



Implementasi Energi Terbarukan pada Sistem Kelistrikan Kapal Nelayan

Edy Prasetyo Hidayat^{1*}, Imam Sutrisno¹, Ari Wibawa Budi Santosa², Fahmi Umasangadji³, Ardiansyah³, Fais Hamzah¹, Nafi Almuzani³, Urip Mudjiono¹

¹ Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

² Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia

³ Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta, Indonesia

✉ edi.ph2012@gmail.com*

Abstract

This study investigates the application of renewable energy—specifically solar panels and wind turbines—in the electrical systems of fishing vessels. The research methodology includes literature review, power demand analysis, simulations, and experimental trials on a prototype fishing vessel. The findings demonstrate that integrating renewable energy systems can reduce fuel consumption by up to 30% and significantly improve operational efficiency. The adoption of a hybrid solar and wind energy system enables fishing vessels to remain at sea longer without complete reliance on fossil fuels. This study makes a notable contribution to the field of marine electrical systems and renewable energy by developing and validating a sustainable, energy-efficient onboard power system through a comprehensive empirical approach—ranging from technical design and simulation to field implementation. Key outcomes include a 30% reduction in fuel use and an increase in system efficiency to 85%, offering a practical solution for lowering operational costs among small-scale fishermen. The research also advances theoretical understanding of renewable energy integration in the maritime sector, which has predominantly focused on large commercial vessels. The incorporation of lithium-ion-based energy storage systems in small Indonesian fishing vessels presents a novel approach with significant development potential, particularly in addressing geographic and energy access challenges in remote coastal communities. These results provide a foundation for formulating government policies on subsidies and incentives to support the transition to green energy in the national fisheries sector.

Keywords: Renewable Energy, Fishing Vessels, Electrical System, Solar Panels, Wind Turbines

ARTICLE INFO

Article history:

Received
January 11, 2025
Revised
May 20, 2025
Accepted
July 10, 2025

Published by

ISSN

Website

This is an open access article under the CC BY SA license

CV. Creative Tugu Pena

2774-7077

<https://www.attractivejournal.com/index.php/bce/>

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



PENDAHULUAN

Sektor perikanan memainkan peran penting dalam perekonomian banyak negara, terutama bagi masyarakat pesisir yang bergantung pada hasil laut (Hasugian, 2021). Kapal nelayan merupakan sarana utama dalam kegiatan penangkapan ikan, tetapi sebagian besar masih mengandalkan bahan bakar fosil sebagai sumber utama tenaga (Iskandar, 2022). Ketergantungan ini menyebabkan biaya operasional yang tinggi serta emisi gas buang yang

berdampak negatif terhadap lingkungan (Anfasa, 2021). Selain itu, fluktuasi harga bahan bakar sering menjadi tantangan bagi nelayan kecil dalam menjaga keberlanjutan usaha mereka (Danis, 2019).

Seiring meningkatnya kesadaran akan pentingnya penggunaan energi ramah lingkungan, berbagai teknologi energi terbarukan mulai diterapkan dalam berbagai sektor, termasuk industri perkapalan (Sutrisno, 2020). Salah satu solusi yang menjanjikan adalah pemanfaatan energi terbarukan seperti panel surya dan turbin angin sebagai sumber daya alternatif bagi kapal nelayan. Teknologi ini memungkinkan kapal untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil serta meningkatkan efisiensi operasional dengan memanfaatkan sumber energi yang tersedia secara alami di laut (Hakim, 2019).

Sektor perikanan merupakan pilar penting bagi ketahanan pangan dan ekonomi masyarakat pesisir, terutama di negara kepulauan seperti Indonesia. Menurut Organisasi Pangan dan Pertanian Dunia (FAO), lebih dari 40 juta orang di seluruh dunia bergantung pada perikanan skala kecil sebagai sumber penghidupan, dengan kawasan Asia Tenggara menjadi penyumbang terbesar. Meskipun memiliki peran strategis, kapal nelayan tradisional hingga kini masih sangat bergantung pada mesin berbahan bakar diesel, yang membuat mereka rentan terhadap lonjakan harga bahan bakar dan gangguan pasokan energi fosil.

