P-ISSN: 2716-2656, E-ISSN: 2985-9638
JOURNAL MARINE INSIDE
VOLUME 8, ISSUE 2, DECEMBER 2026
https://ejournal.poltekpel-banten.ac.id/index.php/ejmi/

JENIS ARTIKEL: ARTIKEL PENELITIAN

Analisis kerusakan crane dan dampaknya terhadap pemuatan batu bara ship to ship pada MV African Nightjar di Muara Berau

Muhammad Gavin Al Fahreizi*, Andi Prasetiawan, Iskandar

Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Semarang, Jawa Tengah 50242, Indonesia
E-mail: muhammadgavin2324@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian studi kasus ini mengkaji kerusakan pulley crane pada pemuatan batu bara dengan metode ship to ship (STS) di MV African Nightjar, Muara Berau. Data diperoleh melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan kuesioner kepada empat responden, kemudian dianalisis secara deskriptif dengan diagram fishbone. Skor persentase yang dilaporkan untuk faktor manusia, pengawasan, material, dan lingkungan masing-masing 85%, 85%, 81%, dan 80%; penyebutnya belum dapat direkonsiliasi dari tabel. Estimasi durasi pemuatan berubah dari dua menjadi tiga hari. Keausan bearing merupakan indikasi teknis yang memerlukan pemeriksaan lebih lanjut. Rekomendasi meliputi inspeksi sesuai manual, pengadaan suku cadang dan pengawasan pengoperasian sesuai SWL. Temuan terbatas pada kasus ini dan tidak mengestimasi proporsi penyebab seluruh kerusakan STS.

Kata kunci: batu bara; crane; keterlambatan; pemuatan; ship to ship.

ABSTRACT

This case study examines crane pulley damage during ship-to-ship (STS) coal loading on MV African Nightjar at Muara Berau. Evidence comprised observations, interviews, documents, and questionnaires from four respondents, analysed descriptively using a fishbone diagram. Reported scores for human, supervision, material, and environmental factors were 85%, 85%, 81%, and 80%, respectively; their denominators cannot yet be reconciled from the table. Estimated loading duration changed from two to three days. Bearing wear is a technical indication requiring further inspection. Recommendations include manufacturer-based inspection, spare-part availability, and supervision of operation within SWL. Findings are confined to this case, not causal proportions of all STS failures.

Keywords: *coal; crane; delay; loading; ship to ship.*

INFORMASI ARTIKEL

Diterima	Direvisi	Disetujui	Diterbitkan
10 Agustus 2026	20 November 2026	25 November 2026	26 Desember 2026

DOI: https://doi.org/10.62391/ejmi.v8i2.257

Cara Mengutip: Muhammad Gavin Al Fahreizi, Andi Prasetiawan, Iskandar, "Analisis kerusakan crane dan dampaknya terhadap pemuatan batu bara ship to ship pada MV African Nightjar di Muara Berau," Journal Marine Inside, vol. 8, no. 2, pp. 481–486, 2026, doi: https://doi.org/10.62391/ejmi.v8i2.257.

AKSES TERBUKA, HAK CIPTA, DAN LISENSI
Hak cipta tetap pada penulis, dengan memberikan hak publikasi pertama kepada Journal Marine Inside. Artikel menggunakan lisensi Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0) sesuai perjanjian publikasi jurnal.

Pendahuluan

Kontribusi kasus terletak pada keterkaitan gangguan pulley dan keterbatasan pengisian palka 5 dengan penyesuaian operasi STS; bukan estimasi risiko seluruh kapal. Transportasi laut memiliki peran penting dalam mendukung perdagangan global, khususnya pada sektor energi dan pertambangan. Moda transportasi laut dinilai lebih efisien dan efektif dalam mendistribusikan muatan dalam jumlah besar

