

## Optimasi Kinerja Operasional Terminal Petikemas Berdasarkan *Handling Capacity* (Studi Kasus Terminal Petikemas Koja Tanjung Priok)

**Paulus Cahyandaru**

Program Studi Magister Logistik Agro Maritim IPB University  
[pauluscahyandaru@apps.ipb.ac.id](mailto:pauluscahyandaru@apps.ipb.ac.id)

**Budhi Hascaryo Iskandar**

Program Studi Magister Logistik Agro Maritim IPB University  
[budhihascaryo@apps.ipb.ac.id](mailto:budhihascaryo@apps.ipb.ac.id)

**Irman Hermadi**

Program Studi Magister Logistik Agro Maritim IPB University  
[irmanhermadi@apps.ipb.ac.id](mailto:irmanhermadi@apps.ipb.ac.id)

**Safuan**

Fakultas Bisnis & Ekonomi Universitas Esa Unggul  
[safuan@esaunggul.ac.id](mailto:safuan@esaunggul.ac.id)

### Abstrak

Pelabuhan merupakan simpul penting dalam sistem logistik nasional. Namun, kinerja operasional pelabuhan di Indonesia masih belum optimal, yang berdampak pada tingginya biaya logistik. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja operasional Terminal Petikemas Koja di Pelabuhan Tanjung Priok dengan pendekatan *handling capacity*. Fokus utama penelitian adalah pelayanan kapal, khususnya kecepatan bongkar muat yang dipengaruhi oleh penggunaan alat bongkar muat seperti *Quay Container Crane (QCC)*, *Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*, dan *Head Truck (HT)*. Analisis dilakukan dengan mengumpulkan data operasional dari *Terminal Operation System* selama periode 2020–2024, dan dilakukan simulasi regresi linear berganda serta optimasi menggunakan metode linear programming untuk menentukan komposisi alat yang paling efisien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi optimal untuk mencapai *Vessel Operating Rate (VOR)* tertinggi adalah 5 QCC, 17 RTG, dan 42 HT. Model regresi yang dihasilkan menunjukkan bahwa peningkatan VOR berkontribusi signifikan dalam menurunkan waktu kerja dermaga (*Berth Working Time/BWT*), yang berdampak langsung pada pengurangan biaya tambat kapal. Penelitian ini memberikan rekomendasi strategis untuk pengelolaan fasilitas terminal secara optimal demi mendukung efisiensi logistik nasional.

### Kata Kunci

Terminal Petikemas, VOR, *handling capacity*, *linear programming*, optimasi operasional, Pelabuhan Tanjung Priok

## PENDAHULUAN

Pelabuhan merupakan salah satu simpul transportasi dalam sistem logistik yang memiliki peranan strategis (Song & Parola, 2015). Namun, kondisi pelabuhan di Indonesia saat ini masih jauh dari yang diharapkan, sehingga menyebabkan pelayanan pelabuhan belum memberikan dukungan yang optimal dalam menunjang Sistem Logistik Nasional (Gurning et al., 2022). Hal ini, disebabkan oleh terbatasnya prasarana pelabuhan, rendahnya kualitas kinerja operasional pelabuhan, kurangnya keterpaduan penyelenggaraan transportasi antarmoda dan belum optimalnya (Abu Aisha et al., 2020; Sahoo et al., 2024). Dalam perdagangan dunia lebih dari 80% barang diangkut melalui laut dan 40% dari perdagangan tersebut melewati Indonesia (Wang et al., 2021). Dengan kondisi Indonesia yang 63% luasnya merupakan lautan dan merupakan

negara kepulauan, maka sektor maritim dan logistik menjadi fokus pembangunan Indonesia. Peningkatan kinerja kepelabuhanan, berdampak terhadap penurunan biaya logistik (Safuan, 2023). Keberhasilan meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses-proses kepelabuhanan akan berpengaruh terhadap pengurangan waktu waktu tambat kapal (Safuan, 2023). Kinerja di bidang logistik ditunjukkan oleh capaian *Logistics Performance Index (LPI)* (Jomthanachai et al., 2022). Adapun LPI merupakan indeks kinerja logistik negara-negara di dunia yang dirilis oleh Bank Dunia per dua tahun sekali (Qazi et al., 2025).

Dalam rangka meningkatkan kinerja LPI Indonesia salah satunya adalah melalui memperkuat kebijakan dalam Standarisasi Layanan Kepelabuhanan. Oleh sebab itu Pemerintah yang diwakili oleh Kantor Otoritas Pelabuhan Utama Tanjung Priok mengeluarkan peraturan tentang Standar Kinerja Pelayanan Operasional Pelabuhan Tanjung Priok nomor HK.206/3/18/OP.TPK-2020 tanggal 31 Desember 2020, yang isinya tentang Pelayanan Kapal, Pelayanan Petikemas dan Utilisasi Fasilitas dan Peralatan (Standar Kinerja Pelayanan Operasional Pelabuhan Pada Pelabuhan Tanjung Priok, 2022). Setiap instansi 2 yang ada di pelabuhan harus mencapai standar kinerja yang ditentukan, dan dievaluasi setiap triwulan. Keberhasilan terminal petikemas dalam memberikan kinerja, sangat ditentukan oleh kondisi infrastruktur dan suprastruktur yang merupakan komponen utama suatu terminal petikemas. Yang termasuk infrastruktur di terminal petikemas adalah panjang dermaga dan luas area untuk penumpukan, sementara suprastruktur terdiri dari peralatan bongkar muat seperti *Quay Crane (Crane Dermaga)*, *Rubber Tyred Gantry Crane (Crane Lapangan)*, *Gate Lane (jalur pintu)*, *Internal Tractor (Truck Terminal)* (Cahyono et al., 2022). Masing-masing infra dan suprastruktur tadi menghasilkan kapasitas penanganan (*handling capacity*) terminal, yakni kapasitas terkecil dari komposisi infra dan suprastruktur di atas.

