



P-ISSN: 2716-2656, E-ISSN: 2985-9638

JOURNAL MARINE INSIDE

VOLUME 7, ISSUE. 2, DECEMBER 2025

Web: <https://ejournal.poltekpel-banten.ac.id/index.php/ejmi/>

Analisis komprehensif jenis, faktor penyebab, dan strategi mitigasi kerusakan peti kemas pada proses bongkar muat: Suatu studi literatur

Ruslin*, Da'i Safrudin, Nur Fadilah

Akademi Ilmu Pelayaran Nusa Tenggara

E-mail: *ruslinamir7@gmail.com

ABSTRAK

Peti kemas merupakan komponen vital dalam sistem logistik dan rantai pasok maritim karena perannya dalam menjamin efisiensi, keamanan, dan standarisasi distribusi barang. Namun, proses bongkar muat di pelabuhan masih sering dihadapkan pada berbagai permasalahan teknis dan operasional yang berpotensi menyebabkan kerusakan peti kemas dan menurunkan keandalan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis-jenis kerusakan peti kemas, menganalisis faktor-faktor penyebabnya, serta merumuskan strategi mitigasi yang dapat diterapkan dalam proses bongkar muat di pelabuhan. Metode yang digunakan adalah studi literatur dengan teknik purposive sampling terhadap 20 artikel ilmiah yang dipublikasikan pada periode 2005–2025 dan bersumber dari jurnal nasional maupun internasional bereputasi. Data dianalisis menggunakan analisis isi dan analisis tematik, serta diperkuat dengan triangulasi sumber untuk meningkatkan validitas temuan. Hasil kajian menunjukkan bahwa kerusakan peti kemas dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu kerusakan struktural, kerusakan fungsional, dan kerusakan spesifik atau elektronik, khususnya pada reefer container. Faktor penyebab dominan meliputi kesalahan manusia, kondisi teknis peralatan bongkar muat, pengaruh lingkungan, ketidakefisienan sistem kerja, serta keterbatasan teknologi monitoring. Strategi mitigasi yang direkomendasikan mencakup peningkatan kompetensi operator, inspeksi dan pemeliharaan rutin, penguatan penerapan SOP keselamatan, serta integrasi teknologi deteksi dini berbasis sensor, RFID, dan kecerdasan buatan. Studi ini menegaskan pentingnya pendekatan integratif yang mengombinasikan aspek manusia, teknis, dan teknologi guna meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keandalan operasional bongkar muat peti kemas di pelabuhan.

Kata Kunci: *Peti kemas, bongkar muat, kerusakan peti kemas, manajemen risiko mitigasi berbasis teknologi, pelabuhan.*

ABSTRACT

Containers play a critical role in modern maritime logistics by ensuring efficiency, safety, and standardization in cargo distribution. However, loading and unloading operations at ports are frequently affected by technical and operational challenges that may result in container damage and reduced operational reliability. This study aims to identify the types of container damage, analyse the underlying causal factors, and formulate effective mitigation strategies applicable to port loading and unloading activities. A literature review method was employed using purposive sampling of 20 scientific articles published between 2005 and 2025, sourced from reputable national and international journals. Data were analysed using content analysis and thematic analysis, supported by source triangulation to enhance the validity of the findings. The results indicate that container damage can be classified into three main categories: structural damage, functional damage, and specific or electronic damage, particularly in refrigerated containers. The dominant causal factors include human error, technical



Journal Marine Inside is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

conditions of handling equipment, environmental influences, inefficient work systems, and limited monitoring technologies. Recommended mitigation strategies include improving operator competence, implementing routine inspection and maintenance, strengthening safety standard operating procedures, and integrating early detection technologies based on sensors, RFID, and artificial intelligence. This study highlights the importance of an integrated approach that combines human, technical, and technological aspects to improve safety, efficiency, and operational reliability in port container handling operations.

