



Rancang bangun lampu navigasi tongkang dengan pembangkit tenaga matahari

Muhammad Deddy Rahman^{1*}, Trinil Muktningrum²

^{1,2} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri

ARTICLE INFO

Article history:

Received May 08, 2026

Revised May 11, 2026

Accepted May 15, 2026

Available online May 30, 2026

Kata Kunci:

lampur navigasi; tongkang; PLTS; tenaga surya; efisiensi

Keywords:

Navigation Light; barge; PLTS; solar energy; efficiency



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2025 by Author. Published by Pintarologi Media

ABSTRAK

Tongkang batubara umumnya tidak memiliki sistem pembangkit listrik mandiri sehingga lampu navigasi bergantung pada baterai konvensional yang memiliki keterbatasan keandalan. Padahal, lampu navigasi merupakan komponen penting dalam keselamatan pelayaran sesuai regulasi COLREG 1972. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem lampu navigasi tongkang berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dapat beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan. Metode penelitian menggunakan eksperimen dengan pendekatan deskriptif kuantitatif melalui perancangan sistem yang terdiri atas panel surya 10 Wp, baterai VRLA 12 V 7,2 Ah, dan Solar Charge Controller (SCC), serta pengujian selama 15 hari pada berbagai kondisi cuaca. Hasil penelitian menunjukkan sistem mampu menghasilkan energi 24,69–51,84 Wh per hari, memenuhi kebutuhan beban 24 Wh per hari, dengan efisiensi rata-rata 72,77% dan pengisian baterai stabil pada rentang 12,1–13,4 V. Lampu navigasi LED 2 Watt dapat beroperasi selama 12 jam setiap malam secara konsisten. Sistem ini dinyatakan layak, efisien, dan andal sebagai solusi energi alternatif yang mendukung keselamatan pelayaran berkelanjutan.

ABSTRACT

Coal barges generally do not have independent power generation systems, causing navigation lights to rely on conventional batteries with limited reliability. Meanwhile, navigation lights are essential for maritime safety and compliance with the COLREG 1972 regulations. This study aims to design and develop a solar-powered navigation lighting system for barges that can operate independently and sustainably. An experimental method with a quantitative descriptive approach was employed through the design of a system consisting of a 10 Wp solar panel, a 12 V 7.2 Ah VRLA battery, and a Solar Charge Controller (SCC). The system was tested for 15 days under various weather conditions. The results showed that the system generated 24.69–51.84 Wh of energy per day, sufficient to meet the daily load demand of 24 Wh. The average system efficiency reached 72.77%, while battery charging remained stable within a voltage range of 12.1–13.4 V. The 2 W LED navigation light consistently operated for 12 hours each night. Therefore, the proposed system is feasible, efficient, and reliable as a sustainable alternative energy solution for maritime safety.

1. Pendahuluan

Tongkang batubara merupakan salah satu sarana transportasi laut yang banyak digunakan dalam kegiatan distribusi energi dan bahan tambang (Britanica, 2023). Dalam operasionalnya, tongkang umumnya tidak dilengkapi dengan sistem penggerak maupun pembangkit listrik mandiri berupa genset, sehingga kebutuhan energi untuk sistem kelistrikan, termasuk lampu navigasi, sangat bergantung pada baterai atau sumber listrik eksternal. Kondisi tersebut menimbulkan permasalahan terkait keandalan dan kontinuitas operasional lampu navigasi yang berperan penting dalam keselamatan pelayaran. Lampu navigasi berfungsi untuk menunjukkan posisi, arah, dan status kapal kepada kapal lain di sekitarnya sehingga menjadi salah satu komponen utama dalam pencegahan tabrakan di laut. Berdasarkan International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG) 1972, setiap kapal, termasuk tongkang

*Corresponding author

E-mail addresses: Muhammad.deddy.rahman@students.kahuripan.ac.id

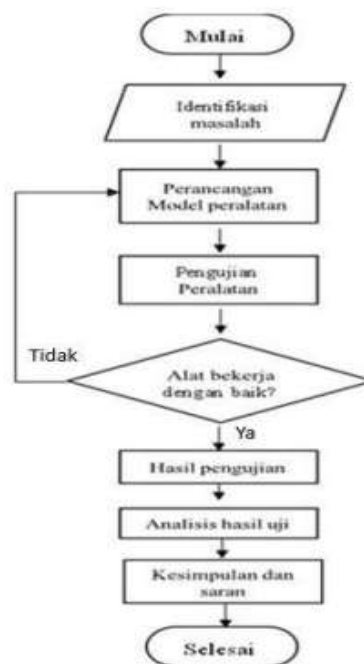
yang sedang berlayar, ditarik, maupun berlabuh, wajib menyalakan lampu navigasi sesuai ketentuan yang berlaku (Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, 2019). Ketidakberfungsian lampu navigasi dapat menyebabkan kesalahan persepsi oleh kapal lain dan meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan pelayaran (International Maritime Organization, 1972).

