



Analisis Kinerja PLTS Off-Grid 800 Wp dengan Sistem Kendali Timer untuk Penerangan Cadangan Rumah Tinggal

Hadi Maqshudi¹, Belinda Ayuningtyas²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Dian Nusantara

¹531221067@mahasiswa.undira.ac.id, ²belinda.ayuningtyas@undira.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi listrik rumah tinggal terus meningkat, sementara pasokan listrik dari jaringan PLN masih sering mengalami gangguan berupa pemadaman. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid berkapasitas 800 WP yang dilengkapi baterai 12 V 200 Ah dan sistem kendali timer sebagai sumber listrik cadangan rumah tinggal. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan tahapan perancangan, perakitan, pengujian, dan analisis kinerja sistem. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi cuaca dengan mengamati energi yang dihasilkan panel surya, kemampuan pengisian baterai, serta kemampuan sistem dalam menyuplai beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan energi sebesar 1201,6 Wh pada kondisi cuaca berawan hingga cerah dan 1114,9 Wh pada kondisi cuaca mendung, hujan, dan cerah. Baterai 12 V 200 Ah mampu menyuplai beban malam hari sebesar 61,5–87,1 W selama 12 jam dengan penurunan tegangan dari 13,1 V menjadi 12,7 V. Sistem juga mampu mengoperasikan pompa air pada siang hari dengan daya 662,3–692,2 W secara stabil. Penerapan sistem kendali timer terbukti efektif dalam mengatur waktu operasional beban sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien. Dengan demikian, sistem PLTS off-grid yang dirancang dapat digunakan sebagai sumber listrik cadangan yang andal, efisien, dan ramah lingkungan secara keberlanjutan untuk rumah tinggal.

Kata Kunci: Energi Surya, PLTS Off-Grid, Sistem Kendali Timer, Baterai 12 V 200 Ah, Rumah Tinggal

1. Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik pada rumah tinggal terus meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan peralatan listrik, terutama untuk kebutuhan penerangan. Ketersediaan energi listrik yang andal menjadi faktor penting dalam menunjang aktivitas masyarakat, khususnya pada malam hari. Namun, pasokan listrik dari jaringan PLN tidak selalu dapat menjamin kontinuitas pelayanan karena masih sering terjadi gangguan berupa pemadaman listrik, baik yang terencana maupun tidak terencana (Kementerian ESDM, 2023). Kondisi tersebut dapat mengganggu aktivitas penghuni rumah dan menurunkan kenyamanan dalam penggunaan energi listrik, sehingga diperlukan sumber energi cadangan yang mampu beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan (Siregar et al., 2022).

Salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid*. PLTS merupakan sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan energi radiasi matahari sebagai sumber energi utama melalui proses konversi energi cahaya menjadi energi listrik menggunakan panel surya (Ananda, 2024). Pada sistem PLTS *off-grid*, energi listrik yang dihasilkan panel surya disimpan ke dalam baterai melalui *Solar Charge Controller* (SCC) sehingga dapat digunakan ketika tidak tersedia sinar matahari atau saat terjadi pemadaman listrik. Sistem ini mampu beroperasi secara mandiri tanpa terhubung dengan jaringan PLN sehingga sangat sesuai diterapkan sebagai sumber energi cadangan pada rumah tinggal (Abdullah & Saputra, 2021; Arbi et al., 2025).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa PLTS *off-grid* dapat menjadi solusi yang efektif dalam menyediakan energi listrik secara mandiri. Nurcholik et al. (2025) merancang PLTS *off-grid* 300 Watt pada perahu nelayan dan menunjukkan bahwa sistem mampu menyediakan suplai listrik secara mandiri meskipun kapasitas daya dan baterai yang digunakan masih terbatas. Wibowo et al. (2025) melakukan analisis teknis dan ekonomi PLTS *off-grid* pada kios kopi dan menyimpulkan bahwa penggunaan sistem kendali *timer* mampu meningkatkan efisiensi penggunaan energi baterai sehingga umur pakai baterai menjadi lebih panjang. Selanjutnya, Maula et al. (2024) merancang PLTS *off-grid* menggunakan baterai *lithium-ion* untuk kebutuhan perkebunan dan menemukan

bahwa sistem mampu mendukung pemanfaatan energi terbarukan secara efektif, meskipun masih menghadapi keterbatasan berupa degradasi kapasitas baterai akibat siklus pengisian dan pengosongan yang berulang.

Meskipun berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas PLTS *off-grid* sebagai sumber energi alternatif, sebagian besar penelitian masih menggunakan kapasitas panel surya dan baterai yang relatif kecil, yaitu berkisar antara 100–300 WP dengan kapasitas baterai sekitar 100 Ah (Agung & Susanto, 2022). Kapasitas tersebut umumnya hanya ditujukan untuk kebutuhan penerangan sederhana dan beban ringan sehingga belum mampu memberikan durasi operasi yang lebih panjang untuk kebutuhan rumah tinggal (Budianto & Wijaya, 2023). Selain itu, kajian mengenai integrasi sistem kendali *timer* pada PLTS *off-grid* dengan kapasitas yang lebih besar masih relatif terbatas.