dibandingkan moda transportasi lainnya. Dalam industri batu bara, transportasi laut menjadi sarana utama pengangkutan hasil tambang menuju negara tujuan ekspor maupun pembangkit listrik dalam negeri, sehingga kelancaran kegiatan pemuatan menjadi faktor penting dalam menunjang keberhasilan rantai distribusi dan pasokan energi [1]. Indonesia merupakan salah satu negara eksportir batu bara terbesar di dunia. Sebagian besar kegiatan ekspor batu bara dilakukan melalui area pemuatan lepas pantai di Kalimantan Timur, seperti Muara Berau, Muara Pantai, dan Muara Jawa. Metode ship to ship (STS) banyak digunakan karena kondisi geografis Indonesia sebagai negara kepulauan serta keterbatasan pelabuhan yang mampu menampung kapal berukuran besar atau mother vessel [2]. Metode ini memiliki keuntungan berupa efisiensi waktu dan fleksibilitas operasional karena kapal dapat memuat langsung tanpa menunggu antrean di pelabuhan.

Meskipun demikian, kegiatan ship to ship memiliki risiko operasional yang tinggi karena dilakukan di perairan terbuka dengan kondisi lingkungan yang tidak menentu. Kelancaran proses pemuatan sangat dipengaruhi oleh kondisi crane sebagai alat utama pemindahan batu bara dari tongkang menuju palka kapal. Crane bekerja secara terus-menerus selama proses pemuatan berlangsung sehingga kondisi teknisnya sangat menentukan tingkat produktivitas. Apabila crane mengalami gangguan atau kerusakan, proses pemuatan dapat terhambat atau terhenti sementara [3]. Kerusakan crane dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti keausan komponen mekanis, beban kerja berlebihan, gangguan sistem hidrolik, serta pengaruh lingkungan laut yang bersifat korosif [4]. Kondisi gelombang, arus, dan angin di perairan terbuka juga memberikan tekanan tambahan terhadap struktur crane. Jika perawatan dan pemeriksaan rutin tidak dilakukan secara optimal, risiko kerusakan akan semakin meningkat dan menimbulkan dampak operasional signifikan seperti keterlambatan pemuatan, terganggunya jadwal keberangkatan, meningkatnya biaya operasional, hingga menurunnya efisiensi kegiatan [5].

Situasi tersebut terjadi pada MV African Nightjar yang melakukan pemuatan batu bara di Muara Berau menggunakan metode ship to ship. Berdasarkan observasi lapangan dan laporan operasional kapal ditemukan beberapa kerusakan material pada crane, seperti patahnya pulley (katrol) dan penurunan kecepatan putar akibat keausan komponen. Kondisi tersebut menyebabkan proses pemuatan menjadi kurang optimal dan menghambat kelancaran operasional. Tingginya arus pasang surut di perairan Muara Berau juga mempercepat korosi pada struktur crane. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis faktor penyebab kerusakan crane, (2) mengetahui dampak yang timbul dari kerusakan crane, dan (3) merumuskan upaya pencegahan kerusakan crane selama proses pemuatan batu bara metode ship to ship pada MV African Nightjar.

Metodologi

Rumus persentase memerlukan skor maksimum yang sesuai dengan jumlah butir, responden, dan rentang skala untuk tiap kategori. Empat responden dan skor 161, 159, 170, 169 belum cukup untuk mereproduksi persentase tanpa jumlah butir dan data respons. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan lokasi penelitian di MV African Nightjar yang beroperasi di area anchorage Muara Berau, Kalimantan Timur. Penelitian dilakukan selama peneliti menjalankan praktik darat pada PT IDT Trans Agency Cabang Samarinda sebagai agent on board. 2.1. Metode Pengumpulan Data Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap kegiatan pemuatan batu bara, wawancara terstruktur dengan foreman, representative cargo on board, dan nahkoda MV African Nightjar, serta penyebaran kuesioner kepada empat responden yang mewakili operasional PT IDT Trans Agency, foreman, representative cargo on board, dan awak kapal. Data sekunder diperoleh melalui studi dokumentasi berupa laporan operasional kapal, ship particular, dan literatur terkait.