Semakin lama kapal dan barang di pelabuhan, maka biaya logistik akan semakin naik. Kapal akan membayar biaya tambat, yang nilainya tergantung dari kapasitas kapal dan waktu sandar, sementara petikemas juga akan terkena biaya THC (*Terminal Handling Cost*) dan CHC (*Container Handling Cost*) di Pelabuhan. Jika petikemas terkena jalur merah dan harus dilakukan inspeksi maka pemilik cargo juga harus membayar *demurage* atas kelebihan pemakaian petikemas *longstay* (Safuan, 2023). Permasalahan biaya logistik di Pelabuhan, bisa diselesaikan dengan meningkatkan kinerja di Pelabuhan. Kinerja pelabuhan/ terminal petikemas dapat dilihat dari 2 sisi, yakni kinerja pelayanan kapal, dan kinerja pelayanan barang/ petikemas. Kinerja pelayanan kapal dilihat dari port stay (lama kapal sandar di pelabuhan, yang ditentukan oleh kinerja bongkar muat petikemas dalam satu kapal, atau yang lebih dikenal dengan *Vessel Operating Rate (VOR)*. Sementara kinerja pelayanan petikemas dilihat dari *dwelling time* petikemas, lama petikemas berada di pelabuhan. Kedua kinerja tersebut berkaitan dengan parameter waktu, semakin cepat kapal dan barang berada di pelabuhan semakin rendah biaya yang ditimbulkan (Safuan, 2023). Banyak Pihak-pihak yang terlibat di pelabuhan tidak hanya terminal petikemas saja, namun ada instansi-instansi lain yang juga berperan seperti instansi Bea Cukai, Karantina, Kepanduan, Imigrasi, dan Departemen Perdagangan. Oleh sebab itu peningkatan kinerja Pelabuhan juga harus disertai dengan perbaikan regulasi dan kinerja dari pihak terkait dalam sistem logistik Pelabuhan (Safuan et al., 2022). Pada penelitian kali ini, kita akan fokuskan kepada kinerja pelayanan kapal, karena terkait dengan fasilitas yang dimiliki oleh Terminal, dan kita akan mempelajari khusus mempelajari di terminal petikemas Koja. Kinerja terminal petikemas juga sangat erat kaitannya terhadap kesiapan dan ketersediaan fasilitas dan peralatan bongkar muat petikemas, serta komposisi alat yang optimal yang digunakan untuk menghasilkan kinerja yang tinggi.

Penelitian ini bebas dari benturan kepentingan (*conflict of interest*) dan sudah sesuai etika penelitian, dibawah bimbingan dan arahan dari kampus IPB University dan sudah dilakukan sidang pada tanggal 5 Juli 2025.

Penelitian ini menawarkan kontribusi baru dalam bentuk pemodelan matematis rasio alat bongkar muat optimal di terminal petikemas Indonesia yang selama ini belum banyak dikaji secara empiris dalam konteks operasional domestik

## LANDASAN TEORI

### Terminal Petikemas

Terminal petikemas merupakan simpul vital dalam jaringan logistik global yang berfungsi sebagai fasilitas untuk bongkar muat, penyimpanan, dan distribusi petikemas. Struktur operasional terminal petikemas secara umum dapat dibagi menjadi lima area fungsional utama, yaitu area berlabuh (berth), dermaga (quay), area transportasi internal, lapangan penumpukan (storage, atau sering disebut Container Yard/CY), dan pintu gerbang (gate). Pembagian ini juga sering dikategorikan menjadi dua sisi operasional utama: sisi laut (Sea Side) yang mencakup area berlabuh dan dermaga, serta sisi darat (Land Side) yang meliputi lapangan penumpukan dan pintu gerbang (gate). Proses operasional di sisi laut berfokus pada pergerakan petikemas antara kapal dan dermaga. Hal ini diawali dengan penerimaan informasi kedatangan kapal dan penyusunan Bayplan, yaitu rencana tata letak muatan petikemas di atas kapal yang sangat krusial untuk efisiensi bongkar muat serta keselamatan kapal. Pembongkaran petikemas dari kapal dilakukan oleh alat utama yang disebut Quay Container Crane (QCC) atau Quay Crane (QC). Petikemas yang telah dibongkar kemudian dipindahkan ke Internal Truck atau Head Truck (IT/HT) untuk diangkut menuju Container Yard (CY). Di CY, petikemas tersebut selanjutnya akan ditumpuk secara rapi menggunakan Rubber Tyred Gantry Crane (RTGC) atau Yard Crane. Sebaliknya, untuk proses muat, petikemas ekspor yang berada di lapangan penumpukan akan diangkut oleh ITT menuju dermaga dan dimuat ke kapal oleh QCC. Proses bongkar muat (siklus aktivitas) berjalan secara berurutan: kapal merapat ke dermaga, petikemas dibongkar oleh QCC, diangkut ke CY oleh ITT, dan ditumpuk oleh RTGC. Setelah proses bongkar selesai, dilanjutkan dengan pengangkutan petikemas yang akan dimuat ke kapal, hingga semua petikemas termuat dan kapal siap untuk berangkat. Proses di sisi darat melibatkan pergerakan petikemas antara lapangan penumpukan dan area di luar terminal, baik masuk maupun keluar, melalui pintu gerbang (gate). Sementara itu, pelayanan kapal mencakup seluruh rangkaian kegiatan mulai dari kedatangan kapal, pemanduan menuju dermaga, proses bongkar muat, hingga pelepasan tali dan keberangkatan kapal.

### Komponen Terminal Petikemas

Efisiensi operasional Terminal Petikemas terminal petikemas sangat bergantung pada kinerja optimal dari beberapa komponen utama, yaitu:

1. **Dermaga (Berth):** Merupakan fasilitas tempat kapal bersandar untuk melakukan aktivitas bongkar dan muat petikemas. Efisiensi pemanfaatan dermaga ini sering diukur dengan indikator Berth Occupancy Ratio (BOR).
2. **Lapangan Penumpukan (Container Yard/CY):** Area khusus yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara petikemas, baik sebelum dimuat ke kapal maupun setelah diturunkan dari kapal
3. **Peralatan Bongkar Muat** yaitu : 1) Quay **Container** Crane (QCC): Alat berat utama yang bertanggung jawab untuk memindahkan petikemas secara vertikal dan horizontal antara kapal dan Internal Tractor (IT) di dermaga. Produktivitas QCC diukur dengan Box Crane Per Hour (BCH), yaitu jumlah box petikemas yang dipindahkan per jam per crane. 2) Rubber Tyred Gantry Crane (RTGC): Digunakan di lapangan penumpukan (Container Yard) untuk menyusun, mengangkat, dan memindahkan petikemas secara vertikal maupun horizontal. 3) Internal Tractor (IT) / Head Truck (HT): Kendaraan khusus yang berfungsi untuk mengangkut petikemas secara horizontal antara dermaga (tempat QCC beroperasi) dan lapangan penumpukan (Container Yard).

### Kapasitas Terminal Petikemas

Kapasitas terminal petikemas didefinisikan sebagai total throughput (lalu lintas petikemas) yang mampu ditangani dalam satuan waktu tertentu. Faktor-faktor penentu kapasitas ini sangat beragam, melibatkan fasilitas dan peralatan yang digunakan baik di sisi laut (seaside) maupun di sisi darat (landside). Komponen-komponen tersebut meliputi dermaga, lapangan penumpukan, Quay Crane (QC), Yard Crane atau Rubber Tyred Gantry Crane (RTGC), Head Truck (HT), dan

Gate. Penting untuk dicatat bahwa kapasitas keseluruhan terminal ditentukan oleh kapasitas terkecil atau "bottleneck" dari salah satu fasilitas atau peralatan di atas. Kapasitas dapat dibedakan menjadi dua jenis:

- 1) **Kapasitas Dinamis:** Memperhitungkan periode waktu tertentu (misalnya, satu tahun), yang merefleksikan volume throughput dalam jangka panjang.
- 2) **Kapasitas Statis:** Hanya **mempertimbangkan** kapasitas pada suatu titik waktu sesaat. Perhitungan kapasitas dinamis untuk masing-masing fasilitas, sebagaimana dijelaskan oleh UNCTAD (2012), adalah sebagai berikut:
- 3) **Kapasitas Dermaga (CB):**  $CB = n \times \emptyset \text{BOR} \times \text{BYear} \times P$  Dimana: \* CB= **Kapasitas Dermaga** (Berth capacity) \* n= Jumlah tambatan (Number of berth) \*  $\emptyset$ = Tingkat kepadatan Dermaga yang disarankan/Berth Occupancy Ratio (BOR) (normalnya maks. 70%) \* BYear= Jam operasi terminal dalam setahun \* P= Rata-rata tahunan produktivitas kapal di dermaga.

2 Kapasitas Dinamis Lapangan (CY):  $CY = \text{TGS} \times H \times K \times (\text{DtWD})$  Dimana: \* TGS= Total Ground Slot (jumlah slot petikemas di permukaan tanah di CY) \* H= Tinggi Tumpukan (rata-rata tumpukan petikemas) \* K= Faktor Operasi (berkisar antara 0,55 – 0,70) \* Dt= Rata-rata Dwelling Time (lama petikemas berada di terminal) \* WD= Hari. Studi kasus pada Terminal Petikemas Koja menunjukkan ikhtisar kapasitas sebagai berikut: Dermaga (1.046.507), Container Yard (1.365.817), Quay Container Crane (946.777), Rubber Tyred Gantry Crane (966.132), dan Head Truck (1.099.417)

### Kinerja Terminal Petikemas

Kinerja terminal petikemas secara fundamental diukur dari seberapa cepat proses bongkar muat dapat diselesaikan dan seberapa efektif utilitas peralatan yang ada. Kinerja yang optimal secara langsung berkontribusi pada penurunan biaya bagi pengguna jasa. Indikator kinerja dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama:

1. **Indikator Kinerja Pelayanan Kapal:** 1. Box Crane per Hour (BCH): Mengukur jumlah box petikemas yang berhasil dipindahkan oleh satu STS (Ship-to-Shore) crane dalam satu jam. Ini adalah indikator produktivitas QCC. 2. Box Ship per Hour (BSH) atau Vessel Operating Rate (VOR): Mengukur total jumlah box petikemas yang berhasil dibongkar/dimuat dari atau ke satu kapal oleh terminal dalam satu jam. Semakin tinggi nilai VOR, semakin singkat waktu pelayanan kapal (Port Stay/Berth Working Time), yang berdampak pada penghematan biaya bagi operator pelayaran. 3. Turn Round Time (TRT): Total waktu yang dibutuhkan kapal dari momen kedatangan (sandar) hingga keberangkatan (keluar) dari terminal, mencakup seluruh proses bongkar muat dan administrasi. 4. Berth Occupancy Ratio (BOR): Indikator yang menunjukkan tingkat pemanfaatan dermaga oleh kapal. BOR yang ideal menunjukkan keseimbangan antara ketersediaan dermaga dan permintaan layanan
2. **Indikator Kinerja Pelayanan Barang/ Petikemas:** 1. Dwelling Time (DT): Mengukur total waktu petikemas berada di dalam terminal, terhitung sejak petikemas masuk ke area terminal hingga keluar dari terminal

### Optimalisasi Proses Operasional

Optimalisasi Operasional di Terminal Petikemas Optimalisasi proses operasional di terminal petikemas bertujuan esensial untuk mencapai output maksimum. Hal ini diwujudkan dengan meminimalkan biaya operasional namun tetap memastikan standar kualitas layanan terpenuhi bagi pelanggan. Dalam konteks operasional kapal, tujuan utama optimalisasi adalah mempercepat proses bongkar muat petikemas sehingga waktu sandar kapal dapat diminimalisir. Pengurangan waktu sandar ini secara langsung akan memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi seluruh mata rantai logistik (Mili & Sadraoui, 2015). Kapasitas terminal petikemas dapat ditingkatkan melalui dua pendekatan: 1. Penambahan Infrastruktur atau Suprastruktur: Pendekatan ini memerlukan investasi modal yang signifikan untuk pengadaan fasilitas baru (misalnya dermaga tambahan) atau peralatan baru (seperti QCC, RTGC, atau IT baru. 2. Optimalisasi Proses Operasional: Pendekatan ini berfokus pada peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya dan fasilitas yang sudah ada. Tujuannya adalah memperoleh output maksimal tanpa

harus melakukan investasi tambahan. Ini melibatkan penataan ulang alur kerja, penjadwalan yang lebih baik, atau penerapan teknologi untuk meningkatkan koordinasi dan kecepatan pergerakan petikemas dan alat. Penelitian ini secara khusus menekankan pada optimalisasi kapasitas melalui pendekatan kedua, yaitu peningkatan kinerja operasional tanpa investasi besar pada penambahan aset, dengan fokus pada komposisi dan pemanfaatan alat bongkar muat yang paling efisien untuk mencapai Vessel Operating Rate (VOR) tertinggi.