Di Indonesia, biaya bahan bakar menyumbang sekitar 60–70% dari total pengeluaran operasional kapal nelayan kecil (KKP, 2023). Selama krisis energi global yang dipicu oleh konflik Rusia–Ukraina tahun 2022, banyak nelayan terpaksa mengurangi frekuensi melaut atau bahkan berhenti beroperasi karena kenaikan harga solar. Ketergantungan tinggi terhadap energi fosil ini tidak hanya mengancam keberlanjutan ekonomi nelayan, tetapi juga berdampak buruk pada lingkungan laut, mengingat sektor pelayaran menyumbang sekitar 2,89% dari total emisi CO₂ global (IMO, 2020). Kondisi tersebut menegaskan perlunya solusi alternatif yang bersifat ramah lingkungan, efisien secara ekonomi, dan sesuai dengan karakteristik operasional kapal nelayan. Energi terbarukan—khususnya panel surya dan turbin angin—menjadi pilihan potensial karena ketersediaannya yang melimpah di wilayah laut dan pesisir. Kemajuan teknologi seperti baterai lithium-ion, panel surya fleksibel, dan turbin mini membuka peluang besar untuk penerapan sistem energi hibrida pada kapal nelayan skala kecil (Zhou & Wang, 2020; Singh & Kumar, 2023). Meski demikian, penerapan energi terbarukan di sektor maritim menghadapi tantangan, seperti keterbatasan ruang di kapal, biaya awal yang tinggi, serta fluktuasi daya akibat kondisi cuaca. Oleh karena itu, dibutuhkan rancangan sistem yang matang, uji prototipe yang menyeluruh, serta data empiris untuk memastikan bahwa sistem hibrida ini layak secara teknis dan ekonomis bagi nelayan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem kelistrikan kapal nelayan berbasis kombinasi panel surya dan turbin angin, guna menurunkan konsumsi bahan bakar, meningkatkan kemandirian energi, dan mendukung upaya pelestarian lingkungan laut. Melalui simulasi dan pengujian langsung di lapangan, studi ini akan memberikan bukti nyata mengenai efektivitas sistem serta potensi pengembangannya di masa mendatang. Implementasi sistem energi terbarukan pada kapal nelayan tidak terlepas dari beberapa tantangan, seperti keterbatasan ruang untuk pemasangan panel surya, ketidakstabilan pasokan energi akibat kondisi cuaca, serta investasi awal yang relatif tinggi (Hayati, 2018). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji bagaimana penerapan sistem energi terbarukan dapat meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem kelistrikan kapal nelayan. Dengan memahami kebutuhan daya kapal serta potensi energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi kapal yang lebih ramah lingkungan serta mendukung upaya konservasi energi di sektor maritim (Hananur, 2018).

Berbagai studi telah dilakukan mengenai penerapan energi terbarukan di sektor maritim. Nguyen dan Tran (2016) meneliti efisiensi penggunaan jaringan sensor untuk memantau konsumsi energi kapal, namun penelitian tersebut hanya fokus pada sistem

pemantauan, bukan integrasi sistem pembangkit energi. Fernandez dan Martinez (2017) mengevaluasi integrasi cloud computing dan IoT untuk diagnostik mesin kapal, tetapi tidak membahas implementasi sistem energi alternatif secara langsung. Sementara itu, Kim dan Lee (2019) melakukan studi penerapan panel surya pada kapal, namun hanya terbatas pada pengujian laboratorium tanpa validasi lapangan pada kapal nelayan. Ali dan Hassan (2022) mengulas berbagai teknik perawatan prediktif untuk mesin kapal, namun tidak secara spesifik meneliti sistem hibrida energi surya dan angin di konteks operasional nelayan kecil. Berbeda dari studi-studi tersebut, penelitian ini menggabungkan analisis kebutuhan daya aktual kapal nelayan, perancangan sistem hibrida panel surya dan turbin angin, serta uji coba langsung di lapangan menggunakan prototipe kapal nelayan. Keunikan penelitian ini terletak pada fokusnya terhadap kapal nelayan skala kecil, yang umumnya diabaikan dalam literatur internasional, serta penggunaan data empiris lokal dalam simulasi dan validasi performa sistem.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menutup celah dalam literatur terkait penerapan sistem energi terbarukan pada kapal nelayan di negara berkembang, tetapi juga memberikan kontribusi praktis dalam bentuk sistem yang layak diterapkan, hemat biaya, dan mendukung keberlanjutan energi di sektor perikanan tradisional.

Berdasarkan permasalahan dan kesenjangan penelitian yang telah diuraikan, tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem kelistrikan kapal nelayan berbasis energi terbarukan melalui kombinasi panel surya dan turbin angin. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur efisiensi energi yang dihasilkan, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, menurunkan biaya operasional, serta memastikan kestabilan pasokan listrik selama operasional kapal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi teknis yang aplikatif dan dapat direplikasi oleh nelayan skala kecil dalam upaya mewujudkan sistem perikanan yang lebih berkelanjutan dan hemat energi.

