

## Manajemen *Green Port* dan Dekarbonisasi Maritim: Tinjauan Literatur Sistematis tentang Penggerak Digital, Integrasi ESG, dan Kinerja Pelabuhan

Adenanthera Lesmana Dewa<sup>1\*</sup>, Retno Mulatsih<sup>2</sup>, Lisda Rahmasari<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>S1 Transportasi, Universitas Maritim AMNI Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

<sup>3</sup>D3 KPN, Universitas Maritim AMNI Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

\*Korespondensi penulis: [imp.doc343@gmail.com](mailto:imp.doc343@gmail.com)

**Abstract.** *The maritime industry is the backbone of global trade that faces demands to reduce environmental impact. The International Maritime Organization (IMO) through the 2023 GHG Strategy targets net-zero greenhouse gas emissions around 2050. Ports as a node of the global supply chain are required to implement green port management to support the decarbonization process. This study examines the literature on green port management with a focus on sustainability strategies, Environmental, Social, and Governance (ESG) integration, technological innovation, and its impact on port performance. Following the PRISMA 2020 guidelines, a systematic review was conducted on the Scopus database which resulted in 912 initial records. After screening based on inclusion and exclusion criteria, 108 indexed articles for the 2018–2025 period were selected for final analysis. Thematic synthesis and descriptive bibliometric analysis were used to evaluate the port's sustainability strategy and operational performance. The findings identify six key themes: Environmental Management and Circular Economy, Energy Efficiency and Green Infrastructure, Digital Green Ports and Smart Technologies, ESG and Governance, Stakeholder Management and Green Shipping Corridors, and Green Innovation. Green infrastructure such as Onshore Power Supply (OPS) requires high capital costs, while digitalization through Artificial Intelligence (AI) and Digital Twin improves energy efficiency. This review presents a Green Port Model based on the Natural Resource-Based View (NRBV) as well as a research agenda for academics and policymakers.*

**Keywords:** *Green Harbor; Maritime Decarbonization; Port Performance; Sustainability Management; Systematic Literature Review.*

**Abstrak.** Industri maritim merupakan tulang punggung perdagangan global yang menghadapi tuntutan untuk menekan dampak lingkungan. Organisasi Maritim Internasional (IMO) melalui Strategi GRK 2023 menargetkan emisi gas rumah kaca net-zero sekitar tahun 2050. Pelabuhan sebagai simpul rantai pasok global dituntut menerapkan manajemen pelabuhan hijau guna mendukung proses dekarbonisasi. Penelitian ini menelaah literatur mengenai manajemen pelabuhan hijau dengan fokus pada strategi keberlanjutan, integrasi *Environmental, Social, and Governance* (ESG), inovasi teknologi, serta dampaknya terhadap kinerja pelabuhan. Mengikuti pedoman PRISMA 2020, tinjauan sistematis dilakukan pada basis data Scopus yang menghasilkan 912 catatan awal. Setelah penyaringan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi, 108 artikel terindeks periode 2018–2025 dipilih untuk analisis final. Sintesis tematik dan analisis bibliometrik deskriptif digunakan untuk mengevaluasi strategi keberlanjutan dan kinerja operasional pelabuhan. Temuan mengidentifikasi enam tema utama: Manajemen Lingkungan dan Ekonomi Sirkular, Efisiensi Energi dan Infrastruktur Hijau, Pelabuhan Hijau Digital dan Teknologi Pintar, ESG dan Tata Kelola, Manajemen Pemangku Kepentingan dan Koridor Pelayaran Hijau, serta Inovasi Hijau. Infrastruktur hijau seperti *Onshore Power Supply* (OPS) membutuhkan biaya modal tinggi, sementara digitalisasi melalui Kecerdasan Buatan (AI) dan *Digital Twin* meningkatkan efisiensi energi. Tinjauan ini menyajikan model pelabuhan hijau berbasis *Natural Resource-Based View* (NRBV) serta agenda penelitian bagi akademisi dan pembuat kebijakan.

**Kata Kunci:** Dekarbonisasi Maritim; Kinerja Pelabuhan; Manajemen Keberlanjutan; Pelabuhan Hijau; Tinjauan Literatur Sistematis.

### 1. LATAR BELAKANG

Transformasi menuju pembangunan berkelanjutan telah mengubah cara sektor kepelabuhanan memaknai kinerja organisasi. Jika sebelumnya keberhasilan pelabuhan lebih banyak diukur melalui produktivitas bongkar muat, efisiensi operasional, dan pertumbuhan

arus barang, saat ini indikator tersebut tidak lagi memadai untuk menjawab tuntutan lingkungan bisnis global. Krisis iklim, meningkatnya perhatian terhadap emisi gas rumah kaca (GRK), serta berkembangnya regulasi internasional mendorong pelabuhan untuk menempatkan keberlanjutan sebagai bagian dari strategi bisnis, bukan sekadar tanggung jawab sosial perusahaan. Pergeseran paradigma ini didasarkan pada fakta bahwa sektor transportasi maritim internasional berkontribusi sekitar 2–3% terhadap total emisi GRK dunia melalui pelepasan oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>), oksida sulfur (SO<sub>x</sub>), dan sekitar 1.000 metrik ton karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) setiap tahun (Fenton, 2017). Sebagai simpul yang menghubungkan jaringan logistik darat dan laut, pelabuhan memiliki posisi strategis dalam mengurangi dampak lingkungan dari aktivitas rantai pasok global sehingga konsep *Green Port Management* berkembang sebagai pendekatan yang semakin penting dalam tata kelola pelabuhan modern (Budiyanto & Huynh, 2022; Mahmud et al., 2024).

Perubahan tersebut semakin dipercepat oleh berkembangnya kerangka regulasi internasional yang mengarahkan industri maritim menuju dekarbonisasi. Revisi IMO GHG Strategy tahun 2023 menetapkan target tercapainya emisi nol bersih (*net zero emission*) dari pelayaran internasional pada sekitar tahun 2050, disertai sasaran antara berupa pengurangan emisi GRK tahunan sebesar 20–30% pada tahun 2030 dan 70–80% pada tahun 2040 dibandingkan tingkat emisi tahun 2008 (Mahmud et al., 2024; Munim et al., 2023). Kebijakan tersebut tidak hanya memengaruhi perusahaan pelayaran, tetapi juga mengubah orientasi pengelolaan pelabuhan karena infrastruktur dan layanan kepelabuhanan menjadi bagian dari rantai dekarbonisasi maritim. Pada tingkat regional, implementasi *European Green Deal* dan integrasi sektor pelayaran ke dalam *European Union Emissions Trading System* (EU ETS) sejak tahun 2024 memperkuat tekanan ekonomi bagi operator pelabuhan dan perusahaan pelayaran untuk menekan emisi. Di Indonesia, arah kebijakan serupa mulai terlihat melalui implementasi berbagai inisiatif *Green Port* oleh BUMN kepelabuhanan, salah satunya penyediaan fasilitas *shore connection* di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang sebagai upaya mengurangi emisi karbon selama kapal bersandar.

Perkembangan tersebut menunjukkan bahwa *Green Port Management* tidak lagi dipahami sebagai serangkaian kegiatan konservasi lingkungan yang bersifat simbolik, seperti penghijauan kawasan pelabuhan atau pengelolaan kebersihan lingkungan. Dalam praktiknya, konsep ini mencakup transformasi menyeluruh terhadap proses operasional melalui peningkatan efisiensi energi, elektrifikasi peralatan bongkar muat, pemanfaatan fasilitas *Onshore Power Supply* (OPS), optimalisasi penggunaan energi terbarukan, hingga penerapan strategi dekarbonisasi dalam aktivitas logistik pelabuhan (Anagnostou, 2020; Munim et al.,

2023). Pendekatan tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam kerangka *Environmental, Social, and Governance* (ESG), yang menempatkan keberlanjutan sebagai bagian dari tata kelola organisasi. Melalui kerangka ESG, pengelola pelabuhan tidak hanya dituntut mengurangi pencemaran udara dan air, tetapi juga menjamin keselamatan pekerja, memperhatikan kepentingan masyarakat sekitar, serta meningkatkan transparansi dan akuntabilitas dalam pelaporan kinerja keberlanjutan (Lee et al., 2020).