Penelitian ini menawarkan kontribusi baru dalam bentuk pemodelan matematis rasio alat bongkar muat optimal di terminal petikemas Indonesia yang selama ini belum banyak dikaji secara empiris dalam konteks operasional domestik

**METODE**

**Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan dalam kurun waktu Desember 2024 sampai dengan Mei 2025, dengan dengan pengumpulan data operasional dari Januari tahun 2020 sampai dengan Desember 2024 di Terminal Petikemas Koja (TPK Koja), Tanjung Priok, Jakarta Utara, salah satu terminal petikemas Internasional di Indonesia.

**Jenis Penelitian dan data**

Penelitian ini merupakan penelitian jenis kuantitatif deskriptif melalui studi kasus (Priya, 2021), dengan data-data diambil dari lokasi penelitian, dan diolah, dianalisis dengan metode statistika.

**Tabel 1.** Jenis data, sumber dan teknik pengumpulan data

No	Jenis Data	Sumber	Tujuan Data	Teknik Pengumpulan
1	Informasi Faktor Penentu Kinerja	Pelaku Bisnis di Pelabuhan	Mencari kinerja yang mempengaruhi kinerja	Kuesioner
2	Kinerja, Vessel Operating Rate (VOR) dan variable penentu kinerja	Data Primer, nEDR Terminal Petikemas	Penghitungan Kinerja	Extract database
3	Tarif Pelayanan Kapal	SK Dir Pelindo	Penentuan Biaya Variable Terminal	Mencari Data sekunder
4	Tarif Pelayanan Petikemas	SK Dir Pelindo	Penentuan Biaya Variable Terminal	Mencari Data sekunder
5	Biaya Operasional per alat	Dept. Teknik	Menentukan Biaya Operasional	Mencari Data Internal

Sumber: Olah data

**Analisis**

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan Analisis regresi berganda digunakan untuk membangun model prediksi VOR berdasarkan variabel independen (QCC, RTG, HT). Metode pencarian variable dengan Proses stepwise memasukkan variabel secara bertahap berdasarkan signifikansi statistik ( $p\text{-value} < 0.05$ ). Dalam penentuan model dilakukan pembedaan antara jenis kapal DOME (domestik/ Transshipment) dengan LINER (Internasional), mengingat karakteristiknya sangat berbeda, dari sisi jumlah bongkar muat dan panjang kapal, serta tarif pelayanannya.

Hasil penggunaan metode regresi tersebut baru bisa menjelaskan 66% variance VOR yang bisa dijelaskan oleh variable alat yakni QCC, RTG, HT, sehingga masih ada variable yang bisa

meningkatkan model, seperti kualitas perencanaan, kemampuan operator alat dan faktor luar seperti cuaca dan lingkungan.

**Tabel 2.** Perbedaan Kapal Domestik dan Internasional (Liner)

JENIS KAPAL	Rata-rata Volume	Rata-rata LOA	Max Crane Deploy	Mata Uang Tarif
Domestik	62	105	2	IDR
Internasional	1.966	230	5	USD

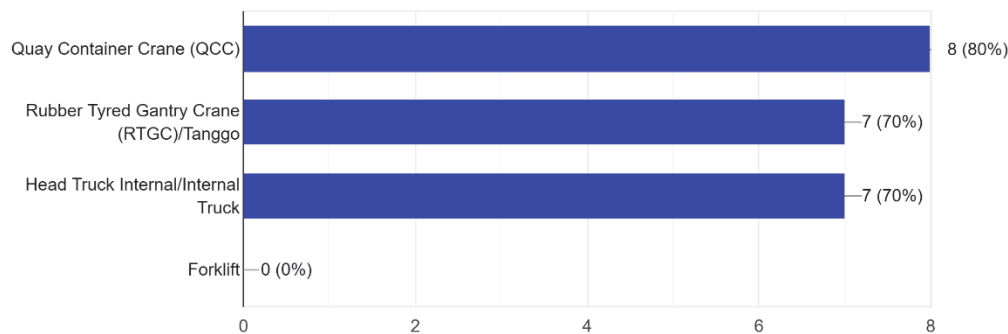
Sumber: Olah Data

Setelah mendapatkan model yang valid, maka untuk menentukan variable optimum digunakan pengolahan *Linear Programming* untuk mendapatkan komposisi alat yang optimum dengan fungsi tujuan maksimasi kinerja dan minimasi biaya, serta kendala jumlah alat maksimum.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Identifikasi Kinerja**

Berdasarkan data penelitian, kinerja pelabuhan ditentukan oleh alat-alat bongkar muat utama yaitu *Quay Container Crane (QCC)*, *Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)*, dan *Head Truck/Internal Truck*. Responden, adalah pelaku usaha di bidang Pelabuhan yang sudah memiliki pengalaman lebih dari 6 tahun. Hasil jawaban responden menunjukkan bahwa factor yang mempengaruhi adalah yang terkait dengan alat bongkar muat seperti gambar berikut:



**Gambar 1.** Faktor yang mempengaruhi kinerja Terminal

Sumber: Olah Data

Sementara kinerja selain dipengaruhi oleh jumlah alat juga dipengaruhi dengan kecepatan menjalankan alat. Jika QCC kecepatan menjalankan alat diukur dengan parameter BCH (*Box/Crane/Hour*) berapa *box* yang diangkat tiap *crane* tiap jam. Berikut adalah data kecepatan per alat

