

Analisis Kondisi Gelombang, Arus, dan Angin Permukaan Terhadap Risiko Keselamatan Pelayaran Kapal Rute Tanjung Perak – Lembar Berdasarkan Data BMKG 2024

(Analysis of Wave, Current, and Surface Wind Conditions on Shipping Safety Risks on the Tanjung Perak - Lembar Ship Route Based on BMKG Data 2024)

Rizki Bagus Panji Wiratama¹, Nurita Apridiana Lestari², Puteri Permata Sani³

^{1,2}Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Negeri Surabaya

³BMKG, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya

Abstrak: Keselamatan pelayaran di Indonesia sangat dipengaruhi oleh dinamika oseanografi seperti gelombang laut, arus permukaan, dan angin, khususnya di rute penting seperti Tanjung Perak–Lembar. Namun, kajian terpadu yang menggunakan data meteorologi kelautan terbaru pada rute ini masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variabilitas musiman tinggi gelombang, kecepatan arus, dan angin permukaan sepanjang tahun 2024 untuk menilai risiko terhadap navigasi. Pendekatan kuantitatif digunakan dengan data sekunder dari model InaWave BMKG pada tujuh titik pengamatan sepanjang lintasan pelayaran. Analisis dilakukan menggunakan Python dan Excel untuk pemetaan spasial serta visualisasi tren temporal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) kecepatan angin pada musim kemarau mencapai 7,14 m/s dan menyebabkan tinggi gelombang hingga 0,87 meter; (2) arus permukaan dengan kecepatan lebih dari 100 cm/s sering teridentifikasi di Selat Lombok; dan (3) kombinasi arus kuat dan gelombang sedang meningkatkan risiko keselamatan bagi kapal kecil dan tongkang. Temuan ini menegaskan pentingnya pemanfaatan data meteorologi kelautan terkini dalam perencanaan pelayaran dan sistem peringatan dini. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian keselamatan pelayaran berbasis wilayah dan mendukung pengambilan keputusan operasional oleh operator kapal dan otoritas pelabuhan.

Kata kunci: Arus permukaan, keselamatan pelayaran, kecepatan angin, risiko rute, tinggi gelombang

Abstract: Maritime safety in Indonesia is highly influenced by oceanographic dynamics such as waves, surface currents, and winds, especially along critical routes like Tanjung Perak–Lembar. However, studies integrating these parameters with recent marine meteorological data for this route remain limited. This study aims to assess seasonal variability in wave height, current speed, and wind conditions in 2024 to evaluate potential risks to navigation. A quantitative approach was applied using secondary data from the BMKG InaWave model, focusing on seven observation points along the route. Analysis was conducted using Python and Excel for spatial mapping and temporal trend visualization. Results show that (1) wind speeds during the southeast monsoon reached 7.14 m/s, contributing to wave heights up to 0.87 meters; (2) surface currents exceeding 100 cm/s were frequently identified in the Lombok Strait; and (3) the combination of strong currents and moderate waves increases safety risks for small vessels and barges. These findings highlight the importance of incorporating updated marine meteorological data in voyage planning and early warning systems. The study contributes to regional maritime safety research and supports practical decision-making for ship operators and port authorities.

Keywords: current velocity, maritime safety, route risk, wave height, wind speed

Alamat korespondensi:

Rizki Bagus Panji Wiratama, Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya, Jalan Ketintang, Kec. Gayungan, Kota Surabaya.
e-mail: rizki.23012@mhs.unesa.ac.id

PENDAHULUAN

Sebagai negara kepulauan yang dikelilingi oleh laut, Indonesia sangat bergantung pada transportasi laut sebagai tulang punggung mobilitas masyarakat dan jalur distribusi logistik antarpulau. Kapal menjadi sarana utama penghubung wilayah barat, tengah, dan timur Indonesia, sehingga

kelancaran pelayaran memiliki dampak langsung terhadap aktivitas ekonomi, konektivitas sosial, dan stabilitas pasokan barang di berbagai daerah. Salah satu jalur penting yang menopang arus logistik dan penumpang adalah rute Tanjung Perak–Lembar, yang menghubungkan Jawa Timur dengan Nusa Tenggara Barat. Rute ini

berada pada kawasan perairan yang dipengaruhi oleh angin monsun, Arus Lintas Indonesia (ARLINDO), serta variabilitas gelombang yang dapat berubah dengan cepat. Kompleksitas oseanografi tersebut menjadikan Selat Bali dan Selat Lombok sebagai wilayah yang kritis dalam navigasi kapal.

Perubahan kondisi laut, terutama gelombang, arus, dan angin permukaan, merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihindari dalam aktivitas pelayaran. Variasi musiman akibat pergerakan angin monsun dapat menyebabkan perubahan tinggi gelombang dan kecepatan arus secara signifikan, sehingga berpotensi mengganggu kenyamanan dan keselamatan kapal. Sejumlah kejadian kecelakaan kapal di Indonesia menunjukkan bahwa kondisi laut yang dinamis sering kali menjadi pemicu hilangnya kendali kapal. Laporan BMKG (2021), misalnya, menunjukkan bahwa gelombang setinggi 1,25–2 meter dan kecepatan angin 10–15 knot berkontribusi terhadap menurunnya stabilitas KM Sumber Baru hingga menyebabkan insiden. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Purwono (2020) yang menyatakan bahwa gelombang merupakan parameter fisik laut yang paling fluktuatif dan memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan angin, sehingga sangat memengaruhi operasional kapal pada rute pelayaran yang padat.

