

Integrasi Evaluasi Ergonomi dan Perancangan Teknik dalam Pengendalian Risiko *Manual Material Handling*: Studi Kasus pada Industri Manufaktur

Andri Rachmat Kumalasian Nasution^{*1}, Ledina Ramadhanti², Anisa Fauziah³, Hermita Dyah Puspita⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknologi Manufaktur, Universitas Jenderal Achmad Yani, Indonesia
Email: ¹andri.rachmatk@lecture.unajni.ac.id, ²ledinaaaar17@gmail.com, ³anisafauz82@gmail.com,
⁴hermitadp@yahoo.com.sg

Abstrak

Manual material handling (MMH) merupakan salah satu sumber utama risiko ergonomi dan gangguan muskuloskeletal pada industri manufaktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas pengendalian teknik berupa alat bantu kerja ergonomis dalam menurunkan risiko MMH. Penelitian menggunakan pendekatan terapan dengan desain pre–post intervention melalui integrasi metode Nordic Body Map (NBM), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Revised NIOSH Lifting Equation (RNLE), dan Snook Tables. Hasil evaluasi kondisi awal menunjukkan dominasi keluhan pada punggung bawah (77%), skor REBA sebesar 12 (risiko tinggi), lifting index di atas 5, serta rasio beban terhadap maximum acceptable weight (MAW) melebihi 1. Berdasarkan diagnosis tersebut, dirancang alat bantu berbasis pengendalian teknik untuk mengurangi fleksi batang tubuh dan mengeliminasi aktivitas angkat manual selama transportasi. Evaluasi pascaimplementasi menunjukkan penurunan signifikan risiko ergonomi, ditandai dengan skor REBA sebesar 1, nilai lifting index di bawah satu, dan rasio beban terhadap MAW mendekati nol. Temuan ini mengonfirmasi bahwa pengendalian teknik yang dirancang secara ergonomis efektif meningkatkan keselamatan kerja dan dapat menjadi solusi praktis bagi industri manufaktur skala menengah.

Kata kunci: alat bantu kerja, ergonomi, keselamatan dan kesehatan kerja, manual material handling, risiko muskuloskeletal

Abstract

Manual material handling (MMH) remains one of the primary sources of ergonomic risk and work-related musculoskeletal disorders in manufacturing industries. This study aims to evaluate the effectiveness of an engineering control in the form of an ergonomic assistive device in reducing MMH-related risks. The research employed an applied approach using a pre–post intervention design by integrating Nordic Body Map (NBM), Rapid Entire Body Assessment (REBA), the Revised NIOSH Lifting Equation (RNLE), and Snook Tables. Initial evaluation indicated a high prevalence of lower back complaints (77%), a REBA score of 12 (high risk), a lifting index exceeding 5, and a load-to-maximum acceptable weight (MAW) ratio above 1. Based on this diagnosis, an engineering-based assistive device was designed to reduce trunk flexion and eliminate manual lifting during material transportation. Post-implementation evaluation demonstrated a significant reduction in ergonomic risk, reflected by a REBA score of 1, a lifting index below 1, and a load-to-MAW ratio approaching zero. These findings confirm that ergonomically designed engineering controls effectively enhance occupational safety and provide a practical solution for small- to medium-scale manufacturing industries.

Keywords: *assistive device, ergonomics, manual material handling, musculoskeletal risk, occupational safety and health*

1. PENDAHULUAN

Manual material handling (MMH) masih menjadi salah satu penyumbang utama terjadinya gangguan muskuloskeletal terkait pekerjaan pada kegiatan manufaktur dan logistik (Deros et al., 2010; Rajendran et al., 2021; Zhao et al., 2022; Kusumawardhani et al., 2023; Lady & Fadillah, 2024; Wahyudin et al., 2025). Aktivitas pengangkatan, membawa, dan pemindahan beban yang dilakukan

secara berulang menimbulkan akumulasi beban Biomekanika, terutama pada area batang tubuh dan bahu, yang pada akhirnya menyebabkan kelelahan serta keluhan muskuloskeletal kronis (Snook & Ciriello, 1991; Waters et al., 1993). Berbagai studi empiris juga menunjukkan bahwa pekerjaan yang didominasi oleh aktivitas MMH umumnya memperlihatkan tingkat ketidaknyamanan dan risiko postur yang tinggi ketika dievaluasi menggunakan instrumen skrining gejala dan metode observasi postur yang terstandar (Hignett & McAtamney, 2000; Kuorinka et al., 1987).

PT. XYZ, sebagai perusahaan manufaktur skala menengah yang memproduksi komponen panel listrik, saat ini masih mengandalkan proses pengangkatan dan pemindahan *box panel* secara manual dengan berat antara 18–37 kg pada lintasan sepanjang 22,5 m, yang diulang hingga 70 siklus per hari. Hasil skrining awal menggunakan pendekatan *Nordic Body Map* (NBM) menunjukkan adanya keluhan yang signifikan dengan konsentrasi utama pada area punggung bawah (Annaufal et al., 2025). Penilaian postur kerja menggunakan *Rapid Entire Body Assessment* (REBA) menghasilkan skor sebesar 12 yang mengindikasikan tingkat risiko tinggi dan memerlukan tindakan perbaikan segera (Hignett & McAtamney, 2000). Evaluasi biomekanik menggunakan *Revised NIOSH Lifting Equation* (RNLE) menunjukkan nilai *lifting index* yang melebihi ambang batas aman yang direkomendasikan ($LI > 1,0$), sehingga mengindikasikan tingginya risiko cedera punggung bawah pada kondisi kerja yang diamati (NIOSH, 1994; Waters et al., 1993). Selain itu, evaluasi psikofisik menggunakan tabel Snook dan Ciriello memperkirakan nilai *maximum acceptable weight* (MAW) sekitar 12–13 kg untuk kondisi penanganan yang sebanding, jauh di bawah tuntutan beban kerja aktual yang ada (Snook & Ciriello, 1991). Secara keseluruhan, temuan tersebut menegaskan adanya ketidaksesuaian yang jelas antara tuntutan pekerjaan dan kemampuan fisik pekerja pada proses yang sedang berjalan.

Kerangka keselamatan dan kesehatan kerja (K3) menekankan bahwa upaya pengurangan risiko akan paling efektif apabila bahaya dikendalikan langsung pada sumbernya, dengan memprioritaskan pengendalian teknik (*engineering controls*) dibandingkan pengendalian administratif maupun penggunaan alat pelindung diri (ILO, 2013; ISO, 2018; NIOSH, 2024). Studi K3 terapan juga menunjukkan bahwa penggabungan antara identifikasi risiko ergonomi dan penilaian risiko yang terstruktur dapat menghasilkan rekomendasi perbaikan tempat kerja yang lebih praktis dan dapat dipertanggungjawabkan (Nurchayanie & Yulianto, 2024; Sulaiman et al., 2025). Sejalan dengan itu, beberapa penelitian menegaskan bahwa penilaian risiko yang sistematis (misalnya HIRADC) serta pendekatan perbaikan berkelanjutan dapat menjadi dasar kuat dalam merancang tindakan pengendalian yang lebih implementatif di lingkungan kerja (Irawan et al., 2025; Ridyasmara et al., 2024).

Namun demikian, banyak industri skala menengah masih menghadapi kendala dalam mengadopsi solusi berbasis rekayasa akibat keterbatasan biaya dan sumber daya teknis, sehingga hasil identifikasi risiko ergonomi sering kali tidak berlanjut menjadi konsep alat bantu yang dapat diimplementasikan (Cross, 2008; Pahl et al., 2007). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan sebuah alat bantu penanganan material yang praktis sebagai bentuk pengendalian teknik untuk menurunkan beban kerja fisik dan risiko ergonomi pada proses pemindahan *box panel* di PT. XYZ. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengintegrasian diagnosis ergonomi kuantitatif dengan perancangan teknis yang aplikatif, serta evaluasi peningkatan kondisi kerja menggunakan indikator ergonomi yang terstandar.

Meskipun berbagai penelitian terdahulu telah mengkaji risiko ergonomi pada aktivitas manual material *handling* menggunakan metode evaluasi kuantitatif, sebagian besar studi tersebut berhenti pada tahap identifikasi dan rekomendasi umum, tanpa integrasi langsung dengan proses perancangan teknik yang dievaluasi secara objektif setelah implementasi. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan mengintegrasikan diagnosis ergonomi kuantitatif dan metode perancangan teknik rasional ke dalam satu kerangka pengendalian teknik yang dievaluasi secara *pre-post intervention*. Kebaruan penelitian ini terletak pada pembuktian empiris efektivitas alat bantu non-listrik yang dirancang secara sistematis dalam menurunkan risiko ergonomi pada konteks industri manufaktur skala menengah.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus terapan dalam bidang teknik industri untuk menurunkan risiko ergonomi pada aktivitas MMH *box panel* di PT. XYZ. Metodologi yang digunakan

mengintegrasikan penilaian risiko ergonomi pada kondisi awal dengan proses perancangan teknik dengan metode rasional guna menghasilkan, mengevaluasi, dan menetapkan rancangan alat bantu penanganan material yang aplikatif.

