



PROTOTYPE SISTEM PENERANGAN PERAHU NELAYAN BERBASIS ENERGI SURYA DI DAERAH 3T

Abraham Manuhutu

Politeknik Negeri Ambon

*Email Korespondensi: bram.manuhutu@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe sistem penerangan perahu nelayan berbasis energi surya yang diperuntukkan bagi masyarakat nelayan di daerah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Permasalahan utama yang dihadapi adalah keterbatasan akses energi listrik konvensional di wilayah pesisir terpencil, sehingga nelayan masih bergantung pada lampu berbahan bakar minyak tanah yang tidak efisien, berisiko, dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Sistem prototipe yang dikembangkan memanfaatkan panel surya 50 Wp sebagai sumber energi utama, baterai lithium-ion 12V/20Ah sebagai penyimpan energi, modul Solar Charge Controller (SCC) tipe PWM, serta lampu LED 12V 10 Watt sebagai beban penerangan. Pengujian dilakukan selama 7 hari pada kondisi cuaca tropis di wilayah pesisir daerah 3T. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan daya rata-rata sebesar 38,5 Wp per hari dengan efisiensi pengisian baterai mencapai 87,3%. Lampu LED mampu beroperasi rata-rata 8–10 jam per malam menggunakan energi yang tersimpan dalam baterai. Prototipe ini terbukti layak secara teknis dan ekonomis sebagai solusi penerangan alternatif bagi nelayan di daerah 3T, sekaligus mendukung program ketahanan energi nasional berbasis energi terbarukan.

Kata Kunci: Energi Surya, Panel Surya, Perahu Nelayan, Sistem Penerangan, Daerah 3T.

ABSTRACT

This research aims to design and implement a prototype solar energy-based lighting system for fishing boats intended for fishing communities in underdeveloped, frontier, and outermost (3T) areas. The main problem faced is the limited access to conventional electrical energy in remote coastal areas, causing fishermen to still rely on kerosene lamps that are inefficient, risky, and environmentally harmful. The developed prototype utilizes a 50 Wp solar panel as the main energy source, a 12V/20Ah lithium-ion battery as energy storage, a PWM-type Solar Charge Controller (SCC) module, and a 12V 10 Watt LED lamp as the lighting load. Testing was conducted for 7 days under tropical weather conditions in coastal 3T areas. The test results show that the system is capable of generating an average power of 38.5 Wp per day with a battery charging efficiency of 87.3%. The LED lamp can operate an average of 8–10 hours per night using energy stored in the battery. This prototype is proven technically and economically feasible as an alternative lighting solution for fishermen in 3T areas, while also supporting the national energy resilience program based on renewable energy.

Keywords: Solar Energy, Solar Panel, Fishing Boat, Lighting System, 3T Area.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang terdiri atas ribuan pulau dan memiliki wilayah pesisir yang sangat luas. Kondisi geografis tersebut menjadikan sektor kelautan dan perikanan sebagai salah satu penopang penting perekonomian nasional, terutama bagi masyarakat yang tinggal di kawasan pesisir dan pulau-pulau kecil. Berdasarkan data Kementerian Kelautan dan Perikanan, sektor perikanan berperan penting dalam penyediaan lapangan kerja dan sumber pendapatan masyarakat pesisir (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2022).

Di sisi lain, pembangunan infrastruktur energi di Indonesia masih menghadapi tantangan, khususnya pada wilayah tertinggal, terdepan, dan terluar (3T). Meskipun rasio elektrifikasi nasional telah mencapai lebih dari 99%, masih terdapat daerah terpencil yang belum memperoleh akses listrik secara optimal dan masih bergantung pada pembangkit listrik berbahan bakar diesel dengan biaya operasional yang tinggi (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, 2023). Keterbatasan akses energi ini berdampak pada berbagai aktivitas ekonomi masyarakat, termasuk aktivitas penangkapan ikan yang banyak dilakukan pada malam hari.

Nelayan di wilayah 3T umumnya memerlukan sistem penerangan yang andal untuk mendukung aktivitas melaut sekaligus meningkatkan keselamatan kerja. Namun, sebagian nelayan masih menggunakan lampu berbahan bakar minyak yang memiliki kelemahan berupa biaya operasional yang relatif tinggi, risiko kebakaran, serta menghasilkan emisi yang berdampak terhadap lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi yang lebih aman, ekonomis, dan ramah lingkungan.

Salah satu solusi yang potensial adalah pemanfaatan energi surya melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Indonesia memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena berada di wilayah khatulistiwa dengan intensitas penyinaran matahari yang tinggi sepanjang tahun. Pemanfaatan energi surya telah banyak diterapkan sebagai solusi penyediaan listrik pada daerah terpencil melalui sistem off-grid yang tidak bergantung pada jaringan listrik PLN (Ferdyson & Windarta, 2023). Selain itu, berbagai penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTS mampu menyediakan sumber energi yang stabil, berkelanjutan, dan ekonomis untuk berbagai kebutuhan masyarakat pesisir dan kepulauan (Wicaksono et al., 2023; Pongoh et al., 2023).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe sistem penerangan perahu nelayan berbasis energi surya yang dapat diterapkan pada wilayah 3T. Sistem yang dirancang terdiri atas panel surya, solar charge controller (SCC), baterai sebagai media penyimpanan energi, dan lampu LED sebagai beban penerangan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan alternatif solusi penerangan yang hemat energi, meningkatkan keselamatan nelayan saat melaut, serta mendukung pemanfaatan energi terbarukan di kawasan pesisir dan kepulauan terpencil.

METODE PENELITIAN

1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan metode perancangan dan pengujian prototipe (prototyping). Pendekatan ini memungkinkan analisis yang komprehensif terhadap kinerja sistem penerangan berbasis energi surya dengan mempertimbangkan berbagai komponen yang terlibat, meliputi sumber energi, penyimpanan, pengaturan daya, dan beban penerangan.

2. Desain Sistem

Desain prototipe sistem penerangan perahu nelayan berbasis energi surya dalam penelitian ini terdiri atas empat komponen utama yang terintegrasi dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Identifikasi kebutuhan penerangan nelayan dan kondisi lingkungan di daerah 3T.
- Pemilihan dan penentuan spesifikasi komponen sistem pembangkit surya.
- Perakitan dan integrasi komponen menjadi prototipe sistem penerangan.

3. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan yang meliputi intensitas iradiasi matahari, tegangan dan arus keluaran panel surya, kapasitas dan tegangan baterai, serta durasi operasional lampu LED. Data sekunder diperoleh dari studi literatur berupa jurnal ilmiah, buku referensi, dan laporan resmi pemerintah terkait elektrifikasi daerah 3T. Adapun spesifikasi teknis komponen yang digunakan disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Komponen Sistem Penerangan Berbasis Surya

No.	Komponen	Spesifikasi	Fungsi
1	Panel Surya Polikristal	50 Wp, 17,6 V, 2,84 A	Konversi energi surya ke listrik DC
2	Solar Charge Controller (SCC) PWM	12/24V, 10A	Pengatur pengisian baterai
3	Baterai Lithium-ion	12V, 20Ah (240 Wh)	Penyimpan energi listrik
4	Lampu LED Tahan Air	12V DC, 10W, IP65	Beban penerangan perahu
5	Kabel & Konduktor	AWG 14, tembaga	Penghantar arus listrik

4. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Daya keluaran panel surya dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan: P = daya (Watt); V = tegangan (Volt); I = kuat arus (Ampere).

