



## Study Literature Review (SLR) Green Shipping: Multidatabase dalam Matriks Analisis dan Visualisasi VOSviewer

Afdil Rosaldi<sup>1\*</sup>, Nuri Najwa<sup>2</sup> and Sitti Syamsiah<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Transportasi Laut, Politeknik Pelayaran Sumatera Barat, Indonesia

<sup>2,3</sup>Politeknik Ilmu Pelayaran Makassar, Indonesia

### Article Info

#### Article history:

Received Jun 12<sup>th</sup>, 2025

Revised Aug 20<sup>th</sup>, 2025

Accepted Nov 26<sup>th</sup>, 2025

#### Keyword:

Green Shipping

Systematic Literature Review

Bibliometrik

VOSviewer

Transportasi Laut

### ABSTRAK

Green shipping menjadi salah satu fokus utama dalam upaya mewujudkan transportasi laut yang berkelanjutan seiring dengan meningkatnya perhatian global terhadap isu lingkungan dan perubahan iklim. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji perkembangan penelitian mengenai green shipping melalui pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan menggunakan sumber multidatabase seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan publikasi akademik relevan lainnya. Artikel yang diperoleh diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi tertentu, kemudian dianalisis menggunakan metode bibliometrik dengan bantuan perangkat lunak VOSviewer untuk memetakan tren penelitian, jaringan kata kunci, kolaborasi penulis, serta distribusi publikasi per tahun. Selanjutnya, analisis matriks digunakan untuk mendalami artikel-artikel utama yang relevan sehingga menghasilkan gambaran mengenai fokus penelitian, metodologi yang digunakan, dan temuan kunci dalam bidang green shipping. Hasil kajian menunjukkan bahwa topik green shipping banyak dikaitkan dengan efisiensi energi, pengurangan emisi karbon, penerapan regulasi internasional, serta inovasi teknologi ramah lingkungan. Visualisasi bibliometrik memperlihatkan adanya kluster riset yang menekankan pada aspek kebijakan global, teknologi alternatif bahan bakar, serta strategi implementasi di industri pelayaran. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memetakan arah penelitian green shipping di masa mendatang sekaligus menjadi referensi bagi akademisi, praktisi, dan pembuat kebijakan dalam mendukung tercapainya transportasi laut berkelanjutan.



© 2021 The Authors. Published by Politeknik Pelayaran Sumatera Barat.  
This is an open access article under the CC BY-NC-SA license  
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0>)

### Corresponding Author:

Afdil Rosaldi,

Politeknik Pelayaran Sumatera Barat

Email: [afdilyoung02@gmail.com](mailto:afdilyoung02@gmail.com)

## Pendahuluan

Industri pelayaran memiliki peran vital dalam perdagangan internasional, namun juga memberikan dampak signifikan terhadap lingkungan, khususnya melalui emisi gas rumah kaca dan polusi udara. International Maritime Organization (IMO) memperkirakan bahwa sektor pelayaran

menyumbang sekitar 2–3% dari total emisi karbon global, sehingga penerapan konsep *green shipping* menjadi strategi yang mendesak untuk mendukung keberlanjutan lingkungan sekaligus menjaga daya saing maritim. Green shipping sendiri mencakup penerapan kebijakan, regulasi, dan teknologi ramah lingkungan dalam operasional pelayaran, mulai dari efisiensi energi, penggunaan bahan bakar alternatif, hingga penerapan teknologi inovatif. Regulasi IMO 2020 mengenai batasan kandungan sulfur, serta target dekarbonisasi jangka panjang hingga 2050, mendorong transformasi industri ke arah yang lebih berkelanjutan (Tadros et al., 2023).

Berbagai penelitian telah menyoroti dimensi yang beragam dari green shipping. Misalnya, konsep *green shipping networks* dipandang sebagai pendorong dekarbonisasi perusahaan pelayaran lepas pantai (Hessevik, 2022). Dari sisi teknologi, kata “methanol” muncul sebagai topik baru dalam publikasi 2024–2025. Meskipun tidak banyak dibahas dalam 20 artikel inti yang dianalisis, kemunculannya di peta bibliometrik menunjukkan bahwa metanol mulai dipertimbangkan sebagai bahan bakar alternatif pelengkap hidrogen (Hessevik, 2022) dan amonia (Hagen et al., 2024) dalam transisi energi maritim. Selain itu, pendekatan ekonomi juga mulai dikaji, seperti evaluasi kerangka biaya dalam pengembangan *green shipping corridors* menuju transisi bahan bakar hidrogen serta faktor penciptaan nilai dalam koridor tersebut (Prakash et al., 2025). Dari perspektif inovasi, rekombinasi pengetahuan menjadi pendorong penting bagi lahirnya teknologi baru di sektor ini (Tsouri et al., 2022).

