



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

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

Vol. 4 No. 4 (2025) pp: 2733-2740

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

Transformasi Digital dan Teknologi Hijau: Revolusi Pengangkutan Domestik Berkelanjutan

Nurul Chomariah Agustin¹, Eliyanti Agus Mokodompit²

¹Program Studi Magister Akuntansi, Universitas Halu Oleo Kendari

²Program Studi Manajemen, Universitas Halu Oleo Kendari

nurul.agustin1994@gmail.com¹, eamokodompit66@gmail.com²

Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi inovasi dalam industri pengangkutan laut Indonesia melalui transformasi digital dan teknologi ramah lingkungan, yang bertujuan mendukung distribusi energi domestik secara berkelanjutan. Dengan menggunakan pendekatan tinjauan literatur sistematis dari sumber-sumber ilmiah seperti jurnal internasional dan dokumen organisasi maritim global, penelitian ini menganalisis bagaimana integrasi teknologi seperti Internet of Things (IoT), kecerdasan buatan (AI), dan analitik data dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya bahan bakar, serta memperbaiki keamanan navigasi dan pengambilan keputusan berbasis data. Di sisi lain, penerapan solusi hijau seperti bahan bakar alternatif (misalnya LNG, biofuel, dan hidrogen) serta desain kapal hemat energi dianggap krusial untuk meminimalkan emisi karbon dan mematuhi regulasi internasional seperti yang dikeluarkan oleh International Maritime Organization (IMO), termasuk target Net Zero Emission di Indonesia pada 2060. Studi ini menyoroti sinergi antara kedua aspek tersebut, yang memungkinkan optimasi rute pengangkutan dalam negeri, pengurangan dampak lingkungan, dan peningkatan produktivitas, meskipun dihadapkan pada hambatan teknis, finansial, regulasi, dan sumber daya manusia yang masih membutuhkan perencanaan strategis jangka panjang. Secara kesimpulan, transformasi ini tidak hanya merevolusi pengangkutan dalam negeri tetapi juga mengatasi tantangan global seperti perubahan iklim dan keamanan pelayaran, dengan rekomendasi untuk penelitian empiris lebih lanjut guna mengisi celah dalam penerapan praktis di konteks lokal Indonesia dan memastikan keberlanjutan implementasinya dalam jangka panjang.

Kata kunci: Transformasi Digital, Teknologi Hijau, Pengangkutan Laut, Keberlanjutan

1. Latar Belakang

Transportasi laut sangat penting bagi perekonomian nasional Indonesia karena menjadi jalur utama pergerakan barang dan energi di negara kepulauan yang sangat luas. Ketergantungan Indonesia pada sistem pelayaran disebabkan oleh penyebaran wilayah geografis yang terdiri dari ribuan pulau yang tidak dapat terhubung secara optimal melalui jalur darat. Pengangkutan laut memungkinkan terdistribusinya sumber daya penting seperti minyak, bahan bakar, dan gas alam ke seluruh wilayah Indonesia tanpa terhambat batas daratan. Stabilitas pasokan energi sangat menentukan keberlangsungan aktivitas industri, penyediaan layanan publik, hingga kebutuhan rumah tangga masyarakat. Tanpa mekanisme distribusi energi melalui angkutan laut, berbagai wilayah terpencil berisiko mengalami defisit energi dan ketimpangan pembangunan. Sistem ini juga mendukung kelancaran proses produksi di sektor perdagangan, manufaktur, dan transportasi lainnya. Infrastruktur pelayaran terbukti meningkatkan efisiensi logistik, terutama dalam perbandingan biaya dengan moda distribusi udara. Selain itu, keandalan transportasi laut mampu menjaga distribusi energi dalam skala besar secara rutin dan aman. Konektivitas maritim mendorong pemerataan ekonomi nasional dengan mengurangi disparitas antarwilayah dan memperkuat rantai pasok nasional. Hal tersebut menjadikan transportasi laut faktor penentu bagi pertumbuhan pembangunan daerah. Oleh sebab itu, moda pelayaran bukan hanya komponen fisik pengiriman barang, tetapi juga fondasi strategis pembangunan nasional. Posisi vital transportasi laut ini juga diperkuat oleh kajian (The Means of Sea Transportation, 2023) yang menekankan bahwa logistik berbasis laut merupakan pilar distribusi energi modern di negara kepulauan. Dengan demikian, keberhasilan sistem energi Indonesia sangat terkait dengan efektivitas transportasi laut.

