

Studi Kasus Tenggelamnya Kapal KLM. Fajar Lorena Safari di Perairan Situbondo Ditinjau dari Hasil Data Statistik BMKG Perak - Surabaya

*(Case Study of the Sinking of the KLM Fajar Lorena Safari in Situbondo Waters,
Reviewed Based on Statistical Data from the Perak-Surabaya Meteorology,
Climatology, and Geophysics Agency (BMKG))*

Alexa Napitupulu¹

¹Program Studi Pendidikan Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak: Keselamatan pelayaran di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan, salah satunya akibat pengaruh dinamika lingkungan laut, khususnya gelombang laut. Penelitian ini mengkaji tenggelamnya Kapal Layar Motor (KLM) Fajar Lorena Safari yang terjadi di Perairan Situbondo pada 8 Desember 2024 pukul 13.00 WIB dengan meninjau kondisi gelombang laut berdasarkan data statistik BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya. Analisis dilakukan dengan mengaitkan parameter tinggi gelombang signifikan, arah dan kecepatan angin, serta arus permukaan terhadap respons dinamis kapal dari sudut pandang fisika gelombang dan mekanika fluida. Hasil kajian menunjukkan bahwa meskipun tinggi gelombang signifikan pada saat kejadian tergolong rendah, perubahan arah angin dan interaksi gelombang-arus berpotensi memicu gelombang menyilang yang meningkatkan gerakan rolling dan menurunkan stabilitas kapal kayu tradisional. Kondisi ini diperparah oleh keterbatasan stabilitas dinamis kapal serta kemungkinan masuknya air ke dalam lambung. Temuan ini menegaskan bahwa kecelakaan kapal tidak selalu dipicu oleh gelombang tinggi, melainkan oleh kombinasi faktor oseanografi dan karakteristik kapal, sehingga pemanfaatan peringatan dini BMKG dan pemahaman dinamika gelombang menjadi penting dalam upaya mitigasi risiko pelayaran.

Kata Kunci: KLM Fajar Lorena Safari, perairan Situbondo, periode gelombang, fisika gelombang laut, stabilitas kapal tradisional, data BMKG

Abstract: Shipping safety in Indonesia still faces various challenges, one of which is the influence of the dynamics of the marine environment, particularly sea waves. This study examines the sinking of the Motor Sailing Ship (KLM) Fajar Lorena Safari that occurred in Situbondo Waters on December 8, 2024, at 1:00 PM WIB by reviewing sea wave conditions based on statistical data from the BMKG Perak Maritime Meteorology Station in Surabaya. The analysis was conducted by linking the parameters of significant wave height, wind direction and speed, and surface currents to the ship's dynamic response from the perspective of wave physics and fluid mechanics. The results of the study indicate that although the significant wave height at the time of the incident was relatively low, changes in wind direction and wave-current interactions have the potential to trigger cross waves that increase rolling motion and reduce the stability of traditional wooden ships. This condition is exacerbated by the limited dynamic stability of the ship and the possibility of water ingress into the hull. These findings emphasize that ship accidents are not always triggered by high waves, but rather by a combination of oceanographic factors and ship characteristics. Therefore, utilizing BMKG early warnings and understanding wave dynamics are important in efforts to mitigate shipping risks.

Keywords: KLM Fajar Lorena Safari, Situbondo waters, wave period, ocean wave physics, traditional ship stability, BMKG data

Alamat Korespondensi:

Alexa Napitupulu, Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya. e-mail: alexanapitupulu0908@gmail.com

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang menjadikan transportasi laut sebagai sarana utama mobilitas manusia dan distribusi barang

antarpulau (Shanty, 2022). Dengan peran strategis tersebut, keselamatan dan keamanan pelayaran menjadi aspek yang sangat penting untuk menjamin kelancaran aktivitas kelautan. Namun,

tingkat keselamatan pelayaran di Indonesia masih tergolong rendah, yang ditunjukkan oleh tingginya frekuensi kecelakaan kapal seperti tenggelam, kandas, serta kebakaran di berbagai wilayah perairan. Berdasarkan hasil penyelidikan International Maritime Organization (IMO), sekitar 80% kecelakaan kapal disebabkan oleh faktor manusia, sementara 20% sisanya dipengaruhi oleh kondisi kapal dan lingkungan pelayaran (Wahyuni, 2018).

