

Eksplorasi Potensi Teknologi *Blockchain* Untuk Meningkatkan Transparansi Rantai Pasok Pelabuhan di Indonesia

Thresia Tiatira Simatupang¹, Heni Dwi Iryanti^{2*}

^{1,2}Program Studi S1 Transportasi, Sekolah Tinggi Maritim Yogyakarta, Indonesia

*e-mail korespondensi: heni.iryanti03@gmail.com

Abstract

Transparency in the port supply chain is a crucial element to improve efficiency and accountability, especially considering the vital role of ports in international trade. Transparency can promote sustainability, reduce operational costs, and strengthen stakeholder trust. Blockchain technology has great potential to support transparency by providing a secure and immutable record of transactions. However, ports in Indonesia still face challenges related to the lack of transparency and coordination. This study aims to analyze the potential of blockchain technology in overcoming these obstacles. Using a literature review method, data were collected from international journal articles and recent case studies in the last five years and evaluated based on the quality of the methodology and the validity of the results. The findings show that blockchain, initially known for its use in cryptocurrencies, can now be applied to smart contracts and real-time cargo management through integration with IoT. This technology improves port supply chain transparency, facilitates automated payments, reduces the risk of errors and fraud, and speeds up administrative processes. This study recommends the integration of blockchain with other technologies, such as IoT, to optimize cargo management and operational responsiveness. Using blockchain in Indonesian ports has excellent potential to improve business process efficiency and drive future innovation.

Keywords: *Blockchain, Supply chain transparency, Indonesian ports, Smart contract*

Abstrak

Transparansi dalam rantai pasok pelabuhan merupakan elemen krusial untuk meningkatkan efisiensi dan akuntabilitas, terutama mengingat peran vital pelabuhan dalam perdagangan internasional. Transparansi yang baik dapat mendorong keberlanjutan, mengurangi biaya operasional, serta memperkuat kepercayaan antara para pemangku kepentingan. Teknologi blockchain memiliki potensi besar dalam mendukung transparansi dengan menyediakan catatan transaksi yang aman dan tidak dapat diubah. Namun, pelabuhan di Indonesia masih menghadapi tantangan terkait kurangnya transparansi dan koordinasi. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi teknologi blockchain dalam mengatasi kendala tersebut. Dengan metode tinjauan pustaka, data dikumpulkan dari artikel jurnal internasional dan studi kasus terbaru dalam lima tahun terakhir, dievaluasi berdasarkan kualitas metodologi dan validitas hasil. Temuan menunjukkan bahwa blockchain, yang awalnya dikenal dari penggunaannya dalam mata uang kripto, kini dapat diterapkan untuk kontrak pintar dan manajemen kargo secara real-time melalui integrasi dengan IoT. Teknologi ini tidak hanya meningkatkan transparansi rantai pasok pelabuhan, tetapi juga memfasilitasi pembayaran otomatis, mengurangi risiko kesalahan dan penipuan, serta mempercepat proses administrasi. Studi ini merekomendasikan integrasi blockchain dengan teknologi lain, seperti IoT, untuk optimalisasi manajemen kargo dan responsivitas operasional. Penggunaan blockchain di pelabuhan Indonesia memiliki potensi besar untuk memperbaiki efisiensi proses bisnis dan mendorong inovasi di masa depan.

Kata Kunci: *Blockchain, Transparansi rantai pasok, Pelabuhan Indonesia, Smart contract*

PENDAHULUAN

Transparansi dalam rantai pasok pelabuhan sangat penting untuk memastikan efisiensi operasional dan akuntabilitas (Chod *et al.*, 2020). Pelabuhan memainkan peran vital dalam perdagangan internasional dan merupakan titik kunci dalam rantai pasok global. Transparansi yang baik dapat mendorong keberlanjutan, mengurangi biaya, dan meningkatkan kepercayaan di antara pemangku kepentingan (Gonzalez *et al.*, 2021). Oleh karena itu, mengidentifikasi dan menerapkan teknologi yang dapat meningkatkan transparansi sangatlah penting.

Dalam kondisi ideal, rantai pasok di pelabuhan seharusnya transparan di setiap tingkatan (Francisco & Swanson, 2018). Informasi tentang pergerakan kargo, proses bea cukai, dan status pengiriman harus tersedia secara *real-time* untuk semua pihak yang terlibat (Bassa *et al.*, 2021). Teknologi seperti *blockchain* memiliki potensi besar untuk mewujudkan kondisi ini (Wang *et al.*, 2019). *Blockchain* dapat menyediakan catatan yang tidak dapat diubah dan transparan, yang dapat diakses oleh semua pihak dalam rantai pasok, memastikan integritas dan keandalan data.

Namun, kenyataannya, pelabuhan di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala terkait transparansi. Menurut berita yang dikeluarkan oleh TI Indonesia pada tanggal 15 Agustus 2023, ketidakjelasan informasi dan koordinasi yang buruk masih menjadi masalah utama dalam operasi pelabuhan di Indonesia. Hal ini tercermin dari upaya penguatan transparansi dan antikorupsi yang dilakukan oleh PT Pelabuhan Indonesia (Persero) dan *Transparency International* (TI) Indonesia. Dalam berita tersebut, disebutkan bahwa salah satu kelemahan yang dihadapi oleh PT. Pelindo adalah kurangnya transparansi informasi terkait anggaran dan kurangnya respon pengelola *website* terhadap permintaan informasi dan data. Dengan demikian, hal ini mengindikasikan bahwa masalah ketidakjelasan informasi dan koordinasi yang buruk masih ada dan berdampak negatif pada efisiensi dan akuntabilitas operasi pelabuhan.

Penerapan teknologi *blockchain* di pelabuhan Indonesia masih dalam tahap awal. Menurut artikel yang ditulis oleh Eko Nugroho pada tanggal 30 Juli 2019, teknologi *blockchain* menjadi sorotan dalam penerapan di berbagai sektor industri, termasuk logistik. Meskipun beberapa pelabuhan besar di Eropa seperti *Marseille-Fos Port* telah mulai mengadopsi teknologi ini untuk meningkatkan efisiensi layanan, namun di Indonesia, penerapan *blockchain* dalam konteks pelabuhan masih dalam tahap awal. Kerja sama antara Kamar Dagang dan Industri (Kadin) Indonesia dengan penyedia *blockchain* seperti Tokoin menunjukkan upaya untuk memperkenalkan teknologi ini dalam pembiayaan dagang UMKM dan sektor industri, termasuk pelabuhan. Wakil Ketua Umum Kadin Bidang *Logistics & Supply Chain Management*, Rico Rustombi, menyatakan bahwa teknologi *blockchain* semakin dibutuhkan oleh berbagai sektor industri dan diharapkan dapat diterapkan juga dalam operasional pelabuhan di Indonesia. Meskipun demikian, diperlukan upaya lebih lanjut dalam pelatihan sumber daya manusia, peningkatan infrastruktur teknologi, dan penyesuaian regulasi agar adopsi teknologi *blockchain* di pelabuhan Indonesia dapat berkembang secara luas dan efektif. Dengan melihat pentingnya transparansi dan kondisi nyata di lapangan, sangat jelas bahwa ada kebutuhan mendesak untuk mengeksplorasi potensi *blockchain* dalam meningkatkan transparansi rantai pasok pelabuhan di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana *blockchain* dapat diterapkan secara efektif untuk mengatasi masalah transparansi dan mengoptimalkan rantai pasok di pelabuhan-pelabuhan Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *literature review* untuk mengeksplorasi potensi teknologi *blockchain* dalam meningkatkan transparansi rantai pasok pelabuhan di Indonesia. Metode ini bertujuan mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasi semua penelitian yang relevan

dengan topik terkait (Snyder, 2019). Fokusnya adalah pada analisis penerapan *blockchain* untuk meningkatkan visibilitas dan keandalan data dalam operasional pelabuhan, serta mengidentifikasi tantangan dalam implementasinya. Studi ini juga membandingkan penerapan *blockchain* di pelabuhan internasional untuk mendapatkan wawasan yang dapat diterapkan di Indonesia. Data utama berasal dari artikel jurnal, buku, laporan penelitian, dan dokumen resmi terkait *blockchain*, transparansi rantai pasok, dan operasional pelabuhan. Data dikumpulkan dari studi kasus internasional, laporan industri, dan penelitian akademis yang relevan dalam 10 tahun terakhir. Prosedur pengumpulan data melibatkan identifikasi literatur relevan melalui kata kunci seperti "*blockchain*", "transparansi rantai pasok", "pelabuhan", dan "Indonesia" di database akademik seperti *Google Scholar*, *ScienceDirect*, *mdpi*, dan *JSTOR*. Studi disaring berdasarkan relevansi topik, kualitas penelitian, dan relevansi temporal. Kualitas literatur dievaluasi berdasarkan metodologi, validitas temuan, dan kontribusi terhadap bidang studi. Analisis data dilakukan secara sistematis sesuai langkah-langkah Snyder (2019), termasuk pengaturan data, pengkodean, dan identifikasi tema. Validitas dan reliabilitas penelitian dijamin melalui triangulasi sumber dan *cross referencing* dengan studi terdahulu.