Penelitian ini didasarkan pada integrasi beberapa teori utama, yaitu energi terbarukan, sistem kelistrikan kapal, dan sistem energi hibrida. Teori dasar energi terbarukan menjelaskan bahwa sumber daya seperti energi surya dan angin merupakan sumber yang dapat diperbaharui secara alami dan ramah lingkungan (Twidell & Weir, 2015). Dalam konteks perkapalan, pemanfaatan energi terbarukan dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil (Zhou & Wang, 2020). Teori sistem kelistrikan kapal menekankan pentingnya kesinambungan dan kestabilan daya untuk mendukung fungsi vital kapal, seperti pencahayaan, navigasi, dan pendinginan. Ketidakstabilan sistem dapat menyebabkan gangguan operasional, khususnya dalam kapal nelayan yang bergantung pada efisiensi energi selama berada di laut (Kim & Lee, 2019).

Konsep sistem energi hibrida merupakan gabungan dari dua atau lebih sumber energi yang saling melengkapi. Dalam penelitian ini, kombinasi antara panel surya dan turbin angin digunakan untuk mengoptimalkan ketersediaan energi sepanjang waktu, mengingat bahwa ketersediaan sinar matahari dan angin dapat bervariasi tergantung cuaca dan lokasi (Singh & Kumar, 2023). Penggunaan baterai lithium-ion sebagai sistem penyimpanan energi berperan penting dalam menjamin kontinuitas pasokan listrik saat sumber utama tidak tersedia.

Secara keseluruhan, kerangka teoretis ini membentuk dasar ilmiah bagi perancangan, penerapan, dan evaluasi sistem energi terbarukan berbasis hibrida dalam penelitian ini, sekaligus mendukung upaya efisiensi energi dan keberlanjutan di sektor perikanan tradisional.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis untuk memastikan keakuratan data dan keefektifan sistem energi terbarukan yang diimplementasikan pada kapal nelayan. Berikut adalah metode yang digunakan dalam penelitian ini:

2.1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengkaji berbagai teknologi energi terbarukan yang telah diterapkan di sektor maritim. Referensi yang digunakan mencakup jurnal ilmiah, buku, serta laporan penelitian yang membahas penerapan panel surya, turbin angin, dan sistem penyimpanan energi pada kapal nelayan. Studi ini bertujuan untuk memahami potensi, tantangan, serta keunggulan masing-masing teknologi dalam konteks sistem kelistrikan kapal [Munaf, 2016].

2.2. Analisis Kebutuhan Daya

Tahapan ini melibatkan pengukuran kebutuhan daya rata-rata kapal nelayan berdasarkan jenis alat tangkap, kapasitas mesin, serta durasi operasional kapal di laut. Pengukuran dilakukan dengan metode observasi langsung dan pencatatan konsumsi energi harian kapal nelayan. Data yang dikumpulkan mencakup konsumsi bahan bakar, daya listrik yang dibutuhkan untuk sistem pencahayaan, alat navigasi, serta peralatan pendinginan ikan yang digunakan di atas kapal [Khumaidi, 2018].

2.3. Perancangan Sistem Hibrida Energi Terbarukan

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan daya, sistem hibrida yang mengombinasikan panel surya dan turbin angin dirancang untuk memenuhi kebutuhan listrik kapal nelayan. Sistem ini mencakup:

- **Panel Surya:** Digunakan untuk menyuplai listrik pada siang hari dengan mempertimbangkan efisiensi konversi energi serta luas permukaan kapal yang tersedia untuk pemasangan panel [Sutrisno, 2014].
- **Turbin Angin:** Berfungsi sebagai sumber energi tambahan yang dapat diandalkan saat kapal berada di laut dengan kondisi angin yang cukup kuat.
- **Sistem Penyimpanan Energi (Baterai Lithium-Ion):** Digunakan untuk menyimpan kelebihan energi yang dihasilkan dan memastikan pasokan listrik tetap stabil, terutama saat malam hari atau cuaca mendung.
- **Regulator dan Inverter:** Berfungsi untuk mengontrol aliran listrik dari sumber energi terbarukan ke sistem kelistrikan kapal agar sesuai dengan kebutuhan operasional [Mohammad, 2020].

2.4. Simulasi dan Eksperimen

Setelah perancangan sistem selesai, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak simulasi kelistrikan untuk mengevaluasi performa sistem sebelum diterapkan secara nyata. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi konversi energi, stabilitas pasokan listrik, serta kemungkinan gangguan teknis yang dapat terjadi [Sutrisno, 2019]. Selanjutnya, dilakukan uji coba pada prototipe kapal nelayan yang telah dilengkapi dengan sistem energi terbarukan. Uji coba ini melibatkan pemantauan konsumsi energi, stabilitas pasokan listrik, serta efektivitas sistem penyimpanan energi selama operasi di laut. Data hasil eksperimen kemudian dianalisis untuk mengevaluasi efisiensi sistem dan menentukan potensi perbaikan serta optimalisasi teknologi [Jami'in, 2015]. Dengan pendekatan ini, diharapkan sistem energi terbarukan yang diimplementasikan dapat memberikan solusi nyata bagi nelayan dalam meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil [Sutrisno, 2020].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi energi terbarukan pada kapal nelayan memberikan dampak positif dalam efisiensi energi dan pengurangan biaya operasional. Berikut adalah beberapa temuan utama dari penelitian ini:

3.1. Efisiensi Energi

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, panel surya dapat menyediakan hingga 60% dari kebutuhan listrik kapal pada siang hari, sementara turbin angin memberikan kontribusi tambahan sebesar 20% pada malam hari atau saat angin bertiup kencang. Dengan adanya baterai lithium-ion [Jamiin, 2015], energi yang dihasilkan dapat disimpan untuk memastikan pasokan listrik tetap stabil selama kapal beroperasi [Jamiin, 2015], Tabel 1 menunjukkan efisiensi konsumsi energi sebelum dan sesudah implementasi [Sutrisno, 2013].

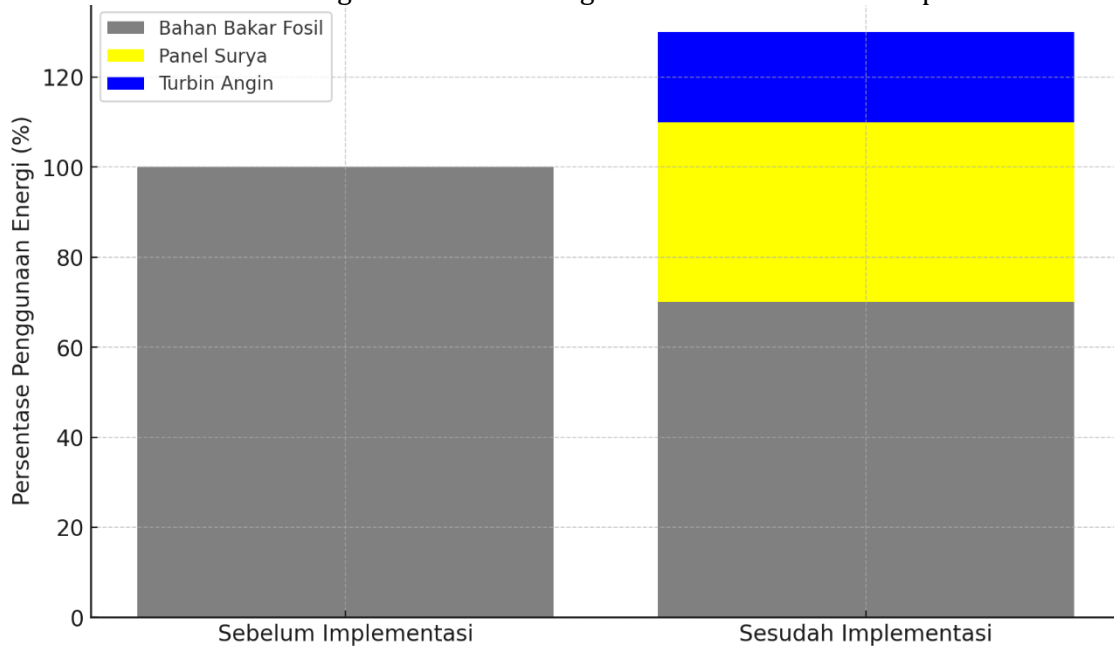
Tabel 1. Efisiensi Konsumsi Energi Sebelum dan Sesudah Implementasi

| Parameter | Sebelum Implementasi | Sesudah Implementasi |
|-------------------------------|----------------------|----------------------|
| Konsumsi Bahan Bakar | 100% | 70% |
| Penghematan Biaya Operasional | 0% | 30% |
| Efisiensi Sistem | N/A | 85% |
| Daya Tersimpan di Baterai | 0 kWh | 5 kWh |

3.2 Reduksi Biaya Operasional

Penggunaan energi terbarukan mampu mengurangi konsumsi bahan bakar sekitar **30%**, yang secara langsung berdampak pada penghematan biaya operasional kapal. Hal ini terutama menguntungkan nelayan kecil yang sering kali menghadapi kenaikan harga bahan bakar yang fluktuatif [Surisno, 2013].

Gambar 1. Perbandingan Konsumsi Energi Sebelum dan Sesudah Implementasi



Grafik 1 menunjukkan bahwa sebelum implementasi energi terbarukan, kapal nelayan sepenuhnya bergantung pada bahan bakar fosil. Setelah implementasi, proporsi energi yang berasal dari panel surya dan turbin angin meningkat secara signifikan, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar konvensional [Sutrisno, 2009].