Selain faktor manusia dan teknis kapal, aktivitas pelayaran juga sangat dipengaruhi oleh dinamika lingkungan laut, khususnya gelombang laut. Gelombang laut merupakan salah satu fenomena oseanografi yang berperan besar terhadap keselamatan dan efisiensi pelayaran, serta sering menjadi pemicu terjadinya kecelakaan kapal (Taryono, 2016). Kondisi gelombang yang tidak stabil dapat menghambat operasional pelayaran, meningkatkan risiko jatuhnya muatan, serta menurunkan stabilitas kapal hingga berpotensi menyebabkan kapal terbalik atau tenggelam (Retika, 2024).

Salah satu peristiwa kecelakaan kapal yang diduga berkaitan dengan kondisi gelombang laut adalah tenggelamnya Kapal KLM Fajar Lorena Safari yang terjadi di Perairan Situbondo pada tanggal 8 Desember 2024 sekitar pukul 13.00 WIB. Kejadian ini menjadi penting untuk dikaji lebih lanjut mengingat karakteristik kapal kayu tradisional yang relatif rentan terhadap pengaruh gelombang laut yang memiliki periode gelombang panjang dengan energi yang besar. Oleh karena itu, analisis kondisi

gelombang laut pada saat kejadian, khususnya periode gelombang, menjadi krusial untuk memahami kontribusinya terhadap terjadinya kecelakaan kapal tersebut.

Berbagai penelitian sebelumnya, umumnya menyoroti kecelakaan kapal dari sisi faktor manusia dan aspek teknis kapal (Wahyuni, 2018; Shanty, 2022). Namun, kajian yang secara spesifik mengaitkan kondisi gelombang laut dengan kejadian kecelakaan kapal masih relatif terbatas, terutama yang melibatkan analisis data gelombang berdasarkan periode gelombangnya. Selain itu, hingga saat ini belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengaitkan data statistik gelombang laut dari BMKG dengan kecelakaan kapal KLM Fajar Lorena Safari di Perairan Situbondo pada Desember 2024. Kesenjangan inilah yang menjadi dasar perlunya penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk memperkuat pemahaman mengenai peran faktor oseanografi dalam keselamatan pelayaran.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi gelombang laut di Perairan Situbondo pada saat tenggelamnya Kapal KLM Fajar Lorena Safari dengan meninjau periode gelombang berdasarkan data BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak Surabaya. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi mitigasi risiko pelayaran guna meningkatkan keselamatan operasional kapal, khususnya kapal kayu tradisional, di wilayah Perairan Situbondo.

KLM Fajar Lorena safari

Kapal KLM Fajar Lorena Safari merupakan kapal layar motor kayu tradisional yang berfungsi sebagai alat transportasi laut utama bagi masyarakat Pulau Sapudi, Kabupaten Sumenep, untuk menuju daratan Jawa melalui Pelabuhan Jangkar di Situbondo. Kapal ini termasuk dalam kategori kapal penumpang dan barang antar-pulau atau sering disebut kapal rakyat, yang beroperasi secara reguler untuk mengangkut warga, hasil bumi, barang dagangan, serta kebutuhan pokok. Jenis kapal ini memiliki peran sosial dan ekonomi yang sangat penting bagi masyarakat kepulauan di Madura karena menjadi satu-satunya sarana mobilitas dan distribusi logistik antara pulau kecil dan daratan utama.

KLM Fajar Lorena Safari diawasi oleh UPP (Unit Penyelenggara Pelabuhan) Kelas III Sapudi, di bawah koordinasi Kementerian Perhubungan, yang bertanggung jawab atas izin dan pengawasan kapal rakyat. Berdasarkan data manifes, kapal ini biasanya mengangkut sekitar 60 hingga 70 orang penumpang, terdiri dari dewasa dan anak-anak, serta sejumlah awak kapal. Fungsi utamanya adalah menghubungkan masyarakat antarwilayah, memperlancar perdagangan lokal, dan menyediakan akses terhadap layanan publik seperti pendidikan dan kesehatan di daratan Jawa.

Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi

beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik bumi - bulan - matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi.

Jenis-jenis gelombang ditinjau dari gaya pembangkitnya terdapat 3 jenis yaitu:

- 1) Gelombang Angin, merupakan gelombang yang disebabkan oleh tiupan angin di permukaan laut. Gelombang ini mempunyai periode yang sangat bervariasi, ditinjau dari frekuensi kejadiannya, gelombang angin merupakan gelombang yang paling dominan terjadi di laut.
- 2) Gelombang Pasang surut (Pasut), merupakan gelombang yang disebabkan oleh gaya tarik bumi terhadap benda -benda langit, benda langit yang paling besar pengaruhnya adalah Matahari dan Bulan, gelombang pasut lebih mudah diprediksi karena terjadi secara periodik mengikuti sesuai peredarannya.
- 3) Gelombang Tsunami, gelombang yang diakibatkan oleh gempa bumi tektonik atau letusan gunung api di dasar laut, tsunami merupakan gelombang yang sangat besar dan tinggi gelombangnya dapat mencapai lebih dari 10 meter.

