



## **Analisis Pengaruh Cuaca dan Arus Pasang Surut terhadap Keselamatan Pelayaran Kapal di Tuks PT. Bai Bintan**

**Andi Rusdin\* , Mudiyanto, Supangat**

Universitas Hang Tuah, Indonesia

Email: [arusdin1977@gmail.com](mailto:arusdin1977@gmail.com)\*

| <b>Keywords:</b>                         | <b>Abstract</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Pilotage Safety; Current; Weather</i> | <i>Weather dynamics and transverse flow anomalies on the shipping channel greatly affect ship maneuvers in the North Channel of TUKS PT. The narrow BAI of Bintan, so it has the potential to threaten the safety of shipping. This research aims to analyze the characteristics of weather conditions and tidal currents, identify safety risks that arise, and evaluate mitigation measures implemented in the North Flow of TUKS PT. BAI Bintan. The research uses a qualitative descriptive method with data collection techniques through field observation, documentation, and in-depth interviews with practitioners in the field, namely guide officers, guide motorcycle crews, and tugboat crews. The results of the research show that the main factors that threaten safety are transverse currents that trigger the phenomenon of set and drift, as well as high waves that make it difficult to transfer scout personnel. The impacts caused include the potential for ships to run aground, drift, delays in guidance services of up to 2 days, and work accidents in the form of guidance officers hanging from the hull due to unstable stairways. Mitigation efforts include real-time assessment of weather conditions, safe speed management, optimization of the use of large thrust tugboats, and service delays in extreme conditions to ensure the safety of lives and assets. The study concludes that the combination of bad weather and strong tidal currents demands high vigilance and strict safety procedures in boat guiding activities in narrow channels.</i> |

| <b>Kata kunci:</b>                 | <b>Abstrak</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Keselamatan Pemanduan; Arus; Cuaca | Dinamika cuaca dan anomali arus yang melintang terhadap alur pelayaran sangat berpengaruh terhadap manuver kapal di Alur Utara TUKS PT. BAI Bintan yang sempit, sehingga berpotensi mengancam keselamatan pelayaran. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik kondisi cuaca dan arus pasang surut, mengidentifikasi risiko keselamatan yang muncul, serta mengevaluasi langkah mitigasi yang diterapkan di Alur Utara TUKS PT. BAI Bintan. Penelitian menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data melalui observasi lapangan, dokumentasi, dan wawancara mendalam terhadap praktisi di lapangan, yaitu perwira pandu, ABK motor pandu, dan kru kapal tunda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor utama yang mengancam keselamatan adalah arus melintang yang memicu fenomena <i>set and drift</i> , serta gelombang tinggi yang menyulitkan proses transfer personel pandu. Dampak yang ditimbulkan meliputi potensi kapal kandas, hanyut, keterlambatan pelayanan pemanduan hingga 2 hari, serta kecelakaan kerja berupa perwira pandu yang tergantung di lambung kapal akibat tangga pandu tidak stabil. Upaya mitigasi yang dilakukan meliputi |

---

penilaian kondisi cuaca secara *real-time*, pengaturan kecepatan aman, optimalisasi penggunaan kapal tunda berdaya dorong besar, serta penundaan pelayanan pada kondisi ekstrem untuk menjamin keselamatan nyawa dan aset. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kombinasi cuaca buruk dan arus pasang surut yang kuat menuntut kewaspadaan tinggi dan prosedur keselamatan yang ketat dalam kegiatan pemanduan kapal di alur sempit.

---

## PENDAHULUAN

Dalam ekosistem pelabuhan, keselamatan pemanduan menjadi variabel paling krusial, terutama pada alur pelayaran yang memiliki ruang manuver terbatas dan dinamika lingkungan yang tinggi. Alur Utara Terminal Untuk Kepentingan Sendiri (TUKS) PT Bintan Alumina Indonesia (PT BAI) adalah contoh nyata perairan dengan karakteristik sempit yang sangat dipengaruhi oleh cuaca dan arus pasang surut. Operasional harian di sana menuntut ketelitian tingkat tinggi bagi kapal yang keluar-masuk dermaga; Oleh karena itu seorang Pilot/Pandu dan Nakhoda dituntut untuk selalu waspada terhadap hal-hal yang dapat menyebabkan kecelakaan kapal (Aven, 2015).

Kegiatan pemanduan di Alur Utara sering kali harus berhadapan dengan situasi sulit akibat cuaca ekstrem, di mana angin kencang dan gelombang tinggi menjadi penghalang utama. Situasi tersebut tak pelak membuat motor pandu kepayahan saat hendak merapat ke lambung kapal, sebuah kondisi yang mengancam keselamatan pandu saat harus berpindah kapal. Selain faktor cuaca, dinamika arus pasang surut yang bergerak melintang terhadap alur turut memperburuk keadaan; kapal-kapal raksasa dengan kecepatan rendah kerap kehilangan stabilitas jalurnya karena terdorong ke samping, yang jika tidak diantisipasi, akan sangat sulit untuk dikembalikan ke rute aman yang telah direncanakan. Fenomena ini dikenal sebagai *set and drift*, di mana kapal mengalami pergeseran lateral (*set*) dan hanyutan (*drift*) akibat dorongan arus melintang (Cockcroft & Lameijer, 2012). Pada alur sempit seperti di TUKS PT BAI, fenomena ini menjadi sangat kritis karena ruang gerak kapal yang terbatas (Maljković et al., 2024).

Beberapa penelitian telah mengkaji pengaruh cuaca dan arus terhadap keselamatan pelayaran. Cockcroft & Lameijer, (2012) membahas pengaruh arus dan angin terhadap manuver kapal dalam aturan pencegahan tubrukan di laut. (Maljković et al., 2024) mengkaji manuver kapal di perairan dangkal dan sempit, menyoroti pentingnya prediksi perilaku kapal terhadap gaya hidrodinamik. (Kobayashi, 2019) membahas teknik *ship handling* dan manajemen tim anjungan dalam kondisi lingkungan yang menantang. (2 Lataire & Vantorre, 012) meneliti interaksi kapal dengan dinding alur (*bank effect*) yang dapat menyebabkan kapal tertarik ke tepi alur. (Rawson & Tupper, 2001) membahas teori dasar kapal dan pengaruh kondisi lingkungan terhadap stabilitas dan manuver kapal. Namun, penelitian yang secara spesifik mengkaji pengaruh cuaca dan arus pasang surut terhadap keselamatan pemanduan di alur sempit TUKS PT BAI Bintan masih terbatas. Sebagian besar penelitian berfokus pada aspek teknis navigasi tanpa mengintegrasikan analisis risiko keselamatan personel pandu dan strategi mitigasi operasional di lapangan.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu, terdapat beberapa kesenjangan yang menjadi dasar urgensi penelitian ini. Penelitian tentang pengaruh cuaca dan arus terhadap keselamatan pemanduan di alur sempit TUKS PT BAI Bintan masih terbatas,

padahal karakteristik perairan ini berbeda dengan alur pelayaran pada umumnya. Sebagian besar penelitian berfokus pada aspek teknis navigasi tanpa mengintegrasikan analisis risiko keselamatan personel pandu dan strategi mitigasi operasional. Studi tentang fenomena *set and drift* di alur sempit dengan arus melintang juga masih jarang dilakukan, terutama yang mengkaji dampaknya terhadap kemampuan manuver kapal dan keselamatan transfer personel pandu. Dengan demikian, terdapat celah untuk menganalisis karakteristik cuaca dan arus, mengidentifikasi risiko keselamatan, serta mengevaluasi langkah mitigasi yang diterapkan di Alur Utara TUKS PT BAI Bintan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada analisis komprehensif pengaruh cuaca dan arus pasang surut terhadap keselamatan pemanduan di alur sempit TUKS PT BAI Bintan, yang mencakup tidak hanya aspek manuver kapal tetapi juga keselamatan personel pandu. Penelitian ini mengintegrasikan tiga pendekatan—observasi lapangan, wawancara mendalam dengan praktisi, dan dokumentasi—dalam satu kerangka analisis untuk memastikan validitas temuan. Penelitian ini juga mengkaji secara spesifik fenomena *set and drift* yang dipicu arus melintang di alur sempit serta dampaknya terhadap potensi kandas dan hanyut kapal, serta mengevaluasi efektivitas langkah mitigasi yang diterapkan, termasuk penggunaan kapal tunda berdaya dorong besar dan penundaan pelayanan pada kondisi ekstrem.

Operasional pemanduan di Alur Utara TUKS PT. BAI nyatanya beroperasi di bawah kendali penuh dinamika cuaca dan arus pasang surut yang sering kali fluktuatif. Fluktuasi elemen alam di perairan ini nyatanya menjadi faktor penentu bagi keberhasilan manuver motor pandu, terjaganya stabilitas kapal di jalur sempit, hingga tingkat keamanan personil saat melakukan transfer (embarkasi-debarkasi). Berangkat dari kompleksitas tersebut, penelitian ini menguraikan beberapa rumusan masalah, yaitu bagaimana karakteristik kondisi cuaca di Alur Utara TUKS PT BAI dan pengaruhnya terhadap proses pemanduan kapal, bagaimana pengaruh kondisi arus pasang surut terhadap manuver kapal selama kegiatan pemanduan, apa saja bentuk risiko keselamatan yang muncul sebagai konsekuensi dari perpaduan antara cuaca buruk dan kuatnya arus pasang surut, serta langkah mitigasi apa yang diterapkan oleh pihak pemanduan guna meminimalisir dampak dari kondisi lingkungan yang tidak bersahabat tersebut. Penelitian ini dibatasi pada kondisi operasional pemanduan kapal yang berlangsung di Alur Utara TUKS PT. BAI, yaitu lokasi utama pelayanan kapal menuju dan dari dermaga PT. Bintan Alumina Indonesia. Pembatasan ini sengaja dilakukan supaya fokus penelitian tidak melebar dan tetap berpusat pada zona dengan frekuensi pelayanan paling padat sekaligus memiliki risiko paling tinggi akibat anomali cuaca.

Adapun parameter teknis yang dibedah secara mendalam mencakup dampak angin kencang, hempasan ombak, hingga fenomena arus melintang (*cross current*) yang kerap mengganggu stabilitas alur pemanduan—terutama saat motor pandu melakukan pendekatan, proses naik-turunnya pandu, hingga manuver kapal di area sempit. Di luar urusan lingkungan, variabel lain seperti kerusakan mesin, kendala komunikasi antar-kru, maupun malfungsi alat navigasi diputuskan untuk tidak diikutsertakan dalam ruang lingkup kajian ini.

Penetapan subjek penelitian ini dikerucutkan hanya pada figur-figur yang bersentuhan langsung dengan dinamika lapangan, yakni perwira pandu, ABK motor pandu,

serta kru kapal tunda, mengingat peran sentral mereka dalam rantai pelayanan pemanduan di sana. Selain itu, cakupan penelitian dibatasi pada koridor operasional normal; artinya, kejadian luar biasa seperti badai siklon atau penghentian total pelayaran tidak dimasukkan dalam hitungan. Fokus utamanya sengaja diarahkan pada kondisi cuaca dan arus harian yang, meski tergolong umum, justru sering kali menjadi ancaman laten bagi keselamatan pelayaran di sepanjang Alur Utara PT Bintan Alumina Indonesia.

Berangkat dari pokok permasalahan yang telah dipaparkan, riset ini ditujukan untuk untuk menganalisis karakteristik kondisi cuaca di Alur Utara TUKS PT BAI dan pengaruhnya terhadap proses pemanduan kapal, menganalisis sejauh mana dinamika arus pasang surut mempengaruhi kemampuan manuver kapal, mengidentifikasi bentuk risiko keselamatan yang muncul akibat kombinasi cuaca buruk dan arus kuat, serta mengevaluasi langkah mitigasi yang diterapkan oleh pihak pemanduan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan keselamatan pelayaran di alur sempit, menjadi bahan pertimbangan bagi perusahaan dan regulator dalam menyusun prosedur keselamatan pemanduan, serta meningkatkan kewaspadaan dan kesiapan operasional personel pemanduan dalam menghadapi kondisi lingkungan yang ekstrem.

## **METODE PENELITIAN**

### **Jenis Penelitian**

Riset ini memakai metode kualitatif deskriptif untuk mengulas secara komprehensif realita kegiatan pemanduan kapal pada Alur Utara TUKS PT. Bintan Alumina Indonesia. Pendekatan ini diambil sebab urgensi penelitian menyentuh ranah pengalaman praktis serta kebijakan operasional, bukan sekadar hitungan teknis semata.

Karakteristik cuaca dan arus yang fluktuatif di lapangan menyulitkan validasi jika hanya bersandar pada angka kuantitatif. Pendalaman informasi pun menitikberatkan pada wawancara intensif bersama petugas pandu, kru motor pandu, serta abk kapal tunda demi memotret realitas di lapangan. Lewat pendekatan tersebut, riset ini berupaya membedah kaitan antara faktor cuaca dengan risiko navigasi, sekaligus menguji keandalan langkah mitigasi yang saat ini tengah dijalankan.

### **Tempat/lokasi dan Waktu Penelitian**

Penelitian dilakukan di Alur Utara Terminal Untuk Kepentingan Sendiri (TUKS) PT. Bintan Alumina Indonesia (PT. BAI), Kabupaten Bintan, Kepulauan Riau. Lokasi ini dipilih karena:

1. Menjadi akses navigasi utama bagi kapal bertonase besar yang hendak bersandar di dermaga PT. BAI.
2. Karakteristik perairannya terpapar pengaruh angin serta ombak kuat, khususnya dalam rentang periode Desember hingga April.
3. Arah arusnya melintang, sehingga menimbulkan fenomena set dan drift yang signifikan.
4. Tercatat sejumlah kendala di lapangan, mulai dari insiden kapal kandas, hanyut, hingga terhambatnya pelayanan akibat anomali cuaca.
5. kegiatan observasi lapangan dijadwalkan antara 20 November 2025 hingga 15 Januari 2026. Pemilihan linimasa ini sengaja diselaraskan dengan

intensitas trafik kapal serta kesiapan narasumber, guna menangkap fenomena cuaca ekstrem yang menjadi titik sentral dalam pengamatan ini.

### **Sumber Data, Subjek Penelitian, dan Teknik Pengumpulan Data**

Data primer dalam studi ini bersumber langsung dari para praktisi lapangan yang menangani pemanduan di Alur Utara. Penentuan informan dilakukan melalui teknik purposive sampling, yakni menyasar individu dengan kompetensi serta keterlibatan intensif dalam operasional harian, mencakup: Pandu, abk motor pandu, dan abk kapal tunda.

Guna menjamin kedalaman data, beberapa teknik diaplikasikan secara terpadu melalui skema triangulasi agar setiap informasi dapat saling memverifikasi dan memperkuat: Observasi Lapangan, wawancara, dokumentasi, dan studi Pustaka.

### **Teknik Analisis Data**

Analisis data mengadopsi model interaktif Miles & Huberman (1994), yang mensinergikan tiga alur kegiatan secara simultan:

#### **Reduksi Data**

Peneliti melakukan: seleksi informasi, penyederhanaan temuan, pengelompokan data berdasarkan tema seperti; cuaca, arus, risiko keselamatan, hambatan pemanduan, mitigasi dan contoh kejadian.

#### **Penyajian Data**

Data disajikan dalam bentuk: deskripsi naratif, table, matriks hubungan antar variable, grafik, dan ringkasan temuan per narasumber.