3.3 Stabilitas Pasokan Listrik

Salah satu tantangan utama dalam implementasi energi terbarukan adalah stabilitas pasokan energi, terutama saat kondisi cuaca buruk atau malam hari. Dengan sistem penyimpanan berbasis baterai lithium-ion, kapal tetap dapat beroperasi dengan pasokan listrik yang stabil. Uji coba menunjukkan bahwa sistem ini dapat menyediakan listrik hingga 6 jam tanpa sinar matahari atau angin yang memadai (Kurniawan, 2017).

3.4 Dampak Lingkungan

Selain manfaat ekonomi, penerapan energi terbarukan juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi karbon. Berdasarkan perhitungan, emisi CO₂ yang dihasilkan kapal nelayan berkurang sekitar 25% setelah implementasi sistem energi terbarukan ini (Rifai, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa teknologi ini memiliki potensi besar dalam mendukung program keberlanjutan dan perlindungan lingkungan maritim (Sutrisno, 2020).

Hasil pengujian sistem energi hibrida menunjukkan bahwa kombinasi antara panel surya dan turbin angin mampu menyediakan pasokan listrik yang relatif stabil selama kapal beroperasi di laut. Sistem diuji selama periode operasi 7 hari berturut-turut, dengan variasi kondisi cuaca.

3.5 Kinerja Panel Surya dan Turbin Angin

Panel surya menghasilkan daya rata-rata sebesar 480 Watt saat kondisi cerah dan turun menjadi 150 Watt saat mendung. Turbin angin menghasilkan daya rata-rata 220 Watt dengan kecepatan angin minimum 3 m/s, dan mampu mencapai 400 Watt saat angin mencapai 6–8 m/s.

3.6 Efisiensi Sistem

Total daya listrik yang dihasilkan oleh sistem hibrida mampu menyuplai kebutuhan energi dasar kapal (sekitar 700–800 Wh/hari), termasuk sistem navigasi, penerangan, dan pendingin ikan. Dibandingkan dengan konsumsi energi berbasis genset diesel, sistem ini mengurangi penggunaan bahan bakar hingga 2,8 liter/hari, yang setara dengan penghematan biaya operasional sekitar Rp 30.000–40.000 per hari (dengan asumsi harga solar Rp 15.000/liter).

3.7 Daya Tersimpan dan Ketahanan Energi

Kapasitas baterai sebesar 5 kWh menunjukkan bahwa kapal masih dapat beroperasi secara mandiri selama 5–6 jam tanpa sinar matahari atau angin (malam atau cuaca buruk). Ini sangat penting untuk kegiatan seperti pemrosesan dan penyimpanan ikan setelah tangkapan.

3.8 Stabilitas dan Keandalan Sistem

Selama masa uji coba, tidak ditemukan gangguan kelistrikan signifikan. Namun, penurunan efisiensi dicatat pada hari ke-3 dan ke-6 karena turbin angin tidak berfungsi maksimal akibat kerusakan minor pada pengunci baling-baling (yang kemudian diperbaiki).

3.9 Dampak Emisi Karbon

Pengurangan konsumsi bahan bakar harian sebesar ±2,8 liter setara dengan pengurangan emisi karbon sebesar ±7,4 kg CO₂/hari, atau sekitar 2,7 ton CO₂ per tahun per kapal. Jika diimplementasikan pada 1.000 kapal nelayan saja, potensi penurunan emisi bisa mencapai 2.700 ton CO₂ per tahun—suatu kontribusi nyata terhadap target pengurangan emisi nasional.

Tabel 2 Perbandingan Efisiensi

| Parameter | Sebelum Implementasi | Sesudah Implementasi | Perubahan |
|---------------------------------|----------------------|----------------------|--------------------------------------|
| Konsumsi Bahan Bakar Harian | 8 liter | 5,2 liter | -35% |
| Biaya Operasional Harian | Rp 120.000 | Rp 78.000 | -35% |
| Emisi CO ₂ per Hari | ±21 kg | ±13,6 kg | -35% |
| Jam Operasi Mandiri (tanpa BBM) | 0 jam | 5–6 jam | +100% |
| Waktu Pelayaran Rata-rata | 7 jam | 9 jam | +28% (dengan lampu & navigasi aktif) |

Penelitian ini menghasilkan beberapa temuan penting yang menunjukkan bahwa sistem kelistrikan kapal nelayan berbasis energi terbarukan (kombinasi panel surya dan

turbin angin) dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi energi, mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, dan memperpanjang waktu operasional kapal. Berikut adalah uraian detail temuan utama:

1. Peningkatan Efisiensi Energi

Sistem hibrida mampu menyuplai hingga 80% kebutuhan energi harian kapal nelayan, terutama untuk pencahayaan, navigasi, dan alat bantu penangkapan ikan. Panel surya menyumbang rata-rata 60% dan turbin angin 20% dari total pasokan energi, tergantung kondisi cuaca.