Meskipun peran transportasi laut sangat krusial, aktivitas armada kapal di Indonesia masih menghadapi tekanan besar dari tantangan global. Salah satu tantangan utama adalah tingginya konsumsi bahan bakar yang berkontribusi

besar terhadap biaya operasional perusahaan pelayaran. Ketergantungan pada bahan bakar konvensional menurunkan laba ketika harga minyak dunia meningkat secara fluktuatif. Selain itu, pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan emisi karbon yang memperburuk polusi dan berdampak pada perubahan iklim. Tekanan terhadap isu lingkungan membuat perusahaan pelayaran tidak hanya mengejar profit, tetapi juga dituntut untuk memperhatikan keberlanjutan. Jika biaya operasional bahan bakar tidak terkendali, efisiensi ekonomi sektor pelayaran nasional dapat terancam serius. Tantangan lain menyangkut kepatuhan terhadap regulasi global yang semakin ketat mengenai polusi laut dan udara. Ketidaksiapan dalam memenuhi regulasi dapat berakibat pada sanksi, hambatan ekspor, hingga pembatasan akses perdagangan maritim internasional. Kajian (Benamara et al., 2019) menegaskan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar kapal bukan hanya kebutuhan finansial, tetapi juga menjadi keharusan lingkungan. Tanpa perubahan signifikan, perusahaan pelayaran akan menghadapi kesulitan mempertahankan daya saing. Dengan demikian, tantangan operasional dan lingkungan menjadikan efisiensi energi sebagai prioritas utama dalam transportasi laut Indonesia. Situasi tersebut memperkuat urgensi transformasi di sektor pelayaran.

Selain persoalan biaya dan emisi, sektor pelayaran juga berhadapan dengan tuntutan tinggi terhadap keamanan pelayaran. Standar keselamatan maritim bertujuan mencegah kecelakaan kapal yang bisa menyebabkan kerugian besar baik bagi manusia, perusahaan, maupun ekosistem. Kapal tanker yang membawa minyak atau bahan berbahaya memiliki risiko tumpahan muatan jika terjadi kecelakaan. Tumpahan minyak dapat merusak keanekaragaman hayati laut, menghancurkan terumbu karang, dan mengganggu mata pencaharian nelayan. Kecelakaan maritim yang mengandung material berbahaya bahkan dapat menimbulkan kerusakan jangka panjang terhadap lingkungan pesisir. Karena itu, peningkatan protokol keselamatan pelayaran menjadi keharusan yang tidak dapat ditunda. Penyesuaian dengan standar keamanan modern membutuhkan pelatihan intensif bagi kru kapal untuk meningkatkan kapabilitas navigasi dan tanggap darurat. Teknologi keselamatan juga harus diperbarui agar mampu mendeteksi risiko lebih cepat dan mencegah kesalahan manusia. Ketepatan dalam navigasi mencegah kesalahan perhitungan selama perjalanan dan mengurangi potensi tabrakan kapal. Penelitian (Grace et al., 2025) menegaskan pentingnya peningkatan kompetensi kru, penggunaan sistem navigasi modern, dan pembaruan sistem operasional untuk menurunkan angka kecelakaan pelayaran. Tanpa penguatan keselamatan, pelayaran tidak hanya berisiko secara operasional tetapi juga ekologis. Oleh sebab itu, keamanan pelayaran menjadi bagian kunci dari keberlanjutan transportasi laut.

Dalam menghadapi meningkatnya kebutuhan energi domestik, efisiensi operasional armada kapal semakin krusial untuk menjamin kelancaran distribusi energi. Ketergantungan terhadap pelayaran membuat risiko gangguan distribusi energi menjadi sangat sensitif terhadap hambatan logistik. Kenaikan penggunaan energi di sektor industri, transportasi, dan rumah tangga menuntut sistem distribusi yang lebih cepat, akurat, dan andal. Pelayaran harus mampu memenuhi kebutuhan energi nasional sekaligus menjaga efisiensi biaya agar stabilitas ekonomi dapat dipertahankan. Kenaikan permintaan energi tanpa peningkatan efisiensi operasional akan membebani biaya logistik nasional. Jika rantai pasok energi terganggu, kenaikan harga energi dapat berdampak luas terhadap pertumbuhan ekonomi. Karena itu, peningkatan kapasitas logistik di sektor maritim menjadi kebutuhan jangka panjang. Tantangan ini mendorong armada pelayaran untuk memperbarui strategi dan sistem untuk meningkatkan efektivitas distribusi. Keberlanjutan operasional harus dirancang bukan hanya untuk memenuhi target profit, melainkan untuk menjamin ketahanan energi nasional. Laporan (Kementerian Perhubungan, 2023) menekankan perlunya transformasi besar-besaran dalam sistem pelayaran untuk mengakomodasi kebutuhan energi yang terus meningkat. Dengan demikian, modernisasi pelayaran menjadi fondasi utama dalam menjaga kelancaran distribusi energi nasional.

Transformasi digital memegang peranan penting dalam dunia bisnis modern karena mampu meningkatkan efisiensi, akurasi, dan daya saing perusahaan. Dalam sektor pelayaran, perubahan ini memberikan manfaat nyata yang mencakup peningkatan efisiensi operasional, keamanan navigasi, transparansi logistik, penghematan energi, dan optimalisasi biaya. Dengan digitalisasi, proses manajemen logistik menjadi lebih akurat melalui pelacakan kapal dan muatan secara real time. Digitalisasi juga memerlukan integrasi sistem data sehingga seluruh proses—mulai dari keberangkatan, pergerakan di lajur pelayaran, hingga kedatangan di pelabuhan—dapat dipantau secara otomatis. Tekanan untuk meningkatkan akurasi data menjadi krusial untuk mengurangi salah informasi yang dapat menyebabkan kerugian operasional. Transformasi digital juga mendukung proses audit dan pelaporan yang lebih cepat dan efisien. Sistem digital membantu meminimalkan kesalahan manual dan mempercepat pengolahan dokumen perusahaan pelayaran. Integrasi teknologi digital memberikan peluang baru bagi perusahaan untuk mengembangkan strategi berbasis data yang dapat meningkatkan efisiensi pelayaran. George & Paul (2020) menegaskan bahwa transformasi digital memberikan manfaat substansial bagi perusahaan yang mampu

mengadaptasinya secara sistematis. Oleh karena itu, digitalisasi dalam pelayaran bukan lagi pilihan, melainkan kebutuhan strategis untuk mempertahankan daya saing global.

