

Adopsi Kecerdasan Buatan (AI) dalam Industri Maritim: Peluang, Tantangan, dan Implikasinya terhadap Efisiensi Operasional

Marsellinus Bachtiar^{1,2}

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi,
Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
E-mail: marsellinus.bachtiar@atmajaya.ac.id

ABSTRAK

Pada penulisan ini adopsi kecerdasan buatan dalam industri maritim Indonesia, dengan fokus pada efisiensi operasional pelabuhan. Dengan menggunakan pendekatan kajian literatur dan analisis kasus, penelitian ini mengidentifikasi peta proses bisnis pelabuhan, pemangku kepentingan, serta sistem digital yang digunakan, seperti INAPORTNET, CEISA, TOS, VMS, Auto Gate, dan STID. Studi ini mengevaluasi kesiapan adopsi AI di Pelabuhan Tanjung Priok berdasarkan indikator seperti infrastruktur teknologi, automasi operasional, integrasi sistem, kompetensi SDM, efisiensi operasional, dan dampak lingkungan. Hasil kajian menunjukkan bahwa meskipun terdapat inisiatif digitalisasi yang signifikan, penerapan AI masih terbatas pada tahap awal. Peluang pemanfaatan AI meliputi peningkatan produktivitas, keamanan, dan keberlanjutan, sementara tantangan utamanya mencakup infrastruktur digital, integrasi sistem, serta keterbatasan regulasi dan SDM. Tulisan ini menyimpulkan bahwa strategi bertahap dan kolaboratif antara pemerintah, operator pelabuhan, dan pelaku industri diperlukan untuk mempercepat transformasi digital sektor maritim berbasis AI.

Kata kunci :

Kecerdasan Buatan; Efisiensi Operasional; Industri Maritim; Navigasi; Transformasi Digital

ABSTRACT

This paper discusses the adoption of Artificial Intelligence (AI) in Indonesia's maritime industry, focusing on port operational efficiency. Using literature review and case analysis approaches, the study identifies port business processes, key stakeholders, and digital systems such as INAPORTNET, CEISA, TOS, VMS, Auto Gate, and STID. The readiness of AI adoption at Tanjung Priok Port is assessed based on indicators including technological infrastructure, operational automation, system integration, human resource competence, operational efficiency, and environmental impact. Findings indicate that while digitalization initiatives are ongoing, AI implementation remains at an early stage. Opportunities lie in productivity, safety, and sustainability improvements, while key challenges include digital infrastructure limitations, system integration issues, regulatory gaps, and human resource constraints. The paper concludes that a phased and collaborative strategy among the government, port operators, and industry players is essential to accelerate AI-driven digital transformation in the maritime sector.

Keywords :

Artificial Intelligence; Operational Efficiency; Maritime Industry; Navigation; Digital Transformation.

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau dan garis pantai sepanjang 81.000 km menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan industri maritim. Sektor ini meliputi transportasi laut, pengelolaan pelabuhan, dan logistik perikanan.

Menurut data BPS 2022, lebih dari 90% arus barang domestik menggunakan jalur laut. Efisiensi dan keselamatan dalam sektor ini menjadi sangat penting dan strategis. Peran dari perdagangan lewat laut ini merupakan indikator pentingnya sektor maritim, termasuk didalamnya adalah kepelabuhanan dalam memperlancar arus lalu lintas barang ke berbagai belahan dunia.

Sektor Maritim adalah salah satu sektor strategis yang sudah berjalan dari waktu ke waktu dengan pola operasional dan proses bisnis yang *existing*. Para pelaku industri maritim menjalankan operasional di dunia maritim beratus-ratus tahun dengan pola yang sama. Dibandingkan dengan sektor manufaktur, logistik dan pertanian, adopsi teknologi lebih lambat – terutama dalam ruang lingkup digitalisasi otomatisasi dan AI [1].

Adanya teknologi baru terutama diadopsi untuk tujuan keamanan dan keselamatan pelayaran, navigasi dan kemudahan dalam proses administrasi. Lebih jauh lagi, teknologi juga dapat menjadi faktor penting dalam kinerja kepelabuhanan untuk mempercepat proses bongkar muat, dan mengurangi *dwellling time*.

Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan teknologi informasi dan digitalisasi telah membuka peluang transformasi melalui penerapan kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI). Saat ini, perkembangan kecerdasan buatan (AI) sudah menyebar di berbagai bidang dan diadopsi oleh berbagai sektor industri maupun dalam keseharian manusia. Banyak proses bisnis yang mengadopsi AI untuk mendeteksi, menganalisis data, memberikan rekomendasi untuk dunia kesehatan, bisnis.

Namun, integrasi teknologi ini memerlukan kesiapan infrastruktur, kebijakan, dan kapabilitas SDM.

Saat ini peran dari kecerdasan buatan (AI) sudah meluas ke berbagai industri dan sektor-sektor pelayanan publik dan berbagai aspek kehidupan di masyarakat. AI dapat membantu meningkatkan efisiensi dalam proses bisnis dan optimalisasi kinerja dari industri Maritim.

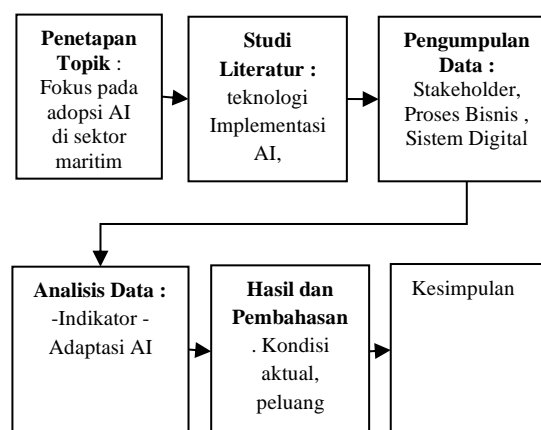
Teknologi ini telah terbukti memberikan kontribusi signifikan dalam berbagai sektor, termasuk industri maritim global, terutama dalam hal pengaturan lalu lintas kapal, otomatisasi bongkar muat kontainer, hingga perawatan prediktif berbasis data [2].

Meskipun potensi AI sangat besar, tingkat adopsinya di pelabuhan-pelabuhan Indonesia masih berada pada tahap awal.

Beberapa pelabuhan seperti Balikpapan dan Belawan telah mulai mengimplementasikan sistem manajemen berbasis AI untuk mengatur kapal tunda dan pilot [2]. Penerapan AI membutuhkan prasyarat infrastruktur dan teknologi, SDM, Regulasi dan dukungan kebijakan. Penerapan ini masih menghadapi sejumlah tantangan krusial, antara lain keterbatasan infrastruktur teknologi, kesiapan sumber daya manusia (SDM), dan belum adanya regulasi yang mengatur integrasi AI secara menyeluruh dalam ekosistem pelabuhan nasional.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penulisan ini didasarkan atas metodologi sebagai berikut :



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Pada Gambar 1 diatas , metodologi penelitian dimulai dari

- Penetapan Topik: Fokus pada adopsi AI di sektor maritim, khususnya konteks kepelabuhanan.
- Studi Literatur: Mengkaji referensi terkait kesiapan teknologi, implementasi AI, dan dampaknya terhadap pelabuhan.
- Pengumpulan Data: Mengidentifikasi stakeholder, peta proses bisnis pelabuhan, dan sistem digital terkait.
- Analisis Data: Menggunakan indikator adopsi AI untuk mengevaluasi kesiapan dan membandingkan kondisi aktual.
- Hasil dan Pembahasan: Memaparkan kondisi aktual, peluang, tantangan, serta analisis berdasarkan indikator.

- Kesimpulan: Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis.

2.1 Kajian Literatur

Dalam upaya memahami adaptasi teknologi kecerdasan buatan (AI) di pelabuhan, kita dapat merujuk pada indikator yang meliputi kesiapan, implementasi, serta dampaknya terhadap kinerja pelabuhan. Dalam konteks ini, berbagai publikasi ilmiah dan studi kasus internasional memberikan gambaran indikator dan metrik yang dapat digunakan sebagai acuan penerapan AI di kepelabuhanan.

Indikator tersebut mencakup aspek infrastruktur, integrasi sistem, sumber daya manusia, serta dampaknya terhadap operasional dan lingkungan.

2.2. Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh dari data sekunder divalidasi dengan merujuk berbagai referensi.

Analisis data berdasarkan indikator yang dari referensi dan membandingkan kondisi saat ini. Penarikan kesimpulan berdasarkan interpretasi atas keterkaitan antar data.

Selain itu, penulis juga mendapatkan insight dari diskusi dan seminar terkait industri maritim, khususnya kepelabuhanan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses Bisnis Pelabuhan

Berikut adalah proses bisnis di pelabuhan yaitu meliputi :

- Penerimaan Barang: Barang yang dikirim dari pengirim (shipper) disimpan sementara di gudang pelabuhan.
- Pemeriksaan dan Dokumentasi: Pemeriksaan barang masuk dilakukan oleh pihak bea cukai dan juga meliputi kelengkapan dokumen administrasi.
- Penanganan Kargo: Barang dari gudang ditransfer ke area penumpukan atau ditempatkan ke kapal. Kegiatannya termasuk kegiatan seperti pemuatan (loading) dan pembongkaran (unloading) kargo.

- Pengangkutan: Barang dari pelabuhan diangkut dengan truk atau kereta api ke tempat tujuan.
- Penyimpanan: Penyimpanan di area penumpukan atau gudang pelabuhan untuk dikirim atau diambil oleh penerima (*consignee*).
- Pengiriman Akhir: Pengiriman ke penerima akhir melalui moda transportasi lainnya.

3.2 Pemangku Kepentingan

Pemangku kepentingan (*Stakeholder*) dalam konteks kepelabuhanan termasuk : Kantor Otoritas Pelabuhan, Operator Terminal (Pelindo), Perusahaan pelayaran (INSA sebagai asosiasi) , Pengirim (Shipper) dan Penerima (Consignee) , Kantor Bea Cukai, Penyedia transportasi (truk, kereta), Agen Pengiriman, Lembaga Pemerintah lainnya, dan masyarakat pelabuhan dalam arti luas.

3.3 Port Tanjung Priok

Pelabuhan Tanjung Priok merupakan pelabuhan terbesar di Indonesia yang terletak di teluk Jakarta . Dengan area seluas : 604 hektar dan 76 dermaga. Pelabuhan Tanjung Priok sampai dengan Januari 2025 mempunyai kinerja operasional sebagai berikut :

- Trafik Kapal 114 Juta GT:
- Trafik Peti Kemas : 1,5 Juta TEUs
- Trafik Non Petikemas : 14,6 Juta Ton
- Penumpang : 1,8 Juta Orang

Pelabuhan Tanjung Priok memiliki fasilitas modern untuk mendukung aktifitas bongkar muat yaitu :

1. **Terminal Peti Kemas.** Terdapat lima terminal utama yang melayani ekspor-impor, yaitu Jakarta International Container Terminal (JICT) I & II, Terminal Petikemas Koja (TPK Koja), Mustika Alam Lestari (MAL), dan Multi Terminal Indonesia (MTI) .
2. **Dermaga dan Gudang.** Pelabuhan Tanjung Priok memiliki dermaga yang mampu menangani berbagai jenis kapal dan barang, serta gudang dan pusat distribusi untuk penyimpanan

sementara sebelum barang didistribusikan ke tujuan akhir .

3. **Sarana Pendukung:** Terdapat fasilitas pendukung seperti kantor administrasi, area parkir, sistem keamanan, dan pengawasan untuk memastikan kelancaran operasional pelabuhan.



Gambar 1. Pelabuhan Tanjung Priok .

Source : <https://www.pelindo.co.id/>

Pelabuhan Tanjung Priok dikelola oleh Pelindo – yang merupakan BUMN pengelola pelabuhan-pelabuhan di Indonesia. Pihak-pihak yang terkait dengan kegiatan di Pelabuhan Tanjung Priok adalah : Kementerian Perhubungan (Hubla), Pelindo (Regional 2), Otoritas Pelabuhan , Dirjen Bea Cukai, Kantor Imigrasi dan Karantina, Asosiasi dan Pelaku Bisnis.

Sistem yang diimplementasi di Pelabuhan Tanjung Priok meliputi hampir semua proses bisnis yaitu : INAPORTNET (sistem layanan tunggal berbasis elektronik yang mengintegrasikan seluruh proses layanan kapal dan barang di pelabuhan), CEISA (Customs-Excise Information System and Automation), TOS (Terminal Operating System), VMS (Vessel Management System) , Auto Gate System dan STID (Single Truck Identification Data). Pada Tabel 1 dapat dilihat beberapa sistem yang dijalankan di Pelabuhan Tanjung Priok.

3.4 Adopsi AI di Pelabuhan Tanjung Priok Berdasarkan Indikator dan Metrik

Pelabuhan Tanjung Priok sebagai pelabuhan terbesar dan tersibuk di Indonesia telah menunjukkan sejumlah inisiatif menuju digitalisasi. Namun, jika ditinjau berdasarkan indikator (Tabel 2) tingkat adopsi kecerdasan buatan (AI) di pelabuhan ini masih berada pada tahap awal dan belum sepenuhnya terintegrasi.

Tabel 1. Identifikasi Sistem Digital Pelabuhan Indonesia

Sistem	Fungsi	Pengelola
INAPORTNET	Layanan kapal (kedatangan, tambat, keberangkatan) online	Kementerian Perhubungan
CEISA	Proses kepabeanan dan cukai (impor/ekspor)	Bea dan Cukai (Kementerian Keuangan)
TOS	Operasional terminal (bongkar muat, tracking kontainer)	Operator terminal (JICT, IPC TPK, dll - Pelindo)
VMS	Pengelolaan dan pemantauan pergerakan kapal di pelabuhan	Syahbandar & Otoritas Pelabuhan
Auto Gate	Kontrol otomatis masuk/keluar truk ke terminal	Operator terminal (Pelindo dan anak usaha)
STID	Registrasi dan identifikasi truk logistik	PT Pelindo (unit logistik)

Infrastruktur Teknologi: Pelabuhan telah mengembangkan sejumlah aplikasi untuk pelayanan dan pengawasan seperti SI TAMPAN (Sistem Informasi Tempat Penimbunan Sementara dan Pengawasan), PSA, PSP (Port Service Application) , dan SIVERA (Sistem Informasi dan Verifikasi

Armada) [3]. Aplikasi-aplikasi ini tujuannya untuk memantau pergerakan kapal, pengawasan keluar masuk barang dan keamanan. Upaya ini sejalan dengan arah kebijakan transformasi digital sektor transportasi laut yang didorong oleh Kementerian Perhubungan dan didukung oleh BUMN pelabuhan, seperti PT Pelabuhan Indonesia (Persero). Dalam Laporan Tahunan Pelindo [4], disebutkan bahwa implementasi digitalisasi telah berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi layanan, di antaranya ditunjukkan oleh penurunan waktu layanan kapal dari 2,1 hari menjadi rata-rata 1,3 hari per kapal.

Ditengah gencarnya banyaknya aplikasi dan sistem diatas, pemanfaatan AI masih sangat terbatas dalam manajemen operasional.

Berikut beberapa data lapangan terkait pemanfaatan AI.

1. Automasi dan Operasi Berbasis AI. Beberapa terminal seperti JICT dan TPK Koja telah menggunakan semi-automated crane dan Terminal Operating System (TOS). Selain itu, uji coba Terminal Booking System (TBS) juga telah dilakukan di JICT (Freightsight, 2023). Meskipun demikian, belum terdapat penggunaan AGV maupun sistem penjadwalan yang dikendalikan penuh oleh AI.
2. Integrasi Sistem: Sistem Inaportnet dari Kementerian Perhubungan telah diterapkan sebagai upaya integrasi digital, namun interoperabilitas real-time antar sistem pelabuhan dan mitra eksternal seperti bea cukai dan truk logistik masih terbatas. Per tahun 2022, sebanyak 324 kapal dari 22 perusahaan telah menggunakan layanan SSM Pengangkut di Tanjung Priok [4].
3. Kesiapan dan Kompetensi SDM: Sampai saat ini, belum tersedia data publik mengenai jumlah tenaga kerja yang tersertifikasi dalam bidang digital atau AI di lingkungan pelabuhan. Aspek ini menjadi tantangan tersendiri dalam akselerasi adopsi teknologi.
4. Efisiensi Operasional dan Lingkungan. Pada tahun 2022, arus petikemas di