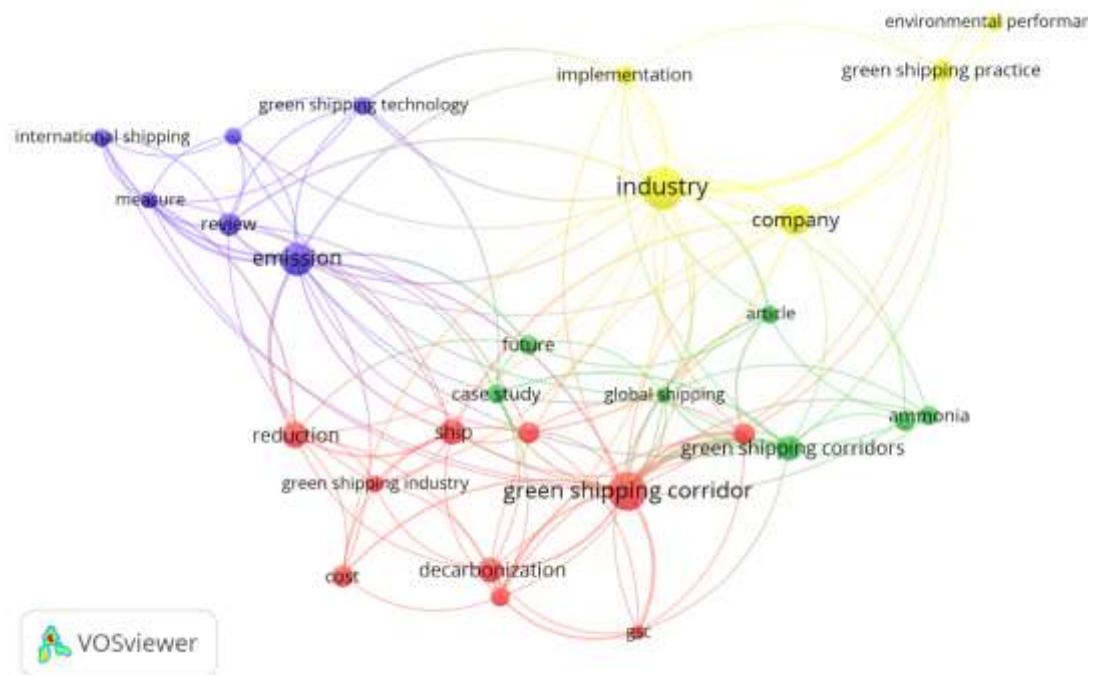
Lebih jauh lagi, persepsi sosial dan ekonomi juga berpengaruh. Green shipping dipandang berdampak positif pada keberlanjutan ekonomi dan kinerja lingkungan (Fel & Rodrigues, 2021), meskipun penerimaan publik terhadap konsep ini masih beragam tergantung pada kondisi sosial-ekonomi suatu negara (Prokopenko & Miśkiewicz, 2020). Seiring berkembangnya teknologi digital, penerapan *Artificial Intelligence (AI)* dan *Machine Learning (ML)* juga mulai dilihat sebagai pendorong efisiensi dan keberlanjutan praktik maritim (Nguyen et al., *Artificial Intelligence and Machine Learning for Green Shipping*). Meskipun terdapat banyak penelitian dengan fokus yang bervariasi, literatur terkait green shipping masih tersebar dalam berbagai tema, sehingga diperlukan pemetaan sistematis untuk memahami tren riset, keterkaitan antar tema, serta peluang penelitian ke depan. Oleh karena itu, studi ini melakukan *Systematic Literature Review (SLR)* menggunakan sumber multidatabase (Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan lainnya), dipadukan dengan analisis bibliometrik melalui VOSviewer. Pendekatan ini diharapkan dapat menyajikan gambaran menyeluruh tentang arah penelitian green shipping, kluster topik dominan, serta celah riset yang masih terbuka untuk dikembangkan di masa mendatang.

## Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)* yang berfokus pada literatur internasional terkait *green shipping*. Data diperoleh melalui beberapa basis data akademik seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, dan Taylor & Francis Online, dengan menggunakan kata kunci antara lain “*green shipping*”, “*sustainable shipping*”, “*maritime decarbonization*”, “*eco-friendly shipping*”, “*green shipping corridors*”, serta “*alternative fuels in shipping*”. Proses pencarian dilakukan pada bulan September 2025, menghasilkan total 200 publikasi dengan periode penerbitan dari tahun 2020 hingga 2025. Analisis bibliometrik dilakukan dengan perangkat lunak VOSviewer, menggunakan metode *co-occurrence* untuk seluruh kata kunci dengan perhitungan *full counting*, serta menetapkan ambang Minimum kemunculan kata kunci ditetapkan sebanyak 3 kali, menyesuaikan jumlah artikel yang dianalisis (20 artikel). Hasil analisis ini digunakan untuk melihat keterhubungan topik riset, tren penelitian, serta kluster bahasan yang paling menonjol dalam *green shipping*.

Dari total 200 artikel, dilakukan proses penyaringan berdasarkan kriteria inklusi, yakni: artikel berstatus publikasi final, berbentuk “article”, berbahasa Inggris atau Indonesia, serta fokus pada isu *green shipping*. Artikel yang berupa opini, editorial, berita, atau duplikasi dikeluarkan dari daftar. Seleksi tahap akhir menghasilkan 20 artikel paling relevan yang dianalisis lebih lanjut melalui matriks analisis. Visualisasi *network*, *overlay*, dan *density* dengan VOSviewer menunjukkan total 1.282 kata

kunci, dengan 28 kata kunci yang memenuhi syarat minimal kemunculan. *Network visualization* menggambarkan keterhubungan kata kunci, yang ditampilkan dalam tujuh kluster berwarna berbeda (Gambar 1).