Dalam informasi cuaca laut, gelombang angin merupakan gelombang yang paling sering terjadi di laut. Hal ini didasari karena sebagian besar gelombang laut terbentuk oleh energi yang ditimbulkan oleh tiupan angin. Kuat lemahnya gelombang ini dipengaruhi oleh tiga faktor, yaitu kecepatan angin, lamanya angin berhembus (duration), dan jarak tiupan

angin (*fetch*). *Fetch* adalah jarak tiupan angin dari awal pembangkitan tanpa adanya penghalang. Oleh sebab itu *fetch* berpengaruh terhadap luasnya wilayah perairan, semakin luas perairan, maka semakin besar ketinggian gelombangnya. Sehingga gelombang besar akan terjadi jika terdapat angin kencang, durasi angin yang lama dan berada di lautan yang luas tanpa adanya penghalang (Daratan dan Pulau).

Gelombang Laut dan Karakteristiknya

Gelombang laut merupakan fenomena dinamis yang dipengaruhi oleh angin, kedalaman laut (Bathimetri), dan kondisi atmosfer. Menurut Departmen Teknik kelautan ITS, gelombang laut terbentuk oleh interaksi gaya gravitasi, tekanan angin, dan faktor lain dan dapat berdampak langsung pada keselamatan pelayaran apabila kondisinya ekstrim.

Penelitian karakteristik gelombang di berbagai perairan sangat penting untuk mitigasi risiko kecelakaan kapal. Sebagai contoh, Nabila dkk (2020) melakukan analisis gelombang di laut utara jawa menggunakan data satelit altimetri, menemukan variabilitas tinggi gelombang dan pola periodeik yang relevan untuk perencanaan kelautan.

Periode Gelombang Terhadap Keselamatan Kapal

Selain tinggi gelombang (*significant wave height*), periode gelombang adalah parameter krusial. Periode gelombang (waktu antar puncak gelombang) mencerminkan energi gelombang dan potensi respons kapal terhadap gelombang tersebut. Penelitian di pelabuhan Niaga

Brondong (Lamongan) oleh Wahjudijanto menunjukkan bahwa periode gelombang sangat dipengaruhi oleh *fetch* (Jarak hembusan angin) dan Kecepatan angin. Secara umum, kapal akan lebih rentan terhadap gelombang dengan periode tertentu, misalnya gelombang panjang (*swell*) yang cenderung memiliki energi lebih besar dan dapat menyebabkan kemiringan kapal.

Pola Gelombang di Perairan Situbondo

Khusus untuk perairan situbondo (Jawa Timur), terdapat penelitian terkait karakteristik gelombang yang sangat relevan. Pratama, Widagdo, dan Rahyono (J-Tropimar) meneliti tinggi gelombang di perairan Pelabuhan Jangkar Situbondo sebagai dasar perencanaan *breakwater* (pemecah ombak). Mereka menemukan nilai tinggi gelombang yang signifikan dan pola gelombang yang harus diperhitungkan dalam desain struktur pantai dan keselamatan pelayaran. Arah gelombang yang paling sering muncul dan paling kuat berasal dari arah Utara dan Timur Laut.

Selain itu, analisis numerik menggunakan model Bathimetri pada perairan Klatakan (Situbondo) oleh Irawan dkk diperoleh bahwa periode gelombang sekitar 4,1 detik. Hal ini menunjukkan bahwa gelombang di Klatakan Situbondo cenderung memiliki jarak antar gelombang yang pendek dan rapat. Gelombang ini biasanya dihasilkan oleh angin lokal disekitar Laut Jawa.

Hubungan Gelombang Ekstrem dengan Risiko Kecelakaan Kapal

Banyak penelitian menunjukkan bahwa gelombang tinggi dan periode

gelombang ekstrem dapat meningkatkan risiko kecelakaan kapal, termasuk tenggelam. Misalnya, studi Fathurohman dkk. (2025) mengevaluasi dampak variabilitas tinggi gelombang, kecepatan angin dan curah hujan terhadap keselamatan pelayaran di jalur laut kepulauan Indonesia. Mereka menyimpulkan bahwa variabilitas unsur meteorologi kelautan secara signifikan memengaruhi risiko kecelakaan.