Selain itu, kemampuan memprediksi kondisi gelombang dan angin dalam jangka pendek menjadi faktor penting dalam mendukung pengambilan keputusan operasional pelayaran. Penelitian Wisnu et al. (2022) menegaskan bahwa perubahan ekstrem gelombang signifikan sering terjadi pada wilayah perairan dengan karakteristik selat sempit, sehingga diperlukan analisis yang lebih spesifik untuk setiap rute pelayaran. Hal ini

diperkuat oleh temuan Fernando et al. (2022) yang menunjukkan bahwa banyak kecelakaan laut dipicu oleh kurangnya antisipasi terhadap kondisi cuaca serta keterbatasan pemanfaatan data oseanografi oleh operator kapal dalam proses pengambilan keputusan. Di sisi lain, keselamatan pelayaran juga dipengaruhi oleh faktor non-alamiah, seperti kepatuhan terhadap regulasi, kesiapan teknis kapal, serta kompetensi sumber daya manusia. Rahman (2023) menyoroti bahwa penerapan standar keselamatan berbasis regulasi nasional dan internasional masih menghadapi berbagai tantangan di sektor pelayaran. Sementara itu, Mursidi (2022) menemukan bahwa kompetensi awak kapal dalam memahami navigasi dan kesiapsiagaan menghadapi cuaca buruk merupakan faktor kunci dalam menekan risiko kecelakaan laut. Kondisi ini menunjukkan bahwa keselamatan pelayaran merupakan hasil interaksi kompleks antara dinamika lingkungan laut, kesiapan teknis kapal, kemampuan prediktif cuaca, serta kualitas sumber daya manusia.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji keselamatan pelayaran dari beragam sudut pandang, fokus kajiannya masih bervariasi. Sejumlah studi menitikberatkan pada kesiapan peralatan keselamatan kapal, regulasi dan manajemen keselamatan, serta kompetensi awak kapal sebagai determinan utama keselamatan pelayaran (Fernando et al., 2022; Rahman, 2023; Mursidi, 2022). Penelitian lain lebih menekankan pada aspek fisik laut, seperti analisis gelombang empiris (Purwono, 2020) dan pemodelan prediksi gelombang dan angin pada rute Surabaya–Banjarmasin (Wisnu et al., 2022). Penelitian terbaru oleh Salsabila et al. (2024) telah mengintegrasikan analisis gelombang, arus, dan angin permukaan pada rute Tanjung Perak–Banjarmasin dan

menemukan adanya variabilitas signifikan, khususnya pada bulan-bulan transisi.

Namun demikian, hingga saat ini belum terdapat penelitian yang secara khusus mengkaji karakteristik gelombang, arus, dan angin permukaan pada rute Tanjung Perak–Lembar dengan menggunakan data meteorologi kelautan terbaru. Padahal, kedua rute tersebut memiliki karakteristik oseanografi yang berbeda. Rute Surabaya–Banjarmasin didominasi oleh perairan Laut Jawa dan sebagian Selat Makassar, sedangkan rute Tanjung Perak–Lembar dilalui melalui Selat Bali dan Selat Lombok yang lebih sempit, lebih dalam, serta memiliki arus yang lebih kuat akibat pengaruh ARLINDO. Perbedaan karakteristik ini menyebabkan hasil penelitian pada rute lain tidak dapat secara langsung diterapkan pada rute Tanjung Perak–Lembar.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik gelombang, arus, dan angin permukaan pada rute Tanjung Perak–Lembar berdasarkan data meteorologi kelautan terbaru dari BMKG sebagai dasar penilaian risiko keselamatan pelayaran. Urgensi penelitian ini terletak pada meningkatnya intensitas pelayaran menuju wilayah Nusa Tenggara Barat yang memerlukan dukungan informasi oseanografi yang akurat dan mutakhir. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian keselamatan pelayaran serta menjadi bahan pertimbangan praktis bagi operator kapal, syahbandar, dan instansi terkait dalam menentukan waktu keberangkatan, perencanaan rute, serta peningkatan kesiapsiagaan terhadap potensi cuaca buruk.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis data

sekunder untuk menganalisis dinamika gelombang laut, arus permukaan, dan angin pada lintasan pelayaran Tanjung Perak–Lembar (Nusa Tenggara Barat) selama periode Januari hingga Desember 2024. Populasi dalam penelitian ini didefinisikan sebagai kondisi oseanografi permukaan laut yang memengaruhi aktivitas pelayaran di sepanjang rute tersebut. Pengambilan sampel dilakukan secara purposive dengan menetapkan tujuh titik pengamatan yang merepresentasikan jalur pelayaran utama, mulai dari perairan sekitar Pelabuhan Tanjung Perak hingga mendekati Pelabuhan Lembar. Pemilihan titik ini didasarkan pada pertimbangan operasional pelayaran dan distribusi spasial jalur kapal, sehingga analisis mampu menggambarkan variasi kondisi laut secara konsisten sepanjang lintasan.