Pada praktiknya, banyak tongkang batubara masih menggunakan baterai konvensional tanpa sistem pengisian yang terintegrasi. Penggunaan baterai secara berulang dengan proses pengosongan dan pengisian yang tidak optimal dapat menyebabkan penurunan kapasitas serta memperpendek umur pakai baterai. Alternatif penggunaan genset sebagai sumber energi tambahan juga dinilai kurang efisien karena memerlukan bahan bakar, meningkatkan biaya operasional dan perawatan, serta menghasilkan emisi gas buang dan kebisingan. Kondisi tersebut kurang sejalan dengan perkembangan industri maritim modern yang mengarah pada efisiensi energi dan pengurangan emisi karbon. Salah satu solusi yang berpotensi diterapkan adalah pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai sumber energi mandiri untuk lampu navigasi. PLTS memiliki beberapa keunggulan, antara lain tidak memerlukan bahan bakar, memiliki biaya operasional yang rendah, ramah lingkungan, serta relatif mudah dalam perawatan. Selain itu, Indonesia memiliki potensi energi surya yang tinggi sepanjang tahun sehingga sangat mendukung penerapan teknologi PLTS pada sektor maritim (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa sistem tenaga surya mampu menyediakan suplai energi yang andal untuk berbagai aplikasi kelistrikan skala kecil. Namun, kajian mengenai penerapan PLTS pada sistem lampu navigasi tongkang batubara masih relatif terbatas, khususnya yang mempertimbangkan kebutuhan daya lampu navigasi sesuai regulasi keselamatan pelayaran serta kemampuan sistem dalam beroperasi secara mandiri dan berkelanjutan. Oleh karena itu, diperlukan perancangan dan pengujian sistem yang sesuai dengan karakteristik operasional tongkang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem lampu navigasi tongkang berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), menentukan spesifikasi komponen utama yang digunakan, serta mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan kemampuan pengisian baterai, pemenuhan kebutuhan energi beban, durasi operasional lampu, dan keandalan sistem secara keseluruhan. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi alternatif solusi penyediaan energi yang mandiri, efisien, dan berkelanjutan guna mendukung keselamatan pelayaran pada tongkang Batubara.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Banjarmasin – Kalimantan Selatan, waktu pelaksanaan selama 3 bulan. Pengujian alat dalam penelitian ini disusun dalam bentuk skema sederhana. skema ini bertujuan untuk memberikan pemahaman dan indentifikasi isi penelitian .Serta diharapkan pengolahan data sumber dapat dilakukan secara lebih focus dan terstruktur. Tahapan dalam proses penelitian ini dilakukan berdasarkan gambar dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir

2.1. Perancangan Sistem Alat

Perancangan sistem pada penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan lampu navigasi tongkang berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tipe off-grid yang mampu beroperasi secara mandiri, andal, dan berkelanjutan sesuai dengan ketentuan International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREG). Dalam proses perancangannya, aspek kebutuhan daya lampu navigasi, kondisi lingkungan maritim, serta keandalan sistem dalam mendukung operasional jangka panjang menjadi pertimbangan utama. Berikut ini gambar prototipe lampu navigasi tongkang dengan pembangkit tenaga matahari:



Gambar 2. Perancangan alat tampak depan

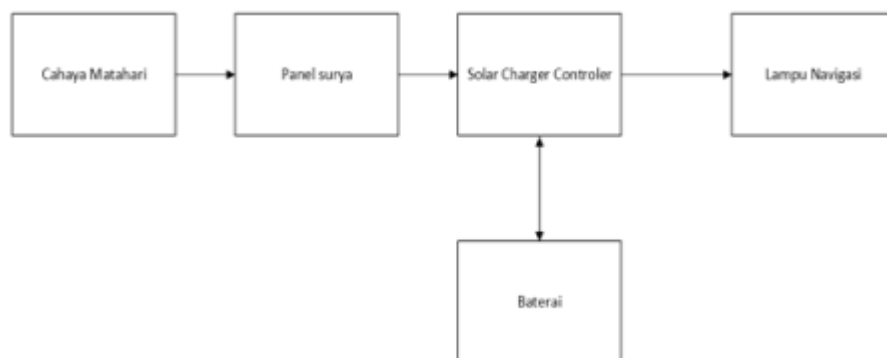
Prinsip Kerja sistem PLTS pada lampu navigasi tongkang adalah sebagai berikut:

1. Pada siang hari, panel surya menerima radiasi matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik DC melalui efek fotovoltaiik.
2. Energi listrik tersebut dialirkan ke *solar charge controller*
3. Solar charge controller mengatur arus dan tegangan pengisian baterai agar sesuai spesifikasi.
4. Energi disimpan di dalam baterai sebagai cadangan daya.
5. Ketika intensitas cahaya lingkungan menurun (sore/malam hari), fotosensor akan mengaktifkan lampu navigasi secara otomatis.
6. Lampu navigasi memperoleh suplai daya dari baterai hingga kembali tersedia cahaya matahari.

Sistem ini memungkinkan lampu navigasi tetap beroperasi secara kontinu tanpa ketergantungan pada sumber energi eksternal.

2.2. Diagram Blok Peralatan

Secara sistematis, hubungan antar komponen dapat digambarkan dalam diagram blok berikut:



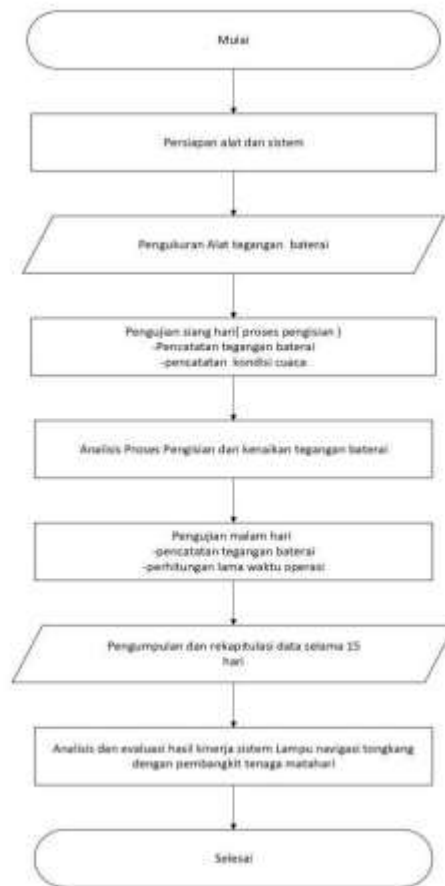
Gambar 3. Diagram Blok Peralatan

Keterangan:

1. Panel surya menghasilkan listrik DC
2. *Solar Charger Controller* mengatur pengisian ,proteksi dan mengatur
3. hidup,matinya lampu navigasi
4. Baterai tempat menyimpan energi
5. Lampu Navigasi adalah beban utama system

2.3. Teknik Analisis Data

Perancangan pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem lampu navigasi berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) off-grid pada berbagai kondisi operasi. Pengujian difokuskan pada analisis parameter elektrik serta pengaruh variasi cuaca terhadap performa sistem, mengingat energi yang digunakan berasal dari radiasi matahari. Pelaksanaan pengujian dilakukan dalam skala laboratorium dan lingkungan terbuka dengan mensimulasikan kondisi siang dan malam, disertai pengambilan serta pencatatan data secara berkala untuk memperoleh hasil yang representatif.



Gambar 4. Diagram Perancangan Pengujian

2.4. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode observasi eksperimental melalui pengukuran langsung terhadap kinerja sistem pada berbagai kondisi cuaca. Pengambilan data dilakukan secara berkelanjutan selama 15 hari untuk memperoleh informasi yang representatif mengenai performa dan tingkat keandalan sistem dalam kondisi operasional yang berbeda.

2.5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja sistem lampu navigasi tongkang berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Data hasil pengukuran dianalisis berdasarkan parameter kelistrikan, seperti tegangan, arus, daya, dan energi yang dihasilkan, serta pengaruh variasi kondisi cuaca terhadap performa dan keandalan sistem selama periode pengujian.