Dalam penerapannya, penggunaan PLTS *off-grid* tanpa sistem pengendalian yang memadai sering menyebabkan energi baterai cepat habis karena beban digunakan tanpa pengaturan waktu yang jelas. Sebagai contoh, lampu penerangan yang tetap menyala sepanjang malam meskipun tidak diperlukan dapat meningkatkan konsumsi energi dan mempercepat penurunan kapasitas baterai (Firmansyah & Setiawan, 2021; Guntur & Hidayat, 2023). Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pengendalian yang mampu mengatur waktu operasional beban secara otomatis agar penggunaan energi menjadi lebih efisien. Penggunaan sistem kendali *timer* terbukti mampu mengatur waktu operasional beban secara otomatis sehingga konsumsi energi menjadi lebih efisien dan umur baterai menjadi lebih panjang (Wibowo et al., 2025).

Berdasarkan permasalahan dan hasil penelitian terdahulu tersebut, penelitian ini merancang sistem PLTS *off-grid* berkapasitas 800 WP yang menggunakan baterai 12 Volt 200 Ah sebagai media penyimpanan energi dan dilengkapi dengan sistem kendali *timer* untuk penerangan cadangan rumah tinggal (Efendi & Kurniawan, 2022). Penggunaan kapasitas panel surya dan baterai yang lebih besar dibandingkan penelitian sebelumnya diharapkan mampu meningkatkan keandalan sistem dalam menyediakan energi listrik cadangan saat terjadi pemadaman PLN (Darmawan & Pratama, 2020). Selain itu, penerapan sistem kendali *timer* diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan energi yang tersimpan dalam baterai sehingga sistem dapat beroperasi secara lebih efisien.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem PLTS *off-grid* 800 WP sebagai sumber penerangan cadangan rumah tinggal, menentukan kesesuaian penggunaan baterai 12 Volt 200 Ah terhadap kebutuhan beban, serta menganalisis penerapan sistem kendali *timer* dalam meningkatkan efektivitas pemanfaatan energi listrik. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif solusi penyediaan energi cadangan yang andal, efisien, dan mudah diterapkan pada sektor rumah tangga

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk merancang dan mengevaluasi kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* berkapasitas 800 WP yang dilengkapi baterai 12 Volt 200 Ah dan sistem kendali *timer* sebagai sumber penerangan cadangan rumah tinggal. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menghasilkan, menyimpan, dan mendistribusikan energi listrik pada berbagai kondisi operasional (Junaidi & Santoso, 2022).

Variabel bebas pada penelitian ini adalah kondisi cuaca yang meliputi cerah, berawan, mendung, dan hujan. Variabel terikat meliputi energi listrik yang dihasilkan panel surya, tegangan baterai, lama penggunaan beban, dan kinerja sistem. Sementara itu, variabel kontrol terdiri atas kapasitas panel surya 800 WP, baterai 12 Volt 200 Ah, inverter 3000 W, serta jenis beban yang digunakan selama pengujian.

2.2 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis yang diawali dengan (1) perencanaan kebutuhan energi melalui identifikasi kebutuhan daya listrik rumah tinggal berdasarkan jenis dan kapasitas beban yang digunakan sebagai dasar dalam menentukan kapasitas panel surya, baterai, inverter, dan komponen pendukung lainnya, kemudian dilanjutkan dengan (2) pemilihan komponen sistem yang meliputi panel surya *polycrystalline* 800 WP, baterai 12 Volt 200 Ah, *Solar Charge Controller* (SCC), inverter *pure sine wave* 3000 W, kontaktor, *timer*, MCB, serta perangkat pemantauan daya. Selanjutnya dilakukan (3) perancangan dan perakitan sistem melalui penyusunan diagram sistem, pemasangan komponen, dan pengkabelan sesuai rancangan PLTS *off-grid* yang telah ditetapkan agar sistem dapat beroperasi secara aman dan optimal. Tahap berikutnya adalah (4) pengujian sistem pada berbagai kondisi cuaca untuk mengetahui pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap proses pengisian baterai serta kemampuan sistem dalam menyuplai beban listrik. Setelah seluruh data pengujian diperoleh, dilakukan (5) analisis data untuk mengevaluasi kinerja sistem, efisiensi pemanfaatan energi, dan kemampuan baterai dalam mendukung

kebutuhan beban rumah tinggal sehingga dapat diketahui tingkat keandalan sistem PLTS *off-grid* yang dirancang sebagai sumber listrik cadangan rumah tangga (Siregar et al., 2022).

2.3 Prosedur Pengujian

Pengujian sistem dilakukan melalui beberapa tahapan yang diawali dengan (1) merakit seluruh komponen PLTS *off-grid* sesuai dengan rancangan sistem yang telah dibuat, kemudian (2) mengukur tegangan awal baterai sebelum proses pengisian untuk mengetahui kondisi awal penyimpanan energi. Selanjutnya dilakukan (3) pengukuran tegangan dan arus keluaran panel surya pada berbagai kondisi cuaca, seperti cerah, berawan, mendung, dan hujan, untuk mengetahui pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap kinerja sistem. Tahap berikutnya adalah (4) memantau proses pengisian baterai secara berkala dengan mencatat perubahan tegangan dan arus selama proses pengisian berlangsung. Setelah baterai mencapai kapasitas yang ditentukan, dilakukan (5) pengujian kemampuan baterai dalam menyuplai beban penerangan dan beban rumah tangga yang telah direncanakan. Selanjutnya (6) dilakukan perhitungan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dan energi yang dikonsumsi oleh beban selama pengujian sebagai dasar untuk mengevaluasi kinerja dan efisiensi sistem PLTS *off-grid*.

