

Penerapan Teknik Simulasi untuk Efisiensi Proses Bongkar Muat Kapal pada Industri Maritim

Manungku Trinata Pramudhita¹, Iie Suwondo², Iwan Kurniawan³

^{1,3}Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang ²Politeknik Pelayaran Surabaya

^{1,3}Jl. Singosari Raya No 2A, Wonodri, Kec. Semarang Selatan, Semarang 50242

²Jl. Raya Hang Tuah No 5, Surabaya

e-mail: *¹manungku32@gmail.com, ²iiesuwondo@poltekpel-sby.ac.id,

³frz_712@yahoo.com

(artikel diterima: 16-11-2025, artikel disetujui: 30-12-2025)

Abstrak

Proses bongkar muat kapal merupakan salah satu aktivitas paling vital dalam operasional pelabuhan dan berperan besar terhadap kelancaran arus logistik nasional. Namun, dalam praktiknya masih sering ditemukan berbagai bentuk ketidakefisienan seperti tingginya waktu tunggu kapal, rendahnya utilisasi peralatan bongkar muat, serta ketidakseimbangan penjadwalan tenaga kerja dan aliran barang di area yard. Kondisi tersebut menyebabkan turnaround time meningkat dan menghambat produktivitas pelabuhan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu pendekatan analitis yang mampu memodelkan perilaku sistem secara menyeluruh agar penyebab ketidakefisienan dapat diidentifikasi secara tepat dan diuji melalui skenario perbaikan tanpa mengganggu operasi nyata. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat efisiensi proses bongkar muat kapal di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dengan menerapkan metode Discrete Event Simulation (DES) menggunakan perangkat lunak Arena. Model dikembangkan untuk menggambarkan alur kegiatan mulai dari kedatangan kapal, proses pelayanan menggunakan crane, hingga distribusi muatan ke area penyimpanan. Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data aktual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa skenario kombinasi antara penambahan crane dan penyesuaian jadwal shift memberikan peningkatan efisiensi paling signifikan, dengan penurunan waktu tinggal kapal hingga 20%, waktu tunggu hingga 30%, serta peningkatan utilisasi crane menjadi 83%. Temuan ini menegaskan bahwa DES efektif digunakan sebagai alat analisis dan dasar pengambilan keputusan operasional di pelabuhan.

Kata kunci: Bongkar Muat Kapal, Discrete Event Simulation, Efisiensi Pelabuhan, Optimasi Operasional, Simulasi Sistem.

Abstract

The loading and unloading process is one of the most vital activities in port operations and plays a significant role in ensuring the smooth flow of national logistics. However, in practice, various forms of inefficiency are still frequently encountered, such as high ship waiting times, low utilization of loading and unloading equipment, and imbalances in labor scheduling and cargo flow in the yard area. These conditions increase turnaround times and hinder port productivity. To address these issues, an analytical approach is needed that can comprehensively model system behavior so that the causes of inefficiency can be precisely identified and tested through improvement scenarios without disrupting actual operations. This study aims to analyze the efficiency level of the ship loading and unloading process at the Port of Tanjung Emas Semarang by applying the Discrete Event Simulation (DES) method using Arena software. The model was developed to describe the flow of activities from ship arrival, through the service process using cranes, to the distribution of cargo to the storage area. Model validation was carried out by comparing simulation results with actual data. The results showed that the combination scenario of adding cranes and adjusting shift schedules provided the most significant efficiency improvement, with a reduction in ship dwell time of up to 20%, waiting time of up to 30%, and an increase in crane utilization of up to 83%. These

findings confirm that DES is effective as an analytical tool and basis for operational decision-making at ports.

Keywords: *Discrete Event Simulation, Operational Optimization, Port Efficiency, Ship Loading and Unloading, System Simulation.*

1. PENDAHULUAN

Industri maritim memiliki peran penting dalam mendukung kelancaran arus logistik nasional, mengingat sebagian besar distribusi barang di Indonesia dilakukan melalui transportasi laut. Pelabuhan sebagai simpul utama rantai pasok dituntut untuk beroperasi secara efisien agar mampu mengurangi biaya logistik dan meningkatkan daya saing. Salah satu aspek krusial dalam operasional pelabuhan adalah proses bongkar muat kapal, yang melibatkan peralatan bongkar muat, kendaraan angkut, area penyimpanan, serta tenaga kerja (Wardana, 2023). Namun, pada banyak pelabuhan di Indonesia, termasuk Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, masih ditemukan permasalahan seperti tingginya waktu tunggu kapal, pemanfaatan peralatan yang belum optimal, penumpukan muatan di yard, serta kurang sinkronnya penjadwalan tenaga kerja. Permasalahan tersebut berdampak pada meningkatnya turnaround time kapal dan menurunnya produktivitas pelabuhan.