Pelabuhan Tanjung Priok tercatat mencapai 6.417.053 TEUs, terdiri dari 4.506.360 TEUs untuk layanan internasional dan 1.910.693 TEUs untuk domestik [5]. Capaian ini mencerminkan tingginya aktivitas logistik nasional yang bertumpu pada Priok sebagai hub utama. Di sisi performa, Pelabuhan Tanjung Priok berhasil mencatatkan lompatan signifikan dalam Container Port Performance Index (CPPI) 2024, melonjak ke peringkat ke-23 dunia dari posisi ke-281 hanya dalam dua tahun [6]. Ini menunjukkan bahwa upaya perbaikan operasional dan digitalisasi mulai memberikan dampak nyata terhadap daya saing pelabuhan.

Namun demikian, adopsi teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI) untuk mendukung efisiensi operasional dan pengelolaan lingkungan masih sangat terbatas. Hingga saat ini, belum tersedia sistem AI yang secara spesifik digunakan untuk memprediksi waktu kedatangan kapal (ETA) secara real-time atau mengelola emisi operasional berbasis data prediktif. Hal ini membuka ruang besar untuk pengembangan solusi berbasis AI di masa depan guna mendorong efisiensi lebih lanjut dan mendukung komitmen terhadap keberlanjutan lingkungan.

3.5 Perbandingan dengan Implementasi AI di Pelabuhan Singapura

Sebagai pembanding untuk melihat sejauh mana adaptasi AI di Asia Tenggara, Pelabuhan Singapura dapat menjadi contoh. Pelabuhan Singapura, dikelola oleh *Maritime and Port Authority of Singapore* (MPA) dan mengimplementasikan inisiatif berbasis AI untuk peningkatan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan bisnis pelabuhan sebagai industri utama. Pengembangan digitalPort@SG, sebuah platform digital mengintegrasikan berbagai sistem informasi pelabuhan untuk mendukung kedatangan kapal secara Just-in-Time (JIT) dan pengaturan di dermaga yang optimal berbasis AI.

Penggunaan AI juga diimplementasikan pada *Next Generation Vessel Traffic Management System* (NGVTMS), mengatur lalu lintas kapal masuk dan keluar pelabuhan dengan presisi tinggi dengan standar keselamatan yang tinggi. Teknologi ini memanfaatkan machine learning dan analitik prediktif rekomendasi navigasi serta peringatan dini terhadap potensi kecelakaan.

Terkait logistik dan bongkar muat kontainer, Singapura telah mengimplementasikan *automated guided vehicles* (AGV) dan crane berbasis AI untuk mempercepat proses penanganan kontainer di PSA Tuas Mega Port. Sistem ini dilengkapi dengan sensor dan pengenalan visual (vision AI) untuk mengoptimalkan pergerakan barang dan kendaraan di dalam pelabuhan.

Penerapan AI juga mendukung pemantauan lingkungan, seperti pengukuran kualitas udara dan air laut di sekitar pelabuhan secara *real-time*, serta deteksi dini terhadap pencemaran melalui data sensor dan citra satelit.

Dalam hal pemanfaatan IoT (*Internet of Things*), *Port of Singapore* mengaplikasikan 10,000 sensor untuk mendukung operasional dan dapat memantau operasional secara *realtime* untuk melayani 20 juta TEUs per tahun.

Secara keseluruhan, strategi digitalisasi Singapura berbasis AI tidak hanya berfokus pada efisiensi operasional, tetapi juga menyoroti pada port sustainability dan global competitiveness, yang membuat pelabuhan ini menjadi salah satu pelabuhan terancang global.