**Tabel 3.** Rata-rata Kecepatan Bongkar Muat per Crane 2020-2025

No	Kinerja	satuan	Standar	tahun					
				2020	2021	2022	2023	2024	2025
II Pelayanan Crane:									
1	BCH	box/jam/ crane	24	26	26	25	24	25	26
2	BSH (VOR)	box/jam/ kapal	55	63	63	61	61	62	58
	CI	crane	2,3	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,3

Sumber: Olah Data

Dari data di atas, menunjukkan bahwa kinerja pelayanan bongkar muat kapal, tidak serta merta naik jika kecepatan tinggi, masih ada satu factor lagi yakni penggunaan crane yang efektif, yang bisa kita sebut *crane intensity*. *Crane Intensity* juga dipengaruhi oleh Panjang Kapal dan sebaran posisi bongkar muat (*Bayplan*) di kapal, jika menyebar secara merata maka penggunaan *crane*

akan menjadi efektif, namun jika sebaran *bayplan* tidak merata maka penggunaan *crane* tidak efektif, sehingga hanya sedikit *crane* yang dipergunakan (*deployed*)

Dari pengolahan data thun 2020 sampai dengan 2024, untuk membuat analisis terhadap kinerja terminal petikemas, dipisahkan analisisnya antar kapal LINER dan kapal DOMESTIK. Mengingat karakteristik kapa domestik dan internasional berbeda dalam penanganan di terminal petikemas, maka dilakukan analisis terpisah, dengan hasil sebagai tabel berikut.

**Tabel 4. Hasil Analisis Model Kinerja untuk Kapal LINER dan DOME**

KAPAL	VARIABLE	Koefisien	p-value	VIF	R <sup>2</sup>	Semua Variabel Signifikan	Multikol inearitas	Residu al	Valid
DOME	Intersep	12,187	0,011	0,00	7,0%	Ya	Tidak	Normal	NO
	QCC	13,258	0,000	3,03					
	RTG	- 1,078	0,000	2,11					
	HT	0,208	0,002	2,55					
LINER	Intersep	2,878	0,011	0	69%	Ya	Tidak	Normal	YES
	QCC	12,751	0,000	3,0292					
	RTG	0,372	0,000	2,1135					
	HT	0,464	0,002	2,546					

Sumber: Olah Data

Maka diambil model yang valid adalah untuk model LINER, sementara untuk model DOME (Domestik) tidak dilakukan analisis lebih lanjut, mengingat kapal Domestik kontribusinya saat ini juga bukan sebagai prioritas dalam pelayanan di terminal petikemas Tanjung priok. Model kinerja yang terbentuk adalah  $VOR_{LINER} = 2.878 + 12.751*QCC + 0.372*HT + 0.464*RTG$ , dengan nilai  $R^2 = 65,9\%$ , model tersebut sudah memenuhi kriteria sebagai berikut seperti tabel berikut.

**Tabel 5. Hasil Pengujian Kriteria untuk Menentukan Model Valid**

No	Prasarat Model	Pengujian	Nilai Parameter	Kesimpulan
1	Linearitas	Compare mean	Signifikant < 0,05	Sig<=0.05 maka Linear
2	Normalitas	Uji Kolmogorov Smirnov	Membandingkan nilai signifikan dengan 0.05	Sig<=0.05 maka Normal
3	heteroskedastisitas	Uji Glejser	Membandingkan nilai signifikan dengan 0.05	tidak heteroskedastik
4	non multikolinearitas		VF<10	Tidak ada gejala multikolinearitas (VIF < 10).
5	autocorelasi	Uji durbin watson	Nilai dw=1.529 DL =1.73 dan DU =: 1.85	tidak ada autokorelasi

Sumber: Olah Data

Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan QCC memiliki sensitivitas tinggi terhadap peningkatan VOR, yang menunjukkan bahwa investasi pada alat ini lebih strategis dibanding penambahan HT dan RTG.

**A. Hasil Optimasi dengan *Linear Programming***

Pengolahan data Linear Progamring menggunakan software LINGO menunjukkan bahwa nilai VOR maksimal didapatkan jika menggunakan seluruh alat yang dimiliki oleh Terminal. Yakni QCC=7, RTG = 25 dan Heat Truk=48, yang akan menghasilkan VOR sebesar 123,7. Namun dalam kenyataa, kondisi ini sulit didapat mengingat ketersediaan alat juga membutuhkan maintenance dan kondisi kapal harus kapal yang panjang agar keseluruhan QCC bisa beroperasi, lebar QCC crane adalah 30 meter, sehingga kapal yang dilayani adalah sepanjang 30meter x 7 =210, dengan sebaran muatan merata. Kondisi ini tidak pernah dijumpai sepanjang terminal petikemas beroperasi sejak tahun 1997. Dengan mengingat semakin banyak alat yang dioperasikan akan semakin besar biaya operasional yang dikeluarkan terminal, maka dalam

perhitungan dibutuhkan tujuan lain, yakni minimalisir biaya. Data biaya operasional tiap alat dapat disajikan dalam tabel Biaya per alat dalam 1 tahun.

**Tabel 6.** Tabel Biaya Operasional per alat Bongkar Muat

ALAT	SUMBER DAYA	BIAYA PER TAHUN	BIAYA PER HARI	JUMLAH ALAT	AVAILAB ILITY	SIAP OPERASI
QCC	LITRIK	Rp 432.571.880,44	Rp 1.185.128,44	7	97,0275	7
RTG	BBM	Rp1.311.329.537,71	Rp 3.592.683,66	25	77,775	19
HT	BBM	Rp 280.888.269,62	Rp 769.556,90	48	92,22	44

Sumber: Olah Data

Biaya Operasional untuk mengoperasikan ketiga alat Bongkar Muat adalah sebagai berikut: Biaya =Rp 1.185.128,44QCC+Rp 3.592.683,665RTG+Rp 769.556,90 HT

Dalam penelitian ini, dicoba untuk menambahkan fungsi tujuan kedua yakni Meminimalkan biaya operasioanl. Dalam pengolahan dengan LINGO, tidak berhasil dilakukan pengolahan karena Linear Programming hanya bisa mengolah satu tujuan saja, sedangkan jika tujuan lebih dari satu, maka perlu dilakukan dengan alat analisis yang lain seperti MOGA (Multi Objective General Analysis) keterbatasan analisis. Untuk mensiasati permasalahan ini, maka fungsi tujuan diganti dengan faktor pembatas, yakni ketersediaan anggaran. Namun demikian hasil yang didapatkan adalah tetap memaksimalkan fungsi VOR. Meskipun demikian, perlu analisis lebih lanjut mengenai batasan penggunaan dan memasukkan kendala biaya penggunaan alat.

