Baterai bisa dilihat pada Tabel 2.

TABEL II. PERHITUNGAN DAYA BATERAI

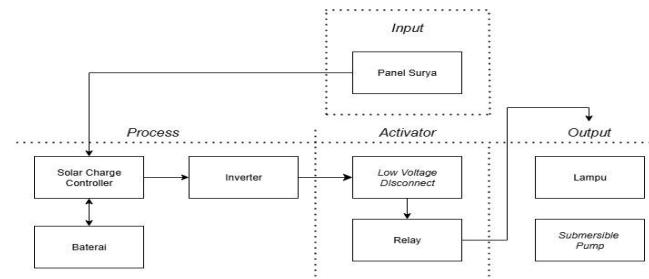
Baterai 1 Seri	Baterai 2 Seri
(2 × 12 V) 18 Ah = 24 V 18 Ah	(2 × 12 V) 42 Ah = 24 V 42 Ah

Baterai yang dipakai terdapat 4 buah dengan spesifikasi Baterai 1 adalah 12 V 18 Ah (2 buah) dan Baterai 2 adalah 12 V 42 Ah (2 buah) disusun secara 2 seri dan 1 paralel sehingga dapat menampung daya 1,44 kWh. Kedua rangkaian di paralelkan sehingga tegangan tetap 24V dan arus menjadi 60 Ah. Inverter yang digunakan adalah inverter 24V DC menjadi 220V AC untuk dapat menghidupkan beban dari PLTS sebagai pengaman untuk baterai agar lebih lama pemakaiannya diatur oleh LVD dan masuk ke relay untuk pengaman agar baterai dipakai tidak melebihi dari batas minimum yang diatur.

Inverter yang digunakan bertipe *pure sine wave* 1000W DC 24V menjadi 220V AC karena pada sistem ini memakai siste 24V dan *output* beban dari PLTS ini adalah arus AC dan juga daya yang dipakai saat bersamaan tidak melebihi dari 1000W sehingga cocok digunakan inverter dengan spesifikasi 1000W. Pada sistem ini menggunakan

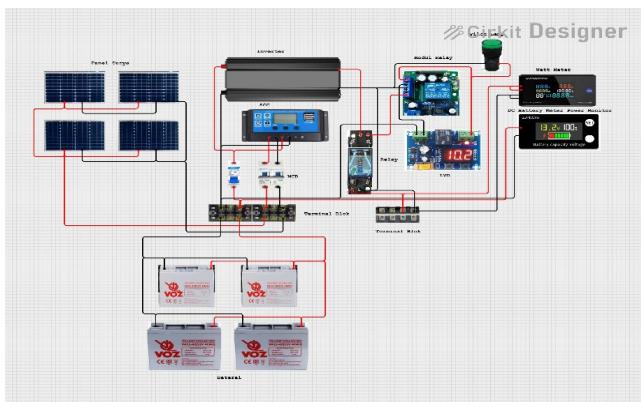
*Low Voltage Disconnected* (LVD) dengan tegangan mengikuti sistem PLTS yang dipakai yaitu 24V. LVD ini dipakai untuk melindungi baterai dari kerusakan akibat pengosongan daya yang berlebihan pada baterai. LVD akan memutus aliran listrik ke beban (peralatan yang menggunakan daya) ketika tegangan baterai turun di bawah batas aman yang telah ditentukan. *Relay* yang dipasang adalah *relay* dengan daya 24V DC karena PLTS ini menggunakan sistem 24V. *Relay* digunakan dengan tujuan sebagai saklar elektronik yang dikendalikan oleh tegangan rendah 24V DC untuk memutus atau menghubungkan aliran arus yang lebih besar.

