

Simulasi dan Perancangan PLTS Offgrid 3 kW Menggunakan Software PVsyst

Deni Tri Laksono^{1*}, Luis Adi Candra Putra Pratama², Achmad Ubaidillah³,
Monika Faswia Fahmi⁴, Dedi Tri Laksono⁵

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Trunojoyo Madura

⁵Teknik Listrik, Politeknik Negeri Padang

Email: ¹deni.laksono@trunojoyo.ac.id, ²luisadicandrap@gmail.com, ³ubaidillah.ms@trunojoyo.ac.id,

⁴monika.faswiaf@trunojoyo.ac.id, ⁵deditrilaksono@pnp.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstract- This study designs and simulates a 3 kW off-grid Solar Power Plant (PLTS) using PVsyst software. The off-grid PLTS is an effective alternative energy solution for remote areas without access to conventional power grids. The design process involves an in-depth analysis of daily energy needs, calculations of key components such as solar panels, batteries, solar charge controllers (SCC), and inverters, as well as system performance simulations using site-specific data. The simulation results show that the system can meet the energy requirement of 3000 Wh/day, with a Performance Ratio (PR) of 73.97% in variation 2, which falls within the feasible implementation range of 70%-90%. The economic analysis confirms the financial viability of the project, with a positive Net Present Value (NPV) of IDR 22,000,000 in both variations, and the shortest payback period occurring in variation 2 at 4 years and 11 months. The simulation results using PVsyst demonstrate that both panel configuration variations—six 100 Wp panels and three 200 Wp panels—are capable of producing more than 938 kWh of annual energy with a Performance Ratio above 73%. Variation 2, with three 200 Wp panels, delivers slightly better results and records the fastest payback period at 4 years and 11 months. Therefore, the PLTS system is considered technically and financially feasible for implementation. The 3 kW off-grid PLTS system is designed to meet the energy demand of 3000 Wh/day, with PVsyst simulation showing a Performance Ratio of 75%, despite being affected by shading and temperature. Economic analysis proves its viability through an NPV of IDR 40.18 million and a payback period of 2 years and 9 months, making it a cost-effective, environmentally friendly solution that supports the transition to renewable energy.

Intisari- Penelitian ini merancang dan mensimulasikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* berkapasitas 3 kW menggunakan perangkat lunak PVsyst. PLTS *off-grid* merupakan solusi energi alternatif yang efektif untuk daerah terpencil tanpa akses jaringan listrik konvensional. Proses perancangan melibatkan analisis mendalam kebutuhan energi harian, perhitungan komponen utama seperti panel surya, baterai, *solar charge controller* (SCC), dan inverter, serta simulasi kinerja sistem menggunakan data lokasi spesifik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu memenuhi kebutuhan energi sebesar 3000 Wh/hari, dengan *Performance Ratio* (PR) sebesar 73,97% pada variasi 2, yang berada dalam rentang kelayakan implementasi yaitu 70%-90%. Analisis ekonomi mengonfirmasi proyek ini memiliki kelayakan finansial, dengan *Net Present Value* (NPV) positif Rp22.000.000 di kedua variasi, serta periode pengembalian investasi terpendek pada variasi 2 selama 4 tahun 11 bulan. 3. Hasil simulasi menggunakan PVsyst menunjukkan bahwa kedua variasi konfigurasi panel, baik 6 panel 100 Wp maupun 3 panel 200 Wp, mampu menghasilkan energi tahunan lebih dari 938 kWh dengan *Performance Ratio* di atas 73%. Variasi 2, dengan 3 panel 200 Wp, memberikan hasil

yang sedikit lebih baik dan mencatat periode pengembalian investasi tercepat, yaitu 4 tahun 11 bulan. Oleh karena itu, sistem PLTS ini dinilai layak diimplementasikan dari sisi teknis dan finansial. Sistem PLTS *off-grid* 3 kW dirancang memenuhi kebutuhan energi 3000 Wh/hari, dengan simulasi PVsyst menunjukkan *Performance Ratio* 75% meski terdampak bayangan dan suhu. Analisis ekonomi membuktikan kelayakan melalui NPV Rp40,18 juta dan *payback period* 2 tahun 9 bulan, menjadikannya solusi hemat biaya, ramah lingkungan, dan mendukung transisi energi terbarukan.

Kata Kunci— PLTS *Off-Grid*, PVsyst, Simulasi PLTS

I. PENDAHULUAN

Tingkat kebutuhan terhadap energi listrik yang andal dan berkelanjutan mengalami peningkatan yang signifikan seiring dengan pertumbuhan populasi dan kompleksitas aktivitas industri di era modern. Indonesia menduduki peringkat keenam sebagai negara penyumbang emisi karbon tertinggi di dunia. Saat ini, sektor penggunaan lahan merupakan kontributor utama emisi karbon di Indonesia. Namun, proyeksi ilmiah mengindikasikan bahwa pada tahun 2030, sektor energi diprediksi akan menjadi sumber emisi karbon dominan, melampaui kontribusi sektor penggunaan lahan [1]. Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan ribuan pulau, menghadapi tantangan dalam pemerataan distribusi listrik, terutama di wilayah terpencil seperti pegunungan, kepulauan, dan pedalaman. Keterbatasan akses listrik berdampak signifikan pada kualitas hidup masyarakat, menghambat aktivitas ekonomi, pendidikan, dan pelayanan kesehatan. Bahan bakar fosil berasal dari proses transformasi senyawa hidrokarbon tumbuhan purba melalui fotosintesis, suatu mekanisme konversi energi surya menjadi energi kimia. Proses ini terjadi pada masa periode Karboniferus di era Paleozoikum, sekitar 325 juta tahun yang lalu, ketika sisa-sisa organik tumbuhan terakumulasi, mengalami kompresi, dan termodifikasi secara geokimia dalam kondisi anaerobik selama jutaan tahun. Transformasi tersebut menghasilkan material energi padat dan cair, meliputi minyak bumi, gas alam, dan batu bara yang kini menjadi sumber energi utama manusia [2].