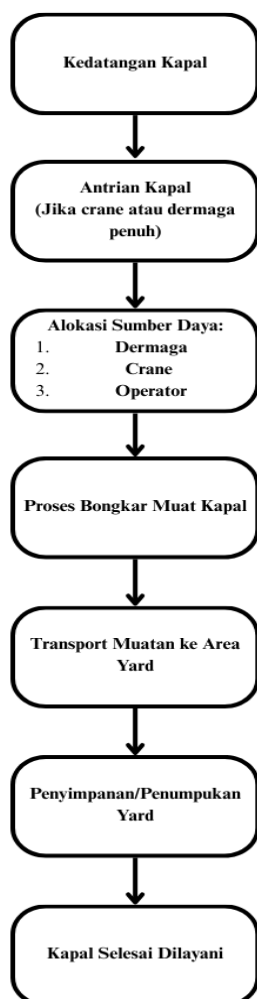
Sejumlah penelitian sebelumnya telah mengkaji upaya peningkatan efisiensi bongkar muat di pelabuhan. Abdullah dan Suparman (2024) menemukan bahwa idle time pada proses bongkar muat dipengaruhi oleh ketidaksiapan alat dan lemahnya penjadwalan operasional. Ningrat dan Tahir (2024) menekankan bahwa efektivitas crane sangat bergantung pada pola kerja operator dan konfigurasi alat. Rahul dan Ristriana (2023) menunjukkan bahwa simulasi pelayanan bongkar muat dapat digunakan untuk mengevaluasi kapasitas fasilitas dermaga guna menentukan skenario operasional yang optimal. Selain itu, Simarmata et al. (2024) menegaskan bahwa tata letak container yard berpengaruh signifikan terhadap kecepatan aliran logistik di pelabuhan.

Meskipun penelitian sebelumnya memberikan kontribusi penting, sebagian besar masih berfokus pada aspek yang terpisah seperti performa crane, kapasitas yard, atau aliran material secara parsial. Belum banyak studi yang memodelkan sistem bongkar muat secara terintegrasi mulai dari kedatangan kapal hingga distribusi muatan ke area penyimpanan. Dengan demikian, terdapat research gap berupa kebutuhan model simulasi komprehensif yang dapat menggambarkan interaksi antar komponen operasional pelabuhan secara holistik untuk mengidentifikasi sumber ketidakefisienan dan mengevaluasi skenario perbaikan secara terukur.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis efisiensi proses bongkar muat kapal di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang menggunakan pendekatan Discrete Event Simulation (DES). Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi faktor penyebab ketidakefisienan dalam proses bongkar muat, (2) membangun model simulasi yang merepresentasikan kondisi operasional aktual, dan (3) mengevaluasi berbagai skenario perbaikan untuk menentukan strategi operasional yang paling efektif dalam meningkatkan efisiensi pelayanan kapal.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Discrete Event Simulation (DES) untuk memodelkan proses bongkar muat kapal di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Discrete Event Simulation (DES) dengan perangkat lunak Arena Simulation Software digunakan untuk menganalisis efisiensi proses bongkar muat kapal di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Discrete Event Simulation (DES) merupakan metode pemodelan sistem dinamis yang merepresentasikan suatu proses nyata dalam bentuk urutan kejadian atau peristiwa diskret (discrete events) yang terjadi pada waktu tertentu (Simarmata, Sinulingga and Sembiring, 2024). Setiap peristiwa menggambarkan perubahan status sistem, seperti kedatangan entitas, dimulainya pelayanan, selesainya aktivitas, atau terjadinya antrian. Dalam pendekatan ini, waktu tidak berjalan secara kontinu, melainkan melompat dari satu kejadian penting ke kejadian berikutnya. Model yang dibangun menggambarkan alur operasional mulai dari kedatangan kapal, proses pelayanan di dermaga, penggunaan crane, hingga distribusi muatan ke area yard ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Model Simulasi *Discrete Event Simulation*

Hasil simulasi kondisi eksisting menunjukkan bahwa sistem bongkar muat kapal di Pelabuhan Tanjung Emas masih belum efisien (Ering, 2021). Rata-rata waktu tinggal kapal (*turnaround time*) mencapai 25 jam, dengan waktu tunggu kapal sebelum proses bongkar muat dimulai sekitar 5 jam. Sementara itu, tingkat utilisasi crane hanya mencapai 70% dari total waktu operasional, menunjukkan adanya waktu idle yang

cukup tinggi. Hal ini menandakan bahwa kapasitas peralatan dan penjadwalan kerja belum optimal, serta terjadi antrian akibat ketidakseimbangan antara jumlah alat bongkar muat dan frekuensi kedatangan kapal.