Penggunaan kalkulator daring RNLE dan Snook Tables dalam penelitian ini difungsikan sebagai alat bantu perhitungan untuk meningkatkan keterulangan analisis, bukan sebagai pengganti model teoretis. Keterbatasan penelitian ini terletak pada ketergantungan pada parameter input observasional serta tidak dilakukannya pengukuran biomekanik langsung menggunakan sensor.

2.1. Lokasi Penelitian, Partisipan, dan Observasi Aktivitas

PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur skala menengah yang memproduksi komponen panel listrik. Proses MMH yang dikaji mencakup aktivitas pengangkatan, pemindahan, dan penempatan *box panel* secara berulang dari area pengepakan menuju titik pemuatan ke truk. Perusahaan mempekerjakan 35 pekerja, dan seluruhnya merupakan pengguna yang terlibat langsung pada proses penanganan *box panel*.

Observasi lapangan dilakukan pada siklus kerja representatif yang meliputi: (i) pengangkatan di titik asal, (ii) pemindahan sepanjang rute dari area pengepakan ke truk, dan (iii) penempatan pada titik tujuan. Pengukuran kerja dilakukan untuk memperoleh parameter yang dibutuhkan dalam analisis ergonomi dan perumusan kebutuhan desain, meliputi rentang berat beban, dimensi *box panel*, lokasi beban secara horizontal dan vertikal, jarak perpindahan vertikal, kondisi asimetri, kualitas pegangan, frekuensi dan durasi penanganan, jarak membawa beban, lebar dan panjang rute, serta tinggi bak truk.

2.2. Metode Penilaian Risiko Ergonomi Kondisi Awal

Empat metode penilaian ergonomi yang saling melengkapi digunakan untuk mengkuantifikasi risiko pada kondisi awal dan menjadi dasar justifikasi perancangan ulang berbasis pengendalian teknik.

a. Penilaian keluhan muskuloskeletal

Instrumen berbasis NBM digunakan untuk mengidentifikasi sebaran dan tingkat ketidaknyamanan muskuloskeletal pada pekerja yang melakukan aktivitas MMH (Kuorinka et al., 1987).

b. Penilaian risiko postur kerja

REBA digunakan untuk mengevaluasi beban postur seluruh tubuh selama aktivitas pengangkatan dan pemindahan, serta menentukan urgensi tindakan perbaikan (Hignett & McAtamney, 2000).

c. Analisis biomekanik pengangkatan

RNLE digunakan untuk menghitung *Recommended Weight Limit* (RWL) dan *Lifting Index* (LI) berdasarkan parameter tugas pengangkatan yang diamati (NIOSH, 1994; Waters et al., 1993). Untuk meningkatkan keterulangan perhitungan dan meminimalkan potensi kesalahan kalkulasi manual, nilai RWL dan LI dihitung menggunakan *Ergo-Plus RNLE Calculator* dengan memasukkan parameter tugas (posisi horizontal dan vertikal, jarak perpindahan vertikal, sudut asimetri, kualitas coupling, frekuensi, dan durasi tugas) sehingga diperoleh *multiplier RNLE* serta keluaran RWL/LI (Ergo-Plus, 2026).

d. Evaluasi psikofisik

Tabel Snook dan Ciriello digunakan untuk memperkirakan *Maximum Acceptable Weight* (MAW) pada kondisi penanganan material yang sebanding (Snook & Ciriello, 1991). Dalam penelitian ini, nilai MAW dan rasio beban eksternal terhadap MAW (*load-to-MAW ratio*) diperoleh menggunakan perangkat berbasis *web ErgoIntelligent MMH* dari *NexGen Ergonomics* yang menerapkan model psikofisik berbasis Snook Tables (NexGen Ergonomics, 2026).

2.3. Identifikasi Kebutuhan

Identifikasi kebutuhan dilakukan untuk menjamin keterlacakan antara batasan di lantai produksi, ekspektasi pengguna, dan spesifikasi teknik yang dapat diukur. Kebutuhan sistem diturunkan dari hasil pengukuran lingkungan kerja dan batasan alur proses (misalnya rentang berat dan dimensi *box panel*, keterbatasan rute, serta tinggi antarmuka ke bak truk). Kebutuhan pengguna dikumpulkan melalui kuesioner terbuka yang diberikan kepada seluruh 35 pekerja. Jawaban responden dihimpun dan dikelompokkan secara tematik ke dalam lima kriteria dominan yang muncul berulang, yaitu: kenyamanan dan kemudahan penggunaan, keselamatan dan kesehatan, efektivitas, fleksibilitas dan

ketahanan, serta efisiensi. Penyusunan kebutuhan menjadi persyaratan ini sejalan dengan prinsip perancangan sistem kerja ergonomi yang mengintegrasikan batasan teknis dan pertimbangan berpusat pada manusia (ISO, 2016; ISO, 2018).

Selanjutnya, kebutuhan yang telah dikelompokkan diterjemahkan menjadi spesifikasi kinerja kuantitatif (misalnya kapasitas beban minimum, ukuran platform/meja, stabilitas saat dipindahkan, kompatibilitas dengan rute, serta rancangan antarmuka pegangan yang ergonomis). Spesifikasi ini menjadi masukan formal bagi proses perancangan rasional.

2.4. Metode Perancangan Alat Bantu

Pengembangan alat bantu penanganan material dilakukan menggunakan metode rasional yang diterapkan dalam tujuh tahap untuk memastikan alur yang transparan dari kebutuhan menuju keluaran desain akhir (Cross, 2008).

a. Klarifikasi tujuan

Tujuan desain disusun secara hierarkis, dengan tujuan utama menurunkan risiko ergonomi MMH, didukung oleh tujuan keselamatan, kemudahan penggunaan, ketahanan, kompatibilitas tata letak, dan efisiensi.

b. Analisis fungsi

Model *black-box* digunakan untuk mendefinisikan transformasi dari *input* menjadi *output*. Selanjutnya dilakukan dekomposisi *transparent-box* menjadi subfungsi, meliputi penopangan beban, pergerakan terkontrol, stabilisasi saat *transport*, penempatan yang aman di tujuan, serta interaksi operator–alat.

c. Spesifikasi kinerja

Spesifikasi kinerja diturunkan dari integrasi diagnosis ergonomi, batasan sistem (geometri box, dimensi rute, tinggi bak truk), dan kebutuhan pengguna. Target utama meliputi penurunan risiko postur, penurunan risiko biomekanika pengangkatan, kestabilan yang memadai, serta pemenuhan ekspektasi efisiensi.

d. Penentuan karakteristik teknis

Karakteristik teknis alat bantu diturunkan menggunakan *Quality Function Deployment* (QFD). Kebutuhan pengguna (*voice of users*) dicantumkan sebagai “*WHATs*” dan karakteristik rekayasa sebagai “*HOWs*”. Matriks hubungan digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan menjadi arah teknis yang terukur (misalnya kekuatan rangka, stabilitas, mobilitas, ergonomi antarmuka, geometri platform, dan kemudahan perawatan). Bobot kepentingan “*WHATs*” diperoleh dari respons kuesioner 35 pekerja, kemudian diprioritaskan untuk menentukan karakteristik teknis kritis yang menjadi fokus dalam pembangkitan dan seleksi konsep.

e. Pembangkitan alternatif

Berbagai prinsip solusi dirancang untuk setiap subfungsi, lalu dikombinasikan menjadi beberapa konsep yang layak.

f. Evaluasi alternatif

Seleksi konsep dilakukan menggunakan *weighted objectives method* sebagaimana direkomendasikan dalam praktik perancangan teknik sistematis (Cross, 2008; Pahl et al., 2007). Bobot kriteria diperoleh dari nilai rata-rata tingkat kepentingan yang telah dinormalisasi berdasarkan kuesioner 35 pengguna. Setiap konsep diberi skor terhadap tiap kriteria, kemudian dihitung skor total berbobot untuk menentukan konsep terbaik. Untuk mendukung evaluasi yang rasional, penentuan tingkat kepentingan kriteria dilakukan sebelum seleksi konsep. Perbandingan berpasangan menggunakan metode *zero–one* diterapkan pada kriteria kebutuhan pengguna yang representatif. Setiap kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya berdasarkan persepsi kepentingan yang diperoleh dari *brainstorming* serta respons kuesioner yang melibatkan operator dan supervisor. Skor yang dihasilkan kemudian dinormalisasi menjadi bobot kriteria dan digunakan dalam *weighted objectives method*.

g. Penyempurnaan detail

Konsep terpilih disempurnakan melalui penetapan dimensi, pemilihan material/komponen, serta penyederhanaan untuk kemudahan manufaktur dan pemeliharaan hingga diperoleh konfigurasi rancangan final untuk implementasi.