Indonesia berada di garis khatulistiwa, memiliki potensi energi surya besar 4,8 kWh/m²/hari yang belum dimanfaatkan optimal. Banyak daerah terpencil belum teraliri listrik akibat hambatan geografis dan infrastruktur PLN terbatas. PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) menjadi solusi strategis karena sistemnya modular, fleksibel, mudah dipasang di lokasi terpencil, dan mampu beroperasi *off-grid*. Dengan

mengoptimalkan potensi surya, PLTS menyediakan akses energi untuk daerah terisolasi, mendukung transisi energi berkelanjutan, ramah lingkungan, ekonomis jangka panjang, serta sesuai kebutuhan desentralisasi energi di Indonesia. [3]. Berdasarkan sistem instalasinya, PLTS terbagi menjadi dua jenis, yaitu *off-grid* dan *on-grid connected*. PLTS *off-grid* dikenal juga dengan sistem stand alone dan PLTS *on-grid* adalah PLTS yang terhubung ke *grid utility* atau terhubung dengan jaringan PLN [4]. Perkembangan teknologi dalam bidang energi surya telah memungkinkan perancangan sistem PLTS yang lebih efisien dan ekonomis. PVsyst merupakan perangkat lunak utama untuk simulasi dan analisis kinerja sistem fotovoltaik. Keunggulannya meliputi integrasi dengan basis data eksternal (geospasial dan meteorologi) guna pemodelan berbasis kondisi nyata, serta pembaruan berkala komponen PV sesuai pasar, menjamin akurasi teknis dan ekonomis. Hal ini menempatkannya sebagai alat krusial dalam penelitian dan implementasi sistem energi surya [5]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan dan merancang sistem PLTS *off-grid* dengan kapasitas 3 kW menggunakan *software* PVsyst. PLTS *Off-Grid* merupakan suatu sistem untuk menghasilkan energy listrik mandiri yang mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik via panel fotovoltaik. Beroperasi tanpa jaringan PLN, cocok untuk daerah terpencil. Energi DC dari panel disimpan di baterai, lalu diubah ke AC via inverter untuk kebutuhan. Keunggulan: berkelanjutan, mengurangi ketergantungan energi fosil, dan adaptif di lokasi terbatas akses. [6].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini menganalisis potensi dan kinerja sistem PLTS hibrida di atap kandang *closed house* di Tualang, Serdang Bedagai melalui simulasi PVsyst untuk menentukan konfigurasi optimal demi efisiensi energi maksimal. Hasil menunjukkan kombinasi PLTS baterai grid dengan 32 panel surya 250 Wp menghasilkan total energi 10.366,9 kWh/tahun, di mana 10.071,7 kWh/tahun digunakan untuk beban operasional peternakan. Rasio kinerja sistem mencapai 75,9% per tahun, mengindikasikan efisiensi yang memadai untuk mendukung keberlanjutan operasional [7].

Penelitian ini merancang sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya PLTS *off-grid* di Gedung Auditorium Kampus 2 Politeknik Negeri Ujung Pandang menggunakan *software* PVsyst untuk analisis konversi energi matahari. Sistem dirancang memenuhi kebutuhan rata-rata 482 kWh/hari dengan menggunakan 422 modul panel surya polikristal CS3W-410P-HE 410 WP per panel dalam konfigurasi 2 seri dan 211 paralel. Penyimpanan energi menggunakan 195 baterai lead acid Rolls 12-CS-11PS 3 seri dan 64 paralel, serta 50 unit pengontrol MPPT FLEXmax 80-36V. Hasil simulasi menunjukkan sistem mampu menghasilkan 227.122 kWh energi listrik per tahun [8].

Perangkat ultrasonik pengusir tikus berbasis PLTS *off-grid* memerlukan daya 7 Watt selama 2,4 jam/hari untuk lahan 0,5 hektar, mendukung target energi terbarukan Indonesia 23% pada 2025 sesuai Perpres No. 22/2017. Penelitian menggunakan metode observasi, desain, dan eksperimen dengan data radiasi matahari harian rata-rata 1.044,57 Watt

(maksimum) dan 497,09 Watt (minimum) selama 7 hari. Sistem dirancang dengan panel surya 100 Wp dipasang pada tiang 4 meter dan kotak panel berukuran 40x20x50 cm. Hasil uji menunjukkan panel menghasilkan rata-rata 39 Watt/hari, mengisi baterai 20 Ah dalam 5 jam kinerja tergantung cuaca. Baterai terisi mampu menyuplai beban AC selama 13 jam dan beban DC hingga 24 jam [9].

Kebutuhan energi listrik Indonesia terus naik seiring pertumbuhan penduduk dan ekonomi, namun ketergantungan pada bahan bakar fosil masih tinggi, menimbulkan dampak lingkungan dan kesehatan. Pemerintah menargetkan 23% bauran energi terbarukan pada 2025 melalui RUPTL 2021-2030. Uji coba PLTS 270 kWp di atap PLN Distribusi Lampung menunjukkan hasil positif simulasi PVsyst mengungkap sistem ini memenuhi 95,04% kebutuhan listrik kantor dengan performance ratio 85,26%. Analisis ekonomi menegaskan kelayakan proyek melalui NPV Rp2,52 miliar PVsyst dan Rp2,25 miliar Homer Pro, serta periode pengembalian investasi 6 tahun 7 bulan dan 4,27 tahun. Hasil ini membuktikan PLTS tidak hanya ramah lingkungan tetapi juga layak secara finansial untuk dikembangkan di Indonesia. [10].