Metode ini dipilih karena mampu menggambarkan sistem operasional yang bersifat dinamis dan saling bergantung antara kapal, peralatan bongkar muat, kendaraan angkut, serta area penyimpanan muatan. Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi masalah melalui observasi lapangan dan wawancara dengan operator pelabuhan untuk memahami sumber ketidakefisienan, khususnya tingginya waktu tunggu kapal, rendahnya utilisasi crane, dan penumpukan muatan di area yard. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data operasional selama tiga bulan yang mencakup jadwal kedatangan kapal, jumlah dan jenis muatan, kapasitas dan jumlah crane, waktu siklus bongkar muat, kinerja yard handling, jumlah truk, pola antrean, jadwal shift operator, serta data downtime peralatan.

Berdasarkan data tersebut, model simulasi dikembangkan menggunakan perangkat lunak Arena dengan merepresentasikan seluruh alur operasional mulai dari kedatangan kapal, penetapan crane, proses bongkar muat, pergerakan muatan menuju area penyimpanan, hingga penyelesaian pelayanan kapal. Verifikasi dilakukan untuk memastikan logika model berjalan sesuai proses nyata, sedangkan validasi model dilakukan dengan membandingkan output simulasi terhadap data aktual untuk memastikan kesesuaian kinerja model dengan kondisi operasional sesungguhnya. Setelah model divalidasi, penelitian berlanjut dengan pengujian beberapa skenario perbaikan, yaitu penambahan jumlah crane, penyesuaian jadwal shift operator, serta kombinasi keduanya. Setiap skenario dianalisis untuk mengetahui dampaknya terhadap efisiensi operasional, yang diukur melalui perubahan turnaround time, waktu tunggu kapal, panjang antrean, dan tingkat utilisasi crane.

Analisis hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting dan skenario perbaikan secara kuantitatif untuk menentukan strategi operasional yang paling efektif. Selain itu, untuk memperkuat interpretasi hasil, digunakan analisis statistik berupa regresi linier berganda untuk mengukur pengaruh variabel-variabel utama seperti jumlah crane aktif, arrival rate kapal, dan pengaturan shift operator terhadap turnaround time. Melalui rangkaian tahapan tersebut, metode penelitian ini tidak hanya menghasilkan pemodelan sistem bongkar muat secara komprehensif, tetapi juga memberikan dasar evaluasi yang terukur dalam pemecahan permasalahan ketidakefisienan operasional pelabuhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara yuridis, kegiatan bongkar muat di pelabuhan diatur dalam Undang-Undang No. 17 Tahun 2008 tentang Pelayaran (Fahreza, 2024), yang menegaskan bahwa penyelenggaraan pelabuhan harus menjamin efisiensi, keselamatan, dan kelancaran arus barang dan kapal. Ketentuan teknisnya diatur lebih lanjut melalui Peraturan Menteri Perhubungan No. PM 60 Tahun 2014 tentang Penyelenggaraan dan Pengusahaan Bongkar Muat Barang di Pelabuhan. Oleh karena itu, upaya peningkatan efisiensi melalui metode simulasi ini sejalan dengan mandat regulasi nasional untuk mewujudkan pelayanan pelabuhan yang efektif dan berdaya saing (Rahul and Ristriana, 2023).

Beberapa skenario peningkatan efisiensi diuji untuk memperoleh kondisi operasional terbaik. Dilakukan beberapa skenario perbaikan: (1) penambahan satu unit crane, (2) penyesuaian jadwal shift operator agar lebih sinkron, dan (3) kombinasi keduanya. Berdasarkan hasil simulasi skenario tersebut, diperoleh peningkatan

efisiensi yang signifikan dibandingkan kondisi eksisting. Output simulasi kondisi eksisting ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Output Simulasi Kondisi Eksisting

Indikator Kerja	Nilai Hasil Simulasi	Keterangan
<i>Turnaround time</i> kapal	25,12 jam	Durasi rata-rata kapal berada di dermaga
Waktu tunggu kapal	5,03 jam	Waktu antri sebelum bongkar muat
Utilisasi <i>crane</i>	70%	Crane masih memiliki idle time tinggi
Rata-rata antrean crane	3,1 kapal/unit	Mengindikasikan bottleneck pada alat
WIP di area <i>yard</i>	34,7 satuan muatan	Terjadi penumpukan saat <i>peak load</i>