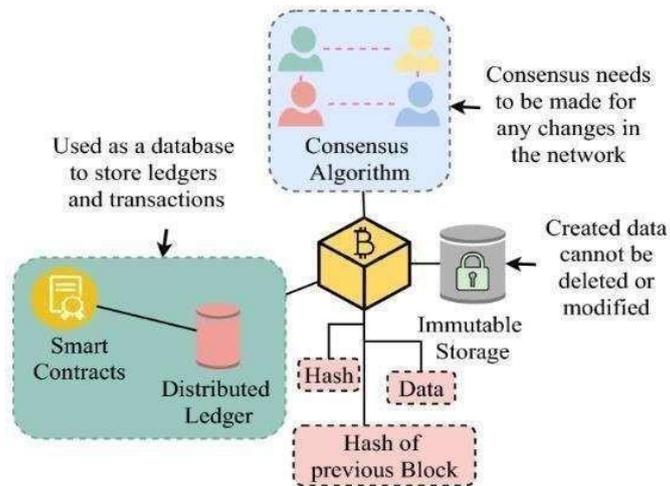
PEMBAHASAN

Pengenalan Konsep *Blockchain*

Pengenalan teknologi *blockchain* telah menghasilkan banyak penelitian yang mempelajari berbagai aspeknya, termasuk sejarah, makna, konsep, komponen, dan cara kerjanya. *Blockchain* adalah teknologi buku besar yang terdistribusi secara digital, terdesentralisasi, dan berbasis peer-to-peer, yang diakui sebagai inovasi disruptif dengan dampak luas (Savelyeva & Park, 2022). Pada awalnya, *blockchain* muncul sebagai versi 1.0 dengan mata uang kripto dan buku besar terdistribusi, kemudian versi 2.0 memperkenalkan kontrak pintar, yang memperluas kemampuan teknologi ini (Ghaffari *et al.*, 2020).

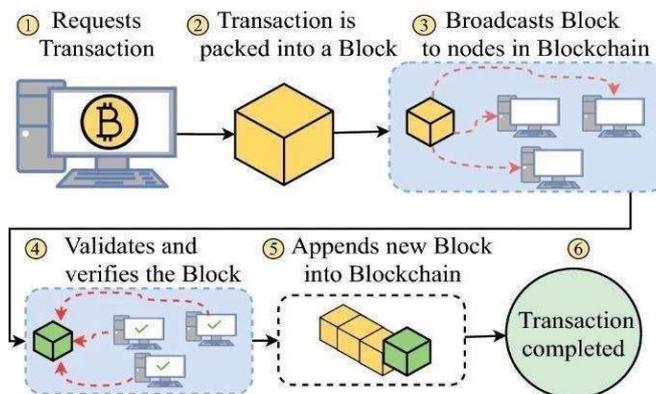
Blockchain adalah rantai blok yang berisi informasi, di mana setiap blok saling terhubung dengan menggunakan hash unik. *Blockchain* berfungsi sebagai buku besar terdistribusi yang terbuka untuk umum dan dirancang untuk mencatat data secara aman dan tidak dapat diubah. *Blockchain* terdiri dari serangkaian blok yang berisi data, hash dari blok tersebut, dan hash dari blok sebelumnya. Hash ini mirip dengan sidik jari yang unik untuk setiap blok. *Blockchain* aman karena setiap perubahan pada satu blok akan menyebabkan perubahan pada hash-nya, yang akan membuat semua blok berikutnya menjadi tidak valid. Selain itu, ada mekanisme *proof-of-work* yang memperlambat pembuatan blok baru, sehingga lebih sulit untuk memanipulasi data. *Blockchain* tidak dikelola oleh entitas pusat, melainkan oleh jaringan peer-to-peer. Setiap peserta dalam jaringan memiliki salinan lengkap dari *blockchain*, dan mereka bekerja sama untuk memverifikasi dan menyetujui setiap blok baru yang ditambahkan.

Awalnya, teknologi *blockchain* diciptakan untuk menandai waktu dokumen digital agar tidak bisa diubah atau dipalsukan. Kemudian, teknologi ini diadaptasi untuk menciptakan mata uang digital *Bitcoin*. Selain untuk *cryptocurrency*, teknologi *blockchain* juga bisa digunakan untuk berbagai hal lain seperti menyimpan catatan medis, membuat notaris digital, dan mengumpulkan pajak. Jadi, secara sederhana, *blockchain* adalah teknologi yang memungkinkan pencatatan data yang aman, transparan, dan sulit untuk diubah, melalui penggunaan rantai blok yang saling terhubung dan terdistribusi.



Gambar 1. Komponen *Blockchain*
 Sumber: Zarrin, Wen Phang, Babu Saheer, & Zarrin (2021)

Untuk memahami cara kerja *blockchain*, studi-studi telah mengeksplorasi mekanisme operasionalnya, seperti kemampuannya mencatat transaksi secara aman pada buku besar terdistribusi yang dibagikan di antara para peserta (Kshetri & Loukoianova, 2019). Skalabilitas sistem *blockchain* juga telah menjadi subjek penelitian, dengan peneliti yang mengeksplorasi cara-cara seperti pemilihan penambang paralel untuk meningkatkan skalabilitas (Ahmad & Bharti, 2019). Selain itu, implementasi *blockchain* dalam berbagai proses bisnis memerlukan kerangka kerja yang terstruktur agar integrasinya berjalan efektif (Ricci & Mammanco, 2020).



Gambar 2. Proses *Blockchain*
 Sumber: Zarrin, Wen Phang, Babu Saheer, & Zarrin (2021)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2, proses keseluruhan *Blockchain* ditunjukkan. Proses dimulai dengan permintaan transaksi dari sebuah *node*, yang akan dimasukkan ke dalam sebuah blok. Blok tersebut kemudian akan disiarkan ke *node-node* lain dalam jaringan *Blockchain* untuk validasi dan verifikasi. Ketika blok tersebut berhasil diverifikasi, maka akan ditambahkan di akhir *Blockchain* untuk disimpan dan transaksi selesai.

Konsep *blockchain* tidak hanya terkait dengan mata uang kripto seperti *Bitcoin*, tetapi juga menekankan perannya sebagai arsitektur data yang dapat digunakan di berbagai sektor (Mackey *et al.*, 2019). Potensi *blockchain* untuk meningkatkan keamanan, transparansi, dan desentralisasi menjadi fokus utama dalam diskusi tentang pengenalannya (Pratiwi, 2024). Selain itu, teknologi ini dijanjikan dapat merevolusi rantai pasok dengan memungkinkan

transaksi yang dapat dipercaya (Paardenkooper, 2019). Pentingnya interoperabilitas *blockchain*, dengan berbagai sistem terdesentralisasi seperti *Ethereum*, *Hyperledger Fabric*, dan *Corda* yang menawarkan akses publik dan privat (Kazemi & Yazdinejad, 2021). Potensi *blockchain* untuk mentransformasi industri seperti kesehatan dengan meningkatkan manajemen dan keamanan data juga menjadi fokus utama (Kuo *et al.*, 2019; Xu & Zhang, 2023). Aplikasi *blockchain* di bidang keuangan, akuntansi, dan audit telah dieksplorasi untuk merevolusi fungsi tradisional dengan algoritma inovatif (Kahyaoglu & Aksoy, 2021).