**Gambar 1. Peta Network Visualization “Green Shipping”**

**Tabel 1. Pengelompokan Kluster Kata Kunci**

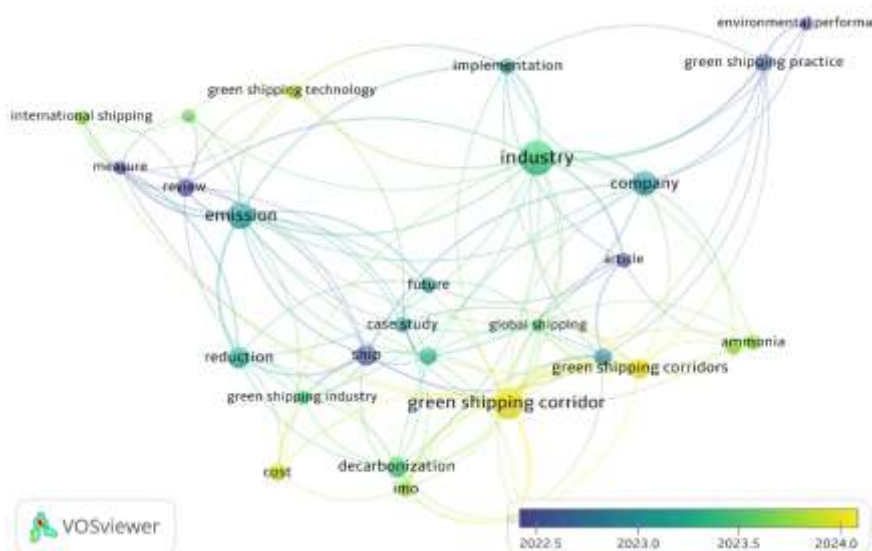
| Kluster | Warna  | Jumlah Kata Kunci | Fokus Utama  |
|---------|--------|-------------------|--|
| 1       | Merah  | 10                | Concept, cost, decarbonization, green shipping corridor, green shipping industry, gsc, imo, maritime industry, reduction, ship |
| 2       | Hijau  | 7                 | Ammonia, article, case study, future, global shipping, green ammonia, green shipping corridors                                 |
| 3       | Biru   | 6                 | Emission, green shipping technology, green technology, international shipping, measure, review                                 |
| 4       | Kuning | 5                 | Company, environmental performance, green shipping practice, implementation, industry  |

Pemetaan ini menunjukkan bahwa isu dekarbonisasi dan biaya operasional (kluster 1, merah) memiliki keterkaitan kuat dengan konsep green shipping corridor sebagai pusat diskusi utama. Hal ini mengindikasikan bahwa peralihan menuju industri maritim beremisi rendah sangat erat kaitannya dengan tantangan teknis dan ekonomis. Di sisi lain, kajian mengenai bahan bakar alternatif seperti amonia (kluster 2, hijau) menjadi fokus yang menonjol, sejalan dengan munculnya studi kasus dan proyeksi masa depan untuk mendukung transisi energi global. Kluster ini menggambarkan orientasi riset pada solusi teknologi ramah lingkungan yang dapat diimplementasikan secara praktis dalam industri pelayaran.

Kajian mengenai emisi dan teknologi hijau (kluster 3, biru) menunjukkan bahwa penelitian juga berpusat pada evaluasi teknologi pengurangan emisi, termasuk review akademik dan kebijakan

internasional terkait pengukuran emisi. Kluster ini memperlihatkan bagaimana inovasi teknologi dipandang sebagai langkah komplementer dalam mendukung agenda dekarbonisasi. Sementara itu, kluster 4 (kuning) memperlihatkan hubungan erat antara peran perusahaan, industri, serta praktik green shipping dengan kinerja lingkungan. Tema ini menekankan pentingnya implementasi pada level korporasi untuk mewujudkan target keberlanjutan yang sejalan dengan regulasi internasional. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa riset mengenai green shipping berkembang dalam empat pilar utama, yaitu aspek dekarbonisasi dan biaya, bahan bakar alternatif dan masa depan energi, teknologi pengurangan emisi, serta praktik industri dan implementasi perusahaan.

Overlay visualization memperlihatkan bahwa penelitian mengenai *green shipping* semakin intensif pada periode 2022–2024. Topik yang muncul dominan meliputi dekarbonisasi, green shipping corridor, serta peran industri dalam implementasi praktik ramah lingkungan. Selain itu, kajian mengenai bahan bakar alternatif seperti amonia juga mulai banyak dibahas dalam dua tahun terakhir, menunjukkan arah penelitian pada solusi energi berkelanjutan. Tren ini mengindikasikan bahwa fokus riset telah bergeser dari sekadar evaluasi emisi dan teknologi (2022) menuju isu implementasi industri, biaya, serta strategi koridor hijau global (2023–2024). Dengan demikian, terlihat jelas bahwa arah penelitian terkini lebih menekankan integrasi teknologi, kebijakan, dan praktik industri dalam mewujudkan pelayaran berkelanjutan (Gambar 2).



**Gambar 2. Peta Overlay Visualization “Green Shipping”**

Sementara itu, hasil *density visualization* (Gambar 3) menunjukkan area penelitian yang padat pada tema efisiensi energi dan pengurangan emisi, sedangkan topik seperti persepsi pemangku kepentingan dan ekonomi maritim masih relatif jarang diteliti, sehingga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut di masa depan.





