



ISSN 2338-0322

# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## Analisis *Space Layout Strategy* Terminal Peti Kemas Dalam Percepatan Proses *Dwelling Time* Bongkar Muat Pada IPC TPK Area Tanjung Priok 2

Richard Kurniawan<sup>1)</sup>, Wilma Amiruddin<sup>2)</sup>, Andi Trimulyono<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Laboratorium Kapal Kecil dan Perikanan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

\*e-mail : richardkurniawan@undip.ac.id

### Abstrak

Transportasi laut memiliki peran strategis dalam mendukung kelancaran arus perdagangan internasional, khususnya melalui aktivitas bongkar muat peti kemas di pelabuhan. PT. IPC Terminal Petikemas sebagai operator utama di Pelabuhan Tanjung Priok menghadapi tantangan tingginya *dwelling time* akibat peningkatan volume peti kemas yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi penataan ruang (*space layout strategy*) dalam rangka mempercepat proses *dwelling time* bongkar muat dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan operasional. Metode yang digunakan mencakup analisis data primer dan sekunder, proyeksi *throughput* dan kedatangan kapal periode 2025–2029 menggunakan metode *Average Growth Rate (AGR)* dan regresi linear, serta simulasi operasional bongkar muat menggunakan perangkat lunak *FlexSim*. Simulasi dilakukan terhadap lima skenario jumlah lapisan penumpukan kontainer (3 hingga 7 lapis) dengan crane RTG menggunakan algoritma *greedy*. Analisis waktu pelayanan *loading-unloading* yang digunakan untuk menentukan konfigurasi optimal tata letak dan kebutuhan peralatan bongkar muat. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan *throughput* dan kedatangan kapal baik domestik maupun *Ocean Going*, serta identifikasi skenario optimal pada 3–7 lapis penumpukan yang menyeimbangkan efisiensi ruang dan kinerja operasional. Strategi penataan ruang yang diusulkan terbukti mampu menurunkan *dwelling time* dan meningkatkan efisiensi tanpa perluasan area terminal. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dan teoritis bagi pengembangan manajemen terminal peti kemas berbasis data dan simulasi.

Kata Kunci : *Throughput, Forecasting, Waktu Pelayanan, Simulation Flexsim, Utilitas, Dwelling Time*

### 1. PENDAHULUAN

Transportasi laut memegang peranan vital dalam mendukung kelancaran arus perdagangan internasional, terutama melalui aktivitas bongkar muat petikemas di pelabuhan. Penggunaan peti kemas sebagai media distribusi logistik memungkinkan berbagai jenis barang dikonsolidasikan dalam satu wadah, sehingga proses bongkar muat dapat dilakukan secara mekanis dan efisien[1]. Terminal petikemas berfungsi sebagai lokasi penyimpanan sementara, tempat pengaturan, serta titik transit petikemas sebelum melanjutkan perjalanan ke tujuan akhir[2]. Proses tersebut mencakup aktivitas ekspor, impor, dan *transshipment* yakni perpindahan petikemas dari satu kapal ke kapal lainnya[3].

Pelabuhan Tanjung Priok, sebagai pelabuhan utama di Indonesia, mengalami fluktuasi signifikan dalam volume bongkar muat tiap bulannya. Data Badan Pusat Statistik tahun 2024 mencatat total volume bongkar muat mencapai lebih dari 31 juta TEUs, dengan tren naik-turun yang menandai dinamika arus peti kemas yang kompleks[4]. PT. IPC Terminal Petikemas, sebagai operator utama, menghadapi tantangan untuk mengelola arus ini secara efisien guna menekan waktu *dwelling time*, yakni selang waktu sejak peti kemas tiba di pelabuhan hingga keluar dari terminal. *Dwelling time* yang tinggi dapat mengindikasikan ketidakefisienan operasional dan berdampak pada biaya logistik nasional[5].

Salah satu pendekatan strategis dalam mengatasi masalah tersebut adalah penerapan

strategi penataan ruang yang bertujuan mengoptimalkan pemanfaatan lahan terminal tanpa perluasan area fisik[2]. Pengaturan tata letak yang tepat mampu mempercepat proses bongkar muat, mengurangi waktu tunggu, serta meningkatkan utilitas peralatan seperti *crane*, *head truck*, dan RTG[5]. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak *FlexSim*, dengan mempertimbangkan faktor teknis, operasional, serta ekonomi seperti biaya operasional dan efisiensi energi[3].

Penelitian ini difokuskan pada IPC Terminal Petikemas Area Tanjung Priok 2, mencakup terminal domestik dan *ocean going*, dengan pembatasan pada proses bongkar muat serta analisis efisiensi dari strategi tata letak yang diimplementasikan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan alat dan perbaikan prosedur dapat menurunkan dwelling time secara signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan skema tata letak terbaru yang mampu mengintegrasikan pendekatan kuantitatif dan simulasi guna menciptakan sistem operasional yang lebih efisien[5].

Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi praktis bagi manajemen terminal dalam pengambilan keputusan serta kontribusi teoretis dalam pengembangan ilmu logistik maritim, khususnya terkait hubungan antara strategi tata letak ruang dan efisiensi bongkar muat petikemas.

## 2. METODE

### 2.1. Data Penelitian

Berdasarkan penelitian yang dilakukan mengenai efisiensi operasional dan pengelolaan terminal peti kemas, penting untuk memahami secara mendalam kondisi aktual di lapangan yang menjadi dasar analisis. Penelitian ini difokuskan pada kegiatan operasional terminal peti kemas yang dikelola oleh PT. Pelabuhan Indonesia (PELINDO), khususnya pada unit operasional IPC TPK Area Tanjung Priok 2. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada peran strategisnya dalam mendukung arus logistik nasional dan internasional serta tingkat kepadatan aktivitas bongkar muat yang cukup tinggi, yang berdampak langsung terhadap efisiensi *dwelling time*.

Objek pada penelitian ini bertempat pada perusahaan PELINDO lebih tepatnya IPC TPK Area Tanjung Priok 2. Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder.

#### a. Data Primer

Data Primer adalah data yang diperoleh dari hasil pengamatan dan peneliti di IPC TPK Area Tanjung Priok 2. Pengamatan terhadap aktivitas

kinerja lapangan terminal petikemas. Berikut data yang diperoleh dari hasil observasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kinerja Pelayanan Domestik

| Name Of Vessel     | Total (Box) | Total (Teus) | BCH ET | BCH BWT | BCH BT |
|--------------------|-------------|--------------|--------|---------|--------|
| Gaung Mas          | 696         | 903          | 21,98  | 21,42   | 16,98  |
| Belik Mas          | 503         | 550          | 22,03  | 22,03   | 16,71  |
| Guhi Mas           | 418         | 461          | 22,00  | 21,71   | 16,39  |
| Kedung Mas         | 146         | 151          | 21,90  | 21,90   | 13,82  |
| Meratus Medan 1    | 1189        | 1477         | 21,95  | 20,80   | 18,02  |
| Tasik Mas          | 717         | 817          | 21,89  | 20,63   | 17,21  |
| Meratus Lembar     | 788         | 861          | 22,20  | 21,01   | 17,38  |
| Kanal Mas          | 693         | 837          | 21,99  | 20,68   | 17,32  |
| Ifama Mas          | 1303        | 1630,5       | 21,87  | 20,82   | 18,27  |
| Meratus Malino     | 647         | 768          | 21,93  | 18,75   | 15,74  |
| Meratus Amurang    | 1349        | 1648         | 21,91  | 20,21   | 18,45  |
| Icon Kolose III 23 | 433         | 600          | 21,92  | 19,91   | 16,14  |
| Icon Hosea VI 6    | 320         | 404          | 22,07  | 19,39   | 14,52  |
| Batanghari Mas     | 196         | 206          | 22,19  | 22,19   | 14,24  |
| Meratus Wakatobi   | 487         | 587          | 21,89  | 21,89   | 17,17  |

Tabel 2. Kinerja Pelayanan *Ocean Going*

| Name Of Vessel      | Total (Box) | Total (Teus) | BCH ET | BCH BWT | BCH BT |
|---------------------|-------------|--------------|--------|---------|--------|
| MSC Shivalika III   | 656         | 1084         | 22,44  | 21,28   | 16,26  |
| Imke Schepers       | 737         | 1016         | 22,64  | 21,89   | 16,2   |
| Bg L1 2528          | 28          | 51           | 23,66  | 23,66   | 18,26  |
| BG Sindo Garuda     | 28          | 53           | 23,66  | 23,66   | 18,88  |
| Kencana Sinar Sunda | 1709        | 2446         | 22,79  | 21,48   | 16,65  |
| MSC Lucia III       | 333         | 503          | 22,50  | 20,73   | 16,11  |
| Meratus Bintang     | 407         | 552          | 22,80  | 21,05   | 17,32  |
| Msc Hailey Ann III  | 591         | 881          | 22,85  | 20,68   | 15,12  |