Daya Keluaran Panel Surya dihitung menggunakan persamaan:

$$P = V \times I \quad [1]$$

Keterangan:

P = Daya (watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Energi listrik yang dihasilkan atau digunakan dihitung dengan persamaan:

$$E = P \times t \text{ [2]}$$

Keterangan:

E = Energi (*Wh*)

P = Daya (*Watt*)

t = Waktu (*Jam*)

Efisiensi sistem dihitung untuk mengetahui perbandingan antara energi yang dihasilkan panel surya dengan energi yang tersimpan dalam baterai atau digunakan oleh beban.

$$\eta = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% \text{ [3]}$$

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

E_{out} = Energi yang dimanfaatkan (*Wh*)

E_{in} = Energi yang dihasilkan panel surya (*Wh*)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

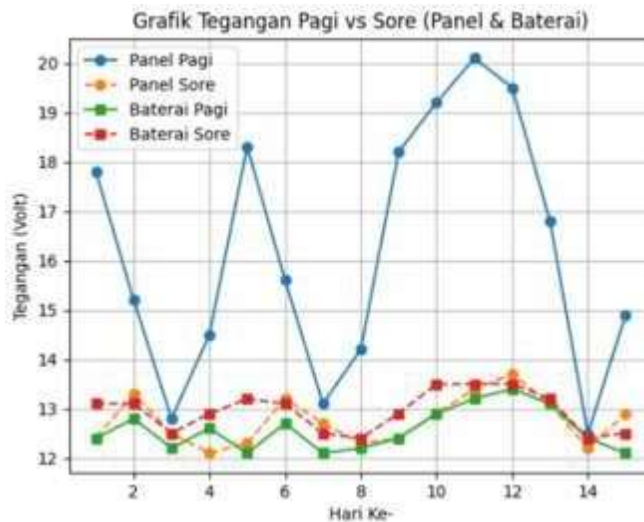
Pengujian sistem lampu navigasi tongkang yang menggunakan sumber energi dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara menyeluruh. Pengujian berlangsung selama 15 hari dengan berbagai kondisi cuaca, meliputi cuaca cerah, berawan, dan hujan. Parameter yang dianalisis mencakup tegangan baterai, kemampuan panel surya dalam mengisi daya, serta lama waktu operasional lampu navigasi. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter digital pada dua waktu, yaitu pagi hari pukul 08.00 WITA dan sore hari pukul 16.00 WITA. Hasil pengujian tersebut disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Uji Coba Pengukuran Voltage Selama 15 Hari

Hari Ke	Tanggal	Cuaca pagi	Cuaca sore	V Panel surya Pagi	V panel surya sore	V baterai pagi	V baterai sore	Lama lampu menyala
1	23/03/26	Cerah	Hujan	17.8 V	12.4 V	12.4 V	13.1 V	12 jam
2	24/03/26	Berawan	Hujan	15.2 V	13.3 V	12.8 V	13.1V	12 jam
3	25/03/26	Hujan	Hujan	12.8 V	12.5 V	12.2 V	12.5 V	12 jam
4	26/03/26	Berawan	Hujan	14.5 V	12.1 V	12.6 V	12.9 V	12 jam
5	27/03/26	Cerah	Berawan	18.3 V	12.3 V	12.1 V	13.2 V	12 jam
6	28/03/26	Berawan	Hujan	15.6 V	13.2 V	12.7 V	13.1 V	12 jam
7	29/03/26	Hujan	Hujan	13.1 V	12.7 V	12.1 V	12.5 V	12 jam
8	30/03/26	Berawan	Hujan	14.2 V	12.3 V	12.2 V	12.4 V	12 jam
9	31/03/26	Cerah	Hujan	18.2 V	12.4 V	12.4 V	12.9 V	12 jam
10	01/04/26	Cerah	Cerah	19.2 V	12.9 V	12.9 V	13.5 V	12 jam
11	02/04/26	Cerah	Cerah	20.1 V	13.4 V	13.2 V	13.5 V	12 jam
12	03/04/26	Cerah	Cerah	19.5 V	13.7 V	13.4 V	13.5 V	12 jam
13	04/04/26	Berawan	Hujan	16.8 V	13.1 V	13.1 V	13.2 V	12 jam
14	05/04/26	Hujan	Hujan	12.5 V	12.2 V	12.4 V	12.4 V	12 jam
15	06/04/26	Berawan	Hujan	14.9 V	12.9 V	12.1 V	12.5 V	12 jam

3.1. Analisis Perbandingan Tegangan Panel Surya dan Baterai (Pagi vs Sore)

Berdasarkan data hasil pengamatan pada Tabel 1, dilakukan analisis terhadap grafik tegangan panel surya dan baterai yang diukur pada dua waktu berbeda, yaitu pagi hari (sebelum proses pengisian) dan sore hari (setelah proses pengisian). Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kerja panel surya serta kemampuan baterai dalam menyimpan energi listrik yang dihasilkan selama proses pengisian.