Blokchain secara intrinsik menawarkan banyak keunggulan teknologi kunci sebagai hasil dari arsitektur strukturalnya (Boison *et al.*, 2019). Beberapa di antaranya termasuk transparansi, ketahanan, ketidakberubahannya, dan integritas proses yang dibahas dalam Tabel 1.

Tabel 1. Keunggulan Teknologi *Blockchain*

Keunggulan	Deskripsi
Transparansi (Transparency)	Teknologi <i>blockchain</i> memberikan tingkat transparansi yang tinggi karena aktivitas dan operasi jaringan dapat dilihat oleh semua orang. Hal ini mengurangi kebutuhan akan kepercayaan karena setiap node dalam jaringan menyimpan salinan lengkap <i>blockchain</i> , memungkinkan audit dan pemeriksaan data secara real-time.
Durabili tas (Durabil ity)	Teknologi <i>blockchain</i> jauh lebih tahan lama dibandingkan sistem terpusat karena jaringan terdesentralisasi menghilangkan titik kegagalan tunggal. Risiko tersebar di antara semua node dalam jaringan, sehingga lebih sulit untuk diretas atau dimanipulasi.
Kekekalan (Immutability)	Data yang disimpan dalam <i>blockchain</i> bersifat permanen dan tidak dapat diubah. Hal ini karena data didistribusikan ke semua node dalam jaringan dan setiap perubahan harus diverifikasi oleh mayoritas node.
Integrita s Proses (Process Integrity)	Pengguna dapat yakin bahwa tindakan yang dijelaskan dalam protokol dijalankan dengan benar dan tepat waktu tanpa intervensi manusia. Protokol open source terdistribusi secara alami dijalankan persis seperti yang tertulis dalam kode.

Sumber: Boison & Antwi-Boampong (2019)

Secara keseluruhan, pengenalan teknologi *blockchain* ini menekankan potensi transformasinya di berbagai sektor, dengan menyoroti sejarah, makna, konsep, komponen, dan cara kerjanya. Dari peningkatan keamanan dan transparansi hingga merevolusi rantai pasok dan kesehatan, teknologi *blockchain* terus menjadi subjek penelitian yang luas dan mendalam.

Smart Technology pada Manajemen Rantai Pasok

Teknologi pintar semakin banyak digunakan dalam operasi pelabuhan, menawarkan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan (Dalaklis *et al.*, 2021). Beberapa penelitian telah mengeksplorasi integrasi teknologi pintar di pelabuhan, dengan fokus pada bidang seperti IoT, *blockchain*, dan digitalisasi. Yang pertama, teknologi RFID (*Radio-Frequency Identification*) telah banyak diteliti dan diterapkan di berbagai industri, termasuk pelabuhan, untuk meningkatkan efisiensi operasional dan keamanan. Banyak studi telah menyelidiki keuntungan dan tantangan penggunaan teknologi RFID di lingkungan pelabuhan. (Cichosz *et al.* 2020) meneliti hambatan, faktor keberhasilan, dan praktik terbaik

dalam transformasi digital penyedia layanan logistik, menyoroti tantangan dan peluang terkait penerapan teknologi RFID di sektor logistik. (Agarwal & Ankolikar 2022) melakukan tinjauan literatur komprehensif tentang penggunaan sensor RFID dalam manajemen rantai pasok, menekankan tantangan yang dihadapi dan manfaat potensial teknologi RFID dalam mengoptimalkan operasi rantai pasok. (Haibi *et al.* 2022) melakukan studi pemetaan sistematis tentang teknologi RFID, memberikan gambaran mendetail tentang teknologi RFID terbaru dan implikasinya bagi praktisi yang tertarik mengadopsi RFID di berbagai industri, termasuk pelabuhan. (Oke *et al.* 2022) mengusulkan model implementasi RFID untuk pembangunan berkelanjutan, menekankan pentingnya meningkatkan kredibilitas teknologi RFID sebelum adopsi secara luas.

Cara kerja dasar RFID didasarkan pada transfer energi melalui elektromagnetisme (Haibi *et al.* 2022). Alat pembaca RFID mengirimkan frekuensi radio yang mengaktifkan *chip* RFID yang berada didekatnya. Ketika tag RFID berada dalam jangkauan alat pembaca, alat tersebut mengirimkan energi elektromagnetik ke tag sehingga tag dapat berfungsi dan mengirimkan data. Setelah alat pembaca menerima informasi yang terdapat di *chip* tag, informasi tersebut dikirimkan langsung ke sistem *middleware* untuk diproses. Dalam operasi pelabuhan, teknologi RFID telah berperan penting dalam memungkinkan operator logistik memanfaatkan operasi pelabuhan yang cepat, tepat waktu, dan aman (Rodrigues *et al.*, 2023). Integrasi teknologi RFID ke dalam sistem manajemen pelabuhan telah memfasilitasi pelacakan dan pergerakan barang yang efisien melalui pelabuhan laut, yang mengarah pada peningkatan efisiensi operasional dan keamanan (Nguyen *et al.*, 2023).

Yang kedua, *smart contracts* dalam konteks operasi pelabuhan adalah kontrak yang dapat mengeksekusi sendiri dengan ketentuan perjanjian yang ditulis langsung ke dalam kode dan di *deploy* di platform *blockchain*, seperti *blockchain Ethereum* (López-Pintado *et al.*, 2019). Kontrak-kontrak ini dijalankan di *Ethereum Virtual Machine* (EVM) dalam setiap *node peer*, memastikan integritas dan ketidakberubahan operasi kontrak (López-Pintado *et al.*, 2019). Penggunaan *smart contracts* dalam operasi pelabuhan bertujuan untuk mengotomatisasi dan mengamankan berbagai proses, seperti manajemen dan eksekusi kontrak, tanpa memerlukan perantara. Selain itu, *smart contracts* beroperasi secara otonom setelah di *deploy*, memastikan bahwa ketentuan kontrak yang didefinisikan oleh kode *smart contract* tidak dapat diubah oleh pihak manapun setelah perjanjian dibuat (Zulkepli, 2023). Fitur ini meningkatkan keamanan dan keandalan transaksi dalam operasi pelabuhan, mengurangi risiko penipuan dan memastikan eksekusi perjanjian kontraktual yang transparan dan efisien. Dalam konteks hukum, *smart contracts* dianggap sebagai program komputer yang dapat mengeksekusi sendiri yang beroperasi di *blockchain*, memungkinkan eksekusi otomatis perjanjian tanpa kemungkinan intervensi, modifikasi, atau pelanggaran setelah dimulai (Onufreiciuc & Stănescu, 2021). Karakteristik ini memberikan tingkat kepercayaan dan keandalan dalam operasi pelabuhan, merampingkan proses dan meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan. *Smart Contracts* telah mendapatkan perhatian signifikan dalam konteks operasi pelabuhan. (Indraprakoso, 2023) mengeksplorasi potensi penggunaan *blockchain* dalam mengoptimalkan manajemen pelabuhan di Indonesia, menekankan pentingnya praktik operasional yang efisien dalam rantai pasok global. (Liu *et al.*, 2022) membahas tantangan dan solusi dalam pengembangan *smart contract*, mengungkap kompleksitas yang terlibat dalam menciptakan *smart contract* yang kuat dan aman untuk aplikasi pelabuhan. Mereka fokus pada verifikasi *smart contract* dalam sistem rantai pasok pelabuhan menggunakan probabilistic model *checking*, menyoroti pentingnya memastikan keandalan dan fungsionalitas *smart contract* dalam operasi pelabuhan. Selain itu, (Rouhani & Deters, 2019) melakukan survei sistematis tentang keamanan, kinerja, dan aplikasi *smart contract*, memberikan wawasan tentang konsep kunci dan perkembangan terbaru dalam teknologi *smart contract*. Studi-studi ini secara kolektif

berkontribusi pada pemahaman tentang implementasi *smart contract* di lingkungan pelabuhan, menangani tantangan, masalah keamanan, dan optimalisasi kinerja dalam konteks operasi pelabuhan.

Yang ketiga, dalam konteks pelabuhan, *Internet of Things* (IoT) merujuk pada jaringan perangkat fisik yang terhubung melalui internet dan dilengkapi dengan sensor, perangkat elektronik, dan kemampuan jaringan untuk bertukar data secara *real-time* Bednarčíková & Zahradník (2022). IoT memungkinkan berbagai perangkat di pelabuhan, seperti kontainer, kendaraan, dan infrastruktur lainnya, untuk terhubung dan berkomunikasi secara otomatis, memungkinkan pemantauan dan pengendalian yang lebih efisien. Cara kerja IoT di pelabuhan melibatkan penggunaan sensor untuk mengumpulkan data dari berbagai perangkat dan infrastruktur di pelabuhan. Data yang terkumpul kemudian dikirim ke *platform* IoT untuk diproses dan dianalisis. Dengan informasi yang dihasilkan, pelabuhan dapat mengoptimalkan operasi, memantau kondisi peralatan, mengelola rantai pasok, dan meningkatkan efisiensi secara keseluruhan ("*The Remote Monitoring System Based on the Internet of Things and Its Monitoring Method in the Design of Construction Machinery*", 2022). Penerapan IoT di pelabuhan juga memungkinkan untuk meningkatkan keamanan, pemantauan lingkungan, dan efisiensi energi. Misalnya, sensor IoT dapat digunakan untuk mendeteksi kebocoran gas berbahaya, memantau kualitas udara, dan mengoptimalkan penggunaan energi di pelabuhan (Bayoumi *et al.*, 2020). Dengan demikian, IoT memberikan kontribusi signifikan dalam transformasi pelabuhan menjadi entitas yang lebih pintar, efisien, dan berkelanjutan.

Yang keempat, *Fintech* di pelabuhan merujuk pada pemanfaatan teknologi keuangan (*Financial Technology*) untuk meningkatkan inklusi keuangan, efisiensi, dan kemudahan dalam transaksi di sektor pelabuhan. *Fintech* memungkinkan penggunaan layanan keuangan yang berbasis teknologi untuk memfasilitasi pembayaran, manajemen keuangan, dan transaksi lainnya dengan lebih mudah, cepat, dan aman. Studi menunjukkan bahwa peran *Financial Technology* (*Fintech*) berdampak positif dan signifikan terhadap keuangan inklusif, memberikan layanan keuangan yang berkualitas, tepat waktu, lancar, dan aman dengan biaya terjangkau sesuai kebutuhan pengguna (Artika & Shara, 2021). Selain itu, analisis biaya transaksi di terminal peti kemas pelabuhan juga menyoroti pentingnya efisiensi dalam transaksi di pelabuhan untuk mengoptimalkan operasional dan mengurangi biaya (Riadi *et al.*, 2021). Dengan demikian, *fintech* di pelabuhan memberikan kontribusi dalam meningkatkan aksesibilitas, efisiensi, dan keamanan dalam aktivitas keuangan di lingkungan pelabuhan. *Financial Technology* (*Fintech*) di pelabuhan telah menjadi subjek tinjauan sistematis dan analisis komprehensif. Studi oleh (Nawayseh, 2020) dan (Suryono *et al.*, 2020) membahas tantangan, tren, dan faktor yang mempengaruhi adopsi aplikasi *Fintech*, menyoroti perkembangan *Fintech* di berbagai industri, termasuk pelabuhan. Selain itu, (Dawood *et al.*, 2022) fokus pada Islamic FinTech, memberikan wawasan tentang tren bisnis dan tantangan spesifik di area ini. (Chatterjee, 2023) juga mengeksplorasi evolusi, penerimaan, dan adaptasi *Fintech*, menekankan perannya dalam upaya pembangunan berkelanjutan. Studi-studi ini secara kolektif berkontribusi pada pemahaman tentang dampak, tantangan, dan arah masa depan implementasi *Fintech* di lingkungan pelabuhan.

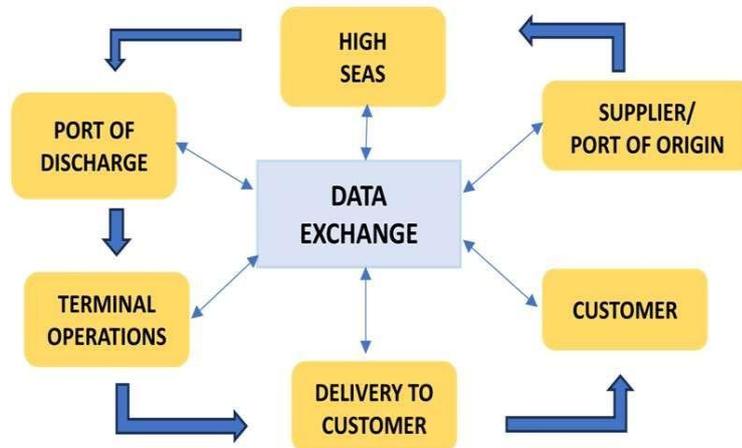
Tabel 2. Perbandingan Penggunaan *Smart Technology*

	RFID	Smart Contract	IOT	Fintech
Keuntungan	Identifikasi otomatis, pengambilan data tanpa perlu garis pandang langsung, serta kemampuan melacak objek secara efisien	Berjalan otomatis tanpa memerlukan pihak ketiga, disimpan di blockchain yang terdistribusi dan terpercaya, dapat menggunakan berbagai metode untuk mendeteksi kerentanan	Prediktif maintenance, pengumpulan data yang lebih baik, dan peningkatan efisiensi operasional	Meningkatkan akses ke layanan keuangan. Inovasi dan efisiensi operasional. Peningkatan inklusi keuangan. Potensi pertumbuhan ekonomi.
Kekurangan	Biaya tag yang tinggi karena membutuhkan chip RFID, & keterbatasan pemahaman serta kesadaran tentang teknologi ini di kalangan pengguna	Rentan terhadap serangan keamanan seperti kerentanan kode, Keterbatasan Kinerja, bergantung pada platform tertentu sehingga membatasi fleksibilitas penggunaan, tantangan mengintegrasikan data on-chain dan off-chain, termasuk risiko serangan cache.	Standarisasi keamanan, kesulitan dalam menciptakan nilai dari data IoT, dan perubahan model bisnis yang diperlukan	Tantangan regulasi. Keterbatasan infrastruktur. Kurangnya keterampilan. Harapan tinggi dari kelas menengah yang sedang berkembang.
Contoh Pelabuhan	Mombasa Port, Africa	Saplaya Port, Spain	Port of Rotterdam	Ports in Sub-Saharan Africa

Sumber: Diolah Peneliti, 2024

Gambar 3 berikut ini mengilustrasikan sistem jaringan rantai pasokan pelabuhan yang tipikal di mana pemasok di pelabuhan asal (pengirim) memindahkan kargo ke pelanggan (penerima) di pelabuhan tujuan. Untuk memfasilitasi pergerakan kargo ini, dokumen tertentu (*Manifest, Bill of Lading, Bill of Entry, Commercial Invoice*, dll.) harus dipertukarkan melalui sistem (kebanyakan *Electronic Data Exchange*) oleh pelaku atau pemangku kepentingan (Bea Cukai, Otoritas Pelabuhan, Freight Forwarders, Badan Pengatur, dll.) dalam rantai pasokan untuk memainkan peran mereka yang diwajibkan untuk menyelesaikan transaksi. Berbagai tantangan yang diidentifikasi oleh beberapa studi dan lainnya menimbulkan kebutuhan untuk mengeksplorasi potensi adopsi teknologi *Blockchain* ke dalam ekosistem rantai pasokan pelabuhan. Peneliti mengusulkan rantai pasokan pelabuhan yang siap *Blockchain* untuk pelabuhan di Indonesia. Secara khusus, karya ilmiah ini mengeksplorasi kebutuhan akan

transparansi dan keterlacakan dalam rantai pasokan pelabuhan, keadaan terkini teknologi *Blockchain* dan potensi pertumbuhannya di area lain, dan akhirnya mengusulkan konsep rantai pasokan pelabuhan yang siap *Blockchain*.



Gambar 3. Sistem Jaringan Rantai Pasok di Pelabuhan
Sumber : Boison, 2016 Gambar 3 mengilustrasikan sistem

Potensi Teknologi *Blockchain* dalam Rantai Pasok Pelabuhan

Teknologi *blockchain* telah mendapatkan perhatian signifikan dalam konteks manajemen rantai pasok, terutama dalam logistik pelabuhan. Banyak studi telah mengeksplorasi implikasi dan aplikasi *blockchain* dalam meningkatkan kinerja rantai pasok dalam operasi pelabuhan. Literatur menyoroti potensi *blockchain* untuk meningkatkan adaptabilitas, ketangkasan, keterpaduan, dan kinerja keseluruhan rantai pasok (Sheel & Nath, 2019). Dengan memanfaatkan *blockchain*, rantai pasok dapat mendapatkan keuntungan dari peningkatan transparansi, pelacakan, dan kepercayaan dalam transaksi yang melibatkan data, barang, jasa, dan sumber daya keuangan (Boison & Antwi-Boampong, 2020). Selain itu, teknologi *blockchain* menawarkan keuntungan seperti desentralisasi, tidak dapat diubah, dan peningkatan keamanan, yang dapat merevolusi kinerja keberlanjutan rantai pasok (Park & Li, 2021).

Integrasi *blockchain* dalam manajemen rantai pasok dapat menghasilkan berbagai perbaikan, termasuk visibilitas yang diperluas, pelacakan yang ditingkatkan, digitalisasi, pemusatan, peningkatan keamanan data, dan implementasi kontrak pintar (Wang *et al.*, 2019). Selain itu, *blockchain* dapat memberdayakan rantai pasok dengan mempromosikan berbagi data, mengoptimalkan proses, mengurangi biaya operasional, meningkatkan efisiensi kolaboratif, dan mendirikan sistem yang kredibel (Li & Chen, 2022). Teknologi ini juga menjanjikan peningkatan dalam pembiayaan rantai pasok bagi usaha kecil dan menengah melalui fitur-fitur seperti desentralisasi, pelacakan, anonimitas, dan tidak dapat diubahnya (M, 2021).

Selain itu, teknologi *blockchain* memiliki potensi untuk mengubah industri logistik dan rantai pasok dengan meningkatkan pelacakan, transparansi, dan akuntabilitas dalam manajemen inventaris dan tanggung jawab lingkungan (Pournader *et al.*, 2019). Dengan mengatasi tantangan seperti memahami biaya dan manfaat, serta hambatan-hambatan terhadap adopsi, *blockchain* dapat membuka peluang baru bagi manajemen rantai pasok (Hoek, 2019). Penggunaan *blockchain* dalam model pembiayaan rantai pasok telah menunjukkan peningkatan efisiensi dan keamanan karena sifatnya yang desentralisasi dan tidak dapat diubah (Xie & Li, 2021). Rantai pasok di industri pelabuhan dan maritim adalah serangkaian sistem yang

melibatkan orang, kapal, kontainer, dan proses lainnya untuk mengirimkan barang dari satu tempat ke tempat lain. Namun, seringkali sulit untuk melacak dan memahami semua transaksi yang terjadi dalam rantai pasok yang besar ini (I. Haq, *et al.*, 2010). Informasi tentang pengiriman dan pengiriman kargo sering tersebar di beberapa tempat dan hanya dapat diakses oleh beberapa pihak terkait. Hal ini dapat menyebabkan kurangnya transparansi dan kesulitan dalam melacak jejak transaksi dari awal hingga akhir (*Forest Stewardship Council A.C.*, 1996).

Untuk mengatasi masalah ini, teknologi *Blockchain* (BC) dapat digunakan. Dengan menggunakan BC, semua informasi tentang pengiriman kargo dapat dicatat dalam blok data yang tidak dapat diubah. Ini memastikan bahwa setiap transaksi dapat dipantau dan diverifikasi dengan jelas oleh semua pihak terkait. Dengan kata lain, BC membantu menjaga catatan yang jelas dan aman tentang semua transaksi dalam rantai pasok pelabuhan. Dalam konteks ini, sebuah sistem telah diusulkan yang menggunakan teknologi BC untuk mencatat informasi tentang setiap kargo yang dikirim. Ini akan mencakup detail tentang kargo, seperti nomor kontainer dan informasi lainnya, dan semua informasi ini akan disimpan dalam blok data yang terdistribusi. Dengan demikian, semua pihak terkait, termasuk pengirim, penerima, dan otoritas pelabuhan, akan dapat mengakses dan memverifikasi informasi ini. Ini akan membantu meningkatkan transparansi dan jejak dalam rantai pasok pelabuhan, serta memastikan bahwa setiap transaksi dapat dilacak dengan jelas dari awal hingga akhir. Dengan demikian, penggunaan teknologi BC dapat membantu mengatasi masalah kurangnya transparansi dan kesulitan jejak dalam industri pelabuhan dan maritim.

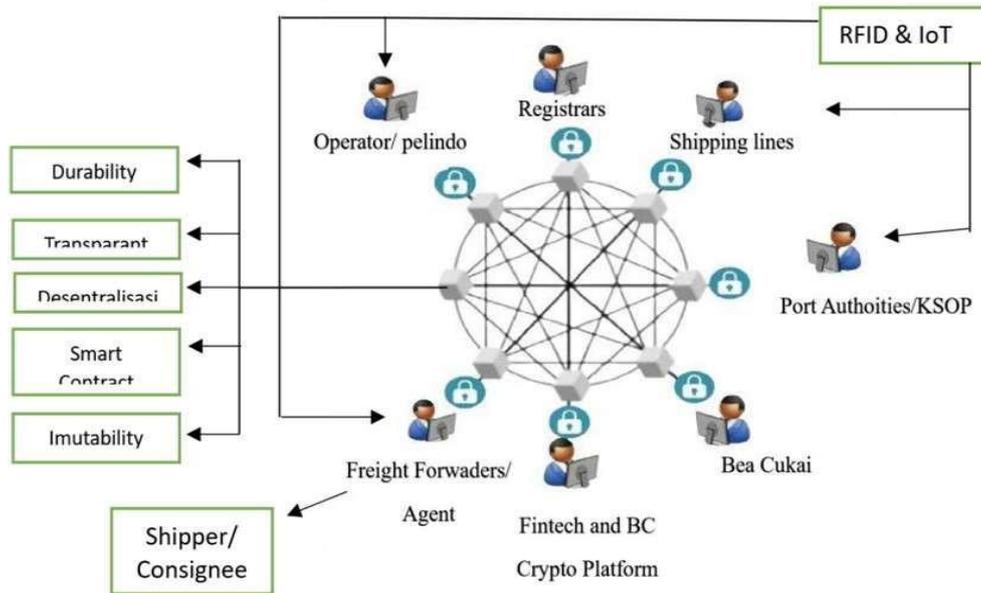
Konsep Implementasi Teknologi *Blockchain* dalam Rantai Pasok di Pelabuhan

Alur proses yang spesifik dalam rantai pasok di Pelabuhan dimulai dengan registrasi dan sertifikasi aktor, di mana aktor seperti Pelindo, perusahaan pelayaran, dan agen rumah bea cukai mendaftar dan disertifikasi oleh registrar, serta setiap aktor mendapatkan kunci kriptografi publik dan pribadi untuk otentikasi dalam sistem. Kargo kemudian diberi tag RFID atau *barcode* yang unik saat diterima di pelabuhan muat, dan informasi kargo (misalnya, ID kargo, deskripsi, nomor BL, ID kontainer, nama kapal, pelabuhan muat, pelabuhan bongkar, tanggal keberangkatan dan kedatangan) dimasukkan ke dalam sistem *blockchain*.

Saat kargo bergerak dari pelabuhan muat ke pelabuhan bongkar, setiap perubahan status dicatat di *blockchain* oleh aktor terkait seperti perusahaan pelayaran dan operator terminal, sementara sensor IoT memantau kondisi dan lokasi kargo secara *real-time* dan mengirimkan data ke *blockchain*. Agen rumah bea cukai atau pengirim barang memfasilitasi clearance kargo melalui proses di pelabuhan bongkar, dan bea cukai memverifikasi serta mencatat pembayaran pajak dan bea di *blockchain*. Platform fintech berbasis *blockchain* digunakan untuk memproses Saat kargo bergerak dari pelabuhan muat ke pelabuhan bongkar, setiap perubahan status dicatat di *blockchain* oleh aktor terkait seperti perusahaan pelayaran dan operator terminal, sementara sensor IoT memantau kondisi dan lokasi kargo secara realtime dan mengirimkan data ke *blockchain*. Agen rumah bea cukai atau pengirim barang memfasilitasi clearance kargo melalui proses di pelabuhan bongkar, dan bea cukai memverifikasi serta mencatat pembayaran pajak dan bea di *blockchain*.

Platform fintech berbasis *blockchain* digunakan untuk memproses pembayaran biaya pelabuhan, biaya pengiriman, dan biaya terkait lainnya, dengan *smart contracts* yang memastikan bahwa pembayaran dilakukan hanya setelah semua persyaratan terpenuhi. Data transaksi dan status kargo tersedia untuk diaudit oleh pihak independen dan dapat diakses oleh otoritas pengawasan serta publik, dengan laporan berkala yang dihasilkan untuk memantau kinerja dan kepatuhan terhadap aturan. Dengan teknik dan pihak yang dilibatkan ini, sistem *blockchain* untuk rantai pasok di pelabuhan dapat meningkatkan transparansi, mengurangi risiko korupsi, dan memastikan efisiensi serta kepatuhan terhadap regulasi. Pelindo dan semua

aktor dalam rantai pasok mendaftarkan dan disertifikasi dalam sistem *blockchain*. Setiap transaksi, mulai dari penerimaan kargo di pelabuhan hingga pengiriman akhir, dicatat di *blockchain*. Informasi ini termasuk status kargo, biaya yang dikenakan, dan waktu penanganan. Data yang dikumpulkan dapat diakses secara *real-time* oleh pihak berwenang dan publik, dengan pelaporan berkala untuk mengidentifikasi potensi penyimpangan. *Smart contracts* digunakan untuk memastikan kepatuhan otomatis terhadap aturan dan regulasi, meminimalkan potensi korupsi.



Gambar 4. Konsep *Blockchain* untuk Meningkatkan Transparansi rantai Pasok
 Sumber: Diolah Peneliti, 2024

Berikut Tabel menggambarkan peran dan tanggung jawab masing-masing aktor dalam jaringan rantai pasok pelabuhan yang menggunakan teknologi *blockchain*, membantu dalam meningkatkan transparansi, efisiensi, dan kepatuhan terhadap regulasi.

Tabel 3. Peran Aktor/*Stakeholder* dalam Transparansi Rantai Pasok di Pelabuhan

<i>Stakeholder</i>	Peran
<i>Registrars</i>	Memberikan identitas unik kepada aktor di jaringan. Memberikan sertifikasi kepada aktor untuk berpartisipasi dalam jaringan.
<i>Shipping Lines</i>	Pengangkutan barang dari port of loading ke port of discharging berdasarkan aturan yang telah ditetapkan, Penandatanganan kontrak digital dengan shipper, kolaborasi dengan pihak terkait,
<i>Port Authorities</i>	Menetapkan standar dan skema untuk barang dan kapal. Mengawasi protokol kedatangan dan keberangkatan kapal, standar IMO, Konvensi SOLAS, dan regulasi lainnya.
<i>Terminal Operator</i>	Menangani kapal dan barang dengan cara yang aman dan terjamin berdasarkan regulasi yang telah ditetapkan oleh otoritas pelabuhan.
<i>Customs</i>	Bertanggung jawab atas pengumpulan bea masuk dan pajak impor atas barang. Memastikan kepatuhan terhadap regulasi dan prosedur bea cukai yang berlaku.

<i>FF/Agent</i>	Bertindak sebagai agen untuk konsinye untuk memfasilitasi kliring barang melalui proses yang telah ditentukan di pelabuhan tujuan. Menginisiasi sebagian besar entri data awal untuk memulai transaksi di jaringan blockchain.
<i>Fintech/BC</i>	Menyediakan platform untuk aktor menggunakan untuk memfasilitasi pembayaran barang dan jasa. Memungkinkan pembayaran digital dan transaksi keuangan lainnya dalam rantai pasok.
<i>Shipper</i>	Memasukkan detail spesifik tentang barang yang akan diekspor ke dalam sistem, seperti jenis barang, merek, tahun pembuatan, kapasitas mesin, berat, nama penerima, alamat, dan pelabuhan tujuan. Memulai transaksi perdagangan dengan Consignee, di mana barang ditukar setelah penandatanganan kontrak digital yang disimpan dalam blockchain. Mengizinkan pihak sertifikasi untuk melakukan pemeriksaan fisik terhadap barang sesuai dengan regulasi yang berlaku, yang kemudian ditampilkan dalam profil Shipper dengan tanda tangan digital dari pihak sertifikasi dan otoritas standar
<i>Consignee</i>	Mengakses data tentang barang yang terkait dengan mereka melalui antarmuka pengguna yang disesuaikan. Memiliki versi antarmuka pengguna yang disesuaikan untuk mengakses data tentang barang yang mereka terima. Memfasilitasi kliring barang melalui proses yang telah ditentukan di pelabuhan tujuan. Memiliki akses ke data yang ada dan melakukan entri data baru dalam sistem. Berpartisipasi dalam transaksi bisnis dan berbagi data dalam jaringan blockchain sesuai dengan aturan yang telah ditentukan

Sumber: Diolah Peneliti, 2024

Tantangan Implementasi Teknologi *Blockchain* dalam Transparansi Rantai Pasok di Pelabuhan

Dalam era digitalisasi dan transformasi industri, implementasi teknologi *blockchain* dalam rantai pasok pelabuhan menjadi semakin relevan untuk meningkatkan transparansi, efisiensi, dan keamanan operasional. Namun, seperti halnya dengan pengadopsian teknologi baru, terdapat sejumlah tantangan yang perlu diatasi agar implementasi *blockchain* dalam transparansi rantai pasok pelabuhan dapat berjalan dengan sukses. Tantangan dalam implementasi teknologi *blockchain* dalam transparansi rantai pasok di pelabuhan meliputi beberapa aspek yang perlu dipertimbangkan:

1. Kesulitan dalam Integrasi Sistem. Implementasi teknologi *blockchain* dalam rantai pasok pelabuhan dapat menghadapi tantangan dalam mengintegrasikan sistem yang sudah ada dengan teknologi *blockchain*. Proses integrasi yang kompleks dan memerlukan kerja sama antara berbagai pihak terkait dapat menjadi hambatan dalam menerapkan solusi *blockchain* secara menyeluruh Shoaib *et al.* (2023).
2. Keterbatasan Teknologi. Tantangan lain yang dihadapi adalah terkait dengan keterbatasan teknologi *blockchain* itu sendiri, seperti skalabilitas, kecepatan transaksi, dan biaya implementasi. Memastikan bahwa infrastruktur *blockchain* dapat menangani volume transaksi yang tinggi dan tetap efisien merupakan hal yang perlu diperhatikan dalam konteks rantai pasok pelabuhan (Rane & Thakker, 2019).
3. Kesulitan dalam Validasi Data. Dalam konteks rantai pasok, validasi data yang masuk ke dalam *blockchain* menjadi krusial untuk memastikan keakuratan informasi yang tersimpan.

Proses validasi data yang rumit dan memerlukan konsensus dari berbagai pihak terkait dapat menjadi tantangan dalam memastikan transparansi dan keandalan data dalam rantai pasok pelabuhan (Hasan *et al.*, 2023).