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| CTP Golden MTT Saisunee Lepton MSC Nimisha Iii MSC Ida II ANL Kokoda Intan Daya 292 | 508<br>962<br>292<br>331<br>944<br>107<br>475 | 631<br>1312<br>391<br>454<br>1468<br>142<br>589 | 22,63<br>22,63<br>22,84<br>21,82<br>22,28<br>22,37<br>22,75 | 20,85<br>22,16<br>19,69<br>21,82<br>19,50<br>22,37<br>18,27 | 17,37<br>16,21<br>17,42<br>16,97<br>13,95<br>16,05<br>14,62 |
|---|---|---|---|---|---|

|   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| May<br>Jun<br>Jul<br>Aug<br>Sep<br>Oct<br>Nov<br>Dec<br>Total | 31<br>29<br>30<br>31<br>31<br>22<br>22<br>27<br>288 | 22<br>19<br>20<br>16<br>15<br>20<br>20<br>18<br>221 | 30<br>38<br>32<br>46<br>38<br>43<br>39<br>28<br>393 | 31<br>41<br>36<br>32<br>37<br>39<br>41<br>37<br>429 | 49<br>46<br>49<br>47<br>40<br>51<br>40<br>55<br>514 |
|---|---|---|---|---|---|

## b. Data Sekunder

Data sekunder adalah datang yang diperoleh dari hasil wawancara dan data pusat dari pihak IPC TPK Area 2 Tanjung Priok 2. Data sekunder ini terdiri dari tabel 3 dan tabel 4 mengenai kedatangan kapal dari tahun 2020-2024. Berikut data yang diperoleh di tabel dibawah ini.

Tabel 3. Data Kedatangan Kapal Domestik

| Month | Throughput Peti Kemas Eksport Import (TEUs) |      |      |      |      |
|-------|---|------|------|------|------|
|       | 2020  | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| Jan   | 57  | 91   | 94   | 116  | 106  |
| Feb   | 86  | 90   | 88   | 99   | 113  |
| Mar   | 92  | 94   | 103  | 117  | 114  |
| Apr   | 107   | 102  | 102  | 92   | 85   |
| May   | 95  | 93   | 105  | 113  | 112  |
| Jun   | 95  | 101  | 122  | 113  | 103  |
| Jul   | 101   | 102  | 120  | 130  | 105  |
| Aug   | 107   | 101  | 124  | 119  | 102  |
| Sep   | 101   | 87   | 108  | 113  | 103  |
| Oct   | 104   | 98   | 104  | 118  | 110  |
| Nov   | 105   | 88   | 112  | 108  | 112  |
| Dec   | 114   | 87   | 107  | 108  | 113  |
| Total | 1164  | 1134 | 1289 | 1346 | 1278 |

Tabel 4. Data Kedatangan Kapal Ocean Going

| Month | Throughput Peti Kemas Eksport Import (TEUs) |      |      |      |      |
|-------|---|------|------|------|------|
|       | 2020  | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
| Jan   | 13  | 17   | 19   | 33   | 28   |
| Feb   | 16  | 16   | 21   | 36   | 35   |
| Mar   | 18  | 20   | 28   | 36   | 39   |
| Apr   | 18  | 18   | 31   | 30   | 35   |

## 2.2. Analisa Permasalahan

### a. Validasi Data Penelitian

Validasi data penelitian merupakan proses untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang akurat, relevan, konsisten, dan dapat dipercaya. Validasi data dilakukan guna menjamin bahwa seluruh data operasional, data layout terminal, data waktu bongkar muat, serta informasi terkait strategi penataan ruang benar-benar mencerminkan kondisi lapangan secara aktual dan dapat digunakan untuk analisis secara ilmiah.

### b. Forecasting

*Forecasting* atau peramalan adalah proses memperkirakan nilai-nilai di masa depan berdasarkan data historis yang tersedia. Dalam konteks terminal petikemas, *forecasting* digunakan untuk memprediksi volume *throughput* (arus peti kemas) guna merancang strategi penataan ruang (*space layout*) yang optimal, terutama dalam menekan *dwelling time*[6]. Dua metode yang umum digunakan dalam penelitian ini adalah *Average Growth Rate* dan Regresi Linear[7].

#### 1. Method Average Growth Rate (AGR)

Metode ini menghitung rata-rata pertumbuhan tahunan dari *throughput* berdasarkan data historis, kemudian nilai pertumbuhan tersebut diaplikasikan untuk memproyeksikan nilai masa depan[8]. Berikut rumus dari *Average Growth Rate* (AGR).

$$AGR = \frac{vt_4}{v_o} - 1 \quad (1)$$

Rumus *Average Growth Rate* (AGR) digunakan untuk menghitung rata-rata pertumbuhan tahunan berdasarkan data historis *throughput* selama periode waktu tertentu. Dalam

rumus ini,  $V_0$  merepresentasikan nilai *throughput* pada tahun awal pengamatan, sedangkan  $V_t$  merupakan nilai *throughput* pada tahun akhir pengamatan. Sementara itu,  $t$  menunjukkan jumlah tahun antara tahun awal dan tahun akhir tersebut. AGR dihitung dengan membandingkan rasio antara *throughput* akhir dan awal, kemudian dipangkatkan dengan invers dari jumlah tahun, lalu dikurangi dengan satu. Hasil AGR menunjukkan tingkat pertumbuhan rata-rata tahunan dalam bentuk desimal. Untuk menyajikannya dalam bentuk persen, nilai AGR dikalikan dengan 100[8]. Rumus ini sangat berguna dalam memproyeksikan kinerja atau kapasitas di masa depan berdasarkan kecenderungan pertumbuhan historis yang konsisten, seperti pada peramalan arus peti kemas dalam penelitian ini.

## 2. Metode Regresi Linear

Regresi linear adalah metode statistik yang menggunakan garis lurus untuk merepresentasikan hubungan antara variabel waktu (X) dengan *throughput* (Y)[8]. metode ini sesuai digunakan saat data menunjukkan pola linier.

$$Y = a + bX \quad (2)$$

## c. Analisa Waktu Pelayanan *Loading-Unloading*

Analisis waktu pelayanan bongkar muat (*loading-unloading*) bertujuan untuk mengukur efisiensi operasional kapal selama berada di dermaga terminal peti kemas. Pengukuran ini dilakukan dengan menghitung kecepatan bongkar muat berdasarkan jumlah boks atau TEUs yang ditangani terhadap waktu yang dibutuhkan, serta mempertimbangkan keterlibatan alat bongkar muat seperti *gantry crane*. Metode ini penting untuk mengetahui performa masing-masing kapal dalam proses pelayanan serta sebagai dasar evaluasi peningkatan produktivitas terminal[9].

### 1) BCH

$$BCH = \frac{\text{Total Box}}{\text{Jumlah Crane} \times \text{Durasi (Jam)}} \quad (3)$$

### 2) BSH

$$BSH = \frac{\text{Total Box}}{\text{Durasi (Jam)}} \quad (4)$$

### 3) Crane Desinty

$$C. Desinty = \frac{\text{Total Box}}{\text{Jumlah Crane} \times \text{Berth Time}} \quad (5)$$

## d. Simulasi *Loading Container*

Simulasi proses *loading container* dalam konteks bongkar muat di *container yard* merupakan pendekatan yang digunakan untuk memvisualisasikan, menganalisis, dan mengoptimalkan aktivitas operasional di terminal peti kemas[10]. Dalam hal ini, *loading* mengacu pada proses pemindahan kontainer dari kapal ke *yard*, yang merupakan bagian dari proses bongkar (*unloading*)[11]. *Software FlexSim Container Terminal* (CT) digunakan sebagai alat bantu untuk mensimulasikan dinamika tersebut secara digital dan 3D interaktif[3][9].

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Validasi Data Penelitian

Validasi data kinerja operasional pelabuhan dari IPC Terminal Petikemas Area Tanjung Priok 2 dengan data kinerja operasional dari hasil observasi peneliti. Hal ini dapat menjadi landasan dan validasi dari hasil dengan kesesuaian yang terjadi dilapangan petikemas.

