

ANALISIS INTEGRASI SISTEM PLTS *OFF-GRID* UNTUK JARINGAN *RADIO LINK* DI AREA PERTAMBANGAN PT. ARTHA TUNGGAL MANDIRI

Adriansyah¹, Ansar Rizal², Agusma Wajiansyah³

^{1,2,3}Politeknik Negeri Samarinda; Jl. Dr. Cipto Mangunkusumo Samarinda 75131;

Keywords:

PLTS *off-grid*, *radio link*, komunikasi nirkabel, energi terbarukan, efisiensi energi.

Correspondent Email:

putradriansyah51@gmail.com

Abstrak. Penelitian ini membahas implementasi jaringan *radio link* yang didukung oleh sistem tenaga surya (PLTS) di PT Artha Tunggal Mandiri, khususnya di area pertambangan yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efektivitas integrasi PLTS sebagai sumber energi *off-grid* terhadap kinerja sistem komunikasi *radio link* di lingkungan pertambangan. Metode penelitian yang digunakan adalah studi kasus dengan pendekatan deskriptif dan analisis teknis terhadap proses instalasi dan kinerja sistem di lapangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan PLTS mampu menyediakan pasokan listrik yang stabil dan berkelanjutan, sementara jaringan *radio link* berfungsi secara andal dalam menjaga kelangsungan komunikasi di kawasan pertambangan terpencil. Integrasi kedua sistem ini telah terbukti dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan jaringan listrik konvensional, serta meningkatkan efisiensi operasional dan mendukung penerapan prinsip-prinsip keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, sistem PLTS yang terintegrasi dengan jaringan *radio link* merupakan solusi efektif dan dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan energi dan komunikasi di daerah pertambangan terpencil, dan memiliki potensi untuk diterapkan secara lebih luas di sektor industri serupa.



Copyright © [JITET](http://www.jitet.org) (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan). This article is an open access article distributed under terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

Abstract. This study discusses the implementation of radio link networks powered by solar power systems (PLTS) at PT Artha Tunggal Mandiri, particularly in mining areas that are not yet reached by the PLN electricity network. The purpose of this study is to analyze the effectiveness of integrating PLTS as an off-grid energy source on the performance of radio link communication systems in mining environments. The research method used is a case study with a descriptive approach and technical analysis of the installation process and system performance in the field. The test results show that the application of PLTS is capable of providing a stable and sustainable supply of electrical energy, while the radio link network functions reliably in maintaining communication continuity in remote mining areas. The integration of these two systems has been proven to reduce dependence on fossil fuels and conventional electricity networks, as well as increase operational efficiency and support the application of environmental sustainability principles. Thus, the PLTS system integrated with the radio link network is an effective and applicable solution for meeting energy and communication needs in remote mining areas, and has the potential to be applied more widely in similar industrial sectors.

1. PENDAHULUAN

Keterbatasan akses listrik di berbagai wilayah Indonesia yang tidak terjangkau jaringan PLN menuntut penerapan sumber energi alternatif yang lebih andal, terutama pada sektor industri yang semakin mengandalkan sistem otomasi dan teknologi digital untuk mendukung operasionalnya. Kondisi ini juga terjadi pada lokasi pertambangan terpencil, di mana kebutuhan terhadap sistem komunikasi yang stabil dan berkesinambungan semakin meningkat, sementara pasokan listrik konvensional kerap tidak tersedia atau memiliki kualitas tegangan yang fluktuatif. Dalam konteks tersebut, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) menjadi solusi yang relevan karena menawarkan kemandirian energi, efisiensi, dan keberlanjutan, sejalan dengan potensi energi surya nasional yang mencapai rata-rata 4,8 kWh/m² per hari serta dapat diimplementasikan dalam konfigurasi *on-grid* maupun *off-grid* untuk menjamin kontinuitas suplai daya bagi perangkat komunikasi di area dengan infrastruktur terbatas [1].

Sebagai negara kepulauan yang menghadapi hambatan geografis dan finansial dalam perluasan jaringan listrik konvensional, Indonesia sangat bergantung pada pengembangan mikrogrid fotovoltaik untuk meningkatkan akses energi terutama di wilayah 3T. Dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4–6 kWh/m² per hari, potensi energi surya di Indonesia menjadikan PLTS *off-grid* sebagai solusi strategis untuk menyediakan listrik di daerah terpencil yang tidak terjangkau jaringan utama. Penelitian tersebut menegaskan bahwa mikrogrid PV mampu meningkatkan kualitas energi, keandalan, serta kontribusi terhadap target bauran energi terbarukan nasional, meskipun tantangan terkait perencanaan, desain, dan operasi pemeliharaan masih menjadi isu utama yang memengaruhi keberlanjutan sistem. Temuan dalam studi ini juga konsisten dengan hasil penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa penerapan mikrogrid fotovoltaik dapat meningkatkan akses energi dan efisiensi pasokan listrik di komunitas terpencil [2].