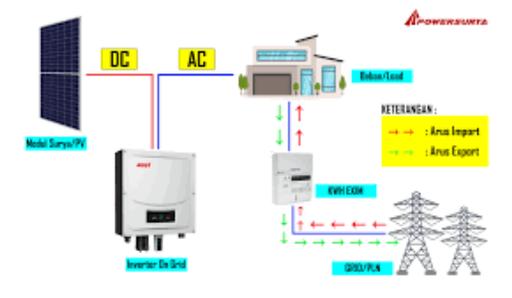
Penelitian ini mengevaluasi keandalan PVsyst dalam menganalisis kinerja PLTS 5 MWp dengan membandingkan hasil simulasi dan data aktual berdasarkan standar IEC 61724. Hasilnya menunjukkan korelasi kuat antara proyeksi simulasi dan kinerja nyata: efisiensi modul, inverter, dan sistem berturut-turut 11,27%, 97,49%, dan 11,27%, sementara simulasi memperkirakan efisiensi sistem sedikit lebih tinggi 11,39%. Rasio kinerja 81,02% aktual dan 80,42% simulasi dan faktor pemanfaatan kapasitas 16,05% juga menunjukkan kesesuaian. Studi ini membuktikan PVsyst sebagai alat andal untuk mengoptimalkan evaluasi PLTS atap, mendukung pengambilan keputusan di sektor energi surya. [11].

B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

PLTS mengubah radiasi matahari menjadi listrik melalui modul fotovoltaik. Sebagai energi terbarukan, sistem ini ramah lingkungan (emisi rendah, sumber tak terhabiskan), efisien, andal, serta memenuhi kebutuhan energi rumah tangga hingga industri. PLTS mendorong transisi energi berkelanjutan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. PLTS merupakan salah satu sarana untuk memenuhi kebutuhan masyarakat akan listrik yang sangat ramah lingkungan [12].

C. Sistem PLTS On-Grid

Sistem PLTS *on-grid* terintegrasi dengan jaringan PLN melalui *grid-tied inverter* untuk konversi DC ke AC. Saat radiasi matahari mencukupi, sistem memasok beban lokal dan mengeksport kelebihan energi ke PLN. Sebaliknya, jika insolasi rendah, daya diimpor dari jaringan utama guna menjamin pasokan berkelanjutan. Desain ini meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan pada sumber konvensional [13].



Gambar 1. PLTS ONgrid

D. Sistem PLTS Off-Grid

PLTS *off-grid* mengonversi radiasi matahari menjadi listrik mandiri untuk daerah terpencil tanpa jaringan konvensional, mendukung energi terbarukan, mengurangi ketergantungan fosil, dan meningkatkan akses listrik di lokasi geografis menantang. Dengan demikian penggunaan PLTS untuk memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia menjadi solusi yang tepat untuk membantu memenuhi kebutuhan energi listrik dirumah tinggal [14].



Gambar 2. PLTS Offgrid

E. Sistem PLTS Hybrid

Sistem PLTS *Hybrid* mengintegrasikan dua sumber energi terbarukan yang saling melengkapi untuk menjamin pasokan energi stabil. Dengan mengoptimalkan sumber sesuai kondisi lingkungan, sistem ini mengurangi risiko pemadaman dan meningkatkan efisiensi ekonomi, menjadi solusi berkelanjutan untuk kebutuhan energi kontinu dan optimalisasi biaya[15].

F. Panel Surya

Panel surya sebagai komponen utama PLTS mengonversi energi matahari menjadi listrik melalui efek fotovoltaik. Kapasitasnya diukur dalam *Watt-peak* (Wp), menghasilkan arus DC yang dapat digunakan langsung untuk perangkat DC atau disimpan dalam baterai. Untuk perangkat AC, arus DC diubah menjadi AC menggunakan inverter, memungkinkan integrasi dengan peralatan elektronik standar dan menjamin efisiensi serta keberlanjutan pasokan energi [16].



Gambar 3. Panel Surya

G. Baterai

Baterai pada sistem PLTS berfungsi sebagai media penyimpan energi listrik yang dihasilkan dari konversi radiasi surya pada siang hari, sehingga dapat dimanfaatkan pada malam hari atau saat intensitas cahaya matahari rendah. Sistem ini menjalani siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*) yang dinamis, tergantung pada ketersediaan radiasi UV untuk memastikan kontinuitas pasokan energi. [17].



Gambar 4. Baterai VRLA

H. Inverter

Solar inverter merupakan komponen kritis dalam PLTS yang mengkonversi listrik DC intermiten dari panel surya menjadi AC untuk menyalurkan daya ke beban seperti lampu dan peralatan gedung. Dilengkapi sistem kendali, inverter menstabilkan fluktuasi energi dan memastikan output AC sesuai parameter tegangan dan frekuensi. Pemilihan kapasitasnya dilakukan melalui analisis matematis untuk menjamin kesesuaian daya PLTS dengan kebutuhan beban, sehingga optimalisasi sistem energi terbarukan tercapai efisien. [18].



Gambar 5. Inverter

I. SCC(Solar Charge Control)

Solar Charge Controller (SCC) merupakan komponen kritis dalam sistem PLTS untuk mengatur aliran arus dari modul surya ke bank baterai. Fungsinya meliputi stabilisasi tegangan pengisian dan pencegahan *overcharging* guna melindungi baterai dari kerusakan. SCC mengoptimalkan efisiensi melalui pengaturan arus dan terminasi otomatis saat baterai penuh, sehingga menjamin durabilitas baterai serta ketersediaan energi berkelanjutan. [19].