2.5. Evaluasi Peningkatan Ergonomi

Efektivitas alat bantu yang diusulkan dievaluasi dengan membandingkan kondisi awal dan kondisi setelah perancangan ulang menggunakan indikator ergonomi yang sama, yaitu: (i) skor REBA, (ii) keluaran RNLE (RWL dan LI), serta (iii) rasio MAW berbasis Snook. Peningkatan ditunjukkan oleh turunnya tingkat risiko postur dan biomekanika serta meningkatnya kelayakan psikofisik, selaras dengan kerangka K3 yang menekankan pengendalian teknik untuk mengurangi risiko pada sumbernya (ILO, 2013; ISO, 2018; NIOSH, 2024).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian hasil dan pembahasan memaparkan temuan utama dari penilaian risiko ergonomi pada aktivitas manual material handling serta mengaitkannya dengan kebutuhan perancangan alat bantu. Hasil dianalisis secara bertahap mulai dari identifikasi keluhan muskuloskeletal, evaluasi risiko postur dan biomekanik, hingga implikasinya terhadap pengembangan solusi rekayasa yang diusulkan.

3.1. Hasil Penilaian Risiko Ergonomi

a. Keluhan Muskuloskeletal

Hasil skrining NBM menunjukkan adanya keluhan muskuloskeletal yang cukup tinggi setelah operator melakukan aktivitas MMH. Area punggung bawah menjadi keluhan paling dominan, diikuti punggung atas dan punggung, yang mengindikasikan bahwa aktivitas ini memberikan beban fisik yang besar terutama pada area batang tubuh (*trunk*) dan tulang belakang. Pola keluhan ini sejalan dengan temuan bahwa pekerjaan pengangkatan dan pemindahan beban berulang dapat memicu akumulasi beban biomekanik pada bagian trunk (Kuorinka et al., 1987; Waters et al., 1993).

Seperti ditunjukkan pada Tabel 1, prevalensi keluhan tertinggi terjadi pada punggung bawah (77%), punggung atas (71%), dan punggung (63%). Temuan tersebut menguatkan bahwa proses MMH yang diamati memiliki kontribusi kuat terhadap ketidaknyamanan dan risiko gangguan muskuloskeletal pada area trunk.

Tabel 1. Rangkuman Jawaban Kuesioner *Nordic Body Map*

No.	Keluhan	Jumlah (orang)	%	No.	Keluhan	Jumlah (orang)	%
1	Nyeri punggung bawah	27	77%	11	Nyeri tungkai kanan bawah	8	23%
2	Nyeri punggung atas	25	71%	12	Nyeri pergelangan tangan kiri	8	23%
3	Nyeri punggung	22	63%	13	Nyeri pergelangan tangan	8	23%
4	Nyeri leher bagian atas	19	54%	14	Nyeri lengan kiri atas	7	20%
5	Nyeri lengan kanan atas	16	46%	15	Nyeri pergelangan kaki kiri	5	14%
6	Nyeri bahu	11	31%	16	Nyeri pergelangan kaki kanan	5	14%
7	Nyeri lutut kanan	10	29%	17	Nyeri betis kiri	4	11%
8	Nyeri lutut kiri	10	29%	18	Nyeri betis kanan	4	11%
9	Nyeri lengan kanan	10	29%	19	Nyeri leher bagian bawah	3	9%
10	Nyeri lengan kiri	9	26%				

b. Evaluasi Psikofisik

Evaluasi psikofisik menggunakan Snook Tables pada rute pemindahan dari area pengepakan ke truk menunjukkan bahwa MAW berada pada kisaran 18 kg pada frekuensi 0,5 kali angkat/menit, sedangkan beban aktual yang ditangani melampaui nilai tersebut. Pada kondisi awal, rasio beban eksternal terhadap MAW adalah 1,47 (>1) yang mengindikasikan bahwa pekerjaan berada pada kondisi *overload* dan memerlukan intervensi ergonomi (Snook & Ciriello, 1991).

Gambar 1 menyajikan hasil evaluasi Snook untuk tugas membawa beban dari pengepakan ke truk. Nilai MAW sebesar 18,0 kg dengan rasio beban/MAW sebesar 1,47 (>1) menandakan tugas berisiko tinggi dan membutuhkan perbaikan. *Output* diperoleh melalui perangkat berbasis web yang mengimplementasikan model psikofisik Snook (NexGen Ergonomics, 2026; Snook & Ciriello, 1991).

Snook Table: Carrying Task

Task ID: Task 2

Average Weight: 26.5 kg

Frequency Of Carry: 0.5000 #/min

Carry Height: 100.0 cm

Carry Distance: 27.5 m

Gender: ☒ Male ☐ Female

Population Percentile: ☐ 90 ☒ 75 ☐ 50 ☐ 25 ☐ 10

Recommended two-handed carrying weight for male workers

Maximum Acceptable Weight: 18.0 kg

External Load To MAW Ratio: 1.47

*Missing data was interpolated from intermediate frequencies

(Data obtained from Handle Height=111 cm, Carrying Distance=8.5 m)

Unit=kg	0.0021	0.033	0.2	0.5	1	2.5	3.33
90	20.0	17.0	15.0	13.0	13.0	11.0	10.0
75	27.0	23.0	20.0	18.0	18.0	15.0	13.0
50	35.0	29.0	26.0	24.0	23.0	19.0	17.0
25	43.0	36.0	32.0	29.0	29.0	24.0	21.0
10	50.0	42.0	38.0	34.0	34.0	28.0	24.0

Gambar 1. Analisis *Snook Table* untuk Tugas Pemindahan dari *Packing* ke Truk

c. Analisis Biomekanika Pengangkatan (RNLE)

Hasil analisis RNLE untuk aktivitas pengangkatan pada kondisi awal ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai RWL yang dihitung adalah 4,46 kg pada titik asal dan 4,91 kg pada titik tujuan, jauh lebih rendah dibanding beban aktual yang ditangani. Untuk beban maksimum 37 kg, nilai LI mencapai 6,05 (titik asal) dan 5,50 (titik tujuan). Nilai LI yang jauh di atas 1 mengindikasikan kondisi pengangkatan berisiko sangat tinggi dan memerlukan tindakan perbaikan segera (NIOSH, 1994; Waters et al., 1993). Perhitungan RNLE dilakukan menggunakan kalkulator untuk meningkatkan keterulangan dan mengurangi kesalahan *input manual* (Ergo-Plus, 2026).

ErgoPlus Software Services Resources Sign in Book a demo

Measurement System: Metric

	Origin	Destination
Horizontal Location	40	40
Vertical Location	10	115
Travel Distance	105	105
Angle of Asymmetry	90	90
Coupling	Poor	Poor
Frequency	7	7
Avg. Load	27	27
Max Load	37	37
Duration	Short (1 hour)	Short (1 hour)

Calculate Clear Print Save

About the NIOSH Lifting Equation

The NIOSH Lifting Equation is a tool used by occupational health and safety professionals to assess the manual material handling risks associated with lifting and lowering tasks in the workplace.

	Origin	Dest.
Recommended Weight Limit (RWL)	4.46 kg	4.91 kg
Frequency Ind. RWL (FIRWL)	6.37 kg	7.01 kg
Lifting Index (LI)	6.05	5.50
Frequency Ind. Lifting Index (FIL)	5.81	5.28

	Origin	Dest.
HM	0.63	0.63
VM	0.80	0.88
DM	0.86	0.86
AM	0.71	0.71
CM	0.90	0.90
FM	0.70	0.70

Gambar 2. Hasil RNLE untuk Tugas Pengangkatan Kondisi Awal

d. Penilaian Risiko Postur (REBA)

Penilaian postur menggunakan REBA menunjukkan bahwa postur kerja pada kondisi awal berada pada kategori risiko tinggi. Seperti terlihat pada Gambar 3, postur pengangkatan didominasi fleksi batang tubuh yang besar dan deviasi ekstremitas atas. Kondisi tersebut tercermin pada hasil REBA pada Gambar 4 dengan skor 12. Skor ini termasuk kategori risiko tinggi dan mengindikasikan perlunya tindakan korektif segera (Hignett & McAtamney, 2000).