3.6 Analisis Indikator

Berkaca pada indikator sebagai tertera pada Tabel 2. Maka kita dapat memiliki kerangka untuk memberikan pengukuran adaptasi secara terukur. Pada indikator Infrastruktur diperlukan data terukur jumlah sensor / IoT dan coverage dari jaringan data.

Di beberapa proses bisnis sudah terotomatisasi, namun diperlukan kajian lebih dalam untuk menilai seberapa jauh otomatisasi. Demikian halnya dengan

indikator-indikator lain yang memerlukan referensi lapangan secara empiris.

Tabel 2. Indikator Adopsi AI di Pelabuhan

Kategori	Indikator	Metrik	Referensi
Infrastruktur Teknologi	Ketersediaan sensor & jaringan	- Jumlah sensor/km ² - Area terkoneksi 5G (%) - Volume data (TB/bulan)	Zhang et al. (2021) [7]; Liu et al. (2020) [8]
		- Jumlah AGV- Waktu tunggu kapal (jam)- Turnaround time kontainer (jam/kontainer)	Lee & Hu (2022) [9]; Safuan et al. [2]
Integrasi Sistem	Interkoneksi dengan pihak eksternal	- Sistem terintegrasi (% unit)- Latensi data (ms)- Gangguan sistem (kali/bulan)	Notteboom & Rodrigue (2021) [10]
SDM dan Kompetensi	Pelatihan digitalisasi & AI	- Persentase SDM bersertifikasi- Jam pelatihan per tahun	Gavalas et al. (2022) [11]
Efisiensi Operasional	Optimasi AI terhadap proses	- Penghematan bahan bakar- Utilisasi slot dermaga (%) - Deviasi ETA (jam)	UNCTAD (2022) [12]; DNV (2023) [13].
Dampak Lingkungan	Pemantauan emisi berbasis AI	- Reduksi CO ₂ /TEU- Waktu idle kapal (jam)	Chen et al. (2021) [14]; IMO MEPC [16]

Berikut ini adalah peluang dan tantangan berdasarkan indikator-indikator yang ada.

3.7 Peluang dan Tantangan

Berdasarkan literatur akademik dan studi pelabuhan global, adopsi AI dalam sektor maritim membawa peluang strategis namun juga dihadapkan pada sejumlah tantangan yang signifikan. Peluang dan tantangan ini bersifat saling terkait dan berperan penting dalam menentukan keberhasilan implementasi teknologi AI di pelabuhan Indonesia, termasuk Pelabuhan Tanjung Priok.

3.7.1 Peluang

1. Peningkatan Efisiensi Operasional: AI memungkinkan optimalisasi penjadwalan dermaga, pengurangan waktu tunggu kapal, dan prediksi beban kerja secara akurat. Studi menunjukkan bahwa sistem manajemen pelabuhan berbasis AI mampu mengurangi waktu tunggu kapal hingga 15%, meningkatkan okupansi dermaga sebesar 10%, dan meningkatkan produktivitas crane sebesar 12% [15].
2. Penguatan Keamanan dan Keselamatan: Teknologi AI dapat digunakan untuk deteksi anomali, pemantauan CCTV secara real-time, dan pengawasan lingkungan berbasis sensor. Ini sejalan dengan temuan dari Zhang et al. (2021) yang menekankan peran AI dalam pengawasan berbasis pengenalan pola [7].
3. Pemantauan Lingkungan dan Keberlanjutan: Dalam konteks ESG (Environmental, Social, Governance), implementasi AI mendukung *tracking* emisi karbon dan konsumsi energi, serta membantu pelabuhan dalam mencapai standar. Dalam penelitian Chen et al. (2021) dinyatakan bahwa integrasi AI dapat menurunkan emisi CO₂ per TEU hingga 12% [14].
4. Pengambilan Keputusan Berbasis Data: AI menyediakan dasar bagi sistem pendukung keputusan yang memungkinkan perencanaan berbasis data masa lalu dan prediktif, seperti dalam

Next Generation Vessel Traffic Management System di Singapura.

