

Eksplorasi Potensi Penggunaan *Blockchain* Dalam Optimalisasi Manajemen Pelabuhan di Indonesia: Tinjauan Literatur

Nicholas Dwinovan ¹⁾; Arif Rachman Dillah ²⁾; Fakhri Najmuddin ³⁾; Kencana Verawati ⁴⁾
^{1,2,3,4)} *Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim, Universitas Negeri Jakarta*

Email: ¹⁾ nicholasdwinovan0@gmail.com; ²⁾ arief96@gmail.com; ³⁾ fakhrinajmuddin65@gmail.com; ⁴⁾ kencanaverawati@unj.ac.id

ARTICLE HISTORY

Received [04 Juni 2024]
Revised [12 Juli 2024]
Accepted [20 Juli 2024]

KEYWORDS

Blockchain, Port Management, Supply Chain

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



ABSTRAK

Penelitian ini mengeksplorasi potensi penggunaan teknologi *Blockchain* untuk mengoptimalkan manajemen pelabuhan di Indonesia, yang merupakan elemen penting dalam rantai pasok global. Metode penelitian yang digunakan adalah tinjauan literatur, dengan analisis dan sintesis informasi untuk memahami kontribusi *Blockchain* dalam meningkatkan manajemen pelabuhan. Potensi penggunaan *Blockchain* yang diidentifikasi meliputi pelacakan dan pemantauan logistik secara real-time, validasi dan otentikasi data, peningkatan transparansi dan kepercayaan, serta efisiensi proses pelabuhan. Penelitian ini juga menyoroti penggunaan smart technology dan smart contract dalam manajemen pelabuhan serta tantangan dalam mengadopsi teknologi *Blockchain*. Kerangka konseptual yang komprehensif diusulkan untuk penerapan *Blockchain* di industri maritim Indonesia, termasuk kerangka analisis kelayakan untuk menilai kesiapan implementasi. Hasil tinjauan literatur ini diharapkan memberikan wawasan mendalam dan menjadi landasan penelitian lanjutan serta membantu pemangku kepentingan dalam mengambil keputusan terkait penerapan teknologi *Blockchain* dalam manajemen pelabuhan.

ABSTRACT

This research explores the potential use of Blockchain technology to optimize port management in Indonesia, which is a crucial element in the global supply chain. The research method employed is a literature review, with analysis and synthesis of information to understand Blockchain's contribution to improving port management. The identified potential uses of Blockchain include real-time logistics tracking and monitoring, data validation and authentication, increased transparency and trust, and port process efficiency. The study also highlights the use of smart technology and smart contracts in port management, as well as challenges in adopting Blockchain technology. A comprehensive conceptual framework is proposed for the application of Blockchain in Indonesia's maritime industry, including a feasibility analysis framework to assess implementation readiness. The results of this literature review are expected to provide deep insights and serve as a foundation for further research and assist stakeholders in making decisions related to the application of Blockchain technology in port management.

PENDAHULUAN

Menurut Inamarine (2023), industri maritim Indonesia siap mengalami pertumbuhan signifikan pada tahun 2023 dengan adanya investasi besar-besaran dari pemerintah dalam infrastruktur dan industri galangan kapal. Pemerintah telah mengidentifikasi sektor maritim sebagai kunci untuk pembangunan ekonomi, dengan rencana investasi mencapai USD 100 miliar selama dekade berikutnya. Investasi ini akan difokuskan pada pengembangan pelabuhan, galangan kapal, dan infrastruktur pendukung lainnya. Meski demikian, industri maritim Indonesia menghadapi beberapa tantangan, termasuk pelabuhan yang tidak efisien, kurangnya tenaga kerja terampil, dan persaingan dari negara lain seperti China dan Vietnam. Teknologi *Blockchain*, yang pertama kali digagas pada awal 1990-an dan mulai dikenal luas setelah munculnya Bitcoin pada tahun 2009, adalah sistem ledger terdistribusi yang menyediakan desentralisasi, persistensi, anonimitas, dan kemampuan audit. Teknologi ini telah menarik minat besar dari komunitas akademik dan telah diadaptasi untuk berbagai aplikasi, termasuk ketertelusuran makanan, keamanan catatan kesehatan elektronik, dan manajemen data. Selain itu, *Blockchain* juga telah diterapkan dalam bidang akuntansi dan audit untuk meningkatkan transparansi dan mengurangi kecurangan.

Keuntungan utama dari penerapan teknologi *Blockchain* dalam manajemen rantai pasokan meliputi visibilitas dan ketertelusuran yang lebih luas, digitalisasi dan disintermediasi rantai pasokan, serta peningkatan keamanan data dan penggunaan smart contract. Teknologi ini memungkinkan pemangku

kepentingan memiliki pandangan transparan tentang pergerakan barang dan melacak asalnya dengan mudah, yang sangat bermanfaat untuk memastikan kepatuhan perdagangan. *Blockchain* juga memungkinkan proses rantai pasokan menjadi lebih efisien dan mengurangi keandalan pada perantara, sehingga menghemat biaya operasi.

Namun, terdapat beberapa tantangan dan kesenjangan dalam memahami potensi penuh teknologi *Blockchain* dalam manajemen rantai pasokan. Masalah seperti kepercayaan pada teknologi, kesalahan manusia, tata kelola, akses data konsumen, dan kemauan untuk membayar perlu ditangani. Meskipun demikian, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa teknologi *Blockchain* dapat memberikan manfaat signifikan bagi manajemen rantai pasokan, seperti meminimalkan tantangan keterlambatan pesanan, kerusakan barang, kesalahan, dan entri data ganda. Teknologi *Blockchain* juga telah menjadi fokus dalam industri maritim. Misalnya, Abdallah et al. (2023) mengadvokasi penggunaan *Blockchain* sebagai pendekatan revolusioner dalam industri maritim, sementara Durán et al. (2021) menyoroti manfaat *Blockchain* dalam meningkatkan pengambilan keputusan di pelabuhan cerdas dengan menjamin kepercayaan, transparansi, dan ketertelusuran kargo dan data.

Tinjauan literatur ini didasarkan pada keingintahuan penulis mengenai fitur dan diskusi utama dalam literatur tentang implementasi teknologi *Blockchain* dalam manajemen pelabuhan, serta bagaimana tinjauan tersebut dapat memberikan kerangka konseptual untuk menilai implementasi *Blockchain* di pelabuhan Indonesia. Dengan mensintesis dan menganalisis sumber-sumber yang relevan, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman yang komprehensif tentang tren implementasi *Blockchain* di pelabuhan global dan mengusulkan kerangka konseptual yang relevan untuk penerapan teknologi ini di Indonesia.

LANDASAN TEORI

Industri Maritim Indonesia dan Tantangannya

Industri maritim Indonesia diproyeksikan mengalami pertumbuhan signifikan dengan investasi besar hingga USD 100 miliar dalam dekade mendatang untuk mengembangkan infrastruktur dan galangan kapal (Inamarine, 2023). Investasi ini ditujukan untuk mengatasi tantangan utama seperti ketidakefisienan pelabuhan, kurangnya tenaga kerja terampil, dan persaingan dari negara lain seperti China dan Vietnam.

Teknologi *Blockchain* dan Keuntungannya

Blockchain adalah teknologi ledger terdistribusi yang menyediakan desentralisasi, persistensi, anonimitas, dan kemampuan audit (W. Zheng et al., 2019). Teknologi ini diperkenalkan pada awal 1990-an dan mulai dikenal luas setelah munculnya Bitcoin pada 2009 (Larrier, 2021). *Blockchain* telah diadaptasi untuk berbagai aplikasi seperti ketertelusuran makanan, keamanan catatan kesehatan, dan manajemen data (Chin, 2020).

Keuntungan utama *Blockchain* dalam manajemen rantai pasok yang pertama adalah visibilitas dan ketertelusuran, meningkatkan transparansi dan memungkinkan pelacakan asal barang dengan mudah, yang penting untuk kepatuhan perdagangan (Y. Wang et al., 2019). Keuntungan kedua terkait dalam digitalisasi dan disintermediasi, merampingkan proses dan mengurangi ketergantungan pada perantara, meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya operasi (Y. Wang et al., 2019). Keuntungan ketiga berupa keamanan data, dengan menggunakan fitur kriptografi untuk memastikan keamanan dan validitas data, mengurangi risiko manipulasi informasi (Pournader et al., 2020). Keuntungan keempat yakni Smart Contract sebagai kontrak yang dapat dieksekusi sendiri ini dapat mengotomatiskan proses rantai pasok dan mengurangi risiko kesalahan atau penipuan (Kumar et al., 2023).

Tantangan dalam Implementasi *Blockchain*

Meskipun menawarkan banyak keuntungan, *Blockchain* menghadapi beberapa tantangan dalam penerapannya, antara lain: (Rogerson & Parry, 2020) (1) Kepercayaan pada Teknologi, masih ada kekhawatiran dan ketidakpercayaan terhadap teknologi *Blockchain* di kalangan pengguna; (2) Kesalahan Manusia dan Penipuan, risiko kesalahan dan penipuan masih ada, terutama jika data yang dimasukkan tidak akurat; (3) Tata Kelola, diperlukan pengaturan efektif mengenai akses dan kontrol data untuk memastikan implementasi yang sukses, serta; (4) Akses Data dan Kemauan Membayar, tantangan dalam akses data konsumen dan kemauan untuk membayar juga perlu diatasi (Rogerson & Parry, 2020).



Blockchain dalam Industri Maritim

Blockchain telah diakui sebagai teknologi revolusioner dalam industri maritim. Misalnya, Abdallah et al. (2023) mengadvokasi penggunaan *Blockchain* untuk meningkatkan pengambilan keputusan di pelabuhan cerdas dengan menjamin kepercayaan, transparansi, dan ketertelusuran kargo dan data (Durán et al., 2021).

Kerangka Konseptual untuk Implementasi *Blockchain* di Pelabuhan Indonesia

Penelitian ini bertujuan memberikan pemahaman komprehensif tentang tren implementasi *Blockchain* dalam manajemen pelabuhan di dunia dan mengusulkan kerangka konseptual yang relevan untuk penerapannya di pelabuhan Indonesia. Dengan mensintesis dan menganalisis literatur yang relevan, penelitian ini diharapkan membantu pemangku kepentingan dalam pengambilan keputusan terkait penerapan *Blockchain* dalam manajemen pelabuhan di Indonesia.

METODE PENELITIAN

Metode Teknik Analisis Konten

Penelitian ini mengadopsi tinjauan literatur dengan menggunakan pendekatan teknik analisis konten. Proses ini dimulai dengan identifikasi kata kunci yang relevan berdasarkan topik implementasi *Blockchain* pada manajemen pelabuhan. Beberapa kata kunci yang diidentifikasi meliputi "*Blockchain implementation*", "*maritime port management*", "*smart contract*", "*conceptual framework*", "*challenges*", "*Blockchain smart technology*", "*smart application*", dan "*feasibility analysis*".

Metode Pengumpulan Data

Selanjutnya, pencarian dilakukan di database akademis yang relevan seperti Scopus, Web of Science, dan Google Scholar dengan menggunakan kombinasi kata kunci dalam berbagai variasi untuk mendapatkan berbagai artikel yang relevan. Proses lanjutan melibatkan tinjauan teks lengkap dan ekstraksi data untuk mengumpulkan informasi yang relevan, temuan utama, dan wawasan dari setiap artikel menggunakan pendekatan sistematis.

Metode Analisis

Terakhir, strategi pengumpulan data dilakukan dengan menganalisis dan mensintesis data untuk mengidentifikasi tema, pola, dan hubungan yang umum dalam literatur. Temuan-temuan tersebut kemudian disintesis untuk mengembangkan narasi yang koheren tentang implementasi *Blockchain* pada manajemen pelabuhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Blockchain dalam Manajemen Pelabuhan

Menerapkan teknologi *Blockchain* di pelabuhan laut dapat memberikan manfaat signifikan dalam hal keberlanjutan, efisiensi, transparansi, dan kepercayaan. Menurut Jović et al. (2020), *Blockchain* memiliki potensi untuk meningkatkan pertukaran informasi antara semua pemangku kepentingan yang terlibat di sektor maritim, meningkatkan visibilitas rute transportasi, dan mengurangi proses berbasis kertas. Namun, tantangan yang harus diatasi meliputi lambatnya penerimaan teknologi ini dan biaya implementasi yang tinggi.

Dalam industri maritim Singapura, Zhou et al. (2020) mengidentifikasi bahwa tantangan utama dan faktor penentu keberhasilan (Critical Success Factors/CSF) dalam implementasi *Blockchain* berkaitan dengan masalah regulasi, kepercayaan, interoperabilitas, dan standarisasi. Bauk (2022) mengusulkan kerangka kerja konseptual untuk penyebaran *Blockchain* dalam manajemen pengiriman dan pelabuhan, yang mencakup database relasional terdistribusi dan mekanisme pembayaran cryptocurrency sebagai konstruksi utama. Peneliti ini menyarankan penyelidikan lebih lanjut untuk lebih memahami prospek pengembangan *Blockchain* di seluruh cluster maritim.

S. Wang et al. (2021) mengusulkan kerangka kerja berbasis *Blockchain* untuk meningkatkan efisiensi lalu lintas kapal di pelabuhan. Kerangka kerja ini memungkinkan agen kapal, terminal, perusahaan

tunda, stasiun pilot, dan pemerintah untuk berbagi informasi, yang disimpan dalam *Blockchain*. Di negara berkembang seperti Montenegro dan Afrika Selatan, Kapidani et al. (2021) melaporkan bahwa implementasi *Blockchain* dibatasi oleh kurangnya pengetahuan dan pemahaman tentang teknologi.

Durán et al. (2021) menyoroti bahwa teknologi *Blockchain* memungkinkan transaksi yang terdesentralisasi dan transparan dalam industri pelabuhan maritim, menjamin kepercayaan, transparansi, dan ketertelusuran kargo serta data. Serra et al. (2022) menganalisis keadaan seni dan praktik aplikasi *Blockchain* di industri maritim dan mengusulkan Proof of Concept (PoC) untuk menunjukkan bagaimana teknologi *Blockchain* dapat diterapkan pada transportasi roll-on roll-off dan komunitas interport di lingkungan nyata.

Pu & Lam (2021) mempresentasikan kerangka kerja konseptual untuk adopsi *Blockchain* di industri maritim, yang menyelaraskan tiga aspek: model teknis, tata kelola, dan bisnis. Akhirnya, Kornienko (2023) mengidentifikasi bahwa salah satu aplikasi *Blockchain* yang paling menjanjikan dalam logistik kelautan adalah otomatisasi alur kerja dan transaksi, solusi kepercayaan antara rekanan, dan pembuatan database tunggal yang terbuka dan aman dengan smart contract untuk mendaftarkan informasi tentang kapal laut, termasuk risiko global dan dampaknya terhadap transportasi.

Smart Technology pada Manajemen Pelabuhan

Smart technology merevolusi operasi dan infrastruktur pelabuhan, mengarah pada pengembangan pelabuhan hijau dan cerdas. Pelabuhan pintar memanfaatkan berbagai aplikasi cerdas yang meningkatkan manajemen kapal dan peti kemas, sehingga meningkatkan aktivitas pelabuhan dan kinerja ekonomi (Yau et al., 2020). Selain itu, teknologi ini memungkinkan otomatisasi operasi, mengurangi waktu respons, meningkatkan pemanfaatan aset, dan meningkatkan visibilitas logistik (Min, 2022). Alahmadi et al. (2021) mengklasifikasikan smart technology dalam manajemen pelabuhan menjadi beberapa kategori utama, yaitu: Global Navigation Satellite Systems (GNSS), Electronic Data Interchange (EDI), Radio-Frequency Identification (RFID), Optical Character Recognition (OCR) systems, Wireless Sensor Networks (WSNs), Real-Time Location Systems (RTLs), dan perangkat mobile.

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) adalah jenis sistem navigasi berbasis satelit yang menyediakan layanan penentuan posisi, navigasi, dan pengaturan waktu dalam skala global. GNSS mengandalkan jaringan satelit yang mengorbit Bumi untuk mengirimkan sinyal yang dapat diterima dan diproses oleh penerima di darat. Keakuratan posisi GNSS bergantung pada berbagai faktor, termasuk kualitas penerima, ketersediaan sinyal satelit, dan adanya gangguan atau penghalang. Pemosisian akurasi tinggi sangat penting untuk banyak aplikasi seperti operasi pertanian, pemantauan deformasi bangunan besar, dan navigasi pesawat (Xiao et al., 2022; Yavuz, 2022). Para peneliti telah mengusulkan berbagai algoritme dan teknik untuk meningkatkan akurasi pemosisian GNSS, termasuk penggunaan metode pemrosesan lanjutan dan integrasi sensor lain seperti kamera (X. Chen et al., 2018; Xiao et al., 2022).

Electronic Data Interchange (EDI) adalah teknologi yang memungkinkan pertukaran data terstruktur antara sistem komputer yang berbeda tanpa campur tangan manusia. EDI memungkinkan transfer informasi tanpa batas seperti pesanan pembelian, faktur, dan pemberitahuan pengiriman antara mitra dagang. Teknologi ini telah merevolusi manajemen rantai pasokan dan telah menjadi komponen penting dari operasi bisnis modern. Penggunaan EDI dapat membantu mengurangi biaya, meningkatkan efisiensi, dan meningkatkan akurasi serta ketepatan waktu pertukaran data (Chang et al., 2012).

Radio-Frequency Identification (RFID) adalah teknologi yang menggunakan gelombang radio untuk mengidentifikasi, melacak, dan mengelola objek atau entitas. Sistem RFID terdiri dari tag atau label yang ditempelkan pada objek dan pembaca atau pemindai yang dapat berkomunikasi dengan tag secara nirkabel. Sistem ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti manajemen inventaris, pelacakan aset, dan kontrol akses. RFID menawarkan keuntungan seperti identifikasi otomatis dan pengambilan data, pelacakan waktu nyata, dan operasi non-line-of-sight. Integrasi RFID dengan teknologi lain, seperti GNSS, dapat memungkinkan pemosisian dan pelacakan objek yang mulus di lingkungan dalam dan luar ruangan (Chang et al., 2012; Retscher & Fu, 2007).

Optical Character Recognition (OCR) digunakan untuk mengubah teks yang dipindai atau dicetak menjadi teks yang dapat dibaca mesin. Teknologi OCR telah berkembang secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, dan sekarang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti manajemen dokumen, entri data, dan ekstraksi data otomatis. Sistem OCR menggunakan teknik pemrosesan gambar untuk menganalisis dan mengenali karakter individual atau blok teks. Keakuratan sistem OCR bergantung pada faktor-faktor seperti kualitas gambar yang dipindai, jenis dan kejelasan font yang digunakan, serta kerumitan dokumen yang sedang diproses. Teknologi OCR memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi

dan akurasi tugas pemrosesan data, terutama di industri yang berurusan dengan dokumen cetak atau tulisan tangan dalam jumlah besar (Willingham & Herriott, 2020).

Wireless Sensor Networks (WSN) adalah jaringan sensor yang saling berhubungan yang digunakan di lingkungan fisik untuk memantau dan mengumpulkan data tentang lingkungan sekitar. WSN dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti pemantauan lingkungan, layanan kesehatan, dan kota pintar. Setiap sensor dalam WSN dilengkapi dengan kemampuan penginderaan, kekuatan pemrosesan, dan kemampuan komunikasi nirkabel. Sensor dapat mengumpulkan data dari lingkungannya, memproses data secara lokal, dan mengirimkan data ke server pusat atau node lain dalam jaringan. Penggunaan WSN dapat memungkinkan pemantauan, analisis, dan kontrol sistem fisik secara real-time, yang mengarah pada peningkatan efisiensi, penghematan biaya, dan pengambilan keputusan yang lebih baik (Sun & Xia, 2022).

Real-Time Location Systems (RTLS) digunakan untuk melacak dan menemukan aset atau orang secara real-time. RTLS biasanya menggunakan kombinasi teknologi, seperti GNSS, RFID, dan komunikasi nirkabel, untuk menentukan lokasi yang tepat dari objek atau individu. Sistem ini umumnya digunakan dalam industri seperti perawatan kesehatan, logistik, dan manufaktur untuk meningkatkan keselamatan, mengoptimalkan operasi, dan meningkatkan keamanan. RTLS dapat memberikan visibilitas real-time ke dalam pergerakan dan status aset, memungkinkan organisasi melacak aliran barang, mengelola inventaris, dan memastikan keselamatan serta kesejahteraan personel (Chang et al., 2012; Nakagawa et al., 2016; Qian, 2022).

Perangkat mobile, seperti smartphone dan tablet, telah menjadi hal yang umum di masyarakat saat ini. Perangkat ini dilengkapi dengan beragam sensor, termasuk GNSS, akselerometer, dan kamera, yang memungkinkan berbagai layanan dan aplikasi berbasis lokasi. Perangkat seluler dapat memanfaatkan teknologi GNSS untuk memberikan informasi lokasi yang akurat kepada pengguna, memungkinkan aplikasi seperti pemetaan, navigasi, dan pemasaran berbasis lokasi. Integrasi GNSS dengan sensor lain, seperti kamera, dapat mengaktifkan fungsionalitas tingkat lanjut seperti augmented reality dan simultaneous localization and mapping (SLAM) (X. Chen et al., 2018; Li & Zhu, 2015).

Lebih lanjut, Al ahmadi et al. (2021) melakukan perbandingan atas penggunaan *smart technology* tersebut pada berbagai pelabuhan, yaitu:

Tabel 1. Perbandingan Penggunaan Smart Technology

	Keuntungan	Kekurangan	Contoh
GNSS	Operasi penyelamatan dan pencarian, navigasi pantai, navigasi perairan pedalaman, dan pengguna kapal rekreasi.	Ancaman keamanan dunia maya (gangguan GPS)	HHLA container terminal Burchardkai
EDI	Mengotomatiskan perekaman, pengiriman, penerimaan, dan pembuatan dokumen pertukaran, meningkatkan akurasi manajemen, meningkatkan layanan pelanggan, mengurangi biaya dengan mengoptimalkan proses, dan mengurangi waktu respons.	Biaya pemasangan yang tinggi dan kurangnya standarisasi	Southampton Container Terminals
RFID	Lacak dan identifikasi inventaris, aset, dan orang-orang tanpa perlu saling berhadapan, dan itu dapat dibaca pada berbagai rentang serta dikodekan dengan sejumlah besar data.	Biaya Pemeliharaan, harga tag, dan biaya baterai	Port of Seattle, Nhava Sheva Port dan Port of Shanghai
OCR	Mengotomatiskan identifikasi peralatan ini membantu mengidentifikasi item tanpa menggunakan perangkat atau tag apapun.	Biaya implementasi	APM terminals
WSN	Digunakan untuk memantau kondisi lingkungan atau fisik, seperti tekanan, suara, polutan, suhu, atau gerakan	Biaya implementasi karena perangkat keras yang diperlukan seperti sensor	Port of Los Angeles dan Long Beach
RILS	Menggunakan berbagai teknologi nirkabel mulai dari RFID hingga INS/DGPS, yang dapat digunakan untuk layanan lokasi real-time.	Menggunakan teknologi RFID, dengan demikian biaya perawatan	Port of Hamburg

		dan perangkat keras	
Mobile	Ketersediaan dan evolusi perangkat seluler ini memberikan banyak solusi di sektor logistik karena dapat diintegrasikan dengan semua teknologi lainnya.	Rentan terhadap serangan dunia maya	Port of Hamburg

Sumber: Al ahmadi et al. (2021)

Smart Contract

Smart contract adalah komponen kunci dari teknologi *Blockchain* dan semakin diadopsi di berbagai industri, termasuk manajemen pelabuhan laut. Smart contract adalah program komputer yang memfasilitasi dan menegakkan ketentuan perjanjian atau kontrak antara pihak yang terlibat, tanpa memerlukan perantara atau pihak ketiga yang dipercaya (Z. Zheng et al., 2020). Ini adalah perjanjian eksekusi mandiri dalam bentuk kode komputer yang berjalan di *Blockchain* (Samanta et al., 2021). Konsep smart contract dapat ditelusuri kembali setidaknya pada tahun 1995 ketika Nick Szabo, seorang sarjana hukum, pertama kali memperkenalkan istilah tersebut dan mendefinisikannya sebagai perangkat komitmen yang didefinisikan dalam bentuk digital (F. Liu & Zhao, 2023). Szabo membayangkan smart contract sebagai cara untuk mengotomatisasi dan menegakkan perjanjian kontrak melalui protokol transaksi terkomputerisasi (Metcalf, 2020). Dengan menyematkan persyaratan kontraktual dalam bentuk kode pada *Blockchain*, smart contract memastikan bahwa persyaratan tersebut dieksekusi dan diverifikasi secara otomatis, mengurangi kebutuhan intervensi manual dan merampingkan proses penegakan kontrak (Z. Zheng et al., 2020).

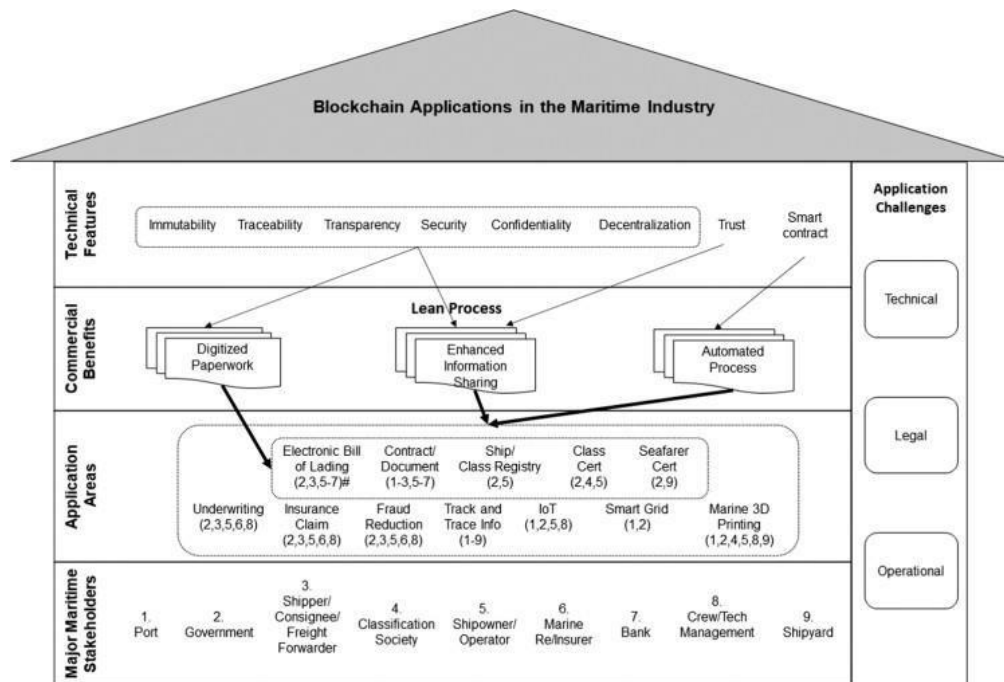
Dalam konteks manajemen pelabuhan maritim, smart contract menawarkan beberapa manfaat dan aplikasi. Mereka memungkinkan pelaksanaan otomatis dan penegakan kewajiban kontraktual, mengurangi overhead dan biaya administratif (Z. Zheng et al., 2020). Dengan menghilangkan kebutuhan perantara, seperti pengacara atau arbiter pihak ketiga, smart contract meningkatkan efisiensi proses bisnis di pelabuhan dan mengurangi risiko terkait (Alekseevich, 2022). Mereka dapat dimanfaatkan dalam berbagai aspek logistik maritim, termasuk manajemen rantai pasokan, pengiriman barang, dan operasi terminal (Aejas & Bouras, 2021; Min, 2022; Zelenkov & Lisafeeva, 2019).

Manajemen Pelabuhan Berbasis Blockchain

Teknologi *Blockchain* berpotensi merevolusi manajemen rantai pasokan di pelabuhan laut. Dengan mengaktifkan transparansi, ketertelusuran, dan keamanan, *Blockchain* dapat mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh globalisasi rantai pasokan (Saber et al., 2019). Penggunaan *smart contract* berbasis *Blockchain* dalam logistik dan rantai pasokan, termasuk jaringan logistik maritim, telah dieksplorasi dalam literatur (Alqarni et al., 2023). Selain meningkatkan proses pengambilan keputusan dan manajemen, teknologi *Blockchain* juga dapat berkontribusi pada kinerja keberlanjutan rantai pasokan. Dengan memberikan transparansi, keandalan, ketertelusuran, dan efisiensi, platform *Blockchain* dapat mendukung perlindungan lingkungan, keadilan sosial, dan efisiensi tata kelola dalam manajemen rantai pasokan (Park & Li, 2021). Potensi teknologi *Blockchain* dalam membangun komunitas *interport* dan mendukung pengembangan rantai pasokan terintegrasi telah diakui. *Blockchain* dapat memastikan konektivitas pemangku kepentingan di dalam dan di antara pelabuhan, sehingga memfasilitasi digitalisasi pelabuhan dan industri maritim (Serra et al., 2022).

Kerangka Konseptual Implementasi Blockchain pada Manajemen Pelabuhan yang Komprehensif

Dari berbagai kerangka konseptual yang telah dibangun oleh para peneliti terdahulu, penulis menilai bahwa kerangka konseptual yang dibangun oleh Pu & Lam (2021) merupakan sebuah kerangka konseptual yang cukup komprehensif untuk dapat memberikan pandangan terhadap keberhasilan proses implementasi *Blockchain* pada manajemen pelabuhan. Dalam penelitiannya, Pu & Lam (2021) membangun sebuah kerangka konseptual tentang bagaimana *Blockchain* dapat digunakan dalam industri maritim dengan contoh aplikasi. Kerangka konseptual tersebut dibangun berdasarkan temuan-temuan yang didapatkan oleh peneliti tersebut. Kerangka konseptual tersebut terdiri dari lima dimensi: fitur teknis *Blockchain*, manfaat komersial *Blockchain* untuk industri maritim, area yang berlaku di domain maritim, pemangku kepentingan maritim utama yang terlibat dalam aplikasi ini, dan potensi tantangan adopsi di industri. Peneliti memperoleh hubungan antara dimensi-dimensi ini dan pengaruhnya terhadap adopsi *Blockchain* di industri maritim dengan memeriksa faktor-faktor terperinci di setiap dimensi.



Gambar 1. Kerangka Konseptual Blockchain pada Manajemen Pelabuhan

Hasil analisis oleh peneliti tersebut menunjukkan bahwa fitur teknis *Blockchain* membentuk dasar untuk menciptakan keuntungan komersial bagi industri maritim. Manfaat komersial utamadari *Blockchain* diidentifikasi sebagai pencapaian proses ramping melalui tiga aspek: mendigitalkan dokumen, meningkatkan berbagi informasi, dan mengotomatiskan proses. Hubungan positif antara fitur teknis dan manfaat komersial berarti bahwa tingkat fitur teknis yang lebih tinggi membantu mencapai hasil yang lebih baik dalam manfaat komersial yang sesuai.

Analisis yang dilakukan oleh peneliti mengidentifikasi area aplikasi kontekstual dari *Blockchain* untuk setiap keuntungan komersial. Mendigitalkan dokumen dapat direalisasikan di banyak bidang seperti pendaftaran kapal, sertifikat klasifikasi, bill of lading, sertifikasi pelaut, dan kontrak pelayaran. Meningkatkan pembagian informasi dapat diterapkan ke seluruh rantai pasokan maritim. Ini mencakup semua area aplikasi dalam kerangka kerja karena transportasi laut dan layanan kelautan yang relevan bergantung pada informasi bersama untuk berkoordinasi diseluruhrantai. Informasi berkisar dari informasi komersial seperti pergerakan kargo hingga informasi teknis seperti data mesin. Selain itu, terdapat potensi untuk mewujudkan otomatisasi pada tingkat tertentu di sepanjang rantai pasokan maritim.

Penelitian tersebut juga menekankan pentingnya manajemen pemangku kepentingan dalam adopsi *Blockchain*. Pemangku kepentingan maritim utamadalamsetiap kasus penggunaan *Blockchain* diidentifikasi berdasarkan relevansinya dengan setiap kasus. Lebih lanjut, analisis yang dilakukan juga menunjukkan bahwa adopsi *Blockchain* menghadapi tantangan dalam industri maritim terutama dari aspek hukum, teknologi, dan operasional.

Dengan lima dimensi, kerangka kerja konseptual tersebut menjawab pertanyaan mendasar tentang mengapa, bagaimana, dan siapa yang terkait dengan adopsi *Blockchain* di industri maritim.

Kelayakan Implementasi Teknologi Blockchain pada Manajemen Pelabuhan

Salah satu cara untuk menilai kesiapan implementasi suatu teknologi adalah dengan menggunakan analisis kelayakan. Analisis kelayakan adalah langkah penting bagi calon pengusaha dan manajer proyek untuk menentukan apakah suatu konsep atau proyek layak dan dapat berhasil diimplementasikan. Berbagai aspek perlu diperhatikan dalam analisis ini, antara lain kelayakan teknis, kelayakan kelembagaan, kelayakan hukum, kelayakan lingkungan, kelayakan sosial, dan kelayakan ekonomi. Aspek-aspek ini menilai kepraktisan dan kelayakan penerapan teknologi atau proyek tertentu (Christianto, 2023). Lebih lanjut, beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk memahami berbagai aspek kelayakan ini dalam konteks implementasi *Blockchain* di industri pelabuhan laut.

Kelayakan teknis melibatkan evaluasi apakah teknologi yang diusulkan dapat dikembangkan atau diimplementasikan dengan sukses. Analisis ini mencakup penilaian ketersediaan sumber daya teknis, keahlian, dan infrastruktur yang diperlukan (Jamil et al., 2023; X.-W. Liu et al., 2011; Lolea et al., 2021).

Misalnya, dalam hal penerapan pembangkit listrik tenaga hidrogen, kelayakan teknis akan melibatkan analisis seluruh rantai teknologi hidrogen, termasuk produksi, penyimpanan, distribusi, dan pemanfaatan (Lolea et al., 2021).

Dalam konteks manajemen pelabuhan, kelayakan teknis mengacu pada kemampuan penerapan teknologi *Blockchain* di industri pelabuhan maritim dari perspektif teknis. Ini melibatkan penilaian apakah infrastruktur teknis yang ada dapat mendukung integrasi *Blockchain* dan mengidentifikasi tantangan atau persyaratan teknis apa pun. Penelitian oleh Jović et al. (2020) membahas dampak positif dari pertukaran informasi berbasis *Blockchain* di sektor transportasi laut dan menyoroti tantangan dan hambatan yang perlu diperhatikan untuk implementasi yang berhasil. Penelitian oleh Zhou et al. (2020) berfokus pada tantangan utama dan faktor penentu keberhasilan implementasi *Blockchain* di industri maritim serta mengadopsi pendekatan studi kasus berdasarkan industri maritim Singapura.

Dalam konteks manajemen pelabuhan, kelayakan lingkungan berfokus pada penilaian implikasi lingkungan dan keberlanjutan penerapan teknologi *Blockchain* di industri pelabuhan laut. Ini melibatkan evaluasi apakah integrasi *Blockchain* dapat membantu mengurangi dampak lingkungan atau meningkatkan praktik pengelolaan lingkungan. Penelitian oleh Jović et al. (2020) memperluas penelitian tentang pertukaran informasi berbasis *Blockchain* di sektor transportasi laut untuk memasukkan aspek lingkungan keberlanjutan, menyoroti dampak positif dari *Blockchain* dalam mengurangi dampak lingkungan.

Kesimpulannya, melakukan analisis kelayakan yang komprehensif sangat penting untuk memastikan keberhasilan penerapan teknologi atau proyek. Mengevaluasi kelayakan teknis, kelayakan kelembagaan, kelayakan hukum, kelayakan lingkungan, kelayakan sosial, dan kelayakan ekonomi memungkinkan manajer proyek dan pengusaha untuk menilai kelayakan, mengidentifikasi potensi tantangan, dan membuat keputusan berdasarkan informasi. Analisis ini membantu mengurangi risiko, memastikan kepatuhan terhadap peraturan, dan memaksimalkan peluang implementasi yang berhasil. Lebih lanjut, penerapan teknologi *Blockchain* di industri pelabuhan maritim juga memerlukan pertimbangan yang cermat terhadap kelayakan teknis, kelayakan kelembagaan, kelayakan hukum, kelayakan lingkungan, kelayakan sosial, dan kelayakan ekonomi. Penelitian-penelitian terdahulu memberikan wawasan berharga tentang tantangan, peluang, dan pertimbangan yang terkait dengan penerapan teknologi *Blockchain* di industri pelabuhan laut.

Potensi Implementasi Blockchain pada Pelabuhan di Indonesia

Kapidani et al. (2021) melakukan studi penelitian tentang tantangan penerapan teknologi *Blockchain* di industri maritim negara berkembang, dengan fokus di Montenegro dan Afrika Selatan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa para ahli Teknologi Informasi (TI) dan maritim dari negara-negara berkembang menganggap teknologi *Blockchain* sebagai teknologi yang mengganggu yang memiliki potensi implementasi dan implikasi pada industri maritim dan lainnya. Namun, mereka juga menunjukkan bahwa sumber daya dan infrastruktur yang terbatas, kurangnya kesadaran dan pemahaman, serta masalah peraturan adalah beberapa tantangan utama yang dihadapi dalam menerapkan teknologi *Blockchain* di industri maritim.

Indonesia sebagai negara berkembang juga mengalami berbagai kendala dalam manajemen pelabuhan. Dalam penelitian oleh Sudarsono (2022), diungkapkan berbagai permasalahan penyebab tingginya *dwelling time* yang ditemukan di empat pelabuhan besar di Indonesia. Permasalahan tersebut meliputi pra-kliring yang panjang, proses pengurusan dokumen LARTAS yang cukup lama, serta kurangnya pelayanan 24/7 dari semua pihak terkait seperti importir, eksportir, perusahaan pelayaran, dan bank. Selain itu, kurangnya koordinasi antara instansi seperti Direktorat Bea Cukai dan karantina juga menyebabkan proses customs clearance yang terlalu lama. Permasalahan lainnya termasuk adanya perbedaan jadwal pemeriksaan peti kemas dan pemeriksa fisik dalam satu sistem serta kekurangan fasilitas karantina yang ditetapkan di beberapa pelabuhan.

Lebih lanjut, penelitian oleh Wahyuni et al. (2020) menemukan bahwa terdapat kesenjangan antara ekspektasi kebijakan dan realisasi fasilitasi pelabuhan di Indonesia, yang disebabkan oleh birokrasi pemerintah yang tidak efisien, proses bea cukai yang lambat, dan kurangnya pengambilan keputusan strategis. Masalah-masalah ini juga dipengaruhi oleh kurangnya analisis kelayakan, pertimbangan perkembangan ekonomi lokal, serta adopsi standar teknologi yang terlambat.

Berbagai permasalahan ini menunjukkan bahwa implementasi *Blockchain* pada manajemen pelabuhan di Indonesia dapat menjadi solusi yang potensial. Namun, diperlukan sebuah kerangka konseptual yang komprehensif untuk menilai sejauh mana kesiapan dan proses adopsi teknologi *Blockchain* tersebut dapat diimplementasikan secara efektif dalam konteks industri maritim Indonesia.

**KESIMPULAN DAN SARAN****Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pada penelitian terdahulu menunjukkan bahwa teknologi Blockchain dianggap memiliki potensi implementasi dan implikasi pada industri maritim di negara-negara berkembang, termasuk di Montenegro, Afrika Selatan, dan Indonesia. Namun, tantangan yang dihadapi meliputi sumber daya terbatas, kurangnya kesadaran dan pemahaman, serta masalah peraturan. Di Indonesia, beberapa permasalahan dalam manajemen pelabuhan termasuk dwelling time yang tinggi dan kendala dalam proses pengurusan dokumen, koordinasi antar instansi, dan kurangnya sarana dan prasarana yang memadai. Birokrasi yang tidak efisien dan kurangnya analisis kelayakan juga menjadi faktor penghambat. Implementasi Blockchain dapat menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut dan disarankan untuk menggunakan kerangka konseptual yang komprehensif serta kerangka analisis kelayakan untuk menilai kesiapan dan proses adopsi teknologi Blockchain dalam industri maritim di Indonesia.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan untuk meningkatkan kesadaran dan pemahaman tentang teknologi Blockchain di kalangan pengambil keputusan dan pelaku industri maritim di Indonesia. Infrastruktur pelabuhan perlu diperbaiki untuk mengurangi dwelling time dan meningkatkan koordinasi antar instansi dalam pengurusan dokumen. Sebelum mengadopsi Blockchain, perlu dilakukan evaluasi kelayakan yang komprehensif termasuk analisis biaya-manfaat dan hambatan regulasi. Kerjasama internasional juga perlu dipertimbangkan untuk optimalisasi implementasi teknologi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, R., Besancenot, J., Bertelle, C., Duvallet, C., & Gilletta, F. (2023). An Extensive Preliminary Blockchain Survey from a Maritime Perspective. **Smart Cities*, 6*(2), 846–877.
- Aejas, B., & Bouras, A. (2021). Effective Smart contracts for Supply Chain Contracts.
- Alahmadi, D. H., Baothman, F. A., Alrajhi, M. M., Alshahrani, F. S., & Albalawi, H. Z. (2021). Comparative analysis of blockchain technology to support digital transformation in ports and shipping. **Journal of Intelligent Systems*, 31*(1), 55–69. <https://doi.org/10.1515/jisys-2021-0131>
- Alekseevich, K. A. (2022). Legal Regulation of Smart Contracts. **Rossijskoe Pravosudie*, S1*, 87–99. <https://doi.org/https://doi.org/10.37399/issn2072-909X.2022.S1.87-99>
- Alqarni, M. A., Alkathairi, M. S., Chauhdary, S. H., & Saleem, S. (2023). Use of Blockchain-Based Smart contracts in Logistics and Supply Chains. **Electronics*, 12*(6), 1340.
- Bauk, S. (2022). Blockchain conceptual framework in shipping and port management. **Maritime Transport Conference*, 9*.
- Chang, C. C., Lou, P. C., & Hsieh, Y. G. (2012). Indoor locating and inventory management based on RFID-Radar detecting data. **Journal of Applied Geodesy*, 6*(1), 47–54.
- Chen, J., Huang, T., Xie, X., Lee, P. T.-W., & Hua, C. (2019). Constructing governance framework of a green and smart port. **Journal of Marine Science and Engineering*, 7*(4), 83.
- Chen, X., Hu, W., Zhang, L., Shi, Z., & Li, M. (2018). Integration of low-cost GNSS and monocular cameras for simultaneous localization and mapping. **Sensors*, 18*(7), 2193.
- Chin, A. C. (2020). Blockchain biology. **Frontiers in Blockchain*, 3*, 606413.
- Christianto, B. S. (2023). *Risalah Kajian New Venture Creation*.
- Durán, C. A., Fernández-Campusano, C., Carrasco, R., Vargas, M., & Navarrete, A. (2021). Boosting the decision-making in smart ports by using blockchain. **IEEE Access*, 9*, 128055–128068.
- Elmay, F. K., Salah, K., Jayaraman, R., & Omar, I. A. (2022). Using NFTs and blockchain for traceability and auctioning of shipping containers and cargo in maritime industry. **IEEE Access*, 10*, 124507–124522.
- Haidine, A., Ait-Allal, A., Aqqal, A., & Dahbi, A. (2021). Networking layer for the evolution of maritime ports into a smart environment. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 46*, 251–257.
- Inamarine. (2023). The prospects of Indonesia's Maritime Sector in 2023. Diakses dari <https://inamarine-exhibition.net/why-indonesia/>
- Jamil, F., Shafiq, I., Sarwer, A., Ahmad, M., Akhter, P., Inayat, A., Shafique, S., Park, Y.-K., & Hussain, M. (2023). A critical review on the effective utilization of geothermal energy. **Energy & Environment*, 0958305X231153969*.

- Jović, M., Tijan, E., Žgaljić, D., & Aksentijević, S. (2020). Improving maritime transport sustainability using blockchain-based information exchange. **Sustainability, 12*(21), 8866.*
- Kapidani, N., Bauk, S., & Davidson, I. E. A. (2021). Developing Countries' Concerns Regarding Blockchain Adoption in Maritime. **Journal of Marine Science and Engineering, 9*(12), 1326.*
- Kim, H., Kim, J., Jang, K., & Han, J. (2020). Are the blockchain-based patents sustainable for increasing firm value? **Sustainability, 12*(5), 1739.*