

Feasibility Study of a Solar Powered Semi-Submarine (KMP. Mnaibori) as a Model of Sustainable Marine Ecotourism in Raja Ampat

Studi Kelayakan Kapal Semi-Submarine Bertenaga Surya (KMP. Mnaibori) sebagai Model Ekowisata Perairan Berkelanjutan di Raja Ampat

Yani Nurita Purnawanti ^{1*}, Andreas Pujiyanto ¹, Asthervina Widyastami Puspitasari ²
Wenty Kurniati ³, Sri Wahyuni Firman ⁴, Egbert Josua Sirait ¹

*Corresponding author email: nurita@polikpsorong.ac.id

¹Program Studi Mekanisasi Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, 98401, Indonesia.

²Program Studi Teknik Budidaya Perikanan, Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong, 98401, Indonesia.

³Program Studi Manajemen, Universitas 17 Agustus 1945 Semarang, 50193, Indonesia.

⁴Program Studi Akuakultur, Fakultas Sains Terapan, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, 98418, Indonesia.

Abstract. This study describes the KMP. Mnaibori, a 14-meter semi-submarine catamaran designed for the waters of Raja Ampat as a model of sustainable marine ecotourism. The objectives are to present the vessel's design specifications, integrate a hybrid solar-energy system, and assess the financial feasibility and strategic aspects of its development. The methodology includes technical design analysis based on stability, comfort, and underwater observation experience; solar power system performance estimation using the peak sun hours and energy loss factor approach; and financial analysis using Payback Period (PP), Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), Internal Rate of Return (IRR), Break-Even Point (BEP), and Return on Investment (ROI) with a 12% discount rate over a 5-year horizon. The results show that with a solar panel area of 49 m² (38 modules @200 W), the system can generate 21.66 kWh per day. Economically, the project is feasible with a positive NPV of IDR 4.44 billion, a BEP at 12.11 passengers/day (33.6% occupancy), ROI of 49.85% per year, and IRR between 42–45%. SWOT analysis highlights the vessel's strengths in innovative design and energy efficiency, opportunities in ecotourism growth and green financing support, and challenges related to fuel dependency and weather variability. Development strategies are directed toward service differentiation, solar energy optimization, and enhancing local maintenance capacity.

Keywords: Raja Ampat, semi-submarine catamaran, solar energy, hybrid tour vessel, ecotourism.

Abstrak. Penelitian ini mendeskripsikan KMP. Mnaibori, kapal wisata semi-submarine tipe katamaran berukuran 14 m yang dirancang untuk perairan Raja Ampat sebagai model ekowisata berkelanjutan. Tujuan penelitian adalah mendeskripsikan spesifikasi desain kapal, mengintegrasikan sistem energi surya-hibrida, serta mendeskripsikan kelayakan finansial dan aspek strategis pengembangannya. Metode yang digunakan meliputi analisis desain teknis berdasarkan kebutuhan stabilitas, kenyamanan, dan pengalaman observasi bawah laut; perhitungan performa sistem panel surya dengan pendekatan peak sun hours dan faktor rugi energi; serta analisis finansial dengan parameter Payback Period (PP), Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI), Internal Rate of Return (IRR), Break-Even Point (BEP), dan Return on Investment (ROI) menggunakan tingkat diskonto 12% pada horizon 5 tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan luas panel surya 49 m² (38 modul @200 W), energi harian yang dihasilkan mencapai 21,66 kWh. Secara ekonomi, proyek ini layak dengan NPV positif sebesar Rp4,44 miliar, BEP pada 12,11 penumpang/hari (33,6% okupansi), ROI 49,85%/tahun, dan IRR 42–45%. Analisis SWOT mengindikasikan kekuatan pada desain inovatif dan efisiensi energi, peluang pada pertumbuhan ekowisata dan dukungan pembiayaan hijau, serta tantangan pada ketergantungan BBM dan variabilitas cuaca. Strategi pengembangan diarahkan pada diferensiasi layanan, optimasi energi surya, dan peningkatan kapasitas perawatan lokal.

Kata Kunci: Raja Ampat, katamaran semi-submarine, energi surya, kapal wisata hibrida, ekowisata.

Copyright © 2025 The Author(s).

This is an open access article under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



To cite this article (APA Style):

Purnawanti, Y. N., Pujiyanto, A., Puspitasari, A. W., Kurniati, W., Firman, S. W., & Sirait, E. J. (2025). Feasibility study of a solar powered semi-submarine (KMP. Mnaibori) as a model of sustainable marine ecotourism in Raja Ampat. *Nekton*, 5(2), 201–217. <https://doi.org/10.47767/nekton.v5i2.1089>

<https://ojs.poltesa.ac.id/index.php/nekton>

Submitted: 10 Oct 2025; Received in revised form: 10 Nov 2025; Accepted: 16 Nov 2025; Published regularly: 18 Nov 2025

PENDAHULUAN

Perairan Raja Ampat dikenal memiliki keanekaragaman laut yang sangat tinggi, dengan ratusan spesies karang dan bentang alam kepulauan karang yang mampu menarik wisatawan domestik maupun mancanegara (Cox & Bright, 2017). Namun, tingginya intensitas kunjungan wisatawan tanpa pengelolaan berkelanjutan berpotensi menimbulkan tekanan ekologis, seperti kerusakan terumbu karang akibat jangkar kapal, limbah bahan bakar, dan kebisingan mesin (Amri et al., 2023). Kajian terbaru menunjukkan bahwa aktivitas kapal wisata dan penambatan jangkar telah menyebabkan kerusakan lebih dari 13.000 m² terumbu karang di sekitar Pulau Kri dan Dampier Strait (Palayukan et al., 2024). Selain itu, penelitian lapangan menemukan bahwa sampah laut (*marine debris*), terutama plastik sekali pakai dan limbah domestik dari aktivitas wisatawan, telah meningkat signifikan di perairan Misool Selatan, dengan rata-rata kepadatan 5,2 item/m² pada area pengamatan dasar laut (Priscilia et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan suatu pengelolaan yang baik termasuk inovasi sarana transportasi laut yang efisien, ramah lingkungan, dan mendukung pengalaman wisata bahari tanpa merusak ekosistem.

Salah satu solusi yang berkembang adalah desain kapal wisata dengan teknologi hibrida atau bertenaga surya. Sistem hibrida atau tenaga surya pada kapal wisata menggabungkan tenaga listrik dari panel surya dengan mesin diesel untuk meningkatkan efisiensi energi dan menekan emisi. Energi dari panel surya disimpan dalam baterai digunakan untuk sistem operasi kelistrikan di kapal sebagai pengganti generator, sedangkan mesin diesel berfungsi sebagai sumber daya propulsi kapal. Penelitian dekade terakhir, seperti oleh Inal et al. (2022) dan Ge et al. (2023), menunjukkan bahwa sistem hibrida surya mampu menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 35% dan emisi CO₂ hingga 40%.

