

Optimasi Tenaga Kerja Operasional Terminal Peti Kemas Menggunakan Integrasi Time and Motion Study dan Ranked Positional Weight

Stella Simarmata¹, Jeriel Matthias Justianus², Anita Christine Sembiring^{3*}

^{1,2,3}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Prima Indonesia

^{1,2,3}PUI Transportasi, Logistik Perkotaan, Universitas Prima Indonesia

Jl. Sampul No. 3, Sei Putih Barat, Kec. Medan Petisah, Kota Medan, Sumatera Utara 20118

Email: stellasimarmata79@mail.com, jerimatth03@gmail.com, anitachristinesembiring@unprimdn.ac.id*

ABSTRAK

Terminal peti kemas menghadapi permasalahan ketidakefektifan tenaga kerja yang berdampak pada kinerja operasional. Dengan 250 tenaga kerja dan rasio 0,5 orang/kontainer, throughput hanya mencapai 92% dari target 500 kontainer per hari. Penelitian ini bertujuan menentukan tenaga kerja optimal menggunakan integrasi Time and Motion Study dan Ranked Positional Weight sebuah pendekatan yang belum banyak diterapkan secara komprehensif pada sistem logistik terminal peti kemas dengan aktivitas paralel dan precedence constraint kompleks. Time and Motion Study digunakan untuk menghitung waktu standar 8 aktivitas operasional dengan rating factor 1,10 dan allowance 27%. Ranked Positional Weight digunakan untuk distribusi beban kerja optimal dengan mempertimbangkan precedence constraint dan aktivitas paralel. Berdasarkan hasil perhitungan model, waktu standar total mencapai 16,64 menit per kontainer, distribusi ke 3 stasiun kerja menghasilkan estimasi efisiensi lini 64,20%, dan jumlah tenaga kerja optimal 105 orang (35 orang per shift) dengan rasio 0,21 orang/kontainer. Implementasi rekomendasi ini berpotensi menghasilkan efisiensi tenaga kerja hingga 58%, penurunan cycle time menjadi 8,64 menit, dan pencapaian throughput 100% sesuai target.

Kata kunci: tenaga kerja optimal, terminal peti kemas, Time and Motion Study, Ranked Positional Weight, efisiensi operasional.

ABSTRACT

Container terminals face challenges with suboptimal workforce allocation that impacts operational performance. With 250 workers and a ratio of 0.5 workers/container, throughput only reaches 92% of the 500 containers per day target. This study aims to determine optimal workforce levels using integrated Time and Motion Study and Ranked Positional Weight — an approach not yet widely applied comprehensively in container terminal logistics systems with parallel activities and complex precedence constraints. Time and Motion Study calculates standard time for 8 operational activities with rating factor 1.10 and 27% allowance. Ranked Positional Weight optimizes workload distribution considering precedence constraints and parallel activities. Based on model calculations, total standard time reaches 16.64 minutes per container, distribution across 3 workstations yields an estimated line efficiency of 64.20%, and optimal workforce of 105 workers (35 per shift) with 0.21 workers/container ratio. Implementation of these recommendations potentially yields workforce efficiency up to 58%, cycle time reduction to 8.64 minutes, and 100% throughput achievement.

Keywords: optimal workforce, container terminal, Time and Motion Study, Ranked Positional Weight, operational efficiency

Pendahuluan

Pelabuhan merupakan kawasan yang mencakup wilayah darat dan perairan sebagai lokasi berlangsungnya kegiatan pemerintahan dan aktivitas usaha[1]. Terminal peti kemas memiliki peran vital dalam kelancaran perdagangan internasional sebagai penghubung transportasi laut dan darat. Efektivitas operasional terminal sangat menentukan kecepatan perputaran barang dan daya saing pelabuhan [2][13][14]. Biaya tenaga kerja mencapai 40-50% dari total biaya operasional terminal [3][15], sehingga penentuan jumlah tenaga kerja optimal menjadi kebutuhan strategis yang tidak dapat diabaikan.