Keywords: *Container, loading and unloading, container damage, risk management, technology-based mitigation, port operations.*

Tersedia pada: <https://doi.org/10.62391/ejmi.v7i2.161>

Disubmit pada 30/10/2025	Direview pada 10/11/2025	Direvisi pada 20/11/2025
Diterima pada 30/11/2025	Diterbitkan pada 01/12/2025	

PENDAHULUAN

Peti kemas (container) merupakan elemen fundamental dalam sistem logistik dan transportasi maritim modern karena kemampuannya meningkatkan efisiensi, keamanan, dan standarisasi distribusi barang pada skala nasional maupun internasional. Sejak diperkenalkannya sistem containerization, aktivitas bongkar muat di pelabuhan mengalami transformasi signifikan yang berdampak langsung pada kinerja rantai pasok global [1-2]. Efisiensi operasional pelabuhan, khususnya pada terminal peti kemas, sangat bergantung pada keandalan proses penanganan peti kemas dari kapal ke darat maupun sebaliknya [3].

Meskipun demikian, proses bongkar muat peti kemas di pelabuhan masih dihadapkan pada berbagai permasalahan teknis dan operasional yang berpotensi menimbulkan kerusakan peti kemas. Kerusakan tersebut tidak hanya berdampak pada keselamatan muatan, tetapi juga memicu peningkatan biaya operasional, klaim asuransi, keterlambatan pengiriman, serta penurunan tingkat kepercayaan pengguna jasa pelabuhan [4-5]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa kerusakan peti kemas sering terjadi akibat benturan saat lifting, kesalahan penempatan saat stacking, serta kondisi alat bongkar muat yang tidak optimal [6].

Berbagai penelitian telah mengidentifikasi bahwa faktor penyebab kerusakan peti kemas bersifat multidimensional. Kesalahan manusia (human error), seperti kelelahan operator, ketidakpatuhan terhadap standar operasional prosedur (SOP), dan rendahnya kesadaran keselamatan kerja, merupakan faktor dominan yang berkontribusi terhadap terjadinya insiden kerusakan [7-8]. Selain itu, kondisi teknis peralatan bongkar muat yang tidak terawat, penggunaan peralatan lashing yang sudah usang, serta gangguan fungsi crane dan spreader turut meningkatkan risiko kerusakan struktural pada peti kemas [9].

Faktor lingkungan juga memiliki peran signifikan dalam memperburuk kondisi peti kemas selama proses bongkar muat. Cuaca ekstrem, paparan udara laut yang korosif, serta keterbatasan visibilitas saat hujan lebat atau angin kencang dapat mengganggu stabilitas pengangkatan dan penempatan peti kemas [10]. Dalam kondisi operasional dengan beban kerja tinggi (high workload), tekanan waktu sering mendorong operator untuk mempercepat proses kerja dengan mengorbankan aspek keselamatan dan ketelitian, sehingga meningkatkan potensi kerusakan [11].

Seiring dengan perkembangan teknologi, sejumlah studi mulai mengusulkan penerapan sistem monitoring dan deteksi kerusakan berbasis teknologi sebagai solusi mitigasi. Teknologi

seperti RFID dan Real-Time Location System (RTLS) telah terbukti mampu meningkatkan visibilitas pergerakan peti kemas dan mendeteksi anomali operasional secara lebih dini [12]. Lebih lanjut, pendekatan berbasis kecerdasan buatan dan deep learning, seperti model YOLO-NAS, menunjukkan potensi tinggi dalam mendeteksi kerusakan struktural peti kemas secara otomatis dan real-time melalui analisis citra visual [13]. Selain itu, penggunaan sensor akselerasi dan Impact Detection Methodology (IDM) juga dikembangkan untuk memantau gaya tumbukan yang terjadi selama proses penanganan peti kemas [14].

