

Peran Mediasi Green Port terhadap Pengaruh Energi Terbarukan dan Manajemen Limbah terhadap Kinerja Lingkungan

F. X. Adi Purwanto^{1*} dan Didik Purwiyanto¹

¹Manajemen Pelabuhan dan Logistik Maritim, Universitas Hang Tuah, Indonesia; adi.purwanto@hangtuah.ac.id

ABSTRAK

Aktivitas pelabuhan berkontribusi signifikan terhadap degradasi lingkungan, sehingga diperlukan pendekatan pengelolaan yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan menguji secara empiris peran mediasi Green Port dalam hubungan antara energi terbarukan dan manajemen limbah terhadap kinerja lingkungan pelabuhan. Analisis dilakukan menggunakan SEM-PLS pada 77 responden, dengan nilai R^2 sebesar 0,759 untuk kinerja lingkungan dan 0,662 untuk implementasi Green Port, menunjukkan kemampuan prediktif model yang kuat. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa energi terbarukan dan manajemen limbah berpengaruh signifikan terhadap kinerja lingkungan ($p < 0,05$), baik secara langsung maupun tidak langsung melalui Green Port. Variabel mediasi Green Port terbukti memperkuat pengaruh kedua variabel eksogen, dengan efek mediasi yang signifikan ($p < 0,01$). Temuan ini memberikan kontribusi teoretis dengan menegaskan bahwa transisi energi bersih dan sistem pengelolaan limbah terintegrasi merupakan fondasi utama dalam penerapan pelabuhan hijau. Secara praktis, penelitian ini memberikan implikasi bagi pengelola pelabuhan dan pembuat kebijakan untuk memprioritaskan investasi energi terbarukan dan manajemen limbah sebagai strategi kunci dalam meningkatkan kinerja lingkungan secara berkelanjutan.

Kata kunci: Energi terbarukan, Manajemen limbah, Green port, Kinerja lingkungan, SEM-PLS

ABSTRACT

Port activities contribute substantially to environmental degradation, underscoring the need for more sustainable management approaches. This study offers novelty by empirically examining the mediating role of Green Port practices in the relationship between renewable energy and waste management on port environmental performance. The analysis, conducted using SEM-PLS on 77 respondents, yields an R^2 of 0.759 for environmental performance and 0.662 for Green Port implementation, indicating strong predictive power. The results show that both renewable energy and waste management significantly influence environmental performance ($p < 0.05$), through direct pathways as well as indirect effects mediated by Green Port practices. The mediation effect of Green Port is confirmed to strengthen the influence of both exogenous variables, with statistically significant mediation ($p < 0.01$). These findings provide a theoretical contribution by affirming that clean energy transitions and integrated waste management systems form the essential foundation for Green Port implementation. Practically, the study offers implications for port authorities and policymakers to prioritize investments in renewable energy and waste management as key strategies for enhancing environmental performance in a sustainable manner.

Keywords: Renewable energy, Waste management, Green port, Environmental performance, SEM-PLS

Citation: Purwanto, F. X. A. dan Purwiyanto, D. (2025). Peran Mediasi Green Port terhadap Pengaruh Energi Terbarukan dan Manajemen Limbah terhadap Kinerja Lingkungan. Jurnal Ilmu Lingkungan, 23(6), 1500-1508, doi:10.14710/jil.23.6.1500-1508

1. PENDAHULUAN

Problematika lingkungan hidup telah menjadi isu global yang semakin mendesak, terutama akibat meningkatnya dampak negatif dari aktivitas manusia terhadap alam, seperti perubahan iklim, polusi udara, serta degradasi ekosistem (Rahmi et al., 2024; Rosana, 2018). Dalam kerangka pembangunan berkelanjutan, sektor industri termasuk pelabuhan memegang peranan strategis dalam menjaga kualitas

lingkungan. Salah satu pendekatan penting dalam upaya mitigasi terhadap kerusakan lingkungan adalah melalui pemanfaatan energi terbarukan, manajemen limbah yang efisien, serta adopsi konsep Green Port (Zulfikar et al., 2023; Rita et al., 2025). Energi bersih seperti tenaga surya, angin, biomassa, dan hidro dinilai berkontribusi signifikan dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar

fosil dan penurunan emisi karbon (Rumahorbo & Nursadi, 2023; Sovacool, 2016).

Implementasi energi terbarukan di pelabuhan telah terbukti memberikan dampak positif, khususnya dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, pengendalian pemanasan global, serta pencapaian target Sustainable Development Goals (SDGs), khususnya SDG 13 yang menekankan aksi terhadap perubahan iklim (Wang et al., 2023; Rahadian, 2016). Selain itu, pelabuhan yang mengadopsi sistem energi hijau memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap fluktuasi harga energi dan risiko operasional lainnya. Meskipun demikian, pelaksanaan energi terbarukan masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk tingginya kebutuhan investasi awal, keterbatasan infrastruktur pendukung, serta minimnya literasi teknis di tingkat pelaksana (Su et al., 2024; Sovacool, 2016). Studi oleh Tran et al. (2023) menegaskan bahwa pelabuhan di negara berkembang harus mengadopsi pendekatan teknologi digital dan energi bersih untuk menjaga keberlanjutan rantai logistik di tengah tekanan lingkungan yang meningkat.