Terminal peti kemas yang menjadi objek penelitian ini beroperasi 24 jam dalam 3 shift dengan target throughput 500 kontainer per hari menggunakan 3-unit quay crane, 9-unit reach stacker, dan 18 unit head truck. Saat ini terminal memiliki 250 tenaga kerja operasional dengan rasio 0,5 orang/kontainer, lebih tinggi dari benchmark terminal modern 0,3-0,4 orang/kontainer [4][16]. Distribusi tenaga kerja berdasarkan fungsi operasional ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aktivitas tenaga kerja terminal peti kemas

No	Fungsi Operasional	Aktivitas Utama	Pekerja Saat Ini	Shift
1	Operator Quay Crane	Mengoperasikan crane, mengangkat kontainer dari kapal, koordinasi signalman	30 orang	3 shift
2	Signalman	Memberikan sinyal kepada operator crane, koordinasi perpindahan kontainer	30 orang	3 shift
3	Driver Head Truck	Mengangkut kontainer dari dermaga ke yard, koordinasi dengan operator crane dan stacker	90 orang	3 shift
4	Operator Reach Stacker	Mengangkat kontainer dari head truck, menumpuk di yard	45 orang	3 shift
5	Lashing/Unlashing Staff	Memasang dan melepas pengunci kontainer, inspeksi, dokumentasi	30 orang	3 shift
6	Staff Inspeksi	Pemeriksaan fisik kontainer, verifikasi nomor, dokumentasi kerusakan	25 orang	3 shift
Total			250 orang	

Berdasarkan data operasional periode Oktober–Desember 2025, target throughput tidak tercapai secara konsisten. Realisasi rata-rata hanya 458 kontainer per hari atau 92% dari target, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data realisasi throughput terminal peti kemas periode Oktober–Desember 2025

Periode	Target (kont./hari)	Realisasi (kont./hari)	Selisih	Pencapaian (%)
Oktober 2025	500	450	-50	90%
November 2025	500	460	-40	92%
Desember 2025	500	465	-35	93%
Rata-Rata	500	458	-42	92%

Kegagalan mencapai target berdampak pada dwelling time yang mencapai 4,8 hari (di atas standar nasional 3 hari), cycle time aktual 12–15 menit (di atas target 8,64 menit), serta distribusi beban kerja tidak merata: sebagian pekerja mengalami idle time 30–40%, sementara sebagian lain mengalami overload 80–90%. Akar permasalahan terletak pada dua hal: pertama, tidak adanya waktu standar yang terukur secara objektif; kedua, distribusi kerja yang tidak mempertimbangkan precedence constraint dan aktivitas paralel[5][17].

Kajian literatur menunjukkan tiga celah utama pada penelitian terdahulu: (1) penelitian pengukuran kerja di terminal umumnya hanya menerapkan time study tanpa integrasi penyeimbangan lini[6][8]; (2) penelitian line balancing dengan metode Ranked Positional Weight sebagian besar dilakukan pada industri manufaktur, bukan pada sistem logistik pelabuhan [7]; (3) belum ada penelitian yang mengintegrasikan secara komprehensif Time and Motion Study dan Ranked Positional Weight untuk optimasi tenaga kerja terminal peti kemas yang memiliki aktivitas paralel dan precedence constraint fisik yang kompleks (crane → truck → stacker). Ketiga celah inilah yang menjadi research gap yang dijawab oleh penelitian ini.

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, penelitian ini merumuskan tiga pertanyaan utama: (1) Berapa waktu standar setiap aktivitas operasional berdasarkan Time and Motion Study? (2) Bagaimana distribusi beban kerja optimal menggunakan Ranked Positional Weight? (3) Berapa jumlah tenaga kerja optimal berdasarkan integrasi kedua metode tersebut? Kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka integrasi metodologis yang dapat diterapkan pada terminal peti kemas lain dengan karakteristik serupa, sekaligus menyediakan bukti empiris bahwa pendekatan berbasis pengukuran waktu dan penyeimbangan lini mampu mengatasi inefisiensi tenaga kerja secara sistematis.

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan studi kasus deskriptif-analitis, dilakukan di terminal peti kemas berkapasitas 500 kontainer per hari yang beroperasi 24 jam (3 shift × 8 jam). Pengamatan

dilakukan selama periode Oktober–Desember 2025 (3 bulan) pada seluruh 3 shift (pagi 06.00–14.00, siang 14.00–22.00, dan malam 22.00–06.00) untuk memperoleh data yang representatif dari berbagai kondisi operasional. Operator yang diamati berjumlah 250 orang yang merupakan tenaga kerja tetap terminal, dengan masa kerja minimal 1 tahun dan telah menyelesaikan pelatihan operasional standar. Pengambilan data dilakukan pada kondisi operasional normal (bukan peak season) dengan asumsi: (1) tidak ada kerusakan peralatan (breakdown) selama pengamatan, (2) permintaan bongkar muat relatif stabil, (3) kondisi cuaca mendukung operasional, dan (4) metode kerja yang diamati merupakan metode standar yang berlaku di terminal.