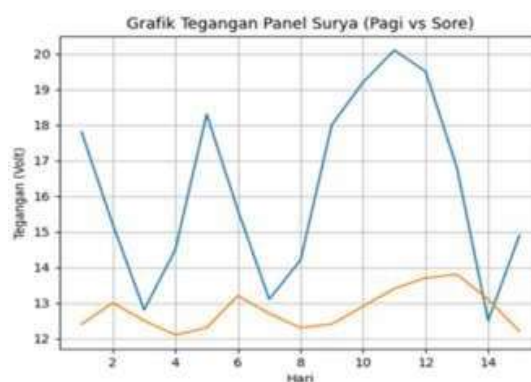


Gambar 5. Grafik Tegangan Panel Surya dan Baterai Pagi vs Sore

Berdasarkan Gambar 5, hasil pengujian yang dilakukan selama 15 hari menunjukkan karakteristik tegangan yang berbeda pada panel surya dan baterai. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, terutama intensitas penyinaran matahari, serta proses pengisian energi yang berlangsung selama pengoperasian sistem PLTS.

Hasil pengukuran yang ditampilkan pada Gambar 6. memperlihatkan bahwa tegangan panel surya pada pagi hari mengalami perubahan yang cukup besar dari hari ke hari. Tegangan maksimum tercatat sebesar 20,1 V pada hari ke-11, sedangkan tegangan minimum sebesar 12,5 V terjadi pada hari ke-14. Variasi ini menunjukkan bahwa besarnya energi yang diterima panel surya sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca, seperti keberadaan awan maupun tingkat kecerahan langit.

Sementara itu, tegangan panel surya pada sore hari cenderung berada pada nilai yang lebih rendah dan relatif stabil, yaitu berkisar antara 12 V hingga 13,5 V. Kondisi tersebut terjadi karena intensitas sinar matahari berangsur menurun pada sore hari sehingga daya yang dihasilkan panel surya juga berkurang. Akibatnya, tegangan keluaran panel menjadi lebih kecil dibandingkan saat periode pagi hari.



Gambar 6. Grafik Tegangan Panel Surya

Berdasarkan Gambar 7, tegangan baterai yang diukur pada sore hari selalu lebih tinggi dibandingkan tegangan baterai pada pagi hari. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses pengisian energi dari panel surya ke baterai berlangsung dengan baik selama siang hari. Peningkatan tegangan yang terjadi menunjukkan adanya penambahan energi yang tersimpan dalam baterai sebagai hasil dari proses pengisian tersebut.

Nilai tegangan baterai pada pagi hari berada pada kisaran 12,1 V hingga 13,4 V. Rentang tegangan ini menunjukkan bahwa kapasitas energi yang tersimpan masih cukup untuk menyuplai kebutuhan beban selama malam hari. Selain itu, sistem dilengkapi dengan Solar Charge Controller (SCC) yang berfungsi melindungi baterai dari kondisi kerja yang dapat merusaknya. SCC menerapkan batas

tegangan minimum sebesar 11,5 VDC melalui fitur Low Voltage Disconnect (LVD) untuk mencegah terjadinya pengosongan daya berlebihan (overdischarge). Di sisi lain, tegangan pengisian maksimum dibatasi pada sekitar 13,8 VDC guna menghindari kondisi pengisian berlebih (overcharge).

Dengan adanya kedua mekanisme proteksi tersebut, baterai dapat beroperasi dalam rentang tegangan yang aman dan optimal. Stabilitas tegangan yang terlihat selama periode pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS memiliki kemampuan yang baik dalam menjaga ketersediaan energi sehingga dapat mendukung pengoperasian lampu navigasi secara berkesinambungan.



Gambar 7. Grafik Tegangan Baterai

3.2. Analisis Data Efisiensi

Pengukuran kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang digunakan sebagai sumber energi lampu navigasi telah dilakukan selama 15 hari, mulai tanggal 23 Maret 2026 hingga 6 April 2026 di wilayah Banjarmasin. Parameter yang diamati meliputi tegangan panel surya pada pagi dan sore hari, tegangan baterai pada pagi dan sore hari, serta lama waktu operasi lampu navigasi. Selain itu, kondisi cuaca harian juga dicatat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa sistem. Analisis ini dilakukan dengan tujuan untuk:

- Menentukan jumlah energi yang dihasilkan panel surya setiap hari.
- Menghitung energi yang digunakan oleh beban lampu navigasi.
- Menentukan tingkat efisiensi sistem secara keseluruhan.
- Mengevaluasi pengaruh kondisi cuaca terhadap kinerja sistem PLTS.