Gambar 1. Skema Penelitian

Data penelitian bersumber dari keluaran model oseanografi InaWave yang disediakan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) melalui layanan OPeNDAP. Model InaWave dipilih karena memiliki resolusi spasial sekitar 10 km dan resolusi temporal harian yang dinilai memadai untuk menggambarkan variabilitas tinggi gelombang signifikan, arus permukaan, dan kecepatan angin pada skala rute pelayaran antarpulau. Wilayah kajian dibatasi pada koordinat 7°12'LS–8°44'LS dan 112°44'BT–116°05'BT, yang mencakup seluruh lintasan pelayaran Tanjung Perak–Lembar, termasuk perairan Selat Bali dan Selat Lombok. Data dikumpulkan untuk periode satu tahun penuh guna menangkap variasi musiman yang dipengaruhi oleh angin monsun barat,

monsun timur, serta periode transisi.

Prosedur penelitian dimulai dengan pengunduhan data InaWave dari server BMKG, kemudian dilanjutkan dengan proses validasi awal data. Validasi dilakukan untuk memastikan kelengkapan grid, konsistensi format dan satuan data, serta mendeteksi kemungkinan nilai ekstrem yang tidak logis. Selain itu, dilakukan pemangkasan wilayah analisis agar sesuai dengan batas geografis penelitian. Langkah ini bertujuan untuk menjaga validitas dan reliabilitas data sehingga hasil analisis yang diperoleh dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Data yang telah tervalidasi kemudian diekstraksi pada tujuh titik koordinat referensi untuk setiap bulan selama tahun 2024.

Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python. Pada tahap ini, dihitung nilai statistik deskriptif berupa rata-rata bulanan, sebaran nilai, dan kecenderungan temporal untuk masing-masing parameter gelombang, arus, dan angin. Python juga digunakan untuk menghasilkan visualisasi spasial berupa peta distribusi intensitas parameter oseanografi guna memudahkan interpretasi perubahan kondisi laut dari waktu ke waktu. Untuk mendukung kejelasan penyajian tren musiman, sebagian hasil analisis divisualisasikan kembali dalam bentuk grafik menggunakan Microsoft Excel, sehingga pola tahunan yang muncul dapat diamati secara lebih presisi.

Dalam pelaksanaan penelitian ini, beberapa asumsi digunakan. Pertama, data keluaran model InaWave diasumsikan mampu merepresentasikan kondisi oseanografi aktual di wilayah penelitian. Kedua, resolusi spasial dan temporal model

dianggap cukup untuk menggambarkan dinamika laut yang relevan terhadap keselamatan pelayaran. Ketiga, jalur pelayaran Tanjung Perak–Lembar diasumsikan tidak mengalami perubahan signifikan selama periode penelitian sehingga titik pengamatan yang digunakan tetap representatif sepanjang tahun 2024.

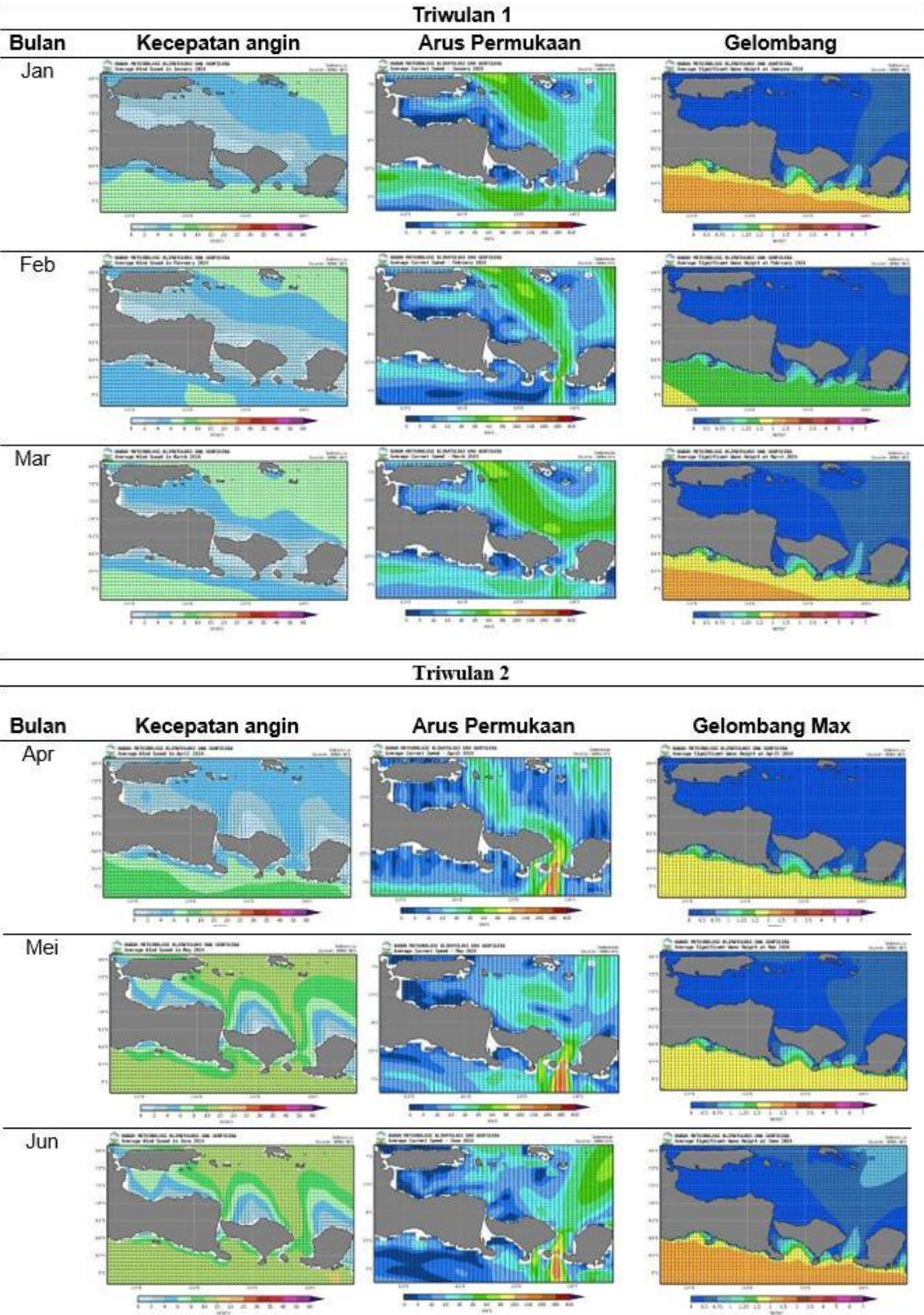
Ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada analisis kondisi oseanografi permukaan laut berbasis data model, tanpa melakukan perbandingan langsung dengan data observasi lapangan seperti buoy atau pengukuran *in situ*. Selain itu, penelitian ini berfokus pada pola rata-rata bulanan sehingga variasi ekstrem berdurasi sangat pendek tidak dianalisis secara mendalam. Keterbatasan ini perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil, namun pendekatan yang digunakan tetap relevan untuk memberikan gambaran umum kondisi oseanografi dan implikasinya terhadap keselamatan pelayaran pada rute Tanjung Perak–Lembar.