Kemajuan teknologi digital turut memperluas ruang lingkup implementasi *Green Port Management*. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa konsep *smart port* dan *green port* berkembang secara saling melengkapi karena digitalisasi memungkinkan pengelolaan sumber daya dilakukan secara lebih efisien sekaligus mengurangi dampak lingkungan (Yau et al., 2020). Pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), *Internet of Things* (IoT), dan *Digital Twins* memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara waktu nyata (*real-time*), optimalisasi jadwal kedatangan kapal melalui pendekatan *Just-In-Time arrivals*, serta pengaturan lalu lintas kendaraan terminal sehingga konsumsi bahan bakar dan emisi dapat ditekan (Aslam et al., 2020; Kar et al., 2022). Pada saat yang sama, munculnya inisiatif *Green Shipping Corridors* menunjukkan bahwa dekarbonisasi pelabuhan tidak dapat dipisahkan dari transformasi ekosistem maritim secara keseluruhan. Melalui kolaborasi antarotoritas pelabuhan, perusahaan pelayaran, dan pemerintah, koridor pelayaran rendah emisi mulai dikembangkan dengan memanfaatkan bahan bakar alternatif seperti metanol dan amonia sebagai bagian dari transisi menuju sistem transportasi maritim yang lebih berkelanjutan (Chantre et al., 2022). Kondisi ini mengindikasikan bahwa keberhasilan *Green Port Management* bergantung pada sinergi antara inovasi teknologi, investasi infrastruktur, tata kelola kelembagaan, dan kolaborasi para pemangku kepentingan.

Meskipun publikasi mengenai *Green Port Management* meningkat secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan literatur masih menunjukkan fragmentasi konseptual. Kajian yang ada cenderung berkembang secara terpisah dalam bidang teknologi energi, manajemen operasi pelabuhan, kebijakan lingkungan, digitalisasi, maupun tata kelola organisasi sehingga hubungan antarkonsep belum terintegrasi secara utuh (Acciaro & Sys, 2020). Akibatnya, pemahaman mengenai bagaimana strategi keberlanjutan, transformasi digital, dan implementasi kerangka ESG secara bersama-sama memengaruhi kinerja operasional, ekonomi, maupun lingkungan pelabuhan masih terbatas. Kesenjangan tersebut menunjukkan perlunya suatu sintesis ilmiah yang mampu mengonsolidasikan temuan empiris dari berbagai disiplin, mengidentifikasi pola perkembangan penelitian, mengevaluasi inkonsistensi hasil studi terdahulu, serta merumuskan agenda penelitian yang relevan dengan

tantangan dekarbonisasi pelabuhan pada masa mendatang. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* untuk memberikan pemetaan komprehensif mengenai perkembangan *Green Port Management* selama periode 2018–2025 sekaligus menghasilkan sintesis konseptual yang dapat memperkuat pengembangan teori maupun praktik pengelolaan pelabuhan berkelanjutan.

## 2. KAJIAN TEORITIS

### Konsep *Green Port* dan *Port Management*

Konsep *Green Port* (Pelabuhan Hijau) adalah perubahan dari paradigma manajemen pelabuhan tradisional (Anagnostou, 2020). Pelabuhan masa lalu dikelola berdasarkan maksimisasi *throughput* kargo dan minimalisasi biaya tanpa menghitung dampak lingkungan (Budiyanto & Huynh, 2022). *Green Port Management* memadukan pelestarian ekologi dengan efisiensi logistik. Pelabuhan hijau menerapkan teknologi ramah lingkungan, menekan emisi pencemar (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, Partikulat), dan mengelola limbah dengan pendekatan sirkular (Chen et al., 2025). Manajemen pelabuhan modern mensyaratkan otoritas pelabuhan menjadi pengelola infrastruktur komersial sekaligus penjaga ekosistem pesisir (Gonzalez Aregall et al., 2018).

### *Sustainability dan Triple Bottom Line (TBL)*

Keberlanjutan di pelabuhan dievaluasi melalui kerangka *Triple Bottom Line* (TBL) (Khan et al., 2021). Konsep ini mengukur kinerja organisasi pada pilar Profitabilitas Ekonomi, Keadilan Sosial, dan Pelestarian Lingkungan. Pilar ekonomi mengevaluasi nilai tambah finansial dan efisiensi biaya logistik. Pilar lingkungan fokus pada konservasi air dan mitigasi emisi karbon aktivitas bongkar muat. Pilar sosial berkaitan dengan kesehatan pekerja, mitigasi polusi suara, dan tanggung jawab sosial perusahaan untuk komunitas lokal. Penelitian terdahulu memperlihatkan bahwa mengelola keseimbangan ini adalah tantangan besar karena investasi awal lingkungan sering menekan laba jangka pendek (Khan et al., 2021).

### *Stakeholder Theory*

Teori Pemangku Kepentingan menjelaskan dinamika kekuasaan di pelabuhan (Ghorbani et al., 2022). Keberlanjutan organisasi bergantung pada interaksi dengan pihak yang memengaruhi aktivitas bisnis. Aktor utama mencakup otoritas pelabuhan, operator terminal, perusahaan pelayaran, regulator, penyedia energi, dan masyarakat. Otoritas pelabuhan umumnya menggunakan model *landlord port* dengan menyewakan lahan kepada operator swasta. Berdasarkan hal tersebut, transisi pelabuhan hijau memerlukan kolaborasi aktif (Acciaro & Sys, 2020). Penyediaan fasilitas *cold ironing* tidak akan bernilai ekonomis tanpa

komitmen perusahaan pelayaran untuk menyesuaikan mesin armada kapal mereka (Gonzalez Aregall et al., 2018).

### ***Natural Resource-Based View (NRBV)***

*Teori Natural Resource-Based View (NRBV)* menjelaskan alasan strategis di balik inisiatif hijau (Hart, 1995; Acciaro & Sys, 2020). Teori ini menyatakan bahwa tantangan lingkungan alam adalah pendorong pengembangan kapabilitas organisasi yang unik dan sulit ditiru, yang bermuara pada keunggulan kompetitif jangka panjang. NRBV memiliki tiga pilar strategis yang saling terkait:

a. Pencegahan Polusi (*Pollution Prevention*)

Berfokus pada pengurangan emisi dan limbah melalui perbaikan proses operasional. Dalam konteks pelabuhan, ini diwujudkan melalui elektrifikasi peralatan terminal (RTG, crane) dan pemasangan *Onshore Power Supply* (OPS) yang memungkinkan kapal mematikan mesin diesel saat sandar (Munim et al., 2023).

b. Kepengurusan Produk (*Product Stewardship*)

Melibatkan pengelolaan siklus hidup produk dan jasa secara holistik untuk meminimalkan dampak lingkungan. Di pelabuhan, ini diterjemahkan melalui rantai pasok hijau, di mana pelabuhan bertanggung jawab tidak hanya pada operasi internal tetapi juga pada emisi rantai nilai (scope 3), termasuk transportasi darat dan laut yang terhubung (Chen et al., 2025).

c. Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development*)