Time and Motion Study

Time and Motion Study dilakukan dengan pengamatan langsung menggunakan stopwatch pada 8 aktivitas operasional dengan jumlah pengamatan 31–40 kali per aktivitas. Validitas data diuji dengan uji kecukupan data menggunakan persamaan (1) dan uji keseragaman menggunakan batas kontrol persamaan (2) dan (3)[8][20].

$$N' = [k/s \times \sqrt{(N \cdot \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2) / (s \times \Sigma X)}]^2 \tag{1}$$

$$BKA = \bar{X} + 3\sigma \tag{2}$$

$$BKB = \bar{X} - 3\sigma \tag{3}$$

Rating factor (RF) ditentukan menggunakan Westinghouse Rating System yang mempertimbangkan Skill, Effort, Conditions, dan Consistency, menghasilkan RF = 1,10. Allowance total ditetapkan 27% yang mencakup: Personal Allowance (5%), Basic Fatigue (4%), Standing (2%), Abnormal Position (3%), Mental Strain (4%), Noise (2%), Delay (3%), dan Fatigue Heavy Work (4%). Waktu normal (WN) dan waktu standar (WS) dihitung menggunakan persamaan (4) dan (5)[9][21]:

$$WN = WO \times RF \tag{4}$$

$$WS = WN \times (1 + Allowance) \tag{5}$$

Ranked Positional Weight (RPW)

Cycle time (CT) dihitung berdasarkan waktu produksi tersedia dan jumlah crane paralel menggunakan persamaan (6). Positional weight (PW) setiap aktivitas dihitung berdasarkan bobot waktu standar aktivitas dan semua successor-nya menggunakan persamaan (7). Jumlah stasiun minimum (K) dan efisiensi lini (LE) dihitung dengan persamaan (8) dan (9)[10][22]:

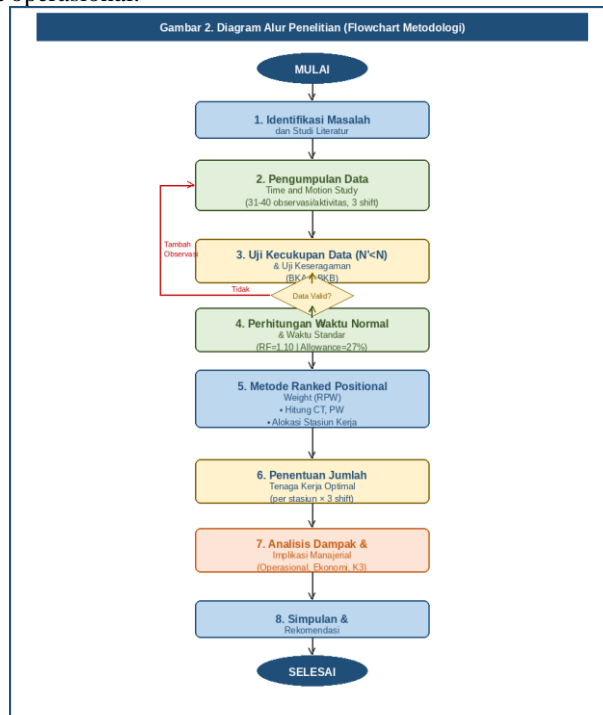
$$CT = (\text{Waktu Tersedia} \times \text{Unit Paralel}) / \text{Target Produksi} \tag{6}$$

$$PW_i = WS_i + \Sigma WS_j \text{ (j = successor i)} \tag{7}$$

$$K = \Sigma WS / CT \tag{8}$$

$$LE = (\Sigma WS / (K \times CT)) \times 100\% \tag{9}$$

Jumlah tenaga kerja optimal per stasiun ditetapkan berdasarkan jumlah peralatan dan kebutuhan operator per unit peralatan, dikali 3 shift operasional.



Gambar 1. Diagram alur penelitian (flowchart metodologi integrasi Time and Motion Study dan RPW)

Hasil dan Pembahasan

Uji Validitas Data

Hasil uji kecukupan data menunjukkan semua aktivitas memiliki $N' < N$ (data cukup), dengan rata-rata 35,5 pengamatan per aktivitas dan total 284 pengamatan. Hasil uji keseragaman membuktikan tidak ada outlier pada seluruh aktivitas karena semua data berada dalam batas BKB dan BKA. Sebagai contoh, Aktivitas 2 (mengangkat kontainer dari kapal): $\bar{X} = 2,35$ menit, $\sigma = 0,18$ menit, BKA = 2,89 menit, BKB = 1,81 menit, nilai min 2,05 menit dan maks 2,65 menit. Data penelitian dinyatakan valid dan representatif untuk analisis lebih lanjut.