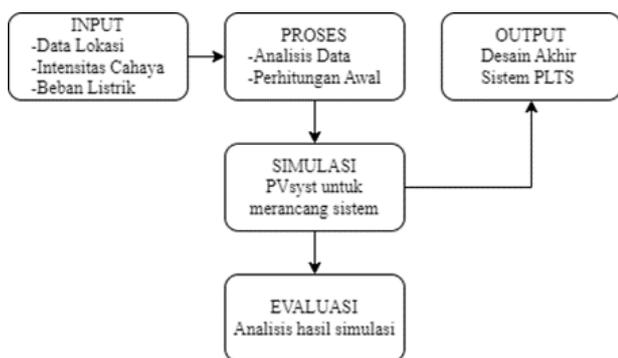


Gambar 6. SCC (Solar Charge Controller)

III. METODE PENELITIAN

A. Blok Diagram

Perancangan sistem PLTS off-grid diawali dengan pengumpulan data radiasi matahari, kebutuhan energi harian, dan kondisi lokasi. Data ini dianalisis untuk memperkirakan kapasitas sistem berdasarkan radiasi, suhu, dan geografis. Selanjutnya, simulasi menggunakan software PVsyst dilakukan untuk menyusun panel surya, baterai, inverter, dan pengatur daya secara optimal. PVsyst memprediksi total produksi energi, efisiensi, dan kinerja sistem. Jika hasil simulasi kurang ideal, dilakukan penyesuaian seperti meningkatkan kapasitas baterai atau mengubah posisi panel. Hasil akhir berupa desain diagram, spesifikasi teknis, dan perkiraan kinerja (efisiensi & produksi energi tahunan), memastikan sistem PLTS 3kW beroperasi sesuai kebutuhan pengguna dan kondisi lingkungan.

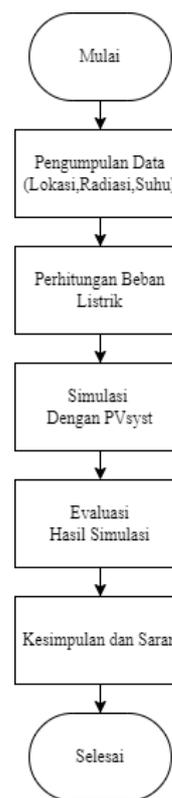


Gambar 7. Blok Diagram

B. Alur Penelitian

Penelitian dimulai dengan pengumpulan data intensitas radiasi matahari, suhu lingkungan, dan lokasi, dilanjutkan dengan perhitungan kebutuhan energi harian untuk menentukan beban listrik. Selanjutnya, kapasitas komponen PLTS (panel surya, baterai, inverter) ditetapkan berdasarkan hasil perhitungan beban dan potensi radiasi. Konfigurasi sistem awal kemudian disimulasikan menggunakan software PVsyst untuk memodelkan kinerja PLTS. Hasil simulasi dievaluasi guna memastikan optimalisasi sistem; jika terdapat ketidaksesuaian, konfigurasi disesuaikan. Setelah sistem

optimal tercapai, dilakukan analisis akhir untuk menyimpulkan efektivitas desain PLTS berdasarkan simulasi PVsyst.



Gambar 8. Alur Penelitian

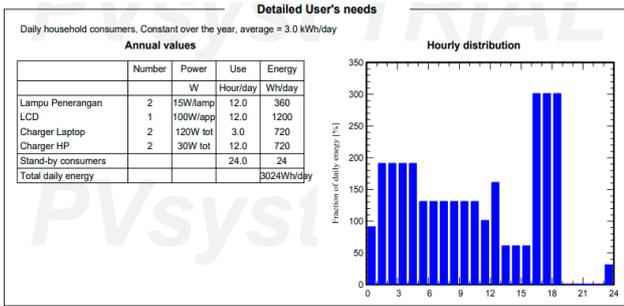
C. Identifikasi Lokasi

Perancangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang optimal memerlukan data geografis (latitude - 7,1303 dan longitude 112,7234) dan kondisi iklim untuk menghitung radiasi matahari tahunan, menggunakan platform seperti Meteornom yang menyediakan data interpolasi cuaca. Radiasi rata-rata 5,52 kWh/m²/hari pada lokasi tersebut menjadi dasar perhitungan kapasitas panel surya guna memenuhi kebutuhan energi harian dan memastikan efisiensi desain sesuai lingkungan. Akurasi data awal, termasuk posisi geografis dan parameter iklim, penting untuk optimasi pemilihan komponen dan konfigurasi sistem, sehingga menentukan keberhasilan instalasi PLTS.



Gambar 9. Koordinasi Lokasi

D. Data Beban Listrik



Gambar 10. Beban Listrik

Gambar 13 menunjukkan profil beban listrik dalam simulasi, mencakup konsumsi energi dari lampu 12 jam, LCD 12 jam, pengisi daya laptop 3 jam, dan pengisi daya HP 12 jam. Data ini digunakan untuk menghitung kebutuhan energi harian guna menentukan kapasitas panel surya, baterai, inverter, dan komponen pendukung. Penggunaan listrik bervariasi berdasarkan waktu, seperti peningkatan penggunaan lampu pada malam hari atau lonjakan pengisian daya setelah aktivitas. Faktor eksternal seperti kegiatan sosial di akhir pekan juga memengaruhi pola konsumsi. Analisis pola ini penting untuk optimasi efisiensi sistem energi.

E. Perhitungan Kebutuhan Panel

Kapasitas minimum panel surya dapat ditentukan berdasarkan kebutuhan yang ada pada penyimpanan energi sistem dengan mempertimbangkan kondisi radiasi matahari terendah. Data menunjukkan nilai radiasi terendah terjadi di bulan Desember, yaitu sebesar 5,52 kWh/m².

$$PSH = \frac{\text{Total Radiasi Matahari (kWh/m}^2\text{/tahun)}}{365 \times 1 \text{ kWh/m}^2} = \frac{2014,8}{365 \times 1 \text{ kWh/m}^2} = 5,52$$

$$\text{Daya Panel} = \frac{\text{Total Beban Harian}}{\text{Jam Efektif} \times \text{Eff. inv.}} = \frac{3000}{5,52 \times 0,95} = 572,08 \text{ Wp}$$

Berdasarkan perhitungan, kapasitas panel surya minimum yang diperlukan adalah 572,08 Wp. Namun, mengacu pada produk yang tersedia di pasaran, kapasitas 600 Wp dipilih untuk simulasi guna memastikan kompatibilitas dan kemudahan implementasi.