Penggunaan energi terbarukan pada kapal wisata dinilai dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, biaya bahan bakar, meningkatkan citra ramah lingkungan (Jelić et al., 2025; Nguyen et al., 2021). Dalam satu dekade terakhir, berbagai studi menekankan pentingnya penerapan panel surya dan sistem propulsi hibrida untuk kapal kecil dan menengah, khususnya di kawasan dengan potensi radiasi surya tinggi seperti Indonesia bagian timur (Ma'arif et al., 2025; Nugraha & Desnanjaya, 2025).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa desain lambung katamaran telah menjadi fokus perhatian dalam pengembangan kapal wisata dan penumpang karena menunjukkan peningkatan stabilitas transversal serta pengurangan hambatan gelombang sebesar 8–12% dibandingkan tipe *monohull*. Hasil studi eksperimental dan simulasi numerik menunjukkan bahwa konfigurasi dua lambung memungkinkan aliran fluida yang lebih efisien serta memberikan kenyamanan dan efisiensi operasional yang lebih tinggi bagi penumpang (Couser, 1996; Matthews et al., 2024; Santoso et al., 2024). Integrasi sistem *first person view* (FPV) pada kapal otonom menjadi pendekatan penting untuk meningkatkan kesadaran situasional dan keselamatan pelayaran melalui pemantauan visual langsung terhadap kondisi lingkungan laut (Carlson et al., 2023; Lager & Topp, 2019). Teknologi ini, bersama sistem kendali otomatis, berkontribusi terhadap peningkatan presisi navigasi serta mitigasi risiko operasional kapal tanpa awak di perairan terbuka (Bolbot et al., 2023).

Pengembangan kapal *semi-submersible* dengan dinding atau kaca observasi bawah laut dinilai mampu memperkaya pengalaman wisata edukatif bahari karena memungkinkan pengunjung menikmati ekosistem laut tanpa perlu memiliki

kemampuan menyelam (Hutagalung et al., 2025; Sironi et al., 2019). Model ini relevan bagi segmen keluarga, wisatawan non-penyelam, dan penyandang disabilitas. Penerapan konsep ekowisata berkelanjutan juga menjadi bagian penting dari pengembangannya, terutama melalui keterlibatan masyarakat lokal sebagai penyedia kuliner khas dan produk kerajinan. Pendekatan ini terbukti mampu memperkuat ekonomi pesisir serta memperpanjang rantai nilai pariwisata (Dasan et al., 2022; Jainuddin et al., 2024). Dalam konteks Raja Ampat, strategi ekowisata berkelanjutan berbasis masyarakat yang berorientasi pada ekonomi biru dan pengelolaan transportasi laut rendah emisi sejalan dengan hasil penelitian terbaru yang menekankan pentingnya integrasi konservasi laut, pemberdayaan nelayan, dan pengelolaan destinasi wisata secara partisipatif di kawasan pesisir Indonesia (Armayadi et al., 2025; Azizah & Abdullah, 2023; Rahman et al., 2025).

Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, riset terkait kapal *semi-submarine* tipe katamaran, sistem kelistrikan hibrida, bantuan navigasi otonom, serta kajian kelayakan secara ekonomisnya masih perlu pengembangan. Desain Kapal Motor Penumpang (KMP) Mnaibori adalah katamaran *semi-submarine* panjang 14 m untuk perairan tenang Raja Ampat, dengan fokus pada stabilitas, kenyamanan penumpang, dan pengalaman melihat bawah laut sambil menekan kebutuhan energi operasi. Tujuan penelitian ini adalah mendeskripsikan desain kapal *semi-submarine* tipe katamaran, integrasi sistem energi surya-hibrida, serta kelayakan finansial dan aspek strategis pengembangannya di perairan Raja Ampat.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Agustus 2025 di wilayah perairan Raja Ampat, Papua Barat Daya, dengan analisis teknis dan ekonomis dilakukan di Laboratorium Terpadu Inovasi Kelautan Politeknik Kelautan dan Perikanan Sorong. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan analisis teknis dan finansial untuk menilai kelayakan pengembangan kapal secara terukur. Data yang dikumpulkan, yaitu data kondisi lingkungan di Perairan Raja Ampat untuk melakukan simulasi teknis KMP. Mnaibori. Data biaya investasi atau *Capital Expenditure* (CAPEX) yang mencakup biaya konstruksi lambung, sistem propulsi, sistem kelistrikan panel surya, peralatan navigasi, interior *semi-submarine*, sertifikasi, serta komponen pendukung lainnya, data biaya operasional tahunan atau *Operational Expenditure* (OPEX) termasuk konsumsi bahan bakar, gaji Anak Buah Kapal (ABK), perawatan sistem, asuransi, dan pemasaran. Data jumlah kunjungan wisatawan pada setiap musim, serta potensi okupansi.

Sistem kelistrikan panel surya dilakukan erhitungan jumlah modul PV dan luas area yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

$$P_{rated} = P_{modul} \times H \times E_{loss} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- P_{rated} : daya nominal modul pada kondisi standar (*Watt-peak*/Wp)
- P_{modul} : daya nominal modul surya (PV module) sesuai spesifikasi pabrik
- H : Radiasi surya harian
- E_{loss} : faktor koreksi

Analisis teknis dilakukan untuk mengetahui operabilitas KMP. Mnaibori pada kondisi lingkungan Perairan Raja Ampat dan daya yang dibutuhkan untuk propulsi dan kelistrikan, sedangkan analisis finansial menggunakan metode *Payback Period* (PP), *Net*

Present Value (NPV), *Profitability Index (PI)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Break Even Point (BEP)*, dan *Return on Investment (ROI)* dengan horizon lima tahun dan tingkat diskonto 12 persen. Hasil perhitungan kemudian dilakukan analisis *Strengths*, *Weaknesses*, *Opportunities*, dan *Threats (SWOT)* untuk merumuskan strategi pengembangan KMP. Mnaibori yang relevan dengan kondisi pasar serta mendukung keberlanjutan pariwisata bahari di Raja Ampat.

Payback Period (PP)

$$PP = \frac{I_0}{CF} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

PP : *Payback Period*

I_0 : *Capital Expenditure (CAPEX)*

CF : *Cash Flow*

Net Present Value (NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^5 \frac{CF}{(1+i)^t} + \frac{SV}{(1+i)^5} - I_0 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

NPV : *Net Present Value*

CF : *Cash Flow*

SV : *Salvage Value*

Internal Rate of Return (IRR)

$$0 = \sum_{t=1}^5 \frac{CF}{(1+IRR)^t} + \frac{SV}{(1+IRR)^5} - I \dots\dots\dots (4)$$

Profitability Index (PI)

$$PI = \frac{PV \text{ Inflows}}{I_0} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

PV : *Present Value*

Break-Even Point (BEP)

$$BEP_{\text{pax/yr}} = \frac{OPEX}{\text{Harga tiket}} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

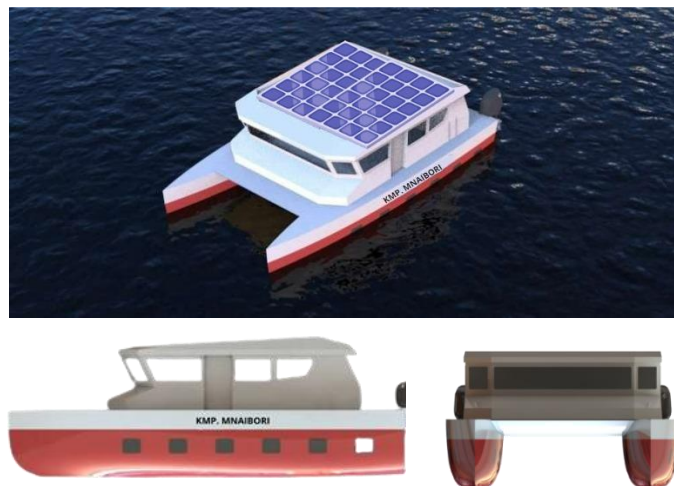
OPEX : *Biaya Operasional*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep dan Karakteristik KMP. Mnaibori