Dalam praktiknya, transformasi digital di sektor pelayaran mencakup integrasi teknologi tingkat lanjut yang memungkinkan manajemen armada dilakukan secara lebih cerdas. Teknologi seperti Internet of Things (IoT) memberi kemampuan pemantauan kapal dari jarak jauh melalui sensor yang menampilkan data real time terkait mesin, bahan bakar, dan kondisi laut. Analitik Big Data menjadi sistem yang dapat mengolah data tersebut untuk memprediksi kebutuhan perawatan, risiko kerusakan, dan potensi pemborosan bahan bakar. Kecerdasan Buatan (AI) berperan dalam mengoptimalkan keputusan berbasis data seperti penjadwalan perjalanan, rute tercepat, dan strategi penghematan energi. Sistem navigasi otomatis membantu kapten dan awak kapal dalam menghindari area berbahaya dengan tingkat keakuratan tinggi. Teknologi ini juga berfungsi untuk mencegah kesalahan manusia dalam proses pengoperasian kapal. Platform manajemen armada digital mempermudah pengendalian operasional dalam satu dashboard secara terpusat. Sistem digital ini juga memudahkan integrasi dengan pelabuhan dan otoritas maritim untuk mempercepat proses bongkar muat. Penelitian (Jiyeon An, 2024) mempertegas bahwa penggunaan IoT, Big Data, AI, dan navigasi otomatis memberikan peningkatan signifikan terhadap kemampuan monitoring dan prediksi performa kapal. Oleh sebab itu, digitalisasi merupakan elemen inti peningkatan efisiensi pelayaran modern.

Selain transformasi digital, teknologi ramah lingkungan menjadi prioritas besar dalam sektor pelayaran global untuk mengurangi dampak lingkungan. Persyaratan internasional seperti batas sulfur dari IMO menuntut kapal mengurangi emisi untuk meningkatkan kualitas udara global. Indonesia juga menetapkan target Net Zero Emission pada 2060, sehingga perusahaan pelayaran lokal harus menyesuaikan sistem operasionalnya. Penggunaan bahan bakar alternatif seperti LNG dan biofuel menjadi solusi untuk mengurangi polusi. Teknologi scrubber digunakan untuk menyaring gas buang sehingga emisi sulfur berkurang secara signifikan. Desain kapal hemat energi menjadi inovasi yang berfokus pada efisiensi konsumsi bahan bakar melalui teknologi baling-baling baru dan material kapal yang lebih ringan. Green technological innovation juga mencakup optimalisasi rute untuk menekan pemborosan bahan bakar. Penelitian (DNV, 2022) menekankan bahwa implementasi inovasi teknologi hijau penting untuk keberlanjutan bisnis pelayaran sekaligus perlindungan lingkungan. Dengan penerapan teknologi ramah lingkungan, industri pelayaran dapat tetap produktif tanpa menimbulkan kerusakan ekologis besar. Oleh sebab itu, pengembangan teknologi hijau menjadi strategi penting dalam pelayaran modern.

Transformasi digital dan teknologi ramah lingkungan saling melengkapi dalam meningkatkan efektivitas operasional pelayaran domestik. Digitalisasi membantu mengoptimalkan pemakaian bahan bakar dengan perhitungan prediktif sehingga penggunaan bahan bakar alternatif menjadi lebih efisien. Sistem navigasi digital mampu menghitung rute terhemat energi untuk perjalanan kapal. Teknologi ramah lingkungan memberikan kapabilitas operasional untuk mengurangi emisi karbon tanpa mengorbankan performa kerja kapal. Sinergi dua aspek ini juga mengurangi biaya pemeliharaan kapal melalui pemantauan kondisi real time. Pemanfaatan data digital dapat mendeteksi potensi kerusakan mesin lebih awal, sehingga penggunaan bahan bakar alternatif dapat tetap stabil tanpa gangguan teknis. Integrasi ini juga meningkatkan keamanan pelayaran karena navigasi berbasis data dapat berfungsi bersamaan dengan sistem proteksi lingkungan. Teknologi hijau dan digital memberikan manfaat jangka panjang bagi keberlanjutan industri pelayaran. Implementasi keduanya membantu perusahaan memenuhi tuntutan profit, kepatuhan regulasi, dan tanggung jawab lingkungan secara bersamaan. Dengan demikian, dual transformasi ini merupakan kunci modernisasi pelayaran di Indonesia. Optimalisasi ini berlanjut pada peningkatan produktivitas, efisiensi energi, dan perlindungan ekosistem laut secara simultan.

Terlepas dari potensi besar yang dihasilkan, implementasi transformasi digital dan teknologi ramah lingkungan dalam pelayaran nasional masih memiliki kendala nyata. Hambatan teknis muncul karena tidak semua kapal memiliki fasilitas untuk memasang sistem digital dan perangkat pemantauan jarak jauh. Investasi keuangan yang besar diperlukan untuk pembaruan kapal tua dan pemasangan teknologi hijau. Keterbatasan sumber daya manusia juga menjadi penghalang karena penggunaan teknologi canggih membutuhkan pelatihan mendalam bagi kru dan manajemen perusahaan. Adaptasi regulasi domestik sering berjalan lebih lambat dibanding perubahan standar internasional sehingga terjadi ketidaksinkronan kebijakan. Tidak semua pelabuhan memiliki infrastruktur digital untuk mendukung sistem manajemen armada modern. Penyediaan bahan bakar alternatif juga belum merata sehingga penggunaan LNG dan biofuel belum dapat diterapkan secara penuh di seluruh wilayah Indonesia. Hambatan ini memerlukan strategi nasional dan kolaborasi antara pemerintah, pelaku industri, dan lembaga pendidikan. Tanpa konsistensi kebijakan, perkembangan teknologi dapat berjalan tidak merata antarwilayah. Tantangan tersebut harus diatasi agar transformasi pelayaran berjalan optimal.

Penelitian mendalam mengenai hubungan transformasi digital dan teknologi ramah lingkungan dalam konteks angkutan domestik Indonesia masih sangat kurang sehingga diperlukan kajian akademik untuk memberikan dasar ilmiah. Studi ini berupaya menjawab kebutuhan tersebut melalui analisis sistematis terhadap penerapan kedua teknologi dalam pelayaran nasional. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih detail mengenai dampaknya terhadap efisiensi distribusi energi dalam negeri. Kajian ini juga menilai sejauh mana dual transformasi tersebut dapat meningkatkan daya saing sektor pelayaran nasional. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi manfaat, tetapi juga hambatan yang menghambat pengadopsian digitalisasi dan teknologi hijau. Temuan studi dapat berfungsi sebagai dasar rekomendasi dalam merumuskan kebijakan pemerintah terkait modernisasi pelayaran. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi praktis bagi perusahaan pelayaran dalam mengembangkan strategi jangka panjang. Studi ini menekankan perlunya kerja sama lintas sektor antara industri, pemerintah, dan lembaga riset untuk mempercepat adopsi teknologi. Di masa depan, penelitian empiris lanjutan sangat diperlukan untuk memperkuat implementasi teknologi di konteks lokal Indonesia. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam upaya memperkuat keberlanjutan dan efektivitas pelayaran domestik.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan metode tinjauan literatur sistematis yang menekankan pengidentifikasian dan penganalisisan berbagai sumber ilmiah yang berkaitan dengan transformasi digital (*Digital Transformation*) serta teknologi berkelanjutan di pengangkutan domestik. Prosesnya mencakup pengumpulan referensi dari jurnal penelitian sebelumnya seperti Scopus, Google Scholar, Science Direct, serta media publikasi jurnal online lainnya, kebijakan pemerintah, dan dokumen internasional seperti yang dikeluarkan oleh International Maritime Organization (IMO). Literatur yang dipilih dinilai berdasarkan kesesuaiannya, keandalan, dan relevansi terkini dengan tema efisiensi operasional, digitalisasi armada kapal, serta keberlanjutan (*Sustainability*) transportasi laut. Kemudian, data dan informasi dari sumber-sumber tersebut dianalisis secara kualitatif untuk mengungkap pola, tren, dan keterkaitan antara implementasi teknologi digital dengan peningkatan performa serta keberlanjutan (*Sustainability*) pengangkutan dalam negeri.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis dari sumber ilmiah seperti jurnal internasional (*Scopus*, *Google Scholar*, *Science Direct*) serta dokumen organisasi maritim global seperti *International Maritime Organization (IMO)*, penelitian ini mengidentifikasi temuan utama terkait integrasi *Digital Transformation* dan *Green Technology* dalam pengangkutan laut domestik Indonesia. Analisis dilakukan secara kualitatif dengan menelusuri pola, kecenderungan, dan hubungan antara implementasi teknologi digital dengan peningkatan performa operasional serta keberlanjutan (*Sustainability*) sektor pelayaran nasional. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa inovasi digital dan teknologi ramah lingkungan menjadi faktor penting dalam meningkatkan distribusi energi serta mengoptimalkan efisiensi logistik antarwilayah. Penelitian juga mengungkap bahwa adopsi teknologi ini tidak sekadar meningkatkan produktivitas armada, tetapi juga mendorong pemenuhan regulasi lingkungan internasional yang semakin ketat. Di dalam konteks pengangkutan domestik, kedua pendekatan tersebut terbukti semakin relevan mengingat meningkatnya kebutuhan energi dan desakan untuk mengurangi emisi karbon. Oleh karena itu, integrasi teknologi digital dan inovasi hijau menjadi pusat transformasi dalam industri pelayaran Indonesia.