**Gambar 3. Peta Density Visualization “Green Shipping”**

Gambar 3 memperlihatkan bahwa tema penelitian yang berhubungan dengan *industry*, *emission*, serta *green shipping corridor* ditampilkan dengan warna kuning cerah, yang menunjukkan bahwa bidang ini telah menjadi fokus utama dan mengalami perkembangan signifikan dalam literatur green shipping. Sebaliknya, topik lain seperti *green shipping practice*, *international shipping*, serta *measure* ditampilkan dengan warna biru kehijauan, menandakan bahwa kajian pada bidang ini masih relatif terbatas dan belum banyak diperbarui dalam penelitian terkini. Dengan demikian, peta densitas ini menyoroti adanya pergeseran minat penelitian dari tema regulasi umum menuju isu-isu praktis yang lebih teknis dan aplikatif di industri pelayaran berkelanjutan.

### Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil pemetaan bibliometrik menunjukkan bahwa riset *green shipping* berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Visualisasi jaringan kata kunci (network visualization) mengelompokkan penelitian ke dalam empat kluster utama, yaitu aspek dekarbonisasi dan biaya (concept, cost, decarbonization, green shipping corridor, ship), pengembangan bahan bakar alternatif dan proyeksi energi masa depan (ammonia, future, global shipping, green shipping corridors), inovasi teknologi untuk pengurangan emisi (emission, green shipping technology, international shipping, review), serta implementasi praktik industri dan kinerja lingkungan perusahaan (industry, company, implementation, green shipping practice).

Sejak tahun 2022, publikasi mengenai *green shipping* menunjukkan peningkatan yang signifikan, ditandai dengan bertambahnya penelitian terkait koridor hijau, amonia, serta strategi implementasi industri. Perkembangan ini sejalan dengan komitmen IMO dalam mencapai target dekarbonisasi 2050, yang mendorong lahirnya kajian teknis, manajerial, dan ekonomi dalam mendukung transisi energi maritim. Overlay visualization memperlihatkan bahwa penelitian awal lebih banyak berfokus pada isu emisi dan regulasi, namun pada periode 2022–2024 berkembang ke arah topik implementasi industri, penggunaan bahan bakar alternatif, serta strategi *green shipping corridors* sebagai instrumen global dekarbonisasi.

Density visualization menegaskan bahwa tema utama seperti emisi, industri, dan *green shipping corridor* merupakan bidang yang paling intensif diteliti (berwarna kuning terang). Sebaliknya, topik seperti *green shipping practice*, *international shipping*, dan *measure* masih jarang diperbarui, sehingga membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut, khususnya pada aspek adopsi teknologi dan strategi keberlanjutan global.

### Analisis Matriks Artikel

Untuk memahami kontribusi tiap penelitian, dilakukan analisis matriks terhadap 20 artikel yang lolos seleksi. Tabel 2 merangkum topik, metode, dan hasil utama dari masing-masing studi.

**Tabel 2. Analisis Matriks Artikel mengenai Green Shipping**

| Peneliti / Tahun                 | Topik Penelitian                                | Metode                      | Hasil Utama  |
|----------------------------------|---|-----------------------------|--|
| Tadros, Ventura & Soares         | Regulasi, teknologi, dan tren green shipping    | Review regulasi & teknologi | IMO 2020 mendorong inovasi bahan bakar & efisiensi kapal             |
| Hessequik                        | <i>Green shipping networks</i>                  | Studi kualitatif            | Kolaborasi jaringan mempercepat dekarbonisasi offshore shipping      |
| Hagen, Caldogno & Sun            | <i>Direct ammonia SOFC</i>                      | Studi teknis                | Amonia berpotensi sebagai bahan bakar alternatif berkelanjutan       |
| Tsouri et al.                    | Rekombinasi pengetahuan & inovasi               | Analisis bibliometrik       | Kolaborasi multidisiplin penting bagi lahirnya teknologi baru        |
| Jesus et al.                     | Kerangka ekonomi <i>green corridors</i>         | Model evaluasi              | Hidrogen dinilai transisi paling cost-effective untuk jangka panjang |
| Brouzas, Zadeh & Lagemann        | Penyimpanan hidrogen & sistem tenaga            | Kajian teknis energi        | Hidrogen potensial, tapi tantangan penyimpanan masih besar           |
| Garg, Kashav & Lam               | Faktor penciptaan nilai <i>green corridors</i>  | Analisis multi-kriteria     | Faktor regulasi, ekonomi, dan teknologi jadi kunci sukses            |
| Prokopenko & Miśkiewicz          | Persepsi publik green shipping                  | Survei & wawancara          | Persepsi dipengaruhi faktor sosial-ekonomi negara                    |
| Felício, Rodrigues & Caldeirinha | Dampak green shipping pada ekonomi & lingkungan | Studi empiris               | Green shipping berkontribusi pada ekonomi berkelanjutan              |
| Nguyen et al.                    | AI & ML untuk green shipping                    | Studi konseptual            | AI/ML mendukung efisiensi & praktik maritim berkelanjutan            |
| Pang, Liu & Su                   | Digital intelligence untuk green shipping       | Analisis organisasi         | Digitalisasi meningkatkan pengolahan informasi & adaptasi            |
| Xue & Lai                        | Inovasi digital green shipping                  | Studi literatur & kasus     | Adopsi masih terbatas karena hambatan biaya & teknis                 |
| Liu, Mao & Zhang                 | Green shipping di Arktik                        | Analisis iklim & regulasi   | Tantangan emisi & rute baru akibat mencairnya es                     |
| Wang et al.                      | Kapal listrik untuk green shipping              | Studi teknis & model        | Electric ships efektif untuk short-sea shipping                      |

