



DOI: <https://doi.org/10.38035/jmpis.v6i6>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Menavigasi Peran *Green Logistics*, Teknologi Inovasi, Efisiensi Organisasi Logistik Terhadap Kinerja Operasi PT Pelabuhan Indonesia di Tanjung Priok Melalui Kinerja Transportasi Laut

Adryany Hamidin^{1*}, Saptono Kudanu Waskito², Melia Eka Lestiani³

¹Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia,
adry_seaman@yahoo.com

²Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia

³Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung, Indonesia

*Corresponding Author: adry_seaman@yahoo.com

Abstract: *The role of green logistics, technological innovation, and logistics organizational efficiency is crucial amidst global pressure on port operational sustainability and efficiency. This research is motivated by high carbon emissions at Tanjung Priok Port and the suboptimal effectiveness of green logistics practices and digitalization on operational performance. The purpose of this study is to analyze how these three variables affect the operational performance of PT Pelabuhan Indonesia (Persero) through sea transportation performance as a mediating variable. Using a quantitative approach with the Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) method, this study examines the relationship between variables with a sample of 200 respondents from logistics managers and staff at PT Pelabuhan Indonesia, Tanjung Priok. The results show that technological innovation and logistics organizational efficiency have a positive and significant effect on sea transportation performance and indirectly improve operational performance. However, an important finding is that green logistics does not have a significant effect on sea transportation performance. In conclusion, the improvement in port operational performance is mainly driven by technological innovation and organizational efficiency, while the implementation of green logistics still needs to be strengthened to provide a real impact.*

Keywords: *Green Logistics, Technological Innovation, Efficiency of Logistics Organization, Operational Performance, Maritime Transportation Performance*

Abstrak: Peran *green logistics*, inovasi teknologi, dan efisiensi organisasi logistik menjadi aspek krusial di tengah tekanan global terhadap keberlanjutan dan efisiensi operasional pelabuhan. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh tingginya emisi karbon di Pelabuhan Tanjung Priok dan belum optimalnya efektivitas praktik logistik hijau dan digitalisasi terhadap kinerja operasional. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis bagaimana ketiga variabel tersebut memengaruhi kinerja operasional PT Pelabuhan Indonesia melalui kinerja transportasi laut sebagai variabel mediasi. Menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), penelitian ini menguji hubungan

antar variabel dengan sampel 200 responden dari manajer dan staf logistik di PT Pelabuhan Indonesia, Tanjung Priok. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inovasi teknologi dan efisiensi organisasi logistik berpengaruh positif dan signifikan terhadap kinerja transportasi laut dan secara tidak langsung meningkatkan kinerja operasional. Namun, temuan pentingnya adalah *green logistics* tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja transportasi laut. Kesimpulannya, peningkatan kinerja operasional pelabuhan utamanya didorong oleh inovasi teknologi dan efisiensi organisasi, sementara implementasi *green logistics* masih perlu diperkuat untuk memberikan dampak nyata.

Kata Kunci: *Green Logistics*, Inovasi Teknologi, Efisiensi Organisasi Logistik, Kinerja Operasional, Kinerja Transportasi Laut

PENDAHULUAN

Dalam menghadapi tekanan global terhadap keberlanjutan dan efisiensi logistik, pelabuhan-pelabuhan besar di dunia mulai bertransformasi menjadi *green ports*. Pelabuhan Tanjung Priok sebagai pelabuhan utama di Indonesia menghadapi tantangan serupa. Salah satu isu paling krusial yang dihadapi pelabuhan ini adalah tingginya emisi karbon yang ditimbulkan dari aktivitas bongkar muat, kapal bersandar, serta penggunaan alat berat konvensional. Berdasarkan laporan Otoritas Pelabuhan Tanjung Priok, aktivitas operasional di Terminal Petikemas Priok menghasilkan lebih dari 150.000 ton emisi karbon (CO₂) per tahun, terutama dari mesin kapal yang tetap menyala saat bersandar dan alat bongkar muat berbahan bakar fosil (OceanWeek, 2024). Hal ini menegaskan urgensi bagi PT Pelabuhan Indonesia untuk menavigasi strategi *green logistics* demi mengurangi jejak ekologis sekaligus meningkatkan efisiensi.

Penerapan *green logistics* menjadi pendekatan penting dalam merespons permasalahan emisi tersebut. Green logistics mengacu pada praktik logistik yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan, seperti efisiensi bahan bakar, elektrifikasi alat berat, dan optimalisasi rute distribusi (McKinnon et al., 2021). Indikator green logistics mencakup: (1) pengurangan emisi CO₂, (2) konsumsi energi ramah lingkungan, (3) penggunaan kendaraan rendah emisi, (4) rute distribusi optimal, (5) sistem manajemen limbah, (6) teknologi pengemasan ramah lingkungan, (7) sertifikasi lingkungan (ISO 14001), dan (8) efisiensi penggunaan sumber daya (Narashima et al., 2022; Mahmud et al., 2024). Studi Mahmud et al. (2024) menunjukkan bahwa praktik green port management berperan positif dalam menurunkan waktu tunggu kapal dan emisi pelabuhan di Asia.