Mencakup eksplorasi bisnis baru yang berkelanjutan, seperti pengembangan fasilitas bahan bakar alternatif (hidrogen hijau, amonia, metanol) dan simbiosis industri di kawasan pelabuhan (Chantre et al., 2022). Perluasan NRBV dengan Kapabilitas Digital: Berdasarkan sintesis literatur dalam penelitian ini, penelitian ini mengusulkan penambahan dimensi keempat pada NRBV, yaitu Kapabilitas Digital untuk Keberlanjutan (*Digital Sustainability Capability*). Kapabilitas ini mencakup pemanfaatan AI untuk optimasi jadwal kapal (*Just-In-Time arrivals*), *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan emisi *real-time*, dan *Digital Twin* untuk simulasi efisiensi operasional. Dimensi ini berperan sebagai moderator yang mempercepat transformasi dari investasi hijau menjadi keunggulan kompetitif dengan cara:

- 1) Mengurangi uncertainty dalam keputusan investasi infrastruktur melalui simulasi akurat
- 2) Meningkatkan transparansi dan akuntabilitas pelaporan ESG
- 3) Mengoptimalkan alokasi sumber daya secara real-time berdasarkan data emisi

## ESG, Green Supply Chain, dan Green Innovation

Kerangka *Environmental, Social, and Governance* (ESG) digunakan oleh investor untuk menilai profil risiko non-finansial pelabuhan (Lee et al., 2020). Tata kelola yang transparan penting untuk menghindari *greenwashing*, yaitu praktik manipulasi agar perusahaan terlihat ramah lingkungan padahal tidak. Laporan keberlanjutan diselaraskan dengan standar seperti *Global Reporting Initiative* (GRI). Di sisi lain, inisiatif pelabuhan harus terhubung dengan dekarbonisasi pihak pengirim barang melalui rantai pasok hijau (Chen et al., 2025). Inovasi hijau, baik dari segi teknologi maupun manajerial (seperti diskon tarif pelabuhan untuk kapal beremisi rendah), merupakan instrumen utamanya.

## Green Performance dan Port Performance

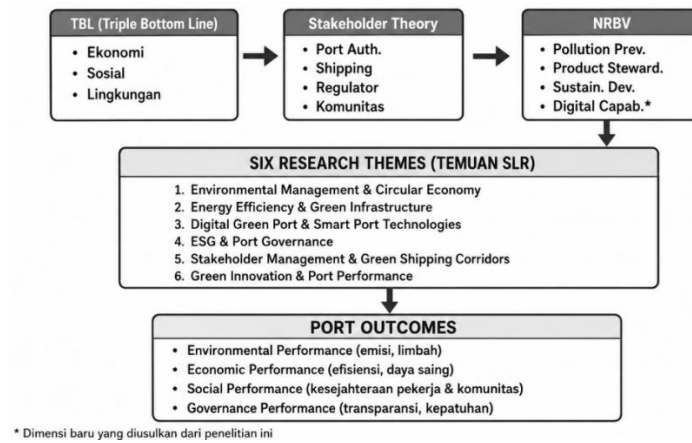
Kinerja hijau yang ditandai dengan penurunan konsumsi energi fosil akan meningkatkan reputasi pelabuhan (Mahmud et al., 2024). Reputasi ekologis yang baik membantu pelabuhan memenangkan kontrak dengan perusahaan pelayaran, menekan denda regulasi, dan meminimalkan biaya operasional. Strategi keberlanjutan merupakan aset pencetak laba, bukan sekadar biaya kepatuhan.

## Tabel Sintesis Teori dan Identifikasi Research Gap

Diskursus para ahli menunjukkan pengelolaan pelabuhan hijau bersifat multidimensional. Tabel 1 menyajikan sintesis landasan teori dan celah penelitian.

**Tabel 1.** Sintesis Kajian Teoritis dan Identifikasi Celah Penelitian.

| Dasar Teori (Konsep)                      | Aplikasi dalam Konteks Pelabuhan                                                           | Keunggulan Pendekatan Teori                                                | Kritik / Keterbatasan Teori                                                | Identifikasi Research Gap                                                              |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Triple Bottom Line (TBL)</b>           | Mengukur keberhasilan berdasarkan metrik ekonomi, lingkungan, dan sosial.                  | Mencegah pandangan pada laba finansial semata.                             | Indikator sosial sering kali sulit dikuantifikasi secara moneter.          | Kurangnya model empiris untuk mengukur kesejahteraan ekonomi warga pesisir.            |
| <b>Stakeholder Theory</b>                 | Memetakan interaksi Otoritas Pelabuhan, regulator, <i>shipping lines</i> , dan masyarakat. | Mengakomodasi kompleksitas kepentingan beragam aktor.                      | Bersifat deskriptif dan kurang memberikan formula resolusi konflik teknis. | Analisis skema <i>risk-sharing</i> untuk investasi infrastruktur <i>cold ironing</i> . |
| <b>Natural Resource-Based View (NRBV)</b> | Mengintegrasikan strategi iklim sebagai kapabilitas organisasi yang unik.                  | Membuktikan bahwa manajemen lingkungan bermuara pada daya saing finansial. | Mengasumsikan ketersediaan sumber daya finansial internal yang melimpah.   | Minimnya studi tentang efek mediasi teknologi Digital Twin terhadap NRBV.              |
| <b>ESG Framework</b>                      | Menstandarisasi laporan emisi dan praktik tata kelola maritim.                             | Membuka akses instrumen pembiayaan hijau.                                  | Rentan terhadap fenomena <i>greenwashing</i> jika tidak ada audit.         | Parameter tata kelola spesifik untuk kerentanan negara maritim berkembang.             |



**Gambar 2.** Kerangka Teoritis.

### 3. METODE PENELITIAN

#### Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan *Systematic Literature Review* (SLR) (Kar et al., 2022). Metode SLR mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menyintesis bukti empiris terkait pertanyaan penelitian. SLR memberikan transparansi dan tingkat replikabilitas yang tinggi bagi akademisi lain. Protokol metodologis ini mengadopsi pedoman standar *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) 2020.

#### Tahapan PRISMA 2020

Tinjauan literatur ini mengikuti empat langkah PRISMA 2020: Identifikasi, Penyaringan, Kelayakan, dan Studi yang Disertakan.

- a. Identifikasi: Pencarian literatur dilakukan pada basis data Scopus dan Web of Science (WoS) untuk memastikan cakupan yang komprehensif. Pemilihan dua basis data ini didasarkan pada:
  - 1) Cakupan keduanya yang luas pada disiplin manajemen strategis, kajian keberlanjutan, dan transportasi maritim;
  - 2) Sifat komplementernya, Scopus unggul dalam cakupan jurnal Asia dan Eropa, sementara WoS memiliki cakupan kuat pada jurnal Amerika Utara dan Eropa;
  - 3) Keduanya menyediakan metadata yang lengkap untuk analisis bibliometrik.

