

OPTIMALISASI ENERGI SURYA UNTUK MEWUJUDKAN KETAHANAN ENERGI BERKELANJUTAN DI SEDALIT, KALIMANTAN UTARA

Bagus Joko Raharjo¹, M Sidik Boedoyo², Muliahadi Tumanggor³

^{1,2,3}Prodi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan,

Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Indonesia

Corresponding e-mail: raharjobagusjoko@gmail.com

Copyright © 2025 The Author



This is an open access article

Under the Creative Commons Attribution Share Alike 4.0 International License

DOI: 10.53866/jimi.v5i5.1021

Abstract

Energy resilience, defined as the ability of a region to meet its energy needs independently and sustainably, has become a strategic issue, particularly in remote areas that are not yet optimally served by conventional electricity networks. Sedalit Village in North Kalimantan represents one of the regions with significant potential for the development of renewable energy to strengthen local energy independence and resilience. With an estimated 147 buildings and a population of approximately 400 people, the village hosts several essential public facilities, including three schools, two places of worship, three community halls, three government offices, one sports facility, two health posts (posyandu), and several other supporting infrastructures. A 52.8 kWp Solar Power Plant (PLTS) in Sedalit serves as a strategic solution for providing reliable, efficient, and environmentally friendly electricity supply. This study employs a quantitative method with an experimental approach to evaluate the performance of the off-grid solar power system in the area. The results show that the grounding system operates effectively, achieving the lowest resistance values ranging from 0.63 to 0.83 ohms. The inverter output remains stable at 219–220 V with a frequency of 50 Hz. Meanwhile, the DC input voltage varies between 456–502 V with a current of 0.60–0.84 A, indicating a slight decrease in performance across several solar module strings. Overall, the PLTS system in Sedalit demonstrates good operational performance and effectively supports sustainable energy supply for public facilities and the local community.

Keywords: Energy Resilience; Remote Areas; Solar Power Plant (PLTS)

Abstrak

Ketahanan energi, yang mencerminkan kemampuan suatu daerah dalam memenuhi kebutuhan energinya secara mandiri serta berkelanjutan, menjadi isu strategis terutama di wilayah terpencil yang belum terlayani secara optimal oleh jaringan listrik konvensional. Desa Sedalit di Kalimantan Utara merupakan salah satu kawasan yang memiliki potensi tinggi untuk pemanfaatan energi terbarukan dalam upaya memperkuat kemandirian dan ketahanan energi lokal. Berdasarkan asumsi jumlah sekitar 147 bangunan dengan populasi mendekati 400 jiwa, kawasan ini dilengkapi berbagai fasilitas umum penting, seperti tiga sekolah, dua tempat ibadah, tiga balai desa, tiga kantor pemerintahan, satu sarana olahraga, dua posyandu, serta sejumlah bangunan pendukung lainnya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 52,8 kWp di Sedalit menjadi solusi strategis dalam penyediaan energi listrik yang handal, efisien, dan ramah lingkungan. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi kinerja sistem PLTS off-grid di wilayah tersebut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem grounding berfungsi secara optimal dengan nilai tahanan terendah berkisar antara 0,63 hingga 0,83 ohm. Keluaran inverter terjaga stabil pada tegangan 219–220 V dengan frekuensi 50 Hz. Sementara itu, tegangan masukan DC berada pada kisaran 456–502 V dengan arus 0,60–0,84 A, yang menandakan adanya indikasi penurunan performa pada beberapa string modul surya. Secara keseluruhan, sistem PLTS di Sedalit menunjukkan kinerja yang baik dan mampu mendukung keberlanjutan pasokan energi bagi fasilitas publik serta masyarakat setempat.

Kata Kunci: Ketahanan Energi, Wilayah Terpencil, PLTS.

1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan mendasar bagi manusia yang berperan signifikan dalam menunjang aktivitas sosial, ekonomi, serta mendorong proses pembangunan di berbagai sektor. (Fandi & Latif, 2024) Ketahanan energi, yang diartikan sebagai kemampuan suatu wilayah dalam memenuhi kebutuhan energinya secara mandiri dan berkelanjutan, menjadi isu penting terutama di daerah terpencil yang belum sepenuhnya terjangkau oleh jaringan listrik konvensional. (Indriyani, 2022) Desa Sedalit di Kalimantan Utara memiliki potensi besar untuk pengembangan energi terbarukan guna memperkuat ketahanan energi lokal. (Rozi Farchur Mochamad, 2020) Desa Sedalit dihuni sekitar 400 jiwa dengan 147 bangunan, termasuk sekolah, tempat ibadah, kantor pemerintahan, sarana olahraga, dan posyandu. Tingginya kebutuhan energi listrik untuk menunjang aktivitas masyarakat dan pelayanan publik di wilayah ini belum sepenuhnya dapat terpenuhi akibat keterbatasan jaringan listrik konvensional. Kondisi tersebut menjadi tantangan tersendiri dalam upaya mewujudkan pemerataan energi dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. (Pratama, 2023)