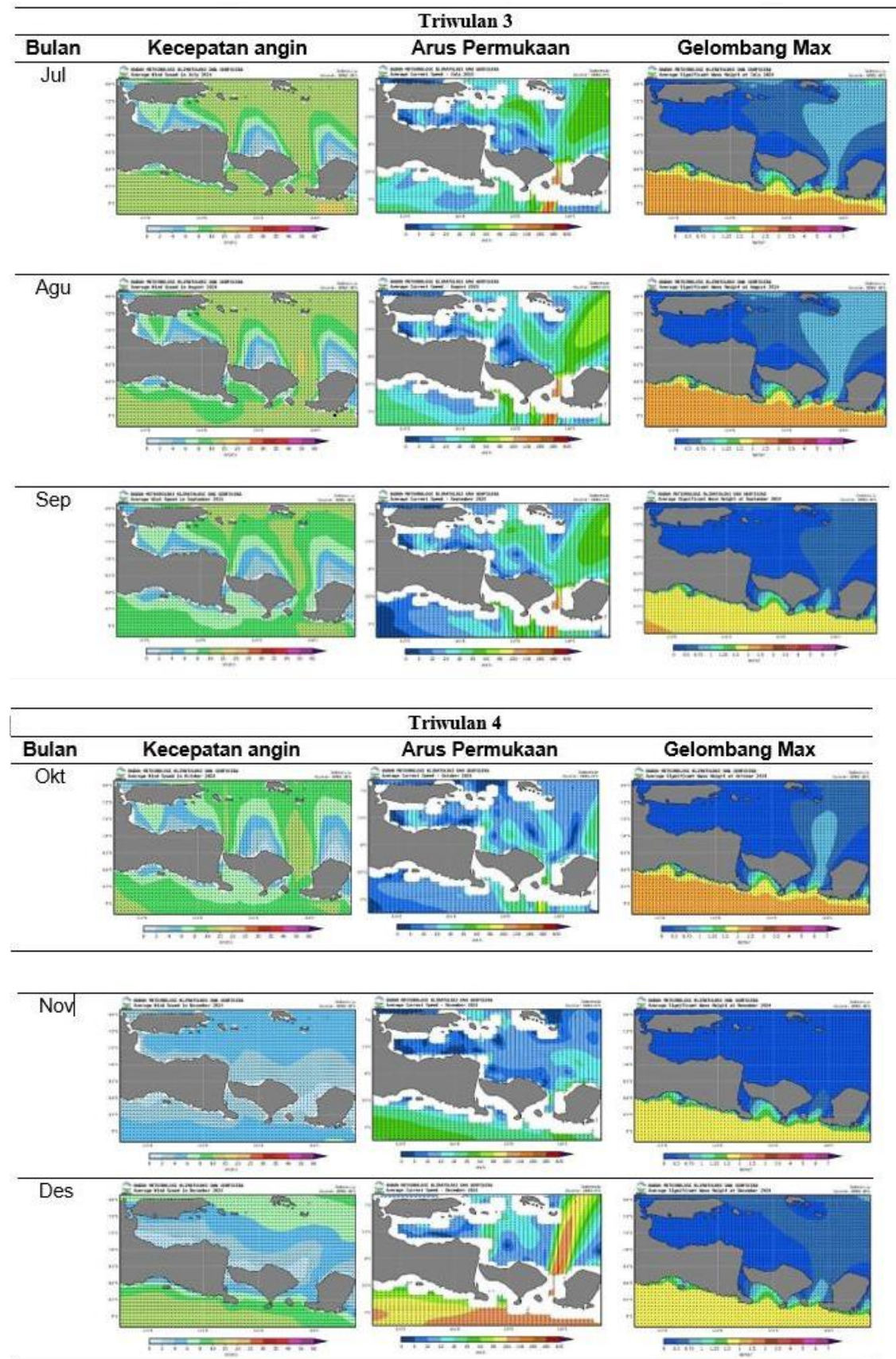
HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengilustrasikan dinamika arah dan kecepatan angin, arus permukaan laut, serta gelombang maksimum sepanjang tahun 2024 di rute pelayaran Surabaya–Lombok, disajikan **Tabel 1** yang memuat data triwulanan berdasarkan periode musim yang berlangsung.