### 3.2. Forecasting Container Yard

Tabel 5. Hasil *Forecasting* Kedatangan Kapal Domestik 5 Tahun Kedepan

| Tahun | Total Kedatangan Kapal | Tahun | Metode Average Growth Rate | Metode Regresi Linear |
|-------|------------------------|-------|----------------------------|-----------------------|
| 2020  | 1164                   | 2025  | 1.311                      | 1.374                 |
| 2021  | 1134                   | 2026  | 1.346                      | 1.418                 |
| 2022  | 1289                   | 2027  | 1.381                      | 1.462                 |
| 2023  | 1346                   | 2028  | 1.417                      | 1.506                 |
| 2024  | 1278                   | 2029  | 1.454                      | 1.550                 |

Berdasarkan data historis kedatangan kapal domestik pada periode 2020–2024, dilakukan proyeksi untuk lima tahun ke depan (2025–2029) menggunakan dua pendekatan peramalan, yaitu Metode *Average Growth Rate* (AGR) dan Metode Regresi Linear. Data menunjukkan fluktuasi kedatangan kapal, dengan penurunan pada tahun 2021 yang diduga akibat dampak pandemi, diikuti oleh tren peningkatan hingga tahun 2023.

Hasil peramalan dengan Metode AGR menunjukkan peningkatan bertahap jumlah kapal

dari 1.311 pada tahun 2025 menjadi 1.454 pada tahun 2029. Sementara itu, proyeksi dengan Regresi Linear menghasilkan angka yang lebih tinggi, yakni dari 1.374 kapal (2025) hingga 1.550 kapal (2029), mencerminkan tren pertumbuhan yang lebih agresif.

Perbandingan kedua metode memberikan gambaran strategis yang penting bagi perencanaan kapasitas terminal, termasuk kebutuhan lahan, peralatan bongkar muat, serta penjadwalan operasional. Oleh karena itu, hasil *forecasting* ini menjadi dasar yang krusial dalam pengambilan keputusan jangka menengah dan panjang dalam pengembangan infrastruktur pelabuhan.

Tabel 6. Hasil *Forecasting* Kedatangan Kapal Ocean Going 5 Tahun Kedepan

| Tahun | Total Kedatangan Kapal | Tahun | Metode Average Growth Rate | Metode Regresi Linear |
|-------|------------------------|-------|----------------------------|-----------------------|
| 2020  | 288                    | 2025  | 644                        | 567                   |
| 2021  | 221                    | 2026  | 806                        | 633                   |
| 2022  | 393                    | 2027  | 1.010                      | 699                   |
| 2023  | 429                    | 2028  | 1.265                      | 765                   |
| 2024  | 514                    | 2029  | 1.585                      | 831                   |

Berdasarkan data historis throughput peti kemas ekspor-impor (TEUs) periode 2020–2024, dilakukan proyeksi jumlah kedatangan kapal *Ocean Going* hingga tahun 2029. Kedua metode peramalan yang digunakan Metode *Average Growth Rate* (AGR) dan Metode Regresi Linear menunjukkan tren peningkatan jumlah kapal dalam lima tahun ke depan, meskipun dengan pendekatan yang berbeda.

Metode AGR memberikan proyeksi pertumbuhan yang lebih agresif, dari 644 kapal pada tahun 2025 menjadi 1.585 kapal pada tahun 2029. Hal ini mencerminkan akumulasi pertumbuhan tinggi dalam beberapa tahun terakhir. Sebaliknya, Metode Regresi Linear menghasilkan estimasi yang lebih moderat dan stabil, dari 567 kapal (2025) menjadi 831 kapal (2029), dengan asumsi tren pertumbuhan linier berdasarkan hubungan statistik antara waktu dan volume kedatangan.

Perbandingan kedua metode ini memberikan wawasan penting mengenai skenario pertumbuhan pelabuhan di masa depan. Metode AGR lebih relevan untuk menghadapi dinamika pasar yang cepat berubah, sementara regresi linear lebih cocok dalam kondisi pasar yang stabil dan terprediksi.

Hasil peramalan ini sangat krusial sebagai dasar perencanaan kapasitas pelabuhan, khususnya dalam aspek dermaga, peralatan bongkar muat,

sumber daya manusia, dan manajemen area *Container Yard* (CY). Peningkatan jumlah kapal *Ocean Going* secara signifikan akan berdampak pada efisiensi operasional pelabuhan, sehingga diperlukan strategi pengembangan infrastruktur dan manajemen operasional yang terencana secara matang.

Tabel 7. Hasil *Forecasting* Masa Waktu 5 Tahun di Area Tanjung Priok 2 Domestik

| Tahun | Realisasi Throughput | Tahun | Metode Average Growth Rate | Metode Regresi Linear |
|-------|----------------------|-------|----------------------------|-----------------------|
| 2020  | 764.321              | 2025  | 980.928                    | 1.005.073             |
| 2021  | 802.330              | 2026  | 1.031.121                  | 1.051.751             |
| 2022  | 893.981              | 2027  | 1.083.882                  | 1.098.428             |
| 2023  | 931.390              | 2028  | 1.139.342                  | 1.145.106             |
| 2024  | 933.179              | 2029  | 1.197.640                  | 1.191.783             |

Berdasarkan data historis throughput peti kemas domestik di Terminal Peti Kemas 2 (TP2) pada periode 2020–2024 yang menunjukkan tren pertumbuhan positif, dilakukan proyeksi volume throughput untuk lima tahun ke depan (2025–2029) dengan menggunakan dua metode, yaitu *Average Growth Rate* (AGR) dan Regresi Linear.

Hasil peramalan dengan Metode AGR menunjukkan bahwa throughput akan meningkat dari 980.928 TEUs pada tahun 2025 menjadi 1.197.640 TEUs pada tahun 2029. Sementara itu, Metode Regresi Linear menghasilkan estimasi sedikit lebih tinggi, yakni dari 1.005.073 TEUs (2025) hingga 1.191.783 TEUs (2029). Kedua metode menunjukkan tren pertumbuhan yang konsisten dan stabil.

Perbandingan hasil peramalan ini memberikan indikasi bahwa Area Tanjung Priok 2 memiliki potensi kuat untuk terus meningkatkan kinerja operasionalnya, seiring dengan pertumbuhan logistik domestik nasional. Oleh karena itu, hasil *forecasting* ini penting sebagai landasan dalam perencanaan strategis pengembangan pelabuhan, baik dari sisi infrastruktur, pengadaan peralatan, maupun peningkatan kapasitas pelayanan agar terminal mampu mengantisipasi lonjakan permintaan di masa mendatang.

Tabel 8. Hasil *Forecasting* Masa Waktu 5 Tahun di Area Tanjung Priok 2 *Ocean Going*

| Tahun | Realisasi Throughput | Tahun | Metode Average Growth Rate | Metode Regresi Linear |
|-------|----------------------|-------|----------------------------|-----------------------|
| 2020  | 313.943              | 2025  | 651.677                    | 571.028               |

|      |         |      |           |         |
|------|---------|------|-----------|---------|
| 2021 | 254.793 | 2026 | 754.170   | 634.162 |
| 2022 | 388.467 | 2027 | 872.781   | 697.297 |
| 2023 | 387.799 | 2028 | 1.010.048 | 760.432 |
| 2024 | 563.114 | 2029 | 1.168.902 | 823.567 |

Berdasarkan data historis throughput peti kemas ekspor-impor di Terminal Peti Kemas 2 (TP 2) pada periode 2020–2024 yang menunjukkan tren fluktuatif namun mengarah pada pemulihan dan pertumbuhan positif, dilakukan proyeksi untuk lima tahun ke depan (2025–2029) menggunakan Metode *Average Growth Rate* (AGR) dan Metode Regresi Linear.

Hasil peramalan menunjukkan bahwa metode AGR memproyeksikan pertumbuhan throughput yang lebih tinggi, dari 651.677 TEUs pada tahun 2025 hingga 1.168.902 TEUs pada tahun 2029. Sementara itu, metode Regresi Linear memperkirakan pertumbuhan yang lebih konservatif, dari 571.028 TEUs (2025) menjadi 823.567 TEUs (2029). Kedua metode sama-sama mencerminkan tren peningkatan aktivitas ekspor-impor di masa depan.

*Forecast* ini memberikan landasan penting bagi strategi pengembangan pelabuhan, termasuk dalam perencanaan kapasitas dermaga, investasi peralatan bongkar muat, penataan area penumpukan, dan pengelolaan jadwal pelayanan kapal internasional[3]. Proyeksi ini juga menunjukkan bahwa area Tanjung Priok 2 berpotensi menjadi simpul logistik ekspor-impor yang semakin vital dalam sistem perdagangan global Indonesia.