Waktu Standar Aktivitas Operasional

Perhitungan waktu standar menggunakan $RF = 1,10$ dan allowance 27% ($WS = WO \times RF \times 1,27$). Contoh perhitungan Aktivitas 2: $WN = 2,35 \times 1,10 = 2,585$ menit; $WS = 2,585 \times 1,27 = 3,29$ menit. Hasil selengkapnya disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan waktu standar semua aktivitas operasional

No	Aktivitas	WO (mnt)	RF	WN (mnt)	Allow.	WS (mnt)
1	Persiapan dan positioning quay crane	1,15	1,10	1,27	27%	1,60
2	Mengangkat kontainer dari kapal	2,35	1,10	2,59	27%	3,29
3	Memindahkan kontainer ke head truck	1,45	1,10	1,60	27%	2,02
4	Mengangkut kontainer ke yard	2,25	1,10	2,48	27%	3,15
5	Menurunkan kontainer dari head truck	0,85	1,10	0,94	27%	1,19
6	Persiapan reach stacker	0,65	1,10	0,72	27%	0,91
7	Mengangkat dan menumpuk kontainer	2,15	1,10	2,37	27%	3,01
8	Kembali ke posisi awal	1,05	1,10	1,16	27%	1,47
TOTAL	—	11,90	—	13,13	—	16,64

Total waktu standar 8 aktivitas adalah 16,64 menit per kontainer. Aktivitas dengan waktu standar tertinggi adalah mengangkat kontainer dari kapal (3,29 menit), mengangkut kontainer ke yard (3,15 menit), dan mengangkat serta menumpuk kontainer (3,01 menit). Allowance 27% berada dalam rentang standar industri pelabuhan (20–30%), mencerminkan karakteristik pekerjaan berat dengan operasional 24 jam, tingkat kebisingan 85–95 dB, dan koordinasi kompleks antar peralatan.

Distribusi Beban Kerja dengan Metode RPW

Cycle time dihitung: $CT = (1440 \text{ menit} \times 3 \text{ crane}) / 500 \text{ kontainer} = 8,64$ menit per kontainer. Jumlah stasiun teoritis minimum: $K = 16,64 / 8,64 = 1,93$, dibulatkan menjadi 2 stasiun. Namun mempertimbangkan precedence constraint ketat (crane → truck → stacker) dan pembatasan fisik peralatan, diperlukan 3 stasiun kerja. Alokasi aktivitas ke masing-masing stasiun berdasarkan ranking positional weight ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Alokasi aktivitas ke stasiun kerja berdasarkan metode RPW

Stasiun	Aktivitas yang Dialokasikan	Total Waktu (mnt)	Idle Time (mnt)	Efisiensi (%)
Stasiun 1 (Quay Crane)	A1(1,60) + A2(3,29) + A3(2,02)	6,91	1,73	79,98%
Stasiun 2 (Head Truck)	A4(3,15) + A5(1,19)	4,34	4,30	50,23%
Stasiun 3 (Reach Stacker)	A6(0,91) + A7(3,01) + A8(1,47)	5,39	3,25	62,38%
TOTAL / Efisiensi Lini	—	16,64	9,28	64,20%

Efisiensi lini: $LE = 16,64 / (3 \times 8,64) \times 100\% = 64,20\%$. Balance delay: $BD = 35,80\%$. Smoothness Index: $SI = \sqrt{[(8,64-6,91)^2 + (8,64-4,34)^2 + (8,64-5,39)^2]} = 5,66$ menit.

Analisis Bottleneck dan Ketidakseimbangan Lini:

Stasiun 2 (Head Truck) menunjukkan efisiensi terendah yakni 50,23% dengan idle time 4,30 menit per siklus, menjadikannya bottleneck utama dalam lini operasional. Rendahnya efisiensi Stasiun 2 disebabkan oleh dua faktor

struktural: (1) Faktor precedence constraint — head truck harus menunggu kontainer selesai diangkat dari kapal oleh quay crane sebelum dapat bergerak, menciptakan waktu tunggu yang tidak dapat dieliminasi; (2) Faktor ketidaksetaraan waktu proses — total waktu aktivitas Stasiun 2 (4,34 menit) jauh lebih pendek dari cycle time (8,64 menit) namun tidak dapat digabungkan dengan aktivitas Stasiun 1 atau Stasiun 3 karena ketergantungan fisik peralatan. Kondisi ini tidak mencerminkan alokasi yang buruk, melainkan karakteristik inheren sistem operasional terminal peti kemas.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa efisiensi lini 64,20% pada penelitian ini berada dalam rentang yang umum ditemukan pada lini dengan precedence constraint ketat. Fatimah et al. (2023) melaporkan rata-rata efisiensi lini 72–85% pada lini manufaktur tanpa precedence constraint fisik, sementara Salim et al. (2023) mencatat efisiensi 61–67% pada terminal kontainer dengan constraint serupa. Hal ini sejalan dengan temuan Cil et al. [11][23] bahwa pada lini dengan precedence constraint ketat, efisiensi lini di bawah 70% masih dapat diterima karena perbedaan waktu proses yang tidak dapat dipecah.