Sebagai upaya mitigasi dan mengurangi resiko kecelakaan laut, BMKG Maritim Tanjung Perak rutin mengeluarkan peringatan dini gelombang tinggi (diatas 1,3 meter) untuk perairan Jawa Timur. Bahkan kementerian perhubungan menekankan bahwa cuaca ekstrem (gelombang tinggi, angin kencang, curah hujan) adalah faktor alam utama yang harus dipantau untuk menjamin keselamatan pelayaran.

Studi Kasus Kecelakaan Kapal Terkait Gelombang

Beberapa jumlah kecelakaan kapal diperairan indonesia menunjukkan bahwa gelombang tinggi sering menjadi penyebab dalam insiden tenggelam. Contoh kasus tenggelamnya MV Senopati Nusantara saat terjadinya badai besar di laut Jawa (gelombang tinggi dan angin kencang) yang menewaskan ratusan orang. Kasus Lain adalah MV Teratai Prima, yang tenggelam setelah dilewati gelombang setinggi sekitar 4 Meter, yang menyebabkan kapal kehilangan keseimbangan dan menumpuk air.

Analisis atas insiden insiden tersebut memperkuat pentingnya memahami variabilitas gelombang laut tinggi (tinggi, periode), potensi cuaca ekstrem, dan kesiapan teknis kapal.

Analisis Risiko dan Matriks Keselamatan

Dalam konteks operasional kapal nelayan atau kapal kecil, analisis matriks keselamatan berlayar terhadap

gelombang merupakan metode yang banyak digunakan. Nugroho, Ilhsa, dan Asbar (Universitas Muslim Indonesia) menyusun matriks keselamatan berlayar kapal perikanan berdasarkan tinggi gelombang dan angin muson di selat makasar.

Pendekatan matriks semacam ini sangat relevan jika diterapkan pada kasus KLM Fajar Lorena Safari, karena dapat membantu menilai sejauh mana kondisi gelombang (Periode, tinggi, arah) saat kejadian tenggelam.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif-analitis dengan pendekatan studi kasus, menggunakan data observasi oseanografi dan meteorologi maritim. Pendekatan ini bertujuan untuk menganalisis keterkaitan periode gelombang laut dengan peristiwa tenggelamnya Kapal KLM Fajar Lorena Safari yang terjadi di Perairan Situbondo pada tahun 2024.

Pendekatan deskriptif-analitis dipilih karena penelitian ini tidak melakukan perlakuan atau eksperimen, melainkan mengkaji fenomena alam yang telah terjadi berdasarkan data pengamatan resmi, serta membandingkannya dengan referensi dan standar keselamatan pelayaran.

Lokasi dan waktu Penelitian

Penelitian dilakukan dengan fokus pada Perairan Situbondo, Jawa Timur, lokasi terjadinya kecelakaan kapal. Pengumpulan data dilakukan mulai Desember 2024 – Januari 2025, menggunakan arsip dan data BMKG Maritim Perak Surabaya serta dokumen laporan kecelakaan.

Sumber Data

Data Primer

Data primer dalam penelitian ini berupa:

1. Data statistik gelombang harian BMKG pada tanggal kejadian, meliputi:

- Tinggi gelombang signifikan
 - Periode gelombang
 - Arah dan kecepatan angin
 - Kondisi cuaca maritim
2. Gambar/plot grafik gelombang yang diterbitkan BMKG pada hari kejadian.
 3. Peringatan dini cuaca maritim BMKG yang dirilis pada tanggal kejadian.

Data Sekunder

Data sekunder meliputi:

- Informasi kronologi kecelakaan kapal dari media daring yang kredibel.
- Kajian literatur mengenai pengaruh periode gelombang terhadap stabilitas kapal kayu tradisional.

Teknik Pengumpulan Data

Dokumentasi

- Mengumpulkan laporan BMKG seperti pada Tabel 1, grafik gelombang, peringatan dini, dan dokumentasi kecelakaan.
- **Studi Kepustakaan**
Menelaah jurnal, artikel ilmiah, standar keselamatan kapal, dan buku oseanografi maritim.
- **Analisis Data BMKG**
Data gelombang dianalisis kembali untuk mengetahui relevansi kondisi gelombang dengan peristiwa kecelakaan.

Tabel 1. Laporan BMKG

No	Jam (WIB)	Hsig(m)	SurfCurrentSpd (cm/s)	WindSpeed (knots)
1	10.00	0.42944	26.71260	9.53671
2	11.00	0.42260	26.69850	9.31965
3	12.00	0.41576	26.68441	9.10258
4	13.00	0.40891	26.67032	8.88552
5	14.00	0.40207	26.65622	8.66846
6	15.00	0.39523	26.64213	8.45140
7	16.00	0.38838	26.62803	8.23434

1. **Analisis Deskriptif Gelombang**
Menginterpretasi tinggi gelombang dan *wave period* pada jam kejadian untuk menilai tingkat risiko bagi kapal jenis KLM.