Pengolahan Data

Keabsahan data diperiksa melalui triangulasi sumber [6]. Penelitian menggunakan data observasi, wawancara, dan dokumentasi. Ketiga sumber tersebut dibandingkan untuk melihat kesesuaian informasi. Perbandingan menjadi dasar penyusunan kesimpulan yang konsisten dengan data yang tersedia.

Analisis Data

Analisis menggunakan model Miles dan Huberman yang mencakup reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Fishbone analysis digunakan untuk mengidentifikasi dugaan akar penyebab kerusakan crane. Faktor dikelompokkan ke dalam empat kategori, yaitu Man, Material, Method/Measurement, dan Environment. Dominasi relatif faktor dievaluasi lebih lanjut melalui skala Likert lima tingkat, menggunakan rumus Persentase = (Skor Total / Skor Maksimum) × 100% (1).

Hasil dan Pembahasan

Tabel 1 mempertahankan skor dan persentase sumber. Skor tersebut adalah penilaian responden, bukan proporsi kejadian atau besaran kontribusi kausal. Keausan bearing dan korosi merupakan indikasi hasil observasi; akar penyebab memerlukan pemeriksaan teknis dan riwayat perawatan. Estimasi waktu dua menjadi tiga hari merupakan perubahan jadwal yang dilaporkan; biaya demurrage tidak dihitung tanpa kontrak dan catatan waktu. 3.1. Faktor Penyebab Kerusakan Crane Kerusakan crane pada MV African Nightjar, khususnya pada bagian pulley, terjadi selama proses pemuatan batu bara di palka 5. Kondisi ini menghambat pengisian palka hingga kapasitas maksimum dan berpotensi menyebabkan kapal mengalami trim by stern karena bobot muatan lebih terkonsentrasi pada palka 2, 3, dan 4. Berdasarkan analisis Fishbone diperoleh empat kategori faktor penyebab, yaitu faktor manusia, material, lingkungan, dan pengawasan.

Faktor manusia meliputi keterbatasan pengetahuan dan keterampilan foreman serta operator crane dalam mengenali tanda awal kerusakan, seperti gerakan crane yang tidak lancar dan kondisi fisik yang mulai berkarat. Faktor material ditunjukkan oleh keausan bearing pada pulley akibat pemakaian terus-menerus dan keterlambatan pergantian spare part. Faktor lingkungan berupa paparan sinar matahari langsung dan hujan angin yang tidak menentu di area anchorage Muara Berau mempercepat proses korosi. Faktor pengawasan berkaitan dengan lemahnya monitoring pemeliharaan crane oleh awak kapal. Untuk memperkuat identifikasi Fishbone, dilakukan penyebaran kuesioner kepada empat responden. Hasil pengolahan skala Likert disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Skala Likert pada fishbone analysis.

No.	Faktor	Skor	Persentase
1	Manusia (Man)	161	85%
2	Lingkungan (Nature)	159	80%
3	Material (Material)	170	81%
4	Pengawasan (Measurement)	169	85%

Tabel 1 menunjukkan bahwa faktor manusia dan pengawasan merupakan faktor dominan menurut penilaian responden, dengan skor persentase masing-masing sebesar 85%, diikuti oleh faktor material sebesar 81% dan faktor lingkungan sebesar 80%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aspek sumber daya manusia dan pengawasan perlu mendapatkan perhatian lebih dalam upaya mengurangi risiko kerusakan *crane*. Meskipun demikian, peringkat tersebut bersifat deskriptif dan masih memerlukan verifikasi terhadap dasar penghitungan persentase skor. Oleh karena itu, hasil tersebut belum dapat digunakan untuk menyimpulkan hubungan sebab-akibat antara setiap faktor dan kerusakan *crane*.

Kerusakan *crane* pada MV African Nightjar menimbulkan berbagai dampak terhadap kegiatan pemuatan batu bara. Bagi pemilik muatan, kerusakan tersebut menyebabkan keterlambatan pemuatan karena *crane* harus diperbaiki terlebih dahulu, sehingga meningkatkan risiko *demurrage*. Bagi perusahaan keagenan (PT IDT Trans Agency), kerusakan tersebut menyebabkan peningkatan biaya operasional selama kapal berlabuh dan terganggunya pengurusan kapal lain akibat perubahan jadwal. Bagi pihak kapal, estimasi penyelesaian pemuatan yang semula dua hari bertambah menjadi tiga hari, sehingga jadwal keberangkatan kapal (*departure*) mengalami keterlambatan selama satu hari [7].

Selain dampak finansial, kerusakan *crane* juga menurunkan produktivitas dan efisiensi kegiatan pemuatan. Laju pemuatan berkurang karena hanya sebagian *crane* yang dapat beroperasi secara optimal. Urutan pemuatan (*loading sequence*) juga harus disesuaikan untuk menjaga stabilitas dan keseimbangan kapal. Penyesuaian tersebut diperlukan untuk mengantisipasi kondisi *trim by stern* akibat distribusi muatan yang tidak merata ketika palka 5 belum terisi penuh.

Upaya pencegahan kerusakan *crane* dapat dilakukan melalui penerapan pemeliharaan preventif (*preventive maintenance*) secara terencana dan berkelanjutan. Kegiatan pemeliharaan tersebut meliputi inspeksi rutin harian, pembersihan sisa debu batu bara, serta pelumasan komponen bergerak, khususnya *pulley* dan *wire rope*. Penggantian suku cadang juga perlu dilakukan secara terjadwal sebelum komponen mencapai batas keausan kritis. Selain itu, pengoperasian *crane* harus mengikuti kapasitas *Safe Working Load* (SWL) untuk mencegah terjadinya beban berlebih yang dapat mempercepat

kerusakan komponen.

Penguatan koordinasi antara *agent on board*, *foreman*, dan awak kapal juga diperlukan untuk meningkatkan efektivitas pengawasan terhadap kinerja operator *crane*. Pengawasan tersebut bertujuan untuk memastikan bahwa kegiatan pemuatan berlangsung sesuai dengan prosedur operasional dan standar keselamatan kerja. Pelatihan teknis secara berkala perlu diberikan kepada awak kapal untuk meningkatkan kemampuan dalam mengidentifikasi gejala awal kerusakan. Perusahaan juga perlu memastikan ketersediaan suku cadang di atas kapal, terutama komponen yang rentan mengalami kerusakan, seperti *bearing* dan *pulley*, agar perbaikan dapat segera dilakukan tanpa menunggu pengiriman dari darat.

Sejumlah penelitian terdahulu membahas penentuan interval pemeliharaan preventif berbasis keandalan serta penilaian keandalan komponen struktural *crane* [17], [18], [19], [20], [31], [32], [33]. Sementara itu, penelitian mengenai terminal curah membahas fasilitas penanganan muatan, penjadwalan kegiatan operasional, dan risiko keterlambatan pemuatan [21], [22], [23]. Kajian mengenai operasional pelabuhan juga membahas penjadwalan pemanduan, alokasi tambatan, waktu tunggu, serta koordinasi kedatangan kapal sebagai bagian dari pengelolaan kegiatan operasional pelabuhan [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30]. Literatur tersebut memberikan kerangka pembanding untuk memahami keterkaitan antara pemeliharaan peralatan, keandalan operasional, dan efisiensi kegiatan pemuatan.

Meskipun penelitian terdahulu memberikan landasan konseptual yang relevan, terdapat perbedaan konteks, objek, dan metode penelitian yang perlu diperhatikan. Perbedaan tersebut membatasi penggunaan hasil penelitian terdahulu sebagai dasar validasi langsung terhadap temuan penelitian ini. Oleh karena itu, interpretasi hasil penelitian tetap harus didasarkan pada bukti empiris yang diperoleh dalam kegiatan pemuatan batu bara pada MV African Nightjar. Literatur terdahulu digunakan untuk memperkaya pembahasan dan mendukung penyusunan rekomendasi pemeliharaan serta pengawasan operasional, bukan sebagai bukti konfirmasi langsung terhadap hasil penelitian ini.