2.4 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi tang ampere, tang potong, tang kombinasi, obeng, *cutter*, tespen, dan alat ukur kelistrikan. Adapun bahan penelitian terdiri atas panel surya *polycrystalline* 800 WP, baterai 12 Volt 200 Ah, SCC 20 A, inverter *pure sine wave* 3000 W, kontaktor Schneider LC1D09, *timer* analog Theben SUL 181 h, MCB AC dan DC, lampu LED, kipas angin, charger telepon seluler, kabel instalasi, serta perangkat pendukung lainnya.

2.5 Perhitungan Beban dan Kapasitas Baterai

Beban malam hari terdiri atas tiga lampu LED 10 W, satu lampu LED 7 W, *charger* telepon seluler 45 W, dan kipas angin 37 W sehingga total daya beban malam hari sebesar 119 W. Sementara itu, beban siang hari berupa pompa air berdaya 700 W yang dioperasikan pada saat energi matahari tersedia. Untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyuplai beban, dilakukan perhitungan energi yang tersimpan pada baterai.

Energi total baterai dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$E = V \times Ah \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

E = Energi baterai (Wh)

V = Tegangan baterai (Volt)

Ah = Kapasitas baterai (*Ampere-hour*)

Berdasarkan spesifikasi baterai 12 Volt 200 Ah, diperoleh:

$$E = 12 \times 200$$

$$E = 2400 \text{ Wh}$$

Karena energi listrik yang digunakan harus melalui inverter, maka energi efektif yang dapat dimanfaatkan dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi inverter sebesar 85% menggunakan Persamaan (2).

$$E_{ef} = E_b \times \eta \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

E_{ef} = Energi efektif baterai (Wh)

E_b = Energi total baterai (Wh)

η = Efisiensi inverter

Substitusi nilai:

$$E_{ef} = 2400 \times 0,85$$

$$E_{ef} = 2040 \text{ Wh}$$

Selanjutnya, estimasi lama operasi beban malam hari dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$t = E_{ef} / P_b \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

t = Lama operasi beban (jam)

Eef = Energi efektif baterai (Wh)

P_b = Total daya beban (W)

Substitusi nilai:

$t = 2040 / 119$

$t = 17,14$ jam

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sistem PLTS *off-grid* secara teoritis mampu menyuplai beban malam hari selama 17,14 jam. Namun, untuk menjaga umur pakai baterai dan mempertimbangkan batas aman *Depth of Discharge* (DoD), waktu operasi yang direkomendasikan berada pada rentang 10–12 jam. Dengan penerapan sistem kendali *timer*, penggunaan energi dapat diatur secara lebih efisien sehingga kinerja dan keandalan sistem sebagai sumber penerangan cadangan rumah tinggal dapat ditingkatkan.

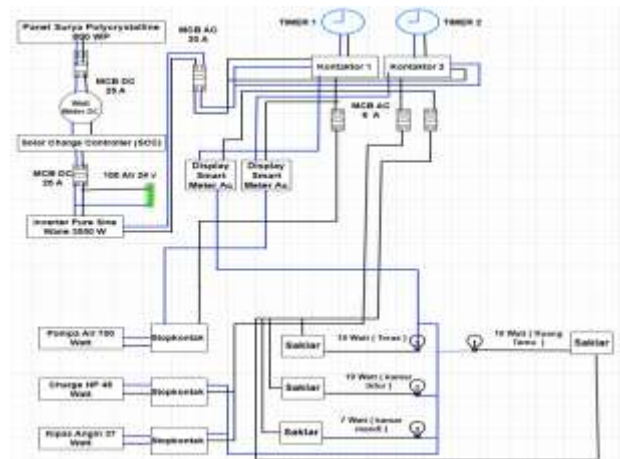
2.7 Konfigurasi Sistem PLTS



Gambar 1. Rangkaian Instalasi PLTS

Sistem PLTS *off-grid* terdiri atas panel surya, SCC, baterai, inverter, kontaktor, *timer*, MCB, watt meter DC, dan *smart meter*. Energi yang dihasilkan panel surya disimpan dalam baterai melalui SCC, kemudian dikonversi menjadi tegangan AC oleh inverter untuk menyuplai beban rumah tangga. Penggunaan *timer* memungkinkan pengaturan waktu operasi beban secara otomatis sehingga pemanfaatan energi menjadi lebih efisien.

2.8 Diagram Kelistrikan Sistem



Gambar 2. Diagram Kelistrikan PLTS Off-Grid

Diagram kelistrikan menunjukkan hubungan antar komponen sistem mulai dari panel surya, SCC, baterai, inverter, sistem proteksi, hingga beban. Sistem dirancang untuk menyediakan energi listrik cadangan rumah tinggal secara aman, andal, dan efisien melalui pengaturan waktu operasi menggunakan *timer*.

3. Hasil dan Diskusi

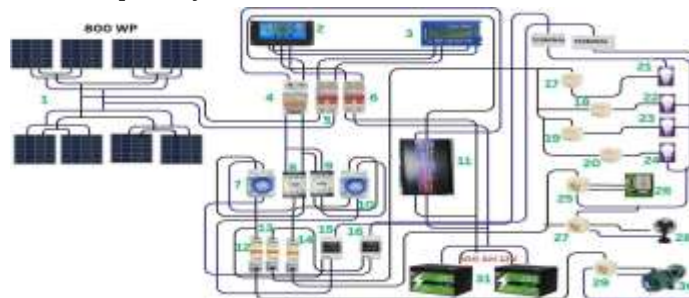
3.1 Spesifikasi dan Desain Sistem PLTS Off-Grid

