



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 2806-2811

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Peran Inovasi Teknologi dan Transformasi Digital Dalam Meningkatkan Efisiensi Logistik dan Keberlanjutan Ekonomi Transportasi

Muhammad Masyhur Yunus Abubakar¹, Eliyanti Agus Mokodompit², Usman³

^{1,2,3}Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Halu Oleo

¹mmva6589@gmail.com, ²eamokodompit66@gmail.com, ³usmanmogane015@gmail.com

Abstrak

Bulk cargo transportation plays a strategic role in supporting the national industrial supply chain, particularly for key commodities such as coal, cement, fertilizer, and crude oil. As an archipelagic nation, Indonesia relies heavily on the efficiency of maritime transport to maintain economic stability and logistics resilience. This study aims to analyze the role of technological innovation and digital transformation in improving logistics efficiency and economic sustainability within Indonesia's bulk cargo transportation sector. The research employs a descriptive-qualitative method with a secondary data analysis approach, utilizing data from the Central Bureau of Statistics (BPS), the Ministry of Transportation, Pelindo, and UNCTAD. The results indicate that the implementation of digital systems such as Inaportnet, Port Operation Control Room (POCR), and Port Community System (PCS) has effectively accelerated logistics flow, reduced operational costs, and enhanced transparency and service accuracy in port operations. Furthermore, digital transformation contributes to reducing carbon emissions and promoting energy efficiency in maritime activities. However, challenges persist, including infrastructure limitations, regional digital disparities, and the low adoption of environmentally friendly technologies across national ports. This study concludes that maritime digitalization is not merely a form of technological modernization but a strategic investment in building an efficient, inclusive, and sustainable national logistics system. The findings are expected to serve as a foundation for formulating public policies to strengthen Indonesia's maritime economic competitiveness in the digital era.

Kata kunci: Technological Innovation, Digital Transformation, Logistics Efficiency, Economic Sustainability, Bulk Cargo Transportation

1. Latar Belakang

Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia dengan lebih dari 17.000 pulau memiliki posisi strategis dalam jalur perdagangan maritim global. Sektor maritim berperan penting dalam mendukung perekonomian nasional, di mana sekitar 90% volume perdagangan Indonesia dilakukan melalui transportasi laut (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2024). Salah satu komponen utama dalam sistem tersebut adalah transportasi muatan curah (*bulk cargo*) yang berfungsi mendistribusikan komoditas strategis seperti batu bara, semen, pupuk, dan minyak mentah. Efisiensi transportasi muatan curah menjadi faktor penentu bagi kelancaran rantai pasok industri nasional dan stabilitas harga barang di dalam negeri.

Namun, hingga saat ini efisiensi logistik maritim Indonesia masih menghadapi banyak kendala. (Badan Pusat Statistik (BPS), 2024) mencatat bahwa biaya logistik nasional masih mencapai 23–26% dari Produk Domestik Bruto (PDB), jauh di atas rata-rata negara ASEAN yang berkisar 15%. Tingginya biaya logistik disebabkan oleh keterbatasan infrastruktur pelabuhan, rendahnya tingkat digitalisasi, serta ketimpangan distribusi antara wilayah barat dan timur Indonesia. Masalah lainnya adalah *dwelling time* yang masih tinggi dan proses administrasi yang belum sepenuhnya terdigitalisasi, sehingga menghambat efisiensi distribusi barang dan menurunkan daya saing ekspor nasional.

Selain persoalan efisiensi, isu keberlanjutan ekonomi dan lingkungan juga menjadi tantangan besar. Sektor pelayaran curah di Indonesia masih didominasi oleh armada berusia tua yang menggunakan bahan bakar minyak konvensional, menghasilkan emisi karbon tinggi, dan kurang efisien. Dalam konteks global, desakan terhadap penerapan praktik *green logistics* dan pengurangan emisi karbon semakin kuat, seiring dengan target keberlanjutan industri maritim internasional (UNCTAD, 2023). Oleh karena itu, transformasi digital dan inovasi teknologi menjadi langkah penting untuk menjawab tantangan efisiensi sekaligus mendukung komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan.