Keandalan sistem komunikasi radio, terutama VHF-ER, merupakan faktor kritis dalam memastikan kontinuitas layanan komunikasi pada sektor yang bergantung pada transmisi data *real-time*. Di lingkungan

pertambangan modern, jaringan *radio link* berfungsi sebagai tulang punggung komunikasi untuk menghubungkan sensor pemantauan, sistem kendali jarak jauh, serta peralatan operasional lainnya sehingga memerlukan pasokan energi yang stabil dan bebas gangguan. Namun, sebagian besar penelitian mengenai PLTS masih berfokus pada penyediaan energi listrik semata tanpa mengkaji potensi integrasinya dengan sistem komunikasi. Kondisi ini menjadi tantangan di lokasi tambang terpencil, di mana penggunaan genset berbahan bakar fosil sebagai sumber energi utama sering menghadapi keterbatasan seperti biaya operasional tinggi, emisi karbon signifikan, dan kendala logistik pengiriman bahan bakar. Sebagaimana ditunjukkan dalam penelitian [3], kualitas jaringan komunikasi sangat dipengaruhi oleh kestabilan daya, sehingga integrasi PLTS *off-grid* dengan infrastruktur komunikasi berpeluang menjadi solusi yang lebih andal, efisien, dan berkelanjutan.

Berdasarkan kondisi tersebut, dapat diidentifikasi adanya kesenjangan penelitian, yakni terbatasnya studi yang membahas integrasi antara sistem PLTS *off-grid* dan jaringan *radio link* pada sektor pertambangan. Padahal, kombinasi kedua sistem tersebut berpotensi menghasilkan operasi tambang yang lebih efisien, hemat biaya, dan ramah lingkungan [4]. Pemanfaatan energi terbarukan khususnya *hybrid* genset PV dapat menurunkan biaya energi, mengurangi emisi karbon, serta meningkatkan keandalan suplai listrik di wilayah dengan potensi energi surya tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan menganalisis model integrasi PLTS *off-grid* dan *radio link* sebagai solusi energi berkelanjutan bagi sistem komunikasi di wilayah pertambangan terpencil.

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas sistem PLTS *off-grid* sebagai sumber energi bagi jaringan *radio link* di lokasi pertambangan PT Artha Tunggal Mandiri. Pendekatan studi kasus ini disusun melalui analisis deskriptif dan teknis yang mencakup perancangan kapasitas sistem (*sizing*), instalasi, evaluasi performa, serta keandalan operasional. Secara konseptual, pendekatan tersebut sejalan dengan temuan pada studi sebelumnya [5], yang menunjukkan bahwa implementasi PLTS *off-grid* mampu meningkatkan efisiensi penyediaan

energi dan mengurangi ketergantungan terhadap pasokan listrik konvensional pada fasilitas pendidikan di daerah terpencil. Dengan mengacu pada prinsip serupa, penelitian ini diharapkan dapat membuktikan bahwa integrasi PLTS sebagai sumber energi jaringan *radio link* tidak hanya meningkatkan kontinuitas layanan komunikasi di area pertambangan, tetapi juga memberikan kontribusi terhadap pengurangan konsumsi bahan bakar fosil, penurunan beban jaringan PLN, serta peningkatan efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan.

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan model penerapan energi surya yang terintegrasi dengan sistem komunikasi nirkabel di sektor pertambangan dan wilayah *off-grid* di Indonesia. menunjukkan bahwa PLTS *off-grid* mampu menyediakan suplai daya yang stabil dan efisien pada lokasi yang tidak terjangkau jaringan listrik. Berbasis pada temuan tersebut, penelitian ini diharapkan memperkaya literatur terkait integrasi energi terbarukan pada sistem komunikasi *off-grid*, serta memberikan pemahaman mengenai peningkatan efisiensi energi, pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan penguatan aspek keberlanjutan lingkungan. [6]

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *Off-grid*

PLTS *off-grid* merupakan sistem pembangkit listrik yang beroperasi secara mandiri tanpa bergantung pada jaringan listrik PLN. Energi listrik dihasilkan melalui proses konversi radiasi matahari oleh modul fotovoltaik dan disimpan di dalam baterai sehingga tetap dapat digunakan ketika intensitas cahaya matahari menurun. Sistem ini terdiri atas panel surya, *solar charge controller*, baterai, dan inverter sebagai komponen utama yang bekerja secara terpadu untuk menjaga kontinuitas suplai daya. Teknologi PLTS *off-grid* dinilai ideal untuk wilayah terpencil atau area pertambangan karena mampu menyediakan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan meskipun berada jauh dari infrastruktur listrik konvensional. Kajian sebelumnya menegaskan bahwa kinerja PLTS sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti arah mata angin, sudut panel, dan

intensitas radiasi, sehingga konfigurasi yang tepat menjadi kunci untuk memperoleh efisiensi maksimum pada sistem *off-grid* [7].

2.2. *Radio link* sebagai Sistem Komunikasi

Radio link merupakan sistem komunikasi nirkabel *point-to-point* yang berfungsi mentransmisikan data secara langsung antara dua titik dan banyak digunakan pada lingkungan pertambangan untuk mendukung transfer data dari perangkat seperti CCTV, sensor, serta sistem kontrol jarak jauh. Kinerja *radio link* sangat dipengaruhi oleh ketersediaan pasokan daya yang stabil dan berkelanjutan, karena gangguan catu daya dapat menyebabkan putusnya transmisi data secara tiba-tiba. Pada wilayah yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN, sistem *radio link* umumnya masih bergantung pada genset berbahan bakar fosil, yang memiliki biaya operasional tinggi, efisiensi rendah, serta berdampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi karbon yang dihasilkan [8]. Oleh karena itu, integrasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* menjadi solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan, karena mampu menyediakan sumber energi mandiri tanpa bergantung pada jaringan eksternal. Teknologi PLTS *off-grid* memanfaatkan konversi energi matahari melalui modul fotovoltaik dan menyimpannya dalam baterai untuk menyediakan suplai daya yang stabil bagi perangkat komunikasi, termasuk *radio link*, sehingga meningkatkan keandalan operasional terutama di area terpencil atau wilayah pertambangan [9].

2.3. Integrasi PLTS dengan Sistem Komunikasi *off-grid*

Integrasi PLTS dengan *radio link* telah diakui sebagai solusi berkelanjutan untuk sistem komunikasi di wilayah terpencil, karena PLTS mampu menyediakan suplai daya yang bersih dan stabil bagi perangkat transmisi sehingga mengurangi ketergantungan pada genset dan konsumsi bahan bakar fosil [10]. Temuan penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya sebagai sumber catu daya bagi perangkat komunikasi nirkabel dapat meningkatkan efisiensi energi, menekan biaya operasional, serta mendukung keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan emisi karbon [11].

Integrasi ini sekaligus memperkuat keandalan layanan *radio link* pada area pertambangan dan wilayah *off-grid* yang membutuhkan kontinuitas komunikasi sepanjang waktu.

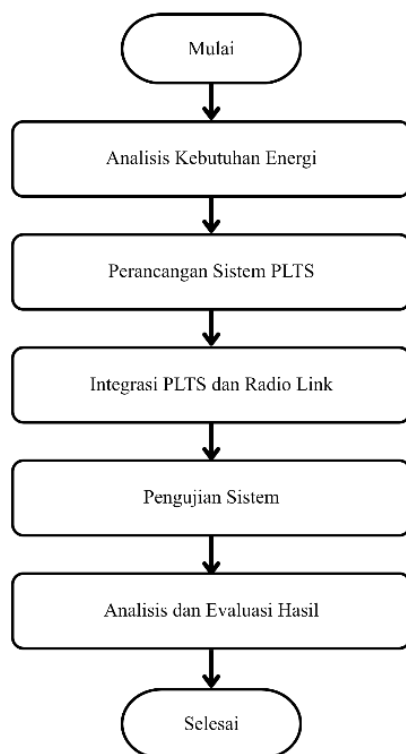
3. METODE PENELITIAN

3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus dengan pendekatan deskriptif untuk menganalisis integrasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi utama bagi jaringan *radio link* di area pertambangan PT Artha Tunggal Mandiri. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan. Peneliti melakukan analisis langsung terhadap performa teknis, efisiensi energi, dan keandalan komunikasi sistem yang beroperasi secara *off-grid*.

3.2. Lokasi, waktu, dan Tahapan Penelitian

Lokasi penelitian secara umum dilakukan di PT. Artha Tunggal Mandiri. Site Sambarata kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Pada bulan Oktober Hingga November 2025. Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan tersebut dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

a. Analisis kebutuhan energi.

Analisis kebutuhan energi dilakukan untuk menentukan kapasitas sistem PLTS yang mampu menyediakan daya bagi seluruh perangkat komunikasi selama 24 jam operasi. Perhitungan ini didasarkan pada estimasi total tegangan, arus, dan waktu kerja masing-masing perangkat, seperti *radio link*, CCTV, serta perangkat jaringan lainnya. Hasil analisis tersebut menjadi acuan dalam menentukan kapasitas panel surya, baterai, dan inverter agar sistem dapat beroperasi secara berkelanjutan tanpa mengalami gangguan pasokan energi

b. Analisis kebutuhan energi.

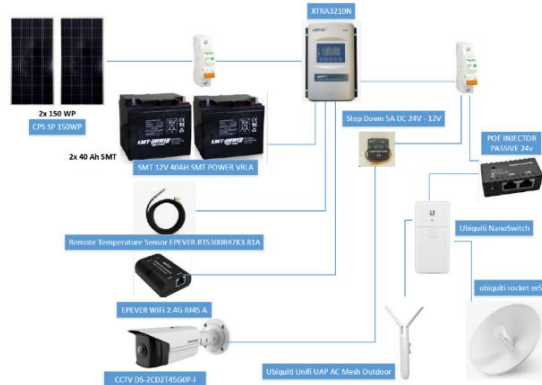
Berdasarkan hasil analisis kebutuhan energi, penelitian ini merancang sistem PLTS yang mencakup pemilihan komponen, penentuan konfigurasi kelistrikan, dan integrasi dengan perangkat komunikasi *radio link*. Komponen utama pada sistem PLTS yang terhubung dengan *radio link* ditunjukkan pada Tabel 1

Table 1. Komponen Sistem PLTS dan *Radio link*

No	Komponen	Fungsi
1	Panel Surya 2 × 150 Wp CPS SP150WP	Sumber Energi Utama
2	Solar Charge Controller MPPT XTRA3210N	Mengatur pengisian daya ke baterai
3	Baterai SMT 12V 40Ah × 2	Penyimpanan Energi Listrik
4	Step Down Converter	Menurunkan tegangan arus DC 24V-12V 5A.
5	POE Injector Passive 24V	Catu daya ke perangkat jaringan
6	WiFi Epever 2.4G Module	Monitoring sistem PLTS secara nirkabel melalui laptop atau HP
7	Ubiquiti Rocket M5 & NanoSwitch	Sistem <i>radio link</i> utama
8	WiFi Unifi AC Mesh Outdoo	Akses Komunikasi Nirkabel