Sistem PLTS *off-grid* yang dirancang menggunakan panel surya *polycrystalline* 800 WP, baterai 12 V 200 Ah, *Solar Charge Controller* (SCC) 20 A, dan inverter *pure sine wave* 3000 W. Sistem juga dilengkapi dengan *timer*, kontaktor, watt meter DC, dan *smart meter* untuk mendukung pengendalian serta pemantauan kinerja sistem. Beban yang digunakan terdiri atas tiga lampu LED 10 W, satu lampu LED 7 W, *charger* telepon seluler 45 W, kipas angin 37 W, dan pompa air 700 W. Spesifikasi komponen utama yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Sistem PLTS Off-Grid

Komponen	Spesifikasi
Panel Surya	800 WP, <i>Polycrystalline</i>
SCC	20 A
Baterai	12 V 200 Ah
Inverter	<i>Pure Sine Wave</i> 3000 W
Kontaktor	Schneider LC1D09
Timer	Theben SUL 181 h
Smart Meter	D52-2066 DIN Rail AC Monitor
Beban	Lampu, kipas angin, <i>charger</i> HP, dan pompa air

Pengujian dilakukan pada rumah tinggal di Kelurahan Duri Kosambi dengan panel surya yang dipasang pada atap rumah pada ketinggian sekitar 6 m dari permukaan tanah. Konfigurasi panel terdiri atas empat panel dengan kemiringan 14,4° menghadap barat laut dan empat panel dengan kemiringan 3,6° menghadap timur laut. Pengamatan dilakukan pada kondisi cuaca cerah, berawan, mendung, dan hujan untuk mengetahui pengaruh intensitas radiasi matahari terhadap kinerja sistem.



Gambar 3. Rangkaian Sistem PLTS Off-Grid

Gambar 1 menunjukkan konfigurasi sistem yang terdiri atas panel surya, SCC, baterai, inverter, MCB, *timer*, kontaktor, dan perangkat pemantauan daya. Energi yang dihasilkan panel surya disalurkan menuju SCC untuk mengatur proses pengisian baterai sebelum disimpan sebagai cadangan energi. Energi yang tersimpan kemudian dikonversi oleh inverter menjadi tegangan AC 220 V untuk menyuplai beban rumah tangga. Penggunaan *timer* dan kontaktor memungkinkan pengoperasian beban secara otomatis sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien dan sistem dapat berfungsi sebagai sumber listrik cadangan rumah tinggal saat terjadi pemadaman listrik dari jaringan PLN.

3.2 Kinerja Pengisian Baterai oleh Sistem PLTS

Pengamatan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem PLTS *off-grid* dalam mengisi baterai 12 V 200 Ah selama periode pengujian pukul 07.00–17.00 WIB. Parameter yang diamati meliputi kondisi cuaca, tegangan panel surya, arus, daya keluaran, tegangan baterai, dan energi yang dihasilkan. Hasil pengamatan pada hari pertama dan hari kedua ditunjukkan pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengamatan PLTS Hari Pertama

No	Jam	Cuaca	Tegangan Panel (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Baterai (V)	Energi (Wh)
1	07:00	Berawan	13,60	5,26	71,7	13,4	31,8
2	08:00	Berawan	13,80	8,70	120,1	13,6	120,0
3	09:00	Cerah	13,82	9,00	124,4	13,6	288,3
4	10:00	Cerah	13,37	9,87	132,1	13,6	337,1
5	11:00	Cerah	13,27	7,76	103,0	13,6	354,5
6	12:00	Cerah	13,48	10,18	137,3	13,6	647,4
7	13:00	Cerah	13,75	8,25	113,5	13,5	863,5
8	14:00	Cerah	13,80	9,34	129,0	13,6	982,4

9	15:00	Cerah	13,80	9,11	125,7	13,6	1046,8
10	16:00	Cerah	13,68	6,10	83,4	13,5	1156,6
11	17:00	Cerah	13,48	2,12	28,5	13,4	1201,6



Gambar 4. Output Panel Surya Hari Pertama

Berdasarkan Tabel 2, kondisi cuaca pada pagi hari masih berawan sehingga daya yang dihasilkan panel surya berada pada kisaran 71,7–120,1 W. Ketika cuaca berubah menjadi cerah mulai pukul 09.00 WIB, daya keluaran panel meningkat dan mencapai nilai maksimum sebesar 137,3 W pada pukul 12.00 WIB. Setelah pukul 15.00 WIB daya mulai menurun akibat berkurangnya intensitas radiasi matahari pada sore hari. Energi total yang berhasil dihasilkan dan tersimpan pada baterai mencapai 1201,6 Wh dengan tegangan baterai relatif stabil pada kisaran 13,4–13,6 V.

Tabel 3. Hasil Pengamatan PLTS Hari Kedua

No	Jam	Cuaca	Tegangan Panel (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan Baterai (V)	Energi (Wh)
1	07:00	Mendung	12,68	3,11	39,4	12,6	146,6
2	08:00	Mendung	12,61	2,03	25,6	12,5	150,2
3	09:00	Hujan	12,77	5,24	66,9	12,6	176,3
4	10:00	Mendung	13,25	7,74	102,5	13,1	317,2
5	11:00	Mendung	13,28	8,10	107,7	13,1	349,7
6	12:00	Cerah	13,52	11,77	159,1	13,2	522,7
7	13:00	Cerah	13,59	11,51	156,5	13,3	597,3
8	14:00	Cerah	13,62	9,85	134,3	13,4	790,8
9	15:00	Cerah	13,80	9,46	130,6	13,5	925,8
10	16:00	Cerah	13,66	8,56	117,0	13,5	1025,6
11	17:00	Cerah	13,48	4,89	66,0	13,5	1114,9