Berdasarkan **Tabel 1**, yang menyajikan distribusi data arah dan kecepatan angin, arus permukaan laut, serta gelombang maksimum sepanjang tahun 2024 pada rute pelayaran Surabaya–Lombok, tampak adanya pola musiman yang konsisten dengan dinamika monsun di wilayah perairan Indonesia.

Tabel 1. Peta rerata bulanan kecepatan angin, arus permukaan, gelombang, dan gelombang maksimum di rute pelayaran Tanjung Perak-Lembar (NTB) sepanjang tahun 2024.



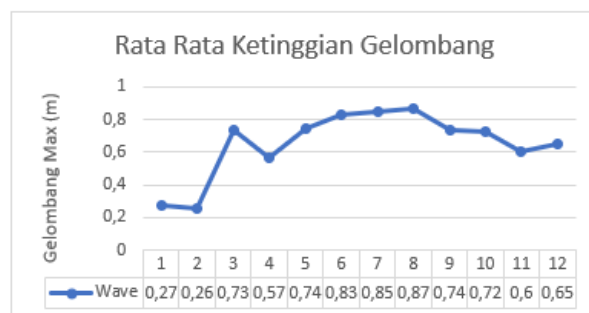


Pada periode Januari–Maret, tabel menunjukkan bahwa arah angin dominan berasal dari barat–barat laut dengan kecepatan 2–8 knot. Arah arus permukaan laut cenderung ke timur dengan kecepatan antara 5–80 cm/s. Berdasarkan klasifikasi nilai ini masuk dalam kategori arus cepat. Tinggi gelombang maksimum selama periode ini tergolong rendah, yaitu antara 0,5–0,75 meter, yang relatif aman untuk aktivitas pelayaran.

Pada periode April–Juni, tabel mencatat perubahan arah angin menjadi dari tenggara–selatan, dengan kecepatan yang meningkat hingga 15 knot. Arah arus laut searah dengan angin, yaitu menuju tenggara–selatan, dan kecepatannya berkisar antara 5–150 cm/s. Ini mencakup kategori arus cepat hingga sangat cepat, terutama di sekitar perairan Selat Lombok, yang menunjukkan adanya intensifikasi arus musiman. Meskipun demikian, tinggi gelombang maksimum masih berada pada kategori rendah, yakni 0,5–0,75 meter. Selama Juli–September, arah angin yang tercantum dalam tabel berasal dari timur–selatan dengan kecepatan 2–10 knot. Sementara itu, arah arus permukaan bergeser ke barat–barat laut, dengan kecepatan tetap tinggi, yakni 5–150 cm/s. Kecepatan arus sangat cepat (>100 cm/s) kembali teridentifikasi di wilayah Selat Lombok. Tinggi gelombang maksimum juga mengalami peningkatan dalam rentang 0,5–1,0 meter, namun masih dalam kategori rendah hingga sedang, dan tetap perlu diwaspadai untuk keselamatan pelayaran.

Pada Triwulan terakhir (Oktober–Desember), arah angin dalam tabel menunjukkan pola yang berubah-ubah. Pada Oktober dan November, angin berasal dari timur–selatan dengan kecepatan 2–15 knot, sementara pada Desember bergeser menjadi dari barat daya–barat dengan kecepatan lebih rendah, yaitu 2–6 knot. Arah arus

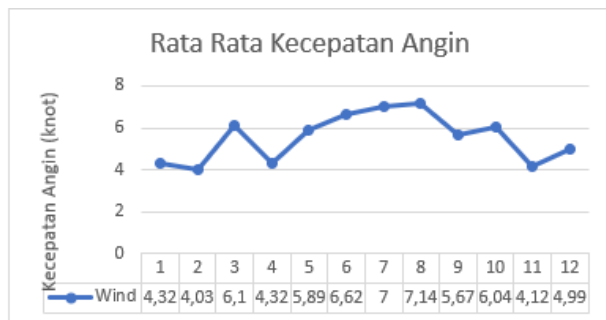
permukaan laut bersifat variabel, terutama pada bulan Oktober, dan beberapa titik putaran (siklonik) teridentifikasi, dengan kecepatan 5–60 cm/s yang dikategorikan sebagai arus cepat. Sedangkan pada November–Desember, arus kembali terarah ke timur–selatan dengan kecepatan 5–150 cm/s, termasuk kategori sangat cepat di sekitar Selat Lombok. Tinggi gelombang maksimum selama triwulan ini tercatat antara 0,5–1 meter, dengan gelombang tertinggi (1 meter) juga terjadi di perairan strategis Selat Lombok.