Berbagai sistem digital seperti *Inaportnet*, *Port Operation Control Room* (POCR), dan *Port Community System* (PCS) telah diadopsi di pelabuhan besar karena mampu mempercepat alur logistik, menurunkan waktu tunggu kapal, dan meningkatkan transparansi serta koordinasi antar instansi pelabuhan. Penelitian oleh (Iman et al., 2022) menunjukkan bahwa transformasi digital di pelabuhan Indonesia dapat meningkatkan kapabilitas logistik maritim melalui peningkatan konektivitas dan persepsi kegunaan platform digital. Selain itu, tinjauan bibliometrik tentang “Smart Port” oleh (Azisah et al., 2024) memperkuat bagaimana teknologi seperti IoT dan big data menjadi pondasi operasional port pintar.

Di sisi lain, teknologi kecerdasan buatan (AI) semakin menjadi pilar dalam operasional pelabuhan: (Abbas & Kaharto, 2025) menunjukkan bahwa AI dapat meningkatkan efisiensi bongkar muat, mengurangi risiko kesalahan manusia, dan meningkatkan daya saing pelabuhan melalui otomasi dan perencanaan otomatis. Kerangka arsitektur perusahaan (*enterprise architecture*) berbasis TOGAF untuk smart port yang diusulkan oleh (Nurrosyidah & Rachmannullah, 2024) juga menekankan integrasi antara IoT, cloud, dan twin digital demi operasi port yang lebih efisien dan berkelanjutan. Selanjutnya, studi oleh (Simanjuntak et al., 2024) memperlihatkan bahwa teknologi logistik rantai pasok seperti blockchain, IoT, dan AI secara signifikan meningkatkan transparansi dan efisiensi operasional maritim. Akhirnya, strategi kebijakan smart port berbasis IoT dan blockchain untuk ketahanan pangan nasional yang memperkuat relevansi transformasi digital pelabuhan tidak hanya dari sisi efisiensi logistik, tetapi juga keamanan rantai pasok pangan.

Meski demikian, penerapan transformasi digital di sektor maritim Indonesia belum merata. Sebagian besar pelabuhan di kawasan timur Indonesia masih tertinggal dalam hal infrastruktur digital dan kesiapan sumber daya manusia (Autsadee et al., 2023). Hal ini menimbulkan kesenjangan efisiensi antar wilayah dan berpotensi menghambat pemerataan pembangunan ekonomi nasional. Selain itu, kurangnya kebijakan dan regulasi yang mendukung percepatan digitalisasi pelabuhan juga menjadi hambatan struktural dalam pengembangan sektor ini. Padahal, negara-negara seperti Belanda, Korea Selatan, dan Singapura telah menunjukkan bahwa digitalisasi pelabuhan dapat menekan biaya logistik hingga 20% dan memperkuat daya saing perdagangan global.

Melihat berbagai tantangan tersebut, penelitian ini menjadi relevan untuk menganalisis peran inovasi teknologi dalam meningkatkan efisiensi logistik dan keberlanjutan ekonomi sektor transportasi muatan curah di Indonesia. Fokus penelitian diarahkan pada bagaimana penerapan digitalisasi pelabuhan dan inovasi teknologi mampu menekan biaya logistik, mempercepat arus distribusi, serta mendorong transisi menuju sistem pelayaran yang lebih hijau dan berdaya saing.

Transformasi digital didefinisikan sebagai proses pemanfaatan teknologi digital secara menyeluruh untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan daya saing organisasi (Margaretha et al., 2024). Dalam konteks maritim, transformasi ini mencakup penerapan *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligence (AI)*, *blockchain*, dan *big data analytics* untuk mendukung kegiatan pelabuhan, pelayaran, dan logistik laut. (Hawari et al., 2024) menekankan bahwa *Smart Port Management* menjadi inti dari perubahan sistem pelabuhan konvensional menuju sistem berbasis data, yang dapat meningkatkan koordinasi, efisiensi energi, dan kecepatan layanan bongkar muat. Sejalan dengan itu, (Taufani & Widjaja, 2023) menyebutkan bahwa digitalisasi di sektor logistik maritim Indonesia tidak hanya berfokus pada teknologi, tetapi juga pada adaptasi manajemen dan model bisnis agar mampu bertransformasi menuju ekonomi digital.