2. Perbandingan Data dengan Literatur

Membandingkan nilai periode gelombang aktual dengan batas aman operasional kapal kayu ukuran kecil-menengah.

3. Analisis Kualitatif Penyebab Pendukung

Menganalisis faktor-faktor non-gelombang seperti kondisi kapal, cuaca, arah angin, serta kepatuhan terhadap peringatan dini.

4. Penarikan Kesimpulan

Menyimpulkan apakah periode gelombang pada hari kejadian berkontribusi signifikan terhadap tenggelamnya KLM Fajar Lorena Safari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Kondisi Gelombang dan Analisis terhadap Kecelakaan Kapal

Berdasarkan data statistik BMKG Perak-Surabaya, kecelakaan tenggelamnya KLM Fajar Lorena Safari terjadi pada pukul 13.00 WIB di perairan Situbondo. Pada waktu tersebut, tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) tercatat sebesar 0,40891 m, kecepatan arus permukaan sekitar 26,67 cm/s, serta kecepatan angin sebesar 8,89 knot. Secara kuantitatif, nilai tinggi gelombang ini tergolong rendah. Namun, dalam tinjauan fisika, energi dan gaya yang bekerja pada kapal tidak hanya ditentukan oleh tinggi gelombang, melainkan oleh interaksi kompleks antara gelombang, arus, angin, dan respons dinamis kapal.

Dalam perspektif fisika gelombang, gelombang laut membawa energi mekanik yang ditransmisikan melalui osilasi partikel fluida. Meskipun amplitudo gelombang relatif kecil, arah datang gelombang yang tidak sejajar dengan arah pelayaran dapat menghasilkan komponen gaya *lateral* (kemiringan) pada badan kapal. Data menunjukkan bahwa arah angin pada hari kejadian berturut-turut adalah Barat - Barat Daya (*west-south-west*) pada pukul 10.00–11.00 WIB dan bergeser menjadi barat (*west*) pada pukul 12.00–16.00 WIB, termasuk saat kejadian pukul 13.00 WIB. Perubahan arah angin ini berpengaruh terhadap arah propagasi gelombang permukaan, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya gelombang menyilang (*beam waves*) terhadap kapal.

Dari sudut pandang mekanika fluida, arus permukaan dengan kecepatan relatif stabil di kisaran 26–27 cm/s menghasilkan gaya hidrodinamika yang bekerja terus-menerus pada lambung kapal. Gaya ini, ketika dikombinasikan dengan gelombang menyilang, dapat menimbulkan gaya memutar (*torque*) terhadap badan kapal, akibatnya kapal tidak hanya di dorong kesamping oleh ombak, tetapi dipaksa untuk miring dan kehilangan keseimbangan. Secara fisika, momen gaya ini memicu gerakan *rolling*, yaitu osilasi rotasi kapal akibat ketidakseimbangan gaya pada sisi kiri dan kanan kapal.

Respons kapal terhadap gaya luar tersebut sangat dipengaruhi oleh karakteristik kapalnya. KLM (Kapal Layar Motor) sebagai kapal tradisional memiliki dimensi relatif kecil. kondisi ini menyebabkan kapal lebih mudah mengalami *rolling* ketika mendapat

gangguan periodik dari gelombang dan arus. Jika frekuensi gangguan eksternal mendekati frekuensi alami *rolling* kapal, maka fenomena resonansi mekanik dapat terjadi, sehingga sudut kemiringan kapal meningkat secara signifikan meskipun gelombang tidak tinggi.

Selain itu, dari sudut pandang fisika stabilitas benda terapung, masuknya air ke dalam lambung kapal akan menaikkan massa Kapal–muatan, sementara gaya apung tetap bekerja pada titik yang relatif sama. Perubahan ini menyebabkan berkurangnya momen pemulih (*righting moment*), sehingga kapal menjadi semakin tidak stabil. Pada kondisi tersebut, gangguan kecil dari gelombang atau arus dapat cukup untuk menyebabkan kapal kehilangan keseimbangan dan akhirnya tenggelam.

Dengan demikian, secara fisika dapat disimpulkan bahwa tenggelamnya KLM Fajar Lorena Safari bukan disebabkan oleh tinggi gelombang semata, melainkan oleh interaksi gaya-gaya mekanik dan hidrodinamika yang bekerja pada kapal, khususnya akibat arah angin dominan Barat, arus permukaan yang konsisten, serta keterbatasan stabilitas dinamis kapal KLM. Analisis ini menegaskan bahwa kondisi laut yang secara statistik tampak tenang tetap dapat menghasilkan risiko kecelakaan yang signifikan apabila ditinjau dari aspek fisika gelombang dan mekanika fluida.