Meskipun kajian mengenai kerusakan peti kemas telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada aspek tertentu secara terpisah, seperti analisis penyebab teknis, pendekatan manajemen risiko, atau pengembangan teknologi deteksi. Masih terbatas penelitian yang mengintegrasikan secara komprehensif jenis kerusakan, faktor penyebab, serta strategi mitigasi dalam satu kerangka analisis berbasis studi literatur yang sistematis [15]. Padahal, pendekatan integratif sangat diperlukan untuk memahami kompleksitas permasalahan kerusakan peti kemas secara menyeluruh dan lintas konteks operasional.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi jenis-jenis kerusakan peti kemas yang umum terjadi dalam proses bongkar muat; (2) menganalisis faktor-faktor penyebab utama kerusakan peti kemas; dan (3) merumuskan strategi mitigasi yang bersifat preventif dan berbasis teknologi. Melalui studi literatur terhadap artikel-artikel ilmiah nasional dan internasional yang relevan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis dalam pengayaan kajian kerusakan peti kemas, sekaligus kontribusi praktis sebagai referensi bagi pengelola pelabuhan dalam menyusun kebijakan, SOP, dan pengembangan sistem monitoring yang lebih efektif dan berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur (*literature review*) untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyintesis temuan ilmiah yang berkaitan dengan jenis kerusakan peti kemas, faktor penyebab, serta strategi mitigasi dalam proses bongkar muat di pelabuhan. Metode studi literatur dipilih karena mampu memberikan pemahaman konseptual yang komprehensif terhadap permasalahan yang bersifat multidimensional dan lintas konteks operasional, khususnya pada sistem pelabuhan dan terminal peti kemas [5-6].

Desain Penelitian

Desain penelitian bersifat deskriptif-analitis, dengan tujuan utama menyusun kerangka pemahaman integratif mengenai kerusakan peti kemas berdasarkan bukti ilmiah yang telah dipublikasikan. Pendekatan ini tidak hanya merangkum hasil penelitian terdahulu, tetapi juga melakukan sintesis kritis untuk mengidentifikasi pola, hubungan sebab akibat, serta kecenderungan solusi yang berkembang dalam praktik bongkar muat peti kemas [3, 10].

Strategi Penelusuran Literatur

Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran artikel ilmiah yang bersumber dari basis data daring bereputasi, antara lain ScienceDirect, SpringerLink, MDPI, IEEE Xplore, SAGE Journals, dan Google Scholar. Kata kunci yang digunakan dalam proses pencarian

meliputi *container damage, loading and unloading operations, port handling, risk management*, dan *smart port technology*. Pemilihan basis data ini bertujuan untuk memastikan bahwa literatur yang digunakan memiliki kualitas akademik dan relevansi terhadap bidang teknik dan manajemen maritim [1-2].

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Artikel yang disertakan dalam kajian ini dipilih berdasarkan kriteria inklusi sebagai berikut:

1. membahas kerusakan peti kemas dalam konteks bongkar muat, terminal peti kemas, atau operasi pelabuhan;
2. mengandung analisis faktor penyebab dan/atau strategi mitigasi;
3. diterbitkan dalam rentang waktu 2005–2025; dan
4. tersedia dalam bentuk teks lengkap (full-text) dan dapat diakses secara daring.

Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang hanya bersifat opini, tidak memiliki metodologi yang jelas, atau tidak relevan secara langsung dengan konteks operasional bongkar muat peti kemas. Penerapan kriteria ini bertujuan untuk meminimalkan bias seleksi dan meningkatkan validitas kajian [11, 15].

Teknik Pemilihan Sampel Literatur

Teknik purposive sampling digunakan untuk menentukan artikel yang dianalisis secara mendalam. Melalui proses penyaringan bertahap berdasarkan judul, abstrak, dan isi penuh, terpilih 20 artikel ilmiah utama yang dianggap paling representatif dalam menjelaskan variasi jenis kerusakan, faktor penyebab, serta pendekatan mitigasi, baik dari perspektif operasional maupun teknologi [6, 14]. Pendekatan ini memungkinkan kajian mencakup konteks nasional dan internasional secara seimbang.

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan analisis isi (content analysis) dan analisis tematik (thematic analysis). Analisis isi digunakan untuk mengidentifikasi informasi kunci dari setiap artikel, seperti jenis kerusakan peti kemas, lokasi terjadinya kerusakan, dan metode penanganan yang diterapkan [6, 11]. Selanjutnya, analisis tematik dilakukan dengan mengelompokkan temuan ke dalam tema-tema utama, meliputi:

1. klasifikasi kerusakan peti kemas;
2. faktor penyebab dominan; dan
3. strategi mitigasi berbasis operasional dan teknologi [10, 14].