Blok diagram dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya *off-grid* yang dipasang untuk Kebutuhan Penerangan dan Pengairan Tanaman Hidroponik pada Gambar



Gambar 13 Diagram Blok Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid*

Gambar 13. menunjukkan alur kerja secara singkat terdiri dari empat bagian utama yaitu blok *input*, blok *process*, blok *activator* dan blok *output*. Dari rangkaian PLTS yang dibangun untuk mengoperasikan lampu penerangan dengan daya 45W yang berjumlah 4 buah dan juga *submersible pump* dengan daya 40W berjumlah 4 buah. Pada blok *input* yaitu panel surya yang berfungsi sebagai sumber daya utama yang mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan proses fotovoltaik. Blok *process*, *Charge Controller* yang berfungsi untuk mengatur aliran listrik dari panel surya agar tetap stabil dan mencegah agar baterai cepat rusak. Baterai berfungsi untuk menyimpan energi dari panel surya dan disimpan ketika malam atau dalam kondisi tidak ada matahari dan sumber energi untuk beban. *Inverter* memproses pengubahan arus DC yang dihasilkan dari Solar panel surya ke arus listrik AC untuk keperluan lampu dan *submersible pump*. Blok *activator*, *relay* berfungsi sebagai saklar otomatis ketika baterai terisi penuh ataupun kurang daya dan *Low Voltage Disconnect* (LVD) berfungsi untuk mengamankan baterai akibat pengosongan daya yang berlebihan atau *over discharge*. Blok *output* bagian terakhir dari blok diagram ini adalah lampu dan juga *Submersible pump*



Gambar 14. Schematic Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid

Gambar *schematic* menunjukkan konfigurasi sistem PLTS *off-grid* yang terdiri dari panel surya, *charge controller*, baterai, serta inverter sebagai konversi akhir. Panel surya berfungsi sebagai penghasil daya listrik DC yang bersumber dari energi radiasi matahari. *Output* dari panel surya akan dialirkkan ke *charge controller* yang berperan penting dalam mengatur tegangan dan arus pengisian menuju baterai, sekaligus melindungi baterai dari kondisi *overcharging* maupun *deep discharge*. Energi yang tersimpan di dalam baterai digunakan sebagai sumber daya utama sistem. Daya DC dari baterai kemudian dikonversikan menjadi daya AC melalui inverter agar kompatibel dengan peralatan rumah tangga atau beban listrik AC lainnya. Rangkaian ini sepenuhnya berdiri sendiri tanpa koneksi ke jaringan utilitas (*grid-tied*), sehingga mengandalkan efisiensi komponen dan kapasitas penyimpanan energi untuk memastikan kontinuitas suplai daya. Gambar 14. menunjukkan gambar *schematic* PLTS D'rangrang Farmhouse.

Rangkaian *schematic* sistem PLTS *off-grid* ini terdiri dari empat modul PV 50 Wp yang disusun dalam konfigurasi 2 seri  $\times$  1 paralel, menghasilkan *output* sebesar 35,6 V dan 5,72 A. Tegangan DC ini masuk ke Solar *Charge Controller* tipe PWM dengan spesifikasi minimum 6 A dan 35 V, yang kemudian mengatur pengisian ke bank baterai bertegangan nominal 24 V agar baterai tidak cepat mengalami kerusakan dilakukan pemasangan LVD untuk mengatur kapan baterai akan dicas dan dipakai kembali. Bank baterai terdiri dari dua pasang baterai 12 V (18 Ah dan 42 Ah) yang masing-masing disusun seri dan kemudian diparalelkan, menghasilkan total kapasitas 24 V 60 Ah (1,44 kWh). *Output* dari baterai dialirkkan ke inverter 24 V DC to 220 V AC untuk mengubah arus DC menjadi AC, yang selanjutnya dikendalikan oleh *relay proteksi* berbasis LVD (*Low Voltage Disconnect*) sebelum dialirkkan ke beban berupa 2 lampu LED 45 W dan 2 pompa celup 40 W. Konfigurasi ini memastikan suplai daya efisien dengan proteksi terhadap *overdischarge* baterai dan kestabilan sistem dalam kondisi operasi siang dan malam.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran langsung di lapangan dilakukan agar kita bisa mengetahui bagaimana sistem bekerja dalam kondisi lingkungan nyata. Ada beberapa parameter yang diukur, seperti tingkat cahaya matahari (dalam satuan *lux*), besaran tegangan (volt), arus (ampere), dan daya listrik (watt) yang