Kesimpulan

Dengan empat responden, peringkat faktor belum dapat digeneralisasi. Rekomendasi teknis harus ditelaah berdasarkan manual dan hasil pemeriksaan crane yang berwenang. Data waktu dan dokumen biaya diperlukan untuk menilai dampak aktual. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa kerusakan crane pada MV African Nightjar, khususnya pada bagian pulley, disebabkan oleh kombinasi faktor internal berupa kurangnya perawatan, peralatan yang usang, dan keterlambatan pergantian spare part, serta faktor eksternal berupa kondisi lingkungan laut yang korosif dan cuaca yang tidak menentu di perairan Muara Berau. Faktor manusia dan pengawasan menjadi kategori dengan skor penilaian tertinggi, yaitu masing-masing 85%. Dampak yang ditimbulkan meliputi penurunan efisiensi kerja, mundurnya jadwal keberangkatan kapal dari dua menjadi tiga hari, risiko kerugian finansial berupa demurrage, dan meningkatnya biaya operasional. Upaya pencegahan yang direkomendasikan adalah penyesuaian vessel loading sequence untuk menjaga stabilitas kapal, pengadaan spare part cadangan, peningkatan perawatan rutin pada sistem hidrolik dan pelumasan pulley, serta pengoperasian crane sesuai standar Safe Working Load (SWL) yang didukung pengawasan dan pelatihan awak kapal secara berkala.

DEKLARASI DAN INFORMASI TAMBAHAN

ORIGINALITAS DAN PENGAJUAN EKSKLUSIF

Para penulis diminta mengonfirmasi bahwa naskah ini asli, belum pernah diterbitkan, dan tidak sedang diajukan ke jurnal lain.

KONTRIBUSI PENULIS

Muhammad Gavin Al Fahreizi: konseptualisasi, metodologi, analisis formal, penulisan draf awal. Andi Prasetiawan; Iskandar: investigasi, validasi, serta peninjauan dan penyuntingan naskah.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak terdapat konflik kepentingan yang dilaporkan.

PENDANAAN

Penelitian ini tidak menerima pendanaan atau hibah khusus dari pihak luar, sesuai informasi yang tersedia.

PERSETUJUAN ETIK

Penelitian menggunakan observasi, wawancara, dokumentasi dan kuesioner empat responden. Nomor persetujuan etik atau keputusan pengecualian belum dilaporkan.

PERSETUJUAN PARTISIPAN

KETERSEDIAAN DATA

Data penelitian meliputi observasi, wawancara, dokumentasi dan kuesioner empat responden. Permintaan akses data pendukung dapat diajukan kepada penulis korespondensi, dengan memperhatikan izin dan kerahasiaan data.

PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

ChatGPT (OpenAI) digunakan untuk membantu penyuntingan bahasa, struktur, pemeriksaan konsistensi, dan penyesuaian format naskah. Data, hasil, interpretasi, dan substansi ilmiah menjadi tanggung jawab para penulis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, Program Studi Diploma IV Tata Laksana Angkutan Laut dan Kepelabuhan, serta PT IDT Trans Agency Cabang Samarinda yang telah memberikan kesempatan dan dukungan selama proses pengambilan data penelitian di MV African Nightjar.

Naskah melaporkan keterlibatan partisipan. Prosedur persetujuan partisipan didokumentasikan dan dikonfirmasi oleh penulis.

INDEPENDENSI EDITORIAL

Penelaahan dan keputusan editorial dilaksanakan secara independen sesuai kebijakan Journal Marine Inside. Keterlibatan penulis dalam tim editorial diungkapkan dan dikelola melalui pengunduran diri dari penanganan naskah sendiri.

HAK CIPTA DAN LISENSI

Hak cipta tetap pada penulis; Journal Marine Inside memperoleh hak publikasi pertama. Ketentuan yang dicantumkan pada template adalah lisensi Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International (CC BY-SA 4.0).