Gambar 5. Output Panel Surya Hari Kedua

Hasil pengamatan pada hari kedua menunjukkan kondisi cuaca yang lebih bervariasi, yaitu mendung, hujan, dan cerah. Kondisi tersebut menyebabkan daya keluaran panel surya pada pagi hari relatif rendah, yaitu antara 25,6–66,9 W. Ketika cuaca berubah menjadi cerah pada siang hari, daya keluaran meningkat dan mencapai nilai maksimum sebesar 159,1 W pada pukul 12.00 WIB. Energi total yang berhasil dihasilkan selama pengujian sebesar 1114,9 Wh, lebih rendah dibandingkan hari pertama. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi cuaca dan intensitas penyinaran matahari berpengaruh langsung terhadap jumlah energi yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS.

Berdasarkan hasil pengamatan selama dua hari, sistem PLTS *off-grid* berkapasitas 800 WP mampu mengisi baterai 12 V 200 Ah dengan baik. Energi yang dihasilkan pada hari pertama mencapai 1201,6 Wh, sedangkan pada hari kedua sebesar 1114,9 Wh. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa kinerja sistem sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Semakin tinggi intensitas penyinaran matahari yang diterima panel surya, semakin besar daya dan energi yang dihasilkan. Sebaliknya, kondisi mendung dan hujan menyebabkan penurunan keluaran daya sehingga energi yang tersimpan pada baterai menjadi lebih rendah.

3.3 Pengamatan Pemakaian PLTS pada Beban Siang dan Malam Hari

a. Pemakaian Beban Siang Hari

Pengujian siang hari dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem PLTS *off-grid* dalam menyuplai beban pompa air Shimizu PC-268 BIT saat panel surya menghasilkan energi listrik. Selain digunakan untuk mengoperasikan pompa air, energi yang dihasilkan panel surya juga digunakan untuk mengisi baterai. Pada pengujian ini digunakan *timer* analog yang mengatur operasi pompa secara otomatis pada pukul 10.00–10.20 WIB dan 14.00–14.20 WIB dengan total waktu operasi selama 40 menit.

Tabel 4. Hasil Pengujian Beban Siang Hari

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.10989>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

No	Waktu	Daya (W)	Energi (kWh)	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Faktor Daya	Baterai (V)
1	10:00	690,0	8,71	223,3	3,110	49,9	0,99	13,3
2	10:20	662,3	8,94	221,3	3,003	50,0	0,99	12,2
3	14:00	692,2	9,09	225,8	3,087	50,0	0,99	13,3
4	14:20	664,3	9,31	222,4	2,998	50,0	0,99	12,2



Gambar 6. Pengoperasian Pompa Air pada Siang Hari

Berdasarkan Tabel 4, daya beban yang digunakan berada pada kisaran 662,3–692,2 W dengan tegangan keluaran inverter antara 221,3–225,8 V. Frekuensi sistem relatif stabil pada 49,9–50,0 Hz dengan faktor daya sebesar 0,99. Tegangan baterai saat pompa mulai beroperasi berada pada kisaran 13,3 V dan menurun menjadi sekitar 12,2 V setelah operasi berlangsung. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu menyuplai pompa air secara stabil tanpa mengalami gangguan tegangan maupun frekuensi selama periode pengujian (Kurniawan & Wibowo, 2023).



Gambar 7. Beban Listrik Ketika digunakan di Siang Hari Penggunaan Pompa Air Shimizu pc- 268 bit

b. Pemakaian Beban Malam Hari

Pengujian malam hari dilakukan untuk mengetahui kemampuan baterai dalam menyuplai beban ketika panel surya tidak menghasilkan energi listrik. Pada kondisi ini seluruh beban disuplai oleh baterai 12 V 200 Ah yang terdiri atas tiga lampu LED 10 W, satu lampu LED 7 W, *charger* telepon seluler 45 W, dan kipas angin 37 W. Sistem dioperasikan menggunakan *timer* analog yang mengatur waktu operasi mulai pukul 18.00 WIB hingga 06.00 WIB dengan total waktu operasi selama 12 jam.

Tabel 5. Hasil Pengujian Beban Malam Hari

No	Waktu	Daya (W)	Energi (kWh)	Tegangan (V)	Arus (A)	Frekuensi (Hz)	Faktor Daya	Baterai (V)
1	18:00	87,1	8,05	225,0	0,475	50,0	0,81	13,1
2	19:00	67,1	8,12	222,0	0,371	50,0	0,81	13,1
3	20:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	13,1
4	21:00	61,6	8,17	220,3	0,342	49,9	0,81	13,1
5	22:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	13,0
6	23:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	13,0
7	00:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	12,9
8	01:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	12,9
9	02:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	12,8
10	03:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	12,8
11	04:00	61,5	8,17	220,4	0,342	50,0	0,81	12,8
12	05:00	61,5	8,53	220,2	0,343	50,0	0,81	12,7
13	06:00	61,5	8,59	220,3	0,342	50,0	0,81	12,7



Gambar 8. Pengoperasian Beban pada Malam Hari

Berdasarkan Tabel 5, daya beban pada awal pengujian sebesar 87,1 W akibat adanya penggunaan *charger* telepon seluler, kemudian stabil pada kisaran 61,5 W hingga akhir pengujian. Tegangan baterai mengalami penurunan bertahap dari 13,1 V menjadi 12,7 V setelah digunakan selama 12 jam. Meskipun demikian, tegangan keluaran inverter tetap stabil pada kisaran 220–225 V dengan frekuensi sekitar 50 Hz dan faktor daya sebesar 0,81. Hasil tersebut menunjukkan bahwa baterai 12 V 200 Ah mampu menyuplai kebutuhan penerangan dan beban ringan secara kontinu selama periode malam hari tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan (Lestari & Amin, 2021).