dihasilkan oleh sistem. Untuk mengukur cahaya matahari, kita menggunakan alat bernama *lux* meter yang menunjukkan seberapa terang permukaan panel surya menerima cahaya. Tegangan dan arus diukur dengan alat multimeter digital, kemudian daya listrik dihitung langsung menggunakan rumus  $P = V \times I$ . Data diambil secara berkala, dalam berbagai kondisi cuaca, sehingga hasilnya bisa menunjukkan bagaimana kinerja sistem berubah sesuai dengan tingkat cahaya. Dari hasil pengukuran ini, kita bisa mengetahui hubungan antara intensitas cahaya dengan *output* listrik, serta seberapa efisien sistem dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik pada Tabel 4.1.

TABEL III. KINERJA PLTS

02/07/2025				
Jam	Volt	Ampere	Watt	Lux
11.00	28,6	2,91	83,226	12146
12.00	29,3	3,17	92,881	57157
13.00	32,42	3,76	121,8992	44131
14.00	30,61	3,257	99,69677	70401
15.00	27,632	0,494	13,65021	5950
16.00	32	0,175	5,6	1431
Jumlah daya				416,9532
05/07/2025				
Jam	Volt	Ampere	Watt	Lux
11.00	27,58	0,853	23,52574	2956
12.00	27,06	1,55	41,943	5420
13.00	29,05	2,5	72,625	30036
14.00	27,76	1,38	38,3088	6491
15.00	27,23	1,103	30,03469	2818
16.00	28,36	1,92	54,4512	9837
Jumlah daya				260,8884
08/07/2025				
Jam	Volt	Ampere	Watt	Lux
11.00	28,29	3,625	102,5513	13050
12.00	38,2	2,903	110,8946	11859
13.00	28,39	2,727	77,41953	71760
14.00	27,72	2,067	57,29724	25785
15.00	27,92	1,887	52,68504	37186
16.00	26,3	0,643	16,9109	14107
Jumlah daya				417,7586
16/07/2025				
Jam	Volt	Ampere	Watt	Lux
11.00	28,32	1,06	30,0192	7716
12.00	30,09	1,64	49,3476	23449
13.00	29,75	1,43	42,5425	8654
14.00	30,35	2,06	62,521	11765
15.00	27,64	1,27	35,1028	10328
16.00	26,78	0,894	23,94132	11732
Jumlah daya				243,4744
Jumlah daya 4 hari				1339,075
Rata-rata daya yang didapat Total daya ÷ Jumlah hari				334,76875

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada 02, 05, 08, dan 16 Juli 2025, terlihat bahwa kinerja sistem PLTS sangat dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari (*lux*) dan waktu pengamatan. Pada 02 Juli 2025, daya maksimum tercatat pada pukul 13.00 sebesar 121,89 W dengan intensitas cahaya 44.131 *lux*. Pada 05 Juli 2025, daya dan intensitas cahaya relatif rendah sepanjang hari, dengan puncak daya hanya 72,63 W yang tercatat pada pukul 13.00. Di sisi lain, 08 Juli 2025 menunjukkan kinerja terbaik dengan daya maksimum hingga 110,89 W pada pukul 12.00, meskipun *lux* tidak setinggi tanggal 2. Terakhir, 16 Juli 2025 memperlihatkan kinerja rata-rata dengan daya maksimum

62,52 W pada pukul 14.00 dan rata-rata intensitas cahaya di bawah 12.000 lux. Secara keseluruhan, semakin tinggi intensitas cahaya dan semakin optimal posisi matahari, maka *output* daya dari sistem PLTS meningkat secara signifikan.

Perbandingan antara data potensi energi surya dari *Global Solar Atlas* dengan hasil pengukuran langsung di lokasi memberikan gambaran yang lebih tepat mengenai kondisi sebenarnya dari potensi energi matahari di lokasi tersebut. Dalam penelitian ini, dilakukan pengumpulan data yang mencakup daya listrik (dalam watt), selama periode tertentu. Hasil dari *Global Solar Atlas* menunjukkan estimasi berdasarkan data historis dan model simulasi, sementara hasil pengukuran langsung mencerminkan kondisi nyata yang dipengaruhi oleh berbagai faktor lokal seperti cuaca, sudut kemiringan panel surya, dan tingkat kebersihan permukaan panel. Dengan membandingkan kedua jenis data tersebut, dapat dianalisis seberapa besar perbedaan antara potensi teoritis dan hasil yang tercapai dalam penerapan sistem energi surya di area pertanian tersebut.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec			
0 - 1													0	1	0
1 - 2															
2 - 3															
3 - 4															
4 - 5															
5 - 6													0	1	0
6 - 7	7	4	6	8	8	6	5	6	9	16	16	12			
7 - 8	28	25	34	39	39	35	34	39	46	48	44	36			
8 - 9	51	49	65	71	70	66	67	73	80	79	71	61			
9 - 10	69	67	88	96	94	91	94	100	105	101	91	79			
10 - 11	78	78	103	110	107	105	108	116	119	110	99	87			
11 - 12	81	82	107	110	110	108	113	119	121	109	98	88			
12 - 13	79	82	99	103	105	104	109	114	113	98	87	83			
13 - 14	69	74	84	86	89	90	95	100	97	83	70	69			
14 - 15	55	58	62	62	66	68	73	78	74	61	50	51			
15 - 16	38	39	40	37	40	43	47	51	47	38	29	32			
16 - 17	20	21	19	16	17	19	22	24	21	16	13	16			
17 - 18	6	6	5	2	1	2	3	3	2	1	1	4			
18 - 19															
19 - 20															
20 - 21															
21 - 22															
22 - 23															
23 - 24															
Sum	582	585	713	741	746	738	770	823	836	759	671	619			

Gambar 15 Data *Global Solar Atlas*

Berdasarkan Gambar 15. data dari *Global Solar Atlas* untuk koordinat sekitar 6,4° LS dan 106,8° BT, nilai rata-rata *Global Horizontal Irradiance* (GHI) di wilayah Kota Depok tercatat sebesar 4,53 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Nilai GHI ini menunjukkan jumlah energi radiasi matahari yang diterima per meter persegi permukaan horizontal dalam satu hari. Angka ini menjadi acuan dalam menghitung potensi daya listrik teoritis dari modul surya yang digunakan. Hasil dari *Global Solar Atlas* menunjukkan estimasi berdasarkan data historis dan model simulasi, sementara hasil pengukuran langsung mencerminkan kondisi nyata yang dipengaruhi oleh berbagai faktor lokal seperti cuaca, sudut kemiringan panel surya, dan tingkat kebersihan permukaan panel. Dengan membandingkan kedua jenis data tersebut, dapat dianalisis seberapa besar perbedaan antara potensi teoritis dan hasil yang tercapai dalam penerapan sistem energi surya di area pertanian tersebut.

Daya yang diperoleh dari *Global Solar Atlas* pada bulan Juni untuk rentang waktu 11.00–16.00 adalah sebesar 524 Watt, sedangkan hasil pengukuran langsung pada D'rangrang Farmhouse di jam yang sama hanya mencapai 334,77 Watt. Selisih antara keduanya adalah 189,23 Watt,

jika dibandingkan dengan estimasi Global Solar Atlas sebesar 524 Watt pada rentang waktu yang sama (11.00–16.00 WIB), maka selisih persentase dapat dihitung dengan CV didefinisikan sebagai rasio dari standar deviasi (SD) terhadap rata-rata (mean), diungkapkan dalam persentase. Secara matematis, rumus CV adalah:

$$CV = (\text{SDMean}) \times 100\% \quad (8)$$

$$CV = (524-334,77524) \times 100\%$$

$$= 36,11\%$$

Dengan demikian, daya aktual rata-rata di lapangan (334,77 W) lebih rendah sekitar 36,1% dibandingkan dengan nilai estimasi atlas (524 W), yang menunjukkan adanya pengaruh kondisi cuaca, lingkungan, dan efisiensi sistem terhadap hasil riil, yang berarti daya real pada lapangan lebih rendah sekitar 36,11% dibandingkan data perkiraan dari *Global Solar Atlas*. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan oleh kondisi cuaca lokal, sudut kemiringan panel, tingkat kebersihan permukaan panel yang mengurangi intensitas cahaya matahari yang diterima sistem.

Analisis kerusakan pada sistem PLTS *off-grid* 24 V dengan kapasitas inverter 1000 watt dan sumber daya dari panel surya 200 Wp yang dibagi menjadi 4 panel menunjukkan bahwa permasalahan utama disebabkan oleh beban berlebih. Sistem yang semula dirancang untuk melayani beban ringan berupa dua lampu masing-masing lampu memiliki daya 45 watt dan juga 2 *submersible pump* dengan daya masing-masing 40 watt, ternyata digunakan untuk mengoperasikan pompa air berdaya 125 watt ditambah dua lampu 45 watt. Kondisi ini mengakibatkan total konsumsi daya jauh melampaui kapasitas produksi dan penyimpanan energi dari sistem. Beban yang tinggi tersebut menimbulkan kerja inverter dan baterai menjadi lebih berat, sehingga menurunkan efisiensi serta mempercepat penurunan umur komponen. Selain itu, arus yang mengalir melebihi batas aman dapat menimbulkan panas berlebih pada kabel maupun inverter, yang berpotensi menyebabkan kerusakan permanen. Dengan demikian, kesalahan pemakaian beban menjadi faktor utama penyebab gangguan, dan sistem perlu dikembalikan pada beban yang sesuai dengan rancangan awal agar kinerja dan keandalan PLTS tetap terjaga.

## V. PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan, sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid berkapasitas 200 Wp dengan modul surya polycrystalline yang diterapkan di Depok mampu memenuhi kebutuhan beban listrik dasar berupa penerangan dan *submersible pump* dengan kebutuhan energi harian sebesar 1973,4 Wh, dengan syarat intensitas radiasi matahari harian melebihi 2000 Wh. Konfigurasi sistem menggunakan empat modul surya pada sistem 24 V dengan susunan dua seri dan satu paralel menghasilkan daya listrik rata-rata aktual sebesar 334,77 W pada rentang waktu 11.00–16.00 WIB. Nilai ini lebih rendah sekitar 36,11% dibandingkan estimasi Global Solar Atlas sebesar 524 W, yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan nyata seperti cuaca, sudut kemiringan modul,

dan kebersihan permukaan panel surya. Sistem PLTS terbukti mampu menyuplai beban lampu dan *submersible pump* sesuai perencanaan awal, namun analisis beban menunjukkan adanya penurunan kinerja serta potensi risiko kerusakan komponen ketika sistem dioperasikan dengan beban berlebih, seperti penggunaan pompa berdaya 125 W dan penambahan beban lampu di luar kapasitas desain. Hal ini menegaskan pentingnya perencanaan kapasitas dan manajemen beban yang tepat agar sistem PLTS dapat beroperasi secara optimal, efisien, dan memiliki umur pakai yang lebih panjang