Sebagai solusi atas keterbatasan listrik, sistem PLTS menjadi pilihan tepat dan berkelanjutan. (Syailuf Alim M., 2023) Sistem PLTS dengan kapasitas 52,8 kWp yang menerapkan skema *off-grid* atau sistem mandiri tanpa koneksi ke jaringan listrik PLN dapat menyediakan pasokan energi yang stabil dan efisien bagi seluruh bangunan di wilayah Sedalit. Teknologi ini sangat sesuai untuk wilayah terpencil yang belum memiliki akses listrik yang andal serta mendukung percepatan transisi energi bersih menuju pencapaian target energi baru dan terbarukan nasional. (Sidik, 2023)

Melalui penerapan sistem PLTS tersebut, diharapkan Desa Sedalit mampu memperkuat ketahanan energi lokal, meningkatkan produktivitas masyarakat, mendorong efisiensi pelayanan publik di berbagai fasilitas umum, serta mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil. (Salsabila, 2023) Penelitian ini mengkaji sejauh mana penerapan PLTS di Sedalit berkontribusi terhadap ketahanan energi dan pembangunan berkelanjutan di wilayah terpencil Kalimantan Utara.

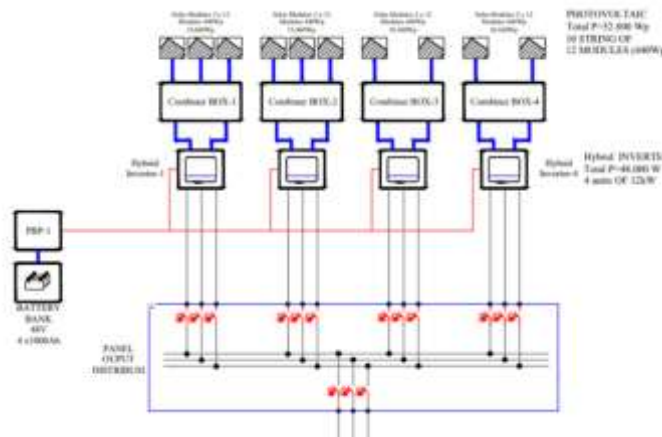
2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* yang diterapkan di Desa Sedalit, Kalimantan Utara. Pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan data yang objektif, terukur, dan dapat dianalisis secara statistik guna menilai tingkat efisiensi serta efektivitas sistem dalam mendukung ketahanan energi lokal. (Putung, 2021)

Objek penelitian mencakup seluruh komponen utama sistem PLTS, yaitu sistem grounding, modul panel surya (PV), inverter, baterai penyimpanan energi, serta perangkat listrik beban yang digunakan pada fasilitas umum dan bangunan masyarakat di Sedalit. (Cahyadi et al., 2020) Pengujian terhadap panel surya dilakukan untuk mengukur daya keluaran, efisiensi konversi energi matahari, serta stabilitas produksi daya pada berbagai kondisi cuaca di wilayah tropis. Inverter diuji untuk menilai efisiensi konversi arus DC ke AC, kestabilan tegangan keluaran, dan frekuensi sistem sesuai standar operasional. (Yuwono et al., 2021) Sementara itu, baterai dievaluasi untuk mengetahui kapasitas penyimpanan energi, efisiensi proses pengisian dan pengosongan (*charging dan discharging*), serta penurunan performa (degradasi) berdasarkan jumlah siklus penggunaan. (Kharisma et al., 2024)

Pengumpulan data dilakukan secara langsung melalui alat monitoring otomatis yang dipasang pada setiap komponen sistem selama periode pengamatan tertentu, selama 30 hari berturut-turut pada bulan Maret 2025, dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Data yang dikumpulkan meliputi tegangan (V), arus (A), daya (W), serta efisiensi sistem. Selain itu, dilakukan pula pencatatan kondisi lingkungan seperti intensitas radiasi matahari, suhu, dan kelembapan untuk memperkuat analisis hubungan antara kondisi cuaca dan kinerja sistem PLTS. (Noval et al., 2024)

Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan inferensial, serta analisis komparatif antara hasil aktual dengan spesifikasi desain untuk menilai efisiensi sistem. dengan membandingkan hasil aktual sistem terhadap spesifikasi desain dan kebutuhan energi masyarakat. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kinerja dan kontribusi PLTS terhadap ketahanan energi di Desa Sedalit, serta menjadi model rujukan dalam pengembangan energi terbarukan berbasis komunitas di wilayah terpencil Kalimantan Utara dan daerah sejenis lainnya.



