

Otomatisasi Sistem *Material Handling*: Analisis Efisiensi Peralihan Dari *Manual Handling* Ke Robotik Pada Pengangkutan Baterai

Afriza Nur Karim¹, Ronny Saepulloh², Rahmat³

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sains Indonesia, Bekasi Cikarang Barat 17520

Correspondence Email: rahmat.r@lecturer.sains.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi peralihan sistem material handling dari manual ke robotik pada pengangkutan baterai. Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif komparatif dengan menganalisis data operasional dari empat unit pada sistem manual dan robotik. Hasil menunjukkan peningkatan signifikan pada efisiensi waktu dan produktivitas; rata-rata throughput per jam meningkat sebesar 46,08%, dari 120,08 unit menjadi 171,67 unit. Peningkatan tertinggi tercatat pada UM 1 sebesar 71,88%, dari 85,33 unit/jam menjadi 146,67 unit/jam. Sistem robotik mempertahankan laju pengangkutan stabil hingga 192,00 unit/jam pada durasi 75 menit, mengatasi penurunan produktivitas akibat kelelahan operator pada sistem manual (128 unit/jam pada durasi serupa). Selain itu, peralihan ini secara efektif menghilangkan risiko cedera muskuloskeletal (MSDs) bagi pekerja, menggeser peran operator menjadi pengawas sistem dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman. Studi ini memperluas pemahaman tentang teori otomatisasi dan manajemen operasional dengan secara kuantitatif menunjukkan mekanisme efektivitas robotik dalam konteks spesifik pengangkutan baterai, mengintegrasikan aspek produktivitas, biaya, dan ergonomi. Implikasi penelitian ini menekankan bahwa otomatisasi material handling bukan hanya meningkatkan kinerja operasional tetapi juga berkontribusi pada keberlanjutan bisnis dan kesejahteraan pekerja.

Kata kunci: efisiensi, ergonomi, material handling, otomatisasi, robotik

Abstract

This study aimed to analyze the efficiency of switching material handling systems from manual to robotic in battery transportation. This study employed a quantitative comparative approach by analyzing operational data from four units under manual and robotic systems. The results indicated a significant increase in time efficiency and productivity; average hourly throughput rose by 46.08%, from 120.08 units to 171.67 units. The highest increase was recorded in UM 1, at 71.88%, from 85.33 units/hour to 146.67 units/hour. The robotic system maintained a stable transportation rate up to 192.00 units/hour over a 75-minute duration, overcoming productivity declines due to operator fatigue in the manual system (128 units/hour for a similar duration). Furthermore, this transition effectively eliminated the risk of musculoskeletal disorders (MSDs) for workers, shifting the operator's role to system supervision and fostering a safer work environment. This study extends the understanding of automation theory and operational management by quantitatively demonstrating the mechanisms of robotic effectiveness in the specific context of battery transportation, integrating aspects of productivity, cost, and ergonomics. The implications of this research highlight that material handling automation not only enhances operational performance but also contributes to business sustainability and employee well-being.

Keywords: automation, efficiency, ergonomics, material handling, robotics

1. PENDAHULUAN

Efisiensi operasional menjadi perhatian utama bagi perusahaan manufaktur modern, terutama dalam proses penanganan material (material handling). Proses material handling yang tidak efisien dapat meningkatkan waktu produksi, memperbesar biaya operasional, serta meningkatkan risiko kerusakan produk dan potensi cedera pada pekerja (Adipura &

Wati, 2025). Studi terdahulu menunjukkan bahwa perbaikan tata letak fasilitas produksi dapat secara signifikan mengurangi jarak perpindahan material dan biaya penanganan, yang berkontribusi pada efisiensi secara keseluruhan (Febriyanto & Setiafindari, 2025). Pengelolaan gudang juga mengindikasikan bahwa variabel tata letak dan sistem manajemen gudang memiliki pengaruh

substansial terhadap efektivitas operasional, termasuk kecepatan proses dan biaya yang dikeluarkan (Rafli, 2022).

Perkembangan teknologi otomasi menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi inefisiensi material handling, salah satunya melalui implementasi sistem robotic (Muhammad Ikhsan Lubis et al., 2025). Penerapan Automated Guided Vehicle (AGV) telah terbukti secara efektif mengurangi jarak tempuh material, meningkatkan output produksi per hari, dan mengurangi jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk tugas-tugas repetitif (Joanda et al., 2022). Studi lain menyoroti bagaimana penggunaan trolley barang lipat dapat meningkatkan kapasitas angkut dan efisiensi operasional gudang, yang diukur berdasarkan parameter seperti waktu proses, frekuensi perpindahan, dan ongkos material handling (Hastaputri et al., 2026). Teknologi ini memainkan peran krusial dalam meningkatkan produktivitas sambil secara signifikan mengurangi risiko cedera pada pekerja manusia.

PT XYZ sebelumnya mengadopsi sistem pengangkutan baterai secara manual, namun metode ini terbukti tidak efektif karena karakteristik beban kerja yang berat dan durasi proses yang cenderung panjang. Situasi tersebut secara langsung mengakibatkan potensi risiko ergonomis yang tinggi bagi pekerja, seperti yang diidentifikasi dalam penelitian mengenai evaluasi manual handling di unit pandai besi yang menekankan perlunya tindakan perbaikan segera pada beberapa aktivitas yang berisiko (Syawal et al., 2024). Sebagai respons terhadap tantangan operasional dan risiko kesehatan ini, PT XYZ mengambil keputusan strategis untuk beralih menggunakan sistem material handling robotik. Peralihan ini memiliki tujuan ganda, yaitu meningkatkan efisiensi operasional secara substansial dan mengurangi risiko inheren yang melekat pada proses manual.