Grafik 1. Rata-rata Ketinggian Gelombang

Berdasarkan Grafik 1, ketinggian gelombang di sepanjang rute pelayaran Surabaya–Lombok menunjukkan pola musiman yang konsisten sepanjang tahun. Kondisi perairan relatif tenang pada awal tahun dengan ketinggian gelombang di bawah 0,30 m, kemudian meningkat secara nyata memasuki periode peralihan pertama. Selanjutnya, gelombang menunjukkan tren penguatan yang berkelanjutan hingga mencapai kondisi maksimum pada puncak musim kemarau, yang mencerminkan dominasi angin monsun timur dan meningkatnya transfer energi ke permukaan laut. Setelah melewati fase puncak tersebut, ketinggian gelombang berangsur menurun seiring melemahnya monsun timur dan memasuki periode peralihan kedua, sebelum kembali berada pada kondisi yang relatif stabil menjelang akhir tahun. Pola ini menegaskan

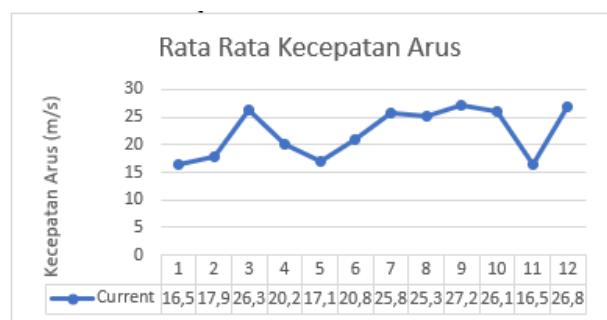
bahwa dinamika gelombang di wilayah kajian dikontrol secara kuat oleh sistem monsun, dengan intensitas gelombang yang cenderung lebih besar pada musim kemarau dibandingkan periode peralihan dan awal musim hujan, sehingga berimplikasi langsung terhadap tingkat risiko pelayaran di jalur Surabaya–Lombok.



Grafik 2. Rata-rata Kecepatan Angin

Berdasarkan Grafik 2, rata-rata kecepatan angin di sepanjang rute pelayaran Surabaya–Lombok memperlihatkan pola musiman yang sejalan dengan dinamika sistem monsun. Kecepatan angin relatif rendah pada awal tahun, kemudian meningkat secara bertahap memasuki periode peralihan pertama. Selanjutnya, angin menunjukkan tren penguatan yang lebih konsisten hingga mencapai intensitas maksimum pada puncak musim kemarau, yang mencerminkan dominasi angin monsun timur dengan arah dan kecepatan yang lebih stabil. Setelah mencapai puncaknya, kecepatan angin mulai mengalami pelemahan secara bertahap seiring berkurangnya pengaruh monsun timur dan memasuki periode peralihan kedua. Pada akhir tahun, kecepatan angin kembali berada pada tingkat yang relatif moderat, menandakan awal berkembangnya pengaruh monsun barat yang belum sepenuhnya dominan. Pola ini menunjukkan bahwa variasi kecepatan angin di wilayah kajian dikontrol kuat oleh siklus monsun tahunan. Jika dikaitkan dengan Grafik 1, peningkatan kecepatan angin pada periode musim

kemarau berkontribusi langsung terhadap peningkatan ketinggian gelombang di sepanjang jalur pelayaran. Sebaliknya, pelemahan angin pada periode peralihan dan akhir tahun berasosiasi dengan kondisi gelombang yang lebih rendah dan relatif stabil. Hubungan ini menegaskan peran angin sebagai faktor utama pembangkit gelombang permukaan laut, sekaligus menjadi parameter penting dalam penilaian risiko pelayaran di rute Surabaya–Lombok.



Grafik 3 Rata-rata Kecepatan Arus

Berdasarkan Grafik 3, kecepatan arus di sepanjang rute pelayaran Surabaya–Lombok menunjukkan variasi musiman yang dipengaruhi oleh dinamika monsun. Pada awal hingga periode peralihan pertama, kecepatan arus relatif lebih rendah, kemudian mengalami penguatan seiring meningkatnya pengaruh monsun timur. Arus mencapai kondisi maksimum pada pertengahan tahun dengan kecepatan mendekati 27 cm/s, sebelum kembali melemah secara bertahap menjelang periode peralihan kedua. Pada akhir tahun, kecepatan arus kembali berada pada tingkat sedang seiring mulai berkembangnya pengaruh monsun barat. Pola ini menunjukkan bahwa dinamika arus permukaan di wilayah kajian bersifat fluktuatif dan tidak selalu berbanding lurus dengan angin dan gelombang, sehingga berpotensi mempengaruhi kondisi pelayaran pada periode tertentu.

Berdasarkan Tabel 1 yang menyajikan distribusi arah dan kecepatan angin, arus permukaan laut, serta tinggi gelombang maksimum sepanjang tahun 2024 pada rute pelayaran Surabaya–Lombok, terlihat adanya pola musiman yang konsisten dengan dinamika monsun di wilayah perairan Indonesia. Variasi arah dan intensitas angin, arus, serta gelombang menunjukkan perubahan yang jelas antarperiode musim, terutama antara monsun barat, monsun timur, dan periode transisi.