9	CCTV 4MP Hkvision	Pemantauan lapangan
---	----------------------	------------------------

Konfigurasi sistem dirancang agar seluruh komponen saling terintegrasi dalam satu sistem kelistrikan yang efisien. Skema integrasi sistem ditunjukkan pada Gambar 2 berikut



Gambar 2. Skema Integrasi Sistem PLTS dengan *Radio link* dan Perangkat Komunikasi

Gambar 2 menunjukkan konfigurasi hubungan antar komponen pada sistem PLTS–*radio link*. Dua panel surya berkapasitas total 300 Wp mengisi dua baterai VRLA 12 V 40 Ah melalui *solar charge controller* tipe MPPT XTRA3210N. Energi yang tersimpan kemudian diatur oleh *Step Down* DC 24V–12V dan POE Injector 24V untuk menyuplai perangkat komunikasi, yaitu Ubiquiti Rocket M5, NanoSwitch, UniFi AC Mesh, dan kamera CCTV DS-2CD2T45G0P-I.

Sistem dilengkapi modul WiFi Epever 2.4G yang menyediakan akses pemantauan nirkabel sehingga parameter utama seperti tegangan baterai, arus panel surya, dan daya keluaran dapat diamati secara *real-time* melalui aplikasi *Epever Solar Station Monitor*. Pemantauan lanjutan dilakukan melalui perangkat lunak *Off-grid* pada laptop untuk mengamati performa PLTS secara daring dan memastikan stabilitas suplai daya bagi seluruh perangkat komunikasi.

3.3. Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data primer dan sekunder yang saling melengkapi guna mendukung hasil analisis, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Teknik pengumpulan Data

Jenis Data	Sumber/Data yang dikumpulkan
------------	------------------------------

Data Primer	<ul style="list-style-type: none"> - Hasil pengukuran tegangan, arus, dan daya pada panel surya, baterai, dan inverter - Nilai RSSI dan SNR pada perangkat <i>radio link</i>
Data Sekunder	<ul style="list-style-type: none"> - Spesifikasi teknis perangkat komunikasi (Rocket M5, NanoSwitch, UniFi AC Mesh, CCTV) - Literatur dan jurnal pendukung terkait sistem PLTS <i>off-grid</i>

Data primer digunakan untuk menganalisis kinerja aktual sistem di lapangan, sedangkan data sekunder berfungsi sebagai acuan pembandingan dan dasar validasi teoretis berdasarkan standar teknis serta literatur pendukung.

3.4. Teknik Analisis Data

Proses analisis data dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif untuk mengevaluasi hubungan antara performa sistem PLTS dan stabilitas sinyal *radio link*. Analisis mencakup perbandingan daya keluaran PLTS terhadap kebutuhan beban serta penilaian parameter jaringan, yaitu RSSI dan SNR. Efisiensi sistem dihitung dari rasio daya keluaran *inverter* terhadap energi yang dihasilkan panel surya, sedangkan stabilitas jaringan ditinjau berdasarkan konsistensi sinyal selama periode pengujian. Seluruh hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan uraian teknis guna memberikan representasi menyeluruh terhadap kinerja sistem.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem

Penerapan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang terintegrasi dengan jaringan *radio link* dilakukan di Site Sambarata, PT Artha Tunggal Mandiri, Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. Inisiatif ini bertujuan untuk menghadirkan sumber energi mandiri di kawasan pertambangan terpencil yang belum terhubung dengan jaringan listrik PLN. Sistem tersebut dirancang menggunakan konfigurasi

off-grid dengan kapasitas total 300 Wp, yang berfungsi menghasilkan pasokan energi listrik secara berkelanjutan melalui konversi radiasi matahari menggunakan modul fotovoltaik dan penyimpanan daya pada baterai. Energi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menunjang operasional berbagai perangkat komunikasi, seperti Ubiquiti Rocket M5, NanoSwitch, UniFi AC Mesh, dan kamera CCTV, yang membutuhkan pasokan daya selama 24 jam tanpa henti. Penerapan sistem PLTS jenis *off-grid* ini sejalan dengan temuan Arief dkk. [12], yang mengemukakan bahwa sistem PLTS berkapasitas 100 Wp mampu mempertahankan kestabilan kinerja dengan daya rata-rata 76,26 W, tegangan 21,29 V, dan arus 3,58 A selama uji coba tujuh hari. Selain itu, sistem tersebut menunjukkan efisiensi pengisian baterai yang optimal, dengan peningkatan kapasitas hingga 10% dalam pengujian selama dua hari. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem PLTS *off-grid* memiliki performa yang handal di iklim tropis Indonesia dan dapat diterapkan sebagai solusi praktis dalam penyediaan energi listrik berkelanjutan di wilayah terpencil tanpa akses jaringan listrik konvensional, sebagaimana diterapkan pada Site Sambarata.