Pada skenario kombinasi, waktu tinggal kapal menurun dari 25 jam menjadi 20 jam (penurunan 20%), waktu tunggu kapal menurun dari 5 jam menjadi 3,5 jam (penurunan 30%), dan utilisasi crane meningkat dari 70% menjadi 83% (peningkatan 13%). Peningkatan utilisasi crane yang diikuti penurunan waktu tunggu menunjukkan bahwa sinkronisasi antara kapasitas alat dan ketersediaan tenaga kerja berhasil meningkatkan efisiensi sistem bongkar muat kapal (Ningrat and Tahir, 2024). Hasil simulasi scenario kombinasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Simulasi Skenario Kombinasi

Indikator Kinerja	Nilai (Data Jurnal)	Perubahan
<i>Turnaound time</i> kapal	20 jam	20%
Waktu tunggu kapal	3,5 jam	30%
Utilisasi	83%	13%

Hasil simulasi tersebut membuktikan hipotesis penelitian bahwa penerapan *Discrete Event Simulation (DES)* dapat meningkatkan efisiensi sistem bongkar muat melalui penurunan waktu tunggu dan peningkatan utilisasi alat. Dalam konteks ini, tiga hipotesis spesifik juga terbukti benar: (1) penambahan jumlah crane mampu menurunkan waktu tinggal kapal secara signifikan; (2) pengaturan jadwal shift operator meningkatkan utilisasi alat bongkar muat; dan (3) kombinasi keduanya menghasilkan peningkatan efisiensi tertinggi. Dengan demikian, hipotesis nol (H_0) yang menyatakan tidak ada perbedaan efisiensi antara kondisi eksisting dan skenario perbaikan ditolak. Hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan manajemen operasional dan pengaturan sumber daya berbasis simulasi memiliki pengaruh langsung terhadap peningkatan kinerja pelabuhan.

Artinya, peningkatan kapasitas peralatan yang disertai pengaturan jadwal kerja yang lebih sinkron mampu memperbaiki kinerja sistem secara keseluruhan (Wulan and Arvitrida, 2025). Secara ilmiah, hasil penelitian ini membuktikan hipotesis bahwa penerapan *Discrete Event Simulation* mampu meningkatkan efisiensi sistem bongkar muat kapal melalui analisis perilaku sistem dan pengujian skenario kebijakan operasional. Validasi hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Validasi Hasil Simulasi

Komponen Validasi	Nilai (Jurnal)
Tingkat Kesesuaian model dengan data aktual	77,1%
Keterangan	Model dianggap cukup <i>representatif</i>

Validasi model menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 77,1% antara hasil simulasi dan data aktual. Nilai ini menunjukkan bahwa hasil simulasi masih cukup representatif terhadap sistem nyata, namun dengan perbedaan yang mencerminkan efek optimasi dari skenario perbaikan. Semakin rendah *turnaround time* dan *waiting time* serta meningkatnya utilisasi crane menegaskan bahwa perubahan yang dilakukan dalam model mampu menghasilkan peningkatan efisiensi yang nyata tanpa menghilangkan realisme sistem. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan *DES* berpengaruh nyata terhadap peningkatan efisiensi sistem bongkar muat kapal di pelabuhan (Putri, Arifin and Sari, 2024).

Hasil penelitian ini mengonfirmasi temuan berbagai studi sebelumnya bahwa efisiensi pelabuhan sangat dipengaruhi oleh integrasi faktor teknis, operasional, dan manajerial. Penambahan kapasitas alat dan perbaikan koordinasi kerja dapat menurunkan waktu tunggu dan mempercepat siklus pelayanan kapal (Putri, Arifin, dan Sari, 2024). Penelitian ini menekankan bahwa kesiapan dan ketersediaan peralatan menjadi penentu utama kelancaran proses bongkar muat, karena gangguan teknis atau keterlambatan perawatan alat dapat menghambat efisiensi sistem secara keseluruhan. Selain itu, pengendalian waktu kerja dan optimalisasi sumber daya manusia melalui penjadwalan yang efisien terbukti meningkatkan produktivitas dan menekan waktu operasi (Shahab, 2021). Faktor teknis seperti kondisi crane, serta aspek koordinasi antar-stakeholder yang baik juga diidentifikasi sebagai elemen penting yang menentukan kinerja operasional pelabuhan (Abdullah, Ginting and Suparman, 2024). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa hasil penelitian ini sejalan dengan arah penelitian terdahulu yang menekankan pentingnya keseimbangan antara ketersediaan alat, pengaturan tenaga kerja, dan efisiensi proses kerja sebagai komponen utama peningkatan kinerja pelabuhan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menjawab tujuan dan hipotesis bahwa penerapan *Discrete Event Simulation* (DES) efektif digunakan untuk menganalisis dan meningkatkan efisiensi proses bongkar muat kapal di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang. Melalui pemodelan sistem menggunakan perangkat lunak Arena, penelitian ini mampu menggambarkan interaksi antar komponen operasional secara terintegrasi mulai dari kedatangan kapal, alokasi *crane*, proses bongkar muat, hingga distribusi muatan ke area penyimpanan. Model simulasi yang dikembangkan telah divalidasi dengan tingkat kesesuaian sebesar 77,1%, sehingga layak digunakan sebagai alat evaluasi kinerja sistem.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketidakefisienan pada kondisi eksisting terutama bersumber dari waktu tunggu kapal dan pemanfaatan *crane* yang belum optimal. Temuan kuantitatif mengonfirmasi bahwa skenario perbaikan berupa penambahan *crane* dan penyesuaian jadwal shift operator menghasilkan peningkatan kinerja paling signifikan. Skenario tersebut mampu menurunkan *turnaround time* kapal dari 25 jam menjadi 20 jam (penurunan 20%) dan mengurangi *waiting time* dari 5 jam menjadi 3,5 jam (penurunan 30%). Selain itu, utilisasi crane meningkat dari 70%