### 3.3. Analisis Waktu *Loading-Unloading*

#### a. Domestik

Tabel 9. Kinerja Pelayanan Dermaga Domestik

| Name Of Vessel  | Total (Teus) | BCH ET | Crane Density |
|-----------------|--------------|--------|---------------|
| Gaung Mas       | 903          | 21,98  | 1,93          |
| Belik Mas       | 550          | 22,03  | 1,99          |
| Guhi Mas        | 461          | 22,00  | 1,94          |
| Kedung Mas      | 151          | 21,90  | 1,97          |
| Meratus         | 1477         | 21,95  | 1,98          |
| Medan I         |              |        |               |
| Tasik Mas       | 817          | 21,89  | 2,00          |
| Meratus         | 861          | 22,20  | 1,96          |
| Lembar          |              |        |               |
| Kanal Mas       | 837          | 21,99  | 1,95          |
| Ifama Mas       | 1630,5       | 21,87  | 1,98          |
| Meratus         | 768          | 21,93  | 1,95          |
| Malino          |              |        |               |
| Meratus         | 1648         | 21,91  | 1,99          |
| Amurang         |              |        |               |
| Icon Kolose Iii | 600          | 21,92  | 1,94          |

23

|               |     |       |      |
|---------------|-----|-------|------|
| Icon Hosea VI | 404 | 22,07 | 1,96 |
| 6             |     |       |      |
| Batanghari    | 206 | 22,19 | 1,98 |
| Mas           |     |       |      |
| Meratus       | 587 | 21,89 | 1,89 |
| Wakatobi      |     |       |      |

Hasil perhitungan pada tabel 9 menunjukkan data kinerja pelayanan dermaga domestik berdasarkan jumlah *throughput* (dalam TEUs), nilai BCH ET (*Box Crane Hour - Effective Time*), dan *crane density* dari berbagai kapal yang beroperasi di terminal domestik. Berdasarkan data, kapal dengan *throughput* tertinggi adalah Ifama Mas dengan 1.630,5 TEUs dan BCH ET sebesar 21,87, diikuti oleh Meratus Amurang dengan 1.648 TEUs dan BCH ET 21,91. Nilai BCH ET untuk seluruh kapal berkisar antara 21,87 hingga 22,20, yang menunjukkan bahwa produktivitas *crane* relatif stabil di kisaran 21–22 box per jam[14]. Sementara itu, nilai *crane density* berada dalam rentang 1,89 hingga 2,00, dengan nilai tertinggi dimiliki oleh Tasik Mas (2,00), menandakan tingkat penggunaan *crane* yang paling optimal di antara kapal lainnya[14]. Secara keseluruhan, tabel ini menggambarkan bahwa pelayanan dermaga telah berjalan dengan produktivitas yang cukup merata, meskipun masih terdapat peluang optimalisasi lebih lanjut pada kapal-kapal dengan *crane density* di bawah rata-rata.

#### b. *Ocean Going*

Tabel 10. Kinerja Pelayanan Dermaga *Ocean Going*

| Name Of Vessel          | Total (Teus) | BCH ET | Crane Density |
|-------------------------|--------------|--------|---------------|
| Msc Shivalika III       | 1084         | 22,44  | 3,90          |
| Imke Schepers           | 1016         | 22,64  | 2,98          |
| Bg LI 2528              | 51           | 23,66  | 1,00          |
| Bg Sindo Garuda Kencana | 53           | 23,66  | 1,00          |
| Sinar Sunda             | 2446         | 22,79  | 3,96          |
| Msc Lucia III           | 503          | 22,50  | 1,98          |
| Meratus                 | 552          | 22,80  | 1,95          |
| Bintan                  |              |        |               |
| Msc Hailey Ann III      | 881          | 22,85  | 2,96          |
| CTP Golden              | 631          | 22,63  | 2,95          |
| Mtt Saisunee            | 1312         | 22,63  | 3,94          |
| Lepton                  | 391          | 22,84  | 1,95          |
| Msc Nimisha Iii         | 454          | 21,82  | 1,99          |
| MSC Ida II              | 1468         | 22,28  | 3,84          |
| Anl Kokoda              | 142          | 22,37  | 1,88          |

|            |     |       |      |
|------------|-----|-------|------|
| Intan Daya | 589 | 22,75 | 2,97 |
| 292        |     |       |      |

Hasil yang didapatkan pada tabel 10 menyajikan data kinerja pelayanan dermaga *Ocean Going* berdasarkan jumlah *throughput* (TEUs), nilai BCH ET (*Box Crane Hour - Effective Time*), dan *crane density* dari sejumlah kapal internasional. Nilai BCH ET berkisar antara 22,28 hingga 23,66, menunjukkan tingkat produktivitas *crane* yang cukup stabil dan cenderung lebih tinggi dibanding dermaga domestik[14]. Kapal dengan BCH ET tertinggi adalah Bg LI 2528 (23,66) dan BG Sindo Garuda Kencana (23,66), namun keduanya hanya menangani volume kecil, yaitu 51 dan 53 TEUs.

Kapal dengan *throughput* terbesar adalah Sinar Sunda (2.446 TEUs) dan MSC Ida II (1.468 TEUs), dengan *crane density* masing-masing 3,96 dan 3,84, mencerminkan tingkat pemanfaatan *crane* yang sangat tinggi dan efisien. Sebaliknya, kapal seperti Bg LI 2528 dan BG Sindo Garuda Kencana mencatat *crane density* hanya 1,00, menandakan kurang optimalnya penggunaan *crane* untuk kapal volume kecil[14].

Secara umum, kinerja dermaga *ocean going* menunjukkan produktivitas yang baik dengan sebagian besar kapal memiliki *crane density* di atas 2,90, yang berarti efisiensi bongkar muat cukup tinggi, terutama pada kapal-kapal besar[14]. Hal ini penting untuk mendukung arus logistik internasional yang lebih cepat dan minim waktu tunggu di pelabuhan.

### 3.4. Analisis Utilitas Container Yard

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 9 Utilitas *Container Yard* Area Tanjung Priok 2 Domestik menampilkan analisis utilitas area *Container Yard* (CY) untuk petikemas domestik sepanjang tahun. Analisis ini mencakup data bulanan *Yard Occupancy Ratio* (YOR), *throughput* dalam satuan TEUs, perubahan jumlah TEUs antarbulan (peningkatan atau penurunan), serta persentase perubahan *throughput* per tahun.

Tabel 11. Utilitas *Container Yard* Area TP 2 Domestik

| Month    | YOR   | TEUs   | Increase Decrease (TEUs) | Persentase Perbulan Pertahun (%) |
|----------|-------|--------|--------------------------|----------------------------------|
| Januari  | 50,48 | 75.565 | -                        | -                                |
| Februari | 52,75 | 75.289 | - 276                    | -0,37%                           |
| Maret    | 61,24 | 82.485 | 7.196                    | 9,56%                            |
| April    | 56,66 | 55.104 | -27.381                  | -33,19%                          |

|           |               |               |                |            |
|-----------|---------------|---------------|----------------|------------|
| Mei       | 52,93         | 80.505        | 25.401         | 46,10%     |
| Juni      | 60,54         | 71.866        | - 8.639        | -10,73%    |
| Juli      | 47,49         | 82.283        | 10.417         | 14,49%     |
| Agustus   | 46,12         | 77.968        | - 4.314        | -5,24%     |
| September | 46,86         | 76.439        | - 1.529        | -1,96%     |
| Oktober   | 51,49         | 85.317        | 8.878          | 11,61%     |
| November  | 60,09         | 84.282        | - 1.035        | -1,21%     |
| Desember  | 60,54         | 86.076        | 1.794          | 2,13%      |
| Jumlah    | <b>647,19</b> | <b>933.17</b> | <b>10511,5</b> | <b>31%</b> |
| Mean      | <b>53,93</b>  | <b>77.765</b> | -              | -          |
| Median    | <b>52,84</b>  | <b>79.237</b> | -              | -          |
| Modus     | <b>60,54</b>  | -             | -              | -          |
| STD DEV   | <b>5,47</b>   | -             | -              | -          |

Secara umum, total *throughput* tahunan mencapai 933.177 TEUs, dengan rata-rata bulanan sebesar 77.765 TEUs dan standar deviasi 5,47, yang menunjukkan tingkat variasi yang relatif rendah dari bulan ke bulan. Nilai modus YOR sebesar 60,54% dan nilai median TEUs sebesar 79.237 mengindikasikan bahwa sebagian besar bulan memiliki tingkat utilisasi yang cukup tinggi dan konsisten.