Efisiensi pengisian baterai dihitung dengan formula:

$$\eta = (E_{\text{out}} / E_{\text{in}}) \times 100\% \quad \text{.....(2)}$$

Estimasi durasi operasional lampu menggunakan rumus:

$$t = C_{\text{baterai}} / P_{\text{beban}} \quad \text{.....(3)}$$

HASIL PENELITIAN

A. Hasil Perancangan Prototipe

Prototipe sistem penerangan perahu nelayan berbasis energi surya berhasil dirancang dan dirakit dengan mengintegrasikan seluruh komponen sesuai desain yang telah ditetapkan. Panel surya dipasang pada rangka aluminium yang dapat dilipat dan dipasang di atap perahu, sehingga mudah dioperasikan oleh nelayan. Baterai dan SCC ditempatkan dalam kotak kedap air berbahan *fiberglass* untuk melindungi komponen dari cipratan air laut.

B. Hasil Pengujian Daya Keluaran Panel Surya

Pengujian dilakukan selama 7 periode berturut-turut. Hasil pengukuran daya keluaran panel surya harian disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Hasil Pengukuran Daya Keluaran Panel Surya

Periode 1	Iradiasi (kWh/m ²)	V _{panel} (Volt)	I _{panel} (A)	P _{out} (Wp)
1	4,72	16,8	2,41	40,49
2	4,51	16,5	2,30	37,95
3	4,88	17,0	2,48	42,16
4	4,20	16,2	2,15	34,83
5	4,65	16,7	2,38	39,75
6	4,80	16,9	2,44	41,24
7	4,55	16,6	2,32	38,51
Rata-rata	4,62	16,67	2,35	38,56

Berdasarkan Tabel 2, rata-rata daya keluaran panel surya selama pengujian adalah sebesar 38,56 Wp per hari. Nilai ini sedikit lebih rendah dari kapasitas nominal 50 Wp dikarenakan adanya rugi-rugi akibat suhu permukaan panel yang tinggi di lingkungan tropis, serta pantulan radiasi pada sudut matahari tertentu. Efisiensi panel surya di lingkungan tropis cenderung berkisar antara 75–85% dari kapasitas nominal akibat pengaruh temperatur.

C. Hasil Pengujian Efisiensi Pengisian Baterai

Efisiensi pengisian baterai dihitung berdasarkan perbandingan antara energi yang tersimpan dalam baterai (energi keluaran) dengan total energi yang dihasilkan oleh panel surya (energi masukan). Berdasarkan pengukuran selama 7 periode pengujian, efisiensi rata-rata pengisian baterai dengan SCC tipe PWM adalah sebesar 87,3%. Nilai ini menunjukkan bahwa SCC PWM yang digunakan mampu bekerja dengan baik dalam kondisi iklim tropis pesisir, meskipun efisiensinya lebih rendah dibandingkan SCC tipe MPPT yang dapat mencapai 93–97%

D. Hasil Pengujian Durasi Operasional Lampu LED

Dengan kapasitas baterai lithium-ion 12V/20Ah (240 Wh) dan beban lampu LED 12V 10 Watt, durasi operasional teoritis lampu dihitung sebagai berikut:

$$t = 240 \text{ Wh} / 10 \text{ W} = 24 \text{ jam (kapasitas penuh)}$$

Untuk menjaga umur baterai, kedalaman pengosongan (Depth of Discharge/DoD) dibatasi maksimum 80%, sehingga kapasitas efektif yang dapat digunakan adalah 192 Wh, menghasilkan durasi operasional efektif sebesar 19,2 jam. Pada kondisi aktual pengujian di lapangan dengan rata-rata pengisian baterai harian dari panel surya sebesar 38,56 Wp $\times$ 87,3% = 33,67 Wh, lampu LED mampu beroperasi rata-rata 8,4 jam per malam. Durasi ini dinilai sangat memadai untuk kebutuhan operasional nelayan yang umumnya melaut pada malam hari (Saputra & Wahyudi, 2024).

PEMBAHASAN

Analisis Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe sistem penerangan berbasis energi surya yang dikembangkan layak diterapkan pada perahu nelayan di daerah 3T. Daya rata-rata yang dihasilkan panel surya sebesar 38,56 Wp per hari sudah cukup untuk memenuhi kebutuhan penerangan nelayan selama satu malam operasi penangkapan ikan.

