

Optimasi alat penggerak kapal ikan berbasis energi terbarukan dan mesin diesel berdasarkan variasi musim dan operasional nelayan

Azhar Aras Mubarak^{1*}, Andi Rachmianty², Azrullah¹, Yayan Maada¹

¹Program Studi Teknik Perkapalan

Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Jl. Pemuda No 339, Kolaka, Sulawesi Tenggara, Indonesia. 93517

²Program Studi Transportasi Laut

Politeknik Maritim AMI Makassar

Jl. Nuri Baru No.1, Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia. 90121

*E-mail: arasmubarak28@gmail.com

Abstrak: Sektor perikanan merupakan salah satu faktor kunci yang menopang perekonomian masyarakat di wilayah pesisir di Indonesia, termasuk di Kabupaten Buton. Mayoritas nelayan di wilayah ini menggunakan kapal yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap bahan bakar fosil yang harganya fluktuatif. Di sisi lain, potensi *solar energy* yang melimpah di Indonesia, dapat digunakan untuk menggantikan sumber energi konvensional, membantu nelayan dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar diesel. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis desain kapal *purse seine* berbasis data lapangan, menghitung karakteristik tahanan dan stabilitas kapal, serta mengevaluasi potensi penerapan sistem tenaga *hybrid* berbasis panel surya pada kapal nelayan. Metode penelitian meliputi: (1) pengumpulan data lapangan, (2) pemodelan geometri kapal menggunakan *Maxsurf Modeler*, (3) analisis tahanan kapal dengan metode *Holtrop* dan *Van Oortmerssen* melalui *Maxsurf Resistance*, (4) analisis stabilitas menggunakan *Maxsurf Stability*, serta (5) analisis potensi energi matahari dan perhitungan produksi PLTS pada kapal menggunakan data radiasi lokal Mawasangka Tengah. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa desain kapal memenuhi standar teknis, pemodelan hidrodinamika memberikan gambaran performa yang akurat, dan penerapan sistem energi *hybrid* berbasis panel surya sangat potensial untuk meningkatkan efisiensi energi serta keberlanjutan operasi kapal nelayan.

Kata Kunci: energi surya, hidrodinamika, kapal *purse seine*, *Maxsurf*, tahanan kapal

Abstract: The fisheries sector is one of the key factors supporting the economy of coastal communities in Indonesia, including in Buton Regency. The majority of fishermen in this region use vessels that are highly dependent on fossil fuels, the prices of which tend to fluctuate. On the other hand, Indonesia has abundant solar energy potential that can be utilized to replace conventional energy sources, helping fishermen reduce their reliance on diesel fuel. This study aims to analyze the design of purse seine vessels based on field data, calculate the hydrodynamic resistance and stability characteristics of the vessel, and evaluate the potential implementation of a hybrid power system using solar panels on fishing vessels. The research methods include: (1) field data collection, (2) hull geometry modeling using *Maxsurf Modeler*, (3) resistance analysis using the *Holtrop* and *Van Oortmerssen* methods through *Maxsurf Resistance*, (4) stability analysis using *Maxsurf Stability*, and (5) analysis of solar energy potential and calculation of photovoltaic (PV) system output for the vessel based on local solar radiation data from Mawasangka Tengah. Overall, the study demonstrates that the vessel design meets technical standards, the hydrodynamic modeling provides an accurate representation of performance, and the application of a hybrid solar energy system has strong potential to improve energy efficiency and support sustainable operation of fishing vessels.

Keywords: solar energy, hydrodynamics, purse seine vessel, *Maxsurf*, and ship resistance