Terdapat fluktuasi signifikan sepanjang tahun. Kenaikan terbesar tercatat pada bulan Mei dengan peningkatan 25.401 TEUs (46,10%) dibanding bulan sebelumnya. Sebaliknya, penurunan tertinggi terjadi pada bulan April, yakni sebesar - 27.381 TEUs (-33,19%), yang dapat mengindikasikan adanya gangguan operasional, pergeseran musiman, atau faktor eksternal lainnya seperti cuaca atau regulasi.

Perhitungan tersebut menghasilkan nilai terendah terjadi pada bulan Juli sebesar 47,49%, sedangkan nilai tertinggi tercatat di bulan November sebesar 60,09%. Rata-rata YOR tahunan adalah 53,94%, yang menandakan bahwa tingkat utilisasi lapangan penumpukan secara umum berada di bawah ambang batas kritis (>65%), namun masih dalam kondisi operasional yang aman[14].

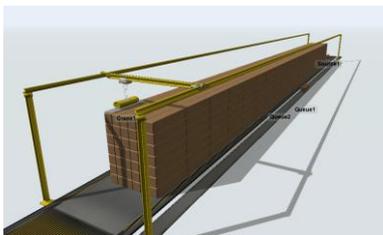
Secara keseluruhan, terdapat peningkatan total sebesar 10.511,5 TEUs sepanjang tahun, yang setara dengan pertumbuhan 31% per tahun. Angka ini mencerminkan tren positif dalam aktivitas petikemas domestik di Area Tanjung Priok 2, yang sekaligus memberikan sinyal bagi manajemen pelabuhan untuk mempertimbangkan penyesuaian kapasitas *Container Yard* guna mengantisipasi potensi peningkatan volume di masa mendatang.

### 3.5. Simulasi Loading in Container Yard

Berdasarkan pemahaman yang lebih mendalam terhadap kinerja operasional bongkar muat di terminal petikemas, khususnya pada proses

loading, dilakukan pemodelan simulasi menggunakan perangkat lunak *FlexSim*. Simulasi ini merepresentasikan secara menyeluruh tahapan pemindahan kontainer dari lapangan penumpukan (*container yard*) ke atas kapal menggunakan peralatan *quay crane*[13].

Gambar berikut menampilkan visualisasi model proses *loading* kontainer, termasuk pergerakan horizontal dan vertikal yang dilakukan oleh *crane*. Selain itu, disajikan variasi skenario jumlah lapis penumpukan (*stacking layers*) pada tingkat utilisasi yard sebesar 65%, yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh kapasitas penumpukan terhadap jumlah kontainer yang tersedia di lapangan[14]. Parameter teknis peralatan, seperti kecepatan dan percepatan *gantry*, *trolley*, dan *hoist*, disertakan sebagai input utama dalam simulasi guna menghitung waktu siklus (*cycle time*) dan mendukung analisis performa sistem bongkar muat secara kuantitatif.



Gambar 1. *Container loading in FlexSim simulation model*

Tabel 12. Jumlah kontainer di Simulasi

| Variant | Number Stacking Layers | Yard Utilization | Number Containers in The Yard |
|---------|------------------------|------------------|-------------------------------|
| 1       | 3                      |                  | 631                           |
| 2       | 4                      |                  | 840                           |
| 3       | 5                      | 65%              | 1050                          |
| 4       | 6                      |                  | 1260                          |
| 5       | 7                      |                  | 1470                          |

Tabel 13. Parameter operasional *crane* RTG yang digunakan dalam simulasi

| Parameter                                 | Value          |
|---|----------------|
| Gantry Speed (m/sec)                      | 0,8            |
| Gantry Acceleration (m/sec <sup>2</sup> ) | 1              |
| Trolley Speed (m/s)                       | 1,16           |
| Trolley Acceleration (m/s <sup>2</sup> )  | 1              |
| Hoist Lift Speed (m/sec)                  | See Equation 1 |
| Hoist Drop Speed (m/sec)                  | See Equation 1 |

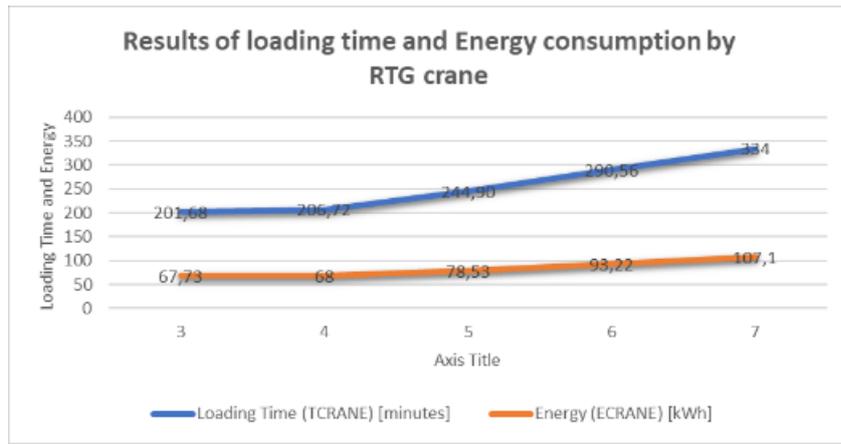
|  |    |
|--|----|
| Hoist Acceleration (m/sec <sup>2</sup> ) | 1  |
| Lift Height (m)                          | 26 |
| Container Pick-Up (sec)                  | 5  |
| Container Put Off Time (sec)             | 10 |

Simulasi kegiatan *loading* yang dijalankan oleh *crane*, khususnya dalam menentukan kontainer yang akan diambil dan dialokasikan ke tempat tujuannya, mengikuti prinsip *algoritma greedy*. Dalam kasus ketika kontainer yang hendak diambil berada di posisi paling bawah tumpukan, maka kontainer-kontainer yang berada di atasnya harus terlebih dahulu dipindahkan. Proses pemindahan ini dilakukan dengan menempatkan kontainer tersebut ke lokasi terdekat yang masih tersedia[15].

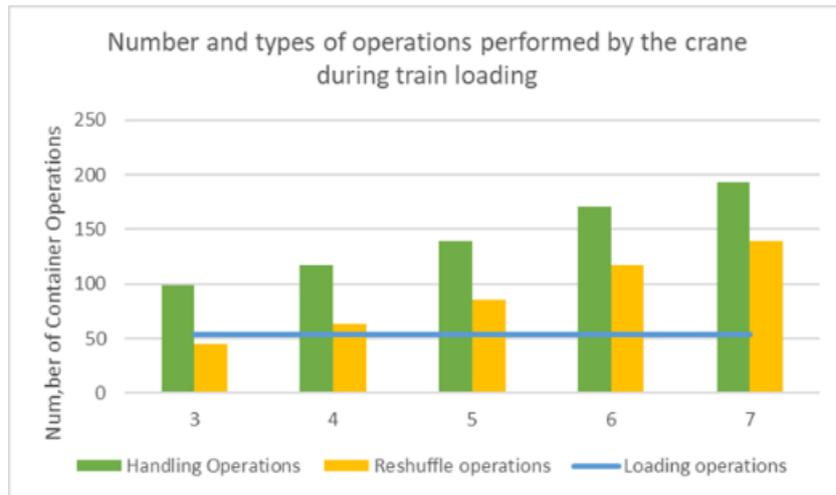
Proses kontainer hasil dari pemindahan sementara dapat ditempatkan pada lapisan tumpukan yang lebih tinggi dari batas maksimum yang telah ditentukan pada skenario awal, namun tidak boleh melebihi lima lapisan. Selain itu, penempatan kontainer hanya diperbolehkan di atas tumpukan yang terdiri dari kontainer dengan tipe yang sama, yakni 20 *feet* dan 40 *feet*[13].