F. Perhitungan Jumlah Baterai

Perhitungan kapasitas baterai didasarkan pada 1 hari otonom

dan batas pengosongan (DoD) 55% guna menjaga keawetan baterai digunakan formula sebagai berikut:

Kebutuhan daya = 3000 Wh
DoD baterai = 55 %

$$\text{Daya baterai (Ah)} = \frac{\text{Beban harian (Wh)}}{\text{Eff. inv.}(\%) \times \text{Teg. Bat.}(V)} = \frac{3000 \text{ Wh}}{0,95 \times 24} = 263,16 \text{ Ah}$$

$$\text{Kebutuhan Baterai} = \text{Hari otonom} \times \text{Beban Bat.} \times \frac{1}{\text{DoD}}$$

$$\text{Kebutuhan Baterai} = 1 \times 263,16 \times \frac{1}{0,55} = 478,47 \text{ Ah}$$

Total kapasitas sistem baterai adalah 500 Ah, dengan mengkonfigurasi 5 unit baterai 12V/100Ah. Pemilihan baterai 12V-100Ah (5 unit) ini disesuaikan dengan kebutuhan

minimal simulasi dan desain sistem untuk memastikan kinerja optimal serta daya tahan baterai.

G. Perhitungan Inverter

Inverter berfungsi mengubah tegangan DC menjadi AC. Spesifikasi teknis yang diperlukan dapat ditentukan melalui rumus berikut:

Daya beban puncak = 430 Watt

$$\text{Daya Inverter} = \text{Daya Beban Puncak} \times \text{Faktor Keamanan}$$

$$\text{Daya Inverter} = 430 \text{ Watt} \times 1,25 = 537,5 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan, inverter dengan daya minimal 537,5 Watt diperlukan. Namun, dalam simulasi dan perancangan sistem, dipilih inverter 1000 Watt untuk menyesuaikan ketersediaan produk di pasaran.

H. Perhitungan Arus Solar Charge Control (SCC)

Solar Charge Controller (SCC) dengan teknologi *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) berfungsi mengatur pengisian baterai secara optimal. Berdasarkan spesifikasi panel surya minimum yang ditetapkan, estimasi arus yang diperlukan dihitung sebagai berikut:

$$\text{Arus nominal SCC (A)} = \frac{\text{Total daya panel (W)}}{\text{Tegangan sistem bat.}(V)} = \frac{572,08}{24} = 23,87 \text{ A}$$

Berdasarkan perhitungan, arus minimum yang diperlukan adalah 23,87 A. Namun, dalam simulasi digunakan kontroler dengan arus nominal 30 A untuk menyesuaikan ketersediaan produk di pasaran.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Radiasi Matahari di Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian memiliki radiasi matahari tahunan rata-rata 2.014,8 kWh/m² menurut data Meteonorm, menunjukkan kondisi iklim tropis. Meski radiasi tinggi berpotensi optimalisasi produksi energi, suhu panas perlu diantisipasi untuk mencegah penurunan efisiensi panel. Simulasi PVsyst menampilkan parameter kinerja seperti GlobHor (radiasi horizontal), GlobEff (radiasi efektif modul), E_Avail (energi DC), E_User (energi terpakai), E_Load (kebutuhan beban), dan SolFrac (rasio pemenuhan kebutuhan energi oleh sistem PV). Data ini digunakan untuk menyesuaikan desain PLTS agar produksi energi optimal sesuai potensi iradiasi.

| | GlobHor kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | E_Avail kWh | EUnused kWh | E_Miss kWh | E_User kWh | E_Load kWh | SolFrac ratio |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|---------------|
| January | 154.3 | 139.9 | 66.95 | 0.004 | 28.80 | 64.95 | 93.74 | 0.693 |
| February | 148.4 | 138.9 | 66.10 | 0.000 | 21.07 | 63.60 | 84.67 | 0.751 |
| March | 158.1 | 154.0 | 73.36 | 0.000 | 22.89 | 70.85 | 93.74 | 0.756 |
| April | 165.5 | 169.0 | 80.04 | 0.000 | 13.46 | 77.26 | 90.72 | 0.852 |
| May | 162.4 | 172.0 | 81.36 | 0.000 | 16.75 | 76.99 | 93.74 | 0.821 |
| June | 158.0 | 172.1 | 81.60 | 0.000 | 12.19 | 78.53 | 90.72 | 0.866 |
| July | 167.7 | 181.1 | 85.97 | 0.000 | 9.48 | 84.26 | 93.74 | 0.899 |
| August | 178.8 | 186.4 | 87.83 | 0.000 | 8.97 | 84.77 | 93.74 | 0.904 |
| September | 182.4 | 182.1 | 84.69 | 0.000 | 10.00 | 80.72 | 90.72 | 0.890 |
| October | 196.4 | 187.2 | 86.96 | 0.000 | 8.35 | 85.40 | 93.74 | 0.911 |
| November | 173.9 | 159.0 | 75.12 | 0.000 | 18.55 | 72.17 | 90.72 | 0.795 |
| December | 168.8 | 151.5 | 72.40 | 0.008 | 24.73 | 69.02 | 93.74 | 0.736 |
| Year | 2014.8 | 1993.2 | 942.38 | 0.012 | 195.25 | 908.51 | 1103.76 | 0.823 |

Gambar 11. Data Radiasi Matahari

B. Kebutuhan Komponen Utama

Tabel 1. Kebutuhan Komponen

| Nama Bahan | Spesifikasi | Jumlah |
|-------------|-------------|--------|
| Panel Surya | 100wp/200wp | 6/3 |
| Baterai | 12v 100Ah | 5 |

| | | |
|----------|----------|---|
| SCC | 30A | 1 |
| Inverter | 1000watt | 1 |

Sistem PLTS off-grid 3 kW dirancang dengan 6 panel 100 Wp atau 3 panel 200 Wp berkapasitas total 600 Wp, baterai 12V/100Ah tersusun 500 Ah, SCC MPPT 30A, dan inverter 1000W. Konfigurasi ini memenuhi kebutuhan energi harian 3000 Wh dengan 1 hari otonomi dan DoD 55%, menjamin efisiensi dan keberlanjutan.