Gambar 3. Postur Pengangkatan Kondisi Awal

REBA Employee Assessment Worksheet

Based on Technical note: Rapid Entire Body Assessment (REBA), Hignett, McAtamney, Applied Ergonomics 31 (2000) 261-291

A. Neck, Trunk and Leg Analysis

Step 1: Locate Neck Position

1. 1-20° 2. 20-40° 3. 40-60° 4. 60-80° 5. 80-100°

Langkah 1a: Menyesuaikan
Jika Leher berputar +1
Jika Leher dibengkokkan +1

Neck Score: 3

Step 2: Locate Trunk Position

1. 1-20° 2. 20-40° 3. 40-60° 4. 60-80° 5. 80-100°

Langkah 2a: Menyesuaikan
Jika badan berputar +1
Jika badan dibengkokkan +1

Trunk Score: 4

Step 3: Legs

1. 1-20° 2. 20-40° 3. 40-60° 4. 60-80° 5. 80-100°

Adjust: 10-60° Add +1 Add +2

Leg Score: 1

Step 4: Look-up Posture Score in Table A

Gunakan nilai dari langkah 1-3 diatas, tempatkan nilai pada tabel A

Score A: 6

Step 5: Add Force/Load Score

Jika beban < 11 lb: +0
Jika beban 11 sampai 22 lb: +1
Jika beban > 22 lb: +2

Menyesuaikan: Jika Kecepatan atau beban yang bertambah dengan cepat

Force/Load Score: 2

Step 6: Score A, Find Row in Table C

Tambah nilai dari langkah 4 sampai 5 untuk mendapatkan nilai A. Tempatkan pada baris tabel C.

Table C Row: 8

Table A:

	Neck					Trunk					Legs				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Neck	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Trunk	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Legs	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Table B:

	Upper Arm					Lower Arm					Wrist				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Upper Arm	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Lower Arm	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Wrist	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5

Table C:

Score A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	1	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	1	2	3	4	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	1	2	3	4	5	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	1	2	3	4	5	6	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Table C Score: 11

Activity Score: 1

Final REBA Score: 12

Legend:

- 1 = Risiko dapat diabaikan
- 2-3 = Risiko rendah, Perubahan mungkin diperlukan
- 4-5 = Risiko sedang, Investigasi lebih lanjut, Perubahan secepatnya
- 6-7 = Risiko tinggi, Investigasi dan implementasi perubahan
- 8-11 = Risiko sangat tinggi, implementasi perubahan segera

B. Arm and Wrist Analysis

Step 7: Locate Upper Arm Position:

1. 1-20° 2. 20-40° 3. 40-60° 4. 60-80° 5. 80-100°

Langkah 7a: Menyesuaikan
Jika bahu dibengkokkan +1
Jika lengan atas berputar/condong -1

Upper Arm Score: 2

Step 8: Locate Lower Arm Position:

1. 1-20° 2. 20-40° 3. 40-60° 4. 60-80° 5. 80-100°

Langkah 8a: Menyesuaikan
Jika pergelangan tangan ditekuk dari garis tengah +1

Lower Arm Score: 1

Step 9: Locate Wrist Position:

1. 1-20° 2. 20-40° 3. 40-60° 4. 60-80° 5. 80-100°

Langkah 9a: Menyesuaikan
Jika pergelangan tangan ditekuk dari garis tengah +1

Wrist Score: 2

Step 10: Find Posture Score in Table B

Gunakan nilai dari tahap 7-9 diatas, tempatkan nilai pada tabel B

Score B: 8

Step 11: Add Combine Score

Penggunaan tangan pas dan cangkaman daya rentang menengah +0

Diterima namun pegangan tidak ideal atau pegangan ideal dengan menggunakan gigitan yang lain +1

Pegangan tangan tidak diterima tapi mungkin dilakukan +2

Tidak ada pegangan, cangkaman tidak aman dengan tangan +3

Combine Score: 3

Step 12: Score B, Find Column in Table C

Tambah nilai dari langkah 10&11 untuk menghasilkan Nilai B temukan pada tabel C dan cocokkan dengan nilai A pada baris untuk menghasilkan nilai pada tabel C

Score B: 11

Step 13: Activity Score

1 atau lebih bagian badan yang menahan lebih dari 1 menit +1

Mengurangi Kegiatan dengan jarak yang kecil (lebih dari 4 menit) +1

Aktivitas yang menyebabkan perubahan yang besar pada tubuh atau landasan yang tidak stabil +1

Gambar 4. Output Penilaian REBA Kondisi Awal

3.2. Hasil Identifikasi Kebutuhan

Kebutuhan sistem yang diperoleh dari observasi dan pengukuran di lantai produksi menunjukkan bahwa solusi penanganan material harus mampu menangani *box panel* hingga 37 kg dengan dimensi maksimum sekitar 80 cm × 60 cm. Alat juga harus dapat dioperasikan pada rute pemindahan yang ada (=15 m panjang, =2 m lebar), memiliki antarmuka aman dengan tinggi bak truk (=145 cm), serta menjaga stabilitas saat didorong dan saat penempatan agar muatan tidak bergeser.

Kebutuhan pengguna dikumpulkan dari seluruh 35 pekerja melalui kuesioner terbuka dan diskusi lanjutan. Hasilnya dikelompokkan menggunakan analisis tematik menjadi lima kategori dominan, yaitu: (1) kenyamanan dan kemudahan penggunaan, (2) keselamatan dan kesehatan, (3) efektivitas, (4) fleksibilitas dan ketahanan, serta (5) efisiensi. Kategori tersebut kemudian diturunkan menjadi kebutuhan representatif yang digunakan sebagai dasar penyusunan spesifikasi desain dan evaluasi konsep.

Kebutuhan representatif yang dirumuskan meliputi: (i) mudah dan nyaman dioperasikan, (ii) menghindari postur janggal (membungkuk/menjangkau), (iii) penanganan aman tanpa risiko cedera, (iv) menurunkan beban muskuloskeletal, (v) mampu menangani beban berat, (vi) pemindahan lancar, (vii) dapat digunakan untuk material lain, (viii) sesuai untuk penggunaan jangka panjang, (ix) membutuhkan usaha dorong minimal, dan (x) perawatan minimal.

3.3. Hasil Proses Perancangan

a. Klarifikasi Tujuan

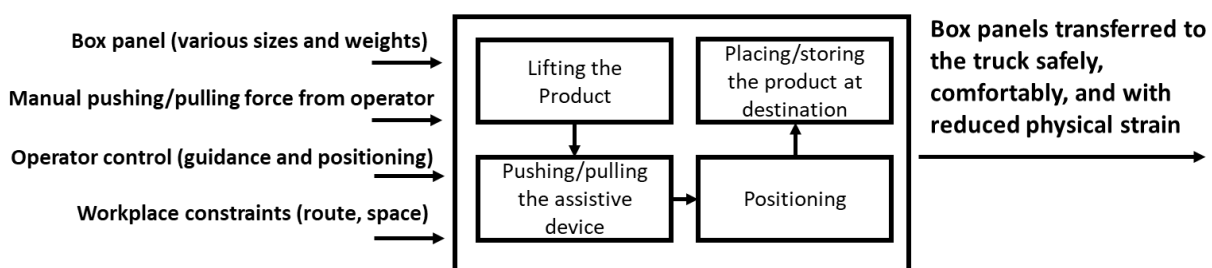
Berdasarkan kebutuhan sistem dan pengguna, tujuan perancangan. Tujuan utama adalah menurunkan risiko ergonomi pada aktivitas pengangkatan dan pemindahan, didukung tujuan sekunder terkait keselamatan, kemudahan penggunaan, ketahanan, kompatibilitas terhadap tata letak, dan efisiensi. Struktur tujuan ini memastikan keterlacakan dari kebutuhan pemangku kepentingan menuju target desain.

b. Penetapan Fungsi

Analisis fungsi dilakukan dengan pendekatan *black-box* dan *transparent-box*. Model *black-box* (Gambar 5) menggambarkan transformasi *input* menjadi output pemindahan *box panel* menuju truk secara aman, sehat, dan nyaman. Dekomposisi *transparent-box* (Gambar 6) menjabarkan subfungsi, meliputi penopangan beban, mekanisme dorong/tarik selama *transport*, stabilisasi, penempatan aman pada titik tujuan, dan interaksi operator–alat.



Gambar 5. *Black Box*



Gambar 6. *Transparent Box*

c. Translasi Tujuan dan Kebutuhan menjadi Spesifikasi Teknik

Tabel 2 menyajikan penerjemahan tujuan berbasis kebutuhan representatif ke dalam spesifikasi desain teknik.

Tabel 2. Penerjemahan Tujuan dan Kebutuhan Pengguna menjadi Spesifikasi Desain Teknik

Tujuan (kebutuhan pengguna)	Spesifikasi desain teknik	Kategori tujuan	Referensi pendukung
Mudah dioperasikan, tidak rumit, dan mengurangi usaha fisik saat penanganan	Desain antarmuka ergonomis, interaksi operator–alat yang nyaman, gaya dorong/tarik rendah	Kenyamanan & kemudahan penggunaan	Hignett & McAtamney (2000); Pahl et al. (2007); Cross (2008)
Menghindari postur janggal (membungkuk/menjangkau)	Penyelarasan tinggi kerja dan mekanisme transfer untuk mengurangi fleksi <i>trunk</i> serta jangkauan ekstrem	Kenyamanan & kemudahan penggunaan	Hignett & McAtamney (2000); Waters et al. (1993); NIOSH (1994)
Mencegah <i>box panel</i> tergelincir/jatuh selama pemindahan	Sistem stabilitas, fitur pengaman beban, dan desain platform yang mencegah pergeseran muatan bantuan mekanis;	Keselamatan & kesehatan	ILO (2013)
Mengurangi risiko cedera (terutama punggung bawah)	memindahkan beban dengan penopang dan transfer terkendali	Keselamatan & kesehatan	Waters et al. (1993); Hignett & McAtamney (2000)
Mampu menangani <i>box panel</i> berat secara aman	Kekuatan struktur rangka dan sistem penopang beban; faktor keamanan material/komponen	Efektivitas	Snook & Ciriello (1991); Cross (2008)
Mengurangi waktu <i>transport</i> dan memperlancar aliran kerja	Sistem mobilitas yang stabil; mekanisme dorong/tarik terkontrol; manuver sesuai rute	Efektivitas	Pahl et al. (2007); Cross (2008)
Dapat digunakan untuk produk/material lain	Platform adaptif/modular; fitur penopang yang dapat disesuaikan	Fleksibilitas & ketahanan	Pahl et al. (2007); Cross (2008)
Tahan untuk penggunaan harian jangka panjang	Pemilihan material dan desain struktur <i>robust</i> ; komponen standar mudah diganti	Fleksibilitas & ketahanan	Pahl et al. (2007); Cross (2008)
Diutamakan non-listrik dan perawatan rendah	Sistem mekanis sederhana; minim komponen kritis; mudah inspeksi dan pemeliharaan	Efisiensi	Cross (2008); ILO (2013); NIOSH (2024)
Harus sesuai <i>layout</i> eksisting; tanpa rel tetap	Dimensi alat kompatibel dengan lebar/panjang rute; tidak memerlukan instalasi permanen; stabil saat tikungan	Efisiensi	Data pengukuran di lokasi

d. Spesifikasi Kinerja

Dengan mengintegrasikan hasil penilaian ergonomi, batasan sistem, dan kebutuhan pengguna, ditetapkan spesifikasi kinerja. Persyaratan kunci meliputi kapasitas beban, kompatibilitas dimensi *box*

panel, stabilitas pemindahan tanpa pergeseran muatan, tinggi pegangan ergonomis untuk operasi berdiri, serta sistem non-listrik dengan perawatan minimal. Spesifikasi ini dirangkum pada Tabel 3 dan menjadi dasar pembangkitan serta evaluasi konsep.

Tabel 3. Spesifikasi Kinerja

No.	Aspek	Kondisi Sistem	Spesifikasi Kinerja
1	Beban produk	> 37 kg	Sistem penopang <i>box panel</i> dan rangka alat harus mampu menopang beban hingga 37 kg.
2	Tinggi bak truk	145 cm	Ketinggian titik penopang/transfer produk tidak boleh lebih rendah dari 145 cm agar memungkinkan penempatan langsung ke bak truk.
3	Panjang <i>box panel</i>	80 cm	Panjang platform penopang produk tidak boleh kurang dari 80 cm.
4	Lebar <i>box panel</i>	60 cm	Lebar platform penopang produk tidak boleh kurang dari 60 cm.
5	Kondisi lantai produksi	Ruang terbatas	Solusi harus dapat dioperasikan tanpa pemasangan rel tetap pada lantai produksi.
6	Batasan rute pemindahan	–	Alat harus dapat dioperasikan pada rute keluar dengan panjang sekitar 15 m dan lebar sekitar 2 m.

e. Penentuan Karakteristik Teknis

QFD digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan pengguna menjadi prioritas desain. Hasil analisis menunjukkan kebutuhan terkait keselamatan dan kemampuan menahan beban menjadi prioritas utama, diikuti aspek kemudahan penggunaan dan efisiensi. Karakteristik teknis kritis yang dihasilkan meliputi: kekuatan struktur dan sistem penopang beban, stabilitas dan pengaman muatan, mobilitas untuk mekanisme dorong/tarik, ergonomi antarmuka serta kesesuaian tinggi kerja, dan kesederhanaan sistem untuk memudahkan perawatan (Cross, 2008; Pahl et al., 2007).

f. Pembangkitan Alternatif

Berdasarkan prioritas karakteristik teknis yang dihasilkan dari analisis QFD, alternatif konsep dikembangkan menggunakan pendekatan morfologi dengan mengombinasikan beberapa prinsip solusi utama, yaitu mekanisme penopang beban, sistem mobilitas, stabilisasi, dan metode transfer. Ringkasan karakteristik dan perbedaan utama dari alternatif yang dihasilkan disajikan pada Tabel 4. Tiga konsep layak, yaitu Konsep A, Konsep B, dan Konsep C, disusun untuk merepresentasikan variasi tingkat mekanisasi dan kompleksitas sistem. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4, Konsep A menekankan tingkat mekanisasi yang lebih tinggi melalui integrasi sistem bantu transfer, Konsep B mengandalkan solusi manual dengan struktur yang lebih besar dan stabil, sedangkan Konsep C mengadopsi solusi sederhana non-listrik dengan fokus pada kemudahan implementasi dan perawatan.

Tabel 4. Perbandingan Alternatif Konsep Alat Bantu Manual Material Handling

Aspek	Konsep A	Konsep B	Konsep C
Prinsip utama	Pengurangan angkat manual melalui <i>lift table</i> dan transfer geser	Stabilitas muatan dengan struktur kokoh dan bantuan <i>ramp</i>	Eliminasi angkat manual berulang melalui penopangan dan pemindahan sederhana
Mekanisme pengangkatan	<i>Lift table</i> manual-hidrolik untuk penyesuaian tinggi hingga bak truk	Tidak ada lift; transfer menggunakan <i>ramp</i> atau <i>sliding</i>	Tidak ada lift; transfer langsung dengan tinggi kerja tetap

Aspek	Konsep A	Konsep B	Konsep C
Sistem penopang beban	Platform lift + roller/low-friction surface	Platform tetap dengan penahan samping dan stopper	Platform tetap dengan penopang stabil dan stopper
Mobilitas	Caster heavy-duty dengan rem; bobot alat relatif berat	Roda diameter besar; stabil namun struktur bulky	Caster standar heavy-duty; mudah bermanuver
Stabilitas saat transfer	Sangat tinggi (dengan <i>outrigger</i> saat transfer)	Tinggi, tetapi bergantung pada <i>ramp</i>	Tinggi, dengan pusat gravitasi rendah
Kompleksitas sistem	Tinggi (hidrolik, <i>roller</i> , lebih banyak komponen)	Sedang (struktur besar + <i>ramp</i>)	Rendah (mekanis sederhana)
Kebutuhan perawatan	Sedang–tinggi (hidrolik & komponen bergerak)	Rendah–sedang	Rendah
Kebutuhan energi	Manual (hidrolik)	Manual	Manual
Kesesuaian dengan <i>layout</i> eksisting	Cukup, tetapi butuh ruang manuver lebih	Terbatas jika ruang sempit	Sangat sesuai dengan <i>layout</i> eksisting
Estimasi biaya relatif	Tinggi	Sedang	Rendah
Risiko ergonomi tersisa	Sangat rendah	Rendah–sedang	Rendah
Kelebihan utama	Reduksi risiko ergonomi paling besar	Struktur kuat dan aman untuk beban berat	Sederhana, ekonomis, mudah diimplementasikan
Keterbatasan utama	Biaya dan kompleksitas	Dimensi <i>bulky</i> dan fleksibilitas terbatas	Tidak memiliki penyesuaian tinggi otomatis

g. Evaluasi Alternatif

Evaluasi alternatif dilakukan menggunakan *weighted objectives method* secara terstruktur (Cross, 2008; Pahl et al., 2007). Kriteria evaluasi diturunkan dari kebutuhan pengguna dan hasil QFD, meliputi: (1) kenyamanan dan kemudahan penggunaan, (2) keselamatan dan kesehatan, (3) efektivitas, (4) fleksibilitas dan ketahanan, serta (5) efisiensi. Bobot tiap kriteria diperoleh dari agregasi respons kuesioner 35 pengguna.