Tabel 14. Hasil simulasi untuk jumlah lapisan penumpukan kontainer yang berbeda

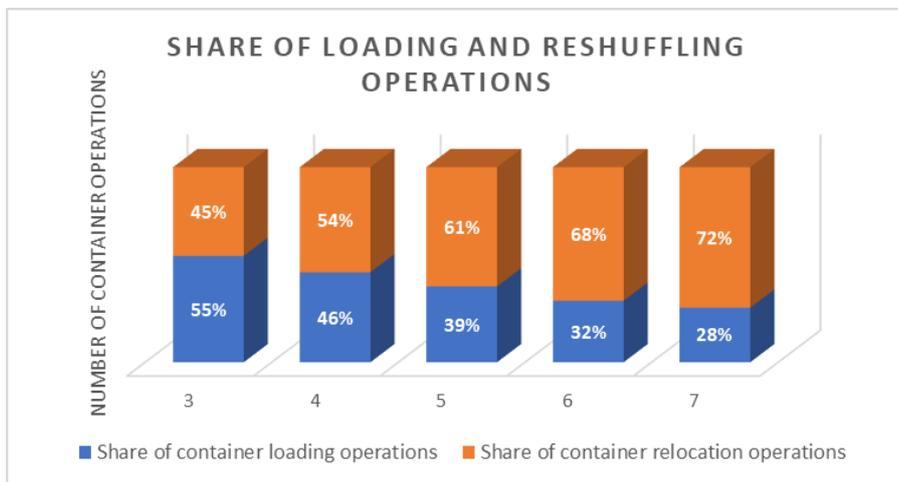
| Parameter  | Number of Containers Stacking Layers |         |          |         |         |
|--|--------------------------------------|---------|----------|---------|---------|
|  | 3                                    | 4       | 5        | 6       | 7       |
| Distance (LCRANE) [m]                            | 9796,76                              | 9921,36 | 11358,60 | 12688,2 | 14605,5 |
| Loading Time (TCRANE) [minutes]                  | 201,68                               | 206,72  | 244,90   | 290,56  | 334     |
| Energy (ECRANE) [kWh]                            | 67,73                                | 68      | 78,53    | 93,22   | 107,1   |
| Number of Container Handling Operations (NCHO)   | 99                                   | 117     | 139      | 171     | 193     |
| Number of Container Loading Operations (NLCO)    | 54                                   | 54      | 54       | 54      | 54      |
| Number of Container Relocation Operations (NSCO) | 45                                   | 63      | 85       | 117     | 139     |
| Container Loading Operations Time (TLCO)         | 137,36                               | 128,46  | 129,48   | 129,5   | 129,5   |
| Container Relocation Operations Time (TSCO)      | 64,32                                | 78,26   | 115,42   | 161,08  | 204,5   |



Gambar 2. Hasil waktu pemuatan dan onsumsi energi oleh RTG crane



Gambar 3. Jumlah dan jenis operasi yang dilakukan oleh crane selama pemuatan kontainer



Gambar 4. Bagian dari operasi pemuatan dan penataan ulang

Berdasarkan peningkatan waktu operasi terlihat jelas pada grafik "Share of time spent on loading and reshuffling operations". Ketika hanya ada tiga lapisan penumpukan, tidak terjadi penataan ulang kontainer, sehingga 100% waktu dihabiskan untuk pemuatan. Namun, ketika jumlah lapisan meningkat menjadi tujuh, proporsi waktu untuk penataan ulang melonjak hingga 47,1%, sementara

waktu untuk pemuatan menurun menjadi hanya 52,9%. Ini menunjukkan bahwa penataan ulang kontainer menjadi komponen dominan dalam durasi total pemuatan seiring bertambahnya jumlah lapisan penumpukan.

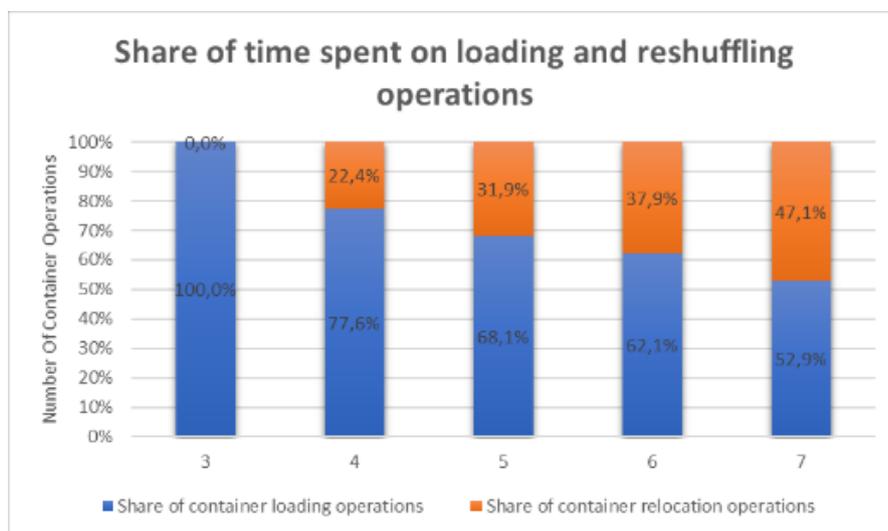
Hal serupa terlihat pada grafik kedua yang menggambarkan peningkatan waktu pemuatan dan konsumsi energi. Loading time naik drastis dari 0% (lapisan 3) menjadi 65,6% (lapisan 7), sedangkan

konsumsi energi meningkat dari 0% menjadi 58,1%. Meskipun keduanya meningkat, grafik menunjukkan bahwa konsumsi energi tumbuh lebih lambat dibandingkan waktu pemuatan. Hal ini dijelaskan oleh fakta bahwa sistem derek mampu memulihkan sebagian energi selama proses penurunan kontainer, sehingga mengurangi kebutuhan energi eksternal secara keseluruhan.

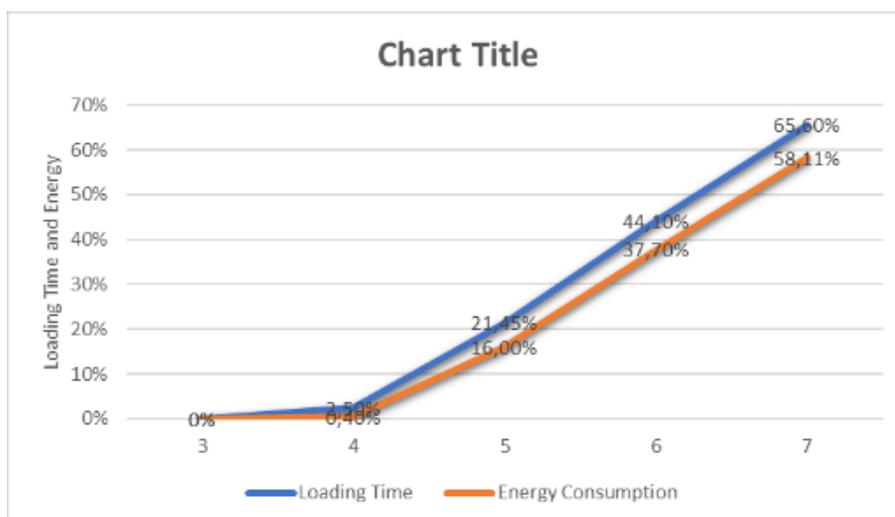
Perhitungan di tabel data, terlihat bahwa setiap parameter jarak tempuh (*distance*), waktu pemuatan (*loading time*), dan konsumsi energi (*energy consumption*) mengalami lonjakan paling signifikan antara lapisan ke-4 dan ke-5, serta antara ke-6 dan ke-7. Misalnya, waktu pemuatan naik tajam dari 21,45% menjadi 44,10% antara lapisan ke-5 dan ke-6, lalu ke 65,60% pada lapisan ke-7. Hasil serupa terlihat pada konsumsi energi.

Efisiensi energi tidak meningkat secara linear terhadap jumlah operasi penanganan kontainer. Namun, pemulihan energi dari sistem derek berkontribusi pada keberlanjutan proses pemuatan. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan hubungan antara jumlah lapisan penumpukan dengan jarak tempuh derek, waktu pemuatan, dan konsumsi energi[16].

Mengoptimalkan efisiensi ruang penyimpanan menjadi prioritas, maka konfigurasi dengan empat atau lima lapisan penumpukan (varian 5 sampai 7) dapat menjadi pilihan optimal[17]. Dalam skenario tersebut, peningkatan kapasitas ruang penyimpanan diperoleh dengan hanya sedikit peningkatan konsumsi energi dan waktu pemuatan, sebagaimana ditunjukkan dalam tabel.