3.7.1 Tantangan

Penerapan AI di pelabuhan juga menghadapi tantangan sebagai berikut :

1. Keterbatasan Infrastruktur Digital: Hambatan infrastruktur merupakan penghalang utama dalam transformasi digital pelabuhan di negara berkembang [12]. Dalam kerangka kepelabuhanan di Indonesia, banyak pelabuhan yang tidak memiliki infrastruktur yang memadai untuk fungsi-fungsi yang menggunakan AI.
2. Secara nasional, konektivitas jaringan merupakan kendala yang sama umum. Banyak pelabuhan, termasuk di Indonesia, masih menghadapi keterbatasan dalam konektivitas jaringan, sistem sensor, dan kapasitas penyimpanan data.
3. Permasalahan Integrasi/ Pelabuhan memiliki berbagai aplikasi untuk hampir semua proses bisnis yang ada, termasuk core process dan supporting. Dengan begitu banyaknya sistem untuk berbagai proses bisnis dan dikelola oleh institusi yang berbeda-beda- menjadi permasalahan dalam otorisasi, integrasi data dan pengawasan data. Arsitektur sistem yang berbeda-beda juga menjafidi tantangan untuk memasukkan kapabilitas AI dalam sistem. Integrasi teknologi AI dengan sistem informasi pelabuhan yang ada di Indonesia bisa menjadi tantangan, terutama jika sistem tersebut perlu diperbarui atau dibuat kompatibel dengan solusi terbaru [2]. Integrasi merupakan salah satu tantangan sehingga adopsi AI pada berbagai aplikasi saat ini dapat berlangsung mulus.
4. Kesenjangan Kompetensi SDM: SDM memegang peranan penting dalam implementasi AI. Berkaca pada Port of Singapore, Singapura tidak kekurangan SDM karena berkumpulnya best talent dalam bidang komputasi, data analis, programmer dan skill yang terkait. Dalam

kerangka Indonesia, kurangnya tenaga kerja yang memiliki keterampilan di bidang AI dan data science menjadi hambatan utama dalam pengoperasian sistem cerdas. Dalam hal ini penting sekali adanya program pelatihan dan sertifikasi yang terstruktur [11].

5. Permasalahan Regulasi dan Standarisasi: Belum adanya kerangka hukum dan standar nasional yang mengatur penggunaan AI di sektor maritim dapat menimbulkan resistensi dan ketidakkonsistenan dalam implementasi. Investor dan pelaku bisnis tentunya mensyaratkan adanya kepastian hukum, keamanan berbisnis dan kemudahan perijinan untuk dapat menghasilkan *profit*.
6. Investasi dan Pembiayaan: Pengembangan AI memerlukan investasi besar untuk perangkat keras, perangkat lunak, dan integrasi sistem. Hal ini menjadi tantangan terutama bagi pelabuhan kelas menengah yang belum memiliki dukungan pendanaan kuat.

SIMPULAN

Adopsi kecerdasan buatan (AI) di sektor maritim Indonesia, khususnya di Pelabuhan Tanjung Priok, masih berada pada fase awal. Meskipun sudah terdapat berbagai sistem digital seperti INAPORTNET, CEISA, dan TOS yang menunjang proses bisnis utama pelabuhan, penerapan AI sebagai teknologi inti dalam operasional belum sepenuhnya terwujud. Hal ini disebabkan oleh sejumlah faktor, mulai dari keterbatasan infrastruktur digital, kurangnya integrasi antar sistem, hingga belum tersedianya SDM yang memiliki kompetensi spesifik di bidang AI dan data. Regulasi yang belum mengakomodasi pengembangan teknologi cerdas juga menjadi hambatan tersendiri dalam membangun ekosistem digital maritim yang menyeluruh.

Di sisi lain, potensi pemanfaatan AI dalam meningkatkan efisiensi, keselamatan, dan keberlanjutan operasional pelabuhan sangat besar. Belajar dari pelabuhan kelas dunia seperti Singapura, kita dapat melihat bahwa transformasi digital yang terarah dan