#### REFERENSI

- [1] E. Winardi, J. S. Setiadji, J. Prasetyo, P. P. Insinyur, U. K. Petra, and J. Siwalankerto, "Implementasi Smart Farming 4 . 0 dengan PLTS Off Grid di Kebun Hidroponik Perpusda Jatim," vol. 1, no. September, pp. 1–7, 2023.
- [2] P. Harahap, "Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya," pp. 73–80, 2020.
- [3] I. Watt, "PERANCANGAN PLTS ON-GRID BERBASIS MICRO," vol. 6, no. 2, pp. 120–127, 2024.
- [4] J. Juni, A. W. Hasanah, and R. Febryan, "Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid 6 , 4 Kwp Untuk 1 Unit Rumah Tinggal Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah," vol. 13, no. 1, pp. 20–25, 2021.
- [5] W. Z. Z. Muna, R. E. Rachmanita, M. Nuruddin, and N. Faizin, "Studi Evaluasi PLTS Off-Grid di Gedung Jurusan Teknik Politeknik Negeri Jember".
- [6] A. Setyawan, "PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA OFF GRID UNTUK SUPPLY CHARGE STATION," no. 1, pp. 23–28, 2022.
- [7] D. Liestyowati *et al.*, "Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( PLTS ) Berkapasitas 100 WP dengan Inverter 1000 Watt," vol. 1, no. 5, pp. 623–634, 2022, doi: 10.55123/insologi.v1i5.1027.
- [8] B. Rudiyanto, R. E. Rachmanita, and A. Budiprasojo, *PEMASANGAN*.
- [9] M. Program, S. Pendidikan, and U. Jember, "Analisis Pemanfaatan Panel Surya Tipe Polycrystalline 100 Wp Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat Pedesaan Di Indonesia," vol. 2, no. 4, pp. 982–985, 2023.
- [10] L. R. Simanjuntak and M. F. Siregar, "Rancang Bangun Alat Pengukur Panel Surya Monocrystalline Dan Polycrystalline Dengan Metode pulse Repair Battery Charger," vol. 4, no. 1, pp. 125–129, 2025.
- [11] D. Wijayanto, "RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA TERINTEGRASI PADA ATAP GERAI UMKM DI KEBON JERUK MENGGUNAKAN METODE VDI 2221," 2021.
- [12] G. R. Lumanauw, A. Akbar, S. Ramschie, and F. A. Bungkaes, "Analisa Kebutuhan Baterai Dan Sistem Pengisian Dan Pengosongan Baterai Untuk Sistem Hybrid ( PLTB & PLTS ) Di Kawasan Pesisir Danau Tondano," vol. 04, no. 01, pp. 1–12, 2025.
- [13] A. Fadilah, F., Sofiah, S. and Rikardo, "Analisis Kerja LVD (Low Voltage Disconnect) Multisistem Pada Akumulator 12 Volt Pada Panel Surya," pp. 54–59, 2023.
- [14] S. SAODAH and S. UTAMI, "Perancangan Sistem Grid Tie Inverter pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 2, p. 339, 2019, doi: 10.26760/elkomika.v7i2.339.
- [15] R. Rahmatina, M. N. Aripin, M. Ikbal, and A. Deolika, "Implementasi Transistor BD139 dan Rangkaian Relay pada Mesin Air," vol. 3, no. 1, pp. 11–18, 2023.
- [16] M. A. Baihaqi and A. Susilo, "Analisis Perbandingan Jenis PLTS 200 WP Untuk Mengukur Biaya Instalasi Pada Skala Rumah," vol. 7783, pp. 79–87, 2024.
- [17] F. Teknik and U. Pamulang, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Energi Listrik Hybrid PLTS 100Wp dengan PLTB 400W," vol. 3, no. 6, pp. 8416–8450, 2024.
- [18] B. Y. Habibie and S. Supratno, "IoT-Based Monitoring of Solar Panel Current and Voltage," vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.25124/jmecs.v11i1.8146.
- [19] B. D. Cahyono, "Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya ( PLTS ) Sebagai Catu Daya Pompa Air Submersible," vol. 7, no. 2, pp. 309–319, 2023.
- [20] S. Supriyatna, "Pemetaan Potensi Energi Surya Berbasis Global Solar Atlas di Fakultas Teknik Universitas Mataram," vol. 11, no. 2, pp. 146–153, 2024.