| Peneliti / Tahun       | Topik Penelitian                                 | Metode                | Hasil Utama  |
|------------------------|--|-----------------------|--|
| Xiao et al.            | Transportasi maritim berkelanjutan & green ports | Review literatur      | Integrasi teknologi cerdas & pelabuhan hijau mendukung dekarbonisasi |
| Mi et al.              | Bibliometric green shipping                      | Analisis bibliometrik | Identifikasi tren riset & tantangan keberlanjutan                    |
| Sagin et al.           | Bahan bakar alternatif untuk mesin diesel kapal  | Studi teknis          | Penggunaan biofuel & gas alam kurangi emisi                          |
| Pang, Lu, Shang & Weng | Green shipping & kinerja perusahaan kontainer    | Survei empiris        | Praktik green shipping meningkatkan reputasi & performa organisasi   |
| Metzger                | Market-based measures & teknologi                | Analisis kebijakan    | MBM (carbon tax, ETS) dorong inovasi teknologi                       |
| Sideri et al.          | Adopsi LNG & listrik di Yunani                   | Survei & studi kasus  | Tingkat adopsi dipengaruhi penerimaan sosial & insentif pemerintah   |

Berdasarkan analisis matriks hasil *study literature review* dapat diketahui bahwa penelitian mengenai *green shipping* berkembang dengan pendekatan yang beragam, mulai dari aspek regulasi, teknologi, ekonomi, hingga persepsi sosial. Meskipun metode yang digunakan berbeda-beda, tujuan utamanya tetap sama yaitu mendukung transisi industri maritim menuju keberlanjutan dan dekarbonisasi. Penelitian yang dilakukan oleh Tadros, Ventura & Soares menekankan pada hubungan antara regulasi IMO 2020 dengan perkembangan teknologi bahan bakar dan efisiensi kapal. Regulasi tersebut terbukti menjadi pendorong utama lahirnya inovasi di bidang *green shipping* (Tadros et al., 2023).

Menurut Hessevick, kolaborasi dalam jaringan *green shipping* memiliki peran penting untuk mempercepat dekarbonisasi terutama dalam sektor *offshore shipping*. Hal ini menegaskan bahwa transisi energi tidak bisa dilakukan oleh aktor tunggal, melainkan membutuhkan dukungan ekosistem yang lebih luas (Hessevick, 2022). Penelitian teknis oleh Hagen, Caldagno & Sun menyoroti potensi amonia sebagai bahan bakar alternatif melalui penerapan SOFC (Solid Oxide Fuel Cell). Amonia dinilai berkelanjutan, meskipun masih terdapat tantangan teknis pada sisi implementasi (Hagen et al., 2024). Sementara itu, Jesus et al. mengembangkan model evaluasi ekonomi untuk *green shipping corridors* dan menilai bahwa hidrogen adalah pilihan transisi yang paling *cost-effective* dalam jangka panjang (Jesus & Godina, 2024). Temuan ini diperkuat oleh Brouzas, Zadeh & Lagemann yang juga menyoroti hidrogen, namun mengingatkan bahwa tantangan penyimpanan menjadi hambatan besar untuk penerapannya (Brouzas et al., 2025).

Dari sisi nilai strategis, Garg, Kashav & Lam menemukan bahwa faktor regulasi, ekonomi, dan teknologi merupakan penentu utama keberhasilan *green shipping corridors* (Prakash et al., 2025). Sedangkan penelitian oleh Prokopenko & Miśkiewicz menunjukkan bahwa persepsi publik mengenai *green shipping* sangat dipengaruhi oleh kondisi sosial-ekonomi suatu negara, sehingga kebijakan tidak bisa dilepaskan dari konteks masyarakat (Prokopenko & Miśkiewicz, 2020). Kontribusi lain datang dari penelitian terkait digitalisasi. Nguyen et al. dan Pang, Liu & Su menggarisbawahi bahwa penerapan AI, ML, serta digital intelligence mampu meningkatkan efisiensi dan adaptasi industri maritim (Phuong et al., 2024). Namun, Xue & Lai menemukan bahwa adopsi teknologi digital masih terbatas akibat kendala biaya dan hambatan teknis (Xue & Lai, 2024). Penelitian dengan fokus regional seperti Liu, Mao & Zhang mengkaji green shipping di kawasan Arktik, di mana mencairnya es membuka rute baru namun sekaligus menimbulkan tantangan emisi (Liu et al., 2024). Di sisi lain, Wang et al. menilai kapal listrik sangat efektif untuk *short-sea shipping* (Wang et al., 2022), sedangkan Xiao et al. menekankan integrasi pelabuhan hijau dan teknologi cerdas sebagai strategi mendukung dekarbonisasi global (Xiao et al., 2024).

