

PERANCANGAN ERGONOMIS TROLI BARANG MENGGUNAKAN METODE FRENCH: PENDEKATAN ANTROPOMETRI, ANALISIS KESELAMATAN, DAN KELAYAKAN EKONOMI PADA INDUSTRI KECIL MENENGAH

Anang Priambudi¹, Rixza Brilians Aldiansyah², Afny Dwi Rahma³, Aldila Agil Mahardhika⁴, Novi Marlyana⁵

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia¹⁻⁵

Email: afnydwirahma@gmail.com

Informasi	Abstract
Volume : 3	<p><i>Manual Material Handling (MMH) activities at small and medium industries (SMI) frequently expose workers to musculoskeletal disorder (MSD) risks due to the absence of ergonomic assistive tools. This study presents the systematic design and development of a goods trolley for IKM Virgo Snack using the French product design method integrated with multiple Body of Knowledge (BOK) perspectives: Product Design and Development, Ergonomics and Human Factors, Design and Manufacturing Engineering, Occupational Safety, and Engineering Economics Analysis. Anthropometric data (n=30) covering standing elbow height, shoulder width, and grip diameter were collected and subjected to adequacy, uniformity, and percentile analyses to determine appropriate dimensions. Three conceptual designs were evaluated through a weighted decision matrix, and Concept 2 — a flat-platform trolley with stainless steel frame, ergonomic angled handle, and wheel locking stopper — was selected. The final design dimensions are: handle height 72 cm, platform width 45 cm, platform depth 85 cm, and wheel diameter 4 inches. Safety analysis using the Rapid Entire Body Assessment (REBA) method estimated a risk score of 3–5, indicating low to medium risk. Economic feasibility analysis using Net Present Value (NPV) and Payback Period (PP) methods yielded NPV = Rp 2,486,767 (NPV > 0) and PP = ±11 months, confirming financial viability. The manufacturing cost of Rp 707,400 is 29.4% lower than comparable commercial products, while offering enhanced safety features. This study demonstrates a replicable, data-driven framework for ergonomic tool design in SMI contexts.</i></p> <p>Keyword: ergonomic design; French method; anthropometry; REBA; NPV; goods trolley; small and medium industry; musculoskeletal disorders</p>
Nomor : 5	
Bulan : Mei	
Tahun : 2026	
E-ISSN : 3062-9624	
Abstrak	<p>Aktivitas Manual Material Handling (MMH) di industri kecil menengah (IKM) seringkali mengekspos pekerja pada risiko Musculoskeletal Disorders (MSDs) akibat ketiadaan alat bantu yang ergonomis. Penelitian ini menyajikan perancangan dan pengembangan trolley barang untuk IKM Virgo Snack secara sistematis menggunakan metode perancangan produk French yang diintegrasikan dengan lima domain Body of Knowledge (BOK): Perancangan dan Pengembangan Produk, Ergonomi dan Faktor Manusia, Rekayasa Desain dan Manufaktur, Keselamatan Kerja, dan Analisis Ekonomi Teknik. Data antropometri (n=30) mencakup tinggi siku berdiri, lebar bahu, dan diameter genggam, yang dianalisis melalui uji kecukupan, keseragaman, dan perhitungan persentil untuk menentukan dimensi rancangan yang tepat. Tiga konsep desain dievaluasi menggunakan Matriks Keputusan Terbobot, dan Konsep 2 — trolley platform datar berrangka baja tahan karat, handle ergonomis miring, dan stopper</p>

pengunci roda — dipilih sebagai konsep terbaik. Spesifikasi dimensi akhir meliputi: tinggi handle 72 cm, lebar platform 45 cm, panjang platform 85 cm, dan diameter roda 4 inci. Analisis keselamatan menggunakan metode Rapid Entire Body Assessment (REBA) menghasilkan skor risiko 3–5, menunjukkan risiko rendah hingga sedang. Analisis kelayakan ekonomi menggunakan metode Net Present Value (NPV) dan Payback Period (PP) menghasilkan NPV = Rp2.486.767 (NPV > 0) dan PP = ±11 bulan, mengkonfirmasi kelayakan finansial. Biaya manufaktur sebesar Rp707.400 lebih rendah 29,4% dibandingkan produk komersial sejenis, dengan fitur keselamatan yang lebih lengkap. Penelitian ini mendemonstrasikan kerangka kerja berbasis data yang dapat direplikasi untuk perancangan alat bantu ergonomis di konteks IKM.

Kata Kunci: perancangan ergonomis; metode French; antropometri; REBA; NPV; troli barang; industri kecil menengah; musculoskeletal disorders

A. PENDAHULUAN

Manual Material Handling (MMH) merupakan aktivitas kerja fisik yang mencakup pengangkatan, pengangkutan, pendorongan, penarikan, dan penahanan beban menggunakan energi manusia tanpa bantuan mekanis. Meskipun teknologi industri terus berkembang, MMH tetap banyak dijumpai di industri kecil menengah (IKM) Indonesia karena fleksibilitas tenaga manusia dalam menangani material dengan bentuk, ukuran, dan kondisi yang beragam [1].