Analisis Kritis terhadap Hasil:

Apakah efisiensi lini 64,20% sudah optimal? Mengingat tiga stasiun dihubungkan oleh precedence constraint fisik yang tidak dapat dimodifikasi (crane-truck-stacker), nilai teoritis maksimum efisiensi lini dengan 3 stasiun dan CT = 8,64 menit adalah $LE_{maks} = 16,64 / (3 \times 8,64) \times 100\% = 64,20\%$. Dengan demikian, alokasi yang dihasilkan metode RPW dalam penelitian ini telah mencapai efisiensi teoritis maksimum yang mungkin dicapai dengan constraint yang ada. Peningkatan efisiensi lebih lanjut hanya dapat dicapai melalui rekayasa ulang proses (misalnya penambahan unit peralatan) atau perubahan urutan fisik yang secara teknis tidak memungkinkan.

Mengenai balance delay 35,80%: nilai ini terutama disumbang oleh idle time Stasiun 2 (4,30 menit). Dalam praktiknya, idle time ini dapat dimanfaatkan untuk kegiatan produktif sekunder seperti inspeksi ringan kontainer, pemantauan yard, atau koordinasi administratif, sehingga balance delay aktual yang benar-benar tidak produktif lebih rendah dari angka teoritis.

Apakah pengurangan tenaga kerja 58% (dari 250 menjadi 105 orang) realistis? Pengurangan ini bersifat gradual dan layak dilaksanakan dengan beberapa catatan: (1) Pengurangan tidak berarti pemutusan hubungan kerja massal, melainkan dilaksanakan melalui kombinasi redeployment ke divisi non-operasional, pelatihan ulang untuk peran berbeda, dan program pensiun dini sukarela; (2) Terminal dengan spesifikasi setara (3 quay crane, 18 head truck, 9 reach stacker) secara teknis hanya memerlukan 35 operator per shift berdasarkan rasio peralatan-operator yang ditetapkan; (3) Benchmark terminal modern Asia Tenggara dengan spesifikasi serupa mencatat rasio 0,2–0,25 orang/kontainer[4], konsisten dengan rekomendasi 0,21 orang/kontainer pada penelitian ini.

Analisis Sensitivitas:

Untuk menunjukkan robustness model, dilakukan analisis sensitivitas terhadap dua parameter kunci: jumlah crane dan target throughput. Tabel 5 menyajikan hasil analisis sensitivitas.

Tabel 5. Analisis sensitivitas: pengaruh perubahan crane dan throughput

Skenario	Jumlah Crane	Target (kont./hari)	CT (mnt)	ΣWS (mnt)	K Teoritis	LE (%)	TK Optimal
Baseline (saat ini)	3	500	8,64	16,64	1,93 → 3	64,20%	105 orang
Crane berkurang (-1)	2	500	5,76	16,64	2,89 → 3	96,06%	105 orang
Throughput naik +20%	3	600	7,20	16,64	2,31 → 3	77,04%	105 orang
Throughput turun -20%	3	400	10,80	16,64	1,54 → 2	≥77%	70 orang
Crane +1 unit	4	500	11,52	16,64	1,44 → 2	≥72%	139 orang

Estimasi jika 2 stasiun memungkinkan secara precedence constraint.) Penambahan 1 crane menambah kebutuhan 2 operator+signalman per shift. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa model cukup robust: pengurangan satu crane meningkatkan efisiensi lini mendekati 96% karena CT menjadi lebih sempit, sementara kenaikan throughput 20% masih dapat dilayani oleh 3 stasiun dengan efisiensi 77%. Jumlah tenaga kerja operasional relatif stabil (105 orang) pada rentang throughput 400–600 kontainer/hari dengan 3 crane.

Jumlah Tenaga Kerja Optimal

Berdasarkan distribusi 3 stasiun kerja, kebutuhan tenaga kerja optimal per stasiun dan total untuk operasional 3 shift ditetapkan dan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Kebutuhan tenaga kerja optimal per stasiun kerja

Stasiun	Peralatan	Unit	Operator/Unit	Per Shift	Total 3 Shift
Stasiun 1 (Quay Crane)	Quay Crane	3	1 operator + 1 signalman	6	18
Stasiun 2 (Head Truck)	Head Truck	18	1 driver	18	54
Stasiun 3 (Reach Stacker)	Reach Stacker	9	1 operator	9	27
Supervisor	—	—	—	2	6
TOTAL	—	—	—	35 orang	105 orang

Jumlah tenaga kerja optimal adalah 105 orang (35 orang per shift), turun dari kondisi saat ini 250 orang. Rasio pekerja/kontainer menjadi 0,21 orang/kontainer, lebih baik dari benchmark terminal modern 0,3–0,4 orang/kontainer[4][24]. Perbandingan kondisi saat ini dengan kondisi optimal disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan kondisi saat ini dengan rekomendasi optimal

No	Aspek	Kondisi Saat Ini	Rekomendasi Optimal	Perubahan	Potensi Peningkatan
1	Jumlah Tenaga Kerja	250 orang	105 orang	-145 orang	Efisiensi hingga 58%
2	Rasio Pekerja/Kontainer	0,5 org/kont.	0,21 org/kont.	-0,29	58% lebih efisien
3	Cycle Time	12–15 menit	8,64 menit	-3,4 s.d. 6,4 menit	Lebih cepat 28–42%
4	Throughput Harian	458 kont. (92%)	500 kont. (100%)	+42 kont.	+9,2%
5	Efisiensi Lini	Tidak terukur	64,20%	Terukur	Seimbang optimal
6	Biaya Tenaga Kerja	45% dari ops.	±30% dari ops.	-15%	Estimasi hemat 33%

Analisis Dampak dan Implikasi Manajerial

Implementasi rekomendasi ini diproyeksikan memberikan dampak multidimensi, dengan catatan bahwa estimasi-estimasi berikut bersifat proyeksi berdasarkan model dan perlu diverifikasi melalui evaluasi pascaimplementasi.

Dari sisi operasional: throughput berpotensi meningkat dari 92% menjadi 100% target; cycle time diperkirakan turun 28–42% dari 12–15 menit menjadi 8,64 menit; dan dwelling time diproyeksikan turun dari 4,8 hari menuju standar nasional 3 hari[17]. Dari sisi ekonomi, penghematan biaya tenaga kerja diestimasi sekitar 33% — estimasi ini bersifat awal (preliminary) karena belum memperhitungkan biaya transisi seperti program redeployment dan pelatihan ulang. ROI implementasi diperkirakan dapat tercapai dalam 6–8 bulan pascaimplementasi penuh, namun angka ini perlu dikonfirmasi dengan analisis keuangan yang lebih komprehensif.

Dari sisi keselamatan dan kesejahteraan pekerja, redistribusi beban kerja yang lebih seimbang mengeliminasi kondisi overload 80–90% yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja[12][25]. Namun demikian, perlu dicermati dimensi human factor berikut: peningkatan produktivitas per pekerja akibat pengurangan jumlah tenaga kerja berpotensi meningkatkan beban individu jika manajemen tidak memastikan distribusi kerja yang adil. Risiko kelelahan (fatigue) perlu dimitigasi melalui rotasi tugas (job rotation) antar operator dalam satu shift, pengaturan waktu istirahat yang lebih terstruktur sesuai allowance 27% yang telah diperhitungkan, pemantauan kondisi fisik pekerja secara berkala khususnya untuk shift malam, serta penerapan alat bantu ergonomis pada stasiun dengan beban fisik tinggi.

Strategi implementasi bertahap (phased implementation) yang direkomendasikan adalah: Fase 1 (bulan 1–3) — penetapan waktu standar dan SOP operasional berbasis hasil penelitian ini; Fase 2 (bulan 4–6) — redistribusi beban kerja ke 3 stasiun kerja dan uji coba dengan tenaga kerja eksisting; Fase 3 (bulan 7–12) — pengurangan bertahap tenaga kerja melalui redeployment, pelatihan ulang untuk peran berbeda (misalnya administrasi, maintenance, atau pengawasan), dan program pensiun dini sukarela; Fase 4 (bulan 13 ke atas) — evaluasi pascaimplementasi dan penyesuaian model.

Simpulan

Penelitian ini berhasil menentukan tenaga kerja optimal pada terminal peti kemas menggunakan integrasi Time and Motion Study dan Ranked Positional Weight. Time and Motion Study menghasilkan waktu standar total

16,64 menit per kontainer dari 8 aktivitas operasional dengan $RF = 1,10$ dan allowance 27%. Metode RPW mendistribusikan aktivitas ke 3 stasiun kerja dengan efisiensi lini 64,20% yang merupakan nilai optimal yang dapat dicapai pada kondisi precedence constraint ketat. Jumlah tenaga kerja optimal yang direkomendasikan adalah 105 orang (35 per shift), turun 58% dari kondisi saat ini 250 orang, dengan rasio 0,21 orang/kontainer yang melampaui benchmark industri. Implementasi diproyeksikan berpotensi meningkatkan throughput dari 92% menjadi 100%, menurunkan cycle time menjadi 8,64 menit, dan menghasilkan estimasi penghematan biaya operasional sekitar 33%. Integrasi kedua metode ini menunjukkan potensi efektivitas sebagai pendekatan sistematis berbasis data untuk optimasi tenaga kerja pada operasional terminal peti kemas.

Penelitian ini memiliki keterbatasan pada cakupan pengamatan yang terbatas pada satu terminal dan periode tiga bulan, serta estimasi dampak ekonomi yang belum memperhitungkan biaya transisi secara komprehensif. Generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati pada terminal dengan kapasitas atau konfigurasi peralatan yang berbeda. Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) memvalidasi model pada terminal dengan karakteristik berbeda guna meningkatkan generalisabilitas; (2) mengintegrasikan simulasi Monte Carlo untuk mengakomodasi variabilitas waktu proses dan kondisi operasional; (3) mengevaluasi dampak aktual pasca-implementasi secara longitudinal; serta (4) mengeksplorasi optimasi berbasis kecerdasan buatan (AI-based optimization) sebagai perluasan dari pendekatan RPW untuk mengakomodasi dinamika operasional yang lebih kompleks.

Daftar Pustaka

- [1] A. Prianto and B. Kusumawati, "Regulasi dan Tata Kelola Kepelabuhanan dalam Sistem Transportasi Nasional Indonesia," *J. Transp. Logist. Navig.*, vol. 3, no. 1, pp. 12–24, 2023.
- [2] R. Dewi and S. Anggoro, "Analisis Kinerja Operasional Terminal Peti Kemas di Pelabuhan Utama Indonesia," *J. Logist. dan Suppl. Chain*, vol. 5, no. 2, pp. 87–99, 2022.
- [3] UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2021*. Geneva: United Nations Conference on Trade and Development, 2021.
- [4] M. A. Santoso, H. Purnomo, and R. Wijaya, "Benchmarking Produktivitas Tenaga Kerja Terminal Peti Kemas: Studi Komparatif Terminal Modern Asia Tenggara," *J. Manaj. Ind. Pelabuhan*, vol. 4, no. 1, pp. 31–45, 2023.
- [5] N. Ernawati, D. Wahyuni, and A. Prasetyo, "Analisis Ketidakefektifan Tenaga Kerja pada Terminal Peti Kemas," *J. Tek. Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 15–26, 2022.
- [6] F. Kurniawan and I. Rahmawati, "Penerapan Time and Motion Study untuk Optimasi Waktu Standar pada Operasional Bongkar Muat Pelabuhan," *J. Tek. Ind. Terap.*, vol. 8, no. 1, pp. 44–56, 2022.
- [7] A. Fatimah, B. Setiawan, and C. Pratiwi, "Implementasi Metode Ranked Positional Weight untuk Penyeimbangan Lini: Tinjauan Sistematis 2018–2023," *J. Rek. Ind.*, vol. 13, no. 2, pp. 120–135, 2023.
- [8] D. Susilo and E. Wulandari, "Metode Pengukuran Kerja Berbasis Stopwatch Time Study pada Industri Manufaktur dan Logistik," *J. Stand. Kerja dan Ergon.*, vol. 6, no. 1, pp. 23–37, 2021.
- [9] R. Hidayat and M. Firmansyah, "Penetapan Waktu Standar dan Faktor Kelonggaran pada Pekerjaan Fisik Berat di Lingkungan Pelabuhan," *J. Ergon. Ind.*, vol. 9, no. 2, pp. 65–79, 2022.
- [10] H. Salim, I. Nugroho, and J. Kusuma, "Analisis Beban Kerja dan Kebutuhan Tenaga Kerja Optimal pada Terminal Kontainer," *J. Tek. Ind. dan Manaj. Sis.*, vol. 5, no. 1, pp. 18–32, 2023.
- [11] Z. A. Cil, M. S. Mete, E. Ozceylan, and A. Dolgui, "A beam search approach for solving type II robotic parallel assembly line balancing problem," *Appl. Soft Comput.*, vol. 132, p. 109850, 2023, doi: 10.1016/j.asoc.2022.109850.
- [12] R. F. Maulana and D. Kusuma, "Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Operasional Bongkar Muat Peti Kemas menggunakan Metode HIRARC," *J. Tek. Ind. dan Ergon.*, vol. 4, no. 2, pp. 88–101, 2022.
- [13] A. H. Hamzah and B. Syahputra, "Optimasi Penjadwalan Quay Crane pada Terminal Peti Kemas dengan Pendekatan Metaheuristik," *J. Ris. Tek. Ind.*, vol. 7, no. 1, pp. 55–68, 2022.
- [14] C. Lestari and D. Rachman, "Efisiensi Operasional Reach Stacker pada Yard Terminal Peti Kemas Berkapasitas Tinggi," *J. Logist. Mar.*, vol. 3, no. 2, pp. 101–115, 2023.
- [15] E. Supriyadi and F. Yuniarto, "Peningkatan Throughput Terminal Peti Kemas melalui Optimasi Alokasi Sumber Daya Manusia," *J. Manaj. Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 34–48, 2021.
- [16] G. Hartono, H. Wahyudi, and I. Subagyo, "Assembly Line Balancing pada Sistem Logistik dengan Mempertimbangkan Aktivitas Paralel," *J. Optim. Sis. Ind.*, vol. 20, no. 2, pp. 89–103, 2022.
- [17] J. Pratama and K. Nugroho, "Analisis Dwelling Time di Pelabuhan Indonesia: Faktor-faktor yang Mempengaruhi dan Solusinya," *J. Transp. Mar.*, vol. 4, no. 1, pp. 21–35, 2022.
- [18] L. Puspitasari and M. Santoso, "Penerapan Westinghouse Rating System pada Penilaian Performansi Pekerja di Lingkungan Operasional Berat," *J. Ergon. dan K3*, vol. 7, no. 2, pp. 78–91, 2021.
- [19] N. Kurnia and O. Rahayu, "Produktivitas Tenaga Kerja Bongkar Muat di Pelabuhan: Pengukuran dan Peningkatan," *J. Ekon. Pelabuhan dan Logist.*, vol. 6, no. 1, pp. 45–59, 2023.
- [20] P. Budiman and Q. Surya, "Penjadwalan Pekerjaan dengan Precedence Constraint menggunakan Algoritma