Gambar 5. Porsi waktu yang dihabiskan untuk operasi pemuatan dan penataan ulang



Gambar 6. Peningkatan persentase waktu pemuatan dan konsumsi energi di setiap varian dibandingkan dengan varian 3

Tabel 15. Peningkatan persentase waktu pemuatan dan konsumsi energi di setiap varian dibandingkan dengan varian 3

| Parameter          | 3  | 4     | 5      | 6      | 7      |
|--------------------|----|-------|--------|--------|--------|
| Distance           | 0% | 1,27% | 15,97% | 29,50% | 49,09% |
| Loading Time       | 0% | 2,50% | 21,45% | 44,10% | 65,60% |
| Energy Consumption | 0% | 0,40% | 16,00% | 37,70% | 58,11% |

Kesimpulan yang jelas adalah bahwa semakin banyak jumlah lapisan penumpukan, maka luas permukaan yang dibutuhkan untuk penyimpanan kontainer akan berkurang secara proporsional. Hal ini menghasilkan peningkatan kapasitas penyimpanan di lapangan (*yard*) dalam hal jumlah kontainer yang dapat ditampung.

Studi yang dilakukan menunjukkan bahwa menyimpan kontainer dalam area yang lebih padat dan sempit tidak mengurangi waktu pemuatan justru memberikan efek sebaliknya. Ketika kontainer tidak tersebar di sepanjang jalur pemuatan, melainkan terkonsentrasi di satu lokasi, siklus kerja derek menjadi lebih lama dan jarak tempuh derek pun meningkat. Hal ini secara langsung menyebabkan peningkatan waktu pemuatan dan konsumsi energi, sebagaimana ditunjukkan dalam grafik dan tabel data yang dianalisis sebelumnya.

### 3.6. Kebutuhan Container Yard

#### a. Container Yard Domestik

Berdasarkan data pada tabel 16 yang diperoleh mengenai kapasitas *Container Yard* di domestik. Memudahkan dalam menghitung kebutuhan lapangan penumpukan. Berikut perhitungan kebutuhan *Container Yard*.

Tabel 16. Kapasitas *Container Yard* Domestik

| Infrastructure   | Satuan            |
|------------------|-------------------|
| Gate Lane        | In 2 / Out 2 Unit |
| Weighbridge      | 2 Unit            |
| Terminal Area    | 13,12 Ha          |
| Holiday Capacity | 10.264 TEUs       |

$$Luas\ Yard = \frac{Jumlah\ Kontainer \times Luas\ per\ TEUs}{Utilisasi\ Yard \times Stacking\ Height}$$

$$Luas\ Yard = \frac{10.264 \times 20}{0.65 \times 6} = 52.636,92\ m^2$$

$$Ruang\ Cadangan = 132.000 - 52.636,92 = 79.363\ m^2$$

$$Presentase = \frac{52.636,92}{132.000} \times 100 = 39.88\ \%$$

Hasil perhitungan dari jumlah kontainer rata-rata sebesar 10.264 TEUs, kebutuhan luas container yard hanya mencapai sekitar 39,9% dari total luas terminal yang tersedia, yaitu 13,2 hektar. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas *container yard* saat ini masih sangat mencukupi untuk menampung volume kontainer yang ada. Bahkan, masih tersedia ruang signifikan yang dapat dimanfaatkan secara strategis. Sisa lahan tersebut dapat digunakan untuk melakukan penataan *layout* yang lebih efisien guna mempercepat alur pergerakan kontainer, serta memungkinkan penambahan berbagai fasilitas pendukung seperti jalan internal, *buffer yard*, atau optimalisasi akses bagi alat berat seperti *crane* dan truk. Selain itu, ruang yang tersedia juga dapat menjadi cadangan untuk mengantisipasi potensi peningkatan *throughput* di masa depan, seiring pertumbuhan aktivitas bongkar muat di terminal. Dengan pengelolaan ruang yang tepat, terminal akan memiliki fleksibilitas operasional yang lebih tinggi dan mendukung upaya penurunan *dwelling time* secara berkelanjutan.

#### b. Container Yard Ocean Going

Berdasarkan data pada tabel 17 yang diperoleh mengenai kapasitas *Container Yard* di *Ocean Going*. Memudahkan dalam menghitung kebutuhan lapangan penumpukan. Berikut perhitungan kebutuhan *Container Yard*.

Tabel 17. Kapasitas *Container Yard* *Ocean Going*

| Infrastructure | Satuan   |
|----------------|--|
| Gate Lane      | In 2 / Out 4 Unit  |
| Weighbridge    | 2 Unit   |
| Reefer Plugs   | Block OJA 234 (Aktif)<br>Block TSJ 156 (Maksimal Pemakaian 50 plug karena keterbatasan daya listrik) |

|                  |        |      |
|------------------|--------|------|
| Terminal Area    | 12,2   | Ha   |
| Holiday Capacity | 12.528 | TEUs |

$$\text{Luas Yard} = \frac{\text{Jumlah Kontainer} \times \text{Luas per TEUs}}{\text{Utilisasi Yard} \times \text{Stacking Height}}$$

$$\text{Luas Yard} = \frac{12.528 \times 20}{0,65 \times 6} = 64.247,69 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ruang Cadangan} &= 122.000 - 64.247,69 \\ &= 57.752 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Presentase} = \frac{64.247,69}{122.000} \times 100 = 52,65 \%$$

*Container Yard* di area Tanjung Priok 2 masih mencukupi untuk menampung rata-rata 12.528 TEUs, bahkan memiliki cadangan ruang sebesar  $\pm 47\%$  dari luas total. Artinya, masih memungkinkan untuk peningkatan volume atau penataan *layout* baru untuk efisiensi bongkar muat dan pengurangan *dwelling time*.

### 3.7. Pembahasan

Berdasarkan hasil simulasi dan data historis yang telah dianalisis, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem penataan *container yard* serta efisiensi pemuatan di terminal peti kemas dapat ditingkatkan secara signifikan melalui pendekatan berbasis simulasi dan proyeksi. Simulasi yang dilakukan menggunakan perangkat lunak *FlexSim* mampu mengevaluasi performa operasional, khususnya dalam kegiatan pemuatan kontainer, dengan memperhitungkan parameter teknis seperti jenis *crane* dan jumlah lapisan penumpukan kontainer (*stacking layers*)[13]. Dengan rata-rata yard utilization sebesar 65% dan kemampuan *stacking* hingga 6 lapis, kapasitas lapangan penumpukan saat ini dinilai sangat mencukupi untuk menampung rata-rata 10.264 TEUs. Bahkan, kapasitas tersebut hanya memanfaatkan sekitar 39,9% dari total luas terminal yang tersedia, yaitu 13,2 hektar. Temuan ini membuka peluang besar untuk optimalisasi *layout* maupun pengembangan fasilitas pendukung di masa mendatang, termasuk dalam upaya pengurangan *dwelling time* secara signifikan[18].

Sisi performa operasional dermaga, hasil analisis Tabel 9 dan 10 mengindikasikan bahwa pelayanan kapal domestik dan ocean going menunjukkan karakteristik yang berbeda. Kapal domestik secara konsisten mencatatkan BCH ET (*Box Crane Hour – Effective Time*) di kisaran 21,8

hingga 22,2 box per jam, dengan nilai *Crane Density* rata-rata mendekati 2, yang mengindikasikan penggunaan crane yang relatif efisien dan stabil[14]. Sementara itu, kapal *ocean going* menunjukkan variasi performa yang lebih tinggi. BCH ET dapat mencapai 23,66 box per jam pada kapal ukuran kecil, namun penggunaan crane pada kapal besar seperti MSC Shivalika III menunjukkan *Crane Density* tinggi hingga 3,9[14]. Hal ini menunjukkan bahwa jenis dan ukuran kapal berperan penting dalam strategi operasional terminal, khususnya dalam penentuan jumlah *crane* dan pola pelayanan yang optimal[19].

Simulasi *Container Yard* pada Tabel 14 menunjukkan bahwa penambahan jumlah *stacking layer* dari 3 ke 6 lapis mampu memberikan efisiensi ruang yang signifikan, yaitu pengurangan kebutuhan lahan hingga 41,14%. Selain itu, efisiensi energi juga meningkat, ditunjukkan oleh penurunan konsumsi energi per kontainer dari 176,3 menjadi 143,2 kWh. Namun, hal ini disertai dengan peningkatan waktu *reshuffling* yang cukup tajam, mencapai 47,1% dari total waktu operasional saat *stacking* mencapai 6 lapis. Artinya, meskipun efisiensi spasial dan energi dapat dicapai, terdapat kompromi pada sisi waktu yang harus diperhitungkan secara strategis[16]. *Trade-off* antara pemanfaatan ruang, waktu, dan energi menjadi faktor penting dalam penentuan konfigurasi *stacking* yang optimal. Selain itu, simulasi menunjukkan bahwa dengan pengaturan *layout* yang lebih strategis dan penggunaan lahan secara efisien, waktu *dwelling container* di lapangan juga dapat ditekan[17]. Rata-rata *dwelling time* yang sebelumnya tinggi dapat diturunkan seiring dengan penurunan kepadatan antrian dan peningkatan kelancaran arus kontainer dari dan menuju kapal[7].