menjadi 83%, yang menunjukkan bahwa penyesuaian kapasitas peralatan dan sinkronisasi tenaga kerja memberikan dampak langsung terhadap kelancaran bongkar muat.

Dengan demikian, penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan DES tidak hanya mampu mengidentifikasi sumber ketidakefisienan sistem secara terukur, tetapi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi berbagai skenario operasional dalam upaya meningkatkan efisiensi pelabuhan. Penerapan model simulasi terbukti memberikan gambaran yang komprehensif terhadap perilaku sistem dan dapat menjadi dasar ilmiah bagi pengelola pelabuhan dalam merumuskan kebijakan peningkatan kinerja secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Ginting, D. and Suparman (2024) 'Analisis Keterlambatan dan Efisiensi Kegiatan Bongkar Muat Petikemas Di Terminal PT . Prima Terminal Petikemas Belawan', 4, pp. 10156–10166.
- Ering, H.E. (2021) 'Penerapan metode lean six sigma untuk meningkatkan kinerja operasi dalam penanganan bongkar muat petikemas domestik di terminal berlian pelabuhan tanjung perak surabaya', 23(2), pp. 213–225.
- Fahreza, A. (2024) 'EFISIENSI PROSES BONGKAR MUATAN BATU BARA UNTUK MENGATASI IDLE TIME OLEH PT . DELTA ARTHA BAHARI', 9(1), pp. 45–52.
- Ningrat, A. and Tahir, A. (2024) 'Optimizing Container Crane Performance : Enhancing Loading and Unloading Productivity at PT . Kaltim Kariangau Terminal', 2(2), pp. 102–108.
- Putri, N.A., Arifin, M.Z. and Sari, R.H. (2024) 'Peningkatan Efisiensi Proses Bongkar Muat di KM. Nggapulu Melalui Optimalisasi Perawatan Palka'.
- Rahul, M. and Ristriana, A. (2023) 'Simulasi Pelayanan Bongkar Muat Kapal General Cargo Non Petikemas Untuk Optimalisasi Kinerja Penggunaan Fasilitas Pada Terminal Mirah (Studi Kasus : Terminal Mirah , Pelabuhan Tanjung Perak , Kota Surabaya)', *Jurnal Online Poros Teknik Mesin Volume 10 Nomor 1*, 1(3), pp. 338–348.
- Shahab, A.S. (2021) 'NON-PETIKEMAS MELALUI WAKTU DI PELABUHAN TANJUNG PERAK MENGGUNAKAN PROSES MINING DAN'.
- Simarmata, R., Sinulingga, S. and Sembiring, M.T. (2024) 'Evaluation of Container Yard Locations Using Discrete Simulation Method', 26(2), pp. 210–217.
- Wardana, D.H.H. (2023) 'SIMULASI SISTEM BONGKAR MUAT KAPAL UNTUK MENGURANGI WAITING TIME MENGGUNAKAN SOFTWARE ARENA', pp. 53–67.
- Wulan, D.P.I.B.S. and Arvitrida, N.I. (2025) 'Matrik Pengembangan Model Konseptual Aktivitas Operasional Terminal Petikemas', *Jurnal Manajemen dan Teknik Industri-Produksi*, XXVI(1). Available at: <https://doi.org/10.350587/Matrik>.