PENDAHULUAN

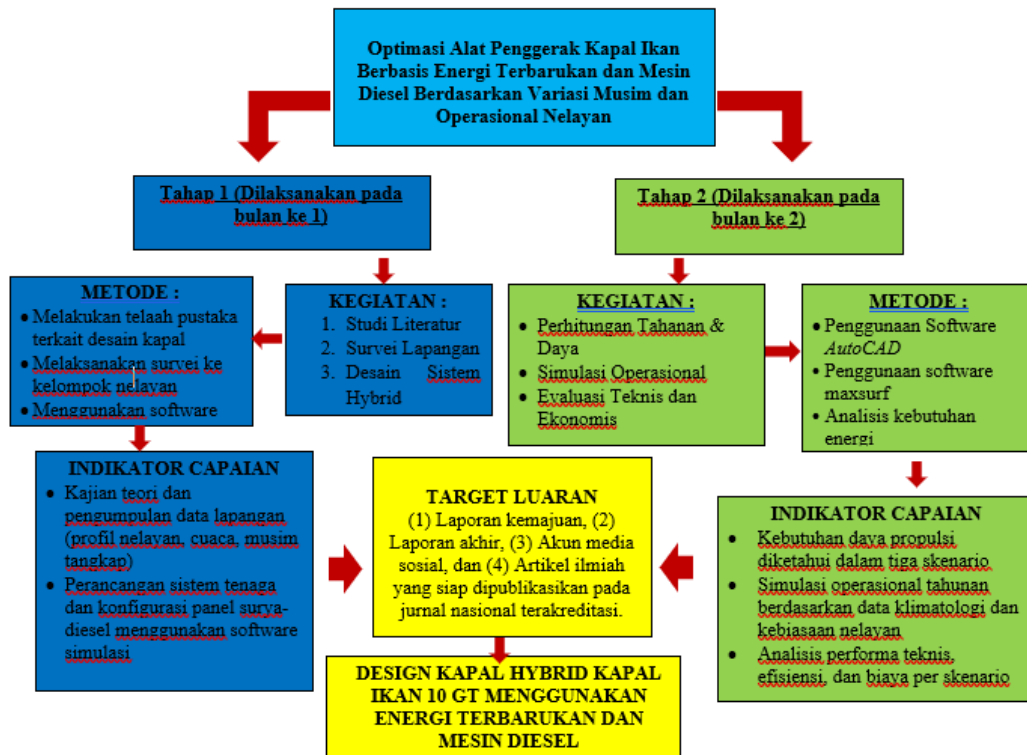
Sektor perikanan merupakan salah satu faktor kunci yang menopang perekonomian masyarakat di wilayah pesisir di Indonesia, termasuk di Kabupaten Buton. Mayoritas nelayan di wilayah ini menggunakan kapal yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap bahan bakar fosil yang harganya fluktuatif serta berdampak terhadap emisi karbon dan biaya operasional yang besar. Di sisi lain, potensi *solar energy* yang melimpah di Indonesia, dapat digunakan untuk menggantikan sumber energi konvensional, membantu nelayan dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar diesel (Nugraha, 2020). Sumber energi terbarukan, seperti panel surya, telah diuji untuk memfasilitasi kebutuhan daya pada sistem pendingin di ruang muat kapal, yang berkontribusi terhadap peningkatan kualitas dan kesegaran produk ikan (Kiki et al., 2022). Selain itu, desain sistem kelistrikan dan distribusi beban di atas kapal juga memainkan peranan kunci dalam mengoptimalkan penggunaan energi (Demeianto et al., 2021). Pembagian beban pada instalasi listrik di kapal menunjukkan bahwa sistem yang baik diperlukan untuk memastikan bahwa semua alat, termasuk alat bantu tangkap, berfungsi dengan baik dan sesuai dengan kebutuhan operasional lainnya (Demeianto et al., 2021) (Priharanto et al., 2024). Perancangan kapal 10 GT bertenaga *hybrid* diesel-surya untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan telah dilakukan untuk mengoperasikan motor listrik outboard 60 v dan peralatan kapal (Djunuda et al., 2024). Dalam konteks sistem *hybrid*, pengelolaan distribusi beban menjadi lebih kompleks karena perlu memperhatikan keseimbangan antara daya yang dihasilkan oleh panel surya dan kebutuhan beban operasional yang bervariasi sepanjang waktu (Darma et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi bantu di kapal, terutama untuk sistem penerangan dan pendingin muatan (Kiki et al., 2022) (Radwitya, 2022). Teknologi ini terbukti mampu meningkatkan kualitas hasil tangkapan dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat (Rismi et al., 2022). Di sisi lain, penelitian mengenai sistem propulsi *hybrid* yang menggabungkan mesin diesel dengan motor listrik bertenaga surya masih terbatas dan umumnya bersifat umum tanpa mempertimbangkan konteks lokal seperti pola musim dan operasional nelayan. Beberapa kajian teknis menggunakan pendekatan perhitungan tahanan kapal (Djunuda et al., 2024) telah menunjukkan potensi efisiensi energi dari sistem *hybrid*, namun belum banyak yang mengintegrasikan distribusi beban kelistrikan secara menyeluruh dalam sistem kapal. Sangat penting dalam sistem *hybrid* yang menggabungkan berbagai sumber energi, seperti generator diesel dan panel surya (Prayogo et al., 2021). Penggunaan teknologi IoT juga dapat diintegrasikan untuk meningkatkan responsivitas dalam pengelolaan beban (Abdullah et al., 2022).

Berdasarkan uraian latar belakang, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis desain kapal *purse seine* berbasis data lapangan, menghitung karakteristik tahanan dan stabilitas kapal, serta mengevaluasi potensi penerapan sistem tenaga *hybrid* berbasis panel surya pada kapal nelayan. Riset ini juga memanfaatkan teknologi simulasi berbasis perangkat lunak seperti *Maxsurf* dan *AutoCAD* untuk menganalisis stabilitas, hambatan, dan efisiensi energi, yang menjadikan hasilnya aplikatif dan siap diimplementasikan. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi pada pengembangan desain kapal *purse seine* yang lebih efisien dan stabil, tetapi juga membuka peluang penerapan sistem energi *hybrid* berbasis panel surya sebagai solusi berkelanjutan bagi sektor perikanan pesisir di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober-November tahun 2025 yang dilaksanakan di Pelabuhan Liana Banggai Kecamatan Mawasangka Tengah dan analisis data pada laboratorium desain dan perancangan kapal USN Kolaka. Diagram alir terkait tahapan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar.1. Diagram alir

Metode riset yang dilakukan berdasarkan diagram alir umumnya adalah: (1) Studi literatur dan pengumpulan data primer-sekunder. Kegiatan ini dilakukan dengan menganalisis jurnal, laporan, dan publikasi terkait teknologi tenaga *hybrid*, desain kapal perikanan kecil, serta potensi energi surya di Indonesia. Selanjutnya melakukan survei lapangan di Kabupaten Buton untuk mengumpulkan data pola operasional harian dan musiman nelayan, dimensi dan konfigurasi kapal eksisting, konsumsi BBM harian rata-rata dan profil penggunaan alat bantu listrik di kapal; (2) Perancangan sistem tenaga *hybrid*. Kegiatan ini dimulai dengan mendesain sistem kelistrikan hibrida diesel-surya untuk kapal ikan 10 GT. Selanjutnya melakukan konfigurasi panel surya, baterai, inverter, dan motor listrik. Kemudian dilakukan perhitungan kebutuhan daya kapal dan menentukan ukuran dan kapasitas komponen berdasarkan kebutuhan daya dan variasi musim; (3) Simulasi dan perhitungan energi. Kegiatan ini menganalisis energi yang dihasilkan panel surya per musim, efisiensi sistem distribusi beban listrik. Dan proporsi penggunaan energi diesel dan energi surya; (4) Melakukan evaluasi sistem berdasarkan pola operasional nelayan di musim-musim berbeda. Selanjutnya menganalisis penghematan energi, pengurangan emisi, dan biaya operasional; (5) Penarikan kesimpulan dan rekomendasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengumpulan data awal dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, dilakukan identifikasi jenis dan karakteristik kapal *purse seine* yang digunakan oleh nelayan di wilayah tersebut. Data dasar kapal seperti panjang (L), Lebar (B), tinggi (H), sarat (T), bentuk lambung, jenis material, serta konfigurasi konstruksi diukur secara langsung menggunakan alat ukur standar seperti meteran. Selain itu, wawancara dengan nelayan dan para pengrajin kapal dilakukan untuk mendapatkan informasi tambahan mengenai karakteristik operasi kapal, beban muatan rata-rata, kondisi mesin penggerak, serta pengalaman mereka terkait performa kapal ketika beroperasi di laut. Gambar 1 menunjukkan dokumentasi proses pengambilan data awal di lapangan, yang meliputi pengukuran bentuk lambung dan pencatatan karakteristik utama kapal *purse seine* tersebut.