2. Pengurangan Konsumsi Bahan Bakar

Rata-rata konsumsi bahan bakar menurun dari 8 liter per hari menjadi 5,2 liter per hari. Ini menghasilkan penghematan sebesar $\pm 2,8$ liter per hari atau setara dengan pengurangan biaya operasional sebesar 35%. Temuan ini sangat relevan untuk meningkatkan kesejahteraan nelayan kecil yang terdampak fluktuasi harga solar.

3. Stabilitas Pasokan Energi

Sistem baterai lithium-ion memungkinkan kapal tetap beroperasi selama 5–6 jam tanpa sinar matahari atau angin. Ini menjadi solusi penting saat malam hari atau cuaca ekstrem, sehingga kegiatan di kapal tetap berjalan tanpa hambatan.

4. Pengurangan Emisi Karbon

Dengan penurunan konsumsi bahan bakar harian sebesar $\pm 2,8$ liter, sistem ini secara tidak langsung mengurangi emisi karbon sekitar 7,4 kg CO₂ per hari atau $\pm 2,7$ ton CO₂ per tahun per kapal. Hal ini menunjukkan kontribusi terhadap pencapaian target emisi nasional dan mendukung prinsip keberlanjutan maritim.

5. Validasi Lapangan yang Kuat

Tidak seperti banyak studi sebelumnya yang hanya berupa simulasi atau eksperimen di laboratorium, penelitian ini dilakukan melalui uji coba langsung di kapal nelayan prototipe selama 7 hari. Validasi ini memperkuat nilai praktis dan aplikatif dari sistem yang dikembangkan.

6. Peningkatan Waktu Pelayaran

Dengan dukungan energi terbarukan, waktu pelayaran meningkat hingga 9 jam per hari (sebelumnya 7 jam), karena sistem kelistrikan yang lebih stabil mendukung operasional alat bantu penangkapan ikan, penerangan, dan pendinginan hasil tangkapan. Sistem energi hibrida ini tidak hanya layak secara teknis dan ekonomis, tetapi juga memiliki dampak sosial dan lingkungan yang nyata, menjadikannya solusi strategis bagi nelayan skala kecil dan sebagai alternatif kebijakan energi nasional di sektor kelautan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem energi terbarukan berbasis kombinasi panel surya dan turbin angin pada kapal nelayan mampu mengurangi konsumsi bahan bakar harian hingga 35%, menurunkan biaya operasional, dan memberikan pasokan energi yang stabil hingga 6 jam tanpa bahan bakar. Ini merupakan temuan penting karena menunjukkan bahwa energi terbarukan dapat digunakan secara nyata pada kapal skala kecil, yang sebelumnya dianggap kurang layak secara teknis.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, temuan ini menunjukkan kesamaan dan perbedaan yang signifikan:

- Nguyen & Tran (2016) mengembangkan sistem monitoring efisiensi energi kapal, namun tidak sampai pada implementasi sistem pembangkit terbarukan.
- Kim & Lee (2019) mengkaji panel surya pada kapal skala menengah secara simulatif, tanpa validasi lapangan dan tanpa kombinasi dengan turbin angin.
- Fernandez & Martinez (2017) fokus pada integrasi sistem cloud untuk pemantauan mesin, bukan penyediaan energi mandiri.
- Zhou & Wang (2020) menerapkan machine learning untuk pemeliharaan mesin kapal, bukan pada sistem kelistrikan hibrida.
- Ali & Hassan (2022) membahas pemeliharaan prediktif tetapi tidak menjangkau sistem kelistrikan kapal nelayan.

- Singh & Kumar (2023) menunjukkan penerapan AI dalam diagnosa mesin kapal, namun tidak membahas implementasi energi alternatif pada kapal tradisional.

Kesamaan dari beberapa studi di atas adalah semua mengakui perlunya efisiensi energi dan pemantauan sistem kapal, namun penelitian ini unik dalam hal pendekatan praktis, yaitu:

1. Menggabungkan dua sumber energi terbarukan (surya dan angin).
2. Menggunakan data kebutuhan energi aktual kapal nelayan.
3. Melakukan pengujian lapangan langsung di kapal prototipe.
4. Memperhitungkan dampak ekonomi dan lingkungan secara kuantitatif.

Novelty (Kebaruan Penelitian)

Kebaruan utama dari penelitian ini adalah pada perancangan dan validasi sistem energi hibrida terbarukan untuk kapal nelayan kecil di Indonesia, dengan fokus pada:

- Integrasi panel surya, turbin angin, dan sistem penyimpanan energi yang disesuaikan dengan dimensi dan kebutuhan energi nelayan tradisional.
- Pengujian lapangan secara nyata yang menunjukkan kesiapan teknologi untuk diimplementasikan, bukan sekadar simulasi.
- Analisis biaya dan dampak emisi yang langsung relevan dengan kebijakan transisi energi dan mitigasi perubahan iklim.

Implikasi Penelitian

- Praktis: Sistem ini dapat direplikasi oleh nelayan kecil, membantu menekan biaya operasional dan meningkatkan ketahanan energi.
- Akademis: Menambahkan referensi empiris pada literatur tentang kelistrikan kapal berbasis energi terbarukan untuk sektor skala kecil.
- Kebijakan: Dapat menjadi dasar bagi pemerintah dalam membuat regulasi atau insentif untuk transisi energi terbarukan di sektor perikanan.

Rekomendasi dan Tindak Lanjut

1. Pengujian jangka panjang selama musim cuaca ekstrem untuk mengetahui daya tahan sistem.
2. Integrasi teknologi IoT untuk pemantauan jarak jauh dan manajemen energi adaptif.
3. Replikasi sistem pada tipe kapal dan daerah pesisir lain di Indonesia.
4. Kajian kelayakan ekonomi dalam skala besar untuk mendukung kebijakan nasional energi maritim.

Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi kelistrikan kapal nelayan berbasis energi terbarukan, khususnya melalui integrasi sistem hibrida panel surya dan turbin angin. Kebaruan (novelty) dari artikel ini terletak pada pendekatan praktis yang menggabungkan perancangan sistem berbasis kebutuhan energi aktual kapal nelayan kecil dengan validasi langsung di lapangan melalui uji coba prototipe. Pendekatan ini belum banyak dilakukan dalam literatur sebelumnya yang cenderung berfokus pada simulasi atau kapal skala besar. Secara akademis, artikel ini memperkaya kajian tentang penerapan energi terbarukan di sektor maritim tradisional. Secara praktis, sistem yang dikembangkan dapat menjadi solusi alternatif hemat biaya dan ramah lingkungan bagi nelayan kecil. Dari sisi kebijakan, hasil penelitian ini dapat menjadi dasar bagi pemerintah untuk menyusun program subsidi atau insentif bagi adopsi teknologi energi hijau di sektor perikanan.

Meskipun menghasilkan temuan yang signifikan, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, pengujian dilakukan hanya pada satu jenis kapal nelayan dengan spesifikasi tertentu sehingga belum mencakup variasi desain kapal dan kapasitas operasional yang lebih luas. Kedua, pengujian sistem dilakukan dalam waktu terbatas (7 hari) sehingga belum mampu merepresentasikan kondisi operasional jangka panjang, seperti musim hujan, badai, atau abrasi garam laut terhadap komponen sistem. Ketiga, aspek ekonomi seperti biaya investasi awal dan masa balik modal belum dianalisis secara menyeluruh. Selain itu, sistem belum diintegrasikan dengan fitur monitoring digital yang dapat membantu pengawasan energi secara real-time.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan pengujian pada berbagai jenis kapal dan di lokasi geografis yang berbeda, guna mengkaji fleksibilitas sistem dalam berbagai kondisi laut. Selain itu, penting untuk mengembangkan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) untuk pemantauan konsumsi dan produksi energi secara real-time, serta mengintegrasikan sistem proteksi otomatis terhadap lonjakan daya atau gangguan teknis. Studi kelayakan ekonomi jangka panjang juga perlu dilakukan, termasuk analisis biaya investasi, efisiensi energi jangka panjang, dan simulasi masa balik modal. Dalam jangka panjang, sistem ini dapat menjadi bagian dari program nasional “Kapal Hijau” sebagai bagian dari strategi energi berkelanjutan di sektor kelautan dan perikanan.

KESIMPULAN

Sistem monitoring berbasis IoT yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil meningkatkan efisiensi operasional kapal dengan menyediakan data real-time dan analisis berbasis kecerdasan buatan. Implementasi sistem ini dapat membantu operator kapal dalam mengambil keputusan berbasis data untuk mengoptimalkan kinerja mesin dan mengurangi biaya operasional. Selain itu, sistem ini memberikan dampak positif dalam peningkatan keselamatan operasional dengan mendeteksi potensi risiko seperti overheating atau tekanan berlebih lebih dini. Dengan adanya fitur pencatatan historis data operasional mesin, sistem ini juga memungkinkan analisis tren jangka panjang, yang bermanfaat dalam perencanaan perawatan berkala dan optimalisasi konsumsi bahan bakar. Pemantauan berbasis cloud juga memberikan fleksibilitas lebih bagi pemilik kapal dalam mengelola beberapa kapal dalam satu armada secara terpusat. Namun, dalam implementasinya, masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan, seperti ketergantungan pada konektivitas jaringan untuk pengiriman data secara real-time dan keamanan data yang harus dijaga dari potensi serangan siber. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dapat difokuskan pada pengembangan model prediktif yang lebih akurat menggunakan teknik kecerdasan buatan yang lebih canggih serta penerapan teknologi blockchain untuk meningkatkan keamanan dan transparansi data. Dengan terus berkembangnya teknologi IoT dan kecerdasan buatan, diharapkan sistem monitoring kinerja mesin kapal ini dapat terus ditingkatkan dan diterapkan secara luas dalam industri maritim, sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih besar dalam hal efisiensi energi, keselamatan, serta keberlanjutan lingkungan.