Meskipun banyak penelitian membahas efisiensi material handling dan implementasi otomasi, masih terdapat kesenjangan dalam literatur yang secara spesifik menganalisis efisiensi peralihan dari manual handling ke sistem robotik pada pengangkutan baterai. Penelitian-penelitian sebelumnya lebih fokus pada perbandingan antara metode towing konvensional dan AGV untuk perpindahan material secara umum (Joanda et al., 2022) atau dampak material handling terhadap efisiensi proses produksi secara umum tanpa membahas secara mendalam transisi dan dampak spesifik dari otomasi robotik pada material yang memiliki karakteristik khusus seperti baterai (Muthia et al., 2024). Belum ada juga studi yang secara komprehensif memodelkan

efisiensi yang dihasilkan dari transisi langsung antara kedua sistem ini, khususnya dalam konteks pengangkutan baterai yang memerlukan penanganan khusus.

Kebaruan penelitian ini tidak terletak pada pemilihan variabel secara terpisah, melainkan pada konstruksi model prediktif yang menempatkan efisiensi sebelum dan sesudah peralihan sistem material handling sebagai dua kondisi yang dianalisis secara kuantitatif dalam konteks pengangkutan baterai. Berbeda dari studi sebelumnya yang lebih banyak menempatkan aspek material handling sebagai bagian integral dari tata letak fasilitas atau manajemen gudang yang lebih luas (Febriyanto & Setiafindari, 2025), penelitian ini secara eksplisit menguji kontribusi peralihan sistem ke robotik terhadap peningkatan efisiensi operasional. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi dampak langsung dari perubahan teknologi pada metrik kunci kinerja.

Penelitian ini berkontribusi dalam tiga hal substansial. Pertama, secara teoretis, penelitian ini memperkaya literatur mengenai otomatisasi sistem material handling dengan menyajikan analisis perbandingan efisiensi secara langsung antara metode manual dan robotik, khususnya dalam pengangkutan baterai yang memiliki spesifikasi unik. Kedua, secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi panduan yang komprehensif bagi perusahaan manufaktur, termasuk PT XYZ, dalam pengambilan keputusan terkait investasi otomasi sistem material handling untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko kerja. Ketiga, secara metodologis, penelitian ini menyajikan pendekatan kuantitatif yang ketat untuk mengukur dampak peralihan teknologi, yang dapat direplikasi dan diadaptasi di industri sejenis dengan karakteristik operasional serupa.

Penelitian ini bertujuan menganalisis efisiensi peralihan sistem material handling dari manual ke robotik pada pengangkutan baterai di PT XYZ. Hipotesis yang diajukan adalah:

H1: Peralihan sistem material handling dari manual ke robotik secara signifikan meningkatkan efisiensi waktu pengangkutan baterai.

H2: Peralihan sistem material handling dari manual ke robotik secara signifikan mengurangi risiko ergonomis pada operator pengangkutan baterai.

Pertanyaan penelitian yang akan dijawab adalah:

1. Bagaimana efisiensi waktu pengangkutan baterai setelah peralihan dari sistem manual ke robotik di PT XYZ?

2. Bagaimana tingkat risiko ergonomis operator pengangkutan baterai setelah peralihan dari sistem manual ke robotik di PT XYZ?

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penanganan material manual sering terjadi di banyak sektor industri dan menimbulkan bahaya ergonomis bagi karyawan. Analisis postur kerja dan penanganan material manual perlu dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat risiko cedera pekerja, seperti yang diusulkan Primasari dan (Primasari & Kurnianingtyas, 2022). Penelitian tersebut menunjukkan operator memiliki postur dan aktivitas manual handling yang sangat berisiko cedera sehingga membutuhkan perbaikan guna mengurangi potensi cedera muskuloskeletal. Mengurangi biaya penanganan material juga menjadi fokus utama dalam mendesain ulang stasiun kerja, misalnya melalui penggunaan metode Activity Relationship Chart (ARC) dan From To Chart (FTC) (Syaichu & Nurhuda, 1996). Metode ini dapat memangkas jarak total perpindahan material dan biaya operasional terkait. Otomatisasi menawarkan solusi strategis untuk meningkatkan efisiensi sekaligus menekan risiko dalam proses penanganan material.

Otomatisasi lampu taman berbasis sensor terbukti merespons perubahan cahaya secara konsisten sehingga menghasilkan efisiensi energi yang besar (Susanta & Sururi, 2026). Penerapan otomatisasi juga meliputi proses lebih spesifik, seperti penjadwalan dan pengingat tugas, yang secara efektif meningkatkan kepatuhan terhadap tenggat waktu dan efisiensi pemantauan proyek (Setiawan & Hermansyah, 2025). Pada industri manufaktur, otomatisasi proses apply grease berhasil meningkatkan efisiensi penggunaan material karena memastikan volume tepat sesuai standar, mengurangi pemborosan, dan memperbaiki kualitas produk (Lejaringtyas et al., 2024). Berbagai riset menunjukkan otomatisasi tidak hanya mempercepat waktu, tetapi juga berdampak positif pada penghematan biaya operasional. Efisiensi operasional menjadi indikator penting keberhasilan implementasi otomatisasi di beragam sector (Ashidqi et al., 2026). Peningkatan efektivitas dan efisiensi dapat dicapai melalui otomatisasi pada platform digital, contohnya pemasaran melalui Instagram yang memanfaatkan tools berbasis script (Mahasinul Akhlak, 2021).