Gambar 1. Observasi lokasi pembuatan kapal dan lokasi penelitian

Kapal nelayan sederhana yang bisa dibuat mempunyai ukuran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kapal rancangan

No	Ukuran Utama	Keterangan
1	Panjang Kapal (L)	13,50 M
2	Tinggi Kapal (H)	2,0 M
3	Lebar kapal (B)	2,80 M
4	Syarat kapal (T)	0,80 M

Rasio dimensi utama merupakan salah satu aspek fundamental yang harus diperhatikan dalam proses perancangan kapal (Tandipuang et al., 2015). Setiap kapal dirancang berdasarkan komposisi geometrik tertentu, dan hubungan antar dimensi utama sangat menentukan karakteristik teknis maupun operasional kapal tersebut. Adapun rasio ukuran utama dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data rasio kapal

Rasio	Rasio Kapal Rancangan	Rentang*	Status
L/B	4,82	2,60 – 9,30	Dalam rentang
	6,75	4,55 – 17,45	Dalam rentang
B/D	1,40	0,56 – 5,00	Dalam rentang

*Dirujuk dari Iskandar & Pujiati (1995)

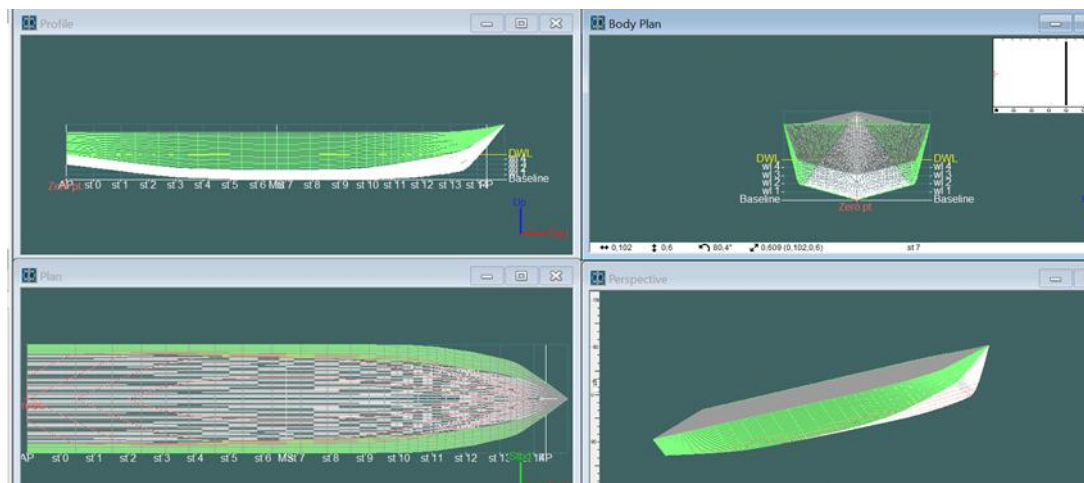
Rasio L/B merupakan salah satu parameter paling penting dalam menggambarkan karakteristik bentuk lambung kapal. Nilai ini menunjukkan seberapa ramping kapal dibandingkan dengan lebarnya. Dengan nilai $L/B = 4,82$, desain kapal termasuk ke dalam kategori yang tidak terlalu ramping maupun terlalu gemuk. Bila nilai L/B terlalu tinggi, kapal cenderung sangat ramping, kurang stabil secara transversal, namun memiliki keuntungan berupa tahanan gelombang yang rendah sehingga lebih efisien pada kecepatan tertentu. Sebaliknya, nilai L/B yang terlalu rendah menunjukkan kapal gemuk dengan stabilitas awal yang baik, tetapi tahanan gesek dan hambatan gelombangnya lebih besar. Karena nilai 4,82 berada di dalam rentang 2,60–9,30, dapat dikatakan bahwa lambung kapal ini sudah cukup proporsional untuk beroperasi sebagai kapal nelayan. Dengan demikian, dari sisi perbandingan L/B, kapal ini telah memenuhi kaidah umum desain kapal kecil dan menunjukkan bentuk yang aman, stabil, dan efisien untuk operasi nelayan tradisional maupun modern.

Rasio L/D memberikan gambaran mengenai hubungan panjang kapal terhadap tinggi badan kapal (depth). Nilai rasio ini berhubungan erat dengan kekuatan struktural memanjang kapal (longitudinal strength), besarnya momen lentur yang harus ditahan, serta stabilitas vertikal. Nilai $L/D = 6,75$ yang dimiliki kapal berada di tengah rentang acuan 4,55–17,45, sehingga dapat dikatakan sangat sesuai untuk kelas kapal kecil-menengah. Dengan nilai 6,75, kapal ini berada pada posisi ideal yakni cukup panjang untuk menghasilkan efisiensi gerak tetapi tetap memiliki kedalaman yang memadai untuk menjamin kekuatan struktural, ruang mesin, dan ruang penyimpanan tanpa mengorbankan stabilitas. Rasio ini juga berpengaruh terhadap kemampuan kapal yang baik untuk bertahan pada gelombang yang tinggi (Putra et al., 2020).

Rasio B/D memberikan gambaran mengenai stabilitas dan kemampuan mendorong kapal serta volume ruang muat (Aziz et al., 2017). Dengan nilai $B/D = 1,40$, kapal berada dalam rentang ideal 0,56–5,00. Nilai yang terlalu besar menunjukkan kapal sangat lebar tetapi dangkal, yang membuatnya stabil namun kurang cocok untuk kondisi gelombang tinggi dan daya angkut terbatas. Nilai yang terlalu kecil biasanya menunjukkan kapal sangat dalam tetapi sempit, yang meningkatkan risiko ketidakstabilan dinamis meskipun memiliki *freeboard* tinggi. Nilai 1,40 menunjukkan keseimbangan antara stabilitas transversal dan kedalaman efektif. Kapal dengan rasio seperti ini umumnya memiliki stabilitas awal yang cukup baik untuk melakukan aktivitas penangkapan ikan, baik ketika kapal sedang bergerak maupun ketika berhenti.