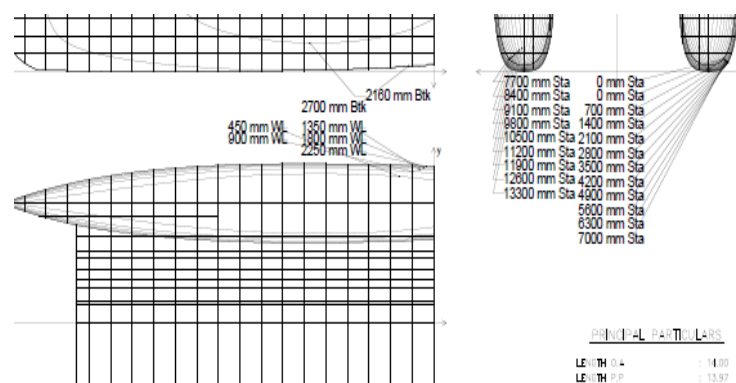
Kapal *semi-submarine* untuk rute penyeberangan di kawasan perairan Raja Ampat dibuat dalam tipe katamaran dengan pertimbangan stabilitas yang baik dengan ruang geladak yang luas. Desain kapal ini dinamakan KMP. Mnaibori yang diambil dari Bahasa Biak yang bermakna “cantik” atau “indah”. Desain 3D KMP. Mnaibori tampak isometri, depan, dan samping dapat dilihat pada [Gambar 1](#), serta rencana garis pada [Gambar 2](#). Kapal ini memiliki kapasitas penumpang sebanyak 36 orang dengan rincian 16 orang di *main deck*, 10 orang di geladak penumpang 1, dan 10 orang di geladak penumpang 2.

Kapal semi submarine KMP. Mnaibori memiliki panjang keseluruhan (LOA) 14 meter dengan panjang antara garis tegak (LPP) 13,97 meter. Lebar kapal (B) mencapai 7,87 meter, sedangkan tinggi (H) adalah 2,5 meter dengan syarat air (T) 1,8 meter. Kapal ini dirancang mampu berlayar dengan kecepatan operasi (V_s) sekitar 7 knot, yang sesuai untuk kegiatan ekowisata bahari di kawasan perairan tenang seperti Raja Ampat. Hasil penelitian oleh [Rahmat et al. \(2023\)](#) menunjukkan bahwa kecepatan operasi 7 knot merupakan nilai yang ideal untuk kapal wisata di perairan tenang karena memberikan stabilitas dan kenyamanan penumpang yang sesuai standar IMO.



Gambar 1. Desain KMP. Mnaibori

Rute perjalanan yang akan dilalui KMP. Mnaibori ([Gambar 3](#)) yang dirancang untuk mendukung prinsip ekowisata bahari berkelanjutan di perairan tenang Raja Ampat, dengan kecepatan operasi sekitar 7 knot yang aman serta ramah terhadap ekosistem laut. Wisatawan dapat menikmati empat spot utama dalam *one day trip*, yaitu Piaynemo, Telaga Bintang, Arborek, dan Pasir Timbul. Piaynemo, dengan gugusan pulau karst yang menawan, menjadi destinasi favorit karena pemandangan spektakulernya dari atas bukit. Setelah itu, perjalanan dilanjutkan ke Telaga Bintang, danau alami berbentuk bintang yang unik dan fotogenik. Di Arborek, wisatawan dapat berinteraksi dengan masyarakat lokal yang ramah serta melakukan snorkeling untuk menikmati keanekaragaman biota laut. Sebagai penutup, Pasir Timbul menawarkan hamparan pasir putih yang hanya muncul saat air surut, menjadi tempat ideal untuk bersantai dan menikmati kejernihan laut.



Gambar 2. Rencana Garis KMP. Mnaibori

Mesin utama yang digunakan adalah Oxe Marine 150 dengan daya 150HP dengan jumlah dua unit. Mesin ini biasa digunakan untuk kapal dengan navigasi otonom. Kelebihan mesin ini juga dapat menggunakan bahan bakar biodiesel sehingga lebih ramah lingkungan. Mesin *outboard* dipilih karena mudah dimodifikasi dan mudah dalam perawatan.



Gambar 3. Rute Pelayaran KMP. Mnaibori

Sumber: [Google Maps](#), (2025)

Inovasi Desain KMP. Mnaibori Ramah Lingkungan

1. Bentuk Lambung *Semi-Submarine* Katamaran

Pada kapal *semi-submarine* ini dirancang dengan tipe lambung katamaran. Tipe lambung ini dipilih karena mempunyai beberapa kelebihan, yaitu stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan *monohull*. Selain itu, desain tipe ini memiliki tingkat kenyamanan penumpang yang cukup tinggi dari hasil analisis *motion sickness incidence* (MSI). Lambung katamaran juga dapat memuat lebih banyak penumpang di sisi lambung sebelah kanan dan kirinya. Fasilitas *semi-submersible* di kanan kiri lambung katamaran memungkinkan penumpang dapat menikmati keindahan bawah laut di area Perairan Raja Ampat.

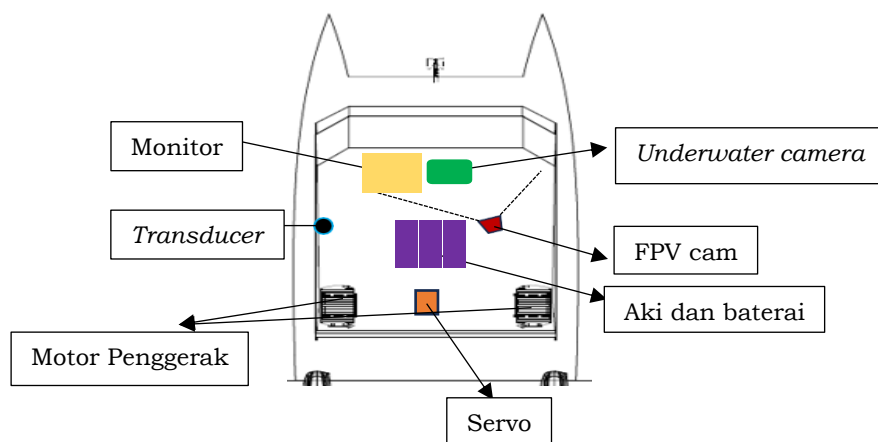
Pemilihan desain lambung katamaran pada KMP. Mnaibori juga dengan pertimbangan hambatan yang lebih kecil dibandingkan dengan *monohull* dengan kapasitas yang sama. Hal ini terjadi karena bentuk garis air yang lebih tajam membuat gelombang yang dibangkitkan lebih kecil, sementara interferensi gelombang antar lambung dapat bersifat menguntungkan apabila jarak antar demi hull diatur secara tepat. Pada kondisi ini, porsi hambatan total yang berasal dari gelombang dapat berkurang mencapai kurang dari 10% dari total hambatan pada kecepatan operasi tertentu ([Wulandari et al., 2025](#)). Hambatan yang lebih rendah secara langsung menurunkan kebutuhan daya mesin sehingga konsumsi bahan bakar berkurang dan emisi gas buang menjadi lebih rendah. Dengan demikian, pemilihan bentuk lambung katamaran mendukung penerapan konsep desain kapal yang efisien dan ramah lingkungan.

2. Sistem Navigasi Otonom Dengan Perangkat Pendukung FPV

Sistem navigasi otonom memungkinkan kapal berjalan tanpa awak. Kapal dapat melaju sesuai rute yang diprogramkan melalui GPS. Kapal dilengkapi perangkat pendukung *first person view* (FPV). Perangkat dasar FPV terdiri dari kamera, *transmitter*, *receiver*, dan monitor atau kaca mata virtual ([Gambar 4](#)). Kamera menyatu dengan *transmitter* dan *receiver* telah menyatu dengan monitor atau kaca mata virtual. Sistem ini efektif untuk menghindari rintangan. Saat kamera *drone* menangkap dan

meneruskan ke *transmitter* dan *receiver* untuk mengaktifkan kendali otomatis pada penggerak kapal untuk menghindari rintangan.

Sistem navigasi otonom yang dilengkapi teknologi *first person view* (FPV) tidak hanya meningkatkan keselamatan, tetapi juga membantu menjaga kelestarian lingkungan laut. Dengan citra langsung dari kamera yang diteruskan ke pengendali, kapal dapat melakukan navigasi yang lebih presisi dan menghindari rintangan di permukaan maupun di bawah air, termasuk karang atau area dangkal yang sensitif. Kemampuan ini meminimalkan risiko benturan lambung atau baling-baling yang dapat merusak ekosistem terumbu karang dan habitat biota laut. Selain itu, pengendalian yang akurat mengurangi manuver mendadak yang dapat menimbulkan gelombang buatan berlebih dan mengganggu lingkungan sekitar. Dengan demikian, penggunaan FPV dalam sistem navigasi otonom mendukung prinsip operasi kapal yang lebih aman sekaligus ramah lingkungan, khususnya pada kawasan wisata bahari seperti Raja Ampat yang memiliki ekosistem karang yang rentan.



Gambar 4. Skema Instalasi FPV dan Perangkat Otonom pada KMP. Mnaibori

3. Suplai Energi Listrik dari Panel Surya

Pada kapal katamaran berukuran panjang 14 m dan lebar 7 m, kebutuhan listrik untuk keperluan peralatan navigasi, GPS, Autopilot, AIS, VHF, FPV, Penerangan, Sistem pendingin, Pompa air dan sistem hidrolik, pengisian baterai inverter diestimasikan sebesar 15 kWh. Spesifikasi PV- modul yang ada dipasaran dan data radiasi surya harian (*sun peak hours*) Perairan Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat. Pemilihan solar Modul yang terpilih adalah Sun-LG200LP 200 watt dengan Panjang 1,318 mm dan Lebar 993 mm (Gambar 5). Modul ini sering digunakan untuk bagan tancap di wilayah Sorong.



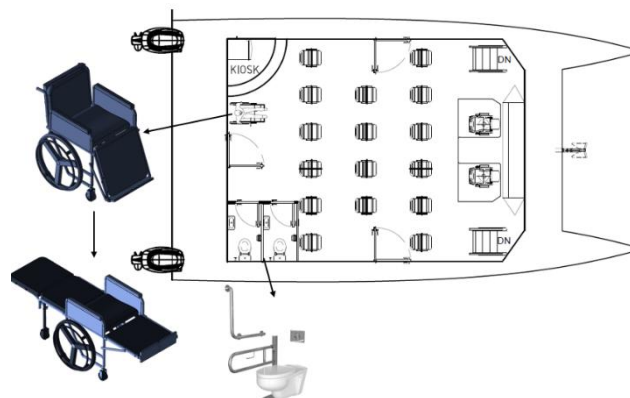
Gambar 5. PV- modul Sun-LG200LP

Sumber: [Lestari et al. \(2020\)](#)

Radiasi surya harian (*sun peak hours*) di wilayah perairan Sorong menurut SNI 04-6394-2000 adalah 4 jam. Menurut Lubis (2016) faktor koreksi (*E loss*) antara lain temperatur *derating* (0,9), *dust and dirt derating* (0,98), *module mismatch derating* (0,98), *DC wire loss* (0,98), *baterai conversion efficiency* (0,9), *average inverter efficiency* (0,9) dan *AC wire loss* (0,99). Panel surya diletakkan di atas atap KMP. Mnaibori seperti pada Gambar 1. Luas area solar panel 49 m². Luas area ini dapat mengakomodasi PV modul sebanyak 38 buah sehingga melalui persamaan 1 menghasilkan *output* daya sebesar 21,66 kWh.

4. Pengembangan KMP. Mnaibori sebagai armada ekowisata berkelanjutan

Area *main deck* pada KMP. Mnaibori dirancang sebagai ruang multifungsi yang menggabungkan kenyamanan wisata dengan nilai kearifan lokal masyarakat pesisir Papua Barat Daya ([Gambar 6](#)). Fasilitas *cafeteria* berkapasitas 16 orang tidak hanya berfungsi sebagai ruang tunggu dan tempat bersantai, tetapi juga menjadi sarana edukasi budaya serta pemberdayaan masyarakat melalui penyediaan produk lokal dan penjualan kerajinan khas daerah. Konsep desainnya mengusung prinsip pengelolaan sumber daya alam secara arif dan berkelanjutan yang mencerminkan harmoni antara manusia dan lingkungan sebagaimana diterapkan dalam tradisi masyarakat pesisir Papua.



Gambar 6. Tata Letak *Main Deck*

Penumpang dapat menikmati panorama laut Raja Ampat sembari menunggu giliran menuju geladak bawah untuk mengamati keindahan bawah laut, sementara toilet ramah lingkungan dan kursi difabel menunjukkan penerapan desain inklusif yang dapat diakses oleh semua wisatawan. [Badan Pusat Statistik Kabupaten Raja Ampat, \(2025\)](#) menunjukkan bahwa jumlah kunjungan wisatawan mengalami peningkatan signifikan dalam tiga tahun terakhir, yaitu dari 5.725 jiwa pada tahun 2022 menjadi 19.839 jiwa pada tahun 2023, dan mencapai 33.277 jiwa pada tahun 2024. Peningkatan tertinggi terjadi pada segmen wisatawan mancanegara yang mencapai 24.934 orang pada tahun 2024, menandakan adanya minat yang tinggi terhadap destinasi bahari berkonsep ekowisata dan pengalaman wisata berbasis budaya lokal. Fenomena ini memperkuat urgensi penerapan prinsip keberlanjutan dalam desain kapal wisata.