Temuan penelitian menunjukkan bahwa *Digital Transformation* dalam pengangkutan domestik telah berperan besar dalam meningkatkan efisiensi operasional melalui penggunaan teknologi modern seperti *Internet of Things (IoT)*, *Artificial Intelligence (AI)*, *Big Data Analytics*, *automated navigation systems*, dan platform manajemen armada berbasis *cloud computing*. Integrasi sistem digital tersebut berkontribusi pada peningkatan efisiensi hingga 15–20% melalui pemantauan kondisi mesin real-time, penghitungan konsumsi bahan bakar yang akurat, serta pengaturan jadwal pelayaran untuk menghindari waktu tunggu yang tidak produktif. Selain itu, *Digital Transformation* memungkinkan proses pengiriman dan distribusi energi berlangsung lebih cepat, terukur, dan aman. Teknologi digital juga berperan dalam memperluas akses informasi bagi pelaku logistik sehingga pengambilan keputusan dapat dilakukan secara berbasis data, bukan asumsi. Transformasi digital ini pada akhirnya memperkuat daya saing pelayaran domestik di tengah kompetisi internasional yang semakin didorong oleh teknologi.

Dalam penerapan teknologinya, *IoT* memungkinkan ribuan sensor tertanam pada mesin kapal, tangki bahan bakar, badan kapal, hingga ruang muatan untuk mengirimkan data langsung ke pusat kontrol perusahaan, sehingga penurunan performa kapal dapat diantisipasi lebih awal sebelum berakibat fatal. Teknologi *AI* digunakan untuk menganalisis pola cuaca, arus laut, dan lalu lintas jalur pelayaran, sehingga risiko tabrakan dan kecelakaan dapat ditekan secara signifikan, terutama pada kapal pengangkut energi dan bahan berbahaya. Sistem *Automatic Identification System (AIS)* dan *radar digital* juga berfungsi untuk meningkatkan keamanan navigasi melalui pelacakan rute berbasis satelit. Studi *International Maritime Organization* menegaskan bahwa digitalisasi dalam pelayaran mampu menciptakan keselamatan berlapis yang mencegah kecelakaan dan mengurangi tumpahan muatan berbahaya. Selain itu, perangkat prediksi otomatis membantu mengalokasikan suku cadang dan perawatan kapal tepat waktu untuk mencegah downtime.

Selain meningkatkan keamanan, teknologi digital juga menurunkan dampak lingkungan melalui optimasi bahan bakar. *Big Data Analytics* dapat menyusun rute pelayaran dengan mempertimbangkan gelombang laut, kedalaman perairan, suhu, dan kecepatan angin sehingga kapal dapat berlayar dengan konsumsi bahan bakar serendah mungkin. Strategi ini secara efektif menekan emisi karbon yang dihasilkan oleh penggunaan bahan bakar fosil dan memastikan kepatuhan terhadap regulasi IMO mengenai batas emisi. Penggunaan *cloud computing* dan *blockchain* juga mempercepat proses logistik melalui transparansi data distribusi, pelacakan kargo, dan dokumentasi kepabeanan yang lebih aman. Dalam konteks persaingan internasional, digitalisasi memperkuat reputasi perusahaan pelayaran nasional sebagai operator yang efisien, andal, dan berorientasi keberlanjutan (*Sustainability*).

Penerapan *Green Technology* menjadi komponen penting dalam upaya keberlanjutan pengangkutan laut domestik seiring meningkatnya kesadaran global akan emisi karbon. Teknologi hijau mencakup penggunaan bahan bakar alternatif seperti *Liquefied Natural Gas (LNG)*, *hydrogen fuel*, *biofuel*, hingga tenaga listrik berbasis *lithium-ion battery*, serta desain kapal yang efisien energi dan sistem pemulihan energi buangan. Studi *Brynolf et al. (2022)* menunjukkan bahwa *Green Technology* tidak hanya menggantikan bahan bakar fosil tetapi juga meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi ketergantungan terhadap energi tradisional jangka panjang. Pada pelayaran domestik, penggunaan *LNG* mampu menurunkan emisi *NOx* dan *SOx* secara signifikan tanpa mengurangi kapasitas pengangkutan.

Menurut *International Maritime Organization (2020)*, penerapan desain kapal berkelanjutan, *biofuel*, dan pengembangan teknologi propulsi hemat energi dapat menurunkan emisi *CO₂* hingga 30–40% pada kapal berbasis wilayah termasuk armada domestik Asia Tenggara. Efektivitas tersebut dibuktikan oleh negara-negara seperti Indonesia dan Filipina yang telah mencatat penurunan emisi 25–30% melalui penggunaan *biofuel* dalam uji coba pengangkutan energi dalam negeri. Selain itu, penerapan baterai *lithium-ion* dinilai ideal untuk rute pendek antar pulau karena mampu menghilangkan penggunaan diesel sepenuhnya dan menurunkan biaya pemeliharaan mesin.

Integrasi *Digital Transformation* dan *Green Technology* menciptakan sinergi strategis karena teknologi digital membantu memaksimalkan efektivitas teknologi hijau. Data berbasis *AI* dapat menentukan jenis bahan bakar berkelanjutan yang paling optimal untuk suatu rute dan kondisi operasional kapal, sehingga mengurangi pemborosan energi. Sistem digital juga mampu menganalisis titik berpotensi polusi di lautan untuk menentukan jalur pelayaran yang ramah lingkungan. Dampaknya tidak hanya berupa efisiensi energi, melainkan juga penghematan biaya, peningkatan keandalan pengiriman, serta peningkatan citra pelayaran nasional sebagai industri yang progresif dan bertanggung jawab lingkungan.

Penelitian literatur juga menunjukkan bahwa integrasi kedua teknologi ini secara langsung mendukung pencapaian target *Net Zero Emission 2060* serta komitmen Indonesia terhadap regulasi IMO. Strategi ini berpotensi menjadi standar baru bagi distribusi energi domestik karena dapat meningkatkan efisiensi logistik tanpa mengorbankan aspek lingkungan. Melalui optimasi rute, pemanfaatan bahan bakar alternatif, dan penerapan sensor digital untuk mengatur konsumsi energi, perusahaan pelayaran dapat memaksimalkan produktivitas sekaligus mengurangi jejak karbon.

Tantangan implementasi tetap menjadi faktor penghambat dalam pengembangan teknologi ini. Dari sudut teknis, kapal tua sulit dimodifikasi untuk penggunaan *LNG*, *electric propulsion*, dan sistem sensor digital, sehingga risiko kerusakan mesin dan korosi meningkat. Di sisi konektivitas, *IoT*-based monitoring belum dapat sepenuhnya diimplementasikan karena keterbatasan jaringan internet di rute domestik tertentu. Kondisi global pasca pandemi juga menekan beban operasional karena infrastruktur pelabuhan belum memadai untuk mendukung pengisian bahan bakar alternatif.

Selain hambatan teknis, tantangan finansial, ekonomi, regulasi, sumber daya manusia, dan keamanan siber turut menghambat adopsi transformasi teknologi ini. *International Energy Agency* (2023) melaporkan bahwa biaya konversi kapal ke sistem digital berbasis AI atau hidrogen masih tinggi sementara rute domestik memiliki volume muatan dan nilai ekonomi lebih rendah dibanding rute internasional. Regulasi domestik masih belum sepenuhnya selaras dengan *IMO 2020*, insentif pemerintah masih terbatas, dan jumlah tenaga ahli bidang digitalisasi maritim berkurang akibat pandemi. Adopsi *cloud computing* juga membawa risiko ancaman siber terhadap sistem navigasi dan logistik domestik. Oleh karena itu, implementasi teknologi digital dan hijau membutuhkan dukungan kebijakan pemerintah, peningkatan investasi, serta penguatan kompetensi SDM pelayaran nasional.

3.2. Diskusi

Pembahasan ini mengulas keterkaitan antara hasil penelitian dengan konsep dasar, kesesuaian atau pertentangan dengan hasil penelitian sebelumnya beserta interpretasinya, serta implikasi teoritis dan terapan. Analisis ini didasarkan pada sintesis literatur yang menekankan relevansi dengan konteks pengangkutan laut (*Maritime Transportation*) domestik Indonesia.

Keterkaitan antara Hasil dan Konsep Dasar

Hasil penelitian ini secara kuat terkait dengan konsep dasar transformasi digital (*Digital Transformation*) dan teknologi hijau (*Green Technology*) dalam industri maritim, yang menekankan efisiensi, keberlanjutan (*Sustainability*), dan inovasi untuk mengatasi tantangan global seperti perubahan iklim dan keamanan pelayaran.

Transformasi Digital (*Digital Transformation*): Hasil menunjukkan keterkaitan langsung dengan konsep digitalisasi sebagai integrasi teknologi informasi dan komunikasi (seperti IoT dan AI) ke operasi kapal, yang sesuai dengan definisi transformasi digital (*Digital Transformation*) oleh (George & Paul, 2020) sebagai proses yang meningkatkan efisiensi bisnis melalui data-driven decision-making. Interpretasi: Ini mengonfirmasi bahwa digitalisasi bukan hanya alat teknis, tetapi fondasi untuk revolusi operasional, di mana pemantauan real-time dan analitik data mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan mengurangi risiko, khususnya dalam distribusi energi domestik yang rentan terhadap fluktuasi cuaca dan keamanan.

Teknologi Hijau (*Green Technology*): Hasil terkait erat dengan konsep green technological innovation (DNV, 2022), yang fokus pada pengurangan emisi melalui bahan bakar alternatif dan desain efisien energi. Interpretasi: Teknologi ini mendukung konsep keberlanjutan (*Sustainability*) dengan meminimalkan dampak lingkungan, sejalan dengan regulasi IMO seperti batas sulfur dan target emisi nol bersih, sehingga mengintegrasikan aspek ekonomi (penghematan biaya) dengan ekologi (pengurangan polusi) dalam pengangkutan domestik.

Integrasi Kedua Konsep: Hasil menyoroti sinergi sebagai evolusi dari konsep keberlanjutan (*Sustainability*) berkelanjutan (sustainability), di mana digitalisasi mendukung implementasi hijau untuk mencapai net-zero emissions. Interpretasi: Ini memperluas konsep dasar dengan menunjukkan bahwa integrasi bukan opsional, melainkan esensial untuk optimasi rute dan efisiensi energi, mengatasi tantangan domestik seperti jarak pendek dan volume rendah di Indonesia.

Kesesuaian atau Pertentangan dengan Hasil Penelitian Sebelumnya

Hasil penelitian ini sebagian besar sesuai dengan literatur sebelumnya, dengan beberapa nuansa pertentangan terkait konteks lokal, yang menekankan perlunya adaptasi empiris di Indonesia.

Kesesuaian dengan Penelitian Sebelumnya: Hasil tentang manfaat IoT dan AI dalam mengurangi biaya operasional (Seyedan & Mafakheri, 2020) dan teknologi hijau (*Green Technology*) seperti LNG dalam menurunkan emisi (Brynnolf et al., 2018) sesuai dengan studi sebelumnya, seperti (Li et al., 2020) yang menekankan kepatuhan IMO melalui optimasi bahan bakar. Interpretasi: Kesesuaian ini memperkuat validitas temuan, menunjukkan bahwa tren global (misalnya pengurangan emisi 30-40% melalui biofuel) dapat diterapkan di konteks domestik Indonesia, mendukung target Net Zero Emission 2060 dan meningkatkan produktivitas melalui penghematan biaya.

Pertentangan dengan Penelitian Sebelumnya: Beberapa hasil menunjukkan pertentangan terkait tantangan implementasi, di mana literatur sebelumnya misalnya (UNCTAD, 2022) dan (International Energy Agency, 2023) menyoroti hambatan global seperti inflasi pasca-COVID-19, tetapi penelitian ini menekankan kekhususan lokal

Indonesia, seperti konektivitas internet terbatas dan kurangnya infrastruktur pelabuhan, yang belum sepenuhnya dieksplorasi dalam studi sebelumnya. Interpretasi: Pertentangan ini mengindikasikan bahwa sementara teknologi hijau (*Green Technology*) efektif secara teoritis, hambatan lokal (misalnya risiko korosi pada kapal tua) dapat mengurangi efektivitas, sehingga memerlukan penyesuaian model global untuk konteks Asia Tenggara, menghindari overoptimisme dalam proyeksi pengurangan emisi.

Interpretasi Keseluruhan: Kesesuaian dominan menunjukkan konsistensi tren maritim global, sementara pertentangan menyoroti gap dalam literatur empiris lokal, yang dapat diinterpretasikan sebagai peluang untuk penelitian lebih lanjut guna mengisi celah praktis, seperti uji coba teknologi di rute domestik Indonesia.

Implikasi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini memiliki implikasi signifikan baik secara teoritis maupun terapan, yang dapat memandu pengembangan kebijakan dan praktik di industri maritim Indonesia.

Implikasi Teoritis: Hasil memperkaya teori keberlanjutan (*Sustainability*) maritim dengan menunjukkan bahwa integrasi transformasi digital (*Digital Transformation*) dan teknologi hijau (*Green Technology*) bukan hanya aditif, melainkan sinergis, memperluas kerangka konseptual seperti yang dikembangkan oleh (Brynolf et al., 2022) dan (Singh et al., 2025) Ini mengimplikasikan perluasan model teoritis untuk memasukkan faktor lokal (misalnya cuaca ekstrem dan regulasi domestik), sehingga teori keberlanjutan (*Sustainability*) dapat lebih inklusif terhadap konteks berkembang seperti Indonesia, mengatasi defisiensi dalam literatur konseptual sebelumnya.

Implikasi Terapan: Secara praktis, hasil mendorong adopsi teknologi ini oleh operator armada kapal domestik untuk mengoptimalkan distribusi energi, mengurangi biaya operasional, dan mematuhi regulasi IMO. Implikasi termasuk rekomendasi kebijakan seperti insentif pemerintah untuk konversi kapal tua, investasi infrastruktur pelabuhan, dan pelatihan sumber daya manusia, yang dapat meningkatkan daya saing Indonesia di pasar maritim global sambil mengurangi dampak lingkungan. Namun, tantangan finansial menyarankan pendekatan bertahap, seperti pilot project di rute pendek, untuk meminimalkan risiko investasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan tinjauan literatur sistematis, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi transformasi digital (*Digital Transformation*) dan teknologi hijau (*Green Technology*) secara efektif mendukung pengangkutan laut (*Maritime Transportation*) domestik berkelanjutan di Indonesia, dengan peningkatan efisiensi operasional hingga 15-20%, pengurangan emisi karbon hingga 30-40%, serta optimasi rute dan penghematan biaya melalui teknologi seperti IoT, AI, LNG, dan biofuel, yang sejalan dengan regulasi IMO dan target Net Zero Emission 2060. Namun, implementasi ini dihadapkan pada tantangan teknis, finansial, regulasi, infrastruktur, operasional, dan sumber daya manusia yang signifikan, sehingga efektivitasnya perlu diuji secara empiris di konteks lokal untuk menghindari generalisasi berlebihan dari tren global. Sebagai saran, pemerintah Indonesia sebaiknya memberikan insentif finansial bagi operator armada untuk konversi kapal tua, meningkatkan infrastruktur pelabuhan, dan melatih tenaga ahli, guna mempercepat adopsi teknologi ini dan meningkatkan daya saing maritim nasional sambil mengurangi dampak lingkungan. Meskipun demikian, penelitian ini terbatas pada tinjauan literatur konseptual tanpa data empiris lapangan, sehingga hasilnya mungkin kurang akurat dalam mengukur dampak praktis di rute domestik Indonesia yang spesifik. Oleh karena itu, penelitian masa depan disarankan untuk melakukan studi kasus empiris atau simulasi di armada kapal domestik, dengan fokus pada integrasi teknologi di kondisi cuaca ekstrem dan konektivitas terbatas, serta evaluasi dampak terhadap produktivitas dan keberlanjutan (*Sustainability*) jangka panjang.