Gambar 9. Beban Listrik Ketika Digunakan di Malam Hari

3.4 Hasil Pengujian Sistem PLTS Off-Grid

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem PLTS *off-grid* mampu menyuplai beban listrik pada siang dan malam hari dengan baik dan stabil. Pada pengujian siang hari, sistem digunakan untuk mengoperasikan pompa air Shimizu PC-268 BIT dengan daya berkisar antara 662,3–692,2 W. Pengoperasian pompa dilakukan secara otomatis menggunakan *timer* analog pada pukul 10.00–10.20 WIB dan 14.00–14.20 WIB dengan total waktu operasi selama 40 menit. Selama pengujian, sistem mampu mempertahankan tegangan keluaran pada kisaran 221,3–225,8 V dengan frekuensi stabil sekitar 50 Hz dan faktor daya sebesar 0,99. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu menyuplai beban pompa air secara optimal tanpa mengalami gangguan kualitas daya listrik.

Pada pengujian malam hari, seluruh beban disuplai oleh baterai 12 V 200 Ah yang terdiri atas lampu LED, *charger* telepon seluler, dan kipas angin. Beban dioperasikan mulai pukul 18.00 WIB hingga 06.00 WIB menggunakan *timer* analog dengan total waktu operasi selama 12 jam. Daya beban yang terukur berada pada kisaran 61,5–87,1 W. Selama periode pengujian, tegangan baterai mengalami penurunan secara bertahap dari 13,1 V menjadi 12,7 V. Meskipun demikian, sistem tetap mampu menyuplai beban secara stabil dengan tegangan keluaran inverter yang berada pada kisaran normal (Mulyono & Suharto, 2024).

Pengoperasian beban dilakukan dengan memperhatikan indikator kapasitas baterai pada *Solar Charge Controller* (SCC). Beban hanya dioperasikan ketika indikator baterai menunjukkan minimal empat tingkat dengan tegangan sekitar 13,1–13,3 V. Pengaturan tersebut bertujuan untuk menjaga kapasitas baterai, mencegah pengosongan berlebihan (*deep discharge*), serta memperpanjang umur pakai baterai. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS *off-grid* yang dirancang mampu berfungsi sebagai sumber listrik cadangan rumah tinggal dengan kinerja yang andal baik pada siang maupun malam hari.

3.5 Hasil Pengamatan Proses Pengisian Baterai

Pengamatan proses pengisian baterai dilakukan selama dua hari untuk mengetahui pengaruh kondisi cuaca terhadap kemampuan panel surya dalam menghasilkan energi listrik dan mengisi baterai. Parameter yang diamati meliputi tegangan awal dan akhir panel surya, tegangan awal dan akhir baterai, waktu pengisian, serta energi yang berhasil disimpan selama proses pengisian. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengamatan Proses Pengisian Baterai

Parameter	Hari ke-1	Hari ke-2
Tegangan Awal Panel Surya (V)	13,60	12,68

DOI: <https://doi.org/10.31004/riggs.v5i2.10989>

Lisensi: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Tegangan Akhir Panel Surya (V)	13,48	13,48
Tegangan Awal Baterai (V)	13,4	12,6
Tegangan Akhir Baterai (V)	13,4	13,5
Waktu Pengisian (jam)	10	10
Energi Masuk (Wh)	1201,6	1114,9
Kondisi Cuaca	Berawan dan Cerah	Mendung, Hujan, dan Cerah



Gambar 10. Hasil Pengamatan Tegangan Panel Surya dan Baterai Selama Pengisian

Berdasarkan Tabel 6, proses pengisian baterai pada hari pertama berlangsung pada kondisi cuaca berawan dan cerah. Selama 10 jam pengamatan, energi yang berhasil dihasilkan dan disimpan mencapai 1201,6 Wh. Tegangan baterai relatif stabil pada kisaran 13,4 V yang menunjukkan bahwa kapasitas baterai telah berada pada kondisi hampir penuh. Kondisi cuaca yang didominasi sinar matahari memungkinkan panel surya menghasilkan energi yang lebih besar sehingga proses pengisian berlangsung lebih optimal.

Pada hari kedua, kondisi cuaca lebih bervariasi karena terjadi mendung dan hujan pada beberapa periode pengamatan sebelum kembali cerah pada siang hari. Tegangan baterai meningkat dari 12,6 V menjadi 13,5 V setelah proses pengisian selama 10 jam. Energi yang berhasil masuk ke baterai sebesar 1114,9 Wh, lebih rendah dibandingkan hari pertama. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya berpengaruh langsung terhadap jumlah energi yang dapat dihasilkan dan disimpan dalam baterai.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi cuaca merupakan faktor utama yang memengaruhi efektivitas proses pengisian baterai pada sistem PLTS *off-grid*. Cuaca cerah menghasilkan energi yang lebih besar dibandingkan kondisi mendung atau hujan. Meskipun demikian, sistem tetap mampu melakukan proses pengisian baterai dengan baik selama masih tersedia paparan sinar matahari yang cukup, sehingga dapat mendukung kebutuhan energi listrik cadangan pada rumah tinggal.