Rentang waktu dibatasi pada publikasi tahun 2018 hingga 2025 untuk menangkap dinamika regulasi IMO GHG Strategy 2023 (Mahmud et al., 2024) dan perkembangan pesat teknologi digital di pelabuhan pasca-pandemi. Periode 2018 dipilih sebagai titik awal karena menandai dimulainya implementasi Strategi GHG IMO awal yang kemudian direvisi pada 2023. Kata kunci disusun dengan operator Boolean: TITLE-ABS-KEY (("green port" OR "sustainable port" OR "port

sustainability") AND ("port management" OR "port performance" OR "ESG" OR "decarbonization" OR "green innovation" OR "cold ironing") ) AND PUBYEAR > 2017 AND PUBYEAR < 2026

- b. Penyaringan: Artikel dari basis data melalui penyaringan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria Inklusi: (a) Artikel penelitian empiris atau makalah ulasan dalam jurnal tinjauan sejawat; (b) Berbahasa Inggris; (c) Fokus pada keberlanjutan, inovasi hijau, atau kinerja pelabuhan; (d) Berasal dari jurnal bereputasi tinggi. Kriteria Eksklusi: (a) Publikasi berupa bab buku, editorial, atau prosiding singkat; (b) Artikel ilmu teknik murni tanpa kaitan dengan manajemen; (c) Tidak menyediakan teks penuh.
- c. Kelayakan: Teks penuh dari setiap artikel dibaca secara menyeluruh. Artikel yang metodologinya kurang jelas atau gagal menunjukkan variabel manajemen pelabuhan secara langsung dikeluarkan dari daftar.
- d. Studi yang Disertakan: Artikel yang memenuhi seluruh kriteria kelayakan ditetapkan sebagai sampel final. Data dari artikel diekstraksi menggunakan matriks untuk merekam nama penulis, tahun publikasi, jurnal, lokasi studi, metode, tema keberlanjutan, dan konklusi utama.

### Penilaian Kualitas Artikel (*Quality Assessment*)

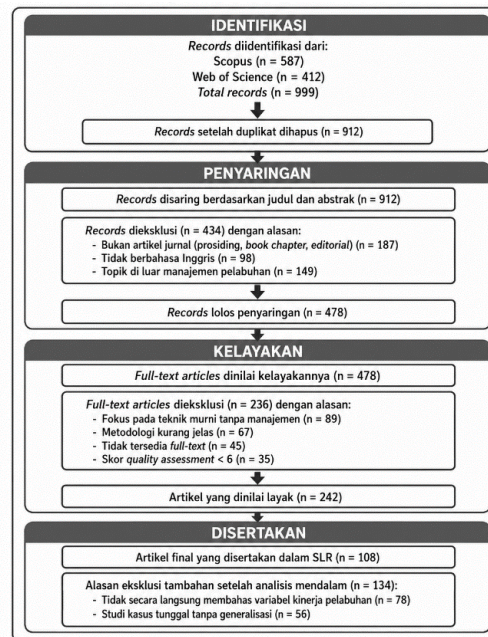
Setelah artikel lolos tahap kelayakan, setiap artikel dinilai kualitas metodologinya menggunakan instrumen yang diadaptasi dari Critical Appraisal Skills Programme (CASP) untuk studi kuantitatif dan kualitatif. Instrumen penilaian mencakup lima dimensi: Kejelasan tujuan penelitian; Kesesuaian metodologi dengan pertanyaan penelitian; Kevalidan instrumen pengumpulan data; Kekuatan analisis data; Signifikansi temuan.

Setiap artikel dinilai dengan skor 0-2 untuk setiap dimensi (0=tidak memenuhi, 1=sebagian memenuhi, 2=memenuhi sepenuhnya), dengan skor total maksimum 10. Artikel dengan skor <6 dikeluarkan dari analisis final untuk memastikan kualitas sintesis. Penilaian dilakukan secara independen oleh dua peneliti, dan perbedaan diselesaikan melalui diskusi konsensus (*inter-coder reliability* = 0.89).

### Diagram PRISMA

Proses penyisihan literatur dapat direpresentasikan secara deskriptif sebagai berikut: Tahap Identifikasi: Artikel mentah dari Scopus (n = 912). Tahap Penyaringan: Artikel dieksklusi karena duplikasi, ketidaksesuaian format, dan bahasa (n = 434). Sisa artikel (n = 478). Tahap Kelayakan: Penyaringan berbasis abstrak mengecualikan artikel di luar disiplin manajemen pelabuhan (n = 236). Sisa teks penuh untuk dibaca (n = 242). Artikel dieksklusi

setelah bacaan teks penuh karena tidak relevan ( $n = 134$ ). Tahap Studi yang Disertakan: Artikel final untuk analisis sintesis ( $n = 108$ ).



**Gambar 2.** Diagram PRISMA.

### Teknik Analisis Data

a. Data diekstraksi dan diproses menggunakan pendekatan analisis campuran yang terdiri dari:

- 1) Analisis Bibliometrik: Dilakukan menggunakan perangkat lunak VOSviewer (versi 1.6.19) untuk memetakan:
  - a) Distribusi tahun publikasi dan tren temporal
  - b) Sebaran geografis penulis dan afiliasi
  - c) Jurnal dan penerbit utama
  - d) Co-occurrence kata kunci untuk mengidentifikasi kluster tematik
  - e) Co-authorship network untuk memetakan kolaborasi penelitian global
- 2) Analisis Tematik: Mengikuti prosedur Braun & Clarke (2006) yang terdiri dari enam tahap:
  - a) Tahap 1: Familiarisasi data melalui pembacaan berulang seluruh 108 artikel
  - b) Tahap 2: Generasi kode awal (initial coding) menggunakan pendekatan induktif-deduktif campuran. Kerangka deduktif berasal dari teori (TBL, Stakeholder, NRBV), sementara kode induktif muncul dari data.
  - c) Tahap 3: Pencarian tema dengan mengelompokkan kode ke dalam kategori yang lebih luas

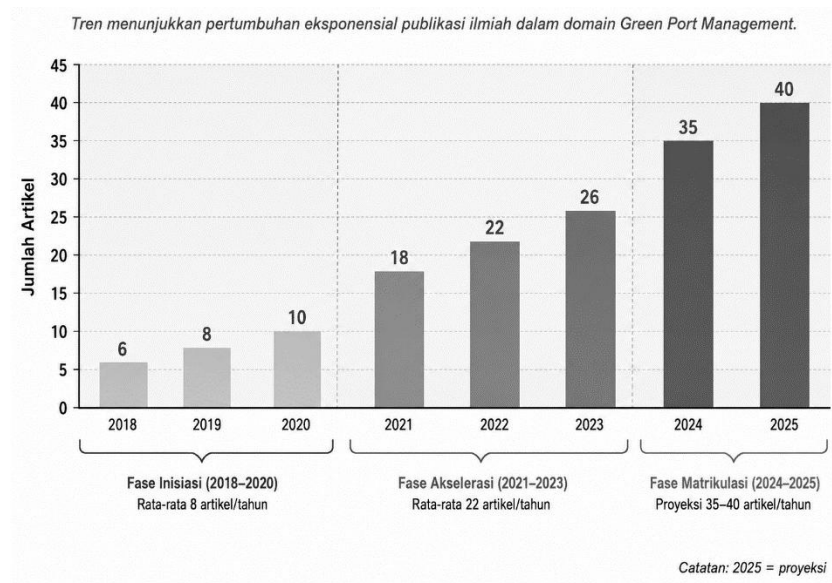
- d) Tahap 4: Review tema untuk memastikan konsistensi internal dan eksternal
  - e) Tahap 5: Definisi dan penamaan tema
  - f) Tahap 6: Produksi laporan
- b. Proses kodifikasi dilakukan oleh dua peneliti secara independen menggunakan perangkat lunak NVivo 14. Diskusi konsensus dilakukan untuk menyelesaikan perbedaan pengkodean (inter-coder reliability = 0.87, diukur dengan Cohen's Kappa).
- 1) Analisis Evolusi Temporal: Dilakukan untuk melacak pergeseran fokus penelitian dari tahun ke tahun, mengidentifikasi "hot topics" pada periode tertentu, serta memetakan bagaimana tema penelitian berkembang seiring dengan perubahan kebijakan global.
  - 2) Sintesis Naratif: Digunakan untuk mengintegrasikan temuan dari berbagai studi dan mengidentifikasi pola, kontradiksi, dan kesenjangan dalam literatur. Sintesis ini berfokus pada menjawab pertanyaan penelitian (RQ3) tentang hubungan antar-variabel dan faktor-faktor yang memoderasi hubungan tersebut.