Panel surya diposisikan dengan orientasi menghadap utara dan sudut kemiringan sekitar 15°, sesuai dengan konfigurasi instalasi PLTS di wilayah tropis yang bertujuan untuk memaksimalkan efisiensi penyerapan energi matahari [13]. Komponen utama sistem, meliputi MPPT XTRA3210N, baterai VRLA 2×12 V, *step-down* DC converter, modul pemantauan berbasis WiFi, serta perangkat proteksi, dirakit secara terintegrasi di dalam *control box* tertutup untuk melindungi seluruh peralatan dari pengaruh cuaca seperti panas, hujan, dan debu. Sementara itu, perangkat *radio link* ditempatkan pada menara dengan ketinggian sekitar 8 Meter guna mengoptimalkan jangkauan propagasi sinyal dan mengurangi potensi interferensi dari lingkungan sekitar. Desain instalasi tersebut sejalan dengan standar implementasi PLTS *off-grid*, yang menekankan penempatan panel surya pada area terbuka tanpa bayangan untuk menjamin kontinuitas suplai energi dan keandalan sistem secara keseluruhan. Dokumentasi instalasi lapangan disajikan pada Gambar 3.

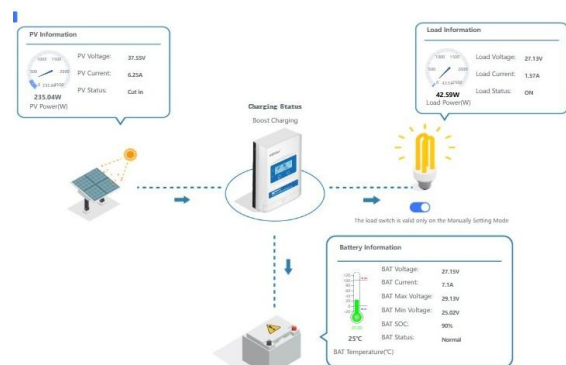


Gambar 3. Dokumentasi Instalasi Panel Surya dan Radio link

Dokumentasi lapangan menunjukkan bahwa instalasi sistem dilakukan pada area terbuka dengan vegetasi rendah, sehingga orientasi panel surya dan ketinggian antenna radio diatur secara tepat untuk menjamin kualitas suplai daya listrik dan kestabilan sinyal komunikasi.

4.2. Hasil Pengujian Sistem PLTS

Pengujian sistem PLTS dilakukan selama tujuh hari dengan menggunakan aplikasi *Off-grid* dan *Epever Solar Station Monitor* untuk mengevaluasi kinerja panel surya, kondisi baterai, serta kecukupan daya bagi perangkat komunikasi. Aplikasi *Off-grid* digunakan untuk melakukan pemantauan secara *real-time*, yang mencakup tegangan panel, arus pengisian, energi harian yang dihasilkan, status baterai, serta beban yang terhubung.



Gambar 4. Tampilan Monitoring Sistem PLTS melalui Solar Guardian

Pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa panel surya menghasilkan tegangan keluaran antara 18,0–21,0 V dengan arus pengisian berkisar 6–8 A. Total energi yang dapat diproduksi setiap hari berada pada kisaran 750–950 Wh. Besaran ini sejalan dengan profil iradiasi harian di wilayah Kalimantan Timur, yang umumnya mencapai 4,5–5,1 kWh/m² per hari berdasarkan laporan penelitian PLTS *off-grid* di daerah tropis [14]. Pada sisi penyimpanan, tegangan baterai terjaga stabil di rentang 12,3–13,7 V dengan *State of Charge* (SoC) berada pada level 70–95%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitas baterai masih mencukupi untuk memenuhi kebutuhan daya perangkat komunikasi selama beroperasi penuh 24 jam. Temuan ini menegaskan bahwa sistem PLTS mampu menyediakan suplai daya yang berkelanjutan baik pada siang maupun malam hari, sehingga operasional *radio link* tetap reliabel. Ringkasan hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 3.

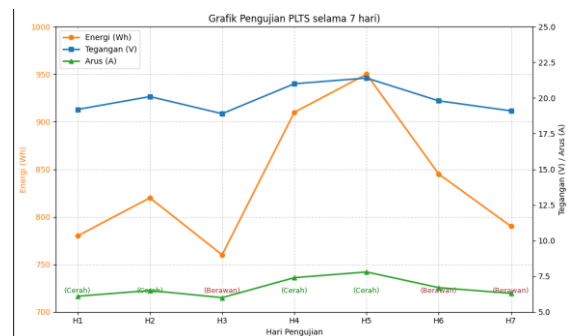
Tabel 3. Ringkasan Kinerja Sistem PLTS.

Parameter	Nilai Pengukuran	Keterangan
Tegangan Panel	18–21 V	Stabil
Arus Panel	4–8 A	Optimal
Energi Harian	750–950 Wh	Stabil
Tegangan Baterai	12,3–13,7 V	Normal
Soc Baterai	70–95%	Aman
Status Sistem	Normal	Tidak Ada gangguan

Selama periode pengujian tujuh hari, sistem mempertahankan performa yang stabil meskipun terdapat fluktuasi pada output energi harian yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Produksi energi maksimum tercapai pada hari kelima sebesar 950 Wh ketika cuaca cerah, sementara output terendah terjadi pada hari ketiga sebesar 760 Wh pada kondisi berawan. Kendati demikian, parameter tegangan panel dan arus pengisian tetap berada dalam batas kerja yang direkomendasikan. Ringkasan tren produksi energi harian PLTS selama pengujian ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian PLTS selama 7 hari

Hari	Energi (Wh)	Tegangan (V)	Arus (A)	Kondisi Cuaca
H1	780	19.2	6.1	Cerah
H2	820	20.1	6.5	Cerah
H3	760	18.9	6.0	Berawan
H4	910	21.0	7.4	Cerah
H5	950	21.4	7.8	Cerah
H6	845	19.8	6.7	Berawan
H7	790	19.1	6.3	Berawan



Gambar 5. Grafik Pengujian Sistem PLTS Selama 7 Hari

Gambar 5 menampilkan variasi produksi energi harian dari sistem PLTS sepanjang tujuh hari pengujian. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan adanya perubahan output yang mengikuti dinamika kondisi cuaca, namun tetap berada dalam kisaran performa yang konsisten untuk sistem PLTS *off-grid* di daerah tropis. Puncak produksi energi terjadi pada hari kelima, yaitu sebesar 950 Wh, yang bertepatan dengan kondisi cuaca cerah dan radiasi matahari yang tinggi. Sebaliknya, nilai terendah tercatat pada hari ketiga sebesar 760 Wh ketika wilayah pengujian mengalami tutupan awan yang lebih tebal. Walaupun terdapat perbedaan hasil antahari, parameter tegangan dan arus panel masih berada pada rentang operasional yang direkomendasikan, yakni sekitar 18,9–21,4 V dan 6,0–7,8 A. Pola tersebut mengindikasikan bahwa sistem PLTS mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan cuaca tanpa mengurangi kapasitasnya dalam menyediakan suplai energi yang dibutuhkan untuk komunikasi. Keandalan sistem juga didukung oleh kondisi tegangan dan tingkat pengisian baterai yang tetap stabil selama pengujian. Dengan demikian, grafik tersebut memperlihatkan bahwa PLTS mampu memberikan pasokan energi yang berkelanjutan untuk mendukung pengoperasian *radio link* selama 24 Jam.

4.3. Hasil Pengujian Jaringan *Radio link*

Pengujian jaringan *radio link* dilakukan secara simultan dengan evaluasi kinerja PLTS untuk memastikan bahwa suplai energi yang dihasilkan mampu menopang operasional perangkat komunikasi di area pertambangan secara berkesinambungan. Penilaian diarahkan pada tiga parameter utaman *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), dan *uptime* perangkat—karena ketiganya merupakan indikator krusial dalam mengukur mutu dan stabilitas layanan komunikasi nirkabel. Selama periode pengamatan, perangkat *radio link* beroperasi tanpa henti selama 24 jam dan seluruh data performanya direkam melalui sistem manajemen perangkat secara *real time*. Hasil yang dirangkum dalam Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai RSSI berkisar antara 56 hingga 68 dBm, yang mencerminkan kualitas penerimaan sinyal yang tetap stabil dan sejalan dengan karakteristik sistem komunikasi nirkabel berbasis pasokan energi surya sebagaimana dilaporkan pada studi sebelumnya [15]. Sementara itu, nilai SNR berada pada rentang 24–36 dB yang mengindikasikan kejernihan sinyal yang sangat baik serta minim gangguan interferensi. Adapun *uptime* perangkat tercatat mencapai 99,4–100%, menandakan bahwa pasokan energi dari PLTS mampu mempertahankan operasi jaringan tanpa hambatan akibat fluktuasi daya. Secara keseluruhan, hasil ini menguatkan bahwa integrasi PLTS *off-grid* dapat menyediakan suplai daya yang andal sekaligus memastikan kinerja *radio link* tetap optimal dalam mendukung komunikasi di kawasan pertambangan terpencil.

Tabel 5. Ringkasan Kinerja *Radio link*

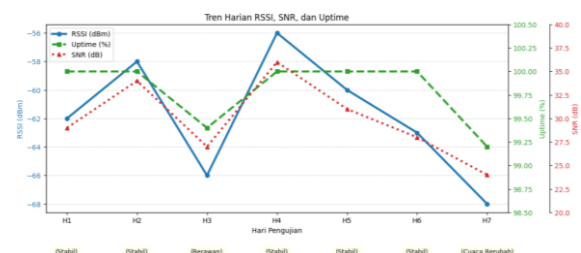
Parameter	Nilai	Status
RSSI	–56 s/d –68 dBm	Stabil
SNR	24–36 dB	Sangat Baik
<i>Uptime</i>	99.4–100%	Optimal

Dengan memperhatikan ringkasan performa pada Tabel 5, diperlukan kajian yang lebih mendalam terhadap fluktuasi harian nilai RSSI, SNR, dan *uptime* guna memperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kestabilan kinerja perangkat selama tujuh hari pengujian. Untuk itu, Tabel 6 disajikan sebagai

representasi perubahan ketiga parameter tersebut dari satu hari ke hari berikutnya, sekaligus menunjukkan bagaimana variasi kondisi cuaca turut memengaruhi kualitas penerimaan sinyal serta konsistensi operasi jaringan.