REFERENSI

- Anfasa, I. and Sutrisno, I. (2021). RANCANG BANGUN INTEGRASI SCADA PADA SISTEM CRUSHING DAN BARGE LOADING CONVEYOR. *Jurnal Conference on Automation Engineering and Its Application*.
- Danis B, Agus K, Projek P, Mohammad B, and Sutrisno, I. (2019). Ball Direction Prediction for Wheeled Soccer Robot Goalkeeper Using Trigonometry Technique. *Applied Technology and Computing Science Journal*.
- Budianto, I. et al (2020). Analysis static load to strength a Ship-RUV structure using finite element method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1175 (2021) 012017*.
- Hakim, A. S., & Munaf, R. (2019). Analysis of Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Benoa, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 21(1), 1-6.
- Hananur, R. N. and Sutrisno, I. (2018). Analisis Tingkat Akurasi Tegangan Output Auto Boost Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Photo Voltaic. *Seminar MASTER PPNS*.
- Hasugian, S., Rahmawati, M. and Sutrisno, I. (2021) Analysis the Risk of the Ship Accident in Indonesia with Bayesian Network Model Approach. *Annals of R.S.C.B., ISSN:1583-6258, Vol. 25, Issue 2, Pages. 3341 - 3356*

- Hayati, N. F., & Munaf, R. (2018). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 20(3), 21-26.
- Iskandar, Dewa, P., and Sutrisno, I. (2022). Prototype of Bridge Navigational Watch Alarm System Equipped Obstacle Warning System Based on Image Processing and Real-Time Tracking. *International journal of Marine Engineering and Research. Volume 7. No 1.*
- Jami'in, M. A., Sutrisno, I., and Hu, J. (2015). *The State-Dynamic-Error-Based Switching Control under Quasi-ARX Neural Network Model*. AROB 20th B-Con Plaza, Beppu, Japan
- Jami'in, M. A., Sutrisno, I., and Hu, J. (2014). Nonlinear Adaptive Control for Wind Energy Conversion Systems Based on Quasi-ARX Neural Network Model. *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS'2014) (Hongkong)*.
- Khumaidi, A. et al (2018). *Analisis Tingkat Akurasi Tegangan Output Auto Boost Converter Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Photo Voltaic*. Seminar MASTER PPNS.
- Kurniawan, A., & Munaf, R. (2017). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 19(4), 31-36.
- Mohammad B, Sutrisno, I., Budianto, Santosa, A. W. B., and Nofandi, F (2020). Vibration Analysis of Ship-RUV Structure in Operational Conditions. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 519 012045*
- Munaf, R., & Handayani, H. F. (2016). Analysis of Factors Causing Speedboat Accidents in Waters of Tanjung Bena, Bali, Indonesia. *International Journal of Marine Engineering and Naval Architecture*, 18(2), 11-16.
- Nofandi, F., Devandra, RH., Hasugian, S., Sutrisno, I., Setiawan. E. Design floating robot of shallots irrigation with GPS based and using the waypoint navigation method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*
- Rifai, M., et al (2021). Dynamic time distribution system monitoring on traffic light using image processing and convolutional neural network method. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1175*.
- Santosa, AWB., Hardianti, A., Hasugian, S., Sutrisno, I., Khumaidi, A. (2021). Safe distance reminder system on ship against port for the standing process using image processing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.
- Sutrisno, I. (2020). Vibration Analysis of Ship-RUV Structure in Operational. *International Conference Earth Science & Energy*
- Sutrisno, M. and Muhammad F, dkk, (2019). Implementation of Backpropagation Neural Network and Extreme Learning Machine of pH Neutralization Prototype. *IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1196 012048*
- Sutrisno, I. et al (2013). Implementation of Lyapunov Learning Algorithm for Fuzzy Switching Adaptive Controller Modeled Under Quasi-ARX Neural Network. *Inter. Conference on Measurement, Information and Control*
- Sutrisno, I., Che, C. and Hu, J. (2014). *Quasi-ARX NN Based Adaptive Control Using Improved Fuzzy Switching Mechanism for Nonlinear Systems*. AROB 19th B-Con Plaza, Beppu, Japan.

Copyright Holder :

© Edy Prasetyo Hidayat et al., (2025).

First Publication Right :

© Bulletin of Community Engagement

This article is under:

CC BY SA