Pada periode Januari–Maret, dominasi angin barat–barat laut dengan kecepatan relatif rendah hingga sedang diikuti oleh arus permukaan yang bergerak ke arah timur dengan kecepatan yang bervariasi dari sedang hingga cepat. Tinggi gelombang maksimum pada periode ini relatif rendah, sehingga secara umum kondisi perairan masih tergolong aman bagi aktivitas pelayaran. Memasuki periode April–Juni, perubahan arah angin menjadi tenggara–selatan disertai peningkatan kecepatan angin berkontribusi terhadap penguatan arus permukaan yang searah angin. Pada fase ini, arus dengan kategori cepat hingga sangat cepat mulai teridentifikasi, khususnya di sekitar Selat Lombok, yang mencerminkan adanya intensifikasi arus musiman, meskipun tinggi gelombang maksimum masih berada pada kategori rendah.

Selama periode Juli–September, dominasi angin timur–selatan tetap berlangsung dan diikuti oleh pergeseran arah arus permukaan ke barat–barat laut dengan kecepatan yang tetap tinggi di beberapa lokasi strategis. Kecepatan arus sangat cepat kembali teridentifikasi di Selat Lombok, sementara tinggi gelombang maksimum menunjukkan peningkatan hingga kategori rendah–sedang. Kondisi ini mengindikasikan

meningkatnya energi laut pada puncak musim kemarau yang perlu mendapat perhatian dalam aspek keselamatan pelayaran. Pada triwulan terakhir (Oktober–Desember), pola angin dan arus menjadi lebih variabel seiring dengan periode peralihan menuju monsun barat. Arah arus permukaan menunjukkan kompleksitas yang lebih tinggi, termasuk terbentuknya pola putaran, sementara tinggi gelombang maksimum tetap berada pada kisaran rendah hingga sedang.

Jika ditinjau dari Grafik 1, yang merepresentasikan ketinggian gelombang rata-rata, terlihat bahwa kondisi gelombang relatif rendah pada awal tahun dan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncaknya pada musim kemarau, sebelum kembali menurun menjelang akhir tahun. Pola ini konsisten dengan hasil pada Tabel 1, meskipun nilai pada grafik lebih rendah karena menggambarkan kondisi rata-rata, bukan nilai maksimum. Selanjutnya, Grafik 2 menunjukkan bahwa variasi kecepatan angin memiliki pola musiman yang sejalan dengan perubahan ketinggian gelombang, menegaskan peran angin sebagai faktor utama pembangkit gelombang permukaan laut di wilayah kajian.

Sementara itu, Grafik 3 memperlihatkan bahwa kecepatan arus rata-rata juga mengalami fluktuasi musiman, namun tidak selalu berbanding lurus dengan variasi angin dan gelombang. Hal ini menunjukkan bahwa dinamika arus permukaan di rute Surabaya–Lombok tidak hanya dipengaruhi oleh gaya angin, tetapi juga oleh faktor lain seperti sirkulasi regional dan karakteristik perairan Selat Lombok. Kombinasi antara arus yang relatif kuat dengan peningkatan gelombang pada periode tertentu berpotensi meningkatkan risiko pelayaran, sehingga pemahaman terhadap pola musiman ini menjadi

penting dalam perencanaan dan keselamatan navigasi.

Kecepatan arus dapat dibedakan dalam 4 kategori yakni kecepatan arus 0-0,25 m/s yang disebut arus lambat, kecepatan arus 0,25-0,50 m/s yang disebut arus sedang, kecepatan arus 50 - 1 m/s yang disebut arus cepat, dan kecepatan arus diatas 1 m/s yang disebut arus sangat cepat.

Tipe Kapal	Level Risiko	Sangat rendah	Rendah	Sedang	Tinggi
Perahu Nelayan		< 7 knot < 0.5 m	7 - 10 knot 0.5 - 1.0 m	10 - 15 knot 1.0 - 1.25 m	> 15 knot > 1.25 m
Kapal Tongkang		< 7 knot < 0.75 m	7 - 10 knot 0.75 - 1.0 m	10 - 16 knot 1.0 - 1.5 m	> 16 knot > 1.5 m
Kapal Ferry		< 11 knot < 1.25 m	11 - 15 knot 1.25 - 2.0 m	15 - 21 knot 2.0 - 2.5 m	> 21 knot > 2.5 m
Kapal ukuran besar (kapal kargo, tanker, kapal kontainer)		< 16 knot < 2.0 m	16 - 21 knot 2.0 - 2.5 m	21 - 27 knot 2.5 - 4.0 m	> 27 knot > 4.0 m