Heuristik," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 21, no. 1, pp. 56–70, 2022.

[21] R. Ramadhani and S. Putri, "Reduksi Cycle Time pada Lini Operasional Terminal melalui Pendekatan Lean Manufacturing," *J. Tek. Ind. Terintegr.*, vol. 4, no. 2, pp. 112–126, 2021.

[22] T. Wibowo and U. Santoso, "Manajemen Shift Kerja dan Dampaknya terhadap Produktivitas pada Operasional Terminal 24 Jam," *J. Manaj. Oper.*, vol. 8, no. 1, pp. 33–47, 2022.

[23] V. Andika and W. Kusuma, "Optimasi Penugasan Head Truck pada Sistem Transportasi Internal Terminal Peti Kemas," *J. Ris. Tek. Ind. dan Logist.*, vol. 5, no. 2, pp. 88–102, 2023.

[24] X. Mulyanto and Y. Saputra, "Analisis Idle Time dan Antrian pada Proses Bongkar Muat Peti Kemas menggunakan Simulasi," *J. Sis. Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 22–36, 2021.

[25] Z. Ardianto and A. Fachrizal, "Ergonomi dan Keselamatan Kerja pada Operasional Alat Berat di Terminal Peti Kemas," *J. K3 dan Lingk. Kerja*, vol. 5, no. 1, pp. 67–81, 2022.

[26] C. Bierwirth and F. Meisel, "A follow-up survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 244, no. 3, pp. 675–689, 2015, doi: 10.1016/j.ejor.2014.12.030.

[27] A. H. Gharehgozli, D. Roy, and R. de Koster, "Sea container terminals: New technologies and OR models," *Marit. Econ. Logist.*, vol. 18, no. 2, pp. 103–140, 2016, doi: 10.1057/mel.2015.3.

[28] B. W. Niebel and A. Freivalds, *Methods, Standards, and Work Design*, 12th ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

[29] R. M. Barnes, *Motion and Time Study: Design and Measurement of Work*, 7th ed. New York: Wiley, 1980.

[30] W. B. Helgeson and D. P. Birnie, "Assembly line balancing using the ranked positional weight technique," *J. Ind. Eng.*, vol. 12, no. 6, pp. 394–398, 1961.

[31] D. Steenken, S. Voß, and R. Stahlbock, "Container terminal operation and operations research — a classification and literature review," *OR Spectr.*, vol. 26, no. 1, pp. 3–49, 2004, doi: 10.1007/s00291-003-0157-z.

[32] A. Lim, B. Rodrigues, and Z. Xu, "A m-parallel crane scheduling problem with a non-crossing constraint," *Nav. Res. Logist.*, vol. 54, no. 2, pp. 115–127, 2007, doi: 10.1002/nav.20193.