#### **Penarikan Kesimpulan dan Verifikasi**

Kesimpulan dibuat berdasarkan: pola temuan, konsistensi jawaban narasumber, penguatan dari dokumentasi, teori dan penelitian terdahulu.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari kegiatan observasi lapangan, pengumpulan dokumen pendukung, serta pengamatan langsung terhadap proses pemanduan kapal di Alur Utara TUKS PT. Bintan Alumina Indonesia (PT. BAI). Penelitian difokuskan pada kondisi nyata yang terjadi selama musim angin utara, yaitu pada periode Januari hingga Maret, yang secara umum dikenal sebagai periode dengan dinamika cuaca dan arus yang relatif tinggi.

Kegiatan pemanduan di Alur Utara TUKS PT. BAI berlangsung pada jalur perairan yang memiliki karakteristik sempit, dengan lalu lintas kapal yang cukup padat, terutama kapal-kapal berukuran besar yang membutuhkan bantuan tugboat serta pandu dalam proses masuk dan keluar alur. Dalam kondisi normal, proses pemanduan dapat berlangsung dengan lancar. Namun, pada kondisi cuaca tertentu, terutama saat angin kencang dan arus kuat, tingkat kesulitan pemanduan meningkat secara signifikan.

#### **Penyajian Data**

Penyajian data dalam penelitian ini dilakukan untuk menampilkan data lapangan yang telah dikumpulkan agar dapat dipahami secara sistematis dan mendukung proses analisis selanjutnya. Data yang digunakan disajikan dalam bentuk dokumentasi visual berupa foto tabel dan foto kondisi lapangan, sesuai dengan kondisi data yang tersedia selama penelitian.

##### **1. Data Pasang Surut**

Data pasang surut disajikan dalam bentuk foto tabel yang memuat informasi tinggi muka air laut pada periode Januari dan Februari. Penyajian data dalam bentuk foto

ini digunakan untuk mempertahankan keaslian data lapangan sebagaimana diperoleh dari sumber operasional.

2. Data Kecepatan Angin

Selain data pasang surut, kondisi angin di sekitar Alur Utara TUKS PT. BAI disajikan melalui dokumentasi foto anemometer kapal. Foto-foto tersebut menunjukkan variasi kecepatan angin yang terukur pada waktu pengamatan yang berbeda. Penyajian data dalam bentuk visual ini bertujuan untuk memperlihatkan kondisi aktual angin di lapangan

3. Dokumen Kecelakaan Kerja

Data pendukung lainnya berupa dokumentasi berita acara kecelakaan kerja disajikan dalam bentuk foto dokumen. Dokumen tersebut digunakan sebagai bukti terjadinya insiden keselamatan kerja dalam kegiatan pemanduan, khususnya pada proses embarkasi pandu.

4. Analisis Data

Bagian analisis data di susun untuk menjelaskan secara rinci keterkaitan antara data yang telah disajikan pada subbab sebelumnya dengan tujuan penelitian yang telah dirumuskan pada Bab I. Analisis ini dilakukan dengan pendekatan deskriptif-kualitatif, yaitu dengan menguraikan kondisi nyata di lapangan berdasarkan hasil observasi, dokumentasi, dan penelaahan data pendukung, kemudian dikaitkan dengan teori serta praktik pemanduan yang berlaku.

Berdasarkan data pasang surut yang diperoleh selama periode Desember hingga Maret, terlihat bahwa karakteristik pasang surut di wilayah Alur Utara TUKS PT. BAI menunjukkan fluktuasi yang cukup signifikan. Perubahan tinggi muka air laut ini berdampak langsung terhadap kedalaman efektif alur pelayaran, terutama pada kondisi surut terendah.