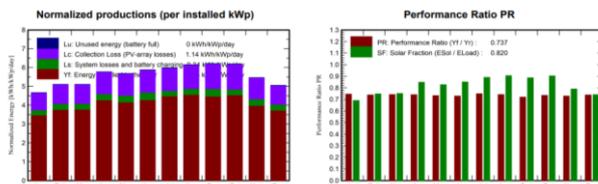
C. Hasil Simulasi

Simulasi sistem PLTS menggunakan PVSyst memerlukan parameter utama seperti kemiringan panel 12° sesuai Global Solar Atlas, inverter 1000W, serta variasi jenis, kapasitas, dan konfigurasi panel surya untuk optimasi desain.

• Variasi 1

Simulasi Variasi 1 menggunakan 6 panel surya monokristalin 100 Wp dengan konfigurasi 2 string dan 3 seri. Sistem ini menghasilkan energi 938,80 kWh/tahun dan mencapai *Performance Ratio* 73,68%, memenuhi kriteria kelayakan karena kinerjanya optimal.

| | | | | |
|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|------------|
| System Production | Available Energy | 938.80 kWh/year | Performance Ratio PR | 73.68 % |
| | Used Energy | 905.00 kWh/year | Solar Fraction SF | 81.99 % |
| | Excess (unused) | 0.01 kWh/year | | |
| Loss of Load | Time Fraction | 17.2 % | Battery aging (State of Wear) | Cycles SOW |
| Missing Energy | 198.78 kWh/year | | Static SOW | 89.9 % |
| | | | | 91.7 % |

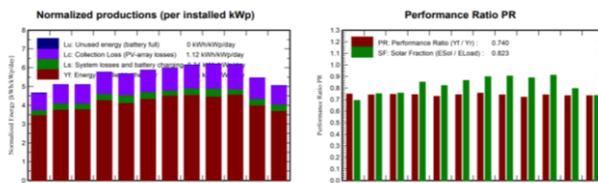


Gambar 12. Simulasi Variasi 1

• Variasi 2

Simulasi Variasi 2 menggunakan 3 panel surya monokristalin 200 Wp dengan konfigurasi 1 string dan 3 seri. Sistem ini menghasilkan energi 942,38 kWh/tahun dan mencapai *Performance Ratio* 73,97%, memenuhi kriteria kelayakan karena kinerjanya optimal.

| | | | | |
|--------------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|------------|
| System Production | Available Energy | 942.38 kWh/year | Performance Ratio PR | 73.97 % |
| | Used Energy | 908.51 kWh/year | Solar Fraction SF | 82.31 % |
| | Excess (unused) | 0.01 kWh/year | | |
| Loss of Load | Time Fraction | 16.9 % | Battery aging (State of Wear) | Cycles SOW |
| Missing Energy | 195.25 kWh/year | | Static SOW | 89.8 % |
| | | | | 91.7 % |



Gambar 13. Simulasi Variasi 2

D. Analisis Ketenagalistrikan

Evaluasi dua desain PLTS dilakukan dengan membandingkan simulasi PVSyst, menggunakan indikator utama *Performance Ratio* dan produksi energi tahunan. PR menggambarkan persentase daya aktual terhadap daya ideal, dengan sistem dinyatakan layak jika PR mencapai 70-90%.

$$Performance\ Ratio = \frac{Eyield}{Eideal}$$

Dimana:

Eyi : energi *output* sistem PLTS dalam satu tahun

Eid : energi ideal sistem PLTS

Energi *output* dan energi ideal dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Eyield = kapasitas\ PV \times N \times Ht_{ilt} \times Efisiensi$$

$$Eideal = kapasitas\ PV \times N \times Ht_{ilt}$$

Dimana:

Eyi : rata-rata keluaran energi PLTS (Wh)

Eid : keluaran produksi energi PLTS tanpa losses (Wh)

N : jumlah panel dalam array sistem PLTS

Ht : radiasi matahari (1 PSH = 1 kWh/m²)

PSH : *Peak Sun Hours* (kWh/m²)

Efisiensi : 100% - losses (%)

E. Analisis Ekonomi

• Net Present Value

Tabel 2. Biaya Investasi Awal Variasi 1

| Komponen | Jumlah | Harga Satuan | Total |
|-------------------|--------|--------------|---------------|
| Panel Surya 100wp | 6 | Rp 600.000 | Rp 3.600.000 |
| Inverter 1000 w | 1 | Rp 500.000 | Rp 500.000 |
| SCC 30A | 1 | Rp 1.300.000 | Rp 1.300.000 |
| Baterai 100Ah | 5 | Rp 1.650.000 | RP 8.250.000 |
| | | | RP 13.650.000 |

Tabel 3. Biaya Investasi Awal Variasi 2

| Komponen | Jumla h | Harga Satuan | Total |
|-------------------|---------|--------------|--------------|
| Panel Surya 100wp | 6 | Rp 600.000 | Rp 3.600.000 |
| Inverter 1000 w | 1 | Rp 500.000 | Rp 500.000 |
| SCC 30A | 1 | Rp 1.300.000 | Rp 1.300.000 |
| Baterai 100Ah | 5 | Rp 1.650.000 | RP 8.250.000 |

NPV digunakan untuk menilai kelayakan sistem PLTS, dipengaruhi oleh aliran kas bersih dan investasi awal, dengan perhitungan aliran kas bersih menggunakan persamaan khusus.