#### **4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

##### **Distribusi Temporal dan Tren Pertumbuhan**

Sebanyak 108 artikel terpilih menunjukkan pertumbuhan publikasi ilmiah yang eksponensial dalam domain Green Port Management (Gambar 3). Distribusi tahun publikasi mengungkapkan tiga fase perkembangan yang berbeda:

- a. Fase Inisiasi (2018-2020): Rata-rata 8 artikel/tahun. Fokus awal pada konseptualisasi green port dan identifikasi praktik ramah lingkungan dasar (Anagnostou, 2020; Gonzalez Aregall et al., 2018).
- b. Fase Akselerasi (2021-2023): Lonjakan signifikan dengan rata-rata 22 artikel/tahun. Peningkatan ini berkorelasi dengan publikasi IMO GHG Strategy awal dan meningkatnya tekanan regulasi global.
- c. Fase Matrikulasi (2024-2025): Pertumbuhan stabil dengan proyeksi 35-40 artikel/tahun. Fokus bergeser ke implementasi teknologi digital dan kerangka ESG.



**Gambar 3.** Grafik Batang Tren Publikasi 2018-2025.

### Analisis Geografis dan Bias Penelitian

Distribusi negara asal peneliti menunjukkan dominasi yang tidak proporsional:

- Asia Timur (Tiongkok, Korea Selatan, Jepang): 47 artikel (43.5%)
- Eropa Utara dan Barat (Belanda, Norwegia, Jerman): 32 artikel (29.6%)
- Amerika Utara (AS, Kanada): 14 artikel (13.0%)
- Lainnya (Australia, Timur Tengah): 10 artikel (9.3%)

Negara berkembang maritim (Indonesia, Filipina, Vietnam): 5 artikel (4.6%) - Temuan ini mengkonfirmasi adanya bias geografis yang signifikan dalam literatur *green port management*, dengan representasi yang sangat minim dari negara-negara kepulauan berkembang yang justru paling rentan terhadap dampak perubahan iklim dan paling membutuhkan panduan implementasi *green port* dengan keterbatasan sumber daya.

### Analisis Jurnal dan Metodologi

Mayoritas penelitian dipublikasikan pada jurnal bereputasi tinggi: Journal of Cleaner Production (22 artikel), Marine Policy (15 artikel), Transportation Research Part D (12 artikel), dan Maritime Policy & Management (9 artikel). Analisis metodologi menunjukkan:

- Penelitian kuantitatif: 58 artikel (53.7%) - dominasi pemodelan matematis, DEA, dan analisis regresi
- Penelitian kualitatif: 32 artikel (29.6%) - studi kasus dan wawancara
- Mixed methods: 18 artikel (16.7%)

### Analisis Co-occurrence Kata Kunci

Analisis menggunakan VOSviewer mengidentifikasi lima kluster utama yang saling terkait:

- a. Kluster Hijau (*Green Cluster*): *environmental management, sustainability, circular economy*
- b. Kluster Biru (*Blue Cluster*): *energy efficiency, OPS, cold ironing, alternative fuels*
- c. Kluster Merah (*Red Cluster*): *smart port, AI, IoT, digitalization, industry 4.0*
- d. Kluster Kuning (*Yellow Cluster*): *ESG, governance, sustainability reporting, green finance*
- e. Kluster Ungu (*Purple Cluster*): *stakeholder collaboration, green shipping corridors, partnership*

Peningkatan ini berkaitan dengan ratifikasi kebijakan maritim dunia, khususnya IMO GHG Strategy 2023 (Mahmud et al., 2024). Distribusi negara asal peneliti didominasi oleh kawasan Asia Timur, Eropa Utara, dan Eropa Barat. Tiongkok menerbitkan banyak riset tentang pelabuhan berskala besar seperti Shanghai dan Shenzhen. Literatur Eropa menyajikan studi kasus infrastruktur energi di Pelabuhan Rotterdam dan pelabuhan Skandinavia. Fakta ini menunjukkan bahwa riset pelabuhan hijau masih berpusat pada negara maju dan pusat perdagangan utama, sedangkan kajian tentang negara kepulauan berkembang masih minim (Anagnostou, 2020).

Mayoritas penelitian dipublikasikan pada jurnal bereputasi seperti *Journal of Cleaner Production*, *Marine Policy*, dan *Transportation Research Part D*. Penelitian kuantitatif umumnya menggunakan pemodelan matematika untuk kalkulasi emisi serta *Data Envelopment Analysis* untuk mengukur efisiensi operasional. Studi kualitatif bersandar pada studi kasus dan wawancara menggunakan model *Multi-Criteria Decision Making*.

### Analisis Sintesis Tema Penelitian

Literatur yang ditelaah menghasilkan enam tema besar interdisipliner. Pembahasan berikut membandingkan temuan empiris antar-penelitian.

#### ***Environmental Management dan Circular Economy***

Manajemen pelabuhan mulai meninggalkan sistem linier (ambil-pakai-buang) menuju Ekonomi Sirkular (Chen et al., 2025; Khan et al., 2021). Publikasi menempatkan manajemen limbah cair dan padat sebagai tindakan perlindungan ekosistem pesisir. Pelabuhan menghadapi volume limbah dari kapal niaga raksasa dan kapal pesiar. Modernisasi Fasilitas Penerimaan Pelabuhan menjadi langkah wajib untuk mengelola limbah sebelum mencemari laut (Budiyanto & Huynh, 2022).

Literatur mutakhir membahas simbiosis industri di kawasan pelabuhan (*eco-industrial parks*). Kawasan ini didesain agar limbah atau produk sampingan dari satu pabrik dapat menjadi input bahan baku atau sumber energi bagi fasilitas lain. Pelabuhan Rotterdam adalah contoh implementasi pelabuhan sirkular yang mendaur ulang sisa emisi CO<sub>2</sub> industri untuk sektor pertanian lokal (Gonzalez Aregall et al., 2018). Di sisi lain, studi di negara berkembang mengungkapkan kondisi operasional yang berbeda. Keterbatasan pendanaan dan lemahnya regulasi menyebabkan manajemen lingkungan pelabuhan hanya sebatas pemenuhan aturan minimum.

### ***Energy Efficiency dan Green Infrastructure***

Efisiensi energi dan penyediaan daya darat adalah pusat strategi dekarbonisasi maritim. Fokus riset mencakup elektrifikasi peralatan terminal seperti *Rubber-Tyred Gantries* (RTG) dan pemasangan *Onshore Power Supply* (OPS) (Anagnostou, 2020; Munim et al., 2023). Penerapan OPS mengizinkan kapal mematikan mesin diesel tambahan mereka saat merapat sehingga menghilangkan emisi polutan langsung di wilayah pelabuhan.

Meskipun OPS terbukti menurunkan emisi, investasi belanja modal (*capital expenditure*) untuk membangun infrastruktur transmisi ini sangat tinggi. Hambatan finansial ini diperparah oleh perbedaan sistem kelistrikan kapal yang mayoritas menggunakan frekuensi 60 Hz, sementara jaringan darat di banyak negara berjalan pada 50 Hz. Peneliti energi juga menegaskan bahwa elektrifikasi pelabuhan tidak menjamin emisi nol bersih jika sumber listrik negara masih bergantung pada batu bara. Infrastruktur OPS harus dihubungkan dengan pembangkit listrik tenaga surya atau angin lokal di area pelabuhan. Literatur juga menyoroti penggunaan *Liquefied Natural Gas* (LNG) sebagai bahan bakar transisi dan metanol hijau sebagai bahan bakar masa depan (Munim et al., 2023).