Validitas dan Keandalan Data

Untuk meningkatkan validitas hasil kajian, penelitian ini menerapkan triangulasi sumber, yaitu dengan membandingkan temuan dari berbagai jenis publikasi seperti jurnal ilmiah, prosiding konferensi, dan laporan teknis. Selain itu, hasil analisis juga dibandingkan lintas konteks pelabuhan dan jenis terminal guna memastikan konsistensi pola temuan yang diperoleh [5, 21]. Pendekatan ini bertujuan menghasilkan sintesis yang lebih objektif dan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam praktik pengelolaan pelabuhan.

Melalui metodologi ini, penelitian diharapkan mampu menyajikan gambaran sistematis dan berbasis bukti mengenai kerusakan peti kemas dalam proses bongkar muat, sekaligus

merumuskan rekomendasi mitigasi yang relevan untuk meningkatkan keselamatan, efisiensi, dan keandalan operasional pelabuhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum Temuan Literatur

Hasil telaah sistematis terhadap 20 artikel ilmiah menunjukkan bahwa kerusakan peti kemas dalam proses bongkar muat merupakan fenomena yang bersifat konsisten, berulang, dan lintas konteks pelabuhan. Temuan ini berlaku baik pada terminal peti kemas dengan tingkat otomasi rendah maupun pada pelabuhan modern dengan throughput tinggi [5, 6, 10]. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kerusakan peti kemas tidak dapat dipahami sebagai kejadian insidental, melainkan sebagai konsekuensi dari interaksi kompleks antara faktor manusia, teknis, lingkungan, dan sistem kerja.

Literatur juga menunjukkan bahwa intensitas kerusakan meningkat seiring dengan meningkatnya volume operasi dan tekanan waktu (time pressure) di pelabuhan. Terminal dengan target produktivitas tinggi cenderung menghadapi dilema antara efisiensi dan keselamatan, di mana percepatan proses bongkar muat sering kali dilakukan dengan mengorbankan ketelitian operasional [10-11]. Kondisi ini memperkuat argumen bahwa kerusakan peti kemas merupakan masalah sistemik yang memerlukan pendekatan manajemen risiko terpadu.

Analisis Mendalam Jenis Kerusakan Peti Kemas

Kerusakan Struktural: Pola, Mekanisme, dan Dampaknya

Kerusakan struktural merupakan jenis kerusakan yang paling dominan ditemukan dalam seluruh literatur yang dianalisis. Bentuk kerusakan ini meliputi penyok pada panel samping, retakan pada struktur baja, deformasi sudut (corner casting), hingga kerusakan akibat benturan keras saat lifting dan stacking [6, 14, 15].

Secara mekanis, kerusakan struktural umumnya terjadi akibat gaya tumbukan (impact force) yang melebihi batas toleransi desain peti kemas. Studi berbasis sensor akselerasi menunjukkan bahwa gaya lateral yang terjadi saat proses stacking dan trailer loading sering kali lebih besar dibandingkan gaya tumbukan vertikal, terutama ketika menggunakan reach stacker [14-15]. Temuan ini memperjelas bahwa kesalahan kecil dalam pengendalian peralatan dapat menghasilkan kerusakan signifikan pada struktur peti kemas.

Dampak kerusakan struktural tidak terbatas pada penurunan nilai fisik peti kemas, tetapi juga berimplikasi pada keselamatan muatan dan pekerja. Peti kemas dengan struktur yang telah mengalami deformasi berisiko mengalami kegagalan struktural lanjutan ketika digunakan kembali, khususnya pada operasi bertingkat (stacking tinggi) [4, 6].

Kerusakan Fungsional: Risiko Tersembunyi dalam Operasi

Kerusakan fungsional mencakup gangguan pada komponen pendukung operasional, seperti sambungan yang longgar, kerusakan hook dan lashing point, serta deformasi base frame [7, 9]. Literatur menunjukkan bahwa kerusakan jenis ini sering kali kurang mendapat perhatian karena tidak selalu tampak secara visual pada inspeksi awal.

Namun demikian, dampak kerusakan fungsional justru sangat krusial. Kegagalan fungsi lashing atau hook dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban saat pengangkatan, meningkatkan risiko jatuhnya peti kemas, serta memperbesar potensi kecelakaan kerja [9]. Beberapa studi kasus mencatat bahwa kerusakan fungsional sering menjadi pemicu awal terjadinya kerusakan struktural yang lebih serius apabila tidak segera ditangani.