Kondisi Umum Kejadian dan Rute Pelayaran Kapal

Kecelakaan Kapal KLM *Fajar Lorena Safari* terjadi pada tanggal 8 Desember 2024 sekitar pukul 13.00 WIB di Perairan Situbondo, Jawa Timur. Berdasarkan peta rute pelayaran

pada Gambar 1, kapal bergerak dari pesisir Situbondo kemudian melintasi perairan terbuka di Laut Jawa bagian timur menuju ke Sumenep. Rute pelayaran tersebut berada pada jalur yang relatif terbuka terhadap pengaruh gelombang laut dari sektor barat hingga barat laut.

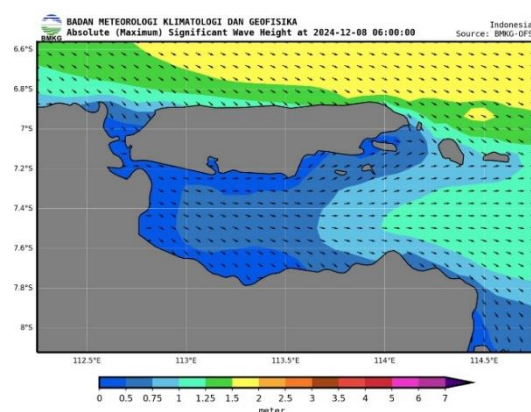


Gambar 1. Rute Pelayaran

Lintasan pelayaran ini mengindikasikan bahwa kapal berpotensi terpapar langsung oleh kondisi gelombang laut yang berkembang di Laut Jawa, terutama pada musim angin baratan yang ditandai oleh peningkatan kecepatan angin dan energi gelombang.

Kondisi Gelombang Laut berdasarkan data BMKG

Kondisi gelombang pada hari kejadian dianalisis menggunakan peta absolute maximum significant wave height dari BMKG yang berlaku pada tanggal 8 Desember 2024.



Gambar 2. Peta BMKG

Gambar 2 menunjukkan kondisi tinggi gelombang signifikan maksimum pada 8 Desember 2024 pukul 06.00 UTC atau 13.00 WIB di wilayah perairan Jawa Timur bagian utara dan timur. Berdasarkan sebaran warna, tinggi gelombang di perairan dekat pantai dan selat sempit, seperti Selat Madura, didominasi oleh warna biru hingga biru muda dengan kisaran 0–0,75 m, yang menandakan kondisi laut relatif tenang.

Pada perairan yang lebih terbuka, terutama ke arah utara dan timur wilayah peta, tinggi gelombang meningkat hingga kisaran 1–2 m yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga kuning dengan arah gelombang dari arah Baratt. Peningkatan tinggi gelombang ini menunjukkan pengaruh angin dengan fetch yang lebih panjang serta minimnya penghalang daratan, sehingga energi gelombang dapat berkembang lebih optimal.

Secara umum, kondisi gelombang pada waktu pengamatan tergolong rendah hingga sedang dan tidak menunjukkan adanya gelombang ekstrem. Namun demikian, gelombang dengan tinggi lebih dari 1 m di perairan terbuka tetap berpotensi menimbulkan risiko terhadap aktivitas pelayaran, khususnya bagi kapal kecil atau kapal dengan stabilitas rendah. Oleh karena itu, meskipun kondisi laut tampak relatif aman, faktor tinggi gelombang, arah perambatan, serta karakteristik kapal tetap perlu dipertimbangkan dalam menilai tingkat keselamatan pelayaran di wilayah tersebut.

Kesesuaian Kondisi aktual dan peringatan Dini BMKG

Walaupun berdasarkan peta prakiraan tinggi gelombang signifikan

kondisi laut di sekitar perairan Situbondo pada 8 Desember 2024 secara umum tergolong rendah hingga sedang, BMKG tetap mengeluarkan peringatan dini gelombang karena adanya faktor atmosfer dan oseanografi lain yang berpotensi memicu peningkatan gelombang secara lokal. Dalam informasi peringatan dini BMKG disebutkan bahwa terdapat daerah konvergensi di Laut Jawa yang mendukung pertumbuhan awan hujan signifikan, khususnya di wilayah timur Jawa Timur, disertai pola angin dari barat daya hingga barat laut dengan kecepatan mencapai 7-29 knot. Kondisi angin yang relatif ini dapat meningkatkan energi gelombang, terutama di perairan terbuka yang berdekatan dengan Situbondo.