Namun, transisi ke pelabuhan berkelanjutan tidak hanya bergantung pada aspek lingkungan. Inovasi teknologi memainkan peran sentral dalam mempercepat transformasi tersebut. Teknologi seperti Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), dan *Terminal Operating System* (TOS) memungkinkan otomatisasi proses bongkar muat, pelacakan kontainer secara real-time, dan prediksi waktu kedatangan kapal. Menurut Tidd dan Bessant (2021), indikator inovasi teknologi terdiri dari: (1) produk baru berbasis teknologi, (2) peningkatan fitur layanan, (3) efisiensi produksi, (4) otomatisasi digital, (5) reposisi layanan digital, (6) adopsi e-service, (7) model bisnis berbasis AI, dan (8) strategi transformasional melalui teknologi. Penelitian Zhang et al. (2024) menegaskan bahwa digitalisasi dan inovasi berkontribusi pada peningkatan efisiensi transportasi laut di pelabuhan besar Tiongkok.

Selain itu, efisiensi organisasi logistik merupakan fondasi utama dalam mendukung penerapan teknologi dan strategi keberlanjutan. Christopher dan Holweg (2022) menjelaskan bahwa efisiensi organisasi logistik mencakup: (1) efisiensi penggunaan aset, (2) efisiensi tenaga kerja, (3) lead time logistik, (4) ketepatan pengiriman, (5) biaya logistik per unit, (6) rasio biaya operasional, (7) kecepatan respons pasar, (8) fleksibilitas alokasi sumber daya.

Tanpa tata kelola organisasi yang efisien, strategi inovasi maupun green logistics cenderung tidak menghasilkan dampak maksimal terhadap kinerja operasional. Kinerja transportasi laut sebagai variabel mediasi dalam penelitian ini menjadi refleksi dari efektivitas proses logistik antarpelabuhan. Menurut Notteboom dan Pallis (2021), indikatornya meliputi: (1) waktu sandar kapal, (2) utilisasi dermaga, (3) ketepatan kedatangan kapal, (4) deviasi waktu bongkar muat, (5) jumlah insiden pelayaran, (6) tingkat kehilangan barang, (7) kepuasan pengguna jasa, (8) kecepatan penanganan kontainer, (9) efisiensi alur pengapalan, dan (10) kualitas layanan maritim.

Sementara itu, kinerja operasional pelabuhan sebagai variabel dependen diregulasi langsung oleh Otoritas Pelabuhan Utama Tanjung Priok melalui Peraturan Kepala OP Nomor HK 206/3/8/OP.TPK 22. Indikator yang ditetapkan meliputi: (1) waktu tunggu kapal (WT), (2) waktu pemanduan (AT), (3) ET/BT, (4) produktivitas bongkar muat, (5) receiving/delivery, (6) BOR, (7) SOR, (8) YOR, (9) kesiapan alat bongkar muat, (10) kepuasan pelanggan, dan (11) efisiensi energi (oppriok.dephub.go.id, 2024). Capaian ini menjadi tolok ukur kinerja terminal, termasuk milik PT Pelabuhan Indonesia di Tanjung Priok. Permasalahan empiris menunjukkan bahwa meskipun PT Pelindo telah mengadopsi sistem digital dan praktik ramah lingkungan terbatas, efektivitasnya terhadap peningkatan kinerja operasional belum optimal. Hal ini tercermin dalam data tahun 2023, di mana waktu tunggu kapal masih berkisar 17 jam dan BOR mencapai 72%, menunjukkan potensi kemacetan dermaga dan ketidakefisienan alur bongkar muat (OceanWeek, 2023). Selain itu, belum meratanya integrasi teknologi digital antar unit operasional menyebabkan fragmentasi informasi dan pengambilan keputusan yang lambat.

Dari sisi akademik, gap penelitian masih terlihat pada keterbatasan studi yang menggabungkan *green logistics*, *technological innovation*, dan *logistics organizational efficiency* secara simultan dengan *kinerja operasional pelabuhan*, khususnya dengan pendekatan model mediasi *kinerja transportasi laut*. Sebagian besar studi terdahulu hanya menganalisis pengaruh langsung satu variabel terhadap efisiensi pelabuhan (Kurniawan et al., 2022; Nguyen et al., 2023), tanpa menjelaskan jalur kompleks melalui transportasi laut sebagai mediator penting. Padahal, performa laut menjadi penghubung utama antara input logistik dan outcome layanan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana green logistics, inovasi teknologi, dan efisiensi organisasi logistik memengaruhi kinerja operasional PT Pelindo di Pelabuhan Tanjung Priok dengan mempertimbangkan peran mediasi kinerja transportasi laut. Model penelitian akan dianalisis menggunakan pendekatan *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM) agar dapat mengidentifikasi hubungan langsung, tidak langsung, serta kekuatan jalur pengaruh secara komprehensif. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoretis dalam pengembangan model integratif logistik pelabuhan, serta rekomendasi praktis bagi manajemen PT Pelindo dan regulator pelabuhan dalam merancang strategi keberlanjutan dan efisiensi jangka panjang. Di sisi lain, *state of the art* yang membedakan penelitian ini dari studi sebelumnya disajikan sebagai berikut:

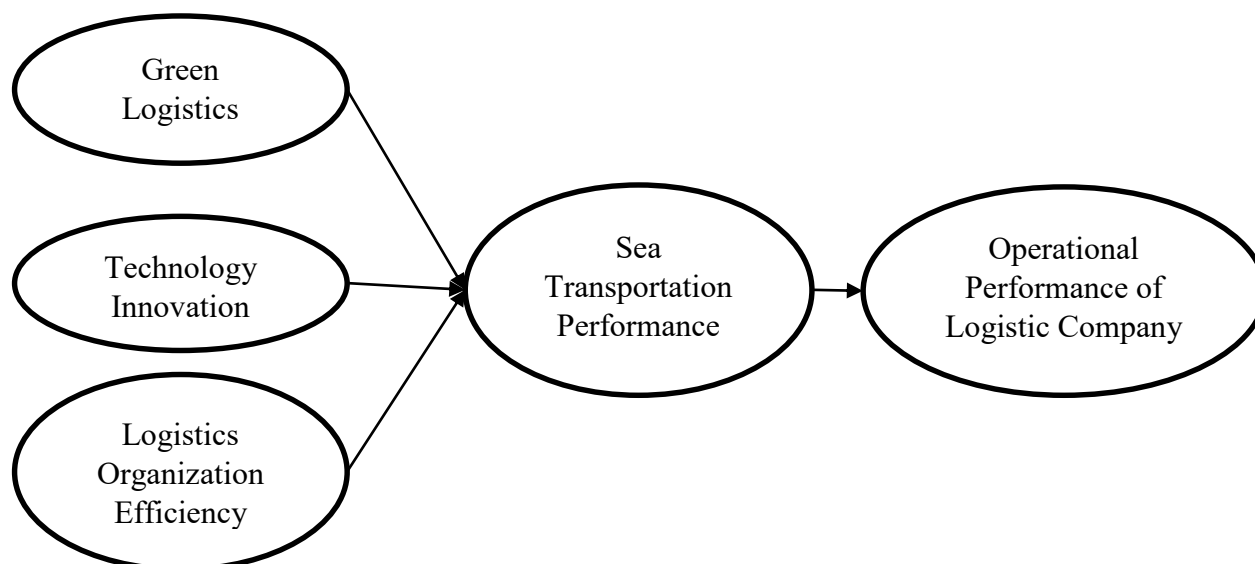
1. Hingga saat ini, belum terdapat penelitian empiris yang secara simultan menguji pengaruh *green logistics*, *teknologi inovasi*, dan *efisiensi organisasi logistik* terhadap *kinerja operasional* melalui *kinerja transportasi laut* sebagai variabel mediasi dalam konteks operasional pelabuhan laut utama di Indonesia, khususnya di Pelabuhan Tanjung Priok.
2. Studi sebelumnya cenderung mengkaji secara parsial, misalnya hanya hubungan antara *green logistics* dan efisiensi lingkungan, atau antara *inovasi teknologi* dan kecepatan layanan, tanpa mempertimbangkan peran interdependen antar ketiganya terhadap outcome kinerja operasional pelabuhan secara utuh.

3. Penelitian terdahulu lebih banyak dilakukan pada konteks pelabuhan di negara maju (China, Korea, Eropa), sedangkan konteks Indonesia yang memiliki dinamika infrastruktur, regulasi, dan kesiapan SDM berbeda masih kurang diangkat secara mendalam dalam literatur ilmiah.
4. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Partial Least Squares Structural Equation Modeling* (PLS-SEM), yang memungkinkan pengujian jalur pengaruh langsung dan tidak langsung secara bersamaan, sehingga memberikan kontribusi metodologis yang lebih kuat dibanding studi sebelumnya yang dominan menggunakan regresi linier sederhana atau studi deskriptif.
5. Penelitian ini secara spesifik mengacu pada regulasi terbaru Otoritas Pelabuhan Tanjung Priok (HK 206/3/8/OP.TPK 22) sebagai dasar penilaian indikator kinerja operasional, yang belum dijadikan acuan dalam kajian akademik sebelumnya di Indonesia.
6. Dengan mengambil studi kasus pada PT Pelabuhan Indonesia di Tanjung Priok, penelitian ini memberikan kontribusi praktis yang relevan bagi pengambil kebijakan dan manajemen pelabuhan dalam merancang strategi logistik berkelanjutan yang berbasis data empiris dan kerangka teoritis mutakhir.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini digunakan untuk menganalisis hubungan antar variabel dalam model penelitian yang telah ditetapkan. Menurut Sugiyono (2021), metode kuantitatif adalah metode yang digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu dengan tujuan menguji hipotesis dan menghasilkan generalisasi yang dapat diterapkan pada populasi yang lebih luas. Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan bersifat numerik dan dianalisis secara statistik menggunakan pendekatan *Structural Equation Modeling–Partial Least Squares* (SEM–PLS). Variabel penelitian ini meliputi *Green Logistics*, inovasi teknologi, dan kapabilitas organisasi sebagai variabel independen, keberlanjutan operasional transportasi laut sebagai variabel dependen, dan efisiensi operasional sebagai variabel mediasi.

Model penelitian ini diolah menggunakan pendekatan SEM-PLS karena model ini dinilai tepat untuk menguji hubungan kausal kompleks antar variabel laten yang memiliki indikator reflektif dan format data yang tidak harus berdistribusi normal. Menurut Hair et al. (2021), SEM-PLS sangat sesuai untuk penelitian prediktif dan eksploratif dengan ukuran sampel sedang hingga besar, serta mampu menguji pengaruh langsung dan tidak langsung antar variabel. Penelitian ini dilakukan pada PT Pelabuhan Indonesia di Tanjung Priok sebagai studi kasus, dengan alasan bahwa pelabuhan ini merupakan pelabuhan tersibuk di Indonesia yang menjadi pusat utama aktivitas logistik nasional. Data dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner kepada responden yang terdiri atas manajer operasional, staf logistik, dan personel teknis pelabuhan. Teknik analisis data dilakukan dalam tiga tahap: evaluasi outer model (validitas dan reliabilitas), evaluasi inner model (uji hubungan antar variabel), dan uji hipotesis (uji t-statistik dan p-value).



Gambar 1. Model Penelitian

Jumlah sampel minimum menurut Hair et al. (2014) dalam penelitian ini adalah 10×20 (indikator) = 200 responden yang bekerja sebagai adalah manajer logistik dan operasional dari perusahaan pelayaran, operator pelabuhan, serta staf teknis di unit transportasi laut di PT Pelabuhan Indonesia, Tanjung Priok, Jakarta.

Hipotesis

- H1 : Ada pengaruh positif dan signifikan Green Logistics terhadap Sea Transportation Performance
- H2 : Ada pengaruh positif dan signifikan Inovasi Teknologi terhadap Sea Transportation Performance
- H3 : Ada pengaruh positif dan signifikan Logistics Organization Efficiency terhadap Sea Transportation Performance
- H4 : Ada pengaruh positif dan signifikan Sea Transportation Performance terhadap Operational Performance of Logistic Company
- H5 : Ada pengaruh positif dan signifikan Green Logistics terhadap Operational Performance of Logistic Company melalui Sea Transportation Performance
- H6 : Ada pengaruh positif dan signifikan Inovasi Teknologi terhadap Operational Performance of Logistic Company melalui Sea Transportation Performance
- H5 : Ada pengaruh positif dan signifikan Logistics Organization Efficiency terhadap Operational Performance of Logistic Company melalui Sea Transportation Performance

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian outer model bertujuan untuk memastikan bahwa indikator-indikator yang digunakan dalam mengukur setiap konstruk dalam model penelitian telah memenuhi syarat validitas dan reliabilitas. Dalam konteks PLS-SEM, validitas indikator dikonfirmasi melalui nilai *outer loading* (≥ 0.70), validitas konstruk melalui nilai *Average Variance Extracted* (AVE ≥ 0.50), sedangkan reliabilitas diuji melalui nilai *Cronbach's Alpha* (≥ 0.60) dan *Composite Reliability* (≥ 0.70) sebagaimana disarankan oleh Hair et al. (2020).

Tabel 1. Hasil Outer Model

Variabel	Indikator	Outer Loading	Cronbach's alpha	Composite reliability	AVE
Green Logistics	GL1	0.92	0.729	0.848	0.539

	GL2	0.758			
	GL3	0.828			
	GL4	0.853			
	GL5	0.849			
	GL6	0.781			
	GL7	0.818			
	GL8	0.705			
Logistics Organization Efficiency	LOE1	0.755	0.862	0.883	0.507
	LOE2	0.761			
	LOE3	0.753			
	LOE4	0.769			
Operational Performance Logistics Company	LOE5	0.702	0.954	0.955	0.688
	LOE6	0.826			
	LOE7	0.824			
	LOE8	0.768			
	OPLC1	0.778			
	OPLC10	0.858			
	OPLC11	0.858			
	OPLC2	0.821			
	OPLC3	0.881			
	OPLC4	0.797			
	OPLC5	0.888			
	OPLC6	0.76			
	OPLC7	0.86			
	OPLC8	0.811			
	OPLC9	0.8			
Sea Transportation Performance	STP1	0.734	0.895	0.914	0.524
	STP10	0.772			
	STP2	0.794			
	STP3	0.72			
	STP4	0.756			
	STP5	0.849			
	STP6	0.809			
	STP7	0.815			
	STP8	0.8			
	STP9	0.752			
Technological Innovation	TI1	0.753	0.866	0.867	0.518
	TI2	0.881			
	TI3	0.753			
	TI4	0.719			
	TI5	0.731			
	TI6	0.753			
	TI7	0.768			
	TI8	0.832			