Kerusakan Spesifik dan Elektronik pada Peti Kemas Khusus

Kerusakan spesifik paling banyak ditemukan pada peti kemas khusus, terutama reefer container, yang bergantung pada sistem kelistrikan dan pendinginan. Bentuk kerusakan meliputi kegagalan control box, korsleting listrik, serta penurunan kinerja sistem pendingin akibat usia pakai komponen dan perawatan yang tidak optimal [16].

Berbeda dengan kerusakan struktural, kerusakan elektronik sering kali bersifat laten dan tidak terdeteksi selama proses bongkar muat. Akibatnya, dampak kerusakan baru diketahui ketika muatan mengalami penurunan kualitas atau kerusakan total, yang berujung pada kerugian ekonomi yang signifikan [16]. Hal ini menegaskan perlunya pendekatan deteksi dini berbasis teknologi untuk peti kemas khusus.

Analisis Faktor Penyebab Kerusakan Peti Kemas

Faktor Manusia (Human Factor) sebagai Penyebab Dominan

Hampir seluruh literatur yang dianalisis menempatkan faktor manusia sebagai penyebab utama kerusakan peti kemas. Kelelahan operator, kurangnya pelatihan teknis, rendahnya kepatuhan terhadap SOP, serta lemahnya budaya keselamatan kerja secara konsisten dilaporkan sebagai pemicu kesalahan penanganan [7-8].

Dalam kondisi operasional dengan tekanan waktu tinggi, operator sering kali melakukan improvisasi yang menyimpang dari prosedur baku, seperti mempercepat lifting, mengurangi jarak aman antar peti kemas, atau mengabaikan pemeriksaan awal [10-11]. Literatur keselamatan kerja menegaskan bahwa perilaku tidak aman ini merupakan respons adaptif terhadap tekanan sistemik, bukan semata-mata kesalahan individu.

Faktor Teknis dan Keandalan Peralatan

Kondisi teknis peralatan bongkar muat memiliki korelasi langsung dengan tingkat kerusakan peti kemas. Peralatan yang tidak dirawat secara berkala, telah melewati usia pakai, atau memiliki sistem kontrol yang tidak optimal meningkatkan risiko kegagalan fungsi [9, 14].

Studi berbasis sensor menunjukkan bahwa osilasi spreader yang tidak terkontrol dapat meningkatkan gaya tumbukan secara signifikan [14]. Temuan ini mengindikasikan bahwa investasi pada perawatan preventif, modernisasi peralatan, dan sistem kontrol sway merupakan langkah strategis untuk menekan tingkat kerusakan.

Faktor Lingkungan dan Kondisi Operasional

Lingkungan pelabuhan yang dinamis, khususnya cuaca ekstrem dan paparan udara laut yang korosif, turut memperburuk kondisi peti kemas. Angin kencang dan hujan lebat mengurangi visibilitas dan kendali operator terhadap pergerakan beban, sementara paparan lingkungan laut mempercepat proses korosi pada struktur baja [6, 11].

Literatur juga mencatat bahwa operasi bongkar muat yang tetap dipaksakan dalam kondisi cuaca tidak ideal cenderung meningkatkan insiden kerusakan, terutama pada terminal dengan tekanan throughput tinggi.

Faktor Sistem Kerja dan Manajemen Operasional

Sistem kerja yang tidak efisien, seperti tingginya idle time, koordinasi antar unit kerja yang lemah, serta ketiadaan sistem pelaporan kerusakan yang terstandar, merupakan faktor sistemik yang sering diabaikan [10]. Kondisi ini menciptakan tekanan operasional yang mendorong ketergesaan dan pengabaian prosedur keselamatan.

Strategi Mitigasi Kerusakan Peti Kemas

Pendekatan Konvensional Berbasis Operasional

Pendekatan konvensional menitikberatkan pada pelatihan berkelanjutan, inspeksi rutin, serta penguatan budaya keselamatan kerja [7-8]. Strategi ini efektif dalam menurunkan insiden akibat kesalahan manusia, namun memiliki keterbatasan karena bergantung pada pengawasan manual dan bersifat reaktif.