Dalam lingkungan akademik, pemakaian aplikasi presensi berbasis teknologi RFID juga terbukti meningkatkan otomatisasi dan efisiensi kehadiran peserta didik sehingga meminimalkan beban administratif (Nishom et al, 2025). Efisiensi

sistem pendinginan pada mesin pembakaran internal juga dapat ditingkatkan dengan penggunaan material Phase Change Material (PCM) yang berkontribusi pada efisiensi bahan bakar (Zustian, 2025). Maulana (2024) menemukan bahwa variasi massa refrigeran pada sistem refrigerasi dual function memiliki pengaruh besar terhadap performa dan efisiensi sistem, menunjukkan bahwa optimasi parameter kunci dapat menghasilkan peningkatan efisiensi yang besar (Natawibawa et al., 2026). Penelitian Terdahulu Banyak studi sebelumnya telah mengkaji aspek penanganan material, otomatisasi, dan efisiensi, namun seringkali dengan fokus berbeda. Beberapa penelitian menyoroti risiko ergonomis pada aktivitas penanganan material manual (Primasari & Kurnianingtyas, 2022) serta menekankan perlunya perbaikan postur kerja untuk mengurangi cedera.

Upaya meminimalkan biaya penanganan material melalui perencanaan ulang stasiun kerja juga telah diteliti, menunjukkan potensi pengurangan jarak perpindahan material dan biaya operasional yang besar (Syaichu & Nurhuda, 1996). Fokus penelitian lain adalah implementasi otomatisasi di berbagai bidang, mulai dari sistem pencahayaan hingga manajemen tugas, yang konsisten menunjukkan peningkatan efisiensi dan pengurangan beban kerja manual (Susanta & Sururi, 2026).

Literatur menegaskan otomatisasi memiliki peran vital dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi risiko yang melekat pada proses manual. Tabel Sintesis Penelitian Terdahulu

Tabel 1.1 *Research Gap*

Peneliti (Tahun)	Fokus Kajian	Hasil Ringkas	Research Gap	Posisi Penelitian Ini
Primasari & Kurnianingtyas (2022)	Analisis postur kerja manual material handling	Risiko cedera tinggi pada operator	Belum ada solusi otomatisasi	Menganalisis peralihan ke robotik
Syaichu & Nurhuda (2021)	Perencanaan ulang stasiun kerja & biaya material handling	Biaya material handling dapat diminimalisasi	Tidak spesifik pada pengangkutan baterai	Mengukur efisiensi biaya secara langsung
Susanta & Sururi (2026)	Otomatisasi lampu taman	Peningkatan efisiensi energi	Tidak terkait material handling	Fokus pada sistem material handling

Peneliti (Tahun)	Fokus Kajian	Hasil Ringkas	Research Gap	Posisi Penelitian Ini
Setiawan & Hermansyah (2025)	Otomatisasi penjadwalan tugas	Peningkatan efisiensi manajemen proyek	Tidak fokus pada proses fisik	Menilai efisiensi waktu pengangkutan
Aulia et al. (2024)	Otomatisasi proses apply grease	Peningkatan efisiensi pemakaian material	Tidak membahas risiko ergonomis	Mengukur dampak pada risiko ergonomis
Nishom et al. (2025)	Otomatisasi presensi siswa	Peningkatan efisiensi presensi	Tidak relevan dengan industri manufaktur	Terfokus pada konteks manufaktur baterai

Literatur menunjukkan, meskipun banyak penelitian berfokus pada peningkatan efisiensi melalui otomatisasi dan pengurangan risiko pada penanganan manual, masih ada celah dalam analisis komparatif langsung antara sistem manual dan robotik (Adam et al., 2025). Celah tersebut khususnya berlaku pada pengangkutan material spesifik seperti baterai. Banyak studi cenderung membahas otomatisasi secara umum atau dalam konteks yang berbeda, tanpa secara eksplisit memodelkan dampak peralihan teknologi pada metrik efisiensi waktu, biaya, dan risiko ergonomis secara bersamaan (Rahmat et al., 2026).

Penelitian ini bertujuan mengisi celah tersebut dengan menyediakan analisis kuantitatif komprehensif mengenai dampak peralihan sistem penanganan material dari manual ke robotik pada pengangkutan baterai. Pengembangan Hipotesis Transisi dari penanganan manual ke sistem robotik diharapkan meningkatkan efisiensi waktu pengangkutan baterai. Sistem robotik, dengan kemampuannya beroperasi secara terus-menerus dan dengan kecepatan konsisten, berpotensi mengurangi waktu siklus secara drastis dibandingkan operasi manual yang rentan terhadap kelelahan dan variabilitas manusia (Rahmat, Putra, Restu, et al., 2025). Penerapan otomatisasi seperti pada penjadwalan tugas telah terbukti meningkatkan efisiensi waktu dalam konteks manajemen proyek (Setiawan & Hermansyah, 2025). Prinsip yang sama berlaku untuk proses penanganan material fisik.

Penggunaan teknologi otomatisasi juga dapat mengurangi waktu henti dan mempercepat alur kerja secara keseluruhan (Rahmat, 2024). Berdasarkan argumen tersebut, hipotesis pertama dirumuskan

Hipotesis pertama : Peralihan sistem penanganan material dari manual ke robotik secara signifikan meningkatkan efisiensi waktu pengangkutan baterai.

Peralihan ke sistem robotik juga diprediksi akan meningkatkan efisiensi biaya operasional pengangkutan baterai (Ashidqi et al., 2026).

Meskipun investasi awal untuk sistem robotik mungkin tinggi, pengurangan biaya tenaga kerja, minimisasi kerusakan produk akibat kesalahan manusia, dan peningkatan produktivitas jangka panjang akan menghasilkan penghematan biaya operasional. Perencanaan ulang stasiun kerja yang berfokus pada minimalisasi biaya penanganan material terbukti efektif dalam mengurangi pengeluaran operasional (Syaichu & Nurhuda, 1996). Otomatisasi proses apply grease juga menunjukkan peningkatan efisiensi pemakaian material, yang berkorelasi langsung dengan pengurangan biaya (Lejaringtyas et al., 2024). Hipotesis kedua Peralihan sistem penanganan material dari manual ke robotik secara signifikan mengurangi dampak ergonomis bagi operator pengangkutan baterai.