3.6 Pemeliharaan Sistem PLTS

Pemeliharaan sistem PLTS dilakukan secara berkala untuk menjaga kinerja sistem agar tetap optimal dan memperpanjang umur pakai komponen. Kegiatan pemeliharaan meliputi pembersihan panel surya, pemeriksaan kondisi baterai, pengecekan kabel dan sambungan, pemeriksaan inverter dan *Solar Charge Controller* (SCC), serta pemeriksaan *timer* analog.

Pembersihan panel surya dilakukan secara rutin untuk menghilangkan debu, daun, dan kotoran yang dapat mengurangi penyerapan radiasi matahari. Dokumentasi kegiatan pembersihan panel surya ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Pembersihan Panel Surya

Pemeriksaan baterai dilakukan melalui SCC untuk memastikan tegangan baterai berada dalam kondisi normal dan tidak mengalami *over-discharge*. Dokumentasi pemeriksaan SCC dan baterai ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Pemeriksaan Solar Charge Controller (SCC)



Gambar 13. Pemeriksaan Baterai

Pemeriksaan kabel dan sambungan dilakukan untuk memastikan tidak terdapat kerusakan, korosi, ataupun sambungan yang longgar yang dapat menyebabkan rugi-rugi daya atau gangguan pada sistem. Dokumentasi kegiatan tersebut ditunjukkan pada Gambar 14.



Gambar 14. Pemeriksaan Kabel dan Sambungan

Selanjutnya dilakukan pemeriksaan inverter dan SCC untuk memastikan seluruh indikator dan fungsi pengoperasian bekerja dengan normal. Dokumentasi pemeriksaan inverter dan SCC ditunjukkan pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Pemeriksaan Inverter



Gambar 16. Pemeriksaan Solar Charge Controller (SCC)

Pemeriksaan *timer* analog dilakukan untuk memastikan jadwal operasi beban berjalan sesuai pengaturan yang telah ditetapkan. Dokumentasi kegiatan ini ditunjukkan pada Gambar 4.36.



Gambar 4.36. Pemeriksaan Timer Analog

Hasil pemeliharaan menunjukkan bahwa seluruh komponen sistem berada dalam kondisi baik dan berfungsi normal. Pemeliharaan yang dilakukan secara rutin mampu menjaga kestabilan suplai energi listrik serta mengurangi risiko kerusakan pada komponen PLTS selama masa operasional.

3.7 Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS *off-grid* berkapasitas 800 WP mampu beroperasi dengan baik sebagai sumber listrik cadangan rumah tinggal. Berdasarkan hasil pengamatan, energi yang dihasilkan panel surya mencapai 1201,6 Wh pada kondisi cuaca berawan hingga cerah dan 1114,9 Wh pada kondisi cuaca mendung, hujan, dan cerah. Perbedaan energi yang dihasilkan menunjukkan bahwa intensitas radiasi matahari merupakan faktor utama yang memengaruhi kinerja panel surya. Semakin tinggi intensitas penyinaran yang diterima panel, semakin besar daya dan energi yang dihasilkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Maula et al. (2024) yang menyatakan bahwa performa PLTS *off-grid* sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan ketersediaan radiasi matahari sebagai sumber energi utama.

Penggunaan baterai 12 V 200 Ah pada penelitian ini terbukti mampu menyimpan energi dan menyuplai beban malam hari selama 12 jam dengan penurunan tegangan yang relatif kecil, yaitu dari 13,1 V menjadi 12,7 V. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kapasitas baterai yang digunakan telah sesuai dengan kebutuhan beban yang direncanakan. Dibandingkan penelitian Nurcholik et al. (2025) dan Wibowo et al. (2025) yang menggunakan baterai 100 Ah, sistem pada penelitian ini memiliki kapasitas penyimpanan energi yang lebih besar sehingga mampu memberikan waktu operasi yang lebih panjang dan lebih andal untuk kebutuhan rumah tinggal.

Pada pengujian beban siang hari, sistem mampu mengoperasikan pompa air dengan daya 662,3–692,2 W secara stabil pada tegangan 221,3–225,8 V dan frekuensi sekitar 50 Hz. Sementara itu, pada pengujian malam hari sistem mampu menyuplai beban penerangan, kipas angin, dan *charger* telepon seluler dengan daya 61,5–87,1 W tanpa mengalami gangguan operasi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang tidak hanya mampu melayani beban ringan, tetapi juga mampu mendukung beban dengan daya yang lebih besar pada siang hari ketika energi matahari tersedia. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Arbi et al. (2025) yang menyatakan bahwa PLTS *off-grid* efektif digunakan sebagai sumber energi mandiri, namun penelitian ini menunjukkan kapasitas sistem yang lebih besar sehingga mampu melayani variasi beban yang lebih luas.