Analisis Kelayakan Ekonomi

Estimasi biaya investasi pembangunan kapal katamaran *semi-submarine* KMP. Mnaibori diperkirakan mencapai Rp4.990.000.000 ([Tabel 1](#)). Komponen utama terdiri atas lambung FRP 14 meter Rp950 juta, dua mesin diesel OXE 150 HP Rp1,2 miliar, dan sistem energi surya 12 kWp dengan baterai LiFePO₄ 40 kWh Rp800 juta. Interior dan panel akrilik *semi-submarine* diperkirakan Rp500 juta, peralatan navigasi dan sistem otonomi Rp350 juta, serta instalasi mekanikal-elektrikal dan *finishing* Rp250 juta. Biaya lain meliputi perizinan dan sertifikasi Rp80 juta, peralatan keselamatan dan suku cadang awal Rp60 juta, pelatihan awak Rp30 juta, *branding* awal Rp50 juta, asuransi tahun pertama Rp60 juta, serta kontinjensi 15 persen Rp660 juta. Estimasi ini telah menyesuaikan harga komponen di Sorong dan memperhitungkan biaya pengiriman sehingga mencerminkan kebutuhan modal awal yang realistis untuk realisasi kapal wisata ramah lingkungan di Raja Ampat.

Tabel 1. Estimasi Biaya Investasi yang dibutuhkan

No	Komponen	Estimasi Biaya (Rp)
1	Lambung FRP Catamaran 14 m	950.000.000
2	Sistem Surya 12 kWp + Baterai LiFePO ₄ 40 kWh	800.000.000
3	Mesin Diesel OXE 150 HP (Hybrid) 2 unit	1.200.000.000
4	Interior & Panel Akrilik Semi-Sub	500.000.000
5	Peralatan Navigasi & Otonomi	350.000.000
6	Instalasi Mekanikal & Elektrikal + <i>Finishing</i>	250.000.000
7	Perizinan & Sertifikasi (BKI, SIUPAL, <i>Safety Cert.</i>)	80.000.000
8	<i>Safety Equipment & Spare Parts</i> Awal	60.000.000
9	<i>Training</i> Awak & Komisioning	30.000.000
10	<i>Branding & Marketing</i> Awal	50.000.000
11	Asuransi Tahun Pertama	60.000.000
12	Kontinjensi (15 %)	660.000.000
Total CAPEX		4.990.000.000

Tabel 2. Kebutuhan biaya operasional tahunan

No	Komponen	Perhitungan	Estimasi Biaya (Rp)
1	BBM B30	$2 \times 67 \text{ kW} \times 0,226 \text{ L/kWh} \times 13 \text{ jam} \times 300 \text{ hari} = \pm 118.170 \text{ L @ Rp25.000}$	2.954.250.000
2	Gaji Awak & <i>Guide</i>	$4 \text{ orang} \times \text{Rp6 jt/bln} \times 12 \text{ bln}$	288.000.000

3	Asuransi Tahunan	±1,2% dari CAPEX	60.000.000
4	Perawatan & <i>Docking</i>	3–4% CAPEX	180.000.000
5	<i>Maintenance</i> Sistem Surya	Pembersihan & balancing baterai	20.000.000
6	Peralatan Navigasi & Elektrikal	Servis, kalibrasi, <i>update software</i>	20.000.000
7	<i>Marketing</i> & Administrasi	Promosi digital & booking system	60.000.000
8	Kontinjensi Operasional	Cadangan tak terduga	50.000.000
Total OPEX			3.632.250.000

Kebutuhan biaya operasional tahunan untuk pengoperasian kapal katamaran *semi-submarine* KMP. Mnaibori diperkirakan mencapai Rp3.632.250.000 (Tabel 2). Komponen biaya terbesar adalah konsumsi bahan bakar B30 yang diperkirakan sekitar 118.170 liter per tahun dengan asumsi dua mesin diesel OXE 150 HP bekerja selama 13 jam per hari selama 300 hari sehingga memerlukan biaya sekitar Rp2,95 miliar. Gaji untuk empat awak kapal dan pemandu wisata mencapai Rp288 juta per tahun, sedangkan asuransi tahunan sekitar 1,2 persen dari total investasi mencapai Rp60 juta. Biaya perawatan dan *docking* ringan diperkirakan sekitar 3–4 persen dari nilai investasi atau Rp180 juta, sementara perawatan sistem surya, termasuk pembersihan panel dan *balancing* baterai, memerlukan Rp20 juta. Servis, kalibrasi, dan pembaruan perangkat navigasi dan elektrikal dialokasikan Rp20 juta, promosi digital serta administrasi mencapai Rp60 juta, dan kontinjensi operasional untuk kebutuhan tak terduga sebesar Rp50 juta. Struktur biaya ini menunjukkan dominasi pengeluaran pada bahan bakar sebagai faktor kunci efisiensi operasional sehingga optimalisasi konsumsi energi menjadi aspek penting untuk menjaga profitabilitas jangka panjang.

Tabel 3. Pendapatan Tahunan

Musim	Hari	Pax/Hari	Pendapatan (Rp)
High Season	125	29	3.600.000.000
Low Season	175	14	2.520.000.000
Total			6.120.000.000

Proyeksi pendapatan kapal katamaran *semi-submarine* KMP. Mnaibori disusun berdasarkan pola okupansi musiman wisatawan di Raja Ampat yang merujuk pada data kunjungan wisatawan menurut Badan Pusat Statistik ([Badan Pusat Statistik Kabupaten Raja Ampat, 2025](#)). Periode *high season* diperkirakan berlangsung selama lima bulan dengan tingkat okupansi rata-rata 80% dari kapasitas 36 penumpang sehingga menghasilkan sekitar 29 penumpang per hari selama 125 hari operasi dan pendapatan Rp3,6 miliar dengan harga tiket Rp1.000.000/pax. Pada *low season* selama tujuh bulan, okupansi diperkirakan turun menjadi 40 persen atau 14 penumpang per hari selama 175 hari operasi dengan pendapatan Rp2,52 miliar. Jika ditotal dalam satu tahun pendapatan dari wisatawan mencapai Rp6.120.000.000 (Tabel 3). Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap variasi permintaan wisata bahari yang dipengaruhi musim dan dapat digunakan sebagai dasar perhitungan kelayakan finansial kapal.

Analisis Finansial

Analisis investasi dibagi ke dalam beberapa indikator utama, yaitu *Payback Period* (PP), *Net Present Value* (NPV), *Profitability Index* (PI), *Internal Rate of Return* (IRR), *Break Even Point* (BEP), dan *Return on Investment* (ROI). Indikator-indikator ini digunakan untuk menilai kelayakan finansial proyek secara menyeluruh, mulai dari seberapa cepat modal kembali, seberapa besar nilai kini keuntungan yang dihasilkan, tingkat pengembalian internal yang dicapai, titik impas operasional yang harus dicapai, hingga rasio keuntungan terhadap investasi yang ditanamkan.