Sebagaimana dirangkum pada Tabel 4, masing-masing konsep memiliki profil keunggulan dan keterbatasan yang berbeda. Konsep A menunjukkan potensi *risk reduction* ergonomi yang paling tinggi karena mengintegrasikan mekanisme pengangkatan (*lift-based*) dan transfer terkontrol, sehingga secara teoritis paling efektif dalam menurunkan kebutuhan angkat manual dan postur membungkuk. Namun, Konsep A memiliki tingkat kompleksitas sistem dan kebutuhan perawatan yang lebih tinggi, serta estimasi biaya relatif paling besar, sehingga menurunkan skor pada kriteria efisiensi dan kemudahan implementasi pada industri skala menengah. Konsep B menawarkan struktur yang stabil dan aman untuk beban berat dengan bantuan *ramp/bridge plate*, tetapi dimensinya cenderung lebih *bulky* sehingga berpotensi mengurangi kompatibilitas terhadap *layout* eksisting dan kemudahan manuver pada rute terbatas. Sebaliknya, Konsep C menampilkan keseimbangan paling baik antara aspek keselamatan, kemudahan penggunaan, kesesuaian layout, serta kebutuhan perawatan yang rendah melalui solusi mekanis sederhana non-listrik, sebagaimana terlihat pada dimensi kompleksitas sistem, kebutuhan perawatan, kesesuaian *layout*, dan estimasi biaya relatif.

Hasil perhitungan *weighted objectives* pada Tabel 5 dan 6 mengonfirmasi perbandingan kualitatif tersebut, di mana Konsep C memperoleh skor total berbobot tertinggi dan dipilih untuk tahap

penyempurnaan detail serta implementasi. Pemilihan ini menunjukkan bahwa, pada konteks PT. XYZ, solusi yang paling optimal bukan hanya yang paling “mekanis”, tetapi yang paling memenuhi kebutuhan pengguna dan batasan operasional secara menyeluruh, terutama terkait kemudahan implementasi, perawatan, dan kompatibilitas *layout* tanpa mengorbankan target pengurangan risiko ergonomi.

Tabel 5. Perbandingan Berpasangan (Zero–One) untuk Penentuan Bobot Kriteria

Kriteria	C1	C2	C3	C4	C5	Total	Bobot
C1 Kenyamanan & kemudahan penggunaan	–	0	0	1	0	1	0,1
C2 Keselamatan & kesehatan	1	–	1	1	1	4	0,4
C3 Efektivitas	1	0	–	1	1	3	0,3
C4 Fleksibilitas & ketahanan	0	0	0	–	1	1	0,1
C5 Efisiensi	1	0	0	0	–	1	0,1
Total	2	4	3	1	0	10	1,0

Keterangan:

Nilai 1 menunjukkan kriteria pada baris dianggap lebih penting dibandingkan kriteria pada kolom, sedangkan nilai 0 menunjukkan sebaliknya. Bobot kriteria diperoleh dari normalisasi total skor masing-masing kriteria.

Tabel 6. Evaluasi Konsep Menggunakan *Weighted Objectives Method*

No	Kriteria Evaluasi	Bobot	Konsep A	Konsep B	Konsep C
1	Kenyamanan & kemudahan penggunaan	0,1	4	2	4
2	Keselamatan & kesehatan	0,4	4	4	4
3	Efektivitas	0,3	4	3	4
4	Fleksibilitas & ketahanan	0,1	4	3	3
5	Efisiensi	0,1	1	4	4
Total skor berbobot		1,0	3,7	3,4	3,9

Keterangan:

Skor setiap konsep diperoleh dari penjumlahan hasil perkalian antara bobot kriteria dan nilai kinerja masing-masing konsep. Konsep dengan skor total berbobot tertinggi dipilih sebagai alternatif terbaik.

Berdasarkan penentuan bobot kriteria menggunakan metode perbandingan berpasangan (Tabel 5), kriteria keselamatan dan kesehatan memiliki bobot tertinggi (0,4), diikuti oleh efektivitas (0,3), sedangkan kenyamanan dan kemudahan penggunaan, fleksibilitas dan ketahanan, serta efisiensi masing-masing memiliki bobot 0,1. Hal ini menunjukkan bahwa pengurangan risiko ergonomi dan keselamatan pekerja menjadi prioritas utama dalam pemilihan konsep. Hasil evaluasi alternatif menggunakan metode *weighted objectives* (Tabel 6) memperlihatkan bahwa Konsep C memperoleh skor total berbobot tertinggi (3,9), dibandingkan dengan Konsep A (3,7) dan Konsep B (3,4). Meskipun Konsep A dan Konsep C memiliki kinerja yang setara pada aspek keselamatan dan efektivitas, Konsep C menunjukkan keunggulan pada aspek efisiensi dan kesesuaian dengan kondisi operasional *eksisting*, khususnya terkait kebutuhan usaha yang lebih rendah dan kemudahan perawatan. Oleh karena itu, Konsep C dipilih sebagai alternatif paling layak untuk dikembangkan lebih lanjut dan diimplementasikan, karena mampu memberikan keseimbangan terbaik antara pengurangan risiko ergonomi, kemudahan penggunaan, dan keterbatasan operasional di PT. XYZ.

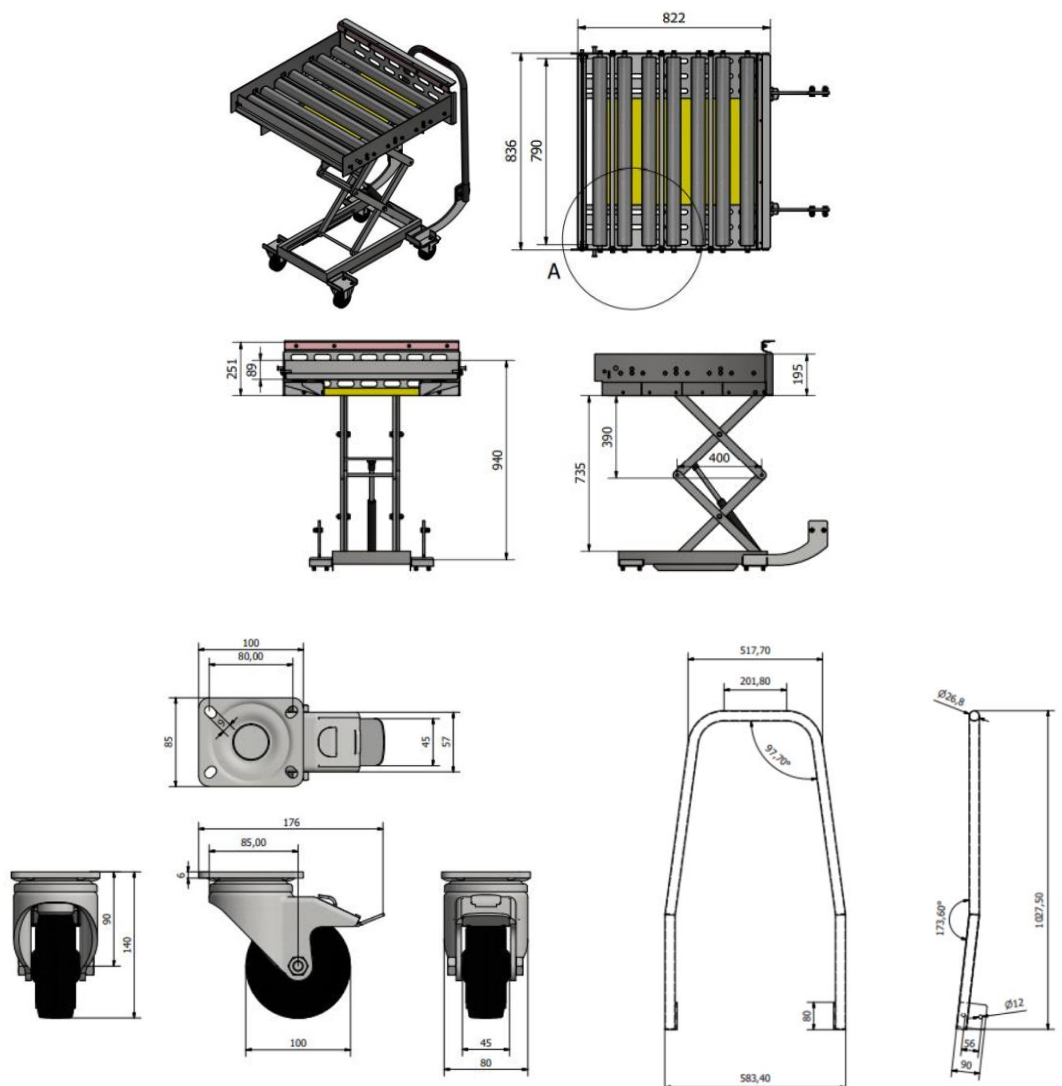
h. Penyempurnaan Detail

Setelah Konsep C terpilih, desain disempurnakan melalui penetapan komponen utama, dimensi, serta fitur antarmuka. Desain akhir difokuskan pada penopang beban yang stabil, pengoperasian ergonomis, pemindahan yang lancar, serta kompatibilitas terhadap batasan tata letak *eksisting*.