Tabel 6. Tren Harian RSSI, SNR dan *Uptime*

Hari	RSSI (dBm)	SNR (dB)	<i>Uptime</i> (%)	Keterangan
H1	-62	29	100	Stabil
H2	-58	34	100	Stabil
H3	-66	27	99.4	Berawan
H4	-56	36	100	Stabil
H5	-60	31	100	Stabil
H6	-63	28	100	Stabil
H7	-68	24	99.2	Cuaca Berubah



Gambar 6. Grafik Tren RSSI, SNR, dan *Uptime* Selama pengujian 7 Hari

Gambar 6 memperlihatkan dinamika perubahan nilai RSSI, SNR, dan *uptime* sepanjang tujuh hari pengujian. Secara umum, kedua parameter kualitas sinyal tersebut mengalami fluktuasi yang selaras dengan kondisi cuaca, di mana performa tertinggi tercatat pada hari-hari dengan radiasi matahari yang optimal, sementara penurunan nilai terlihat pada hari berawan. Kendati demikian, variasi yang muncul masih berada dalam batas operasional yang dapat diterima untuk sistem komunikasi *point-to-point*. Di sisi lain, *uptime* yang konsisten mendekati 100% menunjukkan bahwa perubahan kondisi cuaca tidak memberikan dampak signifikan terhadap kontinuitas suplai daya dari PLTS. Hal ini menegaskan bahwa konfigurasi PLTS *off-grid* mampu mempertahankan performa *radio link* secara stabil dan konsisten di lingkungan pertambangan terpencil.

Secara keseluruhan, hasil analisis pada Tabel 5, Tabel 6, dan Gambar 6 menunjukkan bahwa jaringan *radio link* mampu beroperasi dengan tingkat keandalan yang tinggi meskipun

seluruh pasokan energinya bersumber dari PLTS. Konsistensi parameter komunikasi selama periode pengujian mengindikasikan bahwa sistem PLTS *off-grid* yang diterapkan tidak hanya memadai dalam menyediakan kebutuhan daya perangkat, tetapi juga efektif dalam menjaga kualitas dan kontinuitas layanan komunikasi. Temuan ini menjadi landasan penting untuk memasuki subbab selanjutnya, yang akan membahas integrasi teknis antara PLTS dan *radio link* secara lebih komprehensif guna mengevaluasi kesesuaian sistem dalam konteks operasional pertambangan.

4.4. Hasil Pengujian Jaringan *Radio link*

Integrasi sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan jaringan *radio link* di *Site Sambarata*, Kabupaten Berau, ditujukan untuk menciptakan solusi komunikasi mandiri berbasis energi terbarukan di wilayah pertambangan terpencil yang belum memiliki akses listrik konvensional. Kajian ini menitikberatkan pada sinkronisasi antara performa PLTS dan stabilitas jaringan *radio link*, terutama dalam memastikan ketersediaan pasokan daya yang berkelanjutan serta menjaga kualitas layanan komunikasi nirkabel tetap optimal.

Berdasarkan hasil pengujian lapangan yang dilakukan di *Site Sambarata*, Kabupaten Berau, sistem PLTS berkapasitas 300 Wp mampu menghasilkan energi harian sebesar 750–950 Wh, dengan tegangan keluaran panel berada pada rentang 18–21 V dan arus 6–8 A. Kinerja ini menunjukkan bahwa sistem PLTS *off-grid* beroperasi secara optimal di wilayah tropis dengan efisiensi konversi energi yang tinggi dan kestabilan daya yang konsisten meskipun terjadi fluktuasi cuaca. Di sisi lain, jaringan *radio link* menunjukkan performa komunikasi yang stabil, dengan nilai RSSI antara –56 hingga –68 dBm, SNR pada kisaran 24–36 dB, dan *uptime* operasional mencapai 99,2–100%. Hal ini membuktikan bahwa suplai daya dari PLTS mampu mempertahankan operasi perangkat komunikasi selama 24 jam tanpa gangguan signifikan.

Hubungan antara kedua sistem memperlihatkan bahwa variabilitas produksi energi akibat perubahan intensitas radiasi matahari tidak berdampak langsung terhadap kestabilan konektivitas jaringan. Kondisi tegangan dan tingkat pengisian baterai (*State of*

Charge) yang tetap berada pada kisaran 70–95% menandakan bahwa sistem penyimpanan daya bekerja optimal dalam menyeimbangkan kebutuhan energi perangkat komunikasi. Dengan demikian, sistem PLTS mampu menyediakan suplai daya yang cukup untuk memastikan keandalan komunikasi nirkabel di lapangan.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa integrasi PLTS *off-grid* dengan *radio link* dapat diimplementasikan secara efektif sebagai solusi komunikasi berbasis energi terbarukan di area pertambangan terpencil. Sistem ini tidak hanya memastikan ketersediaan energi yang andal dan efisien, tetapi juga menjaga performa jaringan komunikasi pada tingkat optimal, sehingga layak dijadikan model penerapan teknologi hijau untuk infrastruktur telekomunikasi di wilayah tanpa akses listrik konvensional.

5. KESIMPULAN

- a. Integrasi sistem PLTS *off-grid* dengan jaringan *radio link* terbukti efektif dalam menyediakan pasokan energi yang stabil dan berkelanjutan untuk mendukung kebutuhan komunikasi di area pertambangan terpencil. Berdasarkan hasil pengujian, sistem PLTS berkapasitas 300 Wp mampu menghasilkan energi harian sebesar 750–950 Wh dengan tegangan panel 18–21 V dan arus 6–8 A. Daya yang dihasilkan tersebut mencukupi untuk mengoperasikan perangkat komunikasi selama 24 jam tanpa gangguan pasokan energi.
- b. Kinerja jaringan *radio link* menunjukkan tingkat kestabilan dan keandalan yang tinggi, dengan nilai RSSI berada pada kisaran –56 hingga –68 dBm, SNR sebesar 24–36 dB, serta *uptime* mencapai 99,2–100%. Hal ini membuktikan bahwa sistem PLTS mampu menjaga kontinuitas daya secara konsisten sehingga proses komunikasi dan transmisi data tetap berjalan optimal di wilayah yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN.
- c. Keunggulan utama sistem ini terletak pada efisiensi energi, kemandirian operasional, dan kontribusinya terhadap lingkungan. Integrasi antara PLTS dan jaringan *radio link* mampu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, menekan emisi

karbon, serta mendukung penerapan teknologi ramah lingkungan yang efisien dan berkelanjutan di area *off-grid*.