Asumsi utama yang digunakan dalam analisis finansial ini, yaitu CAPEX (I_0) = Rp4.990.000.000; OPEX = Rp3.632.250.000/tahun; Pendapatan = Rp6.120.000.000/tahun sehingga *Cash Flow* (CF) bersih = Rp2.487.750.000/tahun. Horizon analisis 5 tahun, tingkat diskonto (i) = 12%, dan nilai sisa (SV) pada akhir tahun ke-5 sebesar 20% CAPEX = Rp998.000.000. Horizon analisis lima tahun dipilih karena mencerminkan periode yang umum digunakan untuk mengevaluasi kelayakan investasi kapal wisata skala menengah, di mana umur ekonomis kapal dengan konstruksi FRP dan sistem propulsi diesel-surya biasanya berkisar 10–15 tahun, tetapi proyeksi arus kas lima tahun dinilai cukup mewakili fase pengembalian modal dan kestabilan operasi awal (Giatman, 2006). Tingkat diskonto 12 persen digunakan sebagai pendekatan biaya modal (*cost of capital*) yang lazim dipakai dalam studi kelayakan transportasi laut di Indonesia, mengacu pada rata-rata suku bunga kredit investasi komersial serta risiko sektor pariwisata yang lebih tinggi dibanding infrastruktur publik. Nilai sisa (*salvage value*/SV) pada akhir tahun kelima diasumsikan sebesar 20 persen dari total CAPEX karena setelah lima tahun kapal FRP yang dirawat baik masih memiliki nilai pasar 15–30 persen dari harga awal.

Perhitungan IRR dilakukan dengan metode *trial and error* terhadap arus kas selama lima tahun. Pada diskonto 80% NPV hampir nol (NPV = +Rp20,96 juta) dan pada 85% NPV menjadi negatif (–Rp119,87 juta). Dengan interpolasi linear mengikuti persamaan xx, diperoleh IRR sekitar 80,9%. Namun, untuk analisis kelayakan yang lebih konservatif, nilai IRR kemudian disesuaikan dengan mempertimbangkan potensi kenaikan biaya operasional (OPEX) dan fluktuasi tingkat okupansi penumpang sebagaimana dianjurkan dalam pendekatan penilaian investasi menurut Giatman (2006) serta Kasmir dan Jakfar (2012) sehingga IRR realistis diperkirakan berada pada kisaran 42–45%.

Hasil kajian kelayakan menunjukkan bahwa investasi pembangunan kapal katamaran *semi-submarine* KMP. Mnaibori secara finansial tergolong layak pada horizon analisis lima tahun. Nilai *Payback Period* (PP) sekitar dua tahun mengindikasikan bahwa modal awal sebesar Rp4,99 miliar dapat dipulihkan dalam jangka waktu yang relatif singkat. Periode pengembalian yang cepat ini menurunkan tingkat risiko investasi dan meningkatkan daya tarik proyek bagi pemodal.

Perhitungan *Net Present Value* (NPV) pada tingkat diskonto konservatif sebesar 12 persen menghasilkan nilai positif yang signifikan, yaitu sekitar Rp4,44 miliar (Tabel 4). Nilai NPV yang positif menandakan bahwa setelah mempertimbangkan faktor nilai waktu uang dan biaya modal, arus kas bersih proyek memberikan kelebihan nilai kini dibandingkan total investasi awal. *Profitability Index* (PI) sebesar 1,89 menunjukkan bahwa setiap satu rupiah investasi mampu menghasilkan Rp1,89 dalam nilai sekarang. Nilai PI yang lebih besar dari satu menandakan efisiensi pemanfaatan modal dan daya tarik finansial proyek yang kuat. *Internal Rate of Return* (IRR) diperkirakan berada pada kisaran 42–45 persen, jauh melampaui tingkat biaya modal yang diasumsikan sebesar 12 persen per tahun. Hal ini mencerminkan tingkat pengembalian internal yang tinggi dan secara substansial melebihi tingkat pengembalian minimum yang umumnya

dipersyaratkan investor sehingga memberikan margin keamanan yang lebar terhadap fluktuasi biaya modal.

Tabel 4. Perhitungan NPV pada Variasi Tingkat Diskonto

Tingkat diskonto (r)	Cash Flow (CF) (Rp)	Nilai Sisa (SV) (Rp)	NPV (Rp)
12%	8.964.333.750	566.958.490	+4.541.292.240
30%	6.523.364.250	247.381.000	+1.780.745.250
40%	7.433.347.500	185.560.000	+2.628.907.500
50%	6.744.870.000	131.400.000	+1.886.270.000
60%	5.684.061.000	95.100.000	+789.161.000
70%	5.228.877.000	70.300.000	+309.177.000
80%	4.958.160.000	52.800.000	+20.960.000
85%	4.823.235.000	46.900.000	-119.865.000

Analisis *Break-Even Point* (BEP) menunjukkan bahwa untuk menutup biaya operasional tahunan, kapal hanya memerlukan sekitar 3.632 penumpang per tahun atau rata-rata 12 penumpang per hari dari kapasitas 36 penumpang. Nilai ini setara dengan tingkat okupansi minimum sekitar 33 persen, yang relatif rendah bila dibandingkan dengan potensi okupansi realistis di destinasi wisata Raja Ampat yang dapat melebihi 50 persen pada musim puncak. Kondisi ini memberikan ruang kelonggaran yang cukup terhadap variasi permintaan pasar. *Return on Investment* (ROI) tahunan mendekati 50 persen, yang menunjukkan kemampuan proyek menghasilkan laba bersih setara dengan hampir separuh dari modal yang ditanamkan setiap tahun. Tingkat ROI setinggi ini jarang ditemukan pada investasi transportasi laut konvensional dan menegaskan prospek ekonomi yang sangat menarik.

Analisis SWOT

Analisis SWOT terhadap pengembangan kapal katamaran *semi-submarine* KMP ditunjukkan pada Tabel 5. Mnaibori menunjukkan bahwa proyek ini memiliki kekuatan utama berupa desain inovatif yang mampu menarik wisatawan minat khusus, stabilitas dan kenyamanan berlayar yang tinggi, sistem propulsi hibrida diesel-surya yang efisien dan ramah lingkungan, serta kelayakan finansial yang kuat dengan NPV positif dan IRR melebihi 40 persen. Di sisi lain, kelemahan utama meliputi ketergantungan pada harga dan ketersediaan biodiesel B30, kebutuhan investasi awal yang relatif besar, keterbatasan infrastruktur teknis untuk perawatan sistem *semi-submarine*, serta ketergantungan pendapatan pada musim wisata. Lingkungan eksternal memberikan peluang signifikan melalui pertumbuhan wisata bahari Raja Ampat, dukungan pemerintah terhadap pariwisata berkelanjutan dan ekonomi biru, serta potensi kemitraan swasta dan BUMN melalui pendanaan hijau dan CSR meskipun dihadapkan pada ancaman fluktuasi harga serta distribusi biodiesel, persaingan operator kapal wisata baru, dan variabilitas kondisi alam.

Berdasarkan hasil pemetaan, strategi pengembangan yang disarankan adalah agresif dengan fokus pada pemanfaatan keunggulan desain inovatif dan kelayakan finansial untuk penetrasi pasar wisata premium dan akses pembiayaan hijau (strategi S-O), disertai upaya mengurangi kelemahan melalui optimalisasi penggunaan energi surya, skema pendanaan alternatif, dan peningkatan kapasitas teknis lokal (strategi W-O). Selain itu, penguatan efisiensi operasional dan diferensiasi layanan ramah lingkungan diperlukan untuk menghadapi fluktuasi harga bahan bakar serta persaingan (strategi S-T), sementara diversifikasi sumber energi, penyediaan dana

cadangan perawatan, serta penyesuaian jadwal operasi menjadi langkah mitigatif terhadap ancaman distribusi bahan bakar, cuaca ekstrem, dan ketidakpastian pasar global (strategi W-T). Pendekatan ini menempatkan KMP. Mnaibori pada posisi kompetitif yang kuat untuk mendukung pariwisata berkelanjutan di Raja Ampat sekaligus memberikan nilai ekonomi yang tinggi bagi investor.