Sejalan dengan itu, pengelolaan limbah merupakan aspek krusial lainnya dalam menjaga kualitas lingkungan pelabuhan. Limbah padat, cair, dan gas yang dihasilkan dari aktivitas pelabuhan memiliki potensi besar mencemari wilayah pesisir apabila tidak ditangani secara tepat (Thamilmaraiselvi et al., 2024b). Inovasi dalam pengelolaan limbah, seperti penggunaan teknologi biofiltrasi, sistem recycling otomatis, serta integrasi prinsip Reduce-Reuse-Recycle (3R), dapat mempercepat penanganan limbah secara efisien dan berkelanjutan (Nogueira, 2023; Schützenhofer et al., 2022). Selain manfaat lingkungan, manajemen limbah yang efektif juga memperkuat citra pelabuhan dan mendukung implementasi kebijakan nasional dalam pengurangan pencemaran (Nanda et al., 2024). Menurut Kuo et al. (2022), teknologi pengelolaan limbah berbasis sensor dan pemantauan digital dapat meningkatkan efisiensi sekaligus mengurangi biaya lingkungan pada sektor pelabuhan dan logistik.

Konsep Green Port hadir sebagai integrasi antara efisiensi operasional dan keberlanjutan lingkungan, yang didukung oleh penggunaan teknologi rendah karbon, efisiensi energi, serta sistem pengelolaan limbah yang adaptif (Rijulvita et al., 2023; Zulfikar et al., 2023). Pendekatan ini tidak hanya mengurangi tingkat polusi, tetapi juga memperkuat daya saing pelabuhan dalam menarik investasi hijau dan menciptakan lapangan kerja yang ramah lingkungan (Su et al., 2024; Ismail et al., 2023).

Namun demikian, implementasi Green Port serta integrasi antara energi terbarukan dan manajemen limbah masih menghadapi hambatan sistemik, seperti kurangnya harmonisasi regulasi, keterbatasan kapasitas teknologi, serta belum meratanya adopsi inovasi di seluruh pelabuhan (Sutrisno et al., 2024; Rita et al., 2025; Le et al.,

2022). Oleh karena itu, diperlukan upaya penelitian empiris yang dapat mengidentifikasi peran energi terbarukan dan pengelolaan limbah dalam meningkatkan kinerja lingkungan pelabuhan, dengan mengedepankan implementasi Green Port sebagai variabel mediasi.

Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam penguatan kebijakan berbasis data (evidence-based policy), khususnya bagi pengambil keputusan, pengelola pelabuhan, dan pemangku kepentingan terkait, guna merumuskan strategi pelabuhan yang berkelanjutan (World Commission on Environment and Development, 1987). Dengan mengintegrasikan pendekatan teknologi ramah lingkungan dan sistem manajemen yang adaptif, pelabuhan di Indonesia berpeluang besar untuk bertransformasi menjadi simpul logistik modern yang tidak hanya efisien secara ekonomi, tetapi juga bertanggung jawab terhadap lingkungan dan sosial.

Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah membahas penerapan energi terbarukan, manajemen limbah, maupun konsep Green Port, sebagian besar studi masih berfokus pada aspek teknis dan deskriptif sehingga belum secara komprehensif menguji hubungan kausal antarvariabel tersebut dalam satu model integratif. Selain itu, kajian empiris mengenai peran mediasi Green Port pada konteks pelabuhan Indonesia masih sangat terbatas, padahal pemerintah melalui Peraturan Menteri Perhubungan No. 29 Tahun 2014 tentang Pencegahan Pencemaran Lingkungan di Pelabuhan serta Keputusan Direktur Jenderal Perhubungan Laut No. UM.002/38/18/DJPL-16 tentang Pedoman Green Port telah menegaskan kewajiban dan indikator implementasi pelabuhan hijau. Celah inilah yang menunjukkan perlunya penelitian yang secara simultan menguji pengaruh energi terbarukan dan manajemen limbah terhadap kinerja lingkungan dengan memasukkan implementasi Green Port sebagai mediator. Dengan demikian, penelitian ini hadir untuk menjembatani kekosongan literatur sekaligus memberikan bukti empiris yang relevan dengan kebutuhan kebijakan nasional dalam mendorong transformasi pelabuhan menuju operasi yang lebih hijau dan berkelanjutan.

Penelitian ini memiliki kebaruan pada dua aspek utama, yakni model analisis dan konteks empiris. Dari sisi model, penelitian ini merupakan salah satu studi awal yang secara simultan menguji pengaruh energi terbarukan dan manajemen limbah terhadap kinerja lingkungan dengan memasukkan implementasi Green Port sebagai variabel mediasi dalam konteks pelabuhan Indonesia. Pendekatan ini berbeda dari penelitian sebelumnya yang umumnya hanya menyoroti aspek teknis atau menilai masing-masing variabel secara terpisah tanpa melihat hubungan kausal yang terintegrasi. Dari sisi konteks, penelitian ini berfokus pada PT Terminal Teluk Lamong sebagai pelabuhan semiotomatis pertama di Indonesia yang menjadi pionir implementasi green

port, sehingga memberikan kontribusi empiris yang relevan bagi pengembangan kebijakan nasional terkait transformasi pelabuhan hijau. Kebaruan ini diharapkan dapat memperkaya literatur dan memberikan landasan bagi penelitian selanjutnya di sektor logistik maritim.

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sejauh mana pemanfaatan energi terbarukan dan pengelolaan limbah berkontribusi terhadap peningkatan kinerja lingkungan pelabuhan. Analisis dilakukan baik terhadap pengaruh langsung maupun tidak langsung, dengan pendekatan implementasi konsep Green Port sebagai variabel mediasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan desain studi eksplanatori yang dirancang untuk menelaah hubungan sebab-akibat antar variabel yang dikaji. Fokus analisis mencakup pengaruh langsung maupun tidak langsung dari variabel eksogen terhadap variabel endogen, dengan mempertimbangkan peran variabel mediasi. Pendekatan ini dinilai relevan untuk menggambarkan pola keterkaitan dalam konteks penerapan konsep green port di lingkungan pelabuhan (Umar, 2013). Studi ini bersifat non-eksperimental karena data dikumpulkan secara alami tanpa intervensi terhadap subjek penelitian.

Penelitian ini melibatkan seluruh karyawan tetap PT Terminal Teluk Lamong Surabaya sebagai populasi dengan total sebanyak 336 individu. Populasi ini dipilih karena memiliki keterlibatan langsung dalam pengelolaan pelabuhan, sehingga dianggap relevan untuk mengevaluasi aspek energi terbarukan, manajemen limbah, dan implementasi green port. Jumlah sampel ditentukan menggunakan rumus Slovin pada tingkat toleransi 10%, menghasilkan 77 responden. Selain itu, ukuran sampel juga memenuhi rule-of-thumb PLS-SEM, yaitu minimal 10 kali jumlah indikator pada blok variabel terbesar (Hair et al., 2020). Dengan jumlah indikator terbanyak sebanyak 7, kebutuhan minimum 70 responden telah terpenuhi oleh 77 responden yang digunakan. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara simple random sampling untuk menjamin representativitas dan meminimalkan bias (Etikan & Bala, 2017). Pemilihan PT Terminal Teluk Lamong (TTL) sebagai lokasi penelitian juga didasarkan pada posisinya sebagai pelabuhan semiotomatis pertama di Indonesia dan pionir implementasi green port. TTL telah menerapkan elektrifikasi alat bongkar muat, energi terbarukan, serta sistem manajemen lingkungan ISO 14001, sehingga menjadi lokasi yang representatif untuk menguji hubungan antara energi terbarukan, manajemen limbah, green port, dan kinerja lingkungan.

Untuk meminimalkan potensi Common Method Bias (CMB), penelitian ini melakukan Harman's Single Factor Test, yang menunjukkan bahwa tidak

ada satu faktor pun yang mendominasi varians lebih dari 50%, sehingga risiko bias metode umum dapat dikatakan rendah. Selain itu, multikolinearitas antarindikator diuji melalui nilai Variance Inflation Factor (VIF) pada outer model, dan seluruh nilai $VIF < 5$, yang menunjukkan tidak adanya masalah multikolinearitas. Indikator penelitian ini dikembangkan melalui proses adaptasi dari penelitian sebelumnya, yakni indikator energi terbarukan mengacu pada Sovacool (2016), manajemen limbah mengacu pada Thamilmaraiselvi et al. (2024b), indikator Green Port merujuk pada Le et al. (2022), serta indikator kinerja lingkungan diadaptasi dari Santoso (2014). Dalam penentuan sampel, rumus Slovin digunakan karena populasi bersifat homogen, memiliki ukuran terbatas (336 orang), dan seluruh responden memiliki karakteristik pekerjaan yang serupa. Meskipun Slovin bukan teknik ideal untuk SEM, pendekatan ini dinilai masih relevan untuk penelitian eksploratif berbasis PLS-SEM, dengan catatan bahwa generalisasi hasil tetap dilakukan secara hati-hati.

Instrumen penelitian berupa kuesioner terstruktur dengan skala Likert 5 poin, mulai dari "sangat tidak setuju" hingga "sangat setuju". Kuesioner disusun berdasarkan indikator teoritis dan hasil penelitian sebelumnya (Sugiyono, 2019), dan digunakan untuk mengukur persepsi responden terhadap empat variabel utama:

1. Energi Terbarukan (X1): mencakup ketersediaan, efisiensi, keterjangkauan, keberlanjutan, dan tata kelola (Sovacool, 2016).
2. Manajemen Limbah (X2): mencakup prinsip 5R, yaitu reduction, reuse, recycling, treatment, dan disposal (Thamilmaraiselvi et al., 2024b).
3. Implementasi Green Port (Z): mencakup indikator lingkungan, sosial, dan ekonomi (Le et al., 2022).
4. Kinerja Lingkungan (Y): mencakup pengendalian pencemaran air, pengelolaan emisi udara, pengolahan limbah, pelaksanaan AMDAL, dan sistem monitoring lingkungan (Santoso, 2014).

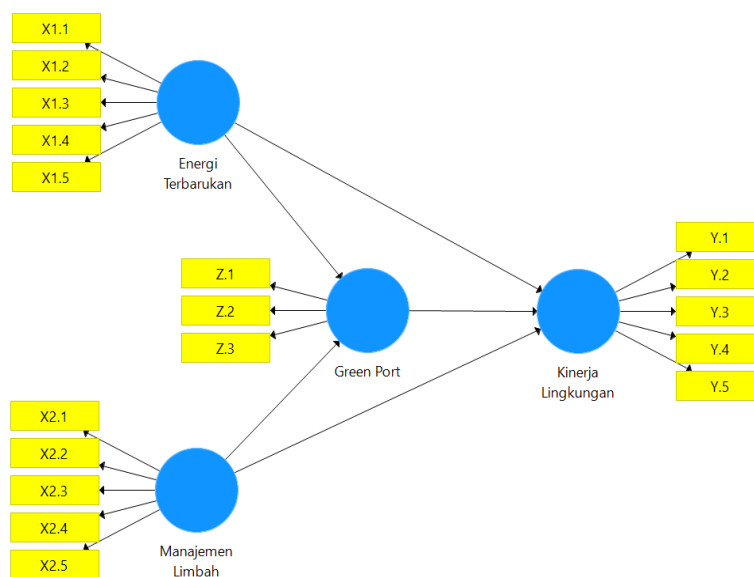
Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan metode Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Squares (SEM-PLS), dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS. Pemilihan teknik ini didasarkan pada kemampuannya dalam menganalisis hubungan yang kompleks antar konstruk laten, mengatasi permasalahan distribusi data yang tidak normal, serta tetap efektif meskipun ukuran sampel terbatas (Hair et al., 2020). Di samping itu, SEM-PLS dianggap cocok untuk menguji model teoritis yang masih bersifat eksploratif dan berorientasi pada prediksi (Chin, 1998).

Model penelitian ini menguji pengaruh dua variabel eksogen (X_1 dan X_2) terhadap variabel endogen (Y) dengan Z sebagai mediator. Model mencakup lima jalur langsung dan dua jalur tidak langsung, dibangun atas dasar teori transisi energi, prinsip pengelolaan lingkungan berkelanjutan, serta kerangka Triple Bottom Line.

Tabel 1. Operasionalisasi Variabel dan Sumber Indikator

Variabel	Indikator	Sumber Literatur
Energi Terbarukan (X1)	Ketersediaan energi terbarukan	Sovacool (2016)
	Efisiensi penggunaan energi	Sovacool (2016)
	Keterjangkauan energi	Sovacool (2016)
	Keberlanjutan penyediaan energi	Sovacool (2016)
	Tata kelola energi bersih	Sovacool (2016); Ismail et al. (2023)
Manajemen Limbah (X2)	Reduction (pengurangan limbah)	Thamilmaraiselvi et al. (2024); Putri (2021)
	Reuse (penggunaan kembali)	Thamilmaraiselvi et al. (2024)
	Recycling (daur ulang)	Sarindizaj et al. (2024)
	Treatment (pengolahan limbah)	Sarindizaj et al. (2024)
	Disposal (pembuangan limbah)	Nogueira (2023)
Implementasi Green Port (Z)	Indikator lingkungan	Le et al. (2022); Zulfikar et al. (2023)
	Indikator sosial	Dirmansyah et al. (2024); Rahmi et al. (2024)
	Indikator ekonomi	Elkington (1997); Su et al. (2024)
Kinerja Lingkungan (Y)	Pengendalian pencemaran air	Santoso (2014)
	Pengelolaan emisi udara	Wang et al. (2023)
	Pengolahan limbah	Santoso (2014); Rijulvita (2023)
	Pelaksanaan AMDAL	Rosana (2018)
	Monitoring lingkungan	Sutrisno et al. (2024)

Sumber Data: Data Primer, 2024

**Gambar 1.** Model Penelitian SEM-PLS

Sumber: Hasil olahan peneliti (2024)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Profil Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Terminal Teluk Lamong (TTL), sebuah pelabuhan modern di bawah naungan PT Pelabuhan Indonesia (Pelindo) yang berlokasi di kawasan pelabuhan barat Surabaya. TTL diresmikan pada tahun 2014 sebagai pelabuhan semiotomatis pertama di Indonesia dan dikenal sebagai pionir dalam penerapan konsep green port. TTL dipilih sebagai lokasi studi karena komitmennya terhadap keberlanjutan, tercermin dari penerapan sistem manajemen lingkungan berbasis ISO 14001, penggunaan energi terbarukan (seperti panel surya), serta elektrifikasi alat bongkar muat (ASC dan STS cranes). TTL juga menerapkan prinsip 3R (reduce, reuse, recycle) dalam pengelolaan limbah operasional. Selain itu, perusahaan secara rutin memantau indikator performa lingkungan seperti emisi CO₂, konsumsi energi, volume limbah yang didaur ulang, dan tingkat kepatuhan terhadap peraturan. Reputasi TTL sebagai pelabuhan rendah

karbon menjadikannya representatif untuk dikaji dalam konteks hubungan antara energi terbarukan, manajemen limbah, dan kinerja lingkungan.

3.2. Karakteristik Responden

Responden dalam penelitian ini berjumlah 77 orang yang dipilih secara acak dari populasi pegawai tetap PT Terminal Teluk Lamong Surabaya. Berdasarkan data demografis, mayoritas responden berjenis kelamin laki-laki sebanyak 52 orang (67,5%), sementara responden perempuan berjumlah 25 orang (32,5%). Dalam hal usia, kelompok usia 18 hingga 25 tahun mendominasi dengan jumlah 41 orang (53,2%), diikuti oleh kelompok usia 26 hingga 35 tahun sebanyak 21 orang (27,3%), dan sisanya berusia antara 36 hingga 45 tahun sebanyak 15 orang (19,5%).

Dilihat dari tingkat pendidikan terakhir, sebagian besar responden merupakan lulusan Sekolah Menengah Atas (SMA/SMK), yaitu sebanyak 46 orang (59,7%). Sementara itu, lulusan diploma sebanyak 18

orang (23,4%) dan lulusan sarjana (S1) tercatat sebanyak 13 orang (16,9%). Dari aspek pengalaman kerja, sebagian besar responden berada dalam kategori masa kerja 1 sampai 5 tahun, yang menunjukkan bahwa sebagian besar karyawan masih tergolong muda baik dari segi usia maupun pengalaman kerja di lingkungan pelabuhan. Komposisi ini mencerminkan potensi adaptasi yang tinggi terhadap perubahan teknologi dan kebijakan baru, termasuk dalam hal implementasi konsep Green Port.

3.3. Evaluasi Model SEM-PLS

Evaluasi terhadap kelayakan model dilakukan secara menyeluruh, yang mencakup pengujian validitas, reliabilitas, dan kekuatan prediktif model. Rangkuman hasil evaluasi model disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh hipotesis dalam model penelitian ini terbukti signifikan ($p < 0,05$). Pengaruh langsung maupun tidak langsung dari energi terbarukan dan manajemen limbah terhadap kinerja lingkungan melalui implementasi *Green Port* dinyatakan signifikan. Ini mengindikasikan bahwa pendekatan keberlanjutan dalam pelabuhan sangat dipengaruhi oleh strategi energi dan limbah yang terintegrasi.

Temuan menunjukkan bahwa energi terbarukan berkontribusi positif terhadap peningkatan kinerja

lingkungan pelabuhan. Implementasi energi bersih seperti solar panel terbukti menurunkan emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi. Hal ini sejalan dengan Energy Transition Theory yang menekankan peran inovasi teknologi dan kebijakan dalam menciptakan sistem energi berkelanjutan (Sovacool, 2016). Penelitian Judijanto et al. (2023) mendukung hasil ini dengan menyatakan bahwa energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi hijau memiliki hubungan yang signifikan terhadap penurunan emisi karbon. Hasil ini juga menguatkan pandangan bahwa investasi dalam teknologi ramah lingkungan memberikan dampak langsung terhadap performa ekosistem pelabuhan.

Manajemen limbah yang efektif memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kualitas lingkungan pelabuhan. Langkah-langkah seperti pengurangan, pengumpulan, dan pengolahan limbah yang tepat terbukti mengurangi polusi udara, air, dan tanah (Rijulvita et al., 2023). Studi Murwaningsari (2018) juga menyatakan bahwa kualitas manajemen limbah memengaruhi transparansi dan pelaporan lingkungan perusahaan, yang berdampak pada reputasi dan kepatuhan lingkungan. Di TTL, penerapan 3R telah terbukti meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah serta kepatuhan terhadap regulasi lingkungan.

Tabel 2. Evaluasi Outer dan Inner Model SEM-PLS

Aspek Evaluasi	Kriteria Evaluasi	Hasil Penelitian	Keterangan
Validitas Konvergen	Outer loading $> 0,5$	Seluruh indikator $> 0,6$ (rentang 0,663 – 0,897)	Memenuhi syarat
Validitas Diskriminan	Cross loading indikator $>$ terhadap konstruk lain AVE $\geq 0,5$	Seluruh indikator memiliki nilai tertinggi pada konstruk asal X1 = 0,647; X2 = 0,683; Z = 0,720; Y = 0,659	Valid
Reliabilitas	Composite Reliability $\geq 0,6$ Cronbach's Alpha $\geq 0,7$	Seluruh variabel $> 0,88$ Seluruh variabel $> 0,80$	Valid Reliabel Reliabel
Goodness of Fit	$R^2 > 0,5$ (moderat-kuat)	Y = 0,759; Z = 0,662	Model menjelaskan 75,9% varian Y dan 66,2% varian Z
Kemampuan Prediktif	$Q^2 > 0$	Y = 0,478; Z = 0,455	Memiliki kemampuan prediktif yang relevan

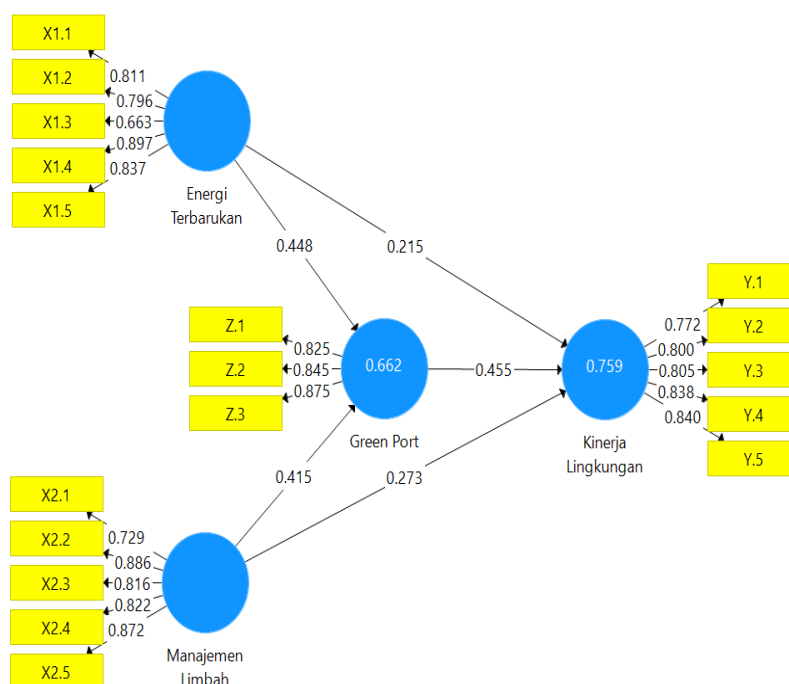
Sumber Data: Hasil Olahdata PLS 2024

3.4. Hasil Pengujian Hipotesis dan Pembahasan

Tabel 3. Hasil Uji Hipotesis Model SEM-PLS

Hipotesis	Pengaruh	Original Sample	T-statistics	P-Values	Keputusan
H1	Energi Terbarukan \rightarrow Kinerja Lingkungan	0,215	2,539	0,011	Diterima
H2	Manajemen Limbah \rightarrow Kinerja Lingkungan	0,273	3,318	0,001	Diterima
H3	Energi Terbarukan \rightarrow Implementasi <i>Green Port</i>	0,448	4,418	0,000	Diterima
H4	Manajemen Limbah \rightarrow Implementasi <i>Green Port</i>	0,415	3,821	0,000	Diterima
H5	Implementasi <i>Green Port</i> \rightarrow Kinerja Lingkungan	0,455	5,200	0,000	Diterima
H6	Energi Terbarukan \rightarrow Implementasi <i>Green Port</i> \rightarrow Kinerja Lingkungan	0,204	3,238	0,001	Diterima
H7	Manajemen Limbah \rightarrow Implementasi <i>Green Port</i> \rightarrow Kinerja Lingkungan	0,189	2,979	0,003	Diterima