Gambar 1. Komponen Perangkat Sistem PLTS

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Pengukuran Pentanahan

Pengukuran sistem pentanahan merupakan kegiatan untuk menentukan besarnya nilai tahanan tanah pada suatu sistem grounding. Tujuannya adalah memastikan arus gangguan listrik dapat mengalir ke tanah secara aman. Pengukuran ini memiliki peran penting dalam menjamin keselamatan peralatan maupun manusia dari potensi sengatan listrik, kerusakan akibat sambaran petir, serta gangguan kelistrikan lainnya.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pentanahan

No.	Komponen/ Titik Uji	Nilai/ Kriteria	Hasil Pengukuran (ohm)
1.	Bak Grounding	≤5 ohm	0,80
2.	Inverter 1		2,15
3.	Inverter 2		1,61
4.	Inverter 3		1,22
5.	Inverter 4		0,80
6.	Panel Combiner #1		0,61
7.	Panel Combiner #2		0,65
8.	Panel Combiner #3		0,71
9.	Panel Combiner #4		0,83
10.	Panel Baterai		1,04
11.	Baterai Bank #1		1,72
12.	Baterai Bank #2		1,81
13.	Baterai Bank #3		1,85
14.	Baterai Bank #4		1,75
15.	Mounting Modul Surya #1		0,60
16.	Mounting Modul Surya #2		0,60
17.	Mounting Modul Surya #3		0,71
18.	Mounting Modul Surya #4		0,82
19.	Penangkal Petir		1,11

Semua titik uji memiliki nilai tahanan di bawah 5 ohm, menandakan sistem pentanahan berfungsi baik. Nilai terendah tercatat 0,63-0,83 ohm pada panel *combiner* dan *mounting*, sedangkan tertinggi 2,17 ohm pada Inverter 1, masih dalam batas aman. Secara keseluruhan, hasil ini mengindikasikan bahwa setiap komponen sistem memiliki jalur pentanahan yang andal untuk mendukung perlindungan terhadap arus gangguan serta menjamin keselamatan instalasi.

3.2. Pengujian Modul Surya

Pengujian modul surya merupakan proses untuk menilai kinerja panel surya, termasuk pengukuran tegangan maksimum yang dihasilkan. Tujuan utama dari pengujian ini adalah memastikan bahwa modul beroperasi sesuai dengan spesifikasi teknis serta memberikan kinerja yang optimal di kondisi lapangan.

Tabel 2. Pengujian Modul Surya

No. STP	No. String	Hasil Uji
		Vmax (V)
1.	1	480
	2	485
	3	485
	4	485
	5	457
	6	461
2.	1	505
	2	505
	3	505
	4	505
	5	506
	6	506
3.	1	490
	2	490
	3	500
	4	486
	5	486
	6	485
4	1	502
	2	502
	3	501
	4	501
	5	502
	6	502

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan maksimum (V_{max}) pada setiap string secara umum berfungsi dengan baik dan stabil. Pada STP 1, ditemukan variasi tegangan yang cukup besar, yakni antara 458 V hingga 488 V, di mana string ke-5 dan ke-6 memiliki nilai paling rendah. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya kemungkinan gangguan, seperti bayangan (shading), sambungan yang kurang optimal, atau penurunan kinerja modul. Sebaliknya, STP 2 memperlihatkan kinerja yang sangat stabil, dengan seluruh string berada pada rentang 505-506 V, yang menandakan sistem bekerja secara optimal dan seragam. STP 3 menunjukkan tegangan berkisar antara 484-500 V, dengan sedikit penurunan pada beberapa string, namun masih dalam batas toleransi yang dapat diterima. Adapun STP 4 menampilkan kestabilan yang sangat baik dengan tegangan berada pada kisaran 500-502 V. Secara keseluruhan, hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa modul surya beroperasi dalam kondisi baik dan layak digunakan.