Pendekatan Berbasis Teknologi dan Digitalisasi

Literatur mutakhir menyoroti peran teknologi dalam mentransformasi pendekatan mitigasi dari reaktif menjadi prediktif. Implementasi RFID dan RTLS meningkatkan visibilitas pergerakan peti kemas secara real-time [12]. Penggunaan sensor akselerasi dan Impact Detection Methodology (IDM) memungkinkan pemantauan gaya tumbukan secara berkelanjutan [14-15]. Lebih lanjut, teknologi computer vision berbasis deep learning, seperti YOLO-NAS, menawarkan deteksi otomatis kerusakan struktural dengan tingkat akurasi tinggi, sehingga mempercepat proses inspeksi dan mengurangi ketergantungan pada pemeriksaan manual [13].

Sintesis Integratif dan Implikasi Teoretis

Sintesis lintas literatur menunjukkan bahwa kerusakan peti kemas merupakan **masalah sistemik multi-dimensi**. Tidak ada satu solusi tunggal yang mampu mengatasi seluruh spektrum permasalahan. Pendekatan integratif yang mengombinasikan penguatan faktor manusia, keandalan teknis peralatan, perbaikan sistem kerja, serta adopsi teknologi monitoring cerdas menjadi strategi paling efektif [5, 20]. Dari sisi teoretis, temuan ini memperkaya kajian manajemen risiko pelabuhan dengan menegaskan pentingnya pendekatan sosio-teknis dalam memahami dan mengelola risiko operasional.

Implikasi Praktis bagi Pengelolaan Pelabuhan

Secara praktis, hasil kajian ini dapat menjadi dasar bagi pengelola pelabuhan dalam menyusun kebijakan mitigasi kerusakan peti kemas yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Integrasi teknologi monitoring dengan penguatan SOP dan pelatihan SDM berpotensi menurunkan insiden kerusakan sekaligus meningkatkan efisiensi operasional [20-21].

Tabel 1. Ringkasan temuan utama, rekomendasi mitigasi, dan referensi pendukung.

Aspek	Temuan Utama	Implikasi Operasional	Rekomendasi Mitigasi	Referensi Utama
Jenis Kerusakan	Kerusakan didominasi kerusakan struktural (penyok, retak, deformasi sudut), diikuti kerusakan fungsional dan elektronik (reefer)	Penurunan kelayakan peti kemas dan meningkatnya risiko keselamatan	Inspeksi berbasis risiko dan klasifikasi perlakuan peti kemas	[6], [14], [15], [16]
Faktor Manusia	Human error akibat kelelahan, kurang pelatihan, dan ketidakpatuhan SOP	Kesalahan lifting dan stacking meningkatkan benturan	Pelatihan berkelanjutan, safety briefing, dan penguatan budaya K3	[7], [8], [10], [11]
Faktor Teknis	Kondisi alat bongkar muat yang tidak optimal dan kurang perawatan	Ketidakstabilan beban dan kerusakan berulang	Perawatan preventif, modernisasi alat, dan sistem kontrol sway	[9], [14]
Faktor Lingkungan	Cuaca ekstrem dan paparan udara laut mempercepat kerusakan dan korosi	Operasi tidak stabil dan risiko meningkat	Penyesuaian SOP berbasis cuaca dan inspeksi pasca-operasi	[6], [11]
Sistem Kerja	Idle time tinggi dan koordinasi antar unit lemah	Ketergesaan operasi dan pengabaian prosedur	Optimalisasi alur kerja dan sistem pelaporan kerusakan terstandar	[10], [5]
Teknologi Monitoring	Kerusakan minor sering tidak terdeteksi dengan inspeksi manual	Kerusakan berkembang menjadi lebih parah	Implementasi RFID, RTLS, sensor tumbukan, dan AI-based visual detection	[12], [13], [14], [20]

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi literatur terhadap 20 artikel ilmiah yang relevan, dapat disimpulkan bahwa kerusakan peti kemas dalam proses bongkar muat merupakan permasalahan operasional yang bersifat sistemik dan multidimensional. Kerusakan tidak hanya dipengaruhi oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil interaksi antara faktor manusia, kondisi teknis peralatan, lingkungan operasional, sistem kerja, serta keterbatasan teknologi monitoring.

Jenis kerusakan peti kemas yang paling dominan adalah kerusakan struktural, seperti

penyok, retakan panel, dan deformasi sudut, yang umumnya terjadi akibat benturan selama proses lifting dan stacking. Selain itu, ditemukan pula kerusakan fungsional, termasuk kerusakan hook dan lashing point, serta kerusakan spesifik atau elektronik, khususnya pada reefer container yang berkaitan dengan sistem kelistrikan dan pendinginan. Kerusakan-kerusakan tersebut berdampak langsung pada keselamatan muatan, keselamatan kerja, efisiensi operasional, serta peningkatan biaya perbaikan dan klaim asuransi.

Hasil kajian menunjukkan bahwa faktor manusia (human error) merupakan penyebab dominan, terutama yang berkaitan dengan kelelahan operator, kurangnya pelatihan, dan ketidakpatuhan terhadap standar operasional prosedur. Faktor teknis berupa kondisi peralatan bongkar muat yang tidak optimal, pengaruh lingkungan seperti cuaca ekstrem dan korosi laut, serta sistem kerja yang kurang efisien semakin memperbesar risiko terjadinya kerusakan. Keterbatasan inspeksi manual juga menyebabkan kerusakan minor sering tidak terdeteksi pada tahap awal dan berkembang menjadi kerusakan yang lebih serius.

Studi ini menegaskan bahwa mitigasi kerusakan peti kemas memerlukan pendekatan integratif yang mengombinasikan penguatan kompetensi sumber daya manusia, peningkatan keandalan teknis peralatan, perbaikan sistem kerja, serta pemanfaatan teknologi monitoring berbasis sensor, RFID, dan kecerdasan buatan. Pendekatan integratif tersebut sejalan dengan konsep pengelolaan pelabuhan modern dan pengembangan smart port yang menekankan aspek keselamatan, efisiensi, dan keberlanjutan operasional.

Saran

Berdasarkan simpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut. Pertama, pengelola pelabuhan dan terminal peti kemas disarankan untuk memperkuat penerapan standar operasional prosedur (SOP) bongkar muat dengan menempatkan aspek keselamatan dan ketelitian sebagai prioritas utama, khususnya pada kondisi operasional dengan beban kerja tinggi dan cuaca kurang ideal. Peningkatan disiplin operasional perlu didukung oleh pelatihan berkelanjutan dan evaluasi kinerja operator secara periodik.

Kedua, diperlukan peningkatan keandalan teknis peralatan bongkar muat melalui program perawatan preventif dan modernisasi alat, termasuk penerapan sistem kontrol stabilitas beban. Langkah ini penting untuk mengurangi gaya tumbukan yang berpotensi menyebabkan kerusakan struktural pada peti kemas.

Ketiga, pengelola pelabuhan disarankan untuk mulai mengintegrasikan teknologi monitoring dan deteksi dini, seperti RFID, Real-Time Location System (RTLS), sensor tumbukan, serta sistem deteksi visual berbasis kecerdasan buatan. Pemanfaatan teknologi tersebut diharapkan mampu mengubah pendekatan penanganan kerusakan dari yang bersifat reaktif menjadi preventif dan prediktif.