Sumber Data: Hasil Olahdata PLS 2024



Gambar 2. Model SEM-PLS Final dengan Koefisien Jalur
Sumber: Hasil olahan data primer dengan SmartPLS, 2024

Penerapan energi terbarukan berpengaruh langsung terhadap keberhasilan implementasi konsep Green Port. Hal ini diperkuat oleh studi Dirmansyah et al. (2024) yang menunjukkan bahwa elektrifikasi operasional pelabuhan dapat menurunkan emisi karbon secara signifikan dan meningkatkan efisiensi logistik. Konsep Triple Bottom Line yang digagas oleh Elkington (1997) juga relevan dalam konteks ini. Energi terbarukan mendukung dimensi lingkungan (planet), ekonomi (profit), dan sosial (people) secara terpadu. Hal ini membuktikan bahwa energi terbarukan merupakan katalis dalam mewujudkan pelabuhan berkelanjutan dan kompetitif secara global.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas manajemen limbah memiliki korelasi kuat terhadap efektivitas implementasi Green Port. Penerapan strategi pengelolaan limbah berkelanjutan seperti reduce, reuse, dan recycle dapat mengurangi jejak karbon dan memperbaiki kualitas udara serta air di pelabuhan. Hal ini selaras dengan prinsip Sustainable Development (WCED, 1987) dan studi Sarindizaj et al. (2023) yang menekankan bahwa manajemen limbah merupakan aspek fundamental dalam menjaga keseimbangan antara efisiensi operasional dan pelestarian lingkungan pelabuhan.

Implementasi Green Port terbukti berperan sebagai mediator yang signifikan antara energi terbarukan dan manajemen limbah terhadap kinerja lingkungan. Teori simbiosis industri dari Frosch & Gallopoulos (1989) menjelaskan bahwa limbah dari satu proses dapat dimanfaatkan sebagai input proses lain dalam suatu sistem terpadu, yang mencerminkan efisiensi dan keberlanjutan. Prawira et al., (2024) menyatakan bahwa konsep Green Port mendorong

pelabuhan menjadi pusat logistik hijau melalui efisiensi energi, pengurangan emisi, dan optimalisasi manajemen limbah.

Energi terbarukan memengaruhi kinerja lingkungan secara tidak langsung melalui Green Port sebagai variabel mediasi. Hasil ini memperkuat studi Rahmi et al. (2024), yang menyatakan bahwa energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin memainkan peran penting dalam konservasi lingkungan dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Manajemen limbah juga memiliki pengaruh tidak langsung terhadap kinerja lingkungan melalui Green Port. Studi Putri (2021) menunjukkan bahwa pengelolaan limbah padat di pelabuhan sangat menentukan pencapaian indikator lingkungan dan keberhasilan Green Port. Dengan manajemen limbah yang efisien, seperti penggunaan TPS 3R, pelabuhan dapat menciptakan ekosistem logistik yang bersih dan kompetitif secara berkelanjutan.

Sebagai konteks pembandingan, posisi Terminal Teluk Lamong (TTL) relatif lebih maju dibanding pelabuhan utama lain di Indonesia seperti Tanjung Priok, Tanjung Perak, dan Belawan yang hingga kini masih mengoperasikan sebagian besar peralatan berbahan bakar fosil dan belum sepenuhnya menerapkan elektrifikasi pada alat bongkar muat. TTL telah mengadopsi automated stacking crane (ASC), ship-to-shore crane elektrik, serta penggunaan panel surya sebagai energi pendukung operasional sehingga berada pada tingkat implementasi Green Port yang lebih progresif. Pada skala regional, praktik keberlanjutan TTL memiliki kemiripan dengan pelabuhan yang lebih maju seperti Busan dan Ho Chi Minh yang telah lebih dahulu mengintegrasikan

teknologi rendah karbon dalam operasionalnya. Perbandingan ini menunjukkan bahwa TTL merupakan pelabuhan perintis dalam transisi menuju pelabuhan hijau, sehingga temuan penelitian ini berpotensi digeneralisasi pada pelabuhan-pelabuhan yang tengah menuju adopsi teknologi serupa.

Selain hasil empiris yang signifikan, hubungan antarvariabel dalam penelitian ini memberikan gambaran mengenai mekanisme teoretis yang lebih mendalam. Implementasi Green Port berfungsi sebagai mekanisme institusional yang menginternalisasi dampak energi terbarukan dan manajemen limbah ke dalam sistem tata kelola pelabuhan. Secara teoretis, hal ini menjelaskan bahwa adopsi teknologi bersih tidak serta-merta meningkatkan kinerja lingkungan tanpa adanya kerangka kelembagaan yang memastikan praktik tersebut dijalankan secara konsisten dan terukur. Green Port bertindak sebagai enabling governance system yang mengubah input teknologi (energi terbarukan) dan input operasional (manajemen limbah) menjadi output lingkungan yang lebih baik. Mekanisme ini memperluas teori transisi energi dan teori keberlanjutan dengan menunjukkan bahwa pencapaian performa lingkungan bergantung pada integrasi teknologi dan tata kelola, bukan hanya penerapan inovasi teknis semata. Dengan demikian, peran mediasi Green Port memberikan kontribusi teoretis baru dalam menjelaskan proses kausal antara inovasi lingkungan dan peningkatan kinerja pelabuhan.