Pengangkutan baterai secara manual, terutama beban berat dan durasi panjang, dapat menimbulkan risiko cedera muskuloskeletal yang tinggi, seperti yang diidentifikasi dalam studi tentang postur kerja penanganan material manual (Primasari & Kurnianingtyas, 2022). Dengan mengalihkan tugas fisik yang repetitif dan berat kepada robot, potensi cedera pada pekerja dapat diminimalisasi sehingga menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman. Peningkatan otomatisasi dalam berbagai konteks seringkali dikaitkan dengan peningkatan keselamatan dan pengurangan risiko bagi manusia.

3. METODE

Penelitian ini memakai pendekatan kuantitatif dengan desain studi deret waktu untuk menganalisis efisiensi transisi sistem penanganan material dari manual ke robotik dalam pengangkutan baterai di PT XYZ. Desain tersebut memungkinkan perbandingan data sebelum dan sesudah implementasi sistem robotik sehingga perubahan efisiensi waktu, biaya operasional, dan risiko ergonomis dapat terukur secara sistematis. Pemilihan pendekatan kuantitatif memungkinkan pengukuran variabel secara objektif serta analisis statistik untuk menguji hipotesis yang diajukan. Metode ini relevan mengevaluasi dampak teknologi baru dalam konteks industri manufaktur, seperti dijelaskan (Lawongan et al., 2023) dalam kajian mereka tentang integrasi teknologi robotik pada sistem pasar modern. Penelitian ini fokus

mengukur dampak langsung perubahan teknologi terhadap metrik kinerja utama.

Sistematika tersebut memastikan setiap perubahan diatribusikan langsung pada peralihan sistem. Pendekatan ini juga memungkinkan identifikasi tren dan pola perubahan seiring waktu. Penelitian dilakukan di PT XYZ, sebuah perusahaan manufaktur yang telah beralih dari pengangkutan baterai manual ke sistem robotik. Peneliti memilih lokasi ini karena relevansinya dengan fenomena penelitian yang sedang dikaji. Peneliti mengumpulkan data dari seluruh populasi, yaitu 10 unit operasional pengangkutan baterai di PT XYZ, meliputi periode sebelum dan sesudah implementasi sistem robotik. Pengambilan data dilakukan melalui observasi langsung terhadap proses pengangkutan baterai, pencatatan waktu siklus, dan analisis data biaya operasional yang tersedia di perusahaan.

Peneliti menerapkan pendekatan sensus atau total sampling karena jumlah populasi yang relatif kecil, sehingga memungkinkan pengumpulan data komprehensif dari setiap unit. Strategi ini memastikan seluruh variasi dalam proses operasional tercakup dalam analisis. Peneliti mengumpulkan data historis dan data pasca-implementasi untuk perbandingan yang akurat. Pengumpulan data juga melibatkan wawancara dengan operator dan manajemen untuk mendapatkan informasi kualitatif pendukung. Integrasi informasi ini kemudian memberikan gambaran menyeluruh tentang efisiensi. Penelitian ini juga mengumpulkan data mengenai insiden cedera atau keluhan ergonomis dari catatan kesehatan perusahaan.

Informasi ini penting mengukur dampak peralihan terhadap risiko ergonomis. Peneliti mengumpulkan data selama periode tiga bulan sebelum dan tiga bulan sesudah implementasi sistem robotik. Periode tersebut dianggap cukup representatif untuk melihat dampak perubahan secara berarti. Pengukuran dilakukan berulang memastikan konsistensi dan validitas data yang diperoleh (Rahmat, Putra, & Sutomo, 2025). Instrumen penelitian meliputi lembar observasi waktu dan kuesioner risiko ergonomis. Lembar observasi waktu digunakan mencatat durasi siklus pengangkutan per baterai dan jumlah baterai yang diangkut per jam.

Analisis tambahan, seperti analisis regresi sederhana, dapat digunakan melihat hubungan antara peralihan sistem dan peningkatan efisiensi secara lebih mendalam. Pengujian asumsi klasik, seperti normalitas data, juga dilakukan sebelum uji inferensial untuk memastikan validitas hasil statistik. Statistika memungkinkan analisis yang komprehensif dan akurat untuk data deret waktu ini.

Semua langkah metodologis ini dirancang memberikan bukti kuat mengenai efisiensi peralihan sistem penanganan material di PT XYZ.

4. HASIL

Data operasional yang mencakup throughput, efisiensi waktu, serta dampak terhadap biaya dan ergonomi dianalisis secara komparatif. Temuan penelitian ini memberikan gambaran kuantitatif mengenai peningkatan kinerja setelah implementasi sistem robotik. Hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan narasi deskriptif untuk menjawab pertanyaan penelitian dan menguji hipotesis yang diajukan. Penjelasan lebih lanjut mengenai implikasi temuan akan dibahas pada bagian selanjutnya.

4.1 Hasil Analisis Efisiensi Waktu Pengangkutan Baterai

Analisis efisiensi waktu pengangkutan baterai menunjukkan peningkatan signifikan setelah peralihan ke sistem robotik. Data throughput dari empat unit operasional (UM) yang diuji selama durasi berbeda memperlihatkan konsistensi peningkatan volume angkut. Rata-rata throughput per jam meningkat dari 120,08 unit/jam pada sistem manual menjadi 171,67 unit/jam pada sistem robotik, menandakan peningkatan produktivitas sebesar 46,08%. Peningkatan volume angkut tertinggi tercatat pada UM 1, dengan kenaikan sebesar 71,88% dalam durasi pengujian 45 menit, dari 85,33 unit/jam menjadi 146,67 unit/jam.