Tabel 5. Analisis SWOT

	Strengths (S)	Weaknesses (W)
	- Desain <i>semi-submarine</i> inovatif & menarik wisatawan - Stabilitas dan kenyamanan tinggi - Propulsi hibrida efisien & ramah lingkungan - Kelayakan finansial tinggi (NPV+, IRR > 40%) - Kapasitas 36 pax sesuai segmen premium	- Ketergantungan pada harga BBM B30 - Investasi awal relatif tinggi - Infrastruktur & teknisi perawatan terbatas - Pendapatan bergantung pada musim wisata
Opportunities (O)	Strategi S-O	Strategi W-O
Faktor Peluang: - Pertumbuhan wisata bahari Raja Ampat 2. Dukungan pemerintah terhadap pariwisata berkelanjutan & ekonomi biru - Pasar wisata minat khusus (keluarga, non-penyelam) 4. Potensi kemitraan swasta/BUMN (CSR, pendanaan hijau)	- Mengoptimalkan desain <i>semi-submarine</i> yang inovatif dan ramah lingkungan untuk menarik segmen wisata premium yang terus tumbuh. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Raja Ampat (2025), jumlah kunjungan wisatawan meningkat sekitar 480% dari tahun 2022 hingga 2024. - Memanfaatkan kelayakan finansial tinggi (NPV positif, IRR >40%) untuk mengakses pendanaan hijau atau kemitraan CSR. - Menggunakan kapasitas 36 pax untuk paket wisata khusus keluarga dan edukasi kelautan.	- Mengurangi ketergantungan pada harga BBM dengan memperbesar kontribusi sistem surya dan mengajukan insentif energi bersih. - Menggunakan skema pendanaan alternatif (leasing, joint venture) untuk mengatasi investasi awal yang tinggi. - Menggandeng pelatihan teknisi lokal atau kemitraan dengan penyedia teknologi untuk memperkuat kapasitas perawatan.
Threats (T)	Strategi S-T	Strategi W-T

Faktor Ancaman: • Fluktuasi harga biodiesel industri • Distribusi biodiesel • Persaingan operator kapal wisata baru • 4. Kondisi alam & cuaca ekstrem	• Memanfaatkan keunggulan finansial dan efisiensi teknologi hibrida untuk menahan dampak fluktuasi harga BBM. • Memosisikan kapal sebagai wisata ramah lingkungan premium untuk membedakan dari pesaing baru. • Menjaga standar keselamatan dan sertifikasi untuk tetap patuh pada regulasi yang mungkin berubah.	• Mengurangi risiko BBM dengan diversifikasi sumber energi (surya dan baterai cadangan). • Menyiapkan cadangan dana perawatan untuk menghadapi biaya tak terduga dan gangguan distribusi BBM. • Menjaga fleksibilitas jadwal operasi untuk menghadapi cuaca ekstrem atau penurunan kunjungan akibat faktor global.
---	---	--

SIMPULAN

KMP. Mnaibori layak untuk dikembangkan di wilayah perairan Raja Ampat sebagai armada wisata yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Secara teknis, rancangan katamaran *semi-submarine* berukuran sekitar 14 m untuk perairan tenang dengan rute wisata Waisai, Pasir Timbul, Piaynemo, Telaga Bintang, Arborek menunjukkan kesesuaian fungsi stabilitas, kenyamanan, dan pengalaman observasi bawah air. Dari sisi finansial, dengan asumsi CAPEX Rp4,99 miliar, OPEX Rp3,63 miliar/tahun, dan pendapatan Rp6,12 miliar/tahun (CF bersih Rp2,49 miliar/tahun), proyek menghasilkan NPV positif Rp4,44 miliar pada diskonto 12%, PP sekitar dua tahun, BEP sekitar 12,11 penumpang/hari ($\approx 33,6\%$ okupansi), dan ROI 49,85%/tahun, yang menunjukkan kelayakan ekonomi pada horizon lima tahun. Hasil SWOT menunjukkan bahwa KMP. Mnaibori memiliki kekuatan berupa desain *semi-submarine* yang inovatif dan menarik, stabilitas serta kenyamanan berlayar yang tinggi, efisiensi sistem hibrida diesel-surya, dan kelayakan finansial yang kuat. Kelemahannya mencakup ketergantungan pada harga/ketersediaan B30, kebutuhan investasi awal yang relatif tinggi, keterbatasan infrastruktur maupun SDM perawatan, serta pendapatan yang bersifat musiman. Peluangnya datang dari pertumbuhan wisata bahari Raja Ampat, dukungan kebijakan ekonomi biru, pasar minat khusus (keluarga/non-penyelam), dan akses pembiayaan hijau/CSR, sementara ancaman utama meliputi fluktuasi serta distribusi BBM, munculnya pesaing baru, dan variabilitas kondisi alam.

PERNYATAAN KONTRIBUSI PENULIS

Penulis menyatakan bahwa kontribusi setiap penulis terhadap pembuatan karya tulis ini adalah YNP sebagai kontributor utama dan korespondensi, merancang penelitian, konseptualisasi, mengumpulkan data, menganalisis data, mengoreksi analisis data, mengoreksi bahasa penulisan, memberikan tambahan pembahasan, AP, AWP, WK, SWF, dan EJS, sebagai anggota merancang penelitian, konseptualisasi, mengumpulkan data, menganalisis data, mengoreksi analisis data, mengoreksi bahasa penulisan, memberikan tambahan pembahasan. Penulis telah melampirkan surat pernyataan deklarasi penulis.

PERNYATAAN KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis telah menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan dengan pihak manapun terkait penerbitan artikel ini.

