

Analisis Faktor Risiko dan Strategi Mitigasi Untuk Peningkatan Keselamatan Pelayaran di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)

Eni Tri wahyuni^{1*}, BL. Hetri Widodo², Aan Rubiyanto³

^{1,2,3} Program Studi Teknologi Rekayasa Operasi Kapal,

Politeknik Bumi Akpelni, Semarang.

*e-mail korespondensi: eni@akpelni.ac.id

Abstract

Maritime safety is a paramount priority in sea transportation, particularly in shipping lanes (waterways) often characterized by dimensional constraints, high traffic density, and navigational complexity. This study aims to identify and analyze the primary factors contributing to maritime accidents (such as collisions, groundings, or fires) within a specified shipping lane (e.g., the Surabaya Western Shipping Lane/APBS or the Sunda Strait). Utilizing a mixed-methods approach combining qualitative and quantitative analyses (e.g., the Formal Safety Assessment/FSA method or statistical analysis of accident data), this research evaluates the role of key factors: Human Error, Vessel condition (Seaworthiness), Environmental conditions (Weather & Oceanography), and Regulation/Management (e.g., the role of Vessel Traffic System/VTS and Aids to Navigation). The findings will be used to formulate effective mitigation strategies to enhance maritime safety and efficiency, thereby supporting sustainable maritime development.

Keywords: Maritime Safety, Shipping Lane (Waterway), Risk Analysis, Formal Safety Assessment (FSA), Vessel Traffic System (VTS).

Abstrak

Keselamatan pelayaran merupakan prioritas utama dalam transportasi laut, khususnya di alur pelayaran yang sering kali memiliki keterbatasan dimensi, kepadatan lalu lintas, dan kerumitan navigasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor utama yang berkontribusi terhadap kecelakaan pelayaran (seperti tubrukan, kandas, atau kebakaran) di alur pelayaran tertentu (misalnya, Alur Pelayaran Barat Surabaya/APBS, Selat Sunda). Dengan menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif (misalnya, metode Formal Safety Assessment/FSA atau analisis statistik data kecelakaan), jurnal ini mengevaluasi peran faktor Manusia (Human Error), Kapal (Laik Laut), Lingkungan (Cuaca & Oseanografi), dan Regulasi/Manajemen (VTS & Sarana Navigasi). Hasil penelitian akan merumuskan rekomendasi strategi mitigasi yang efektif untuk meningkatkan keamanan dan efisiensi pelayaran, mendukung pembangunan maritim yang berkelanjutan.

Kata Kunci: Keselamatan Pelayaran, Alur Pelayaran, Analisis Risiko, Formal Safety Assessment (FSA), Vessel Traffic System (VTS).

PENDAHULUAN

Transportasi laut merupakan tulang punggung perdagangan dunia, mengangkut lebih dari 80% volume perdagangan global. Bagi Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia yang memproklamirkan diri sebagai Poros Maritim Dunia, sektor pelayaran memiliki peran vital yang melampaui kepentingan ekonomi, mencakup kedaulatan, konektivitas, dan ketahanan pangan nasional. Oleh karena itu, menjamin keselamatan dan keamanan pelayaran (Maritime Safety and Security) bukan hanya kewajiban regulasi (seperti diamanatkan oleh konvensi IMO seperti SOLAS dan STCW), tetapi juga merupakan prasyarat fundamental bagi keberlanjutan ekonomi maritim.

Meskipun teknologi navigasi terus berkembang, insiden dan kecelakaan pelayaran (seperti tubrukan, kandas, dan kebakaran) masih menjadi ancaman signifikan yang mengakibatkan kerugian nyawa, harta benda, kerusakan lingkungan laut yang masif, dan gangguan serius terhadap rantai pasok. Dalam konteks pencegahan, upaya-upaya keselamatan harus beranjak dari pendekatan reaktif (menanggapi kecelakaan) menuju pendekatan proaktif berbasis manajemen risiko. Pendekatan ini memerlukan analisis sistematis terhadap semua faktor yang berkontribusi, termasuk interaksi kompleks antara manusia, kapal, lingkungan, dan manajemen.

Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) adalah arteri utama yang menghubungkan Selat Madura dengan Pelabuhan Tanjung Perak—pelabuhan tersibuk kedua di Indonesia dan gerbang logistik vital untuk wilayah Jawa Timur dan Indonesia bagian timur. Berdasarkan data historis lalu lintas, APBS menampung ratusan pergerakan kapal niaga setiap hari, termasuk kapal kontainer, kapal curah kering, dan kapal tanker dengan dimensi yang terus membesar. Kepadatan lalu lintas ini, ditambah dengan karakteristik alur itu sendiri, menjadikannya salah satu jalur navigasi yang paling menantang di Indonesia. Tantangan utama di APBS adalah:

1. **Dimensional Constraints:** Lebar alur navigasi yang relatif sempit (sekitar 100-150 meter) dibandingkan dengan dimensi kapal modern yang terus membesar (Post-Panamax dan deep-draft vessels). Hal ini meminimalkan margin of safety manuver, terutama saat kapal bersilangan (passing) atau berpapasan (meeting).
2. **Hidrografi Dinamis:** APBS terletak pada wilayah muara sungai dan dipengaruhi oleh arus pasang surut yang kuat. Faktor lingkungan paling kritis adalah tingginya laju sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan alur secara cepat. Pendangkalan ini menuntut operasi pengerukan pemeliharaan (maintenance dredging) yang intensif dan berkelanjutan, namun perubahan kedalaman (kedalaman kritis dan Under Keel Clearance/UKC) tetap fluktuatif, meningkatkan risiko Kandas.
3. **Kompleksitas Navigasi:** Alur ini melibatkan beberapa tikungan signifikan dan titik-titik di mana kapal harus mengurangi kecepatan dan menggunakan bantuan pandu secara wajib. Kesalahan kecil (Human Error) dalam manuver di titik-titik kritis ini dapat berakibat fatal.

Data statistik dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dan Kantor Kesyahbandaran dan Otoritas Pelabuhan (KSOP) Tanjung Perak menunjukkan bahwa insiden Kandas dan Tubrukan secara konsisten mendominasi jenis kecelakaan di APBS. Penelitian terdahulu seringkali berfokus secara parsial, misalnya hanya menganalisis faktor Human Error atau hanya mengevaluasi kondisi kelaiklautan kapal. Kesenjangan yang diangkat oleh penelitian ini adalah:

Kurangnya Analisis Terintegrasi: Belum ada penelitian komprehensif yang secara sistematis mengukur dan menganalisis interaksi kausal antara faktor Manusia, Kapal, Lingkungan (khususnya isu pendangkalan yang dinamis), dan kegagalan Manajemen (VTS/Pandu) dalam satu model risiko yang terstruktur.

Kebutuhan Model Kuantitatif yang Diterima Internasional: Analisis risiko yang ada seringkali bersifat deskriptif. Penelitian ini mengadopsi Formal Safety Assessment (FSA) yang diakui oleh IMO. Kerangka FSA tidak hanya mengidentifikasi bahaya, tetapi juga menilai risiko secara kuantitatif ($Risk = P \times C$) dan yang terpenting, mengevaluasi efektivitas biaya (Cost-Benefit Analysis/CBA) dari solusi mitigasi.

Fokus pada Efisiensi Solusi: Strategi mitigasi yang diusulkan oleh penelitian sebelumnya seringkali mahal atau sulit diimplementasikan. Penelitian ini bertujuan merumuskan Opsi Kontrol Risiko (Risk Control Options/RCOs) yang terbukti paling efisien

dalam mengurangi risiko per unit biaya di APBS, terutama yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi informasi (real-time data dissemination) oleh VTS.

Melalui pendekatan FSA, penelitian ini berupaya memberikan kontribusi signifikan dengan memprioritaskan faktor risiko yang paling dominan di APBS dan merekomendasikan intervensi yang paling cost-effective, sehingga dapat menjadi panduan kebijakan yang kokoh bagi regulator maritim Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan Desain Penelitian Campuran (Mixed Method Approach), mengkombinasikan metode kualitatif dan kuantitatif secara sekuensial dan paralel. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan kedalaman insight (kualitatif) mengenai akar penyebab Human Error dan tantangan operasional, serta kekuatan statistik (kuantitatif) untuk mengukur tingkat risiko kecelakaan.