Perhitungan parameter kinerja sistem dilakukan berdasarkan persamaan yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Daya keluaran panel surya dihitung menggunakan hasil perkalian antara tegangan dan arus keluaran panel. Selanjutnya, energi harian yang dihasilkan panel surya diperoleh dari hasil perkalian daya panel dengan lama waktu pengisian efektif. Energi yang digunakan oleh lampu navigasi dihitung berdasarkan daya lampu sebesar 2 Watt yang beroperasi selama 12 jam setiap hari. Dengan demikian, kebutuhan energi harian lampu navigasi adalah sebesar 24 Wh. Nilai tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam perhitungan efisiensi sistem dengan membandingkan energi yang dimanfaatkan beban terhadap energi yang dihasilkan panel surya.

Energi listrik yang dihasilkan panel surya merupakan indikator utama untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Perhitungan energi dilakukan berdasarkan data tegangan panel surya yang diperoleh selama 15 hari pengamatan dengan asumsi waktu pengisian efektif selama 8 jam per hari. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2, diperoleh nilai energi harian panel surya (E_{in}) yang berbeda-beda untuk setiap hari pengamatan. Variasi tersebut dipengaruhi oleh kondisi cuaca yang berubah selama periode pengujian. Secara umum, kondisi cuaca cerah menghasilkan tegangan panel yang lebih tinggi sehingga energi yang dihasilkan juga meningkat. Sebaliknya, pada kondisi mendung atau hujan, tegangan panel cenderung menurun yang menyebabkan energi yang dihasilkan menjadi lebih kecil.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Energi yang Dihasilkan Panel Surya

Hari Ke	V pagi	V sore	V rata-rata	Ein (W)	I (A)
1	17.8	12.4	15.1	41.97	0.347
2	15.2	13.0	14.1	32.09	0.284
3	12.8	12.5	12.65	32.09	0.317
4	14.5	12.1	13.3	32.09	0.302
5	18.3	12.3	15.3	51.84	0.424
6	15.6	13.2	14.4	34.56	0.300
7	13.1	12.7	12.9	34.56	0.335
8	14.2	12.3	13.25	29.62	0.279
9	18.0	12.4	15.2	37.03	0.305
10	19.2	12.9	16.05	39.50	0.308
11	20.1	13.4	16.75	32.09	0.239
12	19.5	13.7	16.6	27.15	0.204
13	16.8	13.8	15.3	27.15	0.222
14	12.5	13.1	12.8	24.69	0.241
15	14.9	12.2	13.55	34.56	0.319

Energi yang dimanfaatkan oleh beban merupakan energi listrik yang digunakan lampu navigasi selama periode operasinya. Perhitungan energi beban dilakukan dengan mengalikan daya lampu dengan lama waktu nyala lampu. Pada penelitian ini digunakan lampu navigasi berdaya 2 Watt dengan asumsi waktu operasi selama 12 jam setiap hari. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh kebutuhan energi harian lampu sebesar 24 Wh. Nilai ini digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi kemampuan panel surya dalam memenuhi kebutuhan energi beban sekaligus sebagai dasar perhitungan efisiensi sistem.

Efisiensi sistem digunakan untuk menilai tingkat keberhasilan sistem PLTS dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh beban. Nilai efisiensi diperoleh dari perbandingan antara energi yang digunakan oleh lampu navigasi (E_{out}) dengan energi yang dihasilkan panel surya (E_{in}). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi sistem selama pengujian berada pada rentang 46,30% hingga 97,20%. Efisiensi tertinggi diperoleh pada hari ke-14 dengan nilai sekitar 97%, ketika energi yang dihasilkan panel surya hampir sama dengan kebutuhan energi beban. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara optimal oleh sistem.

Sebaliknya, efisiensi terendah terjadi pada hari ke-5 dengan nilai sekitar 46%, ketika energi yang dihasilkan panel surya jauh lebih besar dibandingkan kebutuhan beban. Kondisi ini menyebabkan sebagian energi tidak dapat dimanfaatkan secara maksimal akibat keterbatasan kapasitas penyimpanan baterai.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Efisiensi

Hari ke	Energi disimpan dari panel surya (Wh)	Energi yang terpakai (watt)	Efisiensi η (%)
1	41.97 Wh	24 watt	57.18 %
2	32.09 Wh	24 watt	74.79 %
3	32.09 Wh	24 watt	74.79 %
4	32.09 Wh	24 watt	74.79 %
5	51.84 Wh	24 watt	46.30 %
6	34.56 Wh	24 watt	69.44 %
7	34.56 Wh	24 watt	69.44 %
8	29.62 Wh	24 watt	81.03 %
9	37.03 Wh	24 watt	64.81 %
10	39.50 Wh	24 watt	60.76 %
11	32.09 Wh	24 watt	74.79 %
12	27.15 Wh	24 watt	88.40 %
13	27.15 Wh	24 watt	88.40 %
14	24.69 Wh	24 watt	97.40 %
15	34.56 Wh	24 watt	69.44 %

Kondisi cuaca merupakan faktor eksternal yang sangat memengaruhi performa sistem PLTS karena proses konversi energi sangat bergantung pada intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya. Selama periode pengujian, kondisi cuaca dikelompokkan menjadi tiga kategori utama, yaitu cerah, berawan, dan hujan. Analisis dilakukan terhadap pengaruh cuaca pada tegangan panel surya, energi yang dihasilkan, dan efisiensi sistem. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi cuaca cerah menghasilkan tegangan panel surya tertinggi dengan rata-rata sekitar 19,3 Volt. Pada kondisi berawan, rata-rata tegangan menurun menjadi sekitar 15,3 Volt akibat berkurangnya intensitas cahaya matahari yang mencapai permukaan panel. Sementara itu, kondisi hujan menghasilkan rata-rata tegangan terendah yaitu sekitar 14,4 Volt karena sinar matahari terhalang oleh awan yang lebih tebal.

Tabel 4. Tegangan Panel Surya Berdasarkan Cuaca

Kondisi Cuaca	Rentang $V_{\text{panel Pagi}}$ (Volt)	Rata-rata $V_{\text{panel Pagi}}$ (Volt)
Cerah	18.3 – 20.1	19.3
Berawan	14.2 – 16.8	15.3
Hujan	12.5 – 17.8	14.4

Energi yang dihasilkan panel surya menunjukkan hubungan yang erat dengan kondisi cuaca. Pada cuaca cerah, energi rata-rata yang dihasilkan mencapai 45,67 Wh sehingga jauh melebihi kebutuhan energi beban. Pada kondisi berawan, energi yang dihasilkan menurun menjadi sekitar 30,86 Wh. Sedangkan pada kondisi hujan, energi yang dihasilkan cenderung bervariasi dengan rata-rata sebesar 33,34 Wh, tergantung tingkat intensitas hujan yang terjadi.

Tabel 5. Energi yang dihasilkan Panel Surya

Kondisi Cuaca	Rentang E_{in} (Wh)	Rata-rata E_{in} (Wh)	Kategori
Cerah	39,50 – 51,84	45,67	Sangat Tinggi
Berawan	29,62 – 32,09	30,86	Sedang
Hujan	24,69 – 41,97	33,34	Bervariasi

Menariknya, nilai efisiensi sistem tidak selalu meningkat seiring bertambahnya energi yang dihasilkan panel surya. Pada kondisi cuaca cerah, efisiensi rata-rata hanya sekitar 53,53% karena energi yang dihasilkan jauh melebihi kebutuhan beban sehingga sebagian energi tidak dimanfaatkan. Sebaliknya, pada kondisi berawan dan hujan, efisiensi sistem cenderung lebih tinggi karena energi yang

dihasilkan lebih mendekati kebutuhan beban. Nilai efisiensi rata-rata pada kondisi berawan mencapai 77,91%, sedangkan pada kondisi hujan mencapai 74,14%.

Tabel 6. Pengaruh Cuaca Terhadap Efisiensi Sistem

Kondisi Cuaca	Rata-rata Ein (Wh)	Rata-rata Efisiensi (%)	Keterangan
Cerah	45,67	53,53	Rendah (kelebihan energi)
Berawan	30,86	77,91	Tinggi (energi pas)
Hujan	33,34	74,14	Tinggi (energi hampir pas)

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan selama 15 hari pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan energi lampu navigasi sebesar 24 Wh per hari pada berbagai kondisi cuaca. Nilai efisiensi rata-rata sistem mencapai 72,77%, yang menunjukkan kinerja cukup baik untuk sistem PLTS skala kecil. Selain itu, kondisi cuaca terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap tegangan panel surya, energi yang dihasilkan, tingkat pengisian baterai, serta efisiensi sistem. Secara keseluruhan, sistem ini layak diterapkan sebagai sumber energi lampu navigasi pada kapal atau perahu nelayan karena memanfaatkan energi terbarukan yang ramah lingkungan dan tidak bergantung pada bahan bakar fosil.