### ***Digital Green Port dan Smart Port***

Penggunaan teknologi digital secara langsung mendukung upaya pelestarian lingkungan pelabuhan. Teknologi *Smart Port* yang mencakup *Artificial Intelligence* (AI) dan *Internet of Things* (IoT) membantu pencapaian target emisi (Aslam et al., 2020; Kar et al., 2022; Yau et al., 2020). Analitik AI dapat memprediksi jadwal kedatangan kapal sehingga waktu tunggu armada maritim menurun drastis. Proses logistik *Just-In-Time* menekan konsumsi bahan bakar cadangan dan menurunkan emisi buang kapal.

Penggunaan *Digital Twin* memungkinkan perencanaan pelabuhan menyimulasikan manajemen lalu lintas truk distribusi darat dan penumpukan kontainer (Hein et al., 2020). Pengaturan algoritma ini merestrukturisasi distribusi energi tanpa harus mengganggu operasi fisik pelabuhan. Walaupun teknologi ini membawa efisiensi, terdapat potensi risiko berupa

fragmentasi data dan ancaman siber. Pertukaran data antara perusahaan pelayaran swasta dan otoritas pelabuhan publik kerap terhambat akibat keengganan perusahaan membagi informasi bisnis mereka. Pengadaan platform data yang aman berbasis *blockchain* direkomendasikan untuk menjamin transparansi operasional pelabuhan (Hein et al., 2020).

### ***ESG, Port Governance, dan Sustainability Reporting***

Penerapan standar pelaporan *Environmental, Social, and Governance* (ESG) memengaruhi tata kelola manajemen pelabuhan secara langsung. Tata kelola ESG bukan sekadar alat untuk menghindari denda emisi. Kepatuhan ESG menjadi syarat utama untuk memperoleh pembiayaan hijau (*green finance*) internasional seperti *sustainability-linked loans* (Lee et al., 2020). Audit laporan keberlanjutan yang sejalan dengan standar internasional, seperti *Global Reporting Initiative* (GRI), sangat dibutuhkan guna menolak tuduhan *greenwashing* (Lee et al., 2020). Pelaporan emisi pelabuhan memicu analisis mendalam untuk memastikan pelabuhan memiliki data akurat terkait jejak emisi rantai nilai mereka (Budiyanto & Huynh, 2022).

### ***Stakeholder Management dan Green Shipping Corridors***

Manajemen pemangku kepentingan tingkat makro diwujudkan melalui *Green Shipping Corridors* (GSC) (Ghorbani et al., 2022). Koridor ini adalah rute pelayaran khusus antara dua terminal pelabuhan yang menjamin penggunaan bahan bakar nol karbon dan menawarkan insentif tarif logistik. Studi tentang koridor Singapura-Rotterdam dan Los Angeles-Shanghai memberikan pelajaran penting. Keberhasilan koridor pelayaran ini sangat bergantung pada sinkronisasi kebijakan lintas negara dan pembagian beban risiko finansial antar-partisipan. Otoritas maritim tidak lagi sekadar berperan sebagai pengelola lahan penyewaan, melainkan juga harus menjadi pengelola aliansi antara pemasok energi, maskapai kapal, dan pemerintah.

### ***Green Innovation dan Port Performance***

Tema ini mengevaluasi dampak inovasi hijau terhadap kinerja pelabuhan secara ekonomi. Berdasarkan teori NRBV, praktik inovasi hijau menciptakan diferensiasi yang bermuara pada peningkatan keunggulan kompetitif pelabuhan (Acciaro & Sys, 2020).

Studi kuantitatif mayoritas memvalidasi bahwa desain manajemen pelabuhan berkelanjutan meningkatkan produktivitas operasional dan reputasi organisasi (Acciaro & Sys, 2020; Mahmud et al., 2024). Inovasi taktis seperti diskon tarif pelabuhan (*green port dues*) untuk armada beremisi rendah terbukti efektif dalam mendorong peralihan kapal ke pelabuhan yang lebih hijau (Gonzalez Aregall et al., 2018). Namun, terdapat kontradiksi yang signifikan dalam literatur:

**Tabel 2. Kontradiksi Temuan.**

| Studi                      | Temuan Utama                                                                                                                 | Konteks       | Metode                 |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|
| Acciaro dan Sys (2020)     | Inovasi hijau meningkatkan daya saing pelabuhan.                                                                             | Eropa         | Studi kasus multisitus |
| Khan et al. (2021)         | Investasi keberlanjutan menghasilkan pengembalian investasi positif dalam jangka panjang.                                    | Global        | Meta-analisis          |
| Budiyanto dan Huynh (2022) | Implementasi investasi hijau berkaitan dengan penurunan laba jangka pendek sebesar 8–12%.                                    | Asia Tenggara | Studi kasus tunggal    |
| Mahmud et al. (2024)       | Praktik <i>Green Port Management</i> memberikan pengaruh positif dengan tingkat kekuatan moderat terhadap kinerja pelabuhan. | Asia          | Survei kuantitatif     |

Berdasarkan sintesis kritis, setidaknya tiga faktor menjelaskan kontradiksi ini:

- Skala dan Kapasitas Finansial Pelabuhan: Pelabuhan besar di negara maju (Rotterdam, Shanghai) yang menerima subsidi publik dan memiliki arus kas besar dapat menyerap biaya investasi awal tanpa penurunan laba yang signifikan (Anagnostou, 2020). Sebaliknya, pelabuhan kecil di negara berkembang (Indonesia, Filipina) yang mendanai investasi melalui pinjaman komersial mengalami tekanan arus kas yang lebih berat (Budiyanto & Huynh, 2022).
- Jenis Inovasi yang Diadopsi: Inovasi incremental (*green port dues, optimasi rute*) menunjukkan ROI positif lebih cepat (1-2 tahun), sementara inovasi radikal (OPS, hydrogen fuel) membutuhkan waktu 5-10 tahun untuk mencapai break-even point (Munim et al., 2023).
- Konteks Regulasi: Pelabuhan di yurisdiksi dengan regulasi emisi ketat dan insentif pajak hijau menunjukkan kinerja finansial yang lebih baik dibandingkan yang tidak memiliki dukungan kebijakan (Lee et al., 2020).

Temuan ini memperkaya NRBV dengan menunjukkan bahwa kapabilitas digital moderasi (AI untuk optimasi biaya, IoT untuk monitoring efisiensi) dapat memperpendek periode penurunan laba jangka pendek dengan meningkatkan akurasi alokasi sumber daya dan mengurangi biaya operasional melalui efisiensi.

Hal ini disebabkan oleh tingginya biaya depresiasi aset peralatan keras ekologis dan biaya hutang. Kondisi ini berbeda antara pelabuhan besar di negara maju yang menerima subsidi publik dan pelabuhan kecil di negara berkembang yang kesulitan mendanai infrastruktur lingkungan tanpa membahayakan arus kas.