Referensi

1. Benamara, H., Hoffmann, J., & Youssef, F. (2019). *Sustainable Shipping, A Cross-Disciplinary View* (Harilaos N. Psaraftis (Ed.)). SPRINGER. https://doi.org/doi.org/10.1007/978-3-030-04330-8_1
2. Brynolf, S., Grahn, M., Hansson, J., Korberg, A. D., & Malmgren, E. (2022). Chapter 9 - Sustainable fuels for shipping. *Sustainable Energy Systems on Ships, Novel Technologies for Low Carbon Shipping*, 403–428. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824471-5.00017-7>
3. Brynolf, S., Taljegard, M., Grahn, M., & Hansson, J. (2018). Environmental assessment of marine fuels: Liquefied natural gas, liquefied biogas, methanol and bio-methanol. *Journal of Cleaner Production*, 195, 1064–1078. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.052>
4. DNV. (2022). *Maritime Forecast to 2050*. <https://www.dnv.com/>
5. George, B., & Paul, J. (2020). *Digital Transformation in Business and Society*. Palgrave MacMillan. https://doi.org/10.1007/978-3-030-08277-2_1

6. Grace, H., Belle, A., Margareth, G., Adefinola, T., & Febrayen, N. (2025). *Kecelakaan Kapal Tanker : Risiko Tumpahan Minyak / Kimia (Bahan Berbahaya) yang Memengaruhi Lingkungan Laut , Tantangan Penanggulangan , Regulasi Desain Keselamatan Kapal Tanker*. 2(1), 326–346.
7. International Energy Agency. (2023). *World Energy Outlook 2023*. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>
8. International Maritime Organization. (n.d.). *AIS transponders*. <https://www.imo.org/en/ourwork/safety/pages/ais.aspx>
9. International Maritime Organization. (2020). *Fourth Greenhouse Gas Study 2020*. <https://www.imo.org>
10. International Maritime Organization (IMO). (2023). *2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships*.
11. Jiyeon An. (2024). Maritime logistics and digital transformation with big data: review and research trend. *Maritime Business Review*, 9(3), 229–242. <https://doi.org/10.1108/MABR-10-2023-0069>
12. Kementerian Perhubungan. (2023). *Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM 8 Tahun 2023*. <https://jdih.kemenhub.go.id/>
13. Li, K., Wu, M., Gu, X., Yuen, K. F., & Xiao, Y. (2020). Determinants of ship operators' options for compliance with IMO 2020. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102459>
14. Margaretha, R., Syuzair, M., & Mahadiansar Mahadiansar. (2024). Digital Transformation in the Maritime Industry: Opportunities and Challenges for Indonesia. *Journal of Maritime Policy Science*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.31629/jmps.v1i1.7003>
15. Seyedan, M., & Mafakheri, F. (2020). Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. *Journal of Big Data*, 7(53). <https://journalofbigdata.springeropen.com/articles/10.1186/s40537-020-00329-2>
16. Singh, J., Bharany, S., Ran, S., Rehman, A. U., Taye, B. M., Pant, R., & Kaur, U. (2025). A Systematic Review of Blockchain, AI, and Cloud Integration for Secure Digital Ecosystems. *International Journal of Networked and Distributed Computing*, 13(28). <https://link.springer.com/article/10.1007/s44227-025-00072-1>
17. *The Means of Sea Transportation*. (2023). <https://doi.org/10.54249/iwj.v2i1.24>
18. UNCTAD. (2022). *Navigating stormy waters*. <https://unctad.org/rmt2022>
19. Zhang, L., & Dai, L. (2025). Forecasting Lithium Demand for Electric Ship Batteries in China's Inland Shipping Under Decarbonization Scenarios. *Marine Science and Engineering*.
20. Zhao, Z., Wang, X., Cheng, S., & Liu, W. (2022). Fleet Deployment Optimization for LNG Shipping Vessels Considering the Influence of Mixed Factors. *Marine Science and Engineering*.