1. Pemodelan kapal menggunakan *Software Maxsurf*

Model kapal yang telah dirancang kemudian divisualisasikan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak *Maxsurf*, yaitu salah satu perangkat lunak desain kapal yang banyak digunakan dalam industri perkapalan untuk pemodelan geometri lambung secara presisi. *Maxsurf* menyediakan lingkungan pemodelan tiga dimensi berbasis *surface modeling*, sehingga memungkinkan perancangan bentuk lambung yang halus, terkontrol, dan dapat diverifikasi secara numerik. Penggunaan perangkat lunak ini sangat penting dalam proses desain awal karena bentuk lambung kapal merupakan aspek fundamental yang menentukan performa kapal dari segi stabilitas, hambatan, kekuatan struktur, hingga efisiensi operasional. Hasil model lambung kapal rancangan yang divisualisasikan ditunjukkan pada Gambar 2, yang memberikan gambaran jelas tentang bentuk dan karakteristik geometri kapal yang telah dirancang.

Gambar 2. Pemodelan kapal menggunakan *Software Maxsurf*

2. Perhitungan tahanan kapal

Tahanan kapal merupakan gaya yang bekerja berlawanan dengan arah pergerakan kapal di dalam air. Besarnya tahanan dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain bentuk lambung kapal, gaya gesek akibat interaksi antara permukaan lambung dan air, serta tahanan udara yang bekerja pada bagian kapal yang berada di atas permukaan air (Alfanda & Santoto, 2020). Perhitungan nilai tahanan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf Resistance*, dengan mempertimbangkan berbagai variasi kecepatan untuk memperoleh nilai tahanan kapal yang menjadi objek penelitian. Perhitungan hambatan kapal harus dilakukan dengan baik agar menjadi efisien dan menetapkan metode perhitungan yang relevan. Dalam penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu *Holtrop*, *Van Oortmerssen* (Suardi et al., 2024; Muhammad, 2016; Amran et al., 2025). Sehingga parameter yang diperoleh dari perangkat lunak *maxsurf* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan tahanan kapal

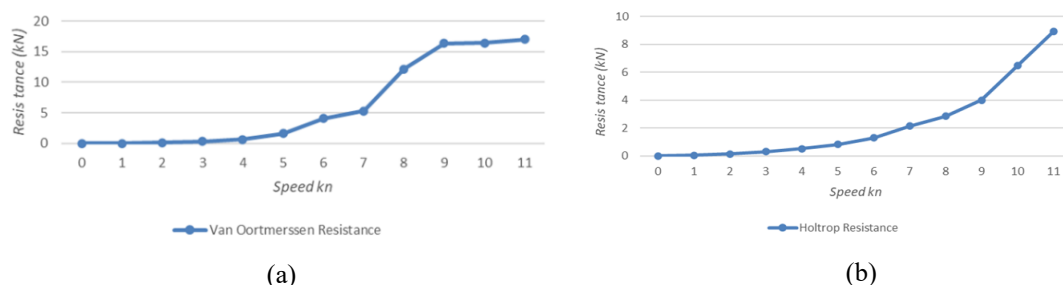
<i>Speed (kn)</i>	<i>Holtrop Resistance (Kn)</i>	<i>Van Oortmerssen Resistance</i>
0	-	-
1	0,038	0,018
2	0,138	0,104
3	0,289	0,346
4	0,502	0,659
5	0,818	1,643
6	1,279	4,101
7	2,132	5,281
8	2,833	12,159
9	3,995	16,365
10	6,457	16,467
11	8,916	16,993

Pada kecepatan 0 knot, grafik tidak menunjukkan nilai tahanan karena kapal berada pada kondisi diam. Mulai dari 1 hingga 3 knot, kedua metode memperlihatkan kenaikan tahanan yang relatif kecil, namun metode *Holtrop* memberikan nilai sedikit lebih besar dibandingkan *Van Oortmerssen*. Misalnya pada 1 knot, tahanan metode *Holtrop* sebesar 0,038 kN sedangkan *Van Oortmerssen* hanya 0,018 kN. Pada 2 knot, perbedaan ini masih tampak dengan nilai 0,138 kN dibanding 0,104 kN. Dalam rentang ini, metode *Holtrop*

cenderung lebih sensitif terhadap gaya hambat awal, terutama komponen tahanan gesek pada kecepatan rendah.

Perbedaan mulai terlihat lebih signifikan pada kecepatan menengah, yaitu sekitar 4–7 knot. Pada kecepatan 4 knot, nilai tahanan yang diperoleh menggunakan metode *Holtrop* sebesar 0,502 kN, sementara metode *Van Oortmerssen* menghasilkan 0,659 kN, yang mengindikasikan bahwa metode *Van Oortmerssen* mulai memprediksi nilai tahanan yang lebih besar dibandingkan metode *Holtrop*. Pada 6 dan 7 knot, perbedaan ini semakin jelas. Metode *Holtrop* memberikan nilai 1,279 kN dan 2,132 kN, sedangkan *Van Oortmerssen* memberikan 4,101 kN dan 5,281 kN. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Van Oortmerssen* lebih peka terhadap peningkatan gaya gelombang dan komponen tahanan residu pada kecepatan menengah. Analisis tahanan kapal dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Maxsurf* dengan menerapkan metode empiris *Holtrop* dan *Van Oortmerssen*. Dalam pendekatan ini, parameter gelombang seperti tinggi dan periode gelombang tidak dimodelkan secara eksplisit sebagai variabel masukan. Kontribusi tahanan gelombang dan tahanan residu diperhitungkan secara implisit melalui bilangan Froude serta parameter geometrik lambung kapal, yang memengaruhi peningkatan tahanan pada rentang kecepatan menengah. Dengan demikian, kenaikan komponen tahanan gelombang dan residu yang teramati merupakan karakteristik dari formulasi empiris yang digunakan dalam *Maxsurf*, bukan hasil dari simulasi kondisi gelombang eksternal secara langsung.