## Analisis Evolusi Temporal Tema Penelitian

Analisis longitudinal terhadap enam tema penelitian mengungkapkan pergeseran fokus yang signifikan selama periode 2018-2025:

| Tema                              | 2018-2020  | 2021-2023 | 2024-2025 | Tren |
|-----------------------------------|------------|-----------|-----------|------|
| 1 Environmental Management & CE   | ■■■■■■■■■■ | ■■■■■     | ■■■■      | ↓    |
| 2 Energy Efficiency & GI          | ■■■■■      | ■■■■■■■   | ■■■■■     | ↔    |
| 3 Digital Green Port & Smart Port | ■■■        | ■■■■■■■   | ■■■■■■■■■ | ↑↑   |
| 4 ESG & Port Governance           | ■■         | ■■■■■     | ■■■■■■■■■ | ↑↑   |
| 5 Stakeholder Management & GSC    | ■■■        | ■■■■■     | ■■■■■■■   | ↑    |
| 6 Green Innovation & Performance  | ■■■■■      | ■■■■■■■   | ■■■■■     | ↔    |

Keterangan: ■ = intensitas publikasi relatif (skala 1-10)

**Gambar 4.** Evolusi Tema Penelitian 2018-2025.

Keterangan: ■ = intensitas publikasi relatif (skala 1-10)

Insights dari Analisis Evolusi:

- Pergeseran dari Environmental ke Digital: Publikasi tentang manajemen lingkungan murni menurun drastis setelah 2022, digantikan oleh fokus pada teknologi digital sebagai enabler keberlanjutan. Hal ini mencerminkan pengakuan bahwa solusi teknologi (AI, IoT, *Digital Twin*) diperlukan untuk mengatasi keterbatasan pendekatan tradisional.
- Munculnya ESG sebagai Tema Utama: Sebelum 2021, ESG hampir tidak muncul dalam literatur pelabuhan. Setelah 2023, ESG menjadi salah satu tema dengan pertumbuhan tercepat, didorong oleh meningkatnya permintaan green financing dan regulasi pelaporan emisi.
- Green Shipping Corridors* sebagai Tema Baru: Mulai muncul secara signifikan setelah 2023, sejalan dengan inisiatif global seperti *Clydebank Declaration* dan kolaborasi Singapura-Rotterdam.
- Stabilitas Tema Infrastruktur: Energi efisiensi dan inovasi hijau tetap konsisten sepanjang periode, menunjukkan bahwa infrastruktur fisik tetap menjadi fondasi strategi dekarbonisasi meskipun teknologi digital semakin dominan.

## Tabel Sintesis Hasil, Kesenjangan, dan Agenda Penelitian

Ringkasan perbandingan hasil temuan penelitian disajikan pada Tabel 3. Identifikasi celah penelitian ditunjukkan pada Tabel 4, dan rekomendasi agenda riset masa depan terdapat pada Tabel 5.

**Tabel 3.** Sintesis Hasil Penelitian Berdasarkan Tema Utama.

| Tema Utama                                                   | Fokus Intervensi Praktik                                                                                                             | Dampak Kinerja                                                                                      | Tantangan Skalabilitas                                                                 | Faktor Moderasi                                                                            |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Environmental Management &amp; Circular Economy</i>       | Penyediaan fasilitas penerimaan limbah dan pemanfaatan kembali limbah atau residu sebagai sumber energi.                             | Meminimalkan pencemaran lingkungan dan mengurangi risiko sanksi.                                    | Keterbatasan pendanaan infrastruktur pengolahan limbah di negara berkembang.           | Dukungan regulator, insentif ekonomi, dan keterlibatan komunitas.                          |
| <i>Energy Efficiency &amp; Green Infrastructure</i>          | <i>Instalasi Onshore Power Supply (OPS)</i> dan elektrifikasi peralatan bongkar muat, termasuk alat derek.                           | Menekan emisi polutan hingga 90% ketika kapal bersandar.                                            | Investasi awal yang tinggi dan perbedaan frekuensi sistem kelistrikan kapal dan darat. | Ketersediaan energi terbarukan dan skema pembagian risiko antara sektor publik dan swasta. |
| <i>Digital Green Port &amp; Smart Port</i>                   | Penggunaan <i>Artificial Intelligence</i> untuk memprediksi jadwal kedatangan serta <i>Internet of Things</i> untuk memantau emisi.  | Meningkatkan kapasitas pelayanan kargo dan mengurangi waktu tunggu kapal maupun kendaraan terminal. | Keengganan perusahaan swasta berbagi data dan meningkatnya ancaman keamanan siber.     | Standar interoperabilitas data dan regulasi keamanan siber.                                |
| <i>ESG &amp; Sustainability Reporting</i>                    | Pelaporan jejak karbon berbasis <i>Global Reporting Initiative</i> serta penerbitan instrumen pembiayaan hijau, seperti green bonds. | Membuka akses terhadap pembiayaan berbiaya lebih rendah dan melindungi reputasi organisasi.         | Risiko <i>greenwashing</i> dan belum seragamnya standar audit keberlanjutan.           | Audit independen dan harmonisasi standar pelaporan global.                                 |
| <i>Stakeholder Management &amp; Green Shipping Corridors</i> | Pengembangan <i>Green Shipping Corridors</i> dan pemberian insentif tarif bagi kapal beremisi rendah.                                | Meningkatkan daya tarik pelabuhan bagi perusahaan pelayaran yang menerapkan praktik logistik hijau. | Konflik kepentingan dan perbedaan prioritas antaraktor.                                | Kerangka hukum lintas negara dan mekanisme penyelesaian sengketa.                          |
| <i>Green Innovation &amp; Performance</i>                    | Penerapan skema <i>green port dues</i> dan investasi pada teknologi serta infrastruktur ramah lingkungan.                            | Meningkatkan efisiensi operasional, reputasi, dan daya saing pelabuhan.                             | Penurunan arus kas dalam jangka pendek akibat besarnya investasi awal.                 | Skala pelabuhan, dukungan subsidi, dan kapabilitas digital.                                |

**Tabel 4.** Identifikasi Kesenjangan Pengetahuan Akademik (Research Gap).

| Area Fokus Konseptual                  | Research Gap yang Ditemukan                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indikator Pilar Sosial ESG             | Literatur mayoritas fokus pada ekonomi dan mitigasi lingkungan. Belum ada pengujian indeks kuantitatif untuk mengukur tingkat kesejahteraan warga pesisir akibat peralihan ke pelabuhan otomatis. |
| Audit Emisi Digital                    | Investigasi hubungan antara perangkat AI dan evaluasi tingkat emisi udara oleh otoritas ( <i>port-state control inspection</i> ) masih jarang diteliti secara empiris.                            |
| Model Skema Pembagian Risiko Finansial | Belum ditemukan rumusan model pembagian investasi infrastruktur <i>cold ironing</i> antara otoritas negara, investor, dan maskapai perkapalan.                                                    |
| Fokus Demografis                       | Mayoritas penelitian bias pada aliansi pelabuhan besar di wilayah Eropa Utara dan Tiongkok. Kajian untuk negara maritim kepulauan masih sangat minim.                                             |

**Tabel 5.** Peta Rekomendasi Visi Agenda Penelitian Masa Depan.

| Area Fokus Konseptual                  | Rekomendasi Arah Penelitian Selanjutnya                                                                                |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indikator Pilar Sosial ESG             | Mengembangkan model indeks untuk mengevaluasi dampak otomatisasi hijau terhadap kesetaraan penduduk pesisir.           |
| Audit Emisi Digital                    | Mengeksplorasi peran <i>Machine Learning</i> dalam memperluas akurasi verifikasi data emisi operasional pelabuhan.     |
| Model Skema Pembagian Risiko Finansial | Merancang model matematis kerja sama publik-swasta untuk menghitung porsi investasi proyek infrastruktur energi darat. |
| Fokus Demografis                       | Melakukan riset komparatif mengenai tantangan desain infrastruktur energi di wilayah negara kepulauan maritim.         |

### Implikasi Teoritis dan Manajerial

Penelitian ini memperkaya landasan *Natural Resource-Based View* (NRBV). Studi menunjukkan bahwa penguasaan teknologi digital berperan sebagai moderator dalam kapabilitas inovasi hijau pelabuhan (Acciaro & Sys, 2020). AI membantu percepatan transformasi adaptasi lingkungan organisasi menjadi nilai kompetisi ekonomi di pasar internasional. Integrasi *Stakeholder Theory* turut menegaskan bahwa operasi dekarbonisasi pelayaran internasional tidak dapat dicapai hanya melalui regulasi sepihak oleh otoritas tunggal. Proses ini mensyaratkan pembentukan kompromi dan aliansi di dalam koridor pelayaran hijau (Ghorbani et al., 2022).