Berdasarkan hasil pengujian outer model yang ditampilkan pada Tabel 1, seluruh konstruk dalam penelitian telah memenuhi kriteria validitas dan reliabilitas yang disarankan dalam analisis PLS-SEM. Seluruh nilai outer loading berada di atas ambang batas 0.70, menunjukkan bahwa masing-masing indikator memiliki kontribusi yang kuat terhadap konstruk yang diukurnya. Nilai Average Variance Extracted (AVE) untuk seluruh variabel juga melampaui nilai minimum 0.50, yang mengindikasikan validitas konvergen terpenuhi dan variabel dapat menjelaskan lebih dari 50% varians dari indikator-indikatornya. Dari sisi

reliabilitas, seluruh konstruk menunjukkan nilai Cronbach's Alpha ≥ 0.729 dan Composite Reliability ≥ 0.848 , yang menunjukkan bahwa alat ukur memiliki konsistensi internal yang tinggi dan dapat diandalkan. Secara keseluruhan, hasil ini mengkonfirmasi bahwa model pengukuran dalam penelitian ini telah memenuhi syarat validitas dan reliabilitas yang memadai untuk dilanjutkan ke pengujian inner model.

Selanjutnya dilakukan evaluasi inner model bertujuan untuk mengukur kekuatan hubungan antar konstruk serta kemampuan prediktif model. Indikator yang digunakan antara lain adalah *R-square adjusted* (untuk mengetahui seberapa besar variabel independen menjelaskan variabel dependen), *f-square* (untuk menilai besar pengaruh masing-masing prediktor), dan *Q-square* (untuk mengukur relevansi prediktif). Menurut Chin (1998) dan Hair et al. (2020), nilai R^2 sebesar 0.75 (substantial), 0.50 (moderate), dan 0.25 (weak); sedangkan Q^2 di atas 0 menunjukkan predictive relevance, dan untuk f^2 : 0.02 (kecil), 0.15 (sedang), 0.35 (besar).

Tabel 2. Hasil Inner Model

Path	f-square	R-square adjusted	Q ²
Green Logistics -> Sea Transportation Performance	0.012		
Logistics Organization Efficiency -> Sea Transportation Performance	0.292	0.686	0.342
Technology Innovation -> Sea Transportation Performance	0.068		
Sea Transportation Performance -> Operational Performance Logistics Company	2.678	0.727	0.497

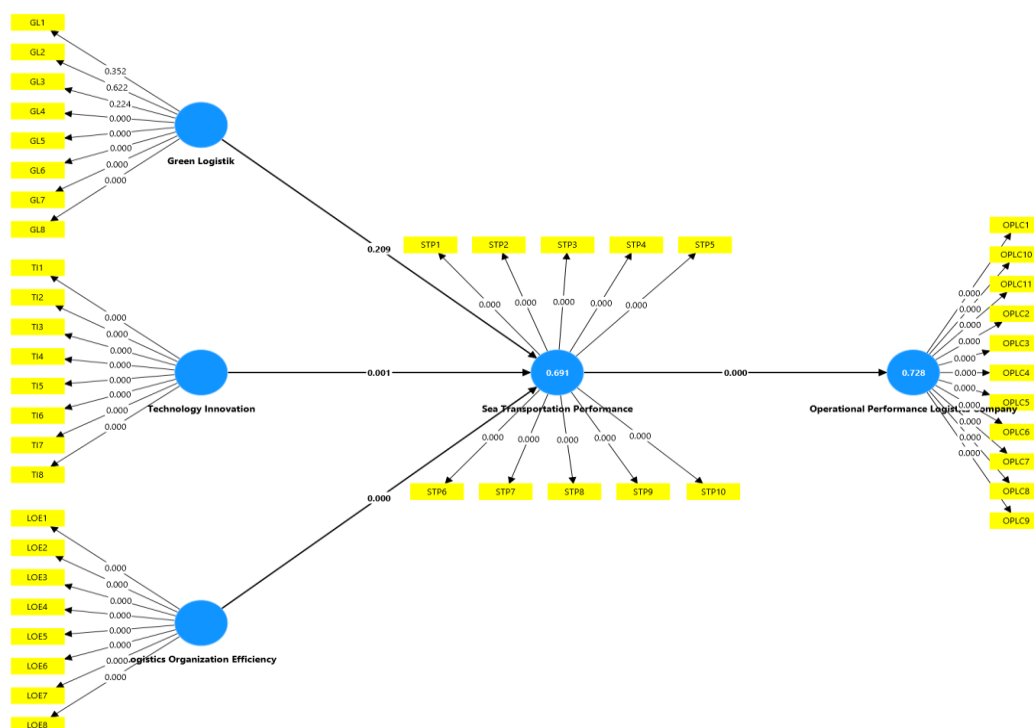
Hasil evaluasi inner model pada Tabel 2 menunjukkan bahwa model struktural memiliki daya jelas dan relevansi prediktif yang baik. Nilai *R-square adjusted* sebesar 0.686 pada konstruk *Sea Transportation Performance* dan 0.727 pada *Operational Performance Logistics Company* menunjukkan bahwa variabel-variabel independen mampu menjelaskan variasi konstruk dependen secara moderat hingga substansial sesuai dengan kriteria Chin (1998). Nilai *Q-square* masing-masing sebesar 0.342 dan 0.497 mengindikasikan bahwa model memiliki *predictive relevance* yang kuat. Dari sisi *f-square*, pengaruh *Logistics Organization Efficiency* terhadap *Sea Transportation Performance* bernilai 0.292 (efek sedang), sedangkan *Technology Innovation* memiliki pengaruh kecil (0.068), dan *Green Logistics* memiliki pengaruh sangat kecil (0.012). Sementara itu, *Sea Transportation Performance* memberikan pengaruh sangat besar terhadap *Operational Performance Logistics Company* dengan $f^2 = 2.678$. Temuan ini menunjukkan bahwa efektivitas transportasi laut memainkan peran mediasi yang sangat kuat dalam meningkatkan kinerja operasional logistik, sementara kontribusi langsung green logistics relatif lemah dalam konteks ini. Kemudian pada pengujian hipotesis dalam model PLS-SEM dilakukan melalui analisis *path coefficient*, nilai *t-statistic*, dan *p-value*. Hipotesis diterima jika nilai $t > 1.96$ dan $p\text{-value} < 0.05$ pada tingkat signifikansi 5% (Hair et al., 2020). Tabel berikut menampilkan hasil uji hipotesis baik langsung maupun tidak langsung antara variabel bebas, mediasi, dan dependen.