DAFTAR PUSTAKA

[1] Voller, R., & Hastiadi, F. (2023). Analisis ekspor batu bara Indonesia pada kawasan RCEP. *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik, 14*(2), 109–120.

[2] Nainggolan, A. Y., Rakhman, R. A., Pribadi, T., & Arisusanty, D. J. (2025). Analisis produktivitas kegiatan muat dengan proses ship to ship pada kapal yang diageni oleh PT adhika samudera jaya cabang banjarmasin. *Jurnal Ilmiah Pelayaran, 4*(2), 4972–4977.

[3] Irwan, A. (2024). Analisis perencanaan kegiatan alih muat antar kapal (ship to ship transfer) ditinjau dari aspek keselamatan pelayaran. *Jurnal Transportasi Laut*.

[4] Budi, A., & Muhlis, S. (2022). Optimasi perawatan mesin overhead crane pada PT KNSS dengan metode reliability centered maintenance (RCM) dan FMEA. *Jurnal Teknik Industri, 5*(2), 27–35.

[5] Nurzanah, W. (2020). Analisis waktu tunggu bongkar muat kapal dengan fasilitas crane di pelabuhan gabion belawan. *Jurnal Manajemen Transportasi, 3*(8), 180–190.

[6] Rahardjo. (2020). Triangulasi dalam penelitian kualitatif. *UIN Maulana Malik Ibrahim Malang*.

[7] Prastiyono, P. (2025). Analisis pelaksanaan bongkar muat batu bara menggunakan floating crane pada MV panamx universe oleh PT pelabuhan tiga bersaudara di muara berau anchorage. *Jurnal Ilmiah Pelayaran, 4*(12), 1913–1920.

[8] Hardianto, A., & Yuliati, L. (2022). Perawatan hoist crane dengan metode maintainability dan costing untuk mengurangi downtime. *Jurnal Teknik Mesin, 3*(2), 127–132.

[9] Aulia, M., Ali, F., Nur, M., Rekoyoso, B., & Zulfikar, I. (2024). Penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada pengoperasian alat angkat angkut jenis jib crane di PT pamapersada nusantara balikpapan. *Jurnal K3, 5*, 2024–2026.

[10] Salamuk, D., Arief, M., Wahyudien, N., & Rachmadhani, M. (2023). Analisa penyebab kerusakan generator seri 3516 dengan metode fishbone. *Industrial Engineering Journal – System, 1*(2), 42–46.

[11] Razaq, A., & Hamzah, F. (2016). Perancangan dan analisa konstruksi gantry crane SWL 35 ton di PT F1 perkasa. *Jurnal Teknik Mesin, 77–83*.

[12] Kusuma, R. (2020). Studi tentang dampak pertambangan batu bara bagi kehidupan sosial ekonomi masyarakat di kelurahan Jawa kecamatan sangasanga. *eJournal Sosiatri-Sosiologi, 1*(3), 843–857.

[13] Nurudin, F. (2020). Desain kapal bulk carrier guna pemenuhan kebutuhan batubara PLTU sudimoro pacitan. *Jurnal Teknik ITS, 9*(1).

[14] Raya, I. P. (2021). Memahami teknik pengolahan dan analisis data kualitatif. *Jurnal Ilmu Pendidikan, 1*, 173–186.

[15] Firmansyah, D. (2022). Teknik pengambilan sampel umum dalam metodologi penelitian: Literature review. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Holistik, 1*(2), 85–114.

[16] Undang-Undang Republik Indonesia No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran. (2008). *Lembaran negara republik Indonesia*.