Penelitian ini memberikan model alokasi alat bongkar muat yang dapat direplikasi di terminal lain dalam upaya menurunkan biaya logistik nasional secara terukur.

**B. Rasio Penggunaan Alat Optimum**

Komposisi optimal alat yang menghasilkan VOR tinggi yang pernah ada adalah 5 QCC, 17 RTG, dan 47 HT. Dilihat dari panjang dermaga yang ada di terminal petikemas Koja yakni sebesar 640 meter, maka dalam satu waktu, jumlah tambatan adalah sebesar panjang dermaga dibagi panjang kapal (*Length of Overall*+ Jarak antar kapal yang aman 10% LOA), dengan rata-rata kapal LINER sebesar 230 meter, maka bisa menampung 2 kapal LINER saja, sehingga jika ada lebih dari 2 kapal yang tambat, maka alokasi *crane* akan dibagi menjadi 2 kapal sehingga alokasi QCC sebesar 5 QCC terjadi disaat di dermaga hanya ada 1 kapal saja, sehingga ketika kondisi dermaga sedang padat (lebih 2 kapal sandar), maka pembagian *crane* adalah 3-4 *crane* dalam melayani 1 kapal. Mengingat alat QCC yang mempunyai pengaruh yang besar dalam kinerja pelayanan terminal petikemas, maka perlu dicari rasio penggunaan alat RTG dan HT terhadap QCC. Ini akan memudahkan bagi terminal dalam alokasi alat sesuai dengan crane yang dialokasikan dalam pelayanan sebuah kapal. Setiap QCC baru yang dioperasikan akan meningkatkan jumlah peti kemas/bongkar muat per jam, namun kecepatan total proses sangat tergantung pada apakah "mata rantai" lain (RTG/HT) juga cukup memadai.

Rasio penggunaan alat terhadap CC untuk kapal LINER : rasio QC:RTG:HT adalah 1:3:8, sementara untuk kapal DOMESTIK : 1:2:8. Setiap tambahan QCC, jika tanpa kenaikan RTG/HT, VOR naik tapi tidak optimal (muncul *bottleneck* lapangan). Jika RTG dan HT mendadak kurang, kenaikan jumlah QCC tidak berdampak banyak karena antrian di transfer peti kemas.

**C. Hubungan VOR terhadap Berth Working Time (BWT)**

*Berth Working Time (BWT)* adalah waktu efektif yang digunakan untuk operasi bongkar muat di dermaga. BWT sangat berpengaruh terhadap kecepatan bongkar muat karena efisiensi pemanfaatan waktu di dermaga akan mempercepat proses bongkar muat. Optimalisasi peralatan, minimasi waktu tunggu kapal, dan efisiensi operasional sangat penting dalam pengelolaan BWT. Kegagalan pengelolaan BWT dapat menyebabkan penurunan kecepatan bongkar muat, kemacetan, dan peningkatan biaya operasional.

Hubungan antara VOR dan BWT dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$BWT = \frac{\text{Jumlah Bongkar Muat}}{VOR}$$

Sehingga jika menggunakan VOR standar, dengan jumlah bongkar muat 2.000 *Box* , dan panjang kapal 200 meter, didapatkan GRT sebesar 4.000 *Tonnage*, sehingga perhitungan Biaya Sandar Kapal dapat dilihat dari Tabel berikut :

**Tabel 7.** Penurunan Biaya Sandar Kapal

BWT	Bongkar Muat (Box)	VOR <sub>model</sub>	NOT	BT	ETMAL	GRT	TARIF USD/GRT/etmal dalam USD	Total Tarif (Rp)	Penurunan Biaya (Rp)	Penurunan BT	Keterangan
36,36	2.000	55	2	38	1,6	4000	\$0,14	14.577.542			standard
35,71	2.000	56	2	38	1,6	4000	\$0,14	14.330.800	- 246.742	- 0,65	
35,09	2.000	57	2	37	1,5	4000	\$0,14	14.092.715	- 484.827	- 1,28	
34,48	2.000	58	2	36	1,5	4000	\$0,14	13.862.840	- 714.702	- 1,88	
33,90	2.000	59	2	36	1,5	4000	\$0,14	13.640.758	- 936.785	- 2,47	
33,33	2.000	60	2	35	1,5	4000	\$0,14	13.426.078	- 1.151.465	- 3,03	
32,79	2.000	61	2	35	1,4	4000	\$0,14	13.218.437	- 1.359.106	- 3,58	
32,26	2.000	62	2	34	1,4	4000	\$0,14	13.017.494	- 1.560.049	- 4,11	
31,75	2.000	63	2	34	1,4	4000	\$0,14	12.822.930	- 1.754.613	- 4,62	
31,25	2.000	64	2	33	1,4	4000	\$0,14	12.634.446	- 1.943.097	- 5,11	
20,61	2.000	97	2	23	0,9	4000	\$0,14	8.593.295	- 5.984.247	- 15,75	nilai optimum

Sumber: Olah Data

Dengan demikian maka akan terjadi penurunan biaya sebesar RP4.984247,- jika kinerja optimum diperoleh dengan komposisi 5:17:47, dibandingkan dengan kinerja standar pemerintah. Dengan adanya penelitian ini, pengelola terminal petikemas dapat merencanakan untuk memberikan kinerja yang baik dengan cara mempersiapkan peralatan yang dimiliki untuk dialokasikan secara maksimal, dan bisa memperkirakan VOR yang dihasilkan hanya jika dengan peralatan yang tersedia. Dan dengan demikian pengguna jasa (Shipping Lines) dapat meminta SLA (*Service Level Agreement*) untuk dipenuhi oleh terminal petikemas, dalam *berhiring contract* nya

### KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi dan mengoptimalkan kinerja operasional Terminal Petikemas Koja (TPK Koja) melalui pendekatan *handling capacity*, dengan fokus pada pelayanan kapal dan efisiensi penggunaan alat bongkar muat utama. Berdasarkan analisis regresi berganda dan simulasi optimasi menggunakan metode *linear programming*, beberapa kesimpulan kunci dapat ditarik:

1. Model Kinerja VOR: Kinerja operasional terminal dinyatakan dalam Vessel Operating Rate (VOR) bagi kapal LINER (Internasional), dipengaruhi secara signifikan oleh jumlah alat Quay Container Crane (QCC), Rubber Tyred Gantry Crane (RTG), dan Head Truck (HT). Model VOR LINER = 2.878 + 12.751QCC + 0.372HT + 0.464\*RTG, dengan kontribusi QCC sebagai faktor paling dominan, terbukti valid dan memiliki R<sup>2</sup> sebesar 65,9%. Sementara itu, model untuk kapal Domestik tidak menunjukkan signifikansi yang memadai untuk analisis lebih lanjut dalam konteks prioritas TPK Koja. Penelitian ini memberikan model alokasi alat bongkar muat yang dapat direplikasi di terminal lain dalam upaya menurunkan biaya logistik nasional secara terukur
2. Komposisi Alat Optimal: Meskipun penggunaan maksimum seluruh alat yang ada (7 QCC, 25 RTG, 48 HT) secara teoritis akan menghasilkan VOR tertinggi, komposisi optimal yang realistis dan pernah tercapai dengan VOR tinggi adalah 5 QCC, 17 RTG, dan 42 HT. Komposisi ini mempertimbangkan kendala operasional seperti ketersediaan alat, kebutuhan *\*maintenance\**, dan kapasitas dermaga.

3. Rasio Penggunaan Alat: Untuk memastikan efisiensi dan menghindari \*bottleneck\*, ditemukan rasio penggunaan alat yang optimal terhadap QCC. Untuk kapal LINER, rasio ideal adalah 1 QCC : 3 RTG : 8 HT. Sementara untuk kapal DOMESTIK, rasio yang disarankan adalah 1 QCC : 2 RTG : 8 HT. Rasio ini penting sebagai panduan alokasi alat di lapangan.
4. Dampak pada BWT dan Biaya Logistik: Peningkatan Vessel Operating Rate (VOR) terbukti berkontribusi signifikan dalam menurunkan waktu kerja dermaga (Berth Working Time/BWT). Dengan komposisi alat yang optimal, dapat dicapai penurunan biaya sandar kapal sebesar Rp 4.041.150,81 per kapal, yang secara langsung mendukung upaya efisiensi biaya logistik nasional.

Berdasarkan temuan dan kesimpulan penelitian ini, berikut adalah beberapa saran yang dapat diajukan kepada manajemen Terminal Petikemas Koja dan pemangku kepentingan terkait:

1. Prioritaskan Ketersediaan QCC: Mengingat QCC memiliki dampak paling dominan terhadap VOR, manajemen TPK Koja perlu memprioritaskan ketersediaan, pemeliharaan, dan optimalisasi penggunaan QCC, terutama untuk pelayanan kapal internasional (LINER). Investasi dalam penambahan atau peningkatan QCC harus selalu dipertimbangkan bersamaan dengan penyesuaian alat pendukung lainnya.
2. Terapkan Rasio Optimal Alat: Manajemen operasional harus aktif menerapkan dan memastikan rasio optimal QCC:RTG:HT (1:3:8 untuk kapal LINER dan 1:2:8 untuk kapal DOMESTIK) saat mengalokasikan alat untuk penanganan kapal. Hal ini akan meminimalkan waktu tunggu dan *idle* alat, sehingga meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dan mencegah *bottleneck* di lapangan maupun antar-dermaga.
3. Studi Lanjut Integrasi Multi-Objective: Untuk penelitian di masa depan, disarankan untuk menggunakan metode analisis yang mampu mengolah *multi-objective optimization* (misalnya, MOGA - Multi Objective Genetic Algorithm atau metode lain yang lebih kompleks) guna menemukan komposisi alat yang tidak hanya memaksimalkan VOR tetapi juga meminimalkan biaya operasional secara simultan, dengan mempertimbangkan batasan anggaran dan ketersediaan alat.
4. Peningkatan Efisiensi Non-Alat: Selain optimasi alat, disarankan bagi TPK Koja untuk terus meningkatkan aspek operasional non-alat yang juga mempengaruhi VOR dan BWT, seperti efisiensi perencanaan *bayplan* (sebaran muatan kapal), kelancaran koordinasi antar-operator alat, dan kecepatan proses administrasi kapal di dermaga.
5. Replikasi Studi dan Perbandingan: Penelitian serupa dapat direplikasi di terminal petikemas lain di Indonesia untuk membandingkan temuan dan mengembangkan model optimasi yang lebih umum, atau melakukan studi perbandingan dengan terminal petikemas di negara lain yang memiliki kinerja logistik lebih tinggi

## KEBARUAN DALAM TULISAN INI

**1. Model Empiris Komposisi Optimal Alat Bongkar Muat di Terminal Petikemas Indonesia**  
 Penelitian ini menawarkan pemodelan matematis berbasis regresi linear berganda dan optimasi linear programming untuk menentukan komposisi optimal alat bongkar muat utama (QCC, RTG, HT) dalam konteks operasional terminal petikemas nasional (kasus: TPK Koja).

> Kebaruan: Selama ini, *\_rasio optimal alat bongkar muat di terminal petikemas Indonesia\_* belum banyak dikaji secara empiris secara kontekstual/domestik dan model matematisnya jarang disajikan secara eksplisit.

## **2. Pemisahan dan Model Khusus untuk Jenis Kapal Liner (Internasional) vs Domestik**

Penelitian ini secara kritis membedakan model kinerja antara kapal domestik dan kapal internasional (liner), memperlihatkan perbedaan karakteristik operasi sehingga model, parameter, dan rekomendasi alat masing-masing lebih akurat dan relevan.

> Kebaruan: Sebagian besar studi sebelumnya tidak melakukan pemisahan analisis antara kapal domestik dan internasional pada konteks pelabuhan nasional.

### 3. Integrasi Penurunan Waktu Kerja Dermaga dan Biaya Logistik

Tulisan ini menghubungkan langsung antara optimasi komposisi alat (VOR) dengan penurunan waktu kerja dermaga (*Berth Working Time*) dan biaya sandar kapal/logistik di pelabuhan secara kuantitatif dan terukur.

> Kebaruan: Menyediakan simulasi dampak biaya nyata yang menjadi dasar pengambilan keputusan strategis bagi manajemen pelabuhan terkait efisiensi dan efektivitas alat.

### 4. Rasio Optimal Spesifik Kapal Liner di Indonesia

Penelitian menelurkan rasio empiris QCC:RTG:HT = 1:3:8 (untuk kapal liner internasional) sebagai rujukan efisiensi alokasi alat—sebuah parameter yang sangat praktis dan bisa langsung direplikasi untuk terminal lain.

> Kebaruan: Rasio ini merupakan hasil analisis data primer operasional terminal Indonesia yang jarang dipublikasikan sebagai best practice nasional.

### 5. Kontribusi pada Literatur Optimasi Operasional Terminal di Negara Berkembang

Penulis memberikan kontribusi pada gap literatur yang selama ini lebih banyak didominasi oleh studi terminal otomatisasi di negara maju (Cina, Eropa), sementara konteks pelabuhan Indonesia memiliki tipologi fasilitas, sistem kerja, dan kendala sendiri.

> Kebaruan: Memberikan *case study* dan model optimasi berbasis data Indonesia, memperkaya literatur pelabuhan negara berkembang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abu Aisha, T., Ouhimmou, M., & Paquet, M. (2020). Optimization of Container Terminal Layouts in the Seaport—Case of Port of Montreal. *Sustainability*, *12*(3), 1165. <https://doi.org/10.3390/su12031165>
- Cahyono, R. T., Kenaka, S. P., & Jayawardhana, B. (2022). Simultaneous Allocation and Scheduling of Quay Cranes, Yard Cranes, and Trucks in Dynamical Integrated Container Terminal Operations. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, *23*(7), 8564–8578. <https://doi.org/10.1109/TITS.2021.3083598>
- Gurning, R. O. S., Hutapea, G., Marpaung, E., Malisan, J., Arianto, D., Siahaan, W. J., Bimantoro, B., Sujarwanto, Suastika, I. K., Santoso, A., Utama, D., Kurniawan, A., Hardianto, S., Aryawan, W. D., Nanda, M. I., Simatupang, E. J., Suhartana, I. K., & Putra, T. P. (2022). Conceptualizing Floating Logistics Supporting Facility as Innovative and Sustainable Transport in Remote Areas: Case of Small Islands in Indonesia. *Sustainability*, *14*(14), 8904. <https://doi.org/10.3390/su14148904>
- Jomthanachai, S., Wong, W. P., & Khaw, K. W. (2022). An application of machine learning regression to feature selection: a study of logistics performance and economic attribute. *Neural Computing and Applications*, *34*(18), 15781–15805. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07266-6>
- Standar Kinerja Pelayanan Operasional Pelabuhan pada Pelabuhan Tanjung Priok, (2022). [https://oppriok.dephub.go.id/storage/produk\\_kepala\\_kantor/2023/07/11/vynVv0cF6MHBguAOdwZ3VqV672liAGpYAMQ8Nf5P.pdf](https://oppriok.dephub.go.id/storage/produk_kepala_kantor/2023/07/11/vynVv0cF6MHBguAOdwZ3VqV672liAGpYAMQ8Nf5P.pdf)
- Priya, A. (2021). Case Study Methodology of Qualitative Research: Key Attributes and Navigating the Conundrums in Its Application. *Sociological Bulletin*, *70*(1), 94–110. <https://doi.org/10.1177/0038022920970318>
- Qazi, A., Al-Mhdawi, M. K. S., & Simsekler, M. C. E. (2025). Exploring temporal dependencies among country-level logistics performance indicators. *Benchmarking: An International Journal*, *32*(5), 1825–1856. <https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2023-0764>
- Safuan, Ismartaya, Soediyoto, D., Budiana, M. A., & Noveria., L. (2022). Upaya Perusahaan Bongkar Muat Bertahan di Masa Pandemi. *Jesya (Jurnal Ekonomi & Ekonomi Syariah)*, *5*(2), 1294–1302. <https://doi.org/https://doi.org/10.36778/jesya.v5i2.732>
- Safuan, S. (2023). Kontribusi Pelabuhan Indonesia Dalam Upaya Menurunkan Biaya Logistik

- 
- Nasional. *Warta Penelitian Perhubungan*, 35(1), 115–124. <https://doi.org/10.25104/warlit.v35i1.2070>
- Safuan, S. (2023). Penerapan Teknologi Digital di Pelabuhan Indonesia untuk Menurunkan Biaya Logistik Nasional. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTRANSLOG)*, 9(3), 211. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v9i3.738>
- Sahoo, A., Nechifor, V., Ferrari, E., Ferreira, V., & Amany, D. S. D. (2024). On the positive economic impacts of port infrastructure development and seaborne trade efficiencies in Sub-Saharan Africa: the case of Senegal. *Maritime Economics & Logistics*. <https://doi.org/10.1057/s41278-024-00293-1>
- Song, D.-W., & Parola, F. (2015). Strategising port logistics management and operations for value creation in global supply chains. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 18(3), 189–192. <https://doi.org/10.1080/13675567.2015.1031094>
- Wang, X.-T., Liu, H., Lv, Z.-F., Deng, F.-Y., Xu, H.-L., Qi, L.-J., Shi, M.-S., Zhao, J.-C., Zheng, S.-X., Man, H.-Y., & He, K.-B. (2021). Trade-linked shipping CO2 emissions. *Nature Climate Change*, 11(11), 945–951. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01176-6>