Tabel 3. Hasil Uji Hipotesis

Hipotesis	Original sample	T statistics	P values	Keputusan
Pengaruh Langsung				
H1 Green Logistics -> Sea Transportation Performance	0.084	1.258	0.209	Ditolak

H2	Technology Innovation -> Sea Transportation Performance	0.265	3.449	0.001	Diterima
H3	Logistics Organization Efficiency -> Sea Transportation Performance	0.54	6.609	0.000	Diterima
H4	Sea Transportation Performance -> Operational Performance Logistics Company	0.853	33.635	0.000	Diterima
Pengaruh Tak Langsung					
H5	Green Logistics -> Sea Transportation Performance -> Operational Performance Logistics Company	0.071	1.248	0.212	Ditolak
H6	Technology Innovation -> Sea Transportation Performance -> Operational Performance Logistics Company	0.226	3.368	0.001	Diterima
H7	Logistics Organization Efficiency -> Sea Transportation Performance -> Operational Performance Logistics Company	0.461	6.636	0.000	Diterima

Berdasarkan Tabel 3, hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa tidak semua jalur pengaruh dalam model penelitian ini signifikan secara statistik. Dari empat pengaruh langsung yang diuji, hanya H1 yang ditolak karena nilai $p = 0.209 > 0.05$ dan nilai $t = 1.258 < 1.96$, menandakan bahwa *Green Logistics* tidak berpengaruh signifikan terhadap *Sea Transportation Performance*. Sebaliknya, H2 dan H3 diterima karena *Technology Innovation* ($p = 0.001$; $t = 3.449$) dan *Logistics Organization Efficiency* ($p = 0.000$; $t = 6.609$) memiliki pengaruh signifikan terhadap *Sea Transportation Performance*. Sementara itu, H4 menunjukkan pengaruh yang sangat kuat dari *Sea Transportation Performance* terhadap *Operational Performance Logistics Company* ($p = 0.000$; $t = 33.635$). Pada pengaruh tak langsung, H5 ditolak karena tidak signifikan ($p = 0.212$), sedangkan H6 dan H7 diterima dengan nilai p masing-masing 0.001 dan 0.000, serta nilai $t > 3$, yang menegaskan bahwa *Technology Innovation* dan *Logistics Organization Efficiency* mampu meningkatkan kinerja operasional logistik melalui peran mediasi kinerja transportasi laut. Hasil ini menyoroti pentingnya efisiensi organisasi dan inovasi teknologi sebagai pendorong utama kinerja pelabuhan, sedangkan kontribusi *green logistics* masih belum optimal. Berdasarkan hipotesis diatas, kerangka model hasil SEM PLS disajikan dalam paragraf dibawah ini.



Gambar 2. Result Research Model

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dari tiga variabel independen yang diuji terhadap kinerja transportasi laut, hanya green logistics yang tidak berpengaruh signifikan ($p = 0.209$). Hal ini mencerminkan bahwa implementasi praktik logistik hijau di Pelabuhan Tanjung Priok belum mampu mendorong perbaikan kinerja transportasi laut secara nyata. Temuan ini sejalan dengan studi Mahmud et al. (2024) yang menyoroti bahwa green port management di pelabuhan Asia kerap menghadapi kendala struktural dan keterbatasan teknologi yang menghambat perbaikan langsung pada efisiensi operasional pelabuhan. Selain itu, studi Hassan et al. (2023) di Port Said mengungkapkan bahwa green freight approach belum memberikan dampak signifikan terhadap efisiensi karena lemahnya integrasi sistem transportasi ramah lingkungan (Mahmud et al., 2024; Hassan et al., 2023).

Sebaliknya, teknologi inovasi terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja transportasi laut ($t = 3.449$; $p = 0.001$), dan secara tidak langsung juga meningkatkan kinerja operasional perusahaan logistik ($t = 3.368$; $p = 0.001$). Hal ini menegaskan pentingnya digitalisasi pelabuhan, termasuk penggunaan Internet of Things (IoT), sistem prediksi kedatangan kapal, serta sistem informasi pelabuhan terintegrasi. Studi Sim et al. (2024) di Busan Port membuktikan bahwa implementasi AI-based metaverse system dapat meningkatkan produktivitas pelabuhan hingga 79% dan menambah efisiensi transportasi laut secara signifikan. Temuan ini juga diperkuat oleh Yoon et al. (2023) yang menunjukkan bahwa pemodelan rute pelayaran historis mampu memprediksi ETA kapal dengan lebih akurat dan berdampak langsung pada turnaround time pelabuhan (Sim et al., 2024; Yoon et al., 2023).

Efisiensi organisasi logistik menunjukkan pengaruh paling kuat terhadap kinerja transportasi laut ($t = 6.609$; $p = 0.000$) dan secara tidak langsung mendorong kinerja operasional logistik ($t = 6.636$; $p = 0.000$). Efisiensi organisasi logistik meliputi utilisasi sumber daya, ketepatan waktu, efisiensi biaya, dan responsivitas terhadap dinamika pasar. Menurut Christopher & Holweg (2022), efisiensi logistik dicapai ketika organisasi mampu meminimalkan pemborosan dan memaksimalkan pemanfaatan aset, proses, serta informasi. Studi oleh Lai et al. (2020) juga menegaskan bahwa integrasi keputusan kolaboratif dalam organisasi logistik meningkatkan layanan kontainer secara signifikan di perusahaan pelayaran Taiwan, yang kontekstual untuk pelabuhan seperti Tanjung Priok yang berfungsi sebagai hub

utama di Indonesia (Christopher & Holweg, 2022; Lai et al., 2020).

Temuan penting lainnya adalah peran mediasi dari kinerja transportasi laut terhadap hubungan antara teknologi inovasi dan efisiensi organisasi logistik terhadap kinerja operasional perusahaan. Jalur ini terbukti signifikan ($t > 3$; $p < 0.01$) dan menunjukkan bahwa investasi pada teknologi serta pembenahan struktur logistik internal akan meningkatkan efisiensi layanan transportasi laut, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan produktivitas pelabuhan. Hal ini senada dengan konsep dari Notteboom & Pallis (2021) yang menekankan bahwa empat dimensi utama transportasi laut efisiensi, ketepatan waktu, keamanan, dan pelayanan merupakan indikator utama dalam menilai keberhasilan operasional pelabuhan. Studi oleh Alzate et al. (2024) juga menegaskan bahwa pelabuhan pintar (smart port) yang menerapkan efisiensi internal dan transformasi digital menunjukkan kinerja operasional superior dibanding pelabuhan konvensional (Notteboom & Pallis, 2021; Alzate et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memberikan masukan strategis bagi PT Pelabuhan Indonesia, khususnya di Tanjung Priok, untuk memfokuskan intervensi pada penguatan sistem inovasi teknologi dan efisiensi organisasi logistik sebagai motor utama peningkatan performa layanan laut. Sementara itu, green logistics tetap relevan sebagai komitmen jangka panjang terhadap keberlanjutan, namun perlu penguatan ekosistem pendukung seperti regulasi insentif, teknologi rendah emisi, dan keterlibatan seluruh aktor logistik untuk memberikan dampak signifikan. Sejalan dengan kritik Su et al. (2024), green transformation hanya berdampak positif jika digitalisasi dan perubahan organisasi dilakukan secara menyeluruh, bukan sekadar simbolik atau normatif (Su et al., 2024).