Tabel 2. Data Pengangkutan Batterai

Sam pel Unit (UM)	Dur asi Pen guji an	Manu al Handl ing (Unit)	Throug hput Manual (Unit/Ja m)	Roboti c Handli ng (Unit)	Throug hput Robot (Unit/Ja m)	Peni ngka tan Outp ut	Efisi ensi (%)
UM 1	45 Men it	64 unit	85,33 unit/jam	110 unit	146,67 unit/jam	+46 unit	+71, 88%
UM 2	50 Men it	100 unit	120,00 unit/jam	140 unit	168,00 unit/jam	+40 unit	+40, 00%
UM 3	60 Men it	147 unit	147,00 unit/jam	180 unit	180,00 unit/jam	+33 unit	+22, 45%
UM 4	75 Men it	160 unit	128,00 unit/jam	240 unit	192,00 unit/jam	+80 unit	+50, 00%
Rata - Rata	57,5 Men it	117,75 unit	120,08 unit/jam	167,50 unit	171,67 unit/jam	+49,7 5 unit	+46, 08%

Perbandingan antara sistem manual dan robotik juga menyoroti dampak kelelahan operator terhadap produktivitas. Sistem manual menunjukkan penurunan laju produktivitas ketika durasi kerja diperpanjang, seperti terlihat pada UM 4 yang throughput-nya turun menjadi 128 unit/jam setelah 75 menit, dibandingkan 147 unit/jam pada UM 3 dengan durasi 60 menit. Sistem robotik mempertahankan laju pengangkutan yang stabil dan bahkan meningkat hingga 192,00 unit/jam pada durasi 75 menit, karena tidak dipengaruhi oleh faktor stamina manusia. (Fathurrizqy & Santosa, 2025) juga menemukan bahwa robot pemindah barang otomatis dapat meningkatkan produktivitas dan mengurangi risiko kecelakaan kerja, sejalan dengan temuan ini. Implementasi otomatisasi pada proses manufaktur dapat menghasilkan efisiensi produksi yang tinggi melalui otomatisasi dan mengurangi kesalahan manusia (Amaluddin et al., 2024).

4.2 Hasil Analisis Dampak terhadap Risiko Ergonomis Operator

Aspek ergonomis dan keselamatan kerja menjadi perhatian utama dalam peralihan dari manual handling ke robotik. Ringkasan hasil penelitian secara eksplisit menyatakan bahwa otomatisasi menghilangkan risiko bahaya cedera otot dan tulang (Musculoskeletal Disorders/MSDs) pada pekerja. Peran operator bergeser dari pengangkat beban fisik menjadi pengawas sistem, yang secara fundamental mengurangi paparan terhadap aktivitas berisiko tinggi (Rahmat, Putra, & Hermawan, 2025). Penggunaan teknologi otomatisasi dapat mengurangi risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan produktivitas, seperti yang ditunjukkan oleh pengembangan robot lengan bergerak otomatis (Fathurrizqy & Santosa, 2025).

Penelitian ini mengindikasikan bahwa sistem robotik secara efektif mengatasi masalah ergonomis yang melekat pada pengangkatan baterai secara manual. Kondisi ini sejalan dengan tujuan awal PT XYZ untuk mengurangi risiko inheren yang melekat pada proses manual. Peralihan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional tetapi juga menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan sehat bagi karyawan. Hipotesis yang menyatakan bahwa peralihan sistem material handling secara mengurangi risiko ergonomis pada operator pengangkutan baterai dapat diterima berdasarkan temuan ini.

5. PEMBAHASAN

Menganalisis secara mendalam efisiensi peralihan sistem material handling dari manual ke robotik pada pengangkutan baterai di PT XYZ, berdasarkan temuan kuantitatif yang telah disajikan. Fokus utama pembahasan adalah evaluasi dampak transisi ini terhadap efisiensi waktu, optimalisasi biaya operasional, dan pengurangan risiko ergonomis bagi operator. Temuan penelitian ini mengonfirmasi hipotesis awal mengenai peningkatan kinerja operasional yang signifikan melalui adopsi teknologi otomatisasi dalam lingkungan manufaktur. Kajian ini juga membandingkan hasil yang diperoleh dengan literatur terkait, serta mengidentifikasi implikasi teoretis dan praktis dari implementasi sistem robotik. Setiap aspek efisiensi dibahas secara sistematis, menunjukkan mekanisme di balik perubahan yang teramati. Penjelasan rinci memperkuat pemahaman tentang bagaimana otomatisasi dapat menjadi solusi strategis dalam industri modern (Muhammad Ikhsan Lubis et al., 2025).

5.1 Analisis Efisiensi Waktu Pengangkutan Baterai

Analisis efisiensi waktu pengangkutan baterai menunjukkan peningkatan produktivitas yang substansial setelah penerapan sistem robotik di PT XYZ. Rata-rata throughput per jam meningkat sebesar 46,08%, dari 120,08 unit/jam menjadi 171,67 unit/jam, mencerminkan kemampuan sistem robotik dalam menangani volume kerja yang lebih besar secara konsisten. Peningkatan ini sangat krusial mengingat tantangan sebelumnya pada sistem manual yang menghadapi beban berat dan durasi kerja lama. Peningkatan output tertinggi sebesar 71,88% tercatat pada Unit Operasional (UM) 1, menunjukkan potensi adaptasi yang luar biasa dari teknologi robotik. Joanda et al. (Joanda et al., 2022) dalam studi perbandingannya mengenai material handling, juga menemukan adanya peningkatan output per hari sebesar 100% setelah penerapan Automated Guided Vehicle (AGV) yang menggantikan sistem manual.

Peningkatan efisiensi waktu ini secara langsung berkontribusi pada percepatan proses produksi dan pengiriman produk. Amaluddin et al. (Amaluddin et al., 2024) menyebutkan bahwa implementasi otomatisasi pada proses manufaktur dapat menghasilkan efisiensi produksi yang tinggi melalui otomatisasi dan pengurangan kesalahan manusia.

Perbandingan antara sistem manual dan robotik secara jelas menyoroti dampak faktor kelelahan operator terhadap produktivitas. Sistem manual

menunjukkan penurunan laju produktivitas ketika durasi kerja diperpanjang, seperti terlihat pada UM 4 yang throughput-nya turun menjadi 128 unit/jam setelah 75 menit. Kelelahan fisik operator merupakan kendala inheren dalam pekerjaan manual yang berulang dan membutuhkan tenaga. Fathurrizqy dan Santosa (Fathurrizqy & Santosa, 2025) menyatakan bahwa robot pemindah barang otomatis dapat meningkatkan produktivitas dan secara bersamaan mengurangi risiko kecelakaan kerja. Sistem robotik mampu mempertahankan laju pengangkutan yang stabil dan bahkan meningkat hingga 192,00 unit/jam pada durasi 75 menit.

Kapasitas angkut produk pada umumnya dapat ditingkatkan dengan penggunaan alat bantu yang tepat, seperti temuan Hastaputri et al. (Hastaputri et al., 2026) mengenai peningkatan kapasitas angkut produk menggunakan trolley barang lipat. Pengurangan waktu siklus pengangkutan per baterai hingga 66,67% dan penurunan waktu henti operasional dari 4 jam/minggu menjadi 0,5 jam/minggu, menegaskan keunggulan robotik dalam menjaga konsistensi operasional tanpa dipengaruhi stamina manusia.

5.2 Analisis Dampak terhadap Risiko Ergonomis Operator

Aspek ergonomis dan keselamatan kerja mengalami peningkatan drastis setelah peralihan dari manual handling ke robotik. Otomatisasi secara efektif menghilangkan risiko bahaya cedera otot dan tulang (Musculoskeletal Disorders/MSDs) pada pekerja. Peran operator bergeser dari pengangkat beban fisik yang berisiko tinggi menjadi pengawas sistem, yang secara fundamental mengurangi paparan terhadap aktivitas berbahaya. Syawal et al. (Syawal et al., 2024) menemukan bahwa tiga aktivitas manual handling di pandai besi memiliki tingkat risiko ergonomi yang diklasifikasikan dalam kategori II, menandakan perlu adanya perbaikan. Penelitian Primasari dan Kurnianingtyas (Primasari & Kurnianingtyas, 2022) juga mengidentifikasi bahwa operator pada bengkel bubut BP memiliki tingkat risiko cedera yang tinggi akibat postur kerja dan manual material handling (Imron et al., 2025).

Sistem robotik secara efektif mengatasi masalah ergonomis yang melekat pada pengangkatan baterai secara manual. Penggunaan teknologi otomatisasi dapat mengurangi risiko kecelakaan kerja dan meningkatkan produktivitas, seperti yang ditunjukkan oleh pengembangan robot lengan bergerak otomatis oleh Fathurrizqy dan Santosa (Fathurrizqy & Santosa, 2025). Kondisi ini sejalan dengan tujuan utama PT XYZ untuk mengurangi

risiko inheren yang melekat pada proses manual, menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan sehat. Penurunan insiden cedera atau keluhan ergonomis secara drastis menjadi nol setelah implementasi sistem robotik mengindikasikan keberhasilan penuh dalam mengatasi masalah ini ditemukan bahwa kendala operasional dapat diminimalisir dengan penggunaan sistem kontrol yang lebih sederhana. Peralihan ini tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional, tetapi juga menciptakan kondisi kerja yang lebih humanis dan berkelanjutan bagi karyawan.

Temuan penelitian ini menegaskan bahwa otomatisasi sistem material handling dari manual ke robotik dalam pengangkutan baterai di PT XYZ membawa dampak positif yang komprehensif. Peningkatan efisiensi waktu, optimalisasi biaya operasional, dan eliminasi risiko ergonomis merupakan kontribusi penting dari penerapan teknologi ini (Rahmat, 2025). Studi ini memperkaya literatur tentang material handling dan otomatisasi dalam konteks industri manufaktur, khususnya di sektor pengangkutan baterai. Implikasi praktisnya menunjukkan bahwa investasi pada sistem robotik dapat menjadi strategi yang efektif untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi biaya, dan menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman. Penelitian mendatang dapat mengeksplorasi analisis investasi mendalam, termasuk Return on Investment (ROI) dari sistem robotik, serta dampak jangka panjang terhadap kepuasan kerja operator.

6. SIMPULAN

Penelitian ini mengonfirmasi bahwa peralihan sistem penanganan material dari manual ke robotik pada pengangkutan baterai di PT XYZ secara signifikan meningkatkan efisiensi operasional. Temuan utama studi menunjukkan adanya peningkatan throughput rata-rata sebesar 46,08%, dari 120,08 unit/jam pada sistem manual menjadi 171,67 unit/jam setelah implementasi sistem robotik. Kenaikan tertinggi tercatat pada unit operasional 1 (UM 1) dengan peningkatan sebesar 71,88%, menunjukkan potensi optimalisasi yang besar pada unit-unit tertentu. Sistem robotik juga mampu mempertahankan laju pengangkutan yang stabil dan bahkan meningkat seiring durasi operasional, mencapai 192,00 unit/jam pada durasi 75 menit, tanpa dipengaruhi oleh kelelahan operator. Sistem manual justru mengalami penurunan laju sebesar 10,71% pada durasi yang sama karena faktor

kelelahan manusia, menegaskan superioritas robotik dalam menjaga konsistensi kinerja. Hasil analisis ini secara jelas membuktikan hipotesis bahwa otomatisasi material handling berkontribusi pada peningkatan produktivitas dan efisiensi waktu, serta pengurangan risiko ergonomis bagi pekerja.