Temuan penelitian ini memberikan kebaruan dengan menghadirkan model empiris yang secara komprehensif menghubungkan energi terbarukan, manajemen limbah, implementasi Green Port, dan kinerja lingkungan dalam satu kerangka kausal. Sementara sebagian besar penelitian terdahulu hanya menyoroti salah satu komponen secara terpisah, penelitian ini menunjukkan bukti empiris bahwa implementasi Green Port berperan sebagai mediator penting yang memperkuat pengaruh kedua variabel eksogen. Selain itu, penelitian ini mengisi kekosongan studi empiris yang menguji praktik green port di Indonesia, khususnya pada pelabuhan yang sudah menerapkan teknologi rendah karbon seperti PT Terminal Teluk Lamong. Kebaruan ini memberikan kontribusi bagi pengembangan teori keberlanjutan pelabuhan sekaligus mendukung penyusunan kebijakan nasional berbasis bukti.

Selain memberikan dukungan empiris terhadap seluruh hipotesis, hasil penelitian ini perlu dipahami dengan mempertimbangkan beberapa aspek interpretatif yang memperkuat reliabilitas temuan. Pertama, meskipun model menunjukkan mediasi yang kuat, hubungan kausal dalam penelitian ini tetap memiliki potensi bias karena desain penelitian bersifat cross-sectional, sehingga kemungkinan reverse causality tidak dapat sepenuhnya dikesampingkan. Misalnya, pelabuhan dengan kinerja lingkungan tinggi justru lebih mampu mengadopsi

energi terbarukan dan pengelolaan limbah yang lebih baik. Kedua, karena seluruh data dikumpulkan melalui kuesioner, terdapat potensi bias persepsi meskipun pengujian Common Method Bias (CMB) menunjukkan nilai yang dapat diterima. Ketiga, hasil penelitian terutama merepresentasikan kondisi PT Terminal Teluk Lamong, sehingga generalisasi ke pelabuhan lain perlu dilakukan dengan hati-hati, terutama pelabuhan yang belum mengadopsi teknologi rendah karbon. Meskipun demikian, temuan ini tetap memberikan kontribusi teoretis yang kuat melalui penjelasan mekanisme institusional Green Port sebagai mediator, serta implikasi praktis yang relevan bagi pengembangan kebijakan energi bersih dan pengelolaan limbah di lingkungan pelabuhan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan energi terbarukan, seperti tenaga surya dan biomassa, memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kinerja lingkungan pelabuhan, terutama dalam hal pengurangan emisi dan efisiensi penggunaan sumber daya. Di sisi lain, sistem manajemen limbah yang efektif juga terbukti berkontribusi secara signifikan dalam menjaga kualitas lingkungan sekitar pelabuhan. Konsep Green Port berperan sebagai variabel mediasi yang memperkuat hubungan antara penerapan energi terbarukan dan pengelolaan limbah terhadap kinerja lingkungan secara keseluruhan.

Implementasi teknologi ramah lingkungan, sistem pemantauan yang terintegrasi, serta pengelolaan sumber daya yang efisien menjadi elemen kunci dalam menciptakan pelabuhan yang sehat, tertib, dan berkelanjutan. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi antara kebijakan energi bersih dan strategi pengelolaan limbah dalam upaya memperkuat keberlanjutan operasional pelabuhan.

Secara praktis, hasil ini memberikan masukan bagi pengelola pelabuhan dan Kementerian Perhubungan Laut untuk memperkuat investasi energi terbarukan dan sistem pengelolaan limbah sebagai strategi peningkatan kinerja lingkungan. Secara teoritis, penelitian ini menegaskan relevansi model Green Port sebagai kerangka hubungan kausal dalam studi keberlanjutan pelabuhan. Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan satu lokasi sehingga generalisasi perlu hati-hati; penelitian selanjutnya disarankan melibatkan lebih banyak pelabuhan atau menggunakan desain longitudinal.

DAFTAR PUSTAKA

- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. In G. A. Marcoulides (Ed.), *Modern methods for business research*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Dirmansyah, D., Setiono, B. A., & Nasihah, A. (2024). Implementasi konsep green port di PT Terminal Petikemas Surabaya. *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan*