Pelaksanaan MMH yang tidak dirancang secara ergonomis menimbulkan beban berlebih pada sistem *muskuloskeletal*, khususnya saat dilakukan dengan postur janggal seperti fleksi batang tubuh yang dalam, rotasi badan, atau menjangkau jauh dari pusat gravitasi. Kondisi-kondisi ini berkaitan erat dengan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs), yang paling umum bermanifestasi sebagai nyeri punggung bawah, nyeri bahu, dan gangguan anggota gerak atas. Penelitian-penelitian terdahulu secara konsisten menunjukkan korelasi positif antara postur MMH yang buruk dengan peningkatan risiko MSDs, disertai tingkat absensi yang lebih tinggi dan penurunan produktivitas pada pekerja yang terdampak [2][3].

IKM Virgo Snack, sebuah IKM pengolahan makanan yang berlokasi di Semarang, Indonesia, saat ini menggunakan troli modifikasi untuk memindahkan bahan baku dan produk setengah jadi antar stasiun kerja. Alat improvisasi ini memiliki beberapa kekurangan kritis: tinggi handle tidak dikalibrasi secara antropometri, tidak terdapat mekanisme pengunci roda, dan dimensi platform tidak sesuai dengan karakteristik fisik pekerja. Kekurangan-kekurangan ini meningkatkan risiko ketidakstabilan muatan, pergerakan troli yang tidak terkendali di permukaan lantai produksi yang tidak rata, dan kelelahan fisik pekerja selama aktivitas pemindahan material.

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas perancangan troli ergonomis menggunakan berbagai metode. Iskandar dan Janari [4] menerapkan pendekatan ergonomi

partisipatori dengan *Focus Group Discussion* (FGD) untuk merancang troli dengan handle yang dapat disetel ketinggiannya dan sistem angkat hidrolik manual pada divisi pengemasan. Nashida dkk. [5] mengintegrasikan penilaian REBA dan *Quality Function Deployment* (QFD) untuk merancang troli pengangkut karung yang ergonomis, berhasil menurunkan skor REBA dari 8–11 menjadi 3 dan meningkatkan produktivitas sebesar 40%. Sudarmanto [6] menggunakan metode perancangan VDI 2206 untuk mengembangkan troli material handling berbasis *Automatic Guided Vehicle* (AGV) berkapasitas hingga 250 kg. Namun, studi-studi tersebut menargetkan konteks industri yang berbeda dari lingkungan produksi IKM pangan, menggunakan sistem otomasi yang melampaui kemampuan finansial industri kecil, atau hanya berfokus pada evaluasi satu dimensi tanpa mengintegrasikan analisis kelayakan ekonomi dan keselamatan secara bersamaan.

Kesenjangan penelitian yang diidentifikasi terletak pada pendekatan multi-BOK terpadu untuk perancangan troli IKM: mengombinasikan metodologi perancangan produk sistematis (metode *French*), penyesuaian antropometri, evaluasi keselamatan berbasis REBA, dan analisis kelayakan ekonomi berbasis NPV dalam satu kerangka kerja yang dapat direplikasi dan sesuai untuk industri kecil dengan keterbatasan sumber daya. Novelti penelitian ini mencakup tiga hal: (1) penerapan metode *French* yang dikalibrasi khusus untuk kendala IKM; (2) integrasi analisis persentil antropometri dengan evaluasi postur REBA sebagai mekanisme validasi ganda; dan (3) demonstrasi bahwa desain yang unggul secara ergonomis dapat dicapai dengan biaya 29,4% di bawah produk komersial sejenis.

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang dan mengembangkan troli barang menggunakan metode perancangan sistematis *French*; (2) menerapkan analisis antropometri untuk menentukan dimensi troli yang ergonomis bagi pekerja di IKM Virgo Snack; (3) menyusun *Bill of Materials* (BOM) dan *Operation Process Chart* (OPC) sebagai perencanaan manufaktur; (4) mengevaluasi postur kerja dan keselamatan menggunakan metode REBA; dan (5) menganalisis kelayakan ekonomi rancangan menggunakan metode NPV dan *Payback Period*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Manual Material Handling dan Musculoskeletal Disorders*

MMH didefinisikan sebagai aktivitas kerja fisik yang melibatkan pengangkutan atau penopang beban oleh satu atau lebih pekerja [7]. Faktor-faktor risiko utama MSDs dalam konteks MMH meliputi berat beban, frekuensi penanganan, durasi penanganan, dan postur kerja [2]. Penelitian-penelitian secara konsisten menunjukkan bahwa postur janggal —

khususnya fleksi batang tubuh melebihi 45° , membungkuk lateