
PENGARUH KESIAPAN TEKNOLOGI DAN KOMPETENSI DIGITAL SUMBER DAYA MANUSIA TERHADAP EFISIENSI OPERASIONAL PELABUHAN BELAWAN

Togu Urbanus Silaen¹, Owen De Pinto Simanjuntak², Rizki Shanty³, Roberto Roy Purba⁴

Universitas Sari Mutiara Indonesia, Medan

e-mail: ¹togu.silaen@sarimutiara.ac.id, ²owen.simanjuntak@sarimutiara.ac.id

Abstract: Port digital transformation requires not only adequate technological infrastructure but also human resources capable of operating it optimally. This study aims to analyze the effect of technology readiness and human resource digital competence on the operational efficiency of Belawan Port, both partially and simultaneously. The research employed a quantitative survey with a causal associative approach. The population comprised 3,883 port workers, and 99 respondents were selected through purposive sampling using the Slovin formula. Data were collected using an online questionnaire with a five-point Likert scale, tested for validity through Pearson Product Moment correlation and for reliability through Cronbach's Alpha, then analyzed using classical assumption tests and multiple linear regression with SPSS version 26. The results indicate that technology readiness has a positive and significant effect on operational efficiency ($t = 4.852$; sig. 0.000), and digital competence also exerts a positive and significant effect ($t = 7.340$; sig. 0.000) with a more dominant contribution. Simultaneously, both variables significantly affect operational efficiency ($F = 240.439$; sig. 0.000), explaining 83.4% of its variance. These findings confirm that improving port operational efficiency requires an integrated strategy combining technological strengthening and digital competence development.

Keyword: technology readiness; digital competence; operational efficiency; port; digital transformation

Abstrak: Transformasi digital pelabuhan tidak hanya menuntut ketersediaan infrastruktur teknologi yang memadai, tetapi juga sumber daya manusia yang mampu mengoperasikannya secara optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh kesiapan teknologi dan kompetensi digital sumber daya manusia terhadap efisiensi operasional Pelabuhan Belawan, baik secara parsial maupun simultan. Penelitian menggunakan desain survei kuantitatif dengan pendekatan asosiatif kausal. Populasi berjumlah 3.883 tenaga kerja pelabuhan dan sampel sebanyak 99 responden ditentukan melalui purposive sampling dengan rumus Slovin. Data dikumpulkan melalui kuesioner online berskala Likert lima poin yang telah diuji validitas menggunakan korelasi Pearson Product Moment dan reliabilitas melalui Cronbach's Alpha, kemudian dianalisis dengan uji asumsi klasik dan regresi linear berganda menggunakan SPSS versi 26. Hasil penelitian menunjukkan kesiapan teknologi berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi operasional ($t = 4,852$; sig. 0,000), demikian pula kompetensi digital berpengaruh positif dan signifikan ($t = 7,340$; sig. 0,000) dengan kontribusi yang lebih dominan. Secara simultan kedua variabel berpengaruh signifikan terhadap efisiensi operasional ($F = 240,439$; sig. 0,000) dengan kontribusi sebesar 83,4%. Temuan ini menegaskan bahwa peningkatan efisiensi operasional pelabuhan memerlukan strategi terpadu antara penguatan teknologi dan pengembangan kompetensi digital.

Kata kunci: kesiapan teknologi; kompetensi digital; efisiensi operasional; pelabuhan; transformasi digital

PENDAHULUAN

Transformasi digital telah menjadi agenda strategis di sektor logistik dan kepelabuhanan seiring berkembangnya teknologi informasi dan kebutuhan efisiensi rantai pasok global. Berbagai studi menunjukkan bahwa penerapan teknologi digital di pelabuhan dapat menurunkan biaya logistik, mempercepat proses bongkar-muat, dan meningkatkan daya saing nasional (Al Fauzi & Syahputra, 2022; Lubis, 2022). Di Indonesia, kebijakan dan inisiatif teknologi informasi oleh Kementerian Perhubungan (2021) menegaskan urgensi digitalisasi sebagai bagian dari modernisasi infrastruktur maritim. Namun, penerapan teknologi tersebut tidak otomatis menjamin hasil operasional yang optimal apabila aspek manusia dan organisasi tidak disiapkan secara memadai.

Kesiapan teknologi mencakup infrastruktur, interoperabilitas sistem, dan kesiapan organisasi untuk mengadopsi solusi digital seperti terminal booking system, otomasi, serta sistem informasi manajemen pelabuhan. Penelitian pada konteks Tanjung Priok mengindikasikan bahwa adopsi sistem pemesanan terminal berpengaruh terhadap kualitas layanan dan efisiensi proses (Anjani & Pertiwi, 2023). Kajian literatur juga menggarisbawahi peran otomasi dan intelligent logistics dalam meredefinisi proses operasional pelabuhan (Hsu & Yip, 2021; Tsai et al., 2022). Walaupun teknologi terbukti potensial, tantangan implementasi seperti integrasi sistem dan biaya investasi menjadi hambatan nyata di lapangan (Firmansyah, 2022; Hendrawan, 2022).

Kompetensi digital sumber daya manusia merupakan dimensi krusial yang menentukan sejauh mana teknologi dapat dimanfaatkan secara efektif. Kerangka kompetensi digital seperti DigComp memberikan landasan konseptual tentang dimensi keterampilan digital yang relevan di lingkungan kerja modern (Ferrari, 2013; European Commission, 2019). Penelitian di sektor logistik menunjukkan hubungan positif antara kompetensi digital dan

kinerja kerja individu maupun organisasi (Hung et al., 2020; Mora et al., 2021). Di lingkungan pelabuhan, keterampilan operasional berbasis teknologi informasi, pemeliharaan sistem otomatis, dan kemampuan analitis data menjadi kompetensi yang semakin dibutuhkan (Kusuma, 2022; Hidayat, 2023).

Efisiensi operasional pelabuhan diukur melalui indikator seperti waktu penanganan kontainer, dwelling time, utilisasi alat, throughput, dan biaya operasi. Literatur kontemporer tentang pengukuran kinerja pelabuhan menekankan pentingnya metrik yang holistik dan dapat diandalkan (Notteboom & Rodrigue, 2020; Pallis et al., 2021). Perbaikan efisiensi tidak hanya berimplikasi pada kinerja internal terminal, tetapi juga memengaruhi biaya logistik nasional serta daya saing ekspor-impor (Munim & Schramm, 2020).

Salah satu masalah riil dalam transformasi digital pelabuhan adalah kesenjangan antara ketersediaan teknologi dan kemampuan personel untuk mengoperasikannya secara optimal. Studi terdahulu di Indonesia mengidentifikasi hambatan seperti resistensi organisasi, keterbatasan anggaran, dan rendahnya kapabilitas teknis SDM (Firmansyah, 2022; Hendrawan, 2022). Analisis literatur juga menunjukkan bahwa studi yang menilai dampak digitalisasi terhadap efisiensi sering mengabaikan peran simultan sumber daya manusia, sehingga berpotensi menimbulkan bias estimasi efek teknologi (Dharmawan, 2022). Banyak penelitian menempatkan teknologi sebagai variabel tunggal tanpa memperhitungkan kapasitas absorpsi organisasi yang dipengaruhi SDM.

Dalam literatur lokal, beberapa studi telah menelaah peran teknologi terhadap kinerja sistem penanganan kontainer dan pelayanan pelabuhan (Iskandar, 2021; Siregar, 2021), namun fokusnya umumnya terbatas pada aspek teknis peralatan tanpa mengkaji kompetensi SDM secara komprehensif. Konteks Pelabuhan Belawan, yang beroperasi dalam ekosistem logistik regional Sumatera Utara, memiliki karakteristik tersendiri

berupa kepadatan lalu lintas kargo, kapasitas infrastruktur, dan pola layanan yang berbeda dibandingkan pelabuhan primer. Laporan dan studi kasus lokal mengindikasikan tantangan operasional seperti bottleneck pada terminal peti kemas, ketergantungan pada prosedur manual, dan keterbatasan integrasi data antar pemangku kepentingan (Multi Terminal Pelindo, 2025; Suprayitno, 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini menguji efek parsial dan simultan kesiapan teknologi dan kompetensi digital SDM dalam satu model empiris tunggal. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh kesiapan teknologi terhadap efisiensi operasional Pelabuhan Belawan, menganalisis pengaruh kompetensi digital SDM terhadap efisiensi operasional, serta menganalisis pengaruh keduanya secara simultan. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoretis pada pengembangan model pengaruh teknologi dan SDM terhadap efisiensi operasional pelabuhan, sekaligus kontribusi praktis bagi manajemen pelabuhan dalam menyusun strategi alokasi sumber daya untuk investasi teknologi dan program pengembangan SDM.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian survei dengan pendekatan deskriptif kuantitatif. Berdasarkan tingkat eksplanasinya, penelitian digolongkan ke dalam penelitian asosiatif kausal, yaitu penelitian yang mencari pengaruh sebab akibat antara variabel bebas terhadap variabel terikat (Sugiyono, 2019). Penelitian dilaksanakan di Pelabuhan Belawan pada bulan Maret sampai dengan Juli 2026.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh tenaga kerja di Pelabuhan Belawan yang berjumlah 3.883 orang. Pengambilan sampel menggunakan rancangan nonprobability sampling dengan teknik purposive sampling. Karena jumlah populasi diketahui, ukuran sampel

ditentukan menggunakan rumus Slovin dengan tingkat kesalahan (α) sebesar 10%, sehingga diperoleh 98,6 yang dibulatkan menjadi 99 responden. Jumlah tersebut telah memenuhi kriteria kelayakan ukuran sampel antara 30 sampai 500 responden menurut Roscoe dalam Sugiyono (2019).

Data primer dikumpulkan melalui kuesioner online, sedangkan data sekunder diperoleh dari buku, jurnal, artikel, dan penelitian terdahulu. Instrumen penelitian terdiri atas 14 item untuk variabel kesiapan teknologi, 12 item untuk kompetensi digital, dan 14 item untuk efisiensi operasional. Seluruh item diukur menggunakan skala Likert lima poin dengan rentang skor 1 (sangat tidak setuju) hingga 5 (sangat setuju). Definisi operasional dan indikator setiap variabel disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Definisi Operasional Variabel

Variabel	Indikator	Skala
Kesiapan Teknologi (X1)	Optimisme; inovatif; ketidaknyamanan; ketidakamanan; kesiapan infrastruktur; kesiapan SDM; kesiapan prosedur dan sistem	Likert
	Literasi informasi; literasi teknologi; kolaborasi digital; pengelolaan konten digital; keamanan digital; pemecahan masalah berbasis teknologi	
Kompetensi Digital (X2)	Kecepatan proses; ketepatan dan akurasi; efektivitas penggunaan sumber daya; kelancaran alur kerja; kualitas pelayanan;	Likert

Variabel	Indikator	Skala	Karakteristik	Kategori	F	%
	produktivitas; pemanfaatan sistem digital		Jenis Kelamin	Laki-laki	97	98,0
				Perempuan	2	2,0
			Lama Bekerja	0–10 tahun	14	14,1
				11–20 tahun	32	32,3
				21–30 tahun	35	35,4
				> 30 tahun	18	18,2

Sumber: Data diolah peneliti, 2026.

Uji validitas dilakukan terhadap 30 responden menggunakan teknik korelasi Pearson Product Moment. Nilai r -tabel pada $\alpha = 0,1$ dengan derajat bebas $df = n - 2 = 28$ pada uji dua arah adalah 0,3610; item dinyatakan valid apabila nilai r -hitung lebih besar dari r -tabel. Uji reliabilitas menggunakan koefisien Cronbach's Alpha, dengan kriteria reliabel apabila nilai alpha lebih besar dari 0,60 (Sugiyono, 2019).

Analisis data dilakukan melalui uji asumsi klasik yang meliputi uji normalitas dengan Kolmogorov-Smirnov Test, uji multikolinearitas melalui nilai tolerance dan Variance Inflation Factor (VIF), serta uji heteroskedastisitas melalui pola sebaran titik pada grafik scatterplot. Selanjutnya dilakukan analisis regresi linear berganda dengan persamaan sebagai berikut:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \varepsilon \quad (1)$$

Keterangan: Y adalah efisiensi operasional, X_1 adalah kesiapan teknologi, X_2 adalah kompetensi digital, α adalah konstanta, β_1 dan β_2 adalah koefisien regresi, dan ε adalah faktor lain yang memengaruhi variabel. Pengujian hipotesis dilakukan melalui uji parsial (uji t), uji simultan (uji F), dan uji koefisien determinasi (R^2). Seluruh analisis data diolah menggunakan program SPSS versi 26.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Responden dalam penelitian ini berjumlah 99 orang tenaga kerja di lingkungan Primer Koperasi Tenaga Kerja Bongkar Muat (Primkop TKBM) Upaya Karya Pelabuhan Belawan. Karakteristik responden disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Karakteristik Responden (n = 99)

Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

Berdasarkan Tabel 2, komposisi responden didominasi laki-laki sebanyak 97 orang (98,0%), sedangkan perempuan hanya 2 orang (2,0%). Dominasi ini mencerminkan karakteristik beban kerja bongkar muat di lapangan pelabuhan yang memerlukan ketahanan fisik tinggi, sementara pekerja perempuan umumnya menempati posisi administratif. Dari sisi lama bekerja, kelompok terbanyak adalah 21–30 tahun sebanyak 35 responden (35,4%), diikuti 11–20 tahun sebanyak 32 responden (32,3%). Secara kumulatif, responden dengan masa kerja di atas 11 tahun mencapai 85,9%, sehingga mayoritas responden memiliki pengalaman kerja yang panjang dan relevan dalam memberikan penilaian yang objektif terhadap variabel yang diteliti.

Hasil uji validitas terhadap 30 responden menunjukkan bahwa seluruh item pernyataan memiliki nilai r -hitung lebih besar dari r -tabel sebesar 0,3610. Pada variabel kesiapan teknologi, nilai r -hitung berkisar antara 0,480 (KT_9) hingga 0,898 (KT_3 dan KT_13). Pada variabel kompetensi digital, nilai r -hitung berkisar antara 0,466 (KD_12) hingga 0,654 (KD_3). Adapun pada variabel efisiensi operasional, nilai r -hitung berkisar antara 0,600 hingga 0,870 (EO_7 dan EO_13). Dengan demikian, seluruh item dinyatakan valid dan layak digunakan sebagai instrumen penelitian.

Tabel 3 Hasil Uji Reliabilitas

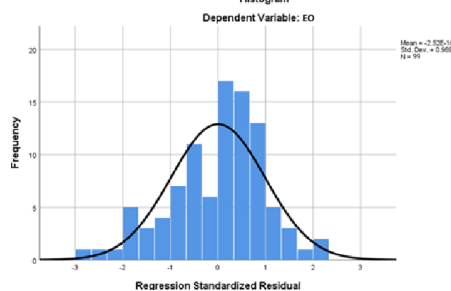
Variabel	Item	Alpha	Ket.
Kesiapan Teknologi	14	0,930	Reliabel

Variabel	Item	Alpha	Ket.
Kompetensi Digital	12	0,881	Reliabel
Efisiensi Operasional	14	0,930	Reliabel

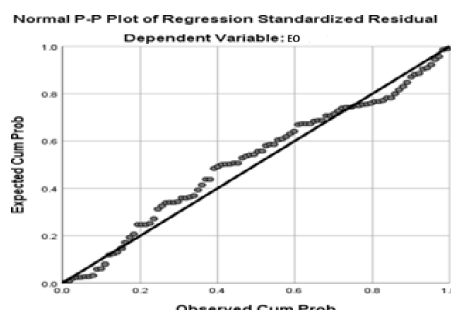
Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

Tabel 3 menunjukkan seluruh variabel memiliki nilai Cronbach's Alpha di atas standar minimum 0,60, yaitu 0,930 untuk kesiapan teknologi, 0,881 untuk kompetensi digital, dan 0,930 untuk efisiensi operasional. Hal ini menunjukkan bahwa instrumen yang digunakan sangat reliabel serta konsisten dalam mengukur data penelitian.

Uji normalitas menggunakan Kolmogorov-Smirnov Test memperoleh nilai Asymp. Sig. (2-tailed) sebesar 0,200 yang lebih besar dari 0,05, sehingga nilai residual dinyatakan berdistribusi normal. Hasil tersebut diperkuat oleh grafik histogram yang membentuk pola lonceng simetris (Gambar 1) serta grafik normal P-P Plot yang memperlihatkan sebaran titik mengikuti arah garis diagonal (Gambar 2).



Gambar 1 Histogram Uji Normalitas
 Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.



Gambar 2 Grafik Normal P-P Plot
 Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

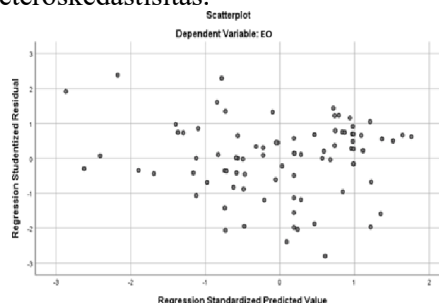
Hasil uji multikolinearitas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Uji Multikolinearitas

Variabel	Tolerance	VIF	Ket.
Kesiapan Teknologi	0,407	2,458	Bebas
Kompetensi Digital	0,407	2,458	Bebas

Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

Berdasarkan Tabel 4, kedua variabel independen memiliki nilai tolerance sebesar 0,407 ($> 0,10$) dan nilai VIF sebesar 2,458 (< 10), sehingga model regresi dinyatakan bebas dari gejala multikolinearitas. Selanjutnya, uji heteroskedastisitas melalui grafik scatterplot pada Gambar 3 memperlihatkan titik-titik menyebar secara acak tanpa membentuk pola tertentu, baik di atas maupun di bawah angka nol pada sumbu Y, sehingga model regresi dinyatakan bebas dari gejala heteroskedastisitas.



Gambar 3 Scatterplot Uji Heteroskedastisitas

Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

Tabel 5 Hasil Regresi Linear Berganda dan Uji t

Variabel	B	Beta	t	Sig.
(Constant)	2,689	—	1,096	0,276
Kesiapan Teknologi (X1)	0,386	0,378	4,852	0,000
Kompetensi Digital (X2)	0,691	0,571	7,340	0,000

Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.
 Variabel dependen: Efisiensi Operasional.

Berdasarkan Tabel 5, persamaan regresi yang diperoleh adalah $Y = 2,689 + 0,386X_1 + 0,691X_2 + \epsilon$. Nilai konstanta sebesar 2,689 menunjukkan bahwa apabila kesiapan teknologi dan kompetensi digital

bernilai nol, efisiensi operasional tetap berada pada nilai 2,689 satuan. Koefisien regresi kesiapan teknologi sebesar 0,386 dan kompetensi digital sebesar 0,691, keduanya bernilai positif, yang berarti peningkatan pada kedua variabel akan meningkatkan efisiensi operasional secara searah.

Dengan jumlah sampel 99 responden dan dua variabel independen, derajat kebebasan ditentukan melalui $df = n - k - 1$ sehingga diperoleh $df = 96$, dan nilai t-tabel pada $\alpha = 0,05$ (dua arah) sebesar 1,985. Hasil uji t menunjukkan kesiapan teknologi memiliki t-hitung sebesar 4,852 dengan signifikansi 0,000, serta kompetensi digital memiliki t-hitung sebesar 7,340 dengan signifikansi 0,000. Kedua nilai t-hitung lebih besar dari t-tabel dengan signifikansi di bawah 0,05, sehingga H1 dan H2 diterima. Nilai beta terstandarisasi menunjukkan kompetensi digital ($\beta = 0,571$) memiliki pengaruh yang lebih dominan dibandingkan kesiapan teknologi ($\beta = 0,378$).

Tabel 6 Hasil Uji Simultan (Uji F)

	Sum				
Model	Of	df	Mean Sq	F	Sig.
	Sq.				
Regres	5767,	2	2883,941	240,439	0,000
sion	881				
Resi	1151,	96	11,995	–	–
dual	472				
Total	6919,	98	–	–	–
	354				

Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

Tabel 6 menunjukkan nilai F-hitung sebesar 240,439 dengan signifikansi 0,000. Dengan $df_1 = 2$ dan $df_2 = 96$ pada $\alpha = 10\%$, diperoleh F-tabel sebesar 2,36. Karena F-hitung jauh lebih besar dari F-tabel dan nilai signifikansi lebih kecil dari taraf yang ditetapkan, maka H3 diterima: kesiapan teknologi dan kompetensi digital secara simultan berpengaruh signifikan terhadap efisiensi operasional. Hasil ini sekaligus menunjukkan bahwa model regresi yang digunakan layak (fit) untuk menjelaskan hubungan antarvariabel.

Tabel 7 Koefisien Determinasi

R	R Square	Adj. R Square	Std. Error
0,913	0,834	0,830	3,46331

Sumber: Hasil diolah, 2026. SPSS 26.

Berdasarkan Tabel 7, nilai koefisien korelasi (R) sebesar 0,913 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara kesiapan teknologi dan kompetensi digital dengan efisiensi operasional. Nilai R Square sebesar 0,834 berarti 83,4% variasi efisiensi operasional dapat dijelaskan oleh kedua variabel independen, sedangkan 16,6% sisanya dijelaskan oleh variabel lain di luar model penelitian ini.

Hasil uji parsial membuktikan bahwa kesiapan teknologi berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi operasional. Temuan ini mengindikasikan bahwa semakin siap teknologi yang dimiliki organisasi, baik dari sisi infrastruktur, sistem informasi, maupun integrasi digital, semakin tinggi tingkat efisiensi operasional yang dicapai. Temuan ini sejalan dengan Cahyono (2021) dan Mahyuddin (2021) yang menyatakan bahwa pemanfaatan teknologi informasi di sektor kepelabuhanan mampu mempercepat proses operasional, mengurangi dwelling time, serta meningkatkan koordinasi antarunit kerja. Hasil ini juga memperkuat temuan Al Fauzi dan Syahputra (2022) serta Lubis (2022) bahwa penerapan teknologi digital di pelabuhan Indonesia berkontribusi signifikan menurunkan biaya logistik nasional, dan relevan dengan konsep smart port sebagaimana dikemukakan Hsu dan Yip (2021), Tsai et al. (2022), serta Hawari et al. (2024) yang menempatkan kesiapan teknologi sebagai prasyarat utama transformasi digital pelabuhan. Dalam konteks Pelabuhan Belawan, hasil ini mendukung studi Anjani dan Pertiwi (2023) mengenai dampak positif sistem digital terhadap kualitas layanan dan kelancaran operasional. Namun demikian, sebagaimana diingatkan Hendrawan (2022) dan Firmansyah (2022), kesiapan teknologi tidak hanya berkaitan dengan

ketersediaan perangkat, tetapi juga mencakup kesiapan organisasi dalam mengelola perubahan berbasis teknologi; tanpa manajemen perubahan yang baik, investasi teknologi berpotensi tidak menghasilkan efisiensi yang diharapkan.

Kompetensi digital juga terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi operasional, bahkan dengan pengaruh yang paling dominan dalam model penelitian ini. Hal ini mengindikasikan bahwa kualitas sumber daya manusia dalam menguasai dan memanfaatkan teknologi digital menjadi faktor kunci peningkatan efisiensi. Temuan ini sejalan dengan kerangka DigComp (Ferrari, 2013; European Commission, 2019) yang menekankan bahwa kompetensi digital tidak hanya mencakup kemampuan teknis, tetapi juga kemampuan informasi, komunikasi, pemecahan masalah, dan adaptasi terhadap perubahan digital. Hasil ini turut mendukung Hung et al. (2020) serta Mora et al. (2021) yang menyatakan bahwa kompetensi digital berdampak signifikan terhadap kinerja kerja dan inovasi pada sektor logistik. Penguatan kompetensi digital SDM kepelabuhanan juga ditegaskan Hidayat (2023) dan Kusuma (2022) sebagai strategi penting menghadapi transformasi industri maritim. Meskipun demikian, Bawden dan Robinson (2020) mengingatkan adanya sisi gelap literasi digital seperti information overload dan kecemasan teknologi, sehingga peningkatan kompetensi digital perlu dilakukan secara terstruktur dan berkelanjutan disertai dukungan organisasi yang memadai.

Hasil uji simultan menunjukkan bahwa kombinasi kesiapan teknologi dan kompetensi digital merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan dalam meningkatkan efisiensi operasional pelabuhan, dengan kontribusi sebesar 83,4%. Temuan ini sejalan dengan Notteboom dan Rodrigue (2020) serta Pallis et al. (2021) yang menegaskan bahwa efisiensi pelabuhan modern tidak hanya ditentukan oleh infrastruktur fisik, tetapi juga oleh kesiapan sistem teknologi serta kualitas sumber daya manusia yang

mengoperasikannya. Tanpa dukungan SDM yang kompeten secara digital, investasi teknologi tidak akan menghasilkan peningkatan efisiensi yang optimal. Hasil ini juga konsisten dengan studi internasional Hsu dan Yip (2021), Tsai et al. (2022), serta Chaula dan Luambano (2025) yang menyimpulkan bahwa adopsi teknologi pintar di pelabuhan meningkatkan efisiensi operasional secara signifikan apabila didukung kesiapan teknologi dan kompetensi digital tenaga kerja. Dengan demikian, kedua variabel tidak dapat dipandang sebagai faktor yang berdiri sendiri, melainkan sebagai elemen yang saling melengkapi dalam mendukung transformasi digital pelabuhan.

SIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa kesiapan teknologi berpengaruh positif dan signifikan terhadap efisiensi operasional Pelabuhan Belawan, yang berarti semakin baik kesiapan infrastruktur, sistem informasi, dan integrasi teknologi digital yang dimiliki, semakin tinggi efisiensi operasional yang dicapai. Kompetensi digital sumber daya manusia juga berpengaruh positif dan signifikan, bahkan menunjukkan pengaruh yang paling dominan dalam model penelitian ini, sehingga penguasaan teknologi digital oleh pegawai terbukti menjadi faktor kunci dalam mempercepat proses kerja dan meminimalkan kesalahan operasional.

Secara simultan, kesiapan teknologi dan kompetensi digital berpengaruh signifikan terhadap efisiensi operasional dengan kontribusi sebesar 83,4%, sementara 16,6% sisanya dijelaskan oleh faktor lain di luar model. Temuan ini memajukan pemahaman terkini dengan menunjukkan bahwa efek teknologi terhadap efisiensi operasional pelabuhan tidak dapat dipahami secara terpisah dari kapasitas digital sumber daya manusianya, sebagaimana kecenderungan studi terdahulu yang menempatkan teknologi sebagai variabel tunggal. Secara ilmiah,

hasil ini memperkuat kerangka manajemen pelabuhan modern dan konsep smart port yang menempatkan teknologi dan kualitas SDM sebagai dua pilar yang saling melengkapi. Model yang dikembangkan berpotensi diaplikasikan dan diperluas pada pelabuhan regional lain dengan karakteristik ekosistem logistik yang serupa, serta dapat dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan variabel kelembagaan atau pengujian efek interaksi antarvariabel.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengurus dan seluruh anggota Primer Koperasi Tenaga Kerja Bongkar Muat (Primkop TKBM) Upaya Karya Pelabuhan Belawan yang telah bersedia menjadi responden dan memberikan akses data dalam penelitian ini, serta kepada Program Studi Magister Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Sari Mutiara Indonesia atas dukungan yang diberikan selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fauzi, R., & Syahputra, F. (2022). Penerapan teknologi digital di pelabuhan Indonesia untuk menurunkan biaya logistik nasional. *MTL: Jurnal Maritime Technology and Logistics*, 9(3). <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v9i3.738>
- Anjani, F., & Pertiwi, D. (2023). Pengaruh penerapan Terminal Booking System terhadap kualitas layanan di Pelabuhan Tanjung Priok. *Jurnal Sinergi*, 1(1). <https://doi.org/10.21009/sinergi.v1i1.6138>
- Bawden, D., & Robinson, L. (2020). The dark side of digital literacy: Information overload, anxiety and other paradoxes and pathologies. *Journal of Documentation*, 76(3), 579–596.
- Cahyono, S. (2021). Teknologi informasi dalam meningkatkan efisiensi dan daya saing di pelabuhan. *Jurnal Ilmu Wilayah dan Perkotaan*, 10(4).
- Chaula, W., & Luambano, H. (2025). Smart technology adoption and operational efficiency: Dar Es Salaam Seaport case study. *Journal of Industrial Engineering & Management Research*, 6(5), 140–149. <https://doi.org/10.7777/jiemar.v6i5.621>
- Dharmawan, T. (2022). Studi literatur tentang dampak digitalisasi terhadap operasional pelabuhan. *Jurnal Transportasi Maritim*, 8(1), 23–34.
- European Commission. (2019). *The Digital Competence Framework 2.0*. Publications Office of the EU.
- Ferrari, A. (2013). *DIGCOMP: A framework for developing and understanding digital competence in Europe*. Publications Office of the EU.
- Firmansyah, R. (2022). Digitalisasi layanan kepelabuhanan: Peluang pemanfaatan teknologi dan tantangan implementasi. *Jurnal Sistem Transportasi Laut*, 7(2), 49–62.
- Hawari, S. M., Hadiprawoto, T. R., Iriyanty, I., Alversia, Y., & Adiyono, S. (2024). Smart port management in digital transformation: A review for future research. *IJMEIR*, 9(3), 442–450. <https://doi.org/10.12962/j25481479.v9i3.4903>
- Hendrawan, B. (2022). Hindrances in port digitalization: Identifying problems in adoption and implementation. *International Journal of Port Management*, 15(3), 199–215.
- Hidayat, T. (2023). Penguatan SDM kepelabuhanan yang terintegrasi untuk meningkatkan kualitas dan kesiapan SDM di Pelabuhan Soekarno Hatta Makassar. *Jurnal Kepelabuhanan Indonesia*, 4(1), 12–25.
- Hsu, W. K., & Yip, T. L. (2021). Digital transformation in port operations: The role of automation and intelligent

- logistics. *Maritime Economics & Logistics*, 23(4), 678–695.
- Hung, S. Y., Chang, C. M., & Yu, T. J. (2020). Determinants of digital competence and its impact on job performance in logistics. *International Journal of Logistics Systems and Management*, 36(2), 145–165.
- Iskandar, M. (2021). Peran teknologi dalam meningkatkan kinerja operasional container handling system. *Jurnal Operasional Pelabuhan*, 6(3), 140–152.
- Kementerian Perhubungan. (2021). Industri kepelabuhanan dan peran teknologi informasi (TI) untuk peningkatan daya saing. *Jurnal Transportasi Laut Indonesia*, 11(1), 33–45.
- Kusuma, H. (2022). Pengembangan sumber daya manusia dalam mendukung transformasi transportasi laut di era Revolusi Industri 4.0. *Jurnal SDM Maritim*, 5(2), 87–101.
- Lubis, F. (2022). Penerapan teknologi digital di pelabuhan Indonesia untuk menurunkan biaya logistik nasional. *Jurnal Teknologi & Logistik*, 9(3), 55
- Mahyuddin, A. (2021). Peran teknologi informasi dalam meningkatkan daya saing industri kepelabuhanan. *Jurnal Inovasi & Teknologi Maritim*, 8(1), 18–32.
- Mora, H., Signes, M., & Gil, D. (2021). Digital competence, ICT skills and innovation performance. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 14(2), 179–197.
- Multi Terminal Pelindo. (2025). Penanganan dan pengaturan peti kemas pada TPK Belawan. Laporan Teknis Pelindo.
- Munim, Z. H., & Schramm, H. J. (2020). The impacts of port efficiency and logistics performance on maritime transport costs. *Maritime Economics & Logistics*, 22(3), 369–389.
- Notteboom, T., & Rodrigue, J.-P. (2020). Port performance and efficiency: Revisiting concepts and measurements. *Maritime Policy & Management*, 47(7), 837–856.
- Pallis, A. A., Notteboom, T., & De Langen, P. W. (2021). Revisiting port performance measurement frameworks. *Transport Reviews*, 41(2), 145–168.
- Siregar, J. (2021). Peran teknologi dalam meningkatkan kinerja operasional container handling system. *Jurnal Logistik dan Kepelabuhanan*, 13(1), 50–62.
- Sugiyono. (2019). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D. Alfabeta.
- Suprayitno, E. (2025). Optimization of business administration in maritime logistics: Case of Belawan Port. *Jurnal Nasional*.
- Tsai, C. W., Lin, Y. L., & Lee, S. C. (2022). Smart port technologies and operational efficiency improvement: An empirical review. *Journal of Shipping and Trade*, 7(1), 1–20.