4. Kesulitan dalam Kepatuhan Regulasi. Implementasi teknologi *blockchain* dalam rantai pasok pelabuhan juga harus memperhatikan aspek regulasi yang berlaku. Tantangan terkait dengan kepatuhan terhadap regulasi data, privasi, dan keamanan informasi menjadi hal yang perlu dipertimbangkan agar implementasi *blockchain* dapat berjalan sesuai dengan ketentuan yang berlaku (“*The Role of Blockchain Technology in Enhancing Supply Chain Transparency in Europe*”, 2023).

Dengan memahami tantangan-tantangan tersebut, pelaku industri dan pemangku kepentingan terkait dapat merancang strategi implementasi teknologi *blockchain* yang efektif dan memperhitungkan berbagai aspek yang diperlukan untuk meningkatkan transparansi dalam rantai pasok pelabuhan.

Solusi dalam Mengatasi Tantangan Implementasi Teknologi Blockchain

Dalam menghadapi tantangan implementasi teknologi *blockchain* dalam transparansi rantai pasok di pelabuhan, solusi- solusi yang disusun dengan cermat menjadi kunci untuk memastikan keberhasilan dan efektivitas penerapan teknologi ini. Dengan mempertimbangkan berbagai solusi yang telah diidentifikasi, untuk mengatasi tantangan implementasi teknologi *blockchain* dalam transparansi rantai pasok di pelabuhan, berikut adalah beberapa solusi yang mendukung:

1. Integrasi Sistem yang Kompleks. Menerapkan pendekatan bertahap dalam integrasi sistem dan melibatkan tim lintas fungsional. (Heim, 2021) menyebutkan pentingnya integrasi sistem yang kompatibel dengan teknologi *blockchain*.
2. Keterbatasan Teknologi. Memilih platform *blockchain* yang skalabel dan efisien untuk menangani volume transaksi yang tinggi. (Rane & Thakker, 2019) menyoroti pentingnya memecahkan tantangan teknologi seperti batasan transaksi dan verifikasi data.
3. Validasi Data yang Akurat. Menerapkan mekanisme validasi data yang ketat dan transparan dalam jaringan *blockchain*. (Hasan *et al.*, 2023) membahas pentingnya validasi data yang akurat dalam rantai pasok menggunakan teknologi *blockchain*.
4. Kepatuhan Regulasi. Bekerjasama dengan regulator dan mematuhi regulasi data, privasi, dan keamanan yang berlaku. Bennett (2024) menyoroti tantangan kepatuhan regulasi dalam implementasi *blockchain* dalam rantai pasok.

Dengan menerapkan solusi-solusi tersebut, pelabuhan dapat mengatasi tantangan yang dihadapi dalam mengimplementasikan teknologi *blockchain* untuk meningkatkan transparansi dalam rantai pasok. Referensi yang disertakan memberikan landasan teoritis dan praktis untuk mendukung implementasi solusi-solusi tersebut.

SIMPULAN

Transparansi dalam rantai pasok pelabuhan memiliki peran vital dalam memastikan efisiensi operasional, keberlanjutan, pengurangan biaya, dan peningkatan kepercayaan di antara pemangku kepentingan. Penerapan teknologi *blockchain* dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan transparansi di pelabuhan dengan memungkinkan pencatatan data secara aman, tidak dapat diubah, dan terdistribusi secara terbuka. Kerja sama antara Kamar Dagang dan Industri (Kadin) Indonesia dengan penyedia *blockchain* menunjukkan upaya nyata untuk memperkenalkan teknologi ini dalam pembiayaan dagang UMKM dan sektor industri, termasuk pelabuhan. Meskipun terdapat kebutuhan mendesak untuk eksplorasi potensi *blockchain* dalam meningkatkan transparansi rantai pasok pelabuhan di Indonesia, diperlukan upaya lebih lanjut dalam pelatihan sumber daya manusia, peningkatan infrastruktur teknologi,

dan penyesuaian regulasi agar adopsi teknologi blockchain dapat berkembang secara luas dan efektif.

Adapun saran yang dapat diberikan adalah perlunya PT Pelindo dan pihak berwenang lainnya untuk meningkatkan keterbukaan informasi terkait anggaran dan tanggap terhadap permintaan informasi dan data guna memperbaiki transparansi di pelabuhan Indonesia. Selain itu, penting untuk menguatkan kolaborasi antara pelaku industri, pemerintah, dan lembaga terkait untuk mempercepat adopsi teknologi blockchain dalam rantai pasok pelabuhan, dengan tujuan meningkatkan efisiensi, keamanan, dan transparansi operasional. Penulis juga menyarankan agar investasi dalam pelatihan sumber daya manusia, pengembangan infrastruktur teknologi, dan penyusunan regulasi yang mendukung adopsi teknologi blockchain di pelabuhan Indonesia ditingkatkan agar implementasi dapat berjalan dengan lancar dan efektif. Terakhir, mendorong inovasi dan penelitian lebih lanjut dalam penerapan teknologi blockchain dan teknologi terkait lainnya akan terus meningkatkan transparansi dan efisiensi dalam rantai pasok pelabuhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, S. and Bharti, A. K. (2019). Blockchain scalability enhancement using parallel miners selection. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(12), 4356-4360.
- Agarwal, V. and Ankolikar, S. (2022). Deployment of RFID sensors in supply chain management – a review. *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering*, 3(2), 47-64.
- Antwi-Boampong A, Boison DK, Doumbia MO, Boakye AN, Osei-Fosua L, Owiredo Sarbeng K. Factors Affecting Port Users' Behavioral Intentions to Adopt Financial Technology (Fintech) in Ports in Sub-Saharan Africa: A Case of Ports in Ghana. *FinTech*. 2022; 1(4):362-375.
- Artika, D. and Shara, Y. (2021). Analisis peran financial technology dalam meningkatkan keuangan inklusif pada umkm kota medan. *Indonesian Journal of Business Analytics*, 1(2), 237-248.
- Bassa, L., Kwateng, K. O., & Kamewor, F. T. (2021). Paperless custom clearance and business supply chains. *Marine Economics and Management*, 4(1), 42-58.
- Bennett, L. (2024). The role of blockchain technology in enhancing supply chain transparency in Italy. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202405.1405.v1>
- Boison, D. K. and Antwi-Boampong, A. (2020). Blockchain ready port supply chain using distributed ledger. *Nordic and Baltic Journal of Information & Communications Technologies*
- Boison, D. K., & Antwi-Boampong, A. (2019). Blockchain ready port supply chain using distributed ledger. *Nordic and Baltic Journal of Information & Communications Technologies*, 1-32.
- Caterpillar: a business process execution engine on the ethereum blockchain. *Software: Practice and Experience*, 49(7), 1162-1193.
- Chatterjee, R., Srivastava, T., & Kaur, N. (2023). Evolution, acceptance, and adaptation of fintech: a road map towards sustainable development. *Adhyayan: A Journal of Management Sciences*, 13(01), 46-51.
- Chod, J., Trichakis, N., Tsoukalas, G., Aspegren, H., & Weber, M. (2020). On the financing benefits of supply chain transparency and blockchain adoption. *Management Science*, 66(10), 43784396.
- Cichosz, M., Wallenburg, C. M., & Knemeyer, A. M. (2020). Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices. *The International*