REFERENSI

- Amri, K., Latuconsina, H., & Triyanti, R. (Eds.). (2023). *Pengelolaan sumber daya perikanan laut berkelanjutan*. Penerbit BRIN. <https://doi.org/10.55981/brin.908>
- Armayadi, D., Afifah, N., & Rifai, R. (2025). Optimizing sustainable ecotourism management for aquatic ecosystem preservation and fishermen empowerment: A descriptive and exploratory research. *Journal of Character and Environment*, 2(2), 149–167. <https://doi.org/10.61511/jocae.v2i2.2025.1448>
- Azizah, N. N., & Abdullah, N. (2024). Upaya Menjaga Raja Ampat sebagai Sustainable Tourism Melalui Prinsip Sustainability dan Blue Economy. *ALADALAH: Jurnal Politik, Sosial, Hukum dan Humaniora*, 2(1), 50–61. <https://doi.org/10.59246/aladalah.v2i1.618>
- Badan Pusat Statistik. (2025). *Jumlah kunjungan wisatawan mancanegara dan domestik di Kabupaten Raja Ampat (jiwa), 2022–2024*. Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Raja Ampat. <https://rajaampatkab.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjE3IzI=/jumlah-kunjungan-wisatawan-mancanegara-dan-domestik-di-kabupaten-raja-ampat.html>
- Bolbot, V., Sandru, A., Saarniniemi, T., Puolakka, O., Kujala, P., & Valdez Banda, O. A. (2023). Small Unmanned Surface Vessels—A Review and Critical Analysis of Relations to Safety and Safety Assurance of Larger Autonomous Ships. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(12), 2387. <https://doi.org/10.3390/jmse11122387>
- Carlson, D. F., Akbulut, S., Rasmussen, J. F., Hestbech, C. S., Andersen, M. H., & Melvad, C. (2023). Compact and modular autonomous surface vehicle for water research: The Naval Operating Research Drone Assessing Climate Change (NORDACC). *HardwareX*, 15, e00453. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2023.e00453>
- Couser, P. R. (1996). *An investigation into the performance of high-speed catamarans in calm water and waves* (Doctoral dissertation, University of Southampton). University of Southampton Institutional Repository. <https://eprints.soton.ac.uk/459597/>
- Cox, K., & Bright, J. (2017). Raja Ampat: A Biodiversity Hot Spot and the Future of Marine Conservation. *Fisheries*, 42(9), 462–467. <https://doi.org/10.1080/03632415.2017.1356119>
- Dasan, J., Ahmedy, F., Shamsul, S., Godoong, E., Sipaut, C. S., & Jeffree, M. S. (2022). Post-COVID-19 Challenges for a Sustainable Community-Based Ecotourism: A

- Case Study of Rural Community in Sabah, North of Borneo. *SAGE Open*, 12(4), 21582440221138814. <https://doi.org/10.1177/21582440221138814>
- Ge, Y., Zhang, J., Zhou, K., Zhu, J., & Wang, Y. (2023). Research on Energy Management for Ship Hybrid Power System Based on Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(7), 1271. <https://doi.org/10.3390/jmse11071271>
- Giatman, M. (2006). *Ekonomi Teknik*. PT. Rajagrafindo Persada; Jakarta.
- Google Maps. (2025). *Rute Pelayaran KMP. Mnaibori*. <https://www.google.com/maps>
- Hutagalung, C. I., Bahatmaka, A., Aryadi, W., Putrananda, M. B. S., & Puteri, B. A. (2025). Structural Analysis of Semi-submarine Monohull Ship for Tourism Applications by Using Finite Element Method. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(1), 299–314. <https://doi.org/10.21776/jrm.v16i1.2020>
- Inal, O. B., Charpentier, J. F., & Deniz, C. (2022). Hybrid power and propulsion systems for ships: Current status and future challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156, 111965. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111965>
- Jainuddin, J., Anggraini, L. S., Halik, A., & Mujanah, S. (2024). Synergy of MSMEs and Blue Economy for Sustainable Development in The Coastal Areas of East Kalimantan. *International Journal of Economics, Business and Accounting Research (IJEBAR)*, 8(4), 1–8. <https://doi.org/10.29040/ijebar.v8i4.16448>
- Jelić, M., Mrzljak, V., Radica, G., & Račić, N. (2025). An alternative and hybrid propulsion for merchant ships: current state and perspective. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 47(1), 10241–10273. <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1963354>
- Kasmir, K., & Jakfar, J. (2012). *Studi Kelayakan Bisnis*. Cetakan ke Delapan. Kencana; Jakarta.
- Lager, M., & Topp, E. A. (2019). Remote supervision of an autonomous surface vehicle using virtual reality. *IFAC-PapersOnLine*, 52(8), 387–392. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.08.104>
- Lestari, D. P., Hadi, A. P., & Rahman, F. A. (2020). Penerapan Teknologi Panel Surya Pada Bagan Tancap Untuk Peningkatan Tangkapan Ikan Diteluk Jor, Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Abdi Insani*, 7(2), 104–112. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v7i2.308>
- Ma'arif, S., Sunaryo, S., & Budiyanto, M. A. (2025). Energy Saving Potential of Hybrid Propulsion System for Fishing Vessels in Indonesia. *E3S Web of Conferences*, 621, 03012. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562103012>
- Matthews, N., Joiner, K. F., & Smith, W. F. (2024). Stability Assessment of a Catamaran Using Sea Trials. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(8), 1436. <https://doi.org/10.3390/jmse12081436>
- Nguyen, H. P., Hoang, A. T., Nizetic, S., Nguyen, X. P., Le, A. T., Luong, C. N., Chu, V. D., & Pham, V. V. (2021). The electric propulsion system as a green solution for management strategy of CO2 emission in ocean shipping: A comprehensive review. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 31(11), e12580. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12580>
- Nugraha, I. M. A., & Desnanjaya, I. G. M. N. (2025). Optimization of renewable energy-based electrical systems on tourist ships in Labuan Bajo. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 16(2), 1306–1313. <https://doi.org/10.11591/ijpeds.v16.i2.pp1306-1313>

- Palayukan, N., Parennden, D., & Widarbowo, D. (2024). Analysis of Impacts Due to the Grounding Vessels around Raja Ampat Islands. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1367(1), 012011. IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1367/1/012011>
- Priscilia, P., Wicaksono, K. B., Sangadji, S. N., Manggasa, S., Rinding, E. B., Manumpil, W., & Yusamandra, H. (2024). *Abundance and Composition of Marine Debris in South Misool, Raja Ampat District, West Papua*. *Politeknik Negeri Pontianak Conference Series*, 1(1), 89–116.
- Rahman, R., Ibrahim, M. A., & Musa'ad, M. (2025). Integration of Sustainable Governance in Improving the Economy of Coastal Communities Based on Blue Economy in Southwest Papua Province. *KnE Social Sciences*, 10(18), 1241–1251. <https://doi.org/10.18502/kss.v10i18.19550>
- Rahmat, M. Z., Tiyasmihadi, T., & Abdullah, K. (2023). Design of Catamaran Electric-Powered Glass Bottom Boat as a Tourism Facility for Gili Noko Island. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 8(3), 2548–1479. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v8i3.18605>
- Santoso, B., Romadhoni, R., Ariany, Z., & Ridwan, M. (2024) Assessment of the Stability and Response of a Catamaran-Hull Ferry to Operational and Environmental Conditions. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 21(3), 204–216. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/kapal.v21i3.64789>
- Sironi, M., Alzugaray, L., Saez, A., Vilches, F. O., Ajó, A. F., & Faiferman, P. (2019). The use of underwater viewing deck of the semi-submersible whalewatching vessel Yellow Submarine at Peninsula Valdés, Argentina as a platform of opportunity for scientific research with the southern right whale, *Eubalaena australis*. *Latin American Journal of Aquatic Mammals*, 13(1–2), 1–8. <https://doi.org/10.5597/00242>
- Wulandari, A. I., Pria Utama, I. K. A., Sulisetyono, A., Suwarni, E., Nasir, M., Sumarsono, Ardiansyah, D., Darma Putra, V. D. P., Indriyanto, M., Izan Peranda, A. N., & Fitriadhy, A. (2025). Numerical and Experimental Investigation into the Resistance of Warship Catamaran at Various Speeds and Separation Distances. *CFD Letters*, 17(7), 74-97. <https://doi.org/10.37934/cfdl.17.7.7497>