4. SIMPULAN

Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan analisis terhadap sistem lampu navigasi tongkang berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dilaksanakan selama 15 hari, mulai tanggal 23 Maret 2026 hingga 6 April 2026 di wilayah Banjarmasin, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang telah berfungsi dengan baik dan mampu beroperasi sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem yang terdiri atas panel surya berkapasitas 10 Wp, baterai 12 V 7,2 Ah, dan Solar Charge Controller (SCC) mampu bekerja secara mandiri dalam menyediakan energi listrik untuk lampu navigasi. Selama periode pengujian, energi yang dihasilkan panel surya berkisar antara 24,69 Wh hingga 51,84 Wh per hari, sehingga mampu memenuhi kebutuhan energi beban lampu navigasi sebesar 24 Wh per hari.

Kinerja sistem pengisian baterai juga menunjukkan hasil yang memuaskan. Nilai efisiensi rata-rata sistem mencapai 72,77%, yang menunjukkan bahwa sebagian besar energi yang dihasilkan panel surya dapat dimanfaatkan secara efektif oleh beban. Tegangan baterai selama pengujian berada pada rentang 12,1 V hingga 13,4 V, yang menandakan bahwa kondisi baterai tetap berada dalam batas operasi yang aman. Selain itu, Solar Charge Controller (SCC) mampu menjalankan fungsinya dengan baik dalam mengatur proses pengisian dan pengosongan baterai, sehingga baterai terlindungi dari kondisi overcharge maupun overdischarge. Sistem juga mampu mengendalikan operasi lampu secara otomatis sesuai dengan perubahan kondisi pencahayaan lingkungan.

Secara keseluruhan, prototipe lampu navigasi berbasis tenaga surya yang dikembangkan memiliki tingkat keandalan yang baik. Hal ini dibuktikan dengan kemampuan lampu LED berdaya 2 Watt untuk beroperasi secara kontinu pada malam hari meskipun terjadi variasi kondisi cuaca selama masa pengujian. Dengan tingkat efisiensi yang berada pada kisaran 70–80%, sistem ini dinilai layak untuk diterapkan sebagai sumber energi alternatif pada lampu navigasi tongkang. Selain mampu mendukung keselamatan pelayaran, penggunaan energi surya juga memberikan keuntungan dari sisi keberlanjutan karena memanfaatkan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dan tidak bergantung pada bahan bakar fosil.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja sistem pada masa mendatang. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan Solar Charge Controller (SCC) tipe Maximum Power Point Tracking (MPPT). Penggunaan teknologi MPPT diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyerapan energi dari panel surya, terutama pada kondisi cuaca yang kurang mendukung, seperti saat mendung atau intensitas cahaya matahari rendah. Selain itu, pemeliharaan sistem secara berkala perlu menjadi perhatian utama dalam implementasi lapangan. Mengingat posisi pemasangan alat berada di atas tongkang yang beroperasi di lingkungan terbuka, panel surya berpotensi terpapar debu, kotoran, material batu bara, maupun uap air laut yang dapat mengurangi kemampuan panel dalam menyerap energi.

matahari. Oleh karena itu, pembersihan permukaan panel surya secara rutin diperlukan untuk menjaga kinerja sistem tetap optimal.

Pengembangan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) juga dapat menjadi solusi untuk meningkatkan kemudahan pengawasan. Dengan adanya sistem pemantauan jarak jauh, kondisi baterai, performa panel surya, serta status operasional lampu navigasi dapat dipantau secara real-time baik oleh kru kapal maupun pihak pengelola di darat. Hal ini akan memudahkan proses pemeliharaan dan deteksi dini apabila terjadi gangguan pada sistem. Selain pengembangan teknologi, penelitian lanjutan dengan periode pengujian yang lebih panjang juga perlu dilakukan. Pengujian selama beberapa bulan akan memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai ketahanan komponen terhadap korosi akibat lingkungan laut serta pengaruh perubahan musim terhadap kemampuan sistem dalam menyediakan energi secara berkelanjutan. Dengan demikian, data yang diperoleh akan semakin akurat untuk mendukung penerapan sistem lampu navigasi tenaga surya pada skala yang lebih luas

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Kahuripan Kediri atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan bimbingan selama proses penelitian hingga penyusunan naskah. Selain itu, penulis menyampaikan apresiasi kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengambilan data, pengujian alat, serta penyelesaian penelitian ini sehingga penelitian dapat terlaksana dengan baik

6. DAFTAR PUSTAKA

- Britannica. (2023). Barge (vessel). Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com>
- Direktorat Jenderal Perhubungan Laut. (2019). Penerapan teknologi ramah lingkungan di bidang pelayaran. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia.
- International Maritime Organization. (1972). Convention on the international regulations for preventing collisions at sea (COLREGs). International Maritime Organization.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. (2020). Panduan pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.