Pembahasan dalam penelitian ini difokuskan pada penafsiran hasil analisis data dengan mengacu pada tujuan penelitian, rumusan masalah, serta teori-teori yang relevan mengenai keselamatan pelayaran dan pemanduan kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di Alur Utara TUKS PT. BAI memiliki tingkat kompleksitas yang cukup tinggi, sehingga menuntut kesiapan operasional yang optimal dari seluruh pihak terkait. Berikut ini ada empat (4) fokus yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

**1. Bagaimana karakteristik kondisi cuaca di Alur Utara TUKS PT.BAI dan pengaruhnya terhadap proses pemanduan kapal.**

Karakteristik kondisi cuaca di Alur utara TUKS PT.Bai selalu berubah ubah, sepanjang tahun. Kondisi cuaca yang sangat ekstrim biasa terjadi di bulan Desember hingga Maret setiap tahun. Desember hingga maret menurut nelayan setempat disebut dengan angin utara

**2. Bagaimana pengaruh arus pasang surut terhadap kemampuan manuver kapal selama proses pemanduan**

Arus pasang surut yang kuat dan tidak selalu searah dengan alur pelayaran juga menjadi tantangan tersendiri dalam proses pemanduan. Arus melintang dapat menyebabkan kapal kehilangan kendali lateral, sehingga meningkatkan risiko kandas atau menyenggol struktur di sekitar alur. Dalam konteks ini, peran perwira

pandu menjadi sangat penting sebagai penasehat nakhoda dalam mengambil keputusan yang harus mampu membaca kondisi lingkungan secara cepat dan tepat.

**3. Risiko keselamatan apa saja yang muncul akibat kombinasi cuaca buruk dan arus pasang surut yang kuat ?**

Apabila arus pasang surut yang kuat dan disertai dengan cuaca buruk maka perwira pandu yang bertugas di TUKS PT. BAI akan menunda pelayanan pemanduan, karena kombinasi cuaca buruk dan arus pasang surut yang kuat akan membahayakan kapal dan keselamatan pandu itu sendiri. Pada musim angin utara bulan Januari tahun 2025, pemanduan kapal di TUKS PT. BAI, Sebuah kapal bulk carrier tertunda 2 hari akibat cuaca buruk dan arus pasang surut yang kuat.

**4. Bagaimana upaya mitigasi resiko yang dilakukan oleh pihak pemanduan dalam menghadapi kondisi tersebut ?**

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa salah satu upaya yang dilakukan oleh pelindo atau Pelindo Jasa Maritime (PJM) dalam upaya mitigasi resiko tersebut adalah penggunaan harbour tug dengan daya dorong yang sesuai persyaratan, sebagai sarana bantu pemanduan, dan perwira pandu yang dilengkapi dengan pakaian (safety) yang sesuai dengan persyaratan. Pada kondisi arus pasang surut yang lemah tetapi kecepatan angin yang kuat ( 15 sampai 20 Knot ), SOP pelayanan pemanduan maksimal kecepatan angin 20 knot.

## **KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis, pengamatan lapangan, dan pembahasan yang telah dipaparkan, penelitian ini menyimpulkan bahwa kondisi cuaca di Alur Utara TUKS PT BAI menunjukkan fluktuasi tajam, terutama pada musim angin utara periode Desember hingga Maret dengan kecepatan angin mencapai 15–30 knot dan ketinggian gelombang 1,0–4 meter, yang mempersulit stabilitas motor pandu dan proses pendekatan ke kapal. Arus pasang surut dengan kecepatan 0–3,5 knot bergerak melintang terhadap alur, memicu fenomena *set* dan *drift* yang menyebabkan kapal berukuran besar rentan hanyut dan sulit mempertahankan haluan. Kombinasi cuaca buruk dan arus kuat memicu risiko nyata berupa kapal kandas akibat keterbatasan kedalaman dan lebar kolam pelabuhan (350 meter), kapal hanyut karena desakan arus melintang tanpa kompensasi tenaga mesin yang memadai, bahaya keselamatan pandu akibat gelombang tinggi yang membuat tangga kapal tidak stabil hingga menyebabkan kecelakaan kerja, serta tertundanya pelayanan pemanduan hingga 2 hari karena cuaca ekstrem. Upaya mitigasi yang diterapkan meliputi penilaian cuaca dan arus secara *real-time*, pengondisian kecepatan aman, penundaan pelayanan pada kondisi ekstrem, serta optimalisasi penggunaan kapal tunda berdaya dorong besar hingga 6000 HP. Berdasarkan kesimpulan tersebut, penulis menyarankan agar perusahaan pelayaran dan otoritas pelabuhan meningkatkan kualitas prakiraan cuaca dan arus dengan mengintegrasikan teknologi pemantauan *real-time* dan sistem peringatan dini, memperkuat prosedur keselamatan transfer personel pandu melalui pelatihan rutin dan penggunaan peralatan keselamatan yang lebih memadai, serta melakukan evaluasi berkala terhadap kapasitas kapal tunda dan kesiapan operasional dalam menghadapi kondisi ekstrem. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk melakukan kajian kuantitatif mengenai pengaruh parameter cuaca dan arus terhadap waktu tempuh dan konsumsi bahan