[17] Pratama, D. M. A., & Widiasih, W.. (2024). Proposed crane machine maintenance schedule with reliability centered maintenance method. *PROZIMA*. https://doi.org/10.21070/prozima.v8i2.1719

[18] Anthony, J., Arungpadang, T. A. R., & Punuhsingon, C. S. C.. (2024). Penerapan reliability centered maintenance pada perencanaan waktu interval preventive maintenance unit container crane di terminal peti kemas PT pelindo IV bitung. *Jurnal Tekno Mesin*. https://doi.org/10.35793/jtm.v10i1.51994

[19] Nurroif, A., & Retnowati, D.. (2022). Perencanaan preventive maintenance mesin crane dengan pendekatan metode reliability centered maintenance (RCM). *Jurnal Teknik Industri*. https://doi.org/10.30659/jurti.1.2.111-119

[20] Bucas, S., Rumelhart, P., Gayton, N., & Chateauneuf, A.. (2014). A global procedure for the time-dependent reliability assessment of crane structural members. *Engineering Failure Analysis*. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2014.04.011

[21] Dabke, C. S.. (1991). Bulk-Handling facility at nhava sheva port, maharashtra. *Structural Engineering International*. https://doi.org/10.2749/101686691780617652

[22] Kai, K., Jing, Z., Cui-Juan, S., & Xiao-Xu, Y.. (2013). Research on integrated scheduling model for handling operation system of dry bulk cargo port. *Information Technology Journal*. https://doi.org/10.3923/itj.2013.5595.5600

[23] Parman, Agustin, D. F., & Sophia, A. V.. (2025). Integrated risk assessment and mitigation strategy prioritization for cargo handling delays in dry bulk port terminals: A combined fmea-ahp analysis. *Airlangga Journal of Innovation Management*. https://doi.org/10.20473/ajim.v6i4.81817

[24] Fan, H., Zhang, T.-H., Zhao, J., & Yue, L.-J.. (2025). Berth allocation and tugboat scheduling problem for tidal ports with compound channels: The case of Tianjin port. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120744

[25] Idris, M., Sulistiono, A., Karubaba, O. C., Adiputra, I. K. H. P., & Syah, I. Z.. (2026). Mooring, pilotage, and towage services supporting vessel operations at Tanjung emas port, Semarang. *Jurnal Venus*. https://doi.org/10.48192/vns.v14i1.848

[26] Jia, S., Li, C.-L., & Xu, Z.. (2020). A simulation optimization method for deep-sea vessel berth planning and feeder arrival scheduling at a container port. *Transportation Research Part B: Methodological*. https://doi.org/10.1016/j.trb.2020.10.007

[27] Fei, P., Ning, W., Li, K., Xu, X., Chu, X., & Liu, C.. (2026). Coordinated vessel arrival time prediction and berth allocation optimization for efficient port operations. *Journal of Marine Science and Engineering*. https://doi.org/10.3390/jmse14080758

[28] Zheng, H., Wang, Z., & Duan, S.. (2025). Integrated optimization of vessel sequencing and bulk carrier berth allocation with shifting in a comprehensive port. *Ocean Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.119891

[29] Fadiansyah, M. R., Purnomo, P., & Kusumawati, E.. (2022). Pengaruh waiting time dan berth occupancy ratio terhadap integrated port time di PT Pertamina trans kontinental cabang plaju. *Meteor STIP Marunda*. https://doi.org/10.36101/msm.v15i2.234

[30] Kahraman, S., & Zorba, Y.. (2018). Situational awareness analysis of port pilotage services. *Journal of ETA Maritime Science*. https://doi.org/10.5505/jems.2018.48569

[31] Ha, T. Y., & Choi, Y. S. (2005). A comparative study on productivity of high performance quay crane in container terminal. *Journal of Korean Navigation and Port Research*. https://doi.org/10.5394/kinpr.2005.29.6.547

[32] Li, T., Dong, Q., & Sun, X. (2024). Integrated scheduling of handling equipment in automated container terminal considering quay crane faults. *Systems*. https://doi.org/10.3390/systems12110450

[33] Chatterjee, I., & Cho, G. (2022). Port container terminal quay crane allocation based on simulation and machine learning method. *Sensors and Materials*. https://doi.org/10.18494/sam3645