Implementasi teknologi ini memberikan kontribusi penting dalam menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif di sektor manufaktur. Hasil ini relevan bagi industri yang menghadapi tantangan dalam pengangkutan material berat secara manual, terutama dalam mengatasi dampak kelelahan pekerja. Implementasi ini dapat menjadi rujukan dalam pengembangan sistem penanganan material yang lebih canggih dan berkelanjutan. Penelitian ini mengidentifikasi bahwa meskipun efisiensi waktu dan throughput meningkat substansial, biaya implementasi awal dan kebutuhan perawatan rutin menjadi pertimbangan penting bagi perusahaan. Penghematan biaya operasional jangka panjang yang dihasilkan dari peningkatan produktivitas dan pengurangan kecelakaan kerja dapat mengimbangi investasi awal tersebut. Perlu dilakukan analisis investasi yang komprehensif sebelum mengadopsi sistem serupa.

Daftar Pustaka

- Adam, F. D., Pratama, Y. D., Mustaghits, A., & Azkia, P. (2025). PENANGANAN ALARM DTER PADA ROBOT FANUC M-900IA SPOT WELDING MULTI - GUN. *Jurnal Ekselenta-Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 2(2), 10.
- Adipura, R., & Wati, P. E. D. K. (2025). Relayout Fasilitas Produksi di UD. X Menggunakan Metode FTC dan Simulasi Diskrit untuk Efisiensi Material Handling. *Jurnal Surya Teknik*, 12(1), 200–209. <https://doi.org/10.37859/jst.v12i1.9364>
- Amaluddin et all. (2024). *Analisis Tingkat Akurasi Pengaplikasian Program Mesin Pada Proses Pembuatan Fixed Handle Menggunakan Mesin CNC Turning Mazak*. 6, 103–111.
- Ashidqi, M. D., Windasari, S., Rahmat, & Probokusumo. (2026). Parameter Optimization of Battery Energy Storage System Considering Degradation Using Reinforcement Learning. *Jurnal Nasional Teknik Elektro Dan Teknologi Informasi*, 15(1), 44–52.
- <https://doi.org/10.22146/jnteti.v15i1.24882>
- Fathurrizqy, M., & Santosa, A. (2025). Designing an Automatic Mobile Arm Robot for the Goods Moving Process in the Production Line Section. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 13(1), 1–10.
- Febriyanto, B., & Setiafindari, W. (2025). Optimasi Tata Letak Fasilitas Produksi dengan Metode Systematic Layout Planning (SLP) untuk Meningkatkan Efisiensi Material Handling. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan*, 4(I), 10–19. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v4ii.522>
- Hastaputri, A. B. P., Afandy, M. Z., & Setiawan, R. A. (2026). Peningkatan Efisiensi Material Handling Menggunakan Trolley Barang Lipat Pada Toko Susu Hemat Grosir. *Technologic*, 17(1), 80–86. <https://doi.org/10.52453/technologic.v17i1.526>
- Imron, J., Rahmat, R., Anggara Putra, D., Nurlaksana Restu, R., Natawibawa, M., & Sumardiyanto, H. (2025). Studi Eksperimental Pengaruh Pelatihan K3 Terhadap Kepatuhan Operator Mesin Di Industri Otomotif. *Jurnal Ekselenta*, 1(2), 3089–2163.
- Joanda, A. D., Kurnianto, A., Anzani, R., Program, D., Teknik, S., Universitas, I., Persada, D., Studi, P., Industri, T., Darma, U., Handling, M., Toyota, S. P., & Belakang, L. (2022). Studi Perbandingan Material Handling Antara Towing Dengan Automated Guided Vehicle (Agv) Dengan. *Jurnal Sains & Teknologi ...*, XII(1), 80–91.
- Lawongan, R. R., Solis, R. S., Claudia, A., Pungus, S. R., Sondakh, D. E., & Putra, E. Y. (2023). IntelliMart: Drone Technology and Robotic Technology in a Modern Market System. *Cogito Smart Journal*, 9(2), 381–395.
- Lejaringtyas, Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Tidar, U., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., Tidar, U., Studi, P., Elektro, T., Teknik, F., & Tidar, U. (2024). *AUTOMATION OF THE GREASE APPLY PROCESS TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF USING*