- Journal of Logistics Management, 31(2), 209238.
- Dawood, H. M., Zadjali, F. A., Rawahi, M. A., Karim, S., & Mohamed, H. (2022). Business trends & challenges in islamic fintech: a systematic literature review. *F1000Research*, 11, 329.
- Forest Stewardship Council A.C., "FSC International Standard. FSC Principles and Criteria for Forest," FSC Stand, vol. 01, no. 4, pp. 1–13, 1996
- Francisco, K. and Swanson, D. (2018). The supply chain has no clothes: technology adoption of blockchain for supply chain transparency. *Logistics*, 2(1), 2.
- Ghaffari, F., Bertin, E., Hatin, J., & Crespi, N. (2020). Authentication and access control based on distributed ledger technology: a survey. 2020 2nd Conference on Blockchain Research & Applications for Innovative Networks and Services (BRAINS).
- Gonzalez, O. d. A., Koivisto, H., Mustonen, J. M., & Keinänen-Toivola, M. M. (2021). Digitalization in just-in-time approach as a sustainable solution for maritime logistics in the baltic sea region. *Sustainability*, 13(3), 1173.
- Haibi, A., Oufaska, K., Yassini, K. E., Boulmalf, M., & Bouya, M. (2022). Systematic mapping study on RFID technology. *IEEE Access*, 10, 6363-6380.
- Hasan, I., Habib, M. M., & Mohamed, Z. (2023). Blockchain database and iot: a technology driven agri-food supply chain. *International Supply Chain Technology Journal*, 9(3), 40-45.
- Heim, H. (2021). Chain gang small enterprise, blockchain collaborations and textile recovery in the circular economy.
- Hoek, R. v. (2019). Unblocking the chain – findings from an executive workshop on blockchain in the supply chain. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(2), 255-261.
- I. Haq, R. Monfared, R. Harrison, L. Lee and A. West, "A new vision for the automation systems engineering for automotive powertrain assembly," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing (IJCIM)*, vol. 23, pp. 308–324, 2010.
- Indraprakoso, D. and Haripin (2023). Eksplorasi potensi penggunaan blockchain dalam optimalisasi manajemen pelabuhan di indonesia: tinjauan literatur. *Sanskara Manajemen Dan Bisnis*, 1(03), 140-160.
- Kahyaoğlu, S. B. and Aksoy, T. (2021). Survey on blockchain based accounting and finance algorithms using bibliometric approach. *Accounting and Finance Innovations*.
- Kazemi, M. and Yazdinejad, A. (2021). Towards automated benchmark support for multiblockchain interoperability facilitating platforms.
- Kowalski, P., & Esposito, L. (2023). The Role of Blockchain Technology in Enhancing Supply Chain Transparency in Europe. *Journal of Procurement & Supply Chain*, 7(2), 11–21.
- Kshetri, N. and Loukoianova, E. (2019). Blockchain adoption in supply chain networks in asia. *IT Professional*, 21(1), 11-15.
- Kuo, T., Rojas, H. Z., & Ohno-Machado, L. (2019). Comparison of blockchain platforms: a systematic review and healthcare examples. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 26(5), 462-478.
- Li, Y. and Chen, T. (2022). Blockchain empowers supply chains: challenges, opportunities and prospects. *Nankai Business Review International*, 14(2), 230-248.
- Liu, Y., Zhou, Z., Yang, Y., & Ma, Y. (2022). Verifying the smart contracts of the port supply chain system based on probabilistic model checking. *Systems*, 10(1), 19.
- López-Pintado, O., García-Bañuelos, L., Dumas, M., Weber, I., & Пономарев, А. И. (2019). M, S. P. K. (2021). Blockchain enabled technology platform for enhancing supply chain financing for SME's. *Psychology and Education Journal*, 57(9), 6141-6153.
- Mackey, T. K., Kuo, T., Gummadi, B., Clauson, K. A., Church, G. M., Grishin, D., ... &

- Palombini, M. (2019). 'fit for-purpose?' – challenges and opportunities for applications of blockchain technology in the future of healthcare. *BMC Medicine*, 17(1).
- Nawayseh, M. K. A. (2020). Fintech in covid-19 and beyond: what factors are affecting customers' choice of fintech applications? *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 153.
- Nguyen, H. P., Nguyen, P. Q. P., Nguyen, D. K. P., Bui, V. D., & Nguyen, D. T. (2023). Application of IOT technologies in seaport management. *JOIV: International Journal on Informatics Visualization*, 7(1), 228.
- Nugroho, Eko. "Penerapan Teknologi Blockchain Bagi Pelabuhan dan Bandara di Indonesia." *Indonesia Shipping Gazette*, July 30, 2019.
- Oke, A. E., Kineber, A. F., Farouk, M. H., & Kayode, F. S. (2022). Radio frequency identification implementation model for sustainable development: a structural equation modeling approach. *Sustainable Development*, 31(3), 1824-1844.
- Olivier Raveu (2023, Desember 30) Valencia Port Greenlights Contract for New Container Terminal. *Dmslog.ai*. <https://dmslog.ai/valencia-port-greenlights-contract-for-new-containerterminal-15151/>
- Onufreiciuc, R. and Stănescu, L. (2021). Regulation of the smart contract in (romanian) civil law. *European Journal of Law and Public Administration*, 8(2), 95-111.
- Paardenkooper, K. (2019). Creating value for small and medium enterprises with the logistic applications of blockchain. *Proceedings of the International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019)*.
- Park, A. and Li, H. (2021). The effect of blockchain technology on supply chain sustainability performances. *Sustainability*, 13(4), 1726.
- Pournader, M., Shi, Y., Seuring, S., & Koh, S. L. (2019). Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: a systematic review of the literature. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2063-2081.
- Port of Rotterdam (2019, Januari 30) Port of Rotterdam puts Internet of Things platform into operation. *Port of Rotterdam*. <https://www.portofrotterdam.com/en/news-and-pressreleases/port-rotterdam-puts-internet-thingsplatform-operation>
- Pratiwi, A. E. and Ermaya, H. N. L. (2024). Implementation of blockchain technology on accounting information system for transaction security and data reliability. *JASa (Jurnal Akuntansi, Audit Dan Sistem Informasi Akuntansi)*, 8(1), 64-74.
- Rane, S. B. and Thakker, S. V. (2019). Green procurement process model based on blockchain–iot integrated architecture for a sustainable business. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 31(3), 741-763.
- Riadi, S., Anggraini, E., & Wahyudin, Y. (2021). Analisis biaya transaksi di terminal peti kemas pelabuhan jambi. *Jurnal Penelitian Transportasi Laut*, 22(2), 57-66.
- Ricci, P. and Mammanco, V. (2020). An implementation framework for a blockchain based trial tax. *Journal of Engineering and Applied Sciences Technology*, 2(4), 1-5. Rouhani, S. and Deters,
- R. (2019). Security, performance, and applications of smart contracts: a systematic survey. *IEEE Access*, 7, 50759- 50779.
- Rodrigues, A. C., Macedo, R. d. C., & Martins, R. S. (2023). Technological drivers of dry port efficiency in brazil. *Revista De Gestão*, 30(2), 176-189.
- Savelyeva, T. and Park, J. (2022). Blockchain technology for sustainable education. *British Journal of Educational Technology*, 53(6), 1591-1604.
- Sheel, A. and Nath, V. (2019). Effect of blockchain technology adoption on supply chain adaptability, agility, alignment and performance. *Management Research Review*, 42(12), 1353-1374.

- Shoaib, M., Zhang, S., Ali, H., Akbar, M. A., Hamza, M., & Rehman, W. U. (2023). Robust framework to prioritize blockchain-based supply chain challenges: the fuzzy best-worst approach for multiple criteria decision-making. *Kybernetes*.
- Siror, J. K., Huanye, S., & Dong, W. (2011). RFID based model for an intelligent port. *Computers in industry*, 62(8-9), 795-810.
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of business research*, 104, 333-339.
- TI Indonesia. (2023, 15 Agustus). Penguatan Transparansi dan Antikorupsi di PT Pelabuhan Indonesia (Persero). Jakarta, Indonesia: TI Indonesia.
- Wang, Y., Han, J. W., & Beynon-Davies, P. (2019). Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24(1), 62-84.
- Xie, W. and Li, Y. (2021). Risk analysis of supply chain finance under blockchain technology - based on ahp-fcm model. *E3S Web of Conferences*, 275, 01025.
- Zarrin, J., Wen Phang, H., Babu Saheer, L., & Zarrin, B. (2021). Blockchain for decentralization of internet: prospects, trends, and challenges. *Cluster Computing*, 24(4), 2841-2866.
- Zulkepli, M. I. S., Mohamad, M. T., & Azzuhri, S. R. (2023). Leveraging blockchain-based smart contract in Islamic financial institutions: issue and relevant solution. *International Journal of Islamic Economics and Finance Research*, 6(1), 18-28.