bakar kapal, serta mengembangkan model prediksi risiko keselamatan pemanduan berbasis data historis dan *machine learning* untuk mendukung pengambilan keputusan operasional yang lebih akurat.

## REFERENSI

- Aven, T. (2015). *Risk analysis*. John Wiley & Sons.
- Cockcroft, A. N., & Lameijer, J. N. F. (2012). A guide to the collision avoidance rules: International regulations for preventing collisions at sea (7th ed.). Butterworth-Heinemann/Elsevier.
- Du, L., Valdez Banda, O. A., Goerlandt, F., Huang, Y., & Kujala, P. (2020). A COLREG-compliant ship collision alert system for stand-on vessels. *Ocean Engineering*, 218, 107866. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.107866>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 37(1), 32–64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- International Maritime Organization. (1972). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, 1972 (COLREGs). International Maritime Organization.
- International Maritime Organization. (2011). Resolution A.1045(27): Pilot transfer arrangements. International Maritime Organization.
- International Maritime Organization. (2018). International Safety Management Code and guidelines on implementation of the ISM Code. International Maritime Organization.
- Kobayashi, H. (2019). Techniques for ship handling and bridge team management. CRC Press/Taylor & Francis.
- Lataire, E., & Vantorre, M. (2012). Ship-bank interaction effects on vessels navigating in narrow channels. *Ocean Engineering*, 53, 71–79.
- Maljković, M., Rudan, I., & Frančić, V. (2024). Ship maneuvering in shallow and narrow waters: Predictive methods and model development review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(8), 1450.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1994). Qualitative data analysis: An expanded sourcebook (2nd ed.). SAGE Publications.
- Pugh, D., & Woodworth, P. (2014). Sea-level science: Understanding tides, surges, tsunamis and mean sea-level changes. Cambridge University Press.
- Rawson, K. J., & Tupper, E. C. (2001). Basic ship theory (5th ed.). Butterworth-Heinemann.
- Sandhåland, H., Olteidal, H. A., & Eid, J. (2015). Situation awareness in bridge operations – A study of collisions between attendant vessels and offshore facilities in the North Sea. *Safety Science*, 79, 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.06.021>
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Ugurlu, H., & Cicek, I. (2022). Analysis and assessment of ship collision accidents using fault tree and multiple correspondence analysis. *Ocean Engineering*, 245, 110514. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.110514>
- United Kingdom Hydrographic Office. (2023). Admiralty tide tables. UK Hydrographic Office.
- World Meteorological Organization. (2018). Guide to wave analysis and forecasting (WMO-No. 702). World Meteorological Organization.
- Zhao, L., & Roh, M.-I. (2019). COLREGs-compliant multiship collision avoidance based on deep reinforcement learning. *Ocean Engineering*, 191, 106436. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106436>

Zhou, X.-Y., Huang, J.-J., Wang, F.-W., Wu, Z.-L., & Liu, Z.-J. (2020). A study of the application barriers to the use of autonomous ships posed by the good seamanship requirement of COLREGs. *The Journal of Navigation*, 73(3), 710–725.  
<https://doi.org/10.1017/S0373463319000803>