KESIMPULAN

Temuan bahwa Green Logistics tidak berpengaruh signifikan terhadap Kinerja Transportasi Laut menunjukkan adanya celah dalam implementasi prinsip keberlanjutan di Pelabuhan Tanjung Priok. Hal ini mengindikasikan bahwa upaya menuju pelabuhan hijau belum diiringi oleh strategi operasional yang terukur dan berdampak nyata terhadap efisiensi layanan laut. Oleh karena itu, Pelindo selaku pengelola perlu mengevaluasi kembali kebijakan lingkungan yang ada dan mengintegrasikan teknologi hijau secara lebih strategis, seperti penerapan *shore power*, sistem manajemen energi otomatis, dan digitalisasi pelacakan emisi. Di sisi lain, karena Teknologi Inovasi dan Efisiensi Organisasi terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja transportasi laut dan kinerja operasional, maka penting bagi manajemen untuk memperluas investasi dalam sistem digital pelabuhan, pengembangan platform kolaboratif antar pemangku kepentingan, serta peningkatan kapasitas SDM dalam mengelola logistik berbasis data dan teknologi canggih guna menciptakan keunggulan kompetitif jangka panjang. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya mengkaji satu lokasi studi, yaitu Pelabuhan Tanjung Priok, sehingga generalisasi temuan masih terbatas. Untuk itu, studi selanjutnya disarankan melakukan analisis komparatif lintas pelabuhan utama di Indonesia seperti Tanjung Perak, Belawan, dan Makassar guna mengidentifikasi pola adopsi teknologi dan efisiensi organisasi yang lebih luas dan kontekstual. Selain itu, mengingat pentingnya pemahaman mendalam atas tantangan penerapan Green Logistics, penelitian mendatang dapat menggabungkan pendekatan *mixed methods* dengan melibatkan wawancara mendalam terhadap pengelola pelabuhan, penyedia layanan logistik, dan regulator. Pendekatan ini diharapkan mampu memperkaya pemahaman terhadap hambatan struktural, kelembagaan, dan budaya organisasi yang mempengaruhi efektivitas kebijakan keberlanjutan logistik laut di Indonesia.

REFERENSI

- Alzate, P., Isaza, G. A., Toro, E. M., Jaramillo-Garzón, J. A., Hernandez, S., Jurado, I., & Hernandez, D. (2024). Operational efficiency and sustainability in smart ports: a comprehensive review. *Marine Systems & Ocean Technology*, 19(1–2), 120–131. <https://doi.org/10.1007/s40868-024-00142-z>
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. In *Modern methods for business research* (pp. 295–336). Psychology Press.
- Christopher, M. (2022). *Logistics and supply chain management*. Pearson.
- Hair, J. F. (2014). *A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM)*. sage.
- Kurniawan, F., Musa, S. N., Moin, N. H., & Sahroni, T. R. (2022). A Systematic Review on Factors Influencing Container Terminal's Performance. *Operations and Supply Chain Management: An International Journal*, 174–192. <https://doi.org/10.31387/oscm0490339>
- Lai, P.-L., Su, D.-T., Tai, H.-H., & Yang, C.-C. (2020). The impact of collaborative decision-making on logistics service performance for container shipping services. *Maritime Business Review*, 5(2), 175–191. <https://doi.org/10.1108/MABR-12-2019-0061>
- Mahmud, K. K., Chowdhury, M. M. H., & Shaheen, Md. 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/10.1080/03088839.2023.2258125>
- Mohamed, S., Hassan, T., Emam, E., & Mohammed, A. R. (2024). Implementation of Green Freight Transport approach in Egypt: A case study of Port Said ports. *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, 5(1), 136–149. <https://doi.org/10.21608/svusrc.2023.240918.1154>
- Narasimha, P. T., Jena, P. R., & Majhi, R. (2022). Sustainability Performance Assessment Framework for Major Seaports in India. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 17(2), 639–704. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.170235>
- Notteboom, T., Pallis, A., & Rodrigue, J.-P. (2022). *Port economics, management and policy*. Routledge.
- OceanWeek. (2023). *Laporan Kinerja Lingkungan Pelabuhan Tanjung Priok 2023*. <https://www.oceanweek.co.id>
- Otoritas Pelabuhan Tanjung Priok. (2023). *Peraturan Kepala OP Tanjung Priok Nomor HK.206/3/8/OP.TPK/22 tentang Standar Kinerja Pelayanan Operasional*. JDIH Kementerian Perhubungan.
- Rudzki, K., Dzida, M., Pham, N. D. K., Pham, M. T., Nguyen, P. Q. P., & Xuan, P. N. (2023). Understanding fuel saving and clean fuel strategies towards green maritime. *Polish Maritime Research*, 30, 146–164.
- Sim, S., Kim, D., Park, K., & Bae, H. (2024). Artificial Intelligence-based Smart Port Logistics Metaverse for Enhancing Productivity, Environment, and Safety in Port Logistics: A Case Study of Busan Port. *ArXiv Preprint ArXiv:2409.10519*.
- Su, Z., Liu, Y., Gao, Y., Park, K.-S., & Su, M. (2024). Critical Success Factors for Green Port Transformation Using Digital Technology. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(12), 2128. <https://doi.org/10.3390/jmse12122128>
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Alfabeta.
- Yoon, J.-H., Kim, D.-H., Yun, S.-W., Kim, H.-J., & Kim, S. (2023). Enhancing Container Vessel Arrival Time Prediction through Past Voyage Route Modeling: A Case Study of Busan New Port. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(6), 1234. <https://doi.org/10.3390/jmse11061234>

Zhang, Z., Song, C., Zhang, J., Chen, Z., Liu, M., Aziz, F., Kurniawan, T. A., & Yap, P.-S. (2024). Digitalization and innovation in green ports: A review of current issues, contributions and the way forward in promoting sustainable ports and maritime logistics. *Science of The Total Environment*, 912, 169075. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169075>