- Kepelabuhanan, 15(1), 123-136. <https://doi.org/10.30649/japk.v15i1.128>
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: The triple bottom line of 21st century business*. Capstone Publishing.
- Etikan, I., & Bala, K. (2017). Sampling and sampling methods. *Biometrics & Biostatistics International Journal*, 5(6), 149. <https://doi.org/10.15406/bbij.2017.05.00149>
- Frosch, R. A., & Gallopoulos, N. E. (1989). Strategies for manufacturing. *Scientific American*, 261(3), 144-152. <https://www.jstor.org/stable/24987406>
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2020). *Multivariate data analysis* (8th ed.). Pearson.
- Ismail, M., Lim, S., & Wang, Y. (2023). A strategic model for the transition of Southeast Asian ports into green ports. *Sustainable Cities and Society*, 92, 104407. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104407>
- Judijanto, L., Putri, V. K., Ansori, T., & Khamaludin, K. (2023). Analisis dampak penggunaan energi terbarukan, efisiensi energi, dan teknologi hijau pada pengurangan emisi karbon di industri manufaktur Kota Tangerang. *Jurnal Multidisiplin West Science*, 2(12), 1-10. <https://doi.org/10.58812/jmws.v2i12.860>
- Kock, N. (2015). Common method bias in PLS-SEM: A full collinearity assessment approach. *International Journal of e-Collaboration*, 11(4), 1-10. <https://doi.org/10.4018/ijec.2015100101>
- Kuo, Y. H., Lin, C. Y., & Lo, Y. J. (2022). Smart waste management in ports: A digital sensor-based approach to sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 364, 132716. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132716>
- Le, T. A., Trinh, T. T., & Nguyen, Q. N. (2022). Barriers to implementing green port practices in developing countries: Evidence from Vietnam. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 103, 103158. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103158>
- Murwaningsari, E. (2018). Impact of corporate social responsibility disclosure to stock price of banking and mining industry listed at Indonesia Stock Exchange (IDX). *American Research Journal of Business and Management*. <https://doi.org/10.21694/2379-1047.18015>
- Nanda, M. F., Maulanah, S., Hidayah, T. N., Taufiqurrahman, A. M., & Radianto, D. O. (2024). Analisis pentingnya pengelolaan limbah terhadap kehidupan sosial bermasyarakat. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 2(2), 97-107. <https://doi.org/10.61132/venus.v2i2.255>
- Nogueira, L. A. (2023). Exploring the industrial dynamics of waste management and recycling: A call for research and a proposed agenda. *Waste Management*, 170, 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.03.004>
- Podsakoff, P. M., MacKenzie, S. B., Lee, J. Y., & Podsakoff, N. P. (2003). Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies. *Journal of Applied Psychology*, 88(5), 879-903. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.88.5.879>
- Prawira, A., Basuki, R., & Stiawan, E. (2024). Training of HOTS integration in elementary school level mathematics teaching as an effort to strengthen state defense awareness. *Journal of Community Service and Empowerment*. <https://doi.org/10.22219/jcse.v5i3.32943>
- Putri, M. M. W. (2021). *Kajian pengelolaan limbah padat pada pelabuhan berwawasan lingkungan (Green Port)* (Tesis Magister). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahadian, A. H. (2016). Strategi pembangunan berkelanjutan. *Prosiding Seminar Setiami*, 3(1), 25-34.
- Rahmi, C., Yasmin, S. M., Darajat, D. M., Tjiwidjaja, H., Salam, F., & Akmas, N. (2024). Lingkungan dan energi; menyongsong era berkelanjutan. *DE_JOURNAL (Dharmas Education Journal)*, 5(1), 668-675. <https://doi.org/10.56667/dejournal.v4i3.1186>
- Rijulvita, S. (2023). Strategi pengelolaan sampah pelabuhan berkelanjutan (Ecoport) di pelabuhan. *Jurnal Medika Hutama*, 4(2), 98-107. <https://jurnalmedikahutama.com/index.php/JMH/article/view/592/419>
- Rita, R., Saputri, H., & Mira, M. (2025). Green accounting: Dampak transformasi energi hijau dalam pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan. *Jurnal Ekualisasi*, 6(1), 1-9. <https://doi.org/10.60023/bmvsbr61>
- Rosana, M. (2018). Kebijakan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan di Indonesia. *Jurnal Kelola*, 1(1), 148-163.
- Rumahorbo, R. P., & Nursadi, H. (2023). Energi baru terbarukan sumber daya air: Manfaat dan dampaknya terhadap lingkungan hidup. *Jurnal Darma Agung*, 31(2), 185-198. <https://doi.org/10.46930/ojsuda.v31i2.2967>
- Santoso, S. (2014). *Statistik untuk penelitian* (6th ed.). PT Elex Media Komputindo.
- Sarindizaj, E., Soureh, H., Lak, M., & Ghaffariraad, M. (2024). Optimizing municipal solid waste management in industrial ports: A case study of source separation implementation. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 74, 932-949. <https://doi.org/10.1080/10962247.2024.2412706>
- Schützenhofer, S., Kovacic, I., Rechberger, H., & Mack, S. (2022). Improvement of environmental sustainability and circular economy through construction waste management for material reuse. *Sustainability*, 14(17), 11087. <https://doi.org/10.3390/su141711087>
- Sovacool, B. K. (2016). The political economy of energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 12, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.023>
- 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), 1-19. <https://doi.org/10.3390/jmse12121602>
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sutrisno, S., Suryanto, S., & Nugroho, S. (2024). Determinan peringkat kinerja lingkungan di perusahaan Indonesia. *Jurnal Ilmiah Manajemen*, 19(3), 35-46.
- Thamilmaraiselvi, B., Bhuvanawari, P., Steffi, P., & Sangeetha, K. (2024). Solid waste management. In *Waste management and treatment* (pp. 51-61). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003395574-5>
- Tran, N. T., Le, H. M., & Ngo, T. D. (2023). Digitalization and clean energy transition in Southeast Asian ports: Opportunities and challenges. *Sustainable Cities*

- and Society, 93, 104497. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104497>
- Umar, H. (2013). Metodologi penelitian untuk skripsi dan tesis bisnis. PT RajaGrafindo Persada.
- Wang, B., Liu, Q., Wang, L., Chen, Y., & Wang, J. (2023). A review of the port carbon emission sources and related emission reduction technical measures. *Environmental Pollution*, 320, 121000. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.121000>
- World Commission on Environment and Development (WCED). (1987). *Our common future*. Oxford University Press.
- Zulfikar, H., Saputra, D. R., Maulana, A., & Cahyono, Y. A. (2023). Implementasi perkembangan pelabuhan hijau di dunia pada pelabuhan Indonesia. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(9), 533-544. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7969265>