Pada kecepatan tinggi, terutama mulai 8–11 knot, grafik menunjukkan kenaikan tahanan yang jauh lebih tajam pada kedua metode, namun dengan pola yang berbeda. *Van Oortmerssen* memberikan nilai yang sangat tinggi pada 8 dan 9 knot, yaitu 12,159 kN dan 16,365 kN. Sebaliknya, metode *Holtrop* memberikan nilai jauh lebih rendah pada kecepatan yang sama. Namun pada kecepatan 10 dan 11 knot, metode *Holtrop* menunjukkan kenaikan signifikan hingga mencapai 6,457 kN dan 8,916 kN. Sementara itu, metode *Van Oortmerssen* terlihat mendatar pada rentang ini, dengan nilai sekitar 16,467–16,993 kN. Perbedaan tren tersebut disebabkan oleh perbedaan asumsi dan rentang validitas metode empiris. Metode *Holtrop* masih sensitif terhadap peningkatan bilangan *Froude* pada kecepatan tinggi, sedangkan metode *Van Oortmerssen* menunjukkan kecenderungan jenuh pada tahanan residu untuk kapal kecil, sehingga nilai tahanan cenderung mendatar pada kecepatan 10–11 knot. Tren pengaruh kecepatan terhadap hambatan dan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kapal ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik perhitungan tahanan (a) Metode *Holtrop* dan (b) Metode *Van Oortmerssen*

Dari dua metode yang digunakan dalam menghitung tahanan kapal terdapat kecenderungan grafik yang sama. Setiap penambahan kecepatan yang dimasukkan akan berbanding lurus dengan besaran hambatan yang dihasilkan. Pada perhitungan metode

Van Oortmerssen cenderung mendatar pada kecepatan 10–11 knot. Perbedaan ini disebabkan oleh keterbatasan empiris dan pengaruh tahanan residu di formulasi *Van Oortmerssen* pada kecepatan tinggi. Jika penambahan kecepatan akan terus bertambah maka nilai tahanan dan daya juga akan naik sesuai dengan pola persamaan garis linear kuadrat. Adapun perbandingan grafik ketiga metode yakni, metode *Holtrop* dan metode metode *Van Oortmerssen* bisa dilihat pada Gambar 3.

3. Perhitungan stabilitas kapal

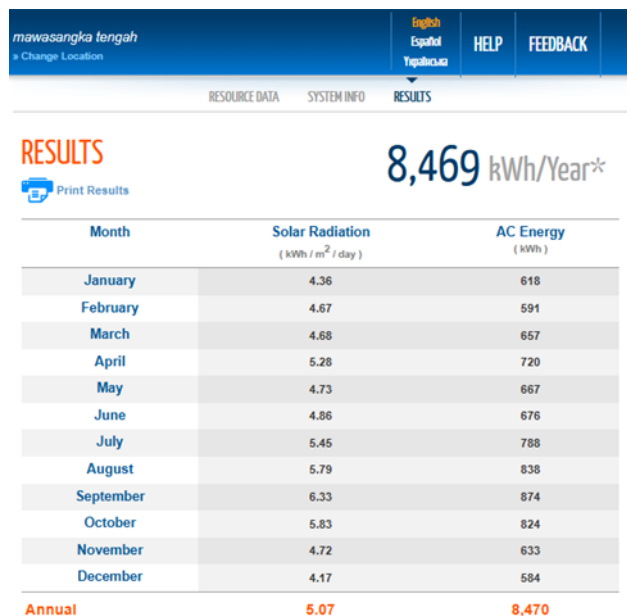
Pada parameter pertama, luas kurva GZ untuk sudut oleng 0° hingga 30° didapatkan sebesar 5.7211 m.deg, lebih tinggi dari batas minimal yaitu 3.1513 m.deg. Nilai ini menunjukkan bahwa kapal memiliki kemampuan untuk kembali tegak dengan baik ketika mengalami oleng ringan sampai menengah. Kemudian, luas kurva GZ pada rentang sudut 0° sampai 40° tercatat sebesar 9.6872 m.deg, sementara standar minimumnya adalah 5.1566 m.deg. Hal ini menunjukkan bahwa saat sudut oleng bertambah lebih besar, kapal masih mampu menjaga keseimbangannya dengan baik. Untuk rentang sudut 30° hingga 40° , nilai luas kurva GZ sebesar 3.9660 m.deg, melebihi standar minimal 1.7189 m.deg. Artinya, meskipun kapal sudah berada pada kondisi oleng yang cukup signifikan, kapal masih memiliki cadangan stabilitas yang kuat sehingga risiko terbalik relatif kecil. Nilai maximum GZ yang diperoleh adalah 0.433 m, lebih besar dari persyaratan minimum 0.200 m. Nilai ini mengindikasikan bahwa gaya pemulih kapal cukup kuat dalam membantu kapal kembali ke posisi tegak ketika mengalami gangguan. Kurva GZ merupakan lengan penegak kapal yang menunjukkan kemampuan kapal untuk kembali tegak ketika mengalami oleng; semakin besar nilai GZ, semakin baik stabilitas kapal. Rentang sudut oleng 0° – 30° digunakan sebagai pendekatan stabilitas statis, sesuai dengan kriteria IMO Intact Stability Code. Sedangkan *initial GM₀ at sea* merupakan tinggi metasetrum awal yang menggambarkan stabilitas awal kapal pada sudut oleng kecil.

Tabel 3. Perhitungan stabilitas kapal

Kriteria	Ketentuan	Satuan	Hasil	Keterangan
Area 0 to 30	>3.1513	m.deg	5.7211	Pass
Area 0 to 40	>5.1566	m.deg	9.6872	Pass
Area 30 to 40	>1.7189	m.deg	3.9660	Pass
Max GZ at 30 or greater	>0.200	m	0.433	Pass
Angle of maximum GZ	>25.0	deg	51.8	Pass
Initial GM° at sea	>0.150	m	0.705	Pass

4. Potensi matahari

Potensi matahari dihitung berdasarkan lokasi tempat yang direncanakan. Pada penelitian ini, lokasi pengambilan dilakukan di Kecamatan Mawasangka Tengah Kabupaten Buton Tengah. Adapun hasil pengukuran potensi matahari dan estimasi energi listrik tenaga surya dalam penelitian ini diperoleh dari basis data *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) melalui aplikasi PVWatts® *Calculator*. Data yang digunakan merupakan *Typical Meteorological Year* (TMY), yaitu data klimatologis representatif yang disusun dari pengolahan data jangka panjang hasil observasi satelit dan stasiun cuaca, sehingga tidak merepresentasikan satu tahun kalender tertentu, melainkan kondisi rata-rata iklim pada lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 4.

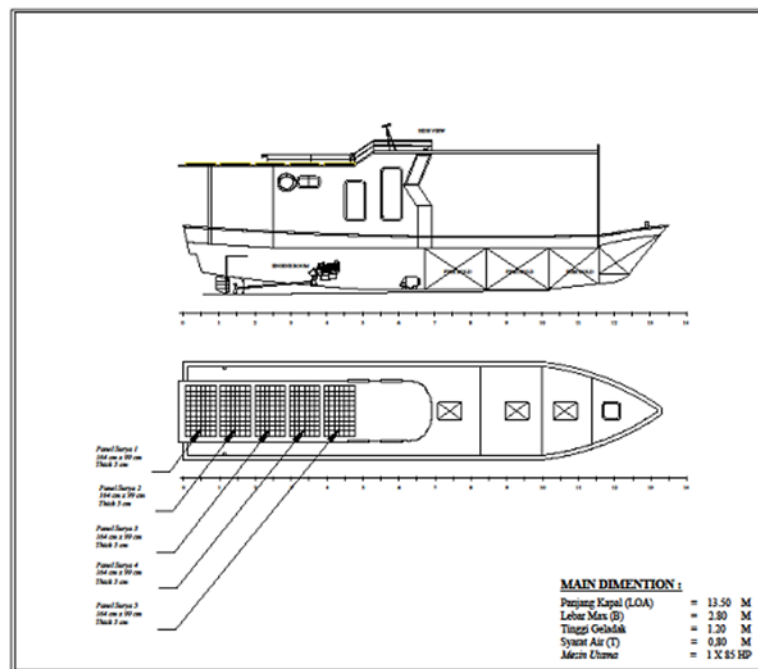


Gambar 4. Perhitungan potensi matahari di Kecamatan Mawasangka Kabupaten Buton Tengah

Gambar 4 menampilkan hasil simulasi potensi energi surya untuk wilayah Mawasangka Tengah yang diperoleh dari perhitungan sistem *fotovoltaik* (PV system). Data ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai besarnya radiasi matahari yang diterima setiap bulan serta perkiraan energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem panel surya dalam satu tahun. Dua parameter utama yang ditampilkan adalah *solar radiation* (kWh/m²/hari) dan AC Energy (kWh).

Kolom *solar radiation* menunjukkan nilai rata-rata intensitas radiasi harian per bulan. Nilai ini sangat menentukan kemampuan panel surya dalam menghasilkan listrik. Berdasarkan tabel, intensitas radiasi di Mawasangka Tengah mengalami variasi musiman. Pada bulan Desember hingga Januari, radiasi berada pada level terendah yaitu sekitar 4,17–4,36 kWh/m²/hari, yang konsisten dengan kondisi musim hujan. Memasuki Februari hingga April, nilai radiasi mulai meningkat, dan pada bulan April berada pada 5,28 kWh/m²/hari yang menandai peralihan menuju musim cerah. Pada puncak musim kemarau, terutama bulan Agustus hingga Oktober, radiasi mencapai nilai sangat tinggi antara 5,79 hingga 6,33 kWh/m²/hari. September mencatat nilai tertinggi sebesar 6,33 kWh/m²/hari. Setelah Oktober, intensitas kembali menurun seiring masuknya musim penghujan. Secara keseluruhan, nilai tahunan rata-rata radiasi matahari di Mawasangka adalah 5,07 kWh/m²/hari, yang termasuk kategori sangat baik untuk pembangkit listrik tenaga surya.

Area pemasangan panel surya pada kapal merupakan elemen penting dalam mendukung sistem pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Dalam desain ini, panel surya ditempatkan di atas rumah geladak (*deckhouse roof*), yaitu bagian atas bangunan kecil yang berada di tengah kapal. Pemilihan lokasi ini bukan tanpa alasan; area tersebut dipilih karena memiliki sejumlah karakteristik teknis yang sangat mendukung performa sistem *photovoltaic* (PV). Atap rumah geladak berada pada elevasi tertinggi di struktur atas kapal, sehingga panel surya memperoleh paparan radiasi matahari yang lebih maksimal sepanjang hari. Penempatan panel surya dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5. Penempatan *solar cell* pada kapal

Perhitungan produksi energi dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dilakukan dengan menggunakan konfigurasi panel surya sebanyak 5 unit panel berkapasitas 250 Wp yang sesuai dengan kebutuhan energi beban harian serta keterbatasan ruang pemasangan di lokasi penelitian. Panel berkapasitas 250 Wp dipilih karena merupakan spesifikasi yang umum tersedia di pasaran, memiliki rasio daya terhadap luas yang baik, serta sesuai untuk sistem PLTS skala kecil. Satu unit panel 250 Wp memiliki luas sekitar 1,6 m² dengan dimensi 1,6 × 1,00 m, sehingga total luas bidang panel yang dibutuhkan sekitar 8 m², sehingga total kapasitas puncak yang terpasang adalah 1,25 kWp. Nilai ini merupakan kapasitas maksimum panel ketika menerima penyinaran standar sebesar 1000 W/m². Untuk memperkirakan produksi energi yang realistis di lapangan, digunakan *Performance Ratio* (PR) sebesar 0,75 atau 75%. PR ini mencakup berbagai kerugian sistem, seperti kerugian akibat inverter, kelemahan aerodinamis, dan efek cuaca (Megantoro *et al.*, 2022) Nilai PR ini menggambarkan faktor koreksi terhadap berbagai kerugian sistem seperti efisiensi inverter, penurunan performa akibat suhu, rugi-rugi kabel, ketidaksesuaian antar panel, debu/soiling, dan faktor-faktor operasional lainnya. Dengan menggunakan nilai kWp dan PR tersebut, diperoleh faktor pengali sistem sebesar 0,9375 kW, yang berasal dari perkalian kapasitas puncak dengan PR (1,25 kWp × 0,75). Rumus yang digunakan untuk menghitung energi listrik harian dan tahunan. Energi listrik harian yang dihasilkan sistem PLTS dihitung dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{harian}} &= \text{Kapasitas Puncak} \times \text{PR} \times \text{Radiasi matahari Harian} \\
 &= 1,25 \text{ kWp} \times 0,75 \times 5,07 \text{ kWh/m}^2/\text{day} \\
 &= 4,75 \text{ kWh/Hari}
 \end{aligned}$$