Aliran kas bersih = kas masuk – kas keluar

Cash Flow Benefit = *LCoE* x Produksi Energi PLTS

$$LCoE = \frac{LCC \times CRF}{kWh}$$

$$CRF = \frac{i \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Dimana:

LCoE : biaya energi (Rp/kWh)

LCC : biaya siklus hidup

CRF : faktor pemulihan modal

n : periode dalam tahun (umur investasi)

i : tingkat diskonto

Nilai NPV positif menunjukkan kelayakan sistem PLTS untuk diimplementasikan, sedangkan NPV yang bernilai negatif menandakan kerugian sehingga sistem tidak layak diterapkan.

$$NPV = \sum^n \frac{NFCt}{(1+i)^t} - \text{investasi awal}$$

NPV : Net Present Value

NFCt: Arus kas bersih selama masa umur teknis PLTS

i : tingkat diskonto

n : periode dalam tahun (umur investasi)

• *Payback Periode*

Payback Period adalah metode evaluasi kelayakan investasi untuk menghitung jangka waktu pengembalian dana investasi awal dengan menganalisis rasio antara total biaya investasi dan aliran kas bersih per periode melalui rumus matematis tertentu.

$$\text{Payback periode} = \frac{\text{nilai investasi}}{\text{total kas bersih}} \times 1 \text{ tahun}$$

Nilai Investasi : Biaya awal investasi

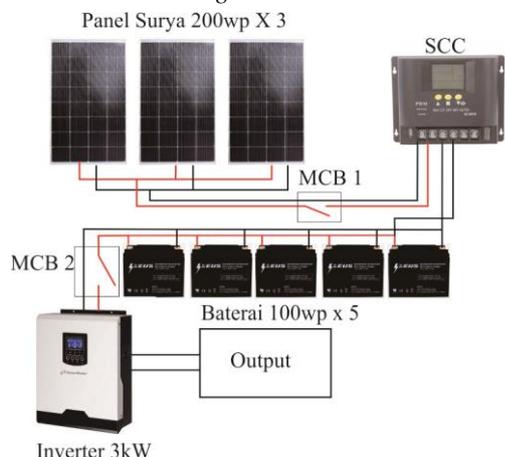
Total kas bersih: Hasil pemasukan dan pengeluaran

Tabel 4.Data *Payback Period*

| Variasi | Investasi Awal | Total kas bersih | Payback period |
|---------|----------------|------------------|----------------|
| 1 | Rp13.650.000 | Rp2.665.360 | 5,12 |
| 2 | Rp12.750.000 | Rp2.580.600 | 4,94 |

Berdasarkan Tabel 4, semua variasi sistem PLTS memiliki periode pengembalian investasi lebih pendek dari umur operasional sistem (20 tahun). Variasi 2 mencatat waktu pengembalian lebih cepat, yaitu 4 tahun 11 bulan, sehingga investasi PLTS dinilai layak diimplementasikan.

F. Hasil Desain PLTS dengan Variasi 2



Gambar 14. Desain Wiring Diagram PLTS dengan Variasi 2

Hasil desain menunjukkan panel surya di rangkai parallel untuk menghasilkan arus Listrik yang besar agar pengecasan baterai lebih maksimal. Di antara panel surya dan SCC terdapat 1 buah MCB yang fungsinya untuk mengamankan panel surya maupun SCC dari adanya hubungan arus pendek antara saluran negatif dan positif.

Terdapat juga SCC yang fungsinya sebagai pengatur, pengaman dan penguat daya Listrik yang di hasilkan dari rangkaian panel surya agar saat pengecasan bisa lebih maksimal dan aman terhadap kelebihan arus Listrik. SCC yang digunakan telah menerapkan teknologi MPPT gunanya untuk memaksimalkan Daya Listrik luaran dari Panel surya pada saat kondisi sinar matahari kurang Terik pada saat kondisi mendung.

Kemudian selanjutnya ada komponen Baterai yang fungsinya untuk menyimpan energi Listrik agar panel surya bisa di gunakan di malam hari. Baterai di rangkai secara parallel gunanya untuk menghasilkan arus Listrik yang besar. Baterai yang dipilih ini jenis baterai VRLA yang mana beterei ini memiliki daya tahan yang cukup kuat karna memiliki jumlah DOD dan SOC yang sesuai dengan kebutuhan karakteristik PLTS.

Diantara SCC dan baterai terdapat sebuah MCB yang fungsinya sebagai pengaman apabila ada arus lebih yang tidak di inginkan.

Selanjutnya terdapat Inverter yang fungsinya sebagai pengubah dari listrik DC menjadi Listrik AC yang dapat di gunakan untuk peralatan Listrik AC.