Kecepatan angin dalam satuan knot Tinggi gelombang dalam satuan meter

Gambar 2. Matriks Resiko Gelombang

Berdasarkan klasifikasi tingkat risiko menurut jenis kapal, kondisi oseanografi di rute pelayaran Surabaya–Lombok sepanjang tahun 2024 menunjukkan tingkat kerentanan yang berbeda untuk setiap tipe kapal. Kapal berukuran kecil seperti perahu nelayan dan kapal tongkang memiliki tingkat risiko yang lebih tinggi, terutama pada periode ketika kecepatan angin berada pada kisaran sedang hingga tinggi dan gelombang mencapai kategori rendah–sedang, karena ambang batas keselamatan kapal jenis ini relatif rendah. Pada kondisi angin di atas 10 knot dan gelombang mendekati atau melebihi 1 meter, stabilitas kapal kecil dapat terganggu secara signifikan. Sebaliknya, kapal ferry dan kapal berukuran besar seperti kapal kargo dan tanker memiliki toleransi yang lebih tinggi terhadap peningkatan angin dan gelombang, sehingga umumnya masih dapat beroperasi dengan aman pada kondisi yang sama. Namun demikian, pada periode puncak

musim kemarau atau saat terjadi intensifikasi arus di Selat Lombok, risiko pelayaran tetap meningkat untuk seluruh jenis kapal, khususnya akibat kombinasi arus kuat dan gelombang yang dapat mempengaruhi manuver dan efisiensi pelayaran. Oleh karena itu, perbedaan karakteristik kapal perlu menjadi pertimbangan utama dalam perencanaan operasional dan penentuan kebijakan keselamatan pelayaran di rute Surabaya–Lombok.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi pola musiman dinamika oseanografi yang meliputi kecepatan angin, ketinggian gelombang, dan arus permukaan di sepanjang rute pelayaran Surabaya–Lombok selama tahun 2024. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi ketiga parameter tersebut dikendalikan secara kuat oleh sistem monsun, dengan perbedaan karakteristik yang jelas antara periode monsun barat, monsun timur, dan fase peralihan. Temuan ini mengisi celah penelitian terkait pemahaman terintegrasi dinamika angin–gelombang–arus pada jalur pelayaran strategis Surabaya–Lombok, yang sebelumnya masih terbatas pada kajian parsial atau bersifat umum.

Keterbaruan penelitian ini terletak pada pendekatan terpadu yang mengombinasikan analisis parameter atmosfer dan oseanografi serta mengaitkannya dengan klasifikasi tingkat risiko berdasarkan jenis kapal. Kontribusi utama penelitian ini tidak hanya memperkaya kajian oseanografi regional, tetapi juga memberikan implikasi praktis bagi perencanaan operasional dan keselamatan pelayaran. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan dalam manajemen pelayaran dan

pengembangan sistem peringatan dini, serta menjadi referensi bagi penelitian lanjutan di wilayah perairan Indonesia dengan pendekatan lintas parameter dan lintas sektor.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiputra, I. K. H. P., Riyanto, B., Haryanto, D., & Wijayanto, D. (2022). Analisis kecelakaan kapal Lestari Maju dengan menggunakan metode Accident Mapping (AcciMap). *Jurnal Patria Bahari*, 2(2), 1–12.
- BMKG. (2021). *Analisis kecelakaan kapal KM Sumber Baru di Perairan Karang Kapota Kabupaten Wakatobi*. Laporan Meteorologi Maritim, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.
- Fernando, A., Kusuma, A. C., Suganjar, & Astriawati, N. (2022). Optimalisasi fungsi alat keselamatan di kapal MT. Patra Tanker 2. *Majalah Ilmiah Gema Maritim*, 24(1), 67–75.
- Mahendro, I. (2024). Analisis penanggulangan risiko kecelakaan kerja proses sandar kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya. *Jurnal Bintang Pendidikan Indonesia*, 2(4), 264–288.
- Murdjito, I. K., Ilmar, A., & Prasetyo, S. (2023). Peningkatan keselamatan kapal niaga dengan sistem pemuatan berbasis komputer. *Jurnal Sewagati*, 7(1), 45–52.
- Mursidi. (2022). Analisis faktor yang mempengaruhi keselamatan pelayaran (Studi pada KSOP Kelas I Tanjung Emas Semarang). *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan*, 14(1), 11–20.
- Purwono. (2020). Analisa kejadian gelombang dengan metode empirik dan model matematik di kawasan perairan Pelabuhan Tanjung Laut. *GOJISE: Gorontalo Journal of Infrastructure & Science Engineering*, 3(1), 1–6.
- Rahman. (2023). Upaya peningkatan keselamatan pelayaran dari aspek peralatan dan manajemen keselamatan kapal. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 18(1), 45–52.
- Salsabila, A., Arjangga, F. F., Wardani, J. N., Hanifa, N. K., Hutabarat, T. A. W., & Fatoni, A. R. (2024). Studi karakteristik gelombang, arus, dan angin permukaan tahun 2023 di rute Pelabuhan Tanjung Perak–Banjarmasin untuk keselamatan pelayaran. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 14(1), 132–140.
- Subekti, J., Wibowo, W., Astriawati, N., & Fadholi, M. H. (2022). Optimalisasi perawatan sistem pendingin mesin utama tipe Hansin GLU28AG pada kapal. *Dinamika Bahari*, 3(1), 60–68.
- Viramdika, A., & Nurdin, N. (2020). Analisis keselamatan dan kecelakaan KM Lestari Maju di Perairan Selayar. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(1), 108–112.
- Wisnu, A., Sukandar, & Wibowo, A. (2022). Prediktor ketinggian gelombang air laut dan kecepatan angin berbasis regresi linear majemuk (Studi kasus rute pelayaran Surabaya–Banjarmasin). *METTA: Jurnal Penelitian Multidisiplin Ilmu*, 2(2), 143–150.