Keempat, untuk pengembangan keilmuan, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan studi empiris berbasis data lapangan guna memvalidasi temuan studi literatur ini, termasuk analisis kuantitatif terhadap frekuensi dan tingkat keparahan kerusakan peti kemas. Penelitian lanjutan juga dapat mengkaji aspek biaya-manfaat dari penerapan teknologi mitigasi guna mendukung pengambilan keputusan manajerial di pelabuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Stopford, M. (2009). *Maritime economics* (3rd ed.). London, UK: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203891742>.
- [2] Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2022). Port management and governance in a post-COVID-19 era. *Maritime Policy & Management*, 49(3), 329–345. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1990943>.
- [3] Cullinane, K., & Wang, T. F. (2010). The efficiency of container terminals: A comparative study using DEA. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(9), 659–676. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.05.002>.
- [4] Dang, S., & Chu, L. (2016). Evaluation framework and verification for sustainable container management as reusable packaging. *Journal of Business Research*, 69(5), 1949–1955. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.10.086>.
- [5] Bichou, K. (2011). A two-stage supply chain risk management framework for port operations. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 14(2), 113–131. <https://doi.org/10.1080/13675567.2010.548384>.
- [6] Shang, K. C., & Tseng, W. J. (2010). A risk analysis of stevedoring operations in seaport container terminals. *Journal of Marine Science and Technology*, 18(2), 201–210. <https://doi.org/10.51400/2709-6998.2319>.
- [7] Suryantoro, B., Punama, D. W., & Haqi, M. (2020). Tenaga kerja, peralatan bongkar muat lift on/lift off, dan efektivitas lapangan penumpukan terhadap produktivitas bongkar muat peti kemas. *Jurnal Baruna Horizon*, 3(1), 156–169. <https://doi.org/10.52310/jbhorizon.v3i1.41>.
- [8] Surya Dinata, D., Sutria, Y., & Sabila, F. H. (2023). Work safety procedures in loading/unloading activities at PT. Buana Lintas Lautan Tbk Batam Branch. *Journal of Maritime Safety*, 1, 40–48.
- [9] Samudra, Y. D. (2023). Analisis kerusakan peti kemas pada proses bongkar muat di kapal MV *Spil Nirmala*.
- [10] Oktavia, N., Marimin, & Arkeman, Y. (2020). Strategi peningkatan kinerja operasional bongkar muat peti kemas: Studi kasus di PT Jakarta International Container Terminal. *Jurnal Aplikasi Bisnis dan Manajemen*, 6(2), 344–355. <https://doi.org/10.17358/jabm.6.2.344>.
- [11] Dharana, A., Partiwi, S. G., & Suwignjo, P. (2021). Risk analysis in mini container loading and unloading activities at dock company. In *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (pp. 1878–1884). <https://doi.org/10.46254/sa02.20210659>.
- [12] Park, D. J., Choi, Y. B., & Nam, K. C. (2006). RFID-based RTLS for improvement of operation system in container terminals. In *Proceedings of the Asia-Pacific Conference on Communications* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/APCC.2006.255837>.
- [13] Nguyen Thi Phuong, T., Cho, G. S., & Chatterjee, I. (2025). Automating container damage detection with the YOLO-NAS deep learning model. *Science Progress*, 108(1), 1–21. <https://doi.org/10.1177/00368504251314084>.
- [14] Jakovlev, S., Eglynas, T., Jusis, M., Jankunas, V., & Voznak, M. (2025). Mitigating container damage and enhancing operational efficiency in global containerisation. *Sensors*, 25(7), Article 2019. <https://doi.org/10.3390/s25072019>.
- [15] Jakovlev, S., Eglynas, T., Jankunas, V., Jusis, M., & Voznak, M. (2025). On the issue of shipping container side and rear damage during port handling operations. *Preprints*, 2025041894. <https://doi.org/10.20944/preprints202504.1894.v1>.
- [16] Andromeda, F., Wibowo, W., & Nurhidayati, I. (2024). Analytical approach to mechanical damage of reefer container on MV *Cap San Juan*: Case study and optimization recommendations. *Jurnal Sains Teknologi Transportasi Maritim*, 6(2), 105–

110. <https://doi.org/10.51578/j.sitektransmar.v6i2.96>.
- [17] Ardni, E. D., Ndori, A., & Indriyani, K. A. (2024). Analisis terjadinya kerusakan pada kontainer saat kegiatan bongkar muat di MV *Izumi Mas*. *Proceedings*, 1*(1), 227–237.
- [18] Asbullah, Ginting, D., & Suparman. (2024). Analisis keterlambatan dan efisiensi kegiatan bongkar muat petikemas di Terminal PT Prima Terminal Petikemas Belawan. *Journal of Social Science Research*, 4(1), 10156–10166.
- [19] Pradita, R. L. E., & Fauziah, L. (2023). Operational management of container repairs to minimize goods damage during the shipping process. *Asian Journal of Logistics Management*, 2(1), 16–25. <https://doi.org/10.14710/ajlm.2023.18894>.
- [20] Zhu, S., Song, J., & Zhao, X. (2020). Smart port development and container terminal automation: A literature review. *Transportation Research Procedia*, 47, 614–621. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2020.03.123>.
- [21] United Nations Conference on Trade and Development. (2023). *Review of maritime transport 2023*. Geneva, Switzerland: UNCTAD. <https://unctad.org/publication/review-maritime-transport-2023>.