Kemudian selanjutnya terdapat output yang ini dapat duhubungkan dengan peralatan Listrik yang di bagaikan ini di lengkapi dengan MCB dan meteran Listrik guna memonitoring tegangan, arus dan daya Listrik PLTS.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan :

1. Sistem PLTS off-grid berkapasitas 3 kW yang dirancang dengan total kapasitas panel 600 Wp, baterai 12V/500Ah, SCC MPPT 30A, dan inverter 1000W berhasil memenuhi kebutuhan energi harian sebesar 3000 Wh dengan 1 hari otonomi dan DoD 55%.
2. Desain ini menjamin efisiensi dan keberlanjutan sistem dengan mempertimbangkan faktor teknis seperti konfigurasi panel, kapasitas penyimpanan energi, dan kemiringan panel 12° sesuai data Global Solar Atlas untuk optimasi produksi energi.
3. Hasil simulasi menggunakan PVSyst menunjukkan bahwa kedua variasi konfigurasi panel, baik 6 panel 100 Wp maupun 3 panel 200 Wp, mampu menghasilkan energi tahunan lebih dari 938 kWh dengan Performance Ratio di atas 73%. Variasi 2, dengan 3 panel 200 Wp, memberikan hasil yang sedikit lebih baik dan mencatat periode pengembalian investasi tercepat, yaitu 4 tahun 11 bulan. Oleh karena itu, sistem PLTS ini dinilai layak diimplementasikan dari sisi teknis dan finansial sistem PLTS off-grid 3 kW dirancang memenuhi kebutuhan energi 3000 Wh/hari, dengan simulasi PVSyst menunjukkan *Performance Ratio* 75% meski terdampak bayangan dan suhu. Analisis ekonomi membuktikan kelayakan melalui NPV Rp40,18 juta dan payback period 2 tahun 9 bulan, menjadikannya solusi hemat biaya, ramah lingkungan, dan mendukung transisi energi terbarukan.

REFERENSI

- [1] M. F. Senapan, L. Y. F. Senapan, and M. Senapan, "Pengaruh Profitabilitas, Leverage Dan Media Exposure Terhadap Carbon Emission Disclosure," *Semin. Nas. Akunt. dan Call Pap.*, vol. 2, no. 1, pp. 73–85, 2022, doi: 10.33005/senapan.v2i1.180.
- [2] Y. Afriyanti, H. Sasana, and G. Jalunggono, "Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Konsumsi Energi Terbarukan Di Indonesia," *Din. Dir. J. Econ.*, vol. 2, no. 3, pp. 865–884, 2018.
- [3] S. P. Listrik et al., "Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia," pp. 43–52.
- [4] A. Setyawan and A. Ulinuha, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid Untuk Supply Charge Station," *Transmisi*, vol. 24, no. 1, pp. 23–28, 2022, doi: 10.14710/transmisi.24.1.23-28.
- [5] R. D. J. Kartika Sari and A. Mudianto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Skala Industri Berbasis PVSyst," *JEECOM J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 5, no. 2, pp. 171–179, 2023, doi: 10.33650/jeeecom.v5i2.6645.
- [6] M. D. C. Ramadhan, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada Kolam Budidaya di Daerah Sentono Menggunakan Software Pvsyst," *Jupiter (Jurnal Pendidik. Tek. Elektro)*, vol. 6, no. 2, p. 18, 2021, doi: 10.25273/jupiter.v6i2.10519.
- [7] E. S. H. dan A. A. Z. Megawati, "Listrik Tenaga Surya Sistem Hybrid Pada Atap Kandang Ayam Closed House Di Tualang Kabupaten Serdang Bedagai," vol. 10, no. 2, pp. 384–389, 2021.

- [8] M. A. Anrizal Akbar, A. S. Yunus, and J. Tangko, "PVSYST-Based Solar Power Plant Planning," *INTEK J. Penelit.*, vol. 9, no. 1, pp. 89–92, 2022, doi: 10.31963/intek.v9i1.3789.
- [9] A. Ariprihata, E. Erfandy, S. W. Susilo, and S. Sujito, "Rancang Bangun Panel Surya Off-Grid Untuk Catu Daya Alat Pengusir Hama Tikus," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 3, pp. 224–245, 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.19665.
- [10] N. Soedjarwanto and Z. Huda, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On Grid Pada Kantor PT PLN Unit Induk Distribusi Lampung Berbasis Simulasi," pp. 1–8, 2025.
- [11] P. R. Mishra, S. Rathore, and V. Jain, "PVSyst enabled real time evaluation of grid connected solar photovoltaic system," *Int. J. Inf. Technol.*, vol. 16, no. 2, pp. 745–752, 2024, doi: 10.1007/s41870-023-01677-x.
- [12] A. G. Hutajulu, M. RT Siregar, and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) on Grid Di Ecopark Ancol," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, p. 23, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7333.
- [13] Y. Afrida, Jeckson, and D. Feriyanto, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya on Grid," *Aisyah J. Informatcs Electr. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 74–77, 2022, [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- [14] R. M. Pasaribu and Z. Tharo, "Mekanisme Perencanaan Plts Off-Grid Untuk Daya 1300Va Pada Rumah Tinggal," *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 18, no. 2, p. 52, 2023, doi: 10.30587/e-link.v18i2.6129.
- [15] L. E. Nuryanto, "Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Pln Dan Plts) Kapasitas 800 Wp," *Orbith*, vol. 17, no. 3, pp. 196–205, 2021.
- [16] A. Khaffi, A. R. Idris, and S. Sofyan, "Rancang Bangun Modul Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)," *Semin. Nas. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 0, no. 0, pp. 15–21, 2020, [Online]. Available: <http://jurnal.poliupg.ac.id/index.php/sntei/article/view/2184>
- [17] A. W. Nardi, "Analisa Pembangunan Pembangkit Plts Desa Tanamalala," *Kohesi J. Multidisiplin Saintek*, vol. 2, no. 7, pp. 69–89, 2024, [Online]. Available: https://repository.unismuh.ac.id/id/eprint/32/1/AFRYAN_WAHYU_NARDI-105821108319.pdf
- [18] L. Halim, L. Halim, and O. Sudjana, "Perancangan Dan Implementasi Awal Solar Inverter Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off Grid," *J. Teknol.*, vol. 12, no. 1, pp. 31–38, 2020, [Online]. Available: <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/jurtek/article/view/4105>
- [19] D. Solar et al., "Vol 10, No. 1, Juli 2024," vol. 10, no. 1, pp. 136–145, 2024.