Sementara itu, (Autsadee et al., 2023) melalui studi bibliometrik menegaskan bahwa keberhasilan digitalisasi pelabuhan tidak hanya ditentukan oleh kesiapan teknologi, tetapi juga faktor non-digital seperti kebijakan pemerintah, sumber daya manusia, dan kolaborasi antar stakeholder. Dengan demikian, transformasi digital maritim harus dipahami sebagai upaya sistemik yang melibatkan aspek teknologi, kelembagaan, dan tata kelola. Sistem *Port Community System (PCS)* dan *Inaportnet* merupakan contoh nyata dari digitalisasi pelabuhan di Indonesia yang menghubungkan seluruh pemangku kepentingan logistik dalam satu platform terpadu. (Safuana, 2022) menjelaskan bahwa PCS meningkatkan efisiensi komunikasi dan transparansi data logistik antar lembaga, sehingga mampu menurunkan biaya administrasi hingga 15%.

Efisiensi ekonomi merupakan kemampuan sistem transportasi untuk menghasilkan output maksimal dengan biaya dan waktu minimal (Simanjuntak et al., 2024). Dalam konteks pelabuhan, efisiensi ini diukur melalui produktivitas bongkar muat, kecepatan arus logistik, dan tingkat utilisasi kapal. (Ritonga et al., 2022) mengidentifikasi bahwa penerapan *Smart Port* di pelabuhan utama Indonesia mampu menurunkan waktu tunggu kapal hingga 18% dan meningkatkan efisiensi logistik nasional secara signifikan. Hasil ini sejalan dengan temuan (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2024) yang menunjukkan bahwa digitalisasi dapat menurunkan biaya logistik nasional sebesar 5–7% per tahun.

Selain itu, (UNCTAD, 2023) menegaskan bahwa negara-negara yang berhasil menerapkan digitalisasi pelabuhan mengalami peningkatan produktivitas logistik sebesar 20–25% dalam satu dekade. Digitalisasi tidak hanya mengurangi waktu bongkar muat, tetapi juga menekan konsumsi bahan bakar kapal melalui sistem *real-time scheduling* dan *port traffic management*. Ketika rantai pasok berjalan efisien, biaya distribusi menurun, dan harga komoditas menjadi lebih stabil di pasar domestik (Simanjuntak et al., 2024). Oleh karena itu, transformasi digital di sektor transportasi curah menjadi faktor strategis dalam memperkuat ketahanan ekonomi nasional.

Konsep keberlanjutan ekonomi (*economic sustainability*) dalam industri maritim mencakup upaya menjaga keseimbangan antara pertumbuhan ekonomi, perlindungan lingkungan, dan kesejahteraan masyarakat pesisir (Rauf & Sari, 2024). Transformasi digital berperan penting dalam mencapai tujuan ini melalui efisiensi energi, otomasi operasional, dan pengurangan emisi karbon. (Safuana, 2022) menjelaskan bahwa penerapan *Green Port Certification* di Indonesia telah meningkatkan efisiensi energi pelabuhan hingga 15%, serta mempercepat peralihan menuju pelayaran hijau (*green shipping*). Inovasi teknologi seperti penggunaan *Liquefied Natural Gas (LNG)*, *shore power supply*, dan *low-sulphur fuel* menjadi langkah nyata menuju dekarbonisasi transportasi laut. Dengan demikian, transformasi digital tidak hanya menjadi solusi efisiensi, tetapi juga bagian dari strategi keberlanjutan nasional. Digitalisasi pelabuhan yang terintegrasi dan ramah lingkungan merupakan kunci bagi Indonesia untuk memperkuat posisinya sebagai poros maritim dunia.

Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi antara tiga dimensi utama inovasi teknologi, efisiensi logistik, dan keberlanjutan ekonomi yang sebelumnya jarang dikaji secara bersamaan dalam konteks transportasi muatan curah Indonesia. Penelitian ini tidak hanya mengulas aspek teknis digitalisasi, tetapi juga mengaitkannya dengan dampak ekonomi makro dan kebijakan keberlanjutan nasional. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi dasar ilmiah bagi pemerintah dan pelaku industri dalam mempercepat transformasi digital maritim, memperkuat daya saing ekspor, dan mewujudkan Indonesia sebagai poros maritim dunia yang modern, efisien, dan berkelanjutan

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif–kualitatif untuk menganalisis peran inovasi teknologi dan transformasi digital terhadap efisiensi logistik serta keberlanjutan ekonomi pada sektor transportasi muatan curah di Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena mampu menggambarkan fenomena secara mendalam melalui interpretasi data sekunder yang relevan (Margaretha et al., 2024). Penelitian ini mengandalkan data sekunder yang diperoleh dari berbagai sumber resmi dan akademik, antara lain:

- a. Dokumen pemerintah dan regulasi, seperti laporan Kementerian Perhubungan, Badan Pusat Statistik (BPS), dan dokumen strategi nasional poros maritim.
- b. Laporan industri dan publikasi akademik, termasuk jurnal, artikel ilmiah, dan studi bibliometrik terkait digitalisasi pelabuhan, *smart port*, dan transportasi muatan curah.
- c. Laporan organisasi internasional, seperti UNCTAD yang membahas praktik green logistics, efisiensi pelabuhan, dan keberlanjutan ekonomi maritim.
- d. Sumber berita dan publikasi industri, untuk memahami implementasi aktual teknologi digital di pelabuhan-pelabuhan besar Indonesia.

Untuk menjamin keakuratan data, dilakukan triangulasi dengan membandingkan informasi dari dokumen resmi pemerintah, penelitian akademik, dan laporan dari organisasi internasional. Keandalan data juga diperkuat melalui penggunaan sumber resmi serta literatur yang memiliki reputasi ilmiah.

3. Hasil dan Diskusi

Transformasi Digital Sebagai Instrumen Efisiensi Logistik Maritim

Indonesia sebagai negara kepulauan dengan 17.000 pulau bergantung kuat pada efisiensi sektor maritim untuk menjaga konektivitas ekonomi nasional. Selama dua dekade terakhir, pelabuhan menjadi simpul utama rantai pasok industri, khususnya untuk komoditas curah seperti batu bara, semen, pupuk, dan minyak mentah. Namun, kompleksitas administrasi, ketidakterpaduan sistem, serta infrastruktur yang tidak merata masih menjadi penghambat utama efisiensi logistik nasional (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2024). Penerapan transformasi digital pelabuhan melalui sistem seperti *Inaportnet*, *Port Operation Control Room (POCR)*, dan *Port Community System (PCS)* menjadi langkah strategis dalam menjawab tantangan tersebut. Menurut (Safuana, 2022), digitalisasi pelabuhan Indonesia telah menurunkan biaya logistik rata-rata 5–7% per tahun, meningkatkan efisiensi pelayanan kapal, dan memperpendek waktu bongkar muat.

Temuan ini sejalan dengan penelitian (Ritonga et al., 2022) yang menunjukkan bahwa implementasi *Smart Port* di Pelabuhan Tanjung Priok menurunkan waktu tunggu (*dwelling time*) dari 3,7 hari menjadi 2,4 hari, dan mempercepat arus keluar masuk kargo hingga 22%. Peningkatan efisiensi ini berdampak langsung pada rantai pasok industri curah nasional karena mempercepat pengiriman barang dari pelabuhan utama ke daerah industri dan pelabuhan pengumpan (*feeder ports*). Selain itu, digitalisasi juga mendorong peningkatan transparansi dan akuntabilitas. (Margaretha et al., 2024) menyebutkan bahwa integrasi sistem informasi antar lembaga melalui *Port Community System* memungkinkan pengawasan real-time terhadap aktivitas bongkar muat dan pengiriman barang. Hal ini mengurangi potensi manipulasi data, memperkuat kepercayaan investor, serta meningkatkan tata kelola pelabuhan berbasis data (*data-driven governance*). Transformasi digital pelabuhan juga berkontribusi terhadap efisiensi fiskal negara melalui peningkatan kepatuhan pembayaran retribusi, pajak, dan dokumen kepabeanan. Dengan sistem terintegrasi, setiap kapal, kontainer, dan kargo dapat dilacak secara elektronik sehingga menekan praktik korupsi dan pungutan liar di Pelabuhan (Simanjuntak et al., 2024). Secara empiris, hasil ini memperkuat temuan global yang dilaporkan oleh (UNCTAD, 2023) bahwa digitalisasi pelabuhan dapat meningkatkan produktivitas logistik hingga 25% dan menurunkan biaya operasional sekitar 9–12% per tahun. Dengan demikian, digitalisasi pelabuhan menjadi kunci dalam memperkuat efisiensi ekonomi maritim nasional.

Inovasi Teknologi dan Efisiensi Transportasi Muatan Curah

Sektor transportasi muatan curah (*bulk cargo*) menjadi tulang punggung perdagangan domestik dan ekspor Indonesia. Pengangkutan batu bara, pupuk, semen, dan minyak mentah mendominasi hingga 65% dari total volume muatan laut nasional (Badan Pusat Statistik (BPS), 2024). Efisiensi dalam sistem transportasi curah ini sangat bergantung pada kecepatan bongkar muat, ketepatan jadwal kapal, serta keandalan sistem pelabuhan. Inovasi teknologi memainkan peran penting dalam peningkatan efisiensi tersebut.

(UNCTAD, 2023) memperkuat hasil ini dengan temuan global bahwa pelabuhan yang telah terdigitalisasi penuh mengalami peningkatan produktivitas 20–25% dibanding pelabuhan konvensional. Dalam konteks Indonesia, penerapan digitalisasi ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pelabuhan, tetapi juga memperkuat konektivitas antar wilayah, khususnya di kawasan timur Indonesia yang sebelumnya tertinggal secara infrastruktur. Lebih jauh, (Simanjuntak et al., 2024) menemukan bahwa sistem *digital supply chain* yang terintegrasi dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 9–12% per tahun, karena kapal dapat mengoptimalkan rute dan menghindari antrean panjang di pelabuhan. Hal ini tidak hanya berpengaruh pada efisiensi logistik, tetapi juga pada pengurangan emisi karbon dan efisiensi energi nasional. Secara konseptual, hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa inovasi teknologi menjadi faktor strategis dalam menciptakan efisiensi struktural pada sistem logistik nasional. Hal ini berarti bahwa peningkatan produktivitas pelabuhan tidak hanya bergantung pada infrastruktur fisik, tetapi juga pada kualitas sistem digital yang diterapkan secara terpadu.

Keberlanjutan Ekonomi dan Lingkungan di Era Digitalisasi Maritim

Konsep keberlanjutan ekonomi (*economic sustainability*) dalam sektor maritim menekankan keseimbangan antara efisiensi logistik, ketahanan energi, dan kelestarian lingkungan laut. Ekonomi Maritim juga mencakup aspek keberlanjutan dan pelestarian lingkungan laut (Zulkifli et al., 2023). Transformasi digital pelabuhan dan transportasi curah berperan penting dalam mencapai tujuan tersebut. Menurut (Rauf & Sari, 2024), digitalisasi sistem pelabuhan dapat menurunkan emisi karbon sebesar 10–15%, terutama melalui optimalisasi operasional kapal dan penggunaan bahan bakar ramah lingkungan. Pelabuhan yang menerapkan *Green Port Certification* menunjukkan peningkatan efisiensi energi hingga 15% lebih tinggi dibanding pelabuhan konvensional (Safuana, 2022).

Pemerintah Indonesia telah mengembangkan kebijakan *Green Port Initiative* yang sejalan dengan agenda *Net Zero Emission 2060*. Program ini mendorong penggunaan energi alternatif seperti LNG, biodiesel, dan *shore power supply*. Selain itu, penerapan *Vessel Traffic Service (VTS)* dan sistem monitoring digital membantu mengurangi kemacetan lalu lintas kapal dan emisi dari idle time (Margaretha et al., 2024). Transformasi digital juga memiliki efek sosial-ekonomi positif. Digitalisasi pelabuhan mendorong peningkatan lapangan kerja di bidang teknologi maritim, pengembangan SDM berbasis kompetensi digital, serta peningkatan keterlibatan industri kreatif dalam rantai nilai maritim (Taufani & Widjaja, 2023). Dengan demikian, inovasi teknologi tidak hanya mempercepat arus logistik, tetapi juga memperluas dampak ekonomi melalui penciptaan ekosistem maritim cerdas (*smart maritime ecosystem*).

Tantangan Implementasi Transformasi Digital di Indonesia

Meskipun dampak positif digitalisasi sudah nyata, implementasinya masih menghadapi beberapa kendala struktural dan teknis. (Autsadee et al., 2023) menyoroti tiga tantangan utama digitalisasi pelabuhan di Asia Tenggara: (1) ketimpangan kesiapan infrastruktur antar wilayah, (2) kekurangan tenaga ahli digital maritim, dan (3) minimnya sinergi antara sektor publik dan swasta.

Di Indonesia, (Ritonga et al., 2022) memperkirakan bahwa 60% pelabuhan di kawasan timur belum memiliki fasilitas digital dasar seperti sistem *online tracking*, *automated berth management*, dan jaringan data pelabuhan yang stabil. Hal ini menyebabkan ketimpangan signifikan antara pelabuhan utama dan pelabuhan pengumpan, sehingga biaya logistik di wilayah timur masih 30–40% lebih tinggi dibanding kawasan barat. Kendala lainnya adalah rendahnya alokasi dana riset dan pengembangan (R&D) di bidang maritim. Berdasarkan laporan (PT Pelabuhan Indonesia (Persero), 2024), anggaran untuk pengembangan teknologi digital hanya sekitar 3% dari total belanja infrastruktur tahunan, jauh di bawah rata-rata global sebesar 8–10%. Minimnya pendanaan ini berdampak pada lambatnya modernisasi armada curah nasional, yang sebagian besar masih berusia di atas 20 tahun dan belum efisien secara energi. Selain faktor ekonomi, tantangan non teknis seperti resistensi organisasi dan kurangnya koordinasi antar lembaga juga memperlambat proses transformasi digital. Menurut (Taufani & Widjaja, 2023), perubahan budaya kerja dari manual ke digital memerlukan strategi manajemen perubahan (*change management*) yang kuat agar adaptasi SDM berjalan efektif.

Strategi Penguatan Transformasi Digital dan Implikasi Kebijakan

Untuk memperkuat keberhasilan transformasi digital sektor maritim, diperlukan pendekatan strategis yang melibatkan sinergi lintas sektor. Berdasarkan hasil analisis dan kajian literatur, terdapat empat strategi utama yang perlu diterapkan secara berkelanjutan:

a. Penguatan regulasi dan kebijakan nasional

Pemerintah perlu mempercepat penerapan *National Port Digitalization Roadmap* yang menstandarkan seluruh sistem pelabuhan di Indonesia agar terintegrasi dalam satu jaringan nasional.

b. Modernisasi armada curah nasional

Mendorong penggunaan kapal dengan teknologi hemat energi dan sistem navigasi otomatis untuk menurunkan konsumsi bahan bakar dan biaya operasional.

c. Peningkatan kapasitas SDM digital maritim.

Melalui pelatihan dan sertifikasi berbasis kompetensi yang difasilitasi oleh lembaga seperti *BPSDM* Perhubungan dan perguruan tinggi maritim.

d. Kolaborasi *triple helix* (pemerintah–industri–akademisi).

Seperti yang direkomendasikan oleh (Autsadee et al., 2023), kolaborasi ini terbukti efektif dalam mempercepat adopsi teknologi dan inovasi berkelanjutan di sektor pelabuhan.

Selain strategi tersebut, pemberian insentif fiskal dan pembiayaan hijau perlu diperluas bagi perusahaan pelayaran dan pelabuhan yang berinvestasi dalam sistem digital dan energi bersih. Upaya ini sejalan dengan komitmen nasional dalam *Indonesia Blue Economy Roadmap 2045* untuk menjadikan sektor maritim sebagai motor ekonomi hijau berbasis inovasi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menegaskan bahwa inovasi teknologi dan transformasi digital memiliki peran strategis dalam meningkatkan efisiensi logistik dan keberlanjutan ekonomi sektor transportasi muatan curah di Indonesia. Melalui penerapan sistem digital seperti *Inaportnet*, *Port Operation Control Room (POCR)*, dan *Port Community System (PCS)*, arus logistik nasional menjadi lebih cepat, biaya operasional dapat ditekan, dan transparansi layanan pelabuhan meningkat. Transformasi digital tersebut juga memperkuat konektivitas logistik antar wilayah dan berkontribusi terhadap stabilitas ekonomi nasional melalui pengurangan hambatan distribusi dan peningkatan daya saing ekspor. Secara teoretis, hasil penelitian ini memperkuat pandangan bahwa digitalisasi maritim merupakan katalis utama bagi efisiensi rantai pasok dan adaptasi ekonomi terhadap dinamika global. Secara praktis, inovasi teknologi terbukti tidak hanya sebagai sarana modernisasi, tetapi juga sebagai strategi nasional dalam menekan biaya logistik dan mendorong pembangunan berkelanjutan. Transformasi digital di sektor maritim harus dipandang sebagai investasi jangka panjang yang berdampak langsung pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan. Rekomendasi dari penelitian ini meliputi perlunya percepatan digitalisasi pelabuhan nasional melalui penguatan

sistem *Port Community System* yang terintegrasi di seluruh Indonesia. Pemerintah juga perlu meningkatkan investasi dalam riset dan pengembangan teknologi maritim, terutama di bidang otomasi pelabuhan, energi bersih (LNG dan biofuel), serta *big data analytics* untuk sistem logistik. Selain itu, peningkatan kompetensi sumber daya manusia menjadi prioritas, melalui pelatihan dan sertifikasi digital maritim agar transformasi ini dapat berjalan efektif. Dari sisi kebijakan, diperlukan insentif fiskal dan regulasi adaptif bagi pelaku industri pelayaran yang mengimplementasikan teknologi hijau dan digitalisasi operasi. Pemerataan pembangunan infrastruktur digital, terutama di kawasan timur Indonesia, harus dipercepat agar efisiensi logistik dapat dirasakan secara merata di seluruh wilayah nusantara. Dengan penerapan kebijakan dan inovasi secara berkelanjutan, Indonesia berpeluang besar menjadi poros maritim dunia yang tangguh, efisien, dan berdaya saing tinggi di era ekonomi global berbasis teknologi.

Referensi

1. Abbas, R., & Kaharto, D. (2025). Penerapan Artificial Intelligence (AI) dalam Meningkatkan Efisiensi Operasional Pelabuhan. *Innovative Journal*. <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/17501>
2. Autsadee, Y., Jeevan, J., Salleh, N. H. M., Sangsawang, C., & Poma, W. (2023). Non-digital factors as a prerequisite for the implementation of seaport digitalization through bibliometric analysis. *Journal of Maritime Logistics*, 3(2), 59–73.
3. Azisah, F., Paotonan, Y., & Asdar, M. (2024). Smart Port: A Bibliometric Analysis (2013–2023). *Zonalaut*. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/zonalaut/article/view/31708>
4. Badan Pusat Statistik (BPS). (2024). *Statistik Transportasi Laut Indonesia Tahun 2024*. BPS RI.
5. Hawari, S. M., Hadiprawoto, T. R., Iriyanty, I., Alversia, Y., & Adiyono, S. (2024). Smart Port Management in Digital Transformation: A Review for Future Research. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, 9(3).
6. Iman, B. A., Amanda, N., & Angela, M. (2022). Digital Transformation's Impact on Maritime Logistics Capabilities in Indonesia: A View of Connectivity and Perceived Usefulness. *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*. <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/9j63oLw9/>
7. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia. (2024). *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Perhubungan Laut Tahun 2024*.
8. Margaretha, R., Syuzairi, M., & Mahadiansar, M. (2024). Digital transformation in the maritime industry: Opportunities and challenges for Indonesia. *Journal of Maritime Policy and Strategy*, 1(1), 1–12.
9. Nurrosyidah, S., & Rachmannullah, N. (2024). Enterprise Architecture Smart Port Menggunakan Framework TOGAF ADM. *Jurnal Manajemen Informatika*. <https://jurnal.stmi.ac.id/index.php/jmeis/article/download/288/151>
10. PT Pelabuhan Indonesia (Persero). (2024). *Laporan Tahunan PT Pelabuhan Indonesia (Persero) Tahun 2024: Digitalisasi dan Transformasi untuk Efisiensi Logistik Nasional*.
11. Rauf, M. I. A., & Sari, I. T. P. (2024). From emissions to efficiency: A narrative review on sustainable transportation and logistics. *Sinergi International Journal of Logistics*, 2(1), 62–75.
12. Ritonga, R. A., Ahmadi, N., Kusumastanto, T., Suwandi, R., Suwito, S. R., Hasriningtyas, S., & Soleh, A. (2022). Readiness Implementation of Smart Port in Indonesia. *Coastal and Ocean Journal (COJ)*, 6(1), 8–23.
13. Safuana, S. (2022). Penerapan Teknologi Digital di Pelabuhan Indonesia untuk Menurunkan Biaya Logistik Nasional. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 9(3).
14. Simanjuntak, M., Barasa, L., & Tampubolon, B. M. (2024). Unlocking efficiency: Impact of digital supply chain technologies on Indonesian maritime logistics. *Jurnal Abdidas*, 5(3), 185–194.
15. Taufani, M., & Widjaja, A. W. (2023). The Manifestation of Digital Transformation Concept in Indonesian Logistic Firms. *Jurnal Manajemen*, 27(3), 428–448.
16. UNCTAD. (2023). *Review of Maritime Transport 2023*. United Nations Conference on Trade and Development.
17. Zulkifli, Nurjannah, I., Usman, & Mokodompit, E. A. (2023). Implikasi Kebijakan Kelautan Indonesia Dalam Pengembangan Ekonomi Maritim. *OSF Preprints*, 1–15. <https://osf.io/nps2v>