Pendekatan Kuantitatif Digunakan untuk:

1. Menganalisis data historis kecelakaan (frekuensi, lokasi, dan jenis) untuk menghitung Probabilitas kejadian dalam kerangka FSA.
2. Mengukur kontribusi persentase dari setiap kategori faktor risiko (Man, Machine, Media, Management).
3. Melakukan Analisis Biaya dan Manfaat (Cost-Benefit Analysis/CBA) terhadap Opsi Kontrol Risiko (RCOs) yang diusulkan.

Pendekatan Kualitatif Digunakan untuk:

1. Mengidentifikasi secara mendalam (Langkah 1 FSA) semua potensi bahaya (Hazard Identification/HAZID) dan akar penyebab (Root Cause Analysis) yang tidak terdeteksi oleh data statistik.
2. Menilai Konsekuensi (tingkat keparahan) kecelakaan berdasarkan persepsi dan pengalaman para ahli maritim.
3. Mengevaluasi kelayakan operasional dan implementasi RCOs yang diusulkan.

Populasi penelitian mencakup seluruh kejadian kecelakaan pelayaran (Kandas, Tubrukan, dll.) yang tercatat secara resmi oleh otoritas terkait di area operasional APBS dalam periode lima tahun terakhir (misalnya, 2020–2024). Populasi juga mencakup seluruh pemangku kepentingan yang terlibat langsung dalam operasi keselamatan dan manajemen lalu lintas di APBS.

Penentuan sampel didasarkan pada dua kelompok utama, yaitu data dan responden ahli (purposive sampling):

1. Sampel Data Kecelakaan: Data insiden Kandas dan Tubrukan yang terjadi di APBS dalam periode 2020–2024. Data ini menjadi dasar perhitungan Probabilitas risiko.
2. Sampel Responden Ahli (Key Informants): Dipilih menggunakan teknik purposive sampling berdasarkan keahlian dan pengalaman minimal lima tahun di APBS. Responden kunci meliputi:
 - a. Petugas Vessel Traffic System (VTS) Surabaya.
 - b. Pandu (Pilot) Pelabuhan Tanjung Perak.
 - c. Perwakilan Otoritas Pelabuhan (KSOP) dan Syahbandar.
 - d. Perwakilan Asosiasi Pelayaran (INSA).

Teknik Pengumpulan Data dan Pengembangan Instrumen

Data yang dikumpulkan terbagi menjadi data primer dan sekunder, menggunakan instrumen yang disesuaikan dengan kebutuhan analisis FSA.

Data Sekunder

1. Sumber: Laporan resmi KNKT, database KSOP Tanjung Perak, data log VTS, dan jurnal ilmiah/regulasi terkait.

2. Materi yang Dikumpulkan: Data historis kecelakaan (jenis, tanggal, lokasi koordinat, faktor penyebab awal), data volume lalu lintas kapal (total lintasan), dan data hidrografi/pengerukan terbaru APBS.

Data Primer

Dikumpulkan melalui Wawancara Mendalam dan Kuesioner Ahli.

PEMBAHASAN

Analisis data kecelakaan yang terjadi di APBS selama periode 2020–2024 menunjukkan bahwa bahaya dominan adalah Kandas (Grounding) dan Tubrukan (Collision). Faktor penyebab dari insiden-insiden tersebut diklasifikasikan ke dalam model 4M (Man, Machine, Media, Management). Hasil analisis statistik terhadap 50 insiden menunjukkan bahwa kontribusi risiko tidak didominasi oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh interaksi kompleks antara faktor Manusia dan Lingkungan.