Penerapan *Timer Analog Switch* Theben SUL 181 h juga terbukti efektif dalam mengatur waktu operasional beban secara otomatis. Pengaturan jadwal operasi pompa air pada siang hari dan penerangan pada malam hari mampu mengoptimalkan penggunaan energi yang tersedia serta mengurangi risiko pengosongan baterai secara berlebihan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Wibowo et al. (2025) dan Ananda (2024) yang menyimpulkan bahwa penggunaan sistem kendali *timer* dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi dan membantu menjaga umur pakai baterai.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Pengujian hanya dilakukan dalam periode waktu yang relatif singkat dan pada satu lokasi pemasangan sehingga belum sepenuhnya menggambarkan kinerja sistem dalam berbagai kondisi musim dan lingkungan yang berbeda. Selain itu, penelitian belum menganalisis efisiensi panel surya secara rinci, *Depth of Discharge* (DoD) baterai, serta aspek ekonomi seperti biaya investasi, biaya operasional, dan periode pengembalian investasi (*payback period*). Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian jangka panjang, menggunakan sistem pemantauan berbasis *Internet of Things* (IoT), serta melakukan analisis teknis dan ekonomi yang lebih komprehensif agar diperoleh gambaran kinerja sistem yang lebih menyeluruh.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem PLTS *off-grid* 800 WP dengan baterai 12 V 200 Ah dan kendali *timer* memiliki kinerja yang baik, mampu menyediakan energi listrik cadangan secara stabil, serta

memberikan efisiensi penggunaan energi yang lebih optimal dibandingkan sistem berkapasitas lebih kecil yang banyak digunakan pada penelitian sebelumnya.

4. Kesimpulan

Sistem PLTS *off-grid* 800 WP dengan baterai 12 V 200 Ah dan kendali *timer* berhasil dirancang serta mampu beroperasi sebagai sumber listrik cadangan rumah tinggal. Sistem dapat menyuplai beban siang dan malam hari secara stabil, dengan energi yang dihasilkan mencapai 1201,6 Wh pada kondisi cuaca cerah dan 1114,9 Wh pada kondisi cuaca mendung hingga hujan. Baterai mampu mempertahankan suplai energi selama 12 jam dengan penurunan tegangan yang masih berada pada batas aman. Penerapan *timer* terbukti efektif dalam mengatur waktu operasional beban sehingga penggunaan energi menjadi lebih efisien. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menambah kapasitas panel surya dan baterai serta menerapkan sistem monitoring otomatis agar kinerja dan efisiensi sistem dapat ditingkatkan

Referensi

1. Abdullah, A., & Saputra, R. (2021). *Teknologi fotovoltaik: Prinsip kerja dan penerapannya*. Penerbit Informatika.
2. Agung, B., & Susanto, H. (2022). Perbandingan kinerja panel surya monokristalin dan polycrystalline pada kondisi iklim tropis. *Jurnal Teknik Energi Terbarukan*, 3(1), 12–20.
3. Ananda, I. N. W. (2024). Perencanaan sistem PLTS off-grid untuk lampu penerangan di Villa Bulgari Resort Bali. *Jurnal Teknik Mesin dan Elektro*, 12(2), 55–62.
4. Arbi, M. K., Zakati, Z., Lateko, A. A. H., & Zainuddin, Z. (2025). Perancangan dan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya off-grid pada rumah kebun di Kabupaten Jeneponto. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi (AJST)*, 5(1), 33–40.
5. Budianto, E., & Wijaya, K. (2023). Pengaruh sudut kemiringan dan arah hadap panel surya terhadap produksi energi listrik. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 19(2), 89–96.
6. Darmawan, I., & Pratama, Y. (2020). *Sistem penyimpanan energi: Teknologi baterai untuk aplikasi PLTS*. Penerbit Andi.
7. Efendi, R., & Kurniawan, D. (2022). Analisis kapasitas baterai pada sistem PLTS off-grid berdasarkan kebutuhan beban rumah tangga. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 14(3), 211–218.
8. Firmansyah, A., & Setiawan, B. (2021). Peran solar charge controller dalam optimalisasi pengisian daya baterai. *Jurnal Teknologi Elektro dan Terbarukan*, 2(1), 45–53.
9. Guntur, S., & Hidayat, N. (2023). Studi perbandingan kinerja SCC tipe PWM dan MPPT pada sistem PLTS. *Jurnal Energi Listrik*, 8(1), 34–41.
10. Junaidi, A., & Santoso, B. (2022). Sistem kendali otomatis berbasis timer untuk efisiensi penggunaan energi listrik. *Jurnal Kontrol dan Instrumentasi*, 13(1), 56–63.
11. Kementerian ESDM. (2023). *Laporan statistik kelistrikan nasional 2023*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
12. Kurniawan, H., & Wibowo, S. (2023). Perancangan rangkaian pengaman dan distribusi daya pada sistem PLTS skala rumah tangga. *Jurnal Instalasi Listrik dan Pengamanan*, 5(2), 22–30.
13. Lestari, R., & Amin, S. (2021). *Pemeliharaan dan perawatan sistem pembangkit listrik tenaga surya*. ITS Press.
14. Maula, N., Zamzami, & Yassir. (2024). Perencanaan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) off-grid menggunakan baterai lithium-ion untuk perkebunan di Desa Blang Pie. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 7(3), 201–208.
15. Mulyono, B., & Suharto. (2024). Analisis kelayakan teknis dan operasional PLTS off-grid sebagai sumber energi cadangan. *Jurnal Penelitian Teknik Elektro*, 6(1), 101–110.
16. Nurcholik, S. D., Aprillia, H., Sugiarto, K., & Al Falah, J. (2025). Desain PLTS 300 watt off-grid pada perahu nelayan sebagai sumber energi listrik. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terbarukan*, 78–84.
17. Siregar, B., Harahap, M., & Ritonga, R. (2022). Analisis perancangan sistem PLTS off-grid untuk rumah tinggal. *Jurnal Teknik Elektro*, 10(2), 45–52.
18. Wibowo, M., Septian, A., Juhana, & Rojak, O. A. (2025). Analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik tenaga surya off-grid pada kios coffee. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 8(1), 112–119.