Kajian bibliometrik oleh Mi et al. memetakan tren riset dan tantangan keberlanjutan (Mi et al., 2024), sementara Sagin et al. mengeksplorasi potensi biofuel dan gas alam sebagai bahan bakar alternatif kapal (Sagin et al., 2025). Dari perspektif korporasi, Pang, Lu, Shang & Weng menemukan bahwa praktik *green shipping* mampu meningkatkan reputasi dan performa perusahaan kontainer (Pang & Lu, 2021). Di sisi kebijakan, Metzger menunjukkan bahwa *market-based measures* seperti pajak karbon dan ETS dapat mendorong inovasi teknologi (Metzger, 2022). Penelitian di Yunani menekankan bahwa tingkat adopsi LNG dan listrik sangat dipengaruhi oleh penerimaan sosial serta insentif dari pemerintah (Sideri et al., 2021). Secara keseluruhan, hasil analisis matriks ini memperlihatkan bahwa riset *green shipping* tidak hanya berfokus pada teknologi dan bahan bakar, tetapi juga pada aspek kebijakan, ekonomi, sosial, serta implementasi industri. Hal ini menunjukkan bahwa transisi menuju pelayaran berkelanjutan membutuhkan pendekatan multidisiplin yang integratif.

## Tantangan Implementasi Green Shipping di Industri Pelayaran

Meskipun green shipping telah menjadi fokus global dan didorong melalui berbagai regulasi internasional, implementasinya di lapangan masih menghadapi banyak tantangan. Salah satu hambatan utama adalah biaya investasi awal (capital expenditure) yang relatif tinggi. Banyak teknologi ramah lingkungan seperti scrubber, fuel cell, atau sistem propulsi elektrik membutuhkan investasi besar yang sulit dipenuhi terutama oleh perusahaan kecil dan menengah. Kondisi ini menyebabkan tingkat adopsi teknologi hijau tidak merata di berbagai negara dan wilayah. Selain itu, ketidakpastian pasar bahan bakar alternatif menjadi faktor lain yang memperlambat transisi. Amonia, hidrogen, LNG, dan metanol masing-masing memiliki risiko tersendiri dari aspek ketersediaan, infrastruktur penyimpanan, keamanan penggunaan, hingga perkembangan standar teknis internasional. Ketidadaan rantai pasok global yang stabil memperbesar risiko bagi perusahaan pelayaran yang ingin berinvestasi jangka panjang.

Di sisi operasional, kurangnya kompetensi teknis awak kapal juga menjadi tantangan. Pengoperasian kapal bertenaga hidrogen atau amonia membutuhkan pelatihan khusus terkait risiko kebakaran, toksisitas, dan prosedur darurat. Tanpa pelatihan menyeluruh, teknologi ini tidak dapat dioperasikan secara aman. Lebih jauh, hambatan regulasi seperti ketidaksinkronan peraturan antarnegara juga memperlambat implementasi. Tidak semua negara memiliki standar pelabuhan hijau yang sama, sehingga kapal yang menggunakan bahan bakar alternatif belum tentu dapat dilayani di seluruh pelabuhan dunia. Ketidakselarasan ini menyebabkan perusahaan pelayaran mengambil pendekatan yang lebih konservatif dalam berinvestasi.

## Peluang Penelitian Masa Depan

Peta bibliometrik menunjukkan bahwa masih terdapat celah penelitian (research gaps) dalam beberapa bidang:

### 1. Dampak Sosial Ekonomi Green Shipping

Sebagian besar penelitian berfokus pada aspek teknis dan kebijakan, sementara **dampak sosial**, perubahan struktur ketenagakerjaan, dan persepsi masyarakat di negara berkembang masih sangat jarang diteliti. Padahal, keberhasilan implementasi sangat dipengaruhi oleh penerimaan publik serta kesiapan tenaga kerja maritim.

### 2. Analisis Biaya-Manfaat Jangka Panjang

Penelitian yang menilai *lifecycle cost* dari bahan bakar alternatif masih terbatas. Banyak studi berfokus pada perbandingan emisi dan efisiensi energi, tetapi belum banyak yang menggabungkan aspek **operasional jangka panjang, depresiasi aset, serta nilai ekonomi rantai pasok energi hijau**.



### 3. Pengembangan Model Simulasi untuk Rute Hijau

Di masa depan, rute-rute pelayaran akan mengandalkan koridor hijau yang terintegrasi dengan pelabuhan hijau. Namun, **model simulasi realistis** untuk perencanaan rute berbasis bahan bakar alternatif masih terbatas.

### 4. Integrasi Digitalisasi dan Energi Hijau

Masih sedikit penelitian yang menggabungkan **AI, IoT, digital twins, dan analisis prediktif** untuk mendukung efisiensi energi kapal. Padahal, integrasi digital telah terbukti dapat menurunkan konsumsi bahan bakar hingga 10–15% dalam beberapa studi.

### Peran Pelabuhan Hijau dalam Mendukung Green Shipping

Pelabuhan merupakan titik strategis dalam rantai logistik maritim dan memiliki pengaruh besar terhadap keberhasilan green shipping. Keberadaan **green ports** memungkinkan kapal mengurangi emisi tidak hanya selama pelayaran, tetapi juga ketika berlabuh. Beberapa komponen penting dalam pengembangan pelabuhan hijau meliputi:

- **Onshore Power Supply (OPS)** untuk mengurangi penggunaan mesin bantu (auxiliary engines) ketika kapal bersandar.
- **Infrastruktur bunkering bahan bakar alternatif** seperti LNG, hidrogen, amonia, atau metanol.
- **Sistem digital manajemen lalu lintas kapal**, yang meminimalkan penundaan dan konsumsi bahan bakar selama *waiting time*.
- **Kebijakan insentif hijau**, misalnya penurunan biaya labuh untuk kapal beremisi rendah.

Namun, implementasi pelabuhan hijau masih terhambat oleh tingginya biaya infrastruktur dan ketidakpastian permintaan bahan bakar alternatif. Oleh karena itu, banyak pelabuhan mulai mengadopsi pendekatan bertahap (*phased implementation*) berdasarkan kebutuhan operasional di wilayah masing-masing.

### Perbandingan Bahan Bakar Alternatif dalam Transisi Energi Maritim

Berdasarkan literatur terbaru, beberapa bahan bakar alternatif yang paling sering dibahas meliputi LNG, hidrogen, metanol, biofuel, dan amonia. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

#### 1. LNG (*Liquefied Natural Gas*)

- **Kelebihan:** Emisi lebih rendah dibandingkan minyak fosil, infrastruktur relatif tersedia.
- **Kekurangan:** Masih menghasilkan emisi metana (*methane slip*), sehingga tidak sepenuhnya bebas karbon.

#### 2. Hidrogen

- **Kelebihan:** Emisi nol ketika digunakan dalam fuel cell; cocok untuk kapal masa depan.
- **Kekurangan:** Tantangan penyimpanan dan distribusi, membutuhkan pelabuhan dengan fasilitas khusus.

### 3. *Amonia*

- **Kelebihan:** Tidak menghasilkan CO<sub>2</sub> saat digunakan sebagai bahan bakar; kepadatan energi cukup tinggi.
- **Kekurangan:** Bersifat toksik, memerlukan pelatihan keselamatan ekstrem, dan teknologi engine masih berkembang.

### 4. *Metanol*

- **Kelebihan:** Mudah disimpan, mudah beradaptasi dengan mesin kapal, infrastruktur lebih sederhana.
- **Kekurangan:** Emisi CO<sub>2</sub> tetap ada kecuali menggunakan green methanol.

### 5. *Biofuel*

- **Kelebihan:** Dapat langsung digunakan oleh mesin kapal diesel dengan modifikasi minimal.
- **Kekurangan:** Ketersediaan bahan baku tergantung pada produksi pertanian dan tidak selalu berkelanjutan.

Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa **amonia dan hidrogen** menjadi topik yang paling banyak dibahas sejak 2023 hingga 2025, sejalan dengan tren transisi energi global.

## Pendekatan Kebijakan dalam Mempercepat Green Shipping

Peran pemerintah sangat penting dalam mendorong percepatan implementasi. Beberapa pendekatan kebijakan yang umum diterapkan adalah:

### 1. *Market-Based Measures (MBM)*

Contohnya seperti **carbon tax** dan **Emissions Trading System (ETS)**. Kebijakan ini mendorong perusahaan untuk memilih teknologi rendah emisi karena lebih ekonomis dalam jangka panjang.

### 2. *Subsidi dan Insentif*

Pemerintah dapat memberikan insentif berupa:

- potongan biaya pelabuhan,
- subsidi konversi mesin kapal,
- pembebasan pajak atas bahan bakar alternatif, dan
- kredit karbon internasional.

### 3. *Standarisasi Global*

Sinkronisasi regulasi antarnegara sangat penting agar kapal beremisi rendah dapat beroperasi tanpa hambatan di berbagai pelabuhan.

### 4. *Green Financing*

Skema pembiayaan seperti *green bond*, *blue economy grant*, atau *sustainable finance framework* mendorong perusahaan berinvestasi tanpa beban modal terlalu besar.

---

## Peran Digitalisasi dalam Mendukung Emisi Rendah

Transformasi digital memainkan peran penting dalam mendukung green shipping. Beberapa teknologi digital yang mendukung pengurangan emisi meliputi:

- **AI-based Fuel Optimization Systems** untuk menentukan rute paling efisien.
- **Digital twin** untuk memodelkan performa kapal secara real-time.
- **Predictive maintenance** untuk mencegah kerusakan mesin dan menghemat bahan bakar.
- **IoT sensors** yang memantau kondisi mesin dan konsumsi energi.

Fitur-fitur ini tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga membantu perusahaan mematuhi standar pelaporan emisi global seperti *EU MRV* dan *IMO DCS*.

## Integrasi Green Shipping dalam Ekosistem Maritim Global

Green shipping tidak dapat berdiri sendiri; keberhasilannya bergantung pada kolaborasi seluruh ekosistem maritim. Ini meliputi:

- **galangan kapal** yang mendesain kapal beremisi rendah,
- **shipowners** yang mengadopsi teknologi baru,
- **pelabuhan** yang menyediakan infrastruktur hijau,
- **pemerintah** yang membuat regulasi,
- **penelitian dan universitas** yang menyediakan inovasi, serta
- **masyarakat pengguna jasa** yang menuntut rantai pasok berkelanjutan.

Kolaborasi ini menjadi dasar pembentukan *green shipping corridors*, yang kini menjadi strategi global untuk menurunkan emisi secara signifikan pada rute-rute pelayaran tertentu.