- d. Pengembangan penelitian ke depan perlu difokuskan pada peningkatan efisiensi dan ketahanan sistem, melalui penerapan konfigurasi energi hibrida seperti kombinasi PLTS genset atau PLTS mikrohidro, pemanfaatan teknologi pemantauan berbasis Internet of Things (IoT) dan algoritma pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk optimasi kinerja, serta analisis kelayakan ekonomi agar sistem ini dapat diterapkan secara lebih luas pada sektor pertambangan dan industri terpencil lainnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Artha Tunggal Mandiri atas izin dan dukungan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada keluarga, rekan-rekan, serta sahabat dekat yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan motivasi selama proses penelitian ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi yang tulus atas dorongan, semangat, serta dukungan moral dan material yang diberikan, yang sangat berarti dalam menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Halim, "Analisis Teknis dan Biaya Investasi Pemasangan PLTS On Grid dan Off Grid di Indonesia," *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, vol. 5, no. 2, p. 131–136, 2022.
- [2] D. Simatupang, I. Sulaeman, N. Moonen, R. Maulana, S. Baharuddin, A. Suryani, J. Popovic and F. Leferink, "Remote Microgrids for Energy Access in Indonesia—Part II: PV Microgrids and a Technology Outlook," *Energies*, vol. 14, no. 21, p. 6901, 2021.
- [3] N. W. I. N. a. M. W. M. F. Muhaemi, "Terjadinya Gangguan Pada VHF-ER U-PKU (Upper Pekanbaru) Frekuensi 132.3 MHz Merek Park Air T6T di Perum LPPNPI Cabang Pembantu Padang," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, p. 1331–1340, 2025..
- [4] B. S. G. a. A. Z. D. N. Akbar, "Studi Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Hybrid," *ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, p. 94–98, 2023..
- [5] Z. N. A. M. Basri Noor Cahyadi, "Studi analisis pembangkit listrik tenaga surya *off-grid* untuk mengurangi efek pemadaman listrik," *JITEL (Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Elektronika, dan Listrik Tenaga)*, vol. 5, no. 3, pp. 155–166, 2025.
- [6] A. P. M. S. A. J. D. E. F. E. Peprizal, "PERENCANAAN SISTEM PLTS OFF-GRID UNTUK KEBUTUHAN ENERGI LISTIRK PADA PERKEBUNAN," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 13, no. 3, pp. 2203–2210, 2025.
- [7] A. I. R. Imat Supriatna, "Pengaruh Interval Waktu Dan Arah Mata Angin Terhadap Daya Yang Dihasilkan," *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Tangerang*, vol. 8, no. 4, pp. 2580–4979, 2024.
- [8] T. T. S. M. I. Restu Nurohmah, "DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM PLTS OFF-GRID SKEMA HIBRIDA SEBAGAI ALTERNATIF SUPLAJ DAYA LISTRIK BEBAN SATU FASA," *JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan)*, vol. 12, no. 3S1, pp. 3471–3478, 2024.
- [9] T. A. A. N. F. M. Rafi Ramdan, "engembangan Sistem Plts *Off-grid* Untuk Mendukung Sistem Filtrasi Air," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 6610–6614, 2024.
- [10] S. Gunawan Sihombing, "PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN OF GRID di DAERAH TERPENCIL INDONESIA," *Jurnal Teknik Elektro dan Informatika*, vol. 16, no. 2, pp. 40–53, 2021.
- [11] A. . M. H. Imam Syaukani, "Simulasi Perancangan Pembangkit Hybrid (PLTS-PLTD) Menggunakan Homer di Pulau Bungin," *Impression: Jurnal Teknologi*

dan Informasi, vol. 4, no. 2, pp. 247-257, 2025.

- [12] M. W. W. A. A. L. W. Muhammad Baharuddin Arief, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-grid* dan Monitoring Berbasis Node-Red," *45ELPOSYS: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 45-50, 2024.
- [13] M. D. A. A. A. T. Risma Leticia Yorlanda, "PENGARUH KAPASITAS PANEL SURYA DAN SUDUT KEMIRINGAN TERHADAP KINERJA SISTEM PLTS OFF GRID 12 VOLT," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 05, no. 05, pp. 729-744, 2025.
- [14] K. H. K. Y. Nuriyanto Nugroho, "STUDI TEKNIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA SISTEM OFF GRID DAN ON GRID (Studi Kasus : PT. Arif Borneo Azzahra)," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 10, no. 1, pp. V-1 -V-11, 2022.
- [15] D. I. A. D. W. H. G. A. R. Dodi Setiabudi, "RSSI Measurement Analysis of Zigbee-Based Wireless," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 255-264, 2025.