Secara keseluruhan, pendekatan berbasis simulasi memberikan gambaran operasional yang lebih realistis dan adaptif terhadap dinamika lapangan, sekaligus menjadi alat bantu perencanaan strategis yang handal. Proyeksi lima tahun ke depan (2025–2029) untuk *throughput* kapal dan peti kemas yang dihitung menggunakan metode *Average Growth Rate* (AGR) dan Regresi Linier menunjukkan hasil pertumbuhan yang moderat hingga tinggi. Hal ini memperkuat pentingnya integrasi antara hasil simulasi dan data historis dalam menyusun rencana pengembangan terminal. Kombinasi ini memungkinkan perencanaan kapasitas *crane*, pengaturan ruang penumpukan, efisiensi bongkar muat, dan penurunan *dwelling time* dilakukan secara lebih presisi. Temuan ini menjadi dasar penting bagi pengambilan keputusan manajerial dalam merancang terminal petikemas yang responsif

terhadap fluktuasi volume, perubahan jenis layanan, serta tuntutan waktu pelayanan di masa depan[20][7].

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan simulasi yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa strategi penataan ruang (*space layout strategy*) di terminal peti kemas berperan krusial dalam meningkatkan efisiensi operasional dan menekan dwelling time. Simulasi berbasis *FlexSim* menunjukkan bahwa peningkatan jumlah lapisan penumpukan kontainer hingga enam lapis mampu menghemat lahan hingga 41,14%, serta menurunkan konsumsi energi dari 176,3 menjadi 143,2 kWh per kontainer. Namun, efisiensi ini disertai dengan konsekuensi meningkatnya *reshuffling time* hingga 47,1%, sehingga dibutuhkan keseimbangan antara efisiensi ruang dan waktu.

Pemanfaatan rata-rata hanya 39,9% dari total luas *container yard* (13,2 Ha) untuk kapasitas 10.264 TEUs, masih terdapat cadangan ruang sebesar  $\pm 47%$  yang dapat dioptimalkan untuk perbaikan *layout* dan percepatan arus logistik. Hal ini secara langsung berkontribusi pada upaya pengurangan waktu tinggal kontainer (*dwelling time*) di terminal secara signifikan.

Hasil dari analisis performa operasional juga menunjukkan bahwa kinerja bongkar muat pada dermaga, baik untuk kapal domestik maupun *ocean going*, tergolong efisien. Kapal domestik mencatatkan BCH ET stabil pada kisaran 21,8–22,2 box/jam dengan *crane density* mendekati 2, sementara kapal *ocean going* menunjukkan variasi lebih besar dengan *crane density* hingga 3,9 pada kapal besar[14]. Perbedaan ini menegaskan pentingnya strategi pengelolaan alat berat dan alokasi dermaga yang adaptif terhadap jenis dan ukuran kapal. Selanjutnya, proyeksi throughput lima tahun ke depan (2025–2029) melalui metode AGR dan Regresi Linier menunjukkan tren pertumbuhan yang konsisten. Kombinasi antara *forecasting* dan simulasi membuktikan bahwa pendekatan kuantitatif berbasis data mampu menjadi dasar kuat dalam merancang pengembangan infrastruktur pelabuhan, optimalisasi *layout container yard*, serta peningkatan efisiensi pelayanan secara menyeluruh dan berkelanjutan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak/Ibu Dosen Pembimbing yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, dan masukan berharga selama

proses penyusunan tugas akhir ini. Bimbingan yang diberikan tidak hanya memperkaya wawasan akademik, tetapi juga membentuk pola pikir analitis yang sangat berguna bagi pengembangan diri penulis di masa mendatang.

Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada PT Pelabuhan Indonesia (Persero), khususnya kepada IPC Terminal Petikemas Area Tanjung Priok 2, yang telah memberikan kesempatan dan dukungan penuh selama proses magang dan pengumpulan data lapangan. Bantuan serta kerja sama dari seluruh staf dan karyawan di lingkungan IPC TPK Tanjung Priok 2 sangat berarti dalam kelancaran pelaksanaan penelitian ini. Semoga segala kebaikan yang telah diberikan menjadi amal yang bermanfaat dan mendapat balasan yang setimpal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Triatmodjo, *Perencanaan Pelabuhan*, vol. 11, no. 1. 2019.
- [2] D. A. Lasee, "Manajemen Kepelabuhanan," *Jakarta Rajawali Press*, 2014.
- [3] Nur Khaerat Nur, *Perancangan Pelabuhan*. Yayasan Kita Menulis, 2021.
- [4] Badan Pusat Statistik, "bongkar-muat-barang-angkutan-laut-antar-pulau-di-pelabuhan-utama @ www.bps.go.id," *BPS - Statistics Indonesia*. 2025, [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/NjgiMg==/bongkar-muat-barang-angkutan-laut-antar-pulau-di-pelabuhan-utama.html>.
- [5] J. Prastyorini, *Spreader Twinlift RTG, Realibility RTG, Availability Head Truck, Dan Keterampilan Operator Terhadap Produktivitas Peti Kemas*. 2020.
- [6] M. A. Budiyanto, M. I. Zaki, and S. B. Suhendar, "Operational Effect on the Increase of Quay Cranes to Reduce Dwelling Time at the Container Terminal," *E3S Web Conf.*, vol. 405, 2023.
- [7] Y. Zhang, H. Qu, W. Wang, and J. Zhao, "A Novel Fuzzy Time Series Forecasting Model Based on Multiple Linear Regression and Time Series Clustering," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2020.
- [8] K. S. Hsb and R. K. R, "Peramalan Jumlah Permintaan Container Dengan Algoritma Regresi Linear," *J. Inf. Syst. Res.*, vol. 6, no. 1, pp. 505–512, 2024.
- [9] M. Sha, T. Notteboom, T. Zhang, X. Zhou, and T. Qin, "Simulation model to determine ratios between quay, yard and

- intra-terminal transfer equipment in an integrated container handling system,” *J. Int. Logist. Trade*, vol. 19, no. 1, pp. 1–18, 2021.
- [10] J. Yu, G. Tang, D. Li, and B. Mu, “3D Simulation modeling of apron operation in a container terminal,” *Proc. - 31st Eur. Conf. Model. Simulation, ECMS 2017*, vol. 2, no. Cd, pp. 190–196.
- [11] B. Lu, M. Zhang, X. Xu, C. Liang, Y. Wang, and H. Liu, “Container Yard Layout Design Problem with an Underground Logistics System,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 12, no. 7, 2024.
- [12] P. Legato and R. M. Mazza, “A simulation model for designing straddle carrier-based container terminals,” *Proc. - Winter Simul. Conf.*, pp. 3138–3149, 2017.
- [13] R. Jachimowski and M. Kłodawski, “the Impact of Container Yard Layout on the Cargo Handling Time of External Transport Vehicles in an Intermodal Terminal,” *Arch. Transp.*, vol. 73, no. 1, pp. 179–193, 2025.
- [14] K. T. Priok, “Surat Keterangan Standar Kinerja Pelayanan Operasional Pelabuhan Pada Pelabuhan Tanjung Priok 2025.” Direktorat Jenderal Perhubungan Laut.
- [15] M. Rodriguez-Molins, M. A. Salido, and F. Barber, “Intelligent planning for allocating containers in maritime terminals,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 1, pp. 978–989, 2012.
- [16] Ç. Iris and J. S. L. Lam, “A review of energy efficiency in ports: Operational strategies, technologies and energy management systems,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, no. February, pp. 170–182, 2019.
- [17] A. Azab and H. Morita, “The block relocation problem with appointment scheduling,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 297, no. 2, pp. 680–694, 2022.
- [18] J. Hasil *et al.*, “Analisis Antrian dan Waktu Tunggu Terminal Peti Kemas Semarang,” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 3, pp. 1, 2023.
- [19] A. Ramadani, “Analisa Pengaruh Waktu Tunggu Kapal Terhadap Biaya Logistik Di Terminal Peti Kemas Makassar,” *Ris. Sains dan Teknol. Kelaut.*, vol. 5, no. 2, pp. 168–174, 2022.
- [20] A. M. O. Study, “Business : Assessing the Factors Impacting Shipping Container Dwell Time ;,” *Dep. Ind. Eng. Inf. Syst. Fac. Manag. Econ. Tomas Bata Univ. Zlin, Czech Repub.*, vol. 25, 2024.