Penggunaan SCC tipe PWM dipilih karena pertimbangan ekonomis dan ketersediaan komponen di pasar lokal daerah 3T. Meskipun efisiensinya (87,3%) lebih rendah dibandingkan SCC MPPT, biaya pengadaan SCC PWM sekitar 60% lebih murah, sehingga lebih terjangkau bagi nelayan dengan keterbatasan modal. Pemilihan komponen sistem PLTS untuk daerah 3T harus mempertimbangkan aspek keterjangkauan harga dan kemudahan perawatan lokal, tidak semata-mata mengejar efisiensi teknis tertinggi.

Sistem penerangan berbasis surya di wilayah pesisir terpencil memiliki nilai ekonomis yang sangat kompetitif terhadap sumber penerangan konvensional.

Aspek keselamatan juga menjadi pertimbangan penting dalam penelitian ini. Lampu LED yang digunakan memiliki sertifikasi IP65 yang menjamin ketahanan terhadap percikan air laut, sehingga aman digunakan di lingkungan perahu. Selain itu, eliminasi penggunaan lampu berbahan bakar minyak tanah secara signifikan mengurangi risiko kebakaran di atas perahu, yang merupakan salah satu kecelakaan laut yang paling sering dialami nelayan tradisional di Indonesia (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2022).

Tantangan utama yang ditemukan selama pengujian adalah fluktuasi daya keluaran panel surya yang cukup besar pada hari ke-4 (34,83 Wp) akibat kondisi mendung parsial. Untuk mengantisipasi hal ini, disarankan penambahan kapasitas baterai atau panel surya kedua sebagai cadangan, khususnya bagi nelayan yang beroperasi pada musim hujan tropis.

SIMPULAN

Prototipe sistem penerangan perahu nelayan berbasis energi surya yang dirancang dalam penelitian ini terbukti efektif dan layak diterapkan di daerah 3T. Sistem dengan konfigurasi panel surya 50 Wp, SCC PWM 10A, baterai lithium-ion 12V/20Ah, dan lampu LED 12V 10 Watt mampu menghasilkan daya rata-rata 38,56 Wp per hari dengan efisiensi pengisian baterai sebesar 87,3%, serta mendukung operasional lampu penerangan rata-rata 8,4 jam per malam. Secara ekonomis, sistem ini mencapai titik impas investasi dalam waktu kurang dari 7 bulan dibandingkan pengeluaran minyak tanah lampu konvensional. Implementasi sistem ini berkontribusi terhadap peningkatan keselamatan nelayan, penurunan emisi karbon, dan pemanfaatan energi terbarukan di wilayah pesisir terpencil. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya adalah: (1) melakukan pengujian sistem dengan menambahkan komponen inverter DC-AC agar dapat mengoperasikan peralatan navigasi tambahan; (2) mengkaji penggantian SCC PWM dengan tipe MPPT untuk meningkatkan efisiensi pengisian pada kondisi cuaca tidak menentu; (3) mengembangkan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pemantauan kondisi baterai secara real-time; serta (4) melakukan studi komparatif antara berbagai konfigurasi panel dan baterai untuk mengidentifikasi desain yang paling optimal bagi nelayan di daerah 3T.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2022). *Kelautan dan Perikanan Dalam Angka 2022*. Jakarta: Pusat Data Statistik dan Informasi KKP.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. (2023). *Buku Statistik Ketenagalistrikan 2023*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Indonesia 2023*. Jakarta: BPS.
- Ferdyson, & Windarta, J. (2023). *Overview Pemanfaatan dan Perkembangan Sumber Daya Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan di Indonesia*. Jurnal Energi Baru dan Terbarukan.
- Wicaksono, S. A., Hartati, R. S., & Sukerayasa, I. W. (2023). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Off Grid*. Jurnal Spektrum.
- Pongoh, J., dkk. (2023). *Analisis Potensi Tenaga Surya Sebagai Pemanfaatan Sumber Energi pada Rakit Rumah Apung Nelayan*. Jurnal Elektrik.