Kesesuaian antara kondisi aktual dan peringatan dini BMKG terlihat pada potensi terjadinya gelombang kategori sedang meskipun prakiraan rata-rata menunjukkan kondisi relatif tenang. BMKG Tanjung Perak memprakirakan terdapat potensi ketinggian gelombang mencapai 1,25 - 2,5m berpeluang terjadi di beberapa perairan utara Jawa Timur. Secara dinamika juga dapat memengaruhi perairan sekitar Situbondo akibat penjalaran gelombang dan interaksi angin-arus laut. Dengan demikian, peringatan dini tersebut bersifat antisipatif terhadap kemungkinan peningkatan gelombang sesaat atau lokal yang tidak selalu tergambar jelas pada peta prakiraan rata-rata, namun tetap berisiko terhadap keselamatan pelayaran, khususnya bagi perahu nelayan dan kapal berukuran kecil.

Peringatan dini yang dikeluarkan BMKG menyertakan:

- Peringatan gelombang sedang-tinggi.
- Anjuran peningkatan kewaspadaan bagi kapal kecil dan menengah.
- Informasi potensi angin kencang yang memperburuk kondisi gelombang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi gelombang laut di Perairan Situbondo pada saat tenggelamnya KLM Fajar Lorena Safari secara statistik memang berada pada kategori rendah, sebagaimana tercermin dari nilai tinggi gelombang signifikan yang relatif kecil. Namun, kajian ini menegaskan bahwa penilaian keselamatan pelayaran tidak dapat berhenti pada parameter tinggi gelombang semata. Dalam kerangka fisika gelombang dan mekanika fluida, periode gelombang, arah rambatan, serta interaksinya dengan angin dan arus memiliki peranan yang sama pentingnya dalam menentukan besarnya energi dan gaya yang bekerja pada kapal.

Peninjauan terhadap dinamika gelombang menunjukkan bahwa perubahan arah angin dominan dari barat-barat daya ke barat berpotensi memicu gelombang menyilang terhadap arah pelayaran kapal. Kondisi ini memperbesar peluang terjadinya gaya lateral dan momen gaya pada lambung kapal. Ketika gangguan gelombang tersebut bekerja secara periodik dengan periode yang mendekati karakteristik alami kapal, respons dinamis berupa gerakan rolling dapat meningkat secara signifikan,

meskipun gelombang tidak tergolong tinggi. Fenomena ini menjelaskan bagaimana kondisi laut yang tampak tenang secara visual tetap dapat menimbulkan risiko serius bagi kapal dengan stabilitas dinamis terbatas.

Selain itu, arus permukaan yang relatif konsisten turut berkontribusi dalam membentuk gaya hidrodinamika yang bekerja terus-menerus pada kapal. Kombinasi arus, gelombang, dan karakteristik KLM sebagai kapal kayu tradisional dengan ukuran relatif kecil menyebabkan sistem kapal-laut menjadi lebih rentan terhadap ketidakseimbangan. Masuknya air ke dalam lambung semakin memperburuk kondisi stabilitas dengan menurunkan momen pemulih, sehingga kapal lebih mudah kehilangan keseimbangan ketika menerima gangguan tambahan dari lingkungan laut.

Kesesuaian antara kondisi aktual dan peringatan dini BMKG menunjukkan bahwa peringatan yang dikeluarkan bersifat preventif dan relevan. Meskipun peta prakiraan rata-rata memperlihatkan gelombang rendah hingga sedang, adanya potensi peningkatan gelombang lokal akibat penguatan angin dan dinamika atmosfer regional tetap menjadi ancaman nyata, terutama bagi kapal kecil dan tradisional. Hal ini menegaskan bahwa peringatan dini tidak hanya ditujukan untuk kondisi ekstrem, tetapi juga untuk mengantisipasi risiko tersembunyi yang tidak selalu tercermin dalam nilai rata-rata parameter oseanografi.

Berdasarkan temuan tersebut, mitigasi risiko pelayaran di Perairan Situbondo perlu diarahkan pada peningkatan pemahaman awak kapal terhadap aspek dinamis gelombang, khususnya periode dan arah rambatan