3.3. Pengujian PV Inverter

Pengujian inverter fotovoltaik (PV inverter) merupakan proses untuk menilai kinerja inverter dalam mengubah arus searah (DC) yang dihasilkan oleh panel surya menjadi arus bolak-balik (AC). Pengujian ini meliputi penilaian terhadap efisiensi konversi daya, kestabilan tegangan serta frekuensi keluaran, dan respons

inverter terhadap perubahan beban. Tujuan pengujian ini adalah memastikan bahwa inverter beroperasi secara optimal, efisien, dan aman dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Tabel 3. PV Inverter

No. Inverter	1	2	3	4
Jam Saat Pengukuran	15.30	15.35	15.37	15.40
Iradiasi Matahari (Watt/m ²)	612	612	612	612
Input DC terukur (V)	S1: 493 S2: 492	S1: 497 S2: 496	S1: 502 S2: 480	S1: 456 S2: 496
Input DC terukur (A)	S1: 0,84 S2: 0,75	S1: 0,72 S2: 0,83	S1: 0,75 S2: 0,78	S1: 0,78 S2: 0,60
Output AC terukur (V)	R: 220 S: 220 T: 219	R: 220 S: 220 T: 220	R: 220 S: 219 T: 220	R: 220 S: 220 T: 220
Output AC terukur (A)	R: 0,8 S: 0,5 T: 0,5	R: 0,5 S: 0,5 T: 0,6	R: 0,5 S: 0,4 T: 0,4	R: 0,4 S: 0,5 T: 0,5
Frekuensi Output AC (Hz)	50	50	50	50

3.4. Pengujian Battery

Pengujian baterai adalah proses untuk mengevaluasi kondisi dan kinerja baterai, termasuk tegangan, kapasitas, efisiensi pengisian dan pengosongan, serta kestabilan daya simpan. Tujuannya adalah memastikan baterai berfungsi optimal sebagai penyimpan energi dalam sistem PLTS dan mendukung kontinuitas suplai listrik. Jumlah baterai terdapat 96 unit, 192 kWh, dengan konfigurasi 4 bank, tersusun 24 seri dan 4 paralel.

Tabel 4. Pengujian Battery

No. Bank Baterai	1	2	3	4			
Tegangan Per Bank	52,7	52,7	52,7	52,7			
Tegangan Per Baterai							
	Bank 1		Bank 2		Bank 3		Bank 4
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,20	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,18	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,18	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,18	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,20	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19
	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19	2,19

Pengujian terhadap empat inverter dilakukan pada kondisi iradiasi matahari yang seragam, yaitu sebesar 612 W/m², guna memastikan kesetaraan pencahayaan saat pengambilan data. Dari sisi masukan DC, nilai tegangan dan arus menunjukkan variasi antar string (S1 dan S2) pada setiap inverter. Tegangan input

DC tercatat berada pada rentang 456–502 V, sedangkan arus input berkisar antara 0,60–0,84 A. Inverter 3 memiliki tegangan tertinggi pada string 1 (502 V), sedangkan inverter 4 menunjukkan tegangan terendah (456 V), yang dapat mengindikasikan penurunan kinerja atau kemungkinan adanya shading parsial pada string tersebut.

Pada sisi keluaran AC, seluruh inverter menunjukkan kestabilan tegangan di kisaran 219–220 V pada setiap fasa (R, S, T), yang menandakan kinerja inverter dalam menjaga stabilitas output cukup baik. Arus keluaran AC terukur antara 0,4–0,8 A, dengan nilai tertinggi pada fasa R di inverter 1 (0,8 A), kemungkinan disebabkan oleh beban yang lebih besar pada fasa tersebut. Sementara itu, frekuensi output seluruh inverter konsisten berada pada 50 Hz.

3.5. Pembahasan

Desa Sedalit, yang terletak di Kalimantan Utara dan diperkirakan dihuni oleh sekitar 400 jiwa dengan total 147 bangunan yang mencakup fasilitas umum seperti sekolah, tempat ibadah, balai desa, kantor pemerintahan, sarana olahraga, serta posyandu, telah berhasil memanfaatkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 52,8 kWp. Sistem PLTS ini mampu menyediakan pasokan listrik untuk memenuhi kebutuhan dasar masyarakat maupun operasional seluruh fasilitas umum secara optimal, dengan seluruh perangkat berfungsi dengan baik. Pemanfaatan energi surya ini tidak hanya memperluas akses masyarakat terhadap energi bersih dan andal, tetapi juga memperkuat ketahanan energi di tingkat desa, mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil, serta menjadi langkah nyata dalam mendukung transisi menuju energi berkelanjutan. Inisiatif ini diharapkan dapat menjadi contoh yang dapat direplikasi oleh desa-desa lain guna mendukung pencapaian target nasional menuju net zero emission tahun 2060.