Energi listrik tahunan dihitung dengan:

$$\begin{aligned}
 E_{\text{tahunan}} &= E_{\text{harian}} \times 365 \text{ hari} \\
 &= 4,75 \text{ kWh} \times 365 \\
 &= 1734 \text{ kWh/Tahun}
 \end{aligned}$$

Nilai radiasi matahari yang digunakan merupakan data rata-rata bulanan dari Kecamatan Mawasangka Tengah, dengan nilai rata-rata tahunan sebesar 5,07 kWh/m²/day. Berdasarkan nilai tersebut, perkiraan energi harian yang dihasilkan sistem PLTS adalah sekitar 4,75 kWh per hari, yang kemudian setara dengan produksi energi tahunan sebesar 1.734 kWh per tahun. Perhitungan ini dilakukan dengan mengalikan energi harian hasil simulasi dengan jumlah hari dalam satu tahun. Adapun perhitungan energi matahari bulanan pada Kecamatan Mawasangka Tengah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan energi matahari bulanan di Kecamatan Mawasangka Kabupaten Buton Tengah

Bulan	Radiasi (kWh/m ² /day)	Energi harian (kWh/day)	Hari	Energi bulan (kWh)
Januari	4.36	4.09	31	126.71
Februari	4.30	4.03	28	112.88
Maret	4.70	4.41	31	136.59
April	5.28	4.95	30	148.50
Mei	5.10	4.78	31	148.22
Juni	5.40	5.06	30	151.88
Juli	5.60	5.25	31	162.75
Agustus	5.50	5.16	31	159.84
September	6.33	5.93	30	178.03
Oktober	5.20	4.88	31	151.13
November	4.90	4.59	30	137.81
Desesember	4.17	3.91	31	121.19

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa pada bulan Januari, dengan radiasi sebesar 4,36 kWh/m²/hari, sistem menghasilkan energi harian sekitar 4,09 kWh sehingga total energi bulanan mencapai 126,71 kWh. Februari mengalami sedikit penurunan radiasi menjadi 4,30 kWh/m²/hari yang menghasilkan energi bulanan sebesar 112,88 kWh. Memasuki bulan Maret, radiasi meningkat menjadi 4,70 kWh/m²/hari sehingga produksi energi bulanan naik menjadi 136,59 kWh. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada April dan Mei dengan radiasi masing-masing 5,28 dan 5,10 kWh/m²/hari, menghasilkan energi bulanan sebesar 148,50 kWh dan 148,22 kWh. Pada bulan Juni hingga Agustus, potensi radiasi terus meningkat dengan nilai mencapai 5,40 hingga 5,60 kWh/m²/hari, menghasilkan energi bulanan antara 151,88 hingga 159,84 kWh. Bulan September menjadi periode dengan radiasi tertinggi yaitu 6,33 kWh/m²/hari sehingga menghasilkan energi bulanan terbesar, yaitu 178,03 kWh. Setelah itu, radiasi menurun pada Oktober dan November dengan energi bulanan masing-masing sebesar 151,13 kWh dan 137,81 kWh. Periode Desember menjadi bulan dengan radiasi terendah sepanjang tahun yaitu 4,17 kWh/m²/hari, sehingga energi yang dihasilkan juga menurun menjadi 121,19 kWh.

Penerapan sistem tenaga *hybrid* pada kapal purse seine, yang memadukan mesin diesel sebagai sumber utama dengan dukungan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berkapasitas 1,25 kWp, memberikan peningkatan efisiensi energi dan penghematan operasional yang cukup signifikan. Dari hasil simulasi energi surya, sistem PLTS menghasilkan 1.735,53 kWh per tahun, yang setara dengan sebagian kebutuhan listrik kapal untuk sistem penerangan, pompa, navigasi, hingga peralatan bantu lainnya. Energi yang dipasok PLTS ini secara langsung menggantikan konsumsi listrik yang biasanya dihasilkan oleh mesin diesel atau genset. Jika dikonversi ke konsumsi bahan bakar, penggunaan PLTS mampu mengurangi pemakaian solar karena mesin tidak perlu beroperasi untuk menyuplai kebutuhan listrik domestik kapal. Dengan asumsi bahwa mesin diesel memiliki *specific fuel consumption* (SFC) sekitar 0,30 liter/kWh, maka

energi sebesar 1.735,53 kWh/tahun dapat menggantikan sekitar 520,66 liter solar per tahun. Penghematan bahan bakar sebesar ini memberikan dampak langsung terhadap biaya operasional kapal. Dengan harga solar industri/nelayan rata-rata Rp 10.000 per liter, sistem PLTS mampu menekan biaya operasional hingga Rp 5.206.600 per tahun.

KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini yaitu bahwa kapal *purse seine* dengan ukuran panjang 13,5 m, lebar 2,8 m, tinggi 2 m, dan sarat 0,8 m telah memenuhi rasio geometrik (L/B, L/D, B/D) serta stabilitas IMO (GZ, GM₀, area kurva stabilitas), sehingga aman dan layak digunakan. Pemodelan geometri melalui *Maxsurf* menghasilkan perhitungan tahanan yang konsisten, dengan nilai hambatan 8,916 kN (Holtrop) dan 16,993 kN (Van Oortmerssen) pada kecepatan 11 knot, mendukung analisis kecepatan optimal dan kebutuhan daya mesin. Selain itu, potensi energi surya di Kecamatan Mawasangka Tengah mencapai rata-rata 5,07 kWh/m²/hari atau total 8.470 kWh/tahun, mampu menggantikan sekitar 520,66 liter solar dan menekan biaya operasional hingga Rp 5.206.600 per tahun, sehingga meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan kapal nelayan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dukungan tim peneliti dan tim laboratorium desain dan perancangan kapal USN Kolaka. Penelitian ini didukung dan disponsori oleh Universitas Sembilanbelas November Kolaka dengan nomor SK: 331/UN56/HK.03.00/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Haq, M. Z., Cholish, C., Putri, M., & Ramadhan, A. (2022). Implementasi internet of things dalam pemantauan optimal kerja panel surya. *Rele (Rekayasa Elektrikal Dan Energi) Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 152-157. <https://doi.org/10.30596/rele.v4i2.9565>.
- Alfanda, B. D., & Santoso, B. (2020). Analisa tahanan kapal personal boat di Selat Bengkalis dengan metode numerik dan pendekatan empirik. *Jurnal Inovtek Polbeng*, 10(1), 98-105. <https://doi.org/10.35314/ip.v10i1.1423>.
- Amran, A. A. H. (2025). Calculation of resistance and engine power of purse seine fishing boats in Takalar Regency using Maxsurf Software. *Jurnal Perikanan*, 15(3), 1405-1413. <https://doi.org/10.29303/jp.v15i3.1546>.
- Azis, M. A., Iskandar, H. B., & Novita, Y. (2017). Rasio dimensi utama dan stabilitas statis kapal purse seine tradisional di Kabupaten Pinrang. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 19-28. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v9i1.17914>.
- Darma, I. K. B. S., Mudjiono, U., Setiyoko, A. S., & Poetro, J. E. (2022). Analisis kapasitas generator pada kapal ikan 15 Gt. *Jurnal 7 Samudra*, 7(1). <https://doi.org/10.54992/7samudra.v7i1.102>.
- Demeianto, B., Arkan, M. A., Priharanto, Y. E., & Siahaan, J. P. (2021). Analisa pembagian beban pada instalasi listrik tiga fasa kapal penangkap ikan: Studi kasus pada KM. Sumber Rezeki. *Aurelia Journal*, 2(2), 151-158. <https://doi.org/10.15578/aj.v2i2.9901>.
- Djunuda, R., Mubarak, A. A., & Muhaimin, A. (2024). Perancangan penggerak kapal ikan multifungsi 10 GT bertenaga Hybrid Memanfaatkan Energi Terbarukan. *Jurnal Giga*, 27(2), 88-95. <http://dx.doi.org/10.47313/jig.v27i2.3848>.
- Kiki, S. H., Prayogi, U., & Dewantara, B. Y. (2022). Perancangan tata letak mesin pendingin dan instalasi panel surya sebagai supply daya sistem pendingin ruang muat kapal ikan KM. Jaya Putra. *Jurnal Teknik Elektro Uniba*, 7(1), 255-260. <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v7i1.163>.
- Megantoro, P., Syahbani, M. A., Sukmawan, I. H., Perkasa, S. D., Vigneshwaran, P. (2022). Effect of peak sun hour on energy productivity of solar photovoltaic power system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(5), 2442-2449. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i5.3962>.
- Muhammad, A. H. Paroka, D. Rahman, S. Syarifuddin. (2015). Hydrodynamic characteristics of 30 GT fishing ship hull form in Sulawesi waters. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 2(2), 153-161.

- Nugraha, I. M. A. (2020). Penggunaan pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber energi pada kapal nelayan: Suatu kajian literatur. *Jurnal Sumberdaya Akuatik Indopasifik*, 4(2), 153-161. <https://doi.org/10.46252/jsai-fpik-unipa.2020.vol.4.no.2.76>.
- Prayogo, D., Seno, A., & Prabowo, L. A. (2021). Pengaruh operasional kapal dan pengoperasian generator terhadap beban daya listrik. *Dinamika Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 12(2), 88-93. <https://doi.org/10.33772/djitm.v12i2.18275>.
- Priharanto, Y. E., Yaqin, R. I., Sihombing, N., & Siahaan, J. P. (2024). Analisa kegagalan motor penggerak generator set pada kapal penangkap ikan. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 20(1), 1-7. <https://doi.org/10.36499/jim.v20i1.8507>.
- Putra, P. K. D. N. Y., Permana, R., Andikawati, A., Novita, Y., & Iskandar, B. H. (2020). Karakteristik kapal rawai berdasarkan rasio dimensi utama di Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong Kabupaten Lamongan. *Jurnal Akuatek*, 1(1), 53-58. <https://doi.org/10.24198/akuatek.v1i1.28261>.
- Radwitya, E. (2022). Desain dan penerapan pembangkit listrik tenaga surya untuk instalasi penerangan pada kapal nelayan Kecamatan Pesaguan Kanan. *Injection Indonesian Journal of Vocational Mechanical Engineering*, 2(2), 86–93. <https://doi.org/10.58466/injection.v2i2.809>.
- Rismi, F. N., Pulungan, A. B., & Hamdani, H. (2022). Energi terbarukan untuk penerangan kapal nelayan Korong Tiram Kabupaten Padang Pariaman. *E-Dimas Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 13(3), 584–589. <https://doi.org/10.26877/e-dimas.v13i3.12940>.
- Suardi, S., Pawara, M. U., Wulandari, A. I., Setiawan, W., Alamsyah, A., Arifuddin, A. M. N., Hariyono, H., Zulfikar, A., & Klara, S. (2024). Analisis perbandingan hambatan kapal ikan 28 GT berdasarkan variasi metode perhitungan hambatan. *Inovtek Polbeng: Jurnal Inovasi Teknologi Politeknik Negeri Bengkalis*, 14(2), 140-151. <https://doi.org/10.35314/7s496782>.
- Tandipuang, P., Novita, Y., & Iskandar, B. H. (2015). Kesesuaian desain operasional kapal Inkamina 163 berbasis di PPP Sadeng Yogyakarta. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(2), 103–112. <http://dx.doi.org/10.15578/jkn.v10i2.6161>.