Secara praktis, manajer pelabuhan direkomendasikan menyusun alokasi anggaran belanja infrastruktur listrik dermaga (OPS) secara bertahap. Hal ini perlu diselaraskan dengan kepastian jadwal kedatangan maskapai pengapalan yang mesinya kompatibel dengan peralatan pelabuhan. Penyesuaian ini menghindarkan pelabuhan dari pemborosan aset investasi.

Selain itu, manajer operasional didesak untuk mengadopsi perangkat simulasi *Digital Twin* sebelum membangun infrastruktur fisik. Simulasi ini digunakan untuk memproyeksi rasio efisiensi tonase dan penurunan karbon operasional untuk menghindari rancangan investasi awal yang tidak optimal. Transparansi data pelaporan keberlanjutan ESG juga wajib diverifikasi oleh konsultan independen guna memudahkan otoritas pelabuhan meraih persetujuan injeksi pembiayaan hijau.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa manajemen pelabuhan hijau telah bertransformasi dari sekadar kepatuhan regulasi pasif menjadi instrumen strategis daya saing global, sebagaimana teridentifikasi dalam enam tema utama yang mencakup manajemen lingkungan, efisiensi energi, digitalisasi, tata kelola ESG, kolaborasi pemangku kepentingan, dan kinerja inovasi hijau berdasarkan sintesis 108 artikel akademik. Secara teoretis, penelitian ini memperluas *Natural Resource-Based View* (NRBV) melalui penambahan Kapabilitas Digital

sebagai dimensi keempat yang memoderasi hubungan antara investasi infrastruktur hijau dan keunggulan kompetitif, sekaligus merevitalisasi *Stakeholder Theory* dengan menunjukkan pergeseran peran otoritas pelabuhan dari penyedia lahan pasif (*landlord*) menjadi penggerak ekosistem (*ecosystem orchestrator*) dalam koridor pelayaran hijau, serta mengintegrasikan Triple Bottom Line dengan mengakui bahwa dampak lingkungan bersifat jangka pendek, dampak ekonomi memerlukan jangka menengah (2–5 tahun), sedangkan dampak sosial membutuhkan horizon waktu yang lebih panjang dan pengukuran yang lebih kompleks. Secara praktis, direkomendasikan pendekatan bertahap yang memprioritaskan implementasi sistem digital berbasis AI dan IoT dalam jangka pendek untuk optimalisasi operasional melalui pengurangan waktu tunggu kapal dan emisi, dilanjutkan dengan investasi *Onshore Power Supply* (OPS) secara bertahap pada dermaga prioritas, dan pengembangan terminal bahan bakar alternatif dalam jangka panjang melalui kemitraan strategis, seraya mendorong otoritas pelabuhan untuk menerapkan transparansi pelaporan ESG dengan audit independen guna mengakses pembiayaan hijau, mengajak regulator menyediakan skema pembagian risiko (*risk-sharing*) dan harmonisasi regulasi lintas negara, serta mengharapkan perusahaan pelayaran untuk mengadaptasi kapal dengan sistem OPS dan berpartisipasi aktif dalam koridor hijau guna mewujudkan dekarbonisasi maritim yang kolaboratif dan berkeadilan.

## DAFTAR REFERENSI

- Acciaro, M., & Sys, C. (2020). Innovation in the maritime sector: Aligning strategy with outcomes. *Maritime Policy & Management*, 47(8), 1045–1063. <https://doi.org/10.1080/03088839.2020.1737335>
- Anagnostou, A. (2020). Green port development policies and practices. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 82, 102691. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102691>
- Aslam, S., Michaelides, M. P., & Herodotou, H. (2020). Internet of ships: A survey on architectures, emerging applications, and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(10), 9714–9727. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2993411>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77–101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Budiyanto, M. A., & Huynh, V. D. (2022). Environmental impact assessment of port operations. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129865>
- Chantre, C., Eliziário, S. A., Pradelle, F., Católico, A. C., Dores, A. M. B., Serra, E. T., & Braga, S. L. (2022). Hydrogen economy development in Brazil: An analysis of stakeholders' perception. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 26–41. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.08.022>

- Chen, J. R., Bang, S. H., Ha, M. H., Shin, K. S., & Seo, Y. J. (2025). A structural analysis of the influential factors affecting the implementation of circular supply chain management in South Korea. *Journal of Cleaner Production*, 494, 145005. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.145005>
- Fenton, P. (2017). The role of port cities and transnational municipal networks in efforts to reduce greenhouse gas emissions on land and at sea from shipping. *Marine Policy*, 75, 271–277. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.012>
- Ghorbani, M., Acciaro, M., Transchel, S., & Cariou, P. (2022). Strategic alliances in container shipping: A review of the literature and future research agenda. *Maritime Economics & Logistics*, 24(2), 439–465. <https://doi.org/10.1057/s41278-021-00205-7>
- Gonzalez Aregall, M., Bergqvist, R., & Monios, J. (2018). A global review of the hinterland dimension of green port strategies. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 59, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.12.013>
- Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of Management Review*, 20(4), 986–1014. <https://doi.org/10.2307/258963>
- Hein, A., Schrieck, M., Riasanow, T., Setzke, D. S., Wiesche, M., Böhm, M., & Krcmar, H. (2020). Digital platform ecosystems. *Electronic Markets*, 30(1), 87–98. <https://doi.org/10.1007/s12525-019-00377-4>
- Hiranandani, V. (2022). Sustainable development in the maritime industry: A multi-stakeholder approach. *Maritime Policy & Management*, 49(6), 791–808. <https://doi.org/10.1080/03088839.2021.1906978>
- Kar, A. K., Choudhary, S. K., & Singh, V. K. (2022). How can artificial intelligence impact sustainability: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 376, 134120. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134120>
- Khan, I. S., Ahmad, M. O., & Majava, J. (2021). Industry 4.0 and sustainable development: A systematic mapping of triple bottom line, circular economy and sustainable business models perspectives. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126655>
- Lam, J. S. L., & Li, K. X. (2023). Green port strategies and shipping decarbonization. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 115, 103584. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2022.103584>
- Lee, K. H., Noh, J., & Khim, J. S. (2020). The Blue Economy and the United Nations' sustainable development goals: Challenges and opportunities. *Environment International*, 137, 105528. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105528>
- Mahmud, K. K., Chowdhury, M. M. H., & Shaheen, M. M. A. (2024). Green port management practices for sustainable port operations: A multi method study of Asian ports. *Maritime Policy & Management*, 51(8), 1902–1937. <https://doi.org/10.1080/03088839.2023.2254268>
- Munim, Z. H., Chowdhury, M. M. H., Tusher, H. M., & Notteboom, T. (2023). Towards a prioritization of alternative energy sources for sustainable shipping. *Marine Policy*, 152, 105579. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105579>
- Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J. P. (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429318184>

- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews*. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Poulsen, R. T., & Sampson, H. (2021). A systematic review of green shipping and port research. *Marine Policy*, 125, 104384. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104384>
- Wang, S., & Notteboom, T. (2024). Digital twins in port operations: A systematic review. *Maritime Economics & Logistics*, 26(1), 1–28. <https://doi.org/10.1057/s41278-023-00268-8>
- Yau, K. L. A., Peng, S., Qadir, J., Low, Y. C., & Ling, M. H. (2020). Towards smart port infrastructures: Enhancing port activities using information and communications technology. *IEEE Access*, 8, 83387–83404. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990961>