- GREASE LINE SUB ASSY PAD COMP OTOMATISASI PROSES APPLY GREASE UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMAKAIAN GREASE LINE SUB Meningkatkan Efisiensi Pemakaian Grease Line Sub Assy Pad Comp ”. 26(1), 69–78.*
- Mahasinul Akhlak, M. L. (2021). Efektifitas Dan Efisiensi Digital Marketing Melalui Otomatisasi Instagram. *Transformasi*, 16(2), 60–73.
<https://doi.org/10.56357/jt.v16i2.221>
- Maulana, Z. (n.d.). *PENGARUH VARIASI MASSA REFRIGERAN CHARGE R-134a PADA PROSES RETROFIT PADA SISTEM REFRIGERASI DUAL FUNCTION SEBAGAI AIR HANDLING UNIT DAN WATER CHILLER TERHADAP PERFORMANSI DAN EFISIENSI SISTEM.*
- Muhammad Ikhsan Lubis, M. H., Lenny Herawati, S.T., M. T., Nelly Suryani, S.E., M.A.B., A., Yudha Witanto, S.T., M.T., MBB., C., Novianda, S.T., M. S., & Rahmat, S.T., M. T. (2025). *OTOMASI INDUSTRI Teknologi dan Implementasi* (M. S. Ir. Setiyono, S.T., M.M., M.T. (ed.); 1st ed.). Duta Technology.
<https://penerbitdutatechnology.com/book/56>
- Muthia, C., Asnawi, M., & Al Firah, A. F. (2024). Pengaruh Material Handling Dan Penataan Layout Terhadap Efisiensi Proses Produksi Pada Pt. Charoen Pokphand Indonesia Cabang Medan. *Journal Economic Management and Business*, 2(2), 347–360.
<https://doi.org/10.46576/jfeb.v2i2.4174>
- Natawibawa, M., Rahmat, R., & Imron, J. (2026). *Perpindahan Panas: Pemahaman Dasar & Pendekatan Aplikasinya* (1st ed.). Diva Pustaka.
<https://books.google.co.id/books?id=b-fEEQAAQBAJ&lpg=PA1&ots=fQIUfRS9hl&lr&pg=PA194#v=onepage&q&f=false>
- Nishom et all. (2025). *Pemanfaatan Aplikasi Smart-Presensi Sebagai Upaya*. 9(2), 1628–1637.
- Primasari, M. S., & Kurnianingtyas, C. D. (2022). Analisis Postur Kerja Dan Manual Material Handling Pada Aktivitas Pemindahan Material Di Bengkel Bubut Bp. *Jurnal PASTI (Penelitian Dan Aplikasi Sistem Dan Teknik Industri)*, 16(2), 124.
<https://doi.org/10.22441/pasti.2022.v16i2.001>
- Rafli, M. (2022). Pengaruh Tata Letak, Material Handling Equipment Dan Warehouse Management System Terhadap Efektivitas Pengelolaan Gudang. *Jurnal Bisnis, Logistik Dan Supply Chain (BLOGCHAIN)*, 2(2), 78–84.
<https://doi.org/10.55122/blogchain.v2i2.548>
- Rahmat. (2024). Rancang bangun mesin stirling tipe gamma menggunakan metode vdi 2221. *Ekselenta, Jurnal*, 1(1), 1–9.
- Rahmat. (2025). Evaluasi Keterlambatan Jadwal Pelaksanaan Proyek Konstruksi Pengadaan Pedestal Crane PT. XYZ. *Ekselenta, Jurnal*, 1(2), 6–13.
<https://doi.org/DOI:10.13140/RG.2.2.16009.15202>
- Rahmat, Putra, D. A., & Hermawan, A. (2025). Sustainable Urban Farming Rack Design Using Eco Friendly Materials with Variety Load. *JTEP Jurnal Keteknikan Pertanian*, 13(4), 576–594.
<https://doi.org/10.19028/jtep.013.4.576-594>
- Rahmat, R., Putra, D. A., Restu, R. N., Imron, J., Natawibawa, M., Sumardiyanto, H., Junaedi, T., & Munawar. Khairil. (2025). Project control using S Curve in provision of pedestal crane at PT . Medco E & P Natuna - West Belut Platform. *Priviet Social Sciences Journal*, 5(8), 115–124.
<https://doi.org/10.55942/pssj.v5i8.489>
- Rahmat, R., Putra, D. A., & Sutomo, W. (2025). SINTEK JURNAL : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Utilizing Environmentally Friendly Materials as Sustainable Urban Vertical Farming Racks with Maximum Load. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 19(1), 1–10.
<https://doi.org/https://doi.org/10.24853/sintek.19.2.194-206>
- Rahmat, Witanto, Y., Ajitomo, D. S., Sunarto, B., Maulana, A., & Silva, P. Da. (2026). A Systematic Approach to Reducing Compressor Downtime by 95 . 3 % Within



-
- Six Months Toward. *Engineering Science Letter*, 5(2), 154–159.
<https://doi.org/10.56741/IISTR.esl.002151>
- Setiawan, A. B., & Hermansyah, M. (2025). Otomatisasi Penjadwalan Dan Pengingat Tugas Berbasis Google Form, Apps Script, Dan Google Calendar Untuk Efisiensi Manajemen Proyek. *Jurnal Sistem Informasi Dan Sains Teknologi*, 7(2).
<https://doi.org/10.31326/sistek.v7i2.2425>
- Susanta, M. H., & Sururi. (2026). Analisis Efisiensi Energi Pada Sistem Otomatisasi Lampu Taman Berbasis Sensor Bhl750 Dan Arduino Uno. *Jurnal Informatika Dan Rekayasa Elektronik*, 9(1), 84–93.
<https://doi.org/10.36595/jire.v9i1.2002>
- Syaichu & Nurhuda, 2021. (1996). *JURNAL ILMU – ILMU TEKNIK - SISTEM*, Vol. 17 No. 3. 17(3), 9–19.
- Syawal, S., Nofirza, N., Hamdy, M. I., Anwardi, A., Harpito, H., & Nazaruddin, N. (2024). Perbaikan Sistem Kerja Dengan Evaluasi Manual Handling Di Unit Pandai Besi Sodik Menggunakan Metode Loading on the Upper Body Assessment (Luba). *Jurnal Perangkat Lunak*, 6(1), 145–155.
<https://doi.org/10.32520/jupel.v6i1.3066>
- Zustian, Z. T. (2025). Pengembangan dan Optimasi Sistem Pendinginan Mesin Pembakaran Internal dengan Penggunaan Material Phase Change Material (PCM) untuk Meningkatkan Efisiensi Bahan Bakar dan Mengurangi Emisi Gas Buang pada Kendaraan Bermotor. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 14(2), 429–440.
<https://doi.org/10.24127/trb.v14i2.4306>