Konfigurasi final alat bantu ditunjukkan pada Gambar 7. Proses penentuan dimensi memastikan kesesuaian dengan kebutuhan sistem dan spesifikasi kinerja, termasuk tinggi rangka untuk transfer ke bak truk, dimensi platform untuk mengakomodasi ukuran *box panel* maksimum, tinggi pegangan untuk dorong/tarik yang nyaman, serta pemilihan diameter roda untuk kestabilan selama pemindahan. Ringkasan dimensi komponen utama disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Dimensi Final Alat Bantu (cm)

Komponen	P	L	T	D
Rangka utama (rangka troli angkat)	95	75	145	–
Meja/platform penopang box panel	82	83	20	–
Pegangan (handgrip)	51,77	–	102,75	2,68
Roda/caster	–	–	–	10



Gambar 7. Konfigurasi Final

Berdasarkan desain akhir yang terpilih (Konsep C), dilakukan evaluasi lanjutan untuk menilai sejauh mana alat bantu mampu menurunkan risiko ergonomi dibandingkan kondisi awal. Pemilihan Konsep C menunjukkan bahwa tingkat mekanisasi tertinggi tidak selalu menjadi solusi optimal dalam konteks industri skala menengah. Trade-off antara kompleksitas sistem, kebutuhan perawatan, dan

keberlanjutan operasional menjadi faktor penting dalam efektivitas pengendalian teknik. Hasil ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menekankan pentingnya kesesuaian solusi ergonomi dengan konteks operasional dan kemampuan organisasi, bukan semata-mata pada tingkat teknologi yang digunakan.

3.4. Evaluasi Peningkatan Ergonomi

Evaluasi peningkatan ergonomi dilakukan dengan membandingkan kondisi awal MMH dengan kondisi setelah menggunakan alat bantu (Konsep C) menggunakan tiga indikator, yaitu risiko postur (REBA), tuntutan biomekanika pengangkatan (RNLE: RWL dan LI), serta kelayakan psikofisik (MAW berbasis Snook). Hasil kondisi awal menunjukkan postur berisiko tinggi (REBA = 12) dan tuntutan angkat/bawa yang overload, ditandai oleh nilai RWL yang jauh di bawah beban aktual serta estimasi MAW (13 kg) yang juga lebih rendah dibanding rentang massa box panel (18–37 kg) (Hignett & McAtamney, 2000; NIOSH, 1994; Snook & Ciriello, 1991; Waters et al., 1993). Setelah implementasi alat bantu, pengurangan postur membungkuk dan beban angkat manual ditunjukkan melalui output REBA pada Gambar 8, sedangkan penurunan tuntutan biomekanik pengangkatan tercermin pada output RNLE pada Gambar 9. Selain itu, peningkatan kelayakan psikofisik (penurunan kondisi overload) ditunjukkan pada output Snook pada Gambar 10, dan Gambar 11 memperlihatkan ilustrasi penggunaan alat bantu yang menjelaskan bagaimana penopangan beban dan mekanisme pemindahan dilakukan secara lebih stabil. Rangkuman perbandingan sebelum–sesudah disajikan pada Tabel 8, yang menunjukkan penurunan skor REBA, LI, dan rasio beban terhadap MAW sehingga tingkat risiko ergonomi beralih dari kategori tinggi menjadi kondisi yang lebih terkendali. Perbaikan ini sejalan dengan prinsip K3 yang menekankan pengendalian teknik (engineering controls) untuk menurunkan risiko pada sumbernya (ILO, 2013; ISO, 2018; NIOSH, 2024).

Tabel 8. Ringkasan Peningkatan Sebelum dan Sesudah Intervensi

Indikator Ergonomi	MMH	Dengan Alat Bantu	Interpretasi
Skor REBA	12	1	Penurunan fleksi batang tubuh dan perbaikan postur kerja
Lifting Index (LI)	> 1,0	< 1,0	Penurunan risiko cedera punggung bawah
Rasio beban terhadap MAW	> 1,0	< 1,0	Kondisi <i>overload</i> berkurang
Risiko ergonomi keseluruhan	Tinggi	Menurun	Pengendalian teknik meningkatkan keselamatan dan kemudahan penggunaan

The image shows a 'REBA Employee Assessment Worksheet' with a final score of 1. The worksheet is divided into two main sections: A. Neck, Trunk and Leg Analysis, and B. Arm and Wrist Analysis. Section A includes a table for 'SCORING' with columns for Neck, Trunk, and Leg. Section B includes a table for 'SCORING' with columns for Arm and Wrist. The final score is calculated as the sum of the scores from both sections, resulting in a total of 1. The worksheet also includes a 'Final REBA Score' box at the bottom, which contains the number 1. The worksheet is titled 'REBA Employee Assessment Worksheet' and includes a copyright notice for 'Copyright © 1999, NIOSH, Hignett, McAtamney, Snook & Ciriello'.

Gambar 8. Output REBA setelah menggunakan alat bantu

NIOSH Lifting Equation Calculator

Parameter	Origin	Destination
Horizontal Location	10	10
Vertical Location	40	50
Travel Distance	10	10
Angle of Asymmetry	0	0
Coupling	Poor	Poor
Frequency	7	7
Avg. Load	27	27
Max Load	37	37
Duration	Short (1 hour)	Short (1 hour)

Calculate

Results:

Parameter	Origin	Dest.
Recommended Weight Limit (RWL)	29.88 lb(s)	27.31 lb(s)
Frequency Ind. RWL (FIRWL)	42.69 lb(s)	39.02 lb(s)
Lifting Index (LI)	0.90	0.99
Frequency Ind. Lifting Index (FIL)	0.87	0.95

Gambar 9. Output RNLE setelah menggunakan alat bantu

SNOOK Table: Pushing Task

Task ID: Task 1

Sustained Pushing Weight: 10 kg

Frequency Of Push: 0.500 #/min

Handle Height: 103.0 cm

Pushing Distance: 23.5 m

Initial Pushing Weight: 10 kg

Gender: Male

Population Percentile: 75

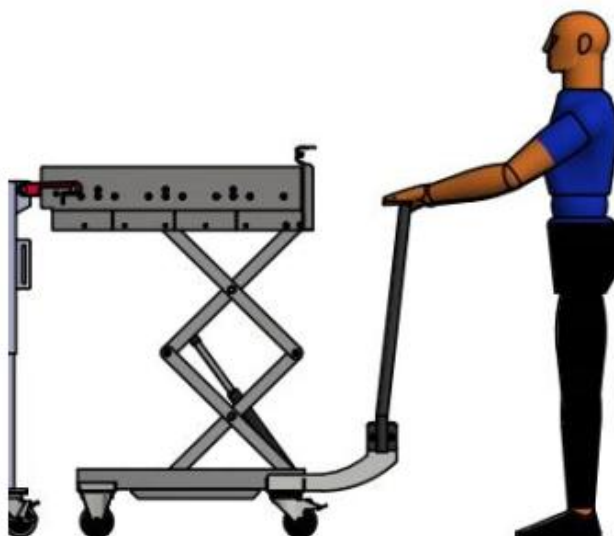
Recommended two-handed initial pushing force for male workers

Maximum Acceptable Weight: 24.0 kg
(Missing data was interpolated from intermediate frequencies)

External Load To MAW Ratio: 0.42

Unit-kg	0.0021	0.033	0.2	0.5	1
90	27.0	22.0	22.0	19.0	17.0
75	35.0	28.0	28.0	24.0	21.0
50	44.0	35.0	35.0	30.0	27.0
25	52.0	42.0	42.0	36.0	32.0
10	60.0	48.0	48.0	41.0	37.0

Gambar 10. Output Snook setelah menggunakan alat bantu



Gambar 11. Ilustrasi penggunaan alat bantu pada aktivitas MMH

Temuan ini menunjukkan bahwa pengendalian teknik berbasis evaluasi kuantitatif mampu menurunkan risiko ergonomi secara signifikan. Berbeda dengan beberapa studi sebelumnya yang hanya mengukur risiko postur atau kecenderungan MSD tanpa evaluasi intervensi terstruktur, penelitian ini menunjukkan pendekatan yang lebih komprehensif dan kuantitatif terhadap efek pengendalian teknik ergonomi. Misalnya, Jin et al. (2025) melaporkan bahwa intervensi ergonomi yang dikombinasikan dengan pelatihan dan *tool adjustment* secara signifikan menurunkan paparan postur berisiko dan gejala MSD pada pekerja lini perakitan setelah satu tahun intervensi. Selain itu, meta-analisis oleh Santos et al. (2025) menunjukkan bahwa intervensi ergonomi secara konsisten mengurangi intensitas nyeri kerja di berbagai *setting* industri. Temuan kuasi-eksperimental oleh Esmaeili et al. (2023) juga mendukung efektivitas pendekatan multikomponen dalam mengurangi skor risiko *ergonomic exposure* dan gejala MSD pada pekerja industri *foundry*. Dengan demikian, penelitian ini memperluas literatur dengan mengintegrasikan diagnosis kuantitatif (NBM, REBA, RNLE, Snook) dengan desain *pre-post intervention* terstruktur untuk mengukur efektivitas perancangan teknik ergonomi dalam konteks manual material handling.