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian *systematic literature review* terhadap 20 artikel yang dianalisis, dapat disimpulkan bahwa penelitian mengenai *green shipping* mengalami perkembangan yang pesat dalam satu dekade terakhir. Fokus awal yang menitikberatkan pada regulasi dan kepatuhan terhadap standar internasional, terutama IMO 2020, kini telah berkembang ke arah inovasi teknologi, penerapan bahan bakar alternatif, kerangka ekonomi transisi energi, digitalisasi, serta aspek sosial-ekonomi. Analisis bibliometrik menunjukkan bahwa isu efisiensi energi, pengurangan emisi, dan penggunaan bahan bakar alternatif merupakan area penelitian yang paling banyak mendapat perhatian, sementara tema seperti *green shipping corridors*, penerimaan sosial, dan adopsi teknologi digital masih relatif jarang diteliti sehingga menyisakan ruang eksplorasi lebih lanjut. Secara umum, *green shipping* dipandang tidak hanya sebagai strategi teknis untuk mengurangi emisi, melainkan juga sebagai pendekatan multidimensi yang melibatkan kebijakan, ekonomi, inovasi, dan persepsi sosial. Oleh karena itu, kolaborasi lintas disiplin dan dukungan regulasi internasional menjadi kunci penting dalam mempercepat implementasi *green shipping* sebagai bagian dari upaya global mencapai transportasi maritim yang berkelanjutan.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada institusi dan rekan-rekan yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Ucapan terima kasih khusus ditujukan kepada pembimbing akademik dan rekan sejawat yang telah memberikan masukan berharga dalam penyusunan desain penelitian serta pendampingan selama proses *systematic literature review*. Apresiasi juga diberikan kepada pihak-pihak yang membantu dalam pengumpulan data, penyediaan dokumen, serta analisis bibliometrik menggunakan VOSviewer. Penelitian ini tidak akan terselesaikan tanpa adanya kontribusi berupa umpan balik dan diskusi yang memperkaya interpretasi hasil kajian. Penulis menyatakan bahwa penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pemerintah, komersial, maupun organisasi nirlaba.

## Referensi

- Brouzas, S., Zadeh, M., & Lagemann, B. (2025). International Journal of Hydrogen Energy Essentials of hydrogen storage and power systems for green shipping. *International Journal of Hydrogen Energy*, 100(December 2024), 1543–1560. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.12.253>
- Fel, J. A., & Rodrigues, R. (2021). *Green Shipping Effect on Sustainable Economy and Environmental Performance*. 1–15.
- Hagen, A., Caldogno, R., & Sun, X. (2024). Direct ammonia SOFC – A potential technology for green shipping. *Fuel*, 365(December 2023), 131238. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131238>
- Hesdevik, A. (2022). Green shipping networks as drivers of decarbonization in offshore shipping companies. *Maritime Transport Research*, 3(February), 100053. <https://doi.org/10.1016/j.martra.2022.100053>
- Jesus, B., & Godina, R. (2024). *International Journal of Hydrogen Energy Economic framework for green shipping corridors: Evaluating cost-effective transition from fossil fuels towards hydrogen*. 83(November 2023), 1429–1447. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.08.147>
- Liu, H., Mao, Z., & Zhang, Z. (2024). *From melting ice to green shipping: navigating emission reduction challenges in Arctic shipping in the context of climate change*. September, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1462623>
- Metzger, D. (2022). Market - based measures and their impact on green shipping technologies. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 3–23. <https://doi.org/10.1007/s13437-021-00258-8>
- Mi, J. J., Wang, Y., Zhang, N., Zhang, C., & Ge, J. (2024). *A Bibliometric Analysis of Green Shipping: Research Progress and Challenges for Sustainable Maritime Transport*.
- Pang, K., & Lu, C. (2021). *An empirical investigation of green shipping practices, corporate reputation and organisational performance in container shipping Kuo-Chung Shang Hsiang-Kai Weng*. 13, 422–444.
- Phuong, H., Thao, C., Nguyen, U., Men, T., & Hai, Q. (2024). *Artificial Intelligence and Machine Learning for Green Shipping: Navigating towards Sustainable Maritime Practices*. 8(March).
- Prakash, C., Kashav, V., Siu, J., & Lam, L. (2025). Evaluation of value creating factors in green shipping corridors. *Transportation Research Part D*, 145(February), 104790. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104790>
- Prokopenko & Miśkiewicz. (2020). *PERCEPTION OF "GREEN SHIPPING" IN THE CO NTEMPORARY CONDITIONS* \* Olha Prokopenko <sup>1</sup>, Radosław Miśkiewicz <sup>2</sup> 2. 8(2), 269–285.
- Sagin, S., Haichenia, O., & Karianskyi, S. (2025). *Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines*.
- Sideri, O., Papoutsidakis, M., Lilas, T., Nikitakos, N., & Papachristos, D. (2021). *Green shipping onboard: acceptance, diffusion & adoption of LNG and electricity as alternative fuels in Greece*.
- Tadros, M., Ventura, M., & Soares, C. G. (2023). Review of current regulations, available technologies, and future trends in the green shipping industry. *Ocean Engineering*, 280(April), 114670. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2023.114670>
- Tsouri, M., Hansen, T., Hanson, J., & Steen, M. (2022). Technovation Knowledge recombination for emerging technological innovations: The case of green shipping. *Technovation*, 114(0317), 102454. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102454>

- 
- Wang, W., Liu, Y., Zhen, L., & Wang, H. (2022). *How to Deploy Electric Ships for Green Shipping*.
- Xiao, G., Wang, Y., Wu, R., Li, J., & Cai, Z. (2024). *Sustainable Maritime Transport : A Review of Intelligent Shipping Technology and Green Port Construction Applications*.
- Xue, Y., & Lai, K. (2024). *Digital Green Shipping Innovation* : 32(1), 1–28.  
<https://doi.org/10.4018/JGIM.349929>