4. Kesimpulan

Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *off-grid* berkapasitas 52,8 kWp di Desa Sedalit, Kalimantan Utara, terbukti efektif dalam memperkuat ketahanan energi di tingkat lokal. Sistem ini mampu menyediakan pasokan listrik yang andal dan berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat serta mendukung operasional berbagai fasilitas umum. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh komponen utama termasuk sistem grounding, panel surya, inverter, dan baterai menunjukkan kinerja yang stabil dalam batas parameter aman. Nilai tahanan grounding berada di bawah ambang batas yang ditentukan, sedangkan tegangan dan arus pada panel maupun inverter terpantau konsisten, dengan distribusi tegangan baterai yang merata. Dengan performa teknis yang optimal, keberadaan PLTS ini tidak hanya memperluas akses energi bersih bagi masyarakat pedesaan, tetapi juga berpotensi menjadi contoh penerapan energi terbarukan yang dapat direplikasi di wilayah lain untuk mendukung agenda transisi energi nasional menuju net zero emission 2060.

Daftar Pustaka

- Cahyadi, C. I., Gusti, I., Ayu, A., Oka, M., Kusyadi, D., Penerbangan, P., Sucipto, P. J. A., 3012 Sukodadi, N., Sukarami, K., Selatan, S., & Id, I. C. A. (2020). Efisiensi Recharger Baterai Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Edu ElektriKa Journal*, 9(2), 61–65.
- Fandi, S. R., & Latif, A. (2024). Analisis Permasalahan Pertumbuhan Ekonomi Di Negara Indonesia. *Jurnal Ilmiah Global Education*, 5(1), 740–749. <https://doi.org/10.55681/jige.v5i1.2505>.
- Indriyani, Y. (2022). Ketahanan Energi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (Plts Dan Pltbg) Diboyolali. *Jurnal Inovasi Daerah*, 1(1), 10–18.
- Kharisma, A., Pinandita, S., & Jayanti, A. E. (2024). Literature Review: Kajian Potensi Energi Surya Alternatif Energi Listrik. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(2), 145–154. <https://doi.org/10.14710/Jeft.2024.23956>
- Noval, M., Broto, S., Purwa Laksana, E., Musafa, A., & Fath, N. (2024). Rancang Bangun Sistem Pendingin Air Pada Panel Surya Terapung Di Perairan. *Jurnal Maestro*, 7(2), 19–25.
- Pratama, R. J. (2023). Dampak Optimasi Pemanfaatan Plts Terhadap Ketahanan Energi Satuan Di Kodam Xii/Tpr. *Jurnal Ketahanan Nasional*, 29(1), 1. <https://doi.org/10.22146/jkn.80314>.
- Putung, R. Y. & N. D. (2021). Analisis Efisiensi Penggunaan Energi Listrik Dengan Audit Energi Shalahuddin Hlm | 1307

- Miqrad. *Journal Of Electrical Engineering, Energy, And Information Technology*, 1(1), 1–7.
- Rozi Farchur Mochamad, S. A. N. (2020). Pemanfaatan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta Untuk Mendukung Ketahanan Energi. *Jurnal Program Studi Universitas Pertahana*, 6(1), 39–60.
- Salsabila, N. (2023). Analisis Perkembangan Penanggulangan Pencemaran Udara Yang Disebabkan Oleh Bahan Bakar Fosil. *Jurnal Pendidikan, Sains Dan Teknologi*, 2(4), 1010–1014.
- Sidik, M. W. (2023). Studi Potensi Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (Ebt) Untuk Mendukung Sistem Ketenagalistrikan Di Wilayah Ikn. *Jurnal Sistem Komputer Dan Kecerdasan Buatan*, 6(2), 7.
- Syaiful Alim M., T. S. (2023). Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Alternatif Ketahanan Energi Nasional Masa Depan. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Nusantara (Jpkmn)*, 4(3), 2427–2435. <https://doi.org/10.55338/jpkmn.v4i2.1480>.
- Yuwono, S., Diharto, D., & Pratama, N. W. (2021). Manfaat Pengadaan Panel Surya Dengan Menggunakan Metode On Grid. *Energi & Kelistrikan*, 13(2), 161–171. <https://doi.org/10.33322/energi.v13i2.1537>.