4. KESIMPULAN

Evaluasi ergonomi menunjukkan bahwa penerapan alat bantu secara signifikan meningkatkan kondisi kerja dibandingkan dengan penanganan material secara manual. Skor REBA menurun dari 12 menjadi 1, yang mengindikasikan penurunan risiko postur secara substansial serta berkurangnya aktivitas membungkuk berlebihan selama proses penanganan material. Selain itu, nilai LI dan rasio beban terhadap *Maximum Acceptable Weight* juga mengalami penurunan dari nilai di atas 1,0 menjadi di bawah 1,0, yang menegaskan bahwa beban mekanis yang diterima pekerja telah berada dalam batas ergonomi yang dapat diterima. Dengan demikian, tingkat risiko ergonomi secara keseluruhan berkurang dari kondisi berisiko tinggi menjadi kondisi yang terkendali. Temuan ini mengonfirmasi bahwa intervensi rekayasa yang diusulkan secara efektif meningkatkan aspek keselamatan, kemudahan penggunaan, dan pengelolaan beban kerja, sehingga berpotensi menurunkan risiko gangguan muskuloskeletal serta mendukung terciptanya sistem kerja yang lebih berkelanjutan dan ergonomis.

Secara ilmiah, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan pendekatan ergonomi terapan dengan menunjukkan bahwa integrasi evaluasi ergonomi kuantitatif dan perancangan teknik rasional dapat menghasilkan pengendalian teknik yang efektif dan aplikatif. Keterbatasan penelitian ini terletak pada lingkup satu jenis aktivitas dan satu konteks industri, sehingga penelitian lanjutan disarankan untuk menguji replikasi desain pada jenis material, beban, dan sektor industri yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Peneliti menyampaikan apresiasi atas dukungan pendanaan yang diberikan melalui Hibah Penelitian Internal Universitas Jenderal Achmad Yani (UNJANI) berdasarkan Surat Keputusan Rektor Nomor SKEP/188/UNJANI/VI/2025. Tim peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pekerja yang berpartisipasi dalam penelitian ini, serta kepada pihak manajemen dan staf teknis atas kerja sama, akses ke lokasi kerja, dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan intervensi ergonomi.

DAFTAR PUSTAKA

- Annaufal, S. S., Amrullah, H. N., & Santoso, M. Y. (2025). Evaluasi gangguan otot rangka pada pekerjaan manual material handling dengan pendekatan composite lifting index. *Journal of Safety, Health, and Environmental Engineering*, 3(1), 50–56. <https://doi.org/10.35991/jshee.v3i1.48>
- Cross, N. (2008). *Engineering design methods: Strategies for product design* (4th ed.). Wiley.
- Deros, B. M., Daruis, D. D. I., Ismail, A. R., Sawal, N. A., & Ghani, J. A. (2010). Work-related musculoskeletal disorders among workers performing manual material handling work in an automotive manufacturing company. *American Journal of Applied Sciences*, 7(8), 1087–1092. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2010.1087.1092>

- Ergo-Plus. (2026). *NIOSH lifting equation calculator*. <https://ergo-plus.com/niosh-lifting-equation-calculator/>, diakses 1 Januari 2026.
- Esmacili, R., Shakerian, M., Esmacili, S. V., Jalali, M., Pouya, A. B., & Karimi, A. (2023). A multicomponent quasi-experimental ergonomic interventional study: Long-term parallel four groups interventions. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 24(1), 107. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06220-4>
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00039-3](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3)
- Humpli, A., Chinchansur, A., & Patil, S. B. (2021). Ergonomic risk assessment of manual material handling tasks at select unorganized small scale units in North Karnataka. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)* (pp. 1852–1861).
- International Labour Office. (2013). *Safety and health in the use of machinery: ILO code of practice*. International Labour Office.
- International Organization for Standardization. (2016). *ISO 6385:2016 Ergonomic principles in the design of work systems*. International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 45001:2018 Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*. International Organization for Standardization.
- Irawan, T., Hidayat, A. N., & Widya, A. R. (2025). Analisis risiko K3 menggunakan metode HIRADC area produksi di PT. Adiku Bekasi, Jawa Barat. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 5(2), 1229–1238. <https://doi.org/10.54082/jupin.1465>
- Jin, X., Dong, Y., Yang, L., Huang, W., Cao, L., Zhang, Z., & He, L. (2025). Ergonomic interventions to improve musculoskeletal disorders among vehicle assembly workers: A one-year longitudinal study. *BMC Public Health*, 25(1), 21798. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-21798-1>
- Kusumawardhani, A., Djamalus, H., & Dani Lestari, K. (2023). Ergonomic risk assessment and MSDs symptoms among laboratory workers using SNI 9011-2021. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 12(1S1), 35–41. <https://doi.org/10.20473/ijosh.v12i1SI.2023.35-41>
- Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, Å., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*, 18(3), 233–237. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(87\)90010-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(87)90010-X)
- Lady, L., & Fadillah, M. (2024). Preventing musculoskeletal disorders due to manual material handling in the production process of clean water. *Journal Industrial Serviss*, 10(1), 125–132. <https://103.142.195.99/index.php/jiss/article/view/24471>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (1994). *Applications manual for the revised NIOSH lifting equation*. U.S. Department of Health and Human Services.
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2024). *About hierarchy of controls*. <https://www.cdc.gov/niosh/hierarchy-of-controls/about/index.html>, diakses 1 Januari 2026.
- NexGen Ergonomics. (2026). *ErgoIntelligent MMH: Manual material handling (Snook Tables)*. <https://xgenergo.com/ergonomics/ergointelmmh.html>, diakses 1 Januari 2026.
- Nurcahyanie, Y. D., & Yulianto, M. T. (2024). Applied OHS with empirical ergonomics and hazard methods to minimize fatigue at KPPS Cerme Gresik. *TiBuana Journal of Applied Industrial Engineering*, 7(1), 77–81. <https://doi.org/10.36456/tibuana.7.01.8607.77-81>
- Nurmianto, E. (2004). *Ergonomi: Konsep dasar dan aplikasinya* (2nd ed.). Guna Widya.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Grote, K.-H. (2007). *Engineering design: A systematic approach* (3rd ed.). Springer.
- Rajendran, M., Sajeev, A., Shanmugavel, R., & Rajpradeesh, T. (2021). Ergonomic evaluation of workers during manual material handling. *Materials Today: Proceedings*, 46(17), 7770–7776. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.283>

- Ridyasmara, S., Adnyani, I. A. S., & Sultan, S. (2024). Analisis penerapan kesehatan dan keselamatan kerja di laboratorium sistem tenaga listrik menggunakan metode Kaizen. *Jurnal Penelitian Inovatif*, 4(4), 2217–2226. <https://doi.org/10.54082/jupin.746>
- Santos, W., Rojas, C., Isidoro, R., Lorente, A., Dias, A., Mariscal, G., & Benlloch, M. (2025). Efficacy of ergonomic interventions on work-related musculoskeletal pain: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Clinical Medicine*, 14(9), 3034. <https://doi.org/10.3390/jcm14093034>
- Snook, S. H., & Ciriello, V. M. (1991). The design of manual handling tasks: Revised tables of maximum acceptable weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197–1213. <https://doi.org/10.1080/00140139108964855>
- Sulaiman, Y. A., Firnanda, R., H., S. N. M., Agustin, L., & Dafid, A. (2025). Occupational health and safety risk assessment application in oil refinery using HIRARC. *TiBuana Journal of Applied Industrial Engineering*, 8(2), 110–118. <https://doi.org/10.36456/tibuana.8.2.10502>
- Wahyudin, W., Latif, I., Amelia, N. Z., & Widyastuti, S. D. (2025). Hubungan antara pekerjaan manual handling dengan keluhan musculoskeletal disorders pada penambang batu andesit. *Hospital Majapahit*, 17(1), 132–140. <https://doi.org/10.55316/hm.v17i1.1115>
- Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776. <https://doi.org/10.1080/00140139308967940>
- Zhao, Y., Li, Z., & Wang, S. (2022). Ergonomic risk assessment for manual material handling in manufacturing based on multiple body region analysis. *Sustainability*, 14(10), Article 5767. <https://doi.org/10.3390/su14105767>