gelombang, serta respons kapal terhadap gaya luar. Pemanfaatan informasi peringatan dini BMKG secara aktif, penyesuaian rute dan waktu pelayaran, serta perhatian khusus terhadap stabilitas kapal kayu tradisional menjadi langkah penting dalam meningkatkan keselamatan operasional. Dengan pendekatan fisika ini, penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam menurunkan risiko kecelakaan pelayaran meskipun kondisi laut secara statistik tampak relatif aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, P. D., Adrianto, D., Pranowo, W. S., & Alam, T. M. (2017). Analisis Karakteristik Gelombang Laut Guna Mendukung Data Informasi Operasi Keamanan Laut di Wilayah Laut Natuna dan Laut Natuna Utara: Analysis of Ocean Wave Characteristics to Support Marine Security Operation Information Data in the Natuna Sea and North Natuna Seas. *Jurnal Chart Datum*, 3(2), 107-131.
- Chaeran, M. (2018). TSUNAMI DAN KECELAKAAN KAPAL. *Jurnal Sains Dan Teknologi Maritim*, 18(1), 99-110.
- Dauhan, S. K., Tawas, H., Tangkudung, H., & Mamoto, J. D. (2013). Analisis karakteristik gelombang pecah terhadap perubahan garis pantai di Atep Oki. *Jurnal Sipil Statik*, 1(12), 784-796.
- D., Efendy, M., & Siswanto, A. D. (2009). Perbandingan fluktuasi

- muka air laut rerata (mlr) di perairan pantai utara Jawa Timur dengan perairan Pantai Selatan Jawa Timur. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 2(1), 31-39.
- Djojo, S., John, H., Indra, J., & Soen'an, H. P. (2010). Keselamatan kapal penangkap ikan, tinjauan dari aspek regulasi nasional dan internasional. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 1(1), 1-13.
- Hasrifin, H., Iskandar, A., Nanda, KG, & Kamur, S. (2024). Analisis Tinggi Gelombang Laut di Perairan Buton Selatan. *Jurnal Pendidikan*, 5 (4), 818-825.
- Kadhafi, M., Ramadhan, M. E., & Arbiantara, H. (2019). Mitigasi Kecelakaan Kapal di Pelawangan Pantai Pancer Kecamatan Pfluger Kabupaten Jember. *Warta Pengabdian*, 13(1), 28-35.
- Nugroho, K., & Joesidawati, M. I. (2021). Analisis Kecepatan Angin Pada Karakteristik Gelombang Laut di Perairan Tuban. *Prosiding SNasPPM*, 6(1), 432-436.
- Maulidia, D., Ardani, M. F., Sulistiawati, S., Narantaka, N., & Maruf, M. (2024). Analisis Keselamatan Dan Evaluasi Risiko Kecelakaan: Studi Kasus Kerusakan Dermaga Akibat Keputusan Olah Gerak Di Pelabuhan XYZ. *Jurnal Sains dan Teknologi Maritim*, 25(1), 14-28.
- Purwangka, F., Wisudo, S. H., Iskandar, B. H., & Haluan, J. (2013). Kebijakan Internasional mengenai Keselamatan Nelayan. *Buletin PSP*, 21(1), 51-65.
- Rahman, A. (2022). Optimalisasi peningkatan keselamatan angkutan penyeberangan lintas Pamatata–Bira Sulawesi Selatan. *ILTEK: Jurnal Teknologi*, 17(1), 52-58.
- Retika, F., Sugianto, D. N., & Widiaratih, R. (2024). Analisis Terjadinya Gelombang Tinggi Akibat Pola Pergerakan Angin Terkait Keselamatan Pelayaran di Perairan Utara Jawa Tengah. *Indonesian Journal of Oceanography*, 6(4), 334-343.
- Risandi, J., Sagala, S. L., & Pranowo, W. S. (2015). Aplikasi model numerik karakteristik gelombang untuk kajian kesesuaian lahan pengembangan budidaya laut di Situbondo, Jawa Timur. *Jurnal Kelautan Nasional*, 10(1), 21-31.
- Sugianto, D. N. (2009). Kajian kondisi hidrodinamika (pasang surut, arus, dan gelombang) di perairan Grati Pasuruan, Jawa Timur. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 14(2), 66-75.
- Taryono, T., Sofian, I., Kuswardani, A. R. T. D., & Alam, T. M. (2016). Analisis Panjang dan Tinggi Gelombang untuk Operasi KRI TNI-AL di Perairan Indonesia: Analysis of Wave Length and Height for KRI TNI-AL

Operations in Indonesian Waters. *Jurnal Chart Datum*, 2(1), 72-87.

Wahyuni, A. A. I. S., & Rahmawati, M. (2018). Implementasi Ism Code pada Kapal Kapti Pelabuhan Tanjung Perak. *Jurnal Teknologi Maritim*, 1(1), 11-24.

Yahya, S. (2022). IDENTIFIKASI RISIKO KRITIS KECELAKAAN KAPAL TENGGELAM (Studi kasus: kecelakaan di perairan laut Indonesia dan kapal berbendera Indonesia). In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 7, pp. 34-39).