terintegrasi mampu menghadirkan keunggulan kompetitif di tingkat global. Oleh karena itu, strategi adopsi AI tidak bisa dilakukan secara instan, melainkan perlu dirancang secara bertahap dengan melibatkan semua pemangku kepentingan: pemerintah, operator pelabuhan, asosiasi industri, serta institusi pendidikan dan riset. Kunci keberhasilannya terletak pada sinergi lintas sektor, penguatan kebijakan, dan investasi berkelanjutan pada infrastruktur serta pengembangan kapabilitas manusia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Economic Forum, Digital transformation initiative: Unlocking \$1.5 trillion for the maritime industry, 2017. [Online]. Available: <https://reports.weforum.org/digital-transformation/maritime/> (accessed Mar. 29, 2025)
- [2] S. Safuan dan A. Syafira, "Artificial Intelligence in Indonesian Ports: Opportunities and Challenges," *Transactions on Maritime Science*, vol. 13, no. 2, pp. 1–12, 2024, doi: 10.7225/toms.v13.n02.w0.
- [3] BeritaTrans, "Digitalisasi Tanjung Priok, Pengawasan Kapal & Barang Gunakan SIVERA dan SITAMPAN," *BeritaTrans.com*, 2022. [Online]. Available: <https://beritatrans.com/> (accessed Mar. 27, 2025)
- [4] Pelindo, Laporan Tahunan Pelindo 2023, PT Pelabuhan Indonesia (Persero), 2023.
- [5] Freightsight, "Tanjung Priok Terminal Booking System Trials 2023," *Freightsight.com*, 2023. [Online]. Available: <https://freightsight.com/> (accessed Mar. 15, 2025)
- [6] Maritime Club Indonesia, "Container Port Performance Index 2024," *Maritime Insights*, 2024. [Online]. Available: <https://maritimeinsights.com/> (accessed Mar. 25, 2025)
- [7] Z. Zhang, Y. Wang, dan L. Chen, "Recent Advances in Artificial Intelligence Sensors," *Advanced Sensor Research*, vol. 2, no. 1, pp. 1–15, 2023. [Online]. Available: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1>

- [002/adsr.202200072](#). (accessed Mar. 29, 2025)
- [8] S. Liu, M. Zhao, dan H. Li, "Integration of Artificial Intelligence (AI) with Sensor Networks," *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, vol. 35, no. 4, pp. 567–576, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319157823004469>. (accessed Mar. 29, 2025)
- [9] J. Lee dan J. Hu, "Smart Port Operations and AI-Driven Automation," *International Journal of Maritime Engineering and Technology*, vol. 10, no. 3, pp. 35–48, 2022.
- [10] T. Notteboom, T. Pallis, dan J.-P. Rodrigue, *Port Economics, Management and Policy*, 2021. [Online]. Available: <https://porteconomicsmanagement.org/> (accessed Mar. 29, 2025)
- [11] D. Gavalas, M. Kasapakis, dan N. Pantelidis, "Smartening up Ports Digitalization with Artificial Intelligence (AI): A Study of Artificial Intelligence Business Drivers of Smart Port Digitalization," *Journal of Shipping and Trade*, vol. 7, no. 1, pp. 1–15, 2022. [Online]. Available: <https://jshippingandtrade.springeropen.com/articles/10.1186/s41072-022-00106-9>. (accessed Mar. 29, 2025)
- [12] UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2022*, 2022. [Online]. Available: https://unctad.org/system/files/official-document/rmt2022_en.pdf. (accessed Mar. 15, 2025)
- [13] A. Smith, B. Johnson, dan C. Lee, "Transforming the Shipping Industry: Integrating AI-Powered Virtual Port Operators for End-To-End Optimization," *Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, vol. 12, no. 3, pp. 45–60, 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/382146367>. (accessed Mar. 2, 2025)
- [14] DNV, *Green and Smart Ports*, 2023. [Online]. Available: <https://www.dnv.com/power-renewables/themes/green-ports/> (accessed Mar. 29, 2025)
- [15] Y. Chen, L. Zhang, dan X. Wang, "Prediction of Harbour Vessel Emissions Based on Machine Learning," *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, vol. 117, 2024. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920924001718>. (accessed Mar. 1, 2025)
- [16] International Maritime Organization (IMO), "IMO's Work to Cut GHG Emissions from Ships," 2023. [Online]. Available: <https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Cutting-GHG-emissions.aspx>. (accessed Mar. 1, 2025)