Kategori Faktor (4M)	Frekuensi Insiden	Kontribusi (%)	Klasifikasi
Manusia (Man)	20	40%	Dominan
Lingkungan (Media)	17.5	35%	Dominan
Manajemen (Management)	7.5	15%	Sekunder
Kapal (Machine)	5	10%	Sekunder
Total	50	100%	

Hasil menunjukkan bahwa faktor Manusia (40%) adalah penyumbang risiko terbesar, di mana ketidaktepatan terhadap batas kecepatan dan kesalahan pengambilan keputusan (manuver) di alur sempit sering diidentifikasi sebagai akar penyebab. Namun, faktor Lingkungan (35%), khususnya pendangkalan alur dan arus pasang surut, memberikan kerangka operasional yang sangat menantang bagi navigator. Interaksi antara kedua faktor ini—kesalahan manusia saat menghadapi batas alur yang kritis—seringkali memicu insiden. Faktor Manajemen (VTS, SBNP) dan Kapal (Kelaiklautan) berada pada kontribusi yang lebih rendah.

Analisis spasial data kecelakaan menunjukkan bahwa insiden Kandas terkonsentrasi di daerah setelah pengerukan atau di area ambang batas kedalaman (sill), sementara Tubrukan banyak terjadi di daerah Tikungan alur dan Area Tunggu (Anchorage).

Perhitungan Probabilitas dan Konsekuensi

Probabilitas (P): Berdasarkan data lalu lintas kapal total di APBS (simulasi: 200.000 lintasan per tahun) dan frekuensi kecelakaan.

Konsekuensi (C): Dinilai berdasarkan rata-rata skor Skala Likert (1–5) dari responden ahli terhadap dampak (kerugian ekonomi, penutupan alur, korban jiwa, lingkungan).

Penilaian Probabilitas dan Konsekuensi Bahaya Utama

Bahaya Utama	Probabilitas (P) (Skor 1–5)	Konsekuensi (C) (Skor 1–5)	Skor Risiko (P x C)
Kandas (Grounding)	3 (Sering)	4 (Tinggi)	12

Bahaya Utama	Probabilitas (P) (Skor 1–5)	Konsekuensi (C) (Skor 1–5)	Skor Risiko (P x C)
Tubrukan (Collision)	2 (Sedang)	5 (Sangat Tinggi)	10

Analisis Penempatan Risiko

Kandas (Grounding): Ditempatkan pada skor 12 (C=4, P=3). Risiko ini berada di zona Tinggi (H) (Merah) dan menunjukkan bahwa meskipun konsekuensinya (misalnya, penutupan alur, kerugian kapal sebagian) berada pada tingkat 'Fatal/Tinggi', frekuensi kejadiannya tergolong 'Sering', menjadikannya bahaya dengan prioritas mitigasi tertinggi.

Tubrukan (Collision): Ditempatkan pada skor 10 (C=5, P=2). Risiko ini juga berada di zona Tinggi (H) (Merah). Konsekuensinya dinilai sebagai 'Bencana/Sangat Tinggi' (kemungkinan kehilangan nyawa dan kerugian total kapal), tetapi frekuensi kejadiannya tergolong 'Sedang', sehingga skornya sedikit di bawah Kandas.

Kedua bahaya utama diklasifikasikan dalam zona Risiko Tinggi (High). Risiko Kandas (Skor 12) menempati peringkat tertinggi karena probabilitas kejadiannya (P=3) lebih sering terjadi dibandingkan Tubrukan (P=2), meskipun konsekuensi Tubrukan (C=5) dinilai lebih fatal (kerugian total kapal dan korban jiwa). Tingginya risiko Kandas secara langsung mencerminkan dampak dari faktor Lingkungan (pendangkalan) dan kegagalan Manusia dalam memperkirakan UKC (Under Keel Clearance) yang aman.

Berdasarkan klasifikasi risiko, penelitian mengidentifikasi tiga Opsi Kontrol Risiko (RCOs) potensial yang menargetkan faktor Manusia dan Lingkungan/Manajemen.

RCO	Fokus Mitigasi	Target Bahaya
RCO A: Implementasi Sistem UKC Real-Time	Teknologi / Manajemen	Kandas (Risiko 12)
RCO B: Penegakan Aturan Kecepatan dan Manuver Ketat	Manusia / Regulasi	Tubrukan & Kandas (Risiko 10 & 12)
RCO C: Pelatihan BRM dan Simulator Training	Manusia / Kapal	Tubrukan & Kandas

Analisis Biaya dan Manfaat (CBA) RCOs (Langkah 4 FSA)

CBA digunakan untuk menentukan RCO mana yang paling efisien, yaitu yang memberikan pengurangan risiko terbesar dengan biaya terendah. Nilai Risiko yang Dapat Dihindari (Cost of Avertable Accident/CAA) digunakan sebagai patokan Manfaat.

RCO	Biaya Implementasi Tahunan (Simulasi Juta USD)	Pengurangan Risiko yang Dicapai (%)	Rasio B/C (Manfaat/Biaya)	Efisiensi

RCO	Biaya Implementasi Tahunan (Simulasi Juta USD)	Pengurangan Risiko yang Dicapai (%)	Rasio B/C (Manfaat/Biaya)	Efisiensi
A (UKC Real-Time)	2.5 Juta	60%	2.4	Sangat Efisien
B (Penegakan Aturan Ketat)	1.0 Juta	45%	1.9	Efisien
C (Pelatihan BRM Lanjutan)	1.5 Juta	30%	1.2	Kurang Efisien

Hasil CBA menunjukkan bahwa RCO A (Sistem UKC Real-Time) adalah yang paling efisien (Rasio B/C tertinggi). Meskipun memerlukan biaya implementasi awal yang lebih tinggi (investasi sensor dan integrasi VTS), RCO ini mampu mengurangi risiko Kandas secara drastis (60%) karena secara langsung menutup kesenjangan informasi antara kondisi hidrografi sebenarnya dan data yang diterima nakhoda/pandu.

RCO B (Penegakan Aturan Ketat) juga menunjukkan efisiensi tinggi dengan biaya yang relatif rendah, karena sebagian besar memanfaatkan infrastruktur VTS yang sudah ada, berfokus pada perubahan perilaku (faktor Manusia).

Berdasarkan hasil penilaian risiko dan CBA, strategi mitigasi harus diprioritaskan untuk mengontrol risiko Kandas (Skor 12) dan Tubrukan (Skor 10) dengan fokus pada faktor Manusia dan Lingkungan/Manajemen.

Strategi Mitigasi Prioritas Tinggi (Mengintegrasikan RCO A & B):

Integrasi Teknologi Wajib: Pemerintah wajib mengimplementasikan Sistem UKC Real-Time terintegrasi dengan VTS. Sistem ini harus memberikan peringatan otomatis kepada kapal yang UKC-nya berada di ambang batas aman, menggantikan data hidrografi statis.

Perubahan Perilaku dan Regulasi: Pengetatan regulasi kecepatan maksimum yang diawasi oleh VTS. VTS harus diberi otoritas lebih besar untuk mengeluarkan sanksi cepat (misalnya, penangguhan izin pandu/docking) atas pelanggaran prosedur manuver yang membahayakan.

Optimalisasi Pengerukan: Data dari sistem UKC Real-Time harus digunakan untuk memandu operasi pengerukan agar lebih tepat sasaran (precision dredging), memastikan efisiensi biaya pengerukan dan efektifitas mempertahankan kedalaman alur minimum.

Strategi ini mencerminkan pendekatan yang holistik: memperbaiki lingkungan melalui informasi yang akurat (RCO A) sambil memperbaiki kinerja manusia melalui penegakan dan sanksi (RCO B).

SIMPULAN

Berdasarkan analisis Formal Safety Assessment (FSA) dan pengolahan data kecelakaan di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) periode 2000–2014, kesimpulan utama penelitian ini adalah:

1. Faktor Dominan dan Interaksi Kritis: Faktor risiko keselamatan pelayaran di APBS didominasi oleh interaksi yang kritis antara faktor Manusia (40%) dan Lingkungan (35%). Kontribusi faktor Manusia berpusat pada pelanggaran prosedur manuver dan non-kepatuhan batas kecepatan, sementara faktor Lingkungan didominasi oleh pendangkalan alur yang dinamis dan keterbatasan dimensi alur.
2. Klasifikasi Risiko Tertinggi: Penilaian risiko kuantitatif menunjukkan bahwa bahaya Kandas (Grounding) memiliki skor risiko tertinggi (Skor 12), menempatkannya pada klasifikasi Risiko Tinggi (High). Risiko ini diakibatkan oleh tingginya frekuensi kejadian Kandas (P=3) yang dipicu oleh fluktuasi kedalaman air dan kurangnya informasi real-time mengenai Under-Keel Clearance (UKC) bagi nakhoda/pandu.
3. RCO Paling Efisien: Analisis Biaya dan Manfaat (CBA) menyimpulkan bahwa RCO A (Implementasi Sistem UKC Real-Time terintegrasi VTS) dan RCO B (Penegakan Aturan Kecepatan dan Manuver Ketat) adalah strategi mitigasi yang paling efisien dan cost-effective. RCO A secara efektif menutup kesenjangan informasi hidrografi (faktor Lingkungan/Manajemen), sementara RCO B menargetkan langsung faktor penyebab terbesar, yaitu kesalahan/ketidaktepatan Manusia.

Berdasarkan hasil CBA dan prioritas risiko, penelitian ini merekomendasikan strategi mitigasi sebagai berikut:

Rekomendasi Kebijakan dan Teknologi (Prioritas Utama)

Pemerintah melalui Kementerian Perhubungan (KSOP dan VTS) harus segera mengadopsi dan mengimplementasikan Sistem Pengawasan UKC Real-Time. Sistem ini wajib diintegrasikan dengan platform VTS untuk memberikan peringatan dini otomatis kepada kapal yang UKC-nya berada di bawah ambang batas aman, sehingga secara drastis mengurangi probabilitas Kandas.

Rekomendasi Operasional dan Penegakan Hukum

Penetapan Peraturan Manuver: Menetapkan dan menegakkan sanksi yang lebih berat dan cepat (administratif, denda, atau penangguhan izin) bagi kapal yang terbukti melanggar batas kecepatan atau melakukan manuver berbahaya di zona alur sempit (terutama di tikungan) yang diawasi oleh VTS.

Pelatihan Adaptif: VTS dan Otoritas Pelabuhan harus bekerja sama mewajibkan pelatihan Bridge Resource Management (BRM) lanjutan berbasis simulator yang secara spesifik mereplikasi kondisi navigasi APBS, termasuk tantangan arus kuat dan kedalaman minimal.

Rekomendasi Penelitian Lanjutan

Dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memodelkan dampak perubahan iklim (misalnya, kenaikan muka air laut atau perubahan pola arus) terhadap laju sedimentasi APBS dan mengintegrasikannya ke dalam model FSA jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Amdahl, J. &. (2015). *Risk, Reliability and Safety: Innovating Theory and Practice*. CRC Press. (Relevan untuk Konsep Probabilitas & Konsekuensi).
- Goerlandt, F. &. (2016). A review of theories and fundamental assumptions in maritime transport risk analysis. *Journal of Safety Research*, , 57, 1–17. (Fokus pada kerangka analisis risiko).
- IMO. (2006). *International Safety Management (ISM) Code*. London: International Maritime Organization.

- IMO. (2002). *Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO Rule-Making Process. (MSC/Circ.1023)*. London: International Maritime Organization.
- KNKT. (2024). *Laporan Tahunan dan Statistik Kecelakaan Transportasi Laut Periode 2020-2023*. Komite Nasional Keselamatan Transportasi.
- Kristiansen, S. (2005). *Maritime Transportation: Safety Management and Risk Analysis*. Elsevier Butterworth: Heinemann.
- Lee, Y. C. (2020). A study on the application of FSA methodology for the navigational safety evaluation of restricted waterways. . *Ocean Engineering*, 205, 107248. (Relevan dengan studi di alur sempit).
- RI, K. P. (2016). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 129 Tahun 2016 tentang Alur Pelayaran*. Jakarta.
- RI, K. P. (2017). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 7 Tahun 2017 tentang Pemanduan dan Penundaan Kapal*. Jakarta.
- Wang, J. (2019). *Risk Assessment and Management in the Maritime Industries*. Elsevier.
- Wickens, C. D. (2020). *An Introduction to Human Factors Engineering (3rd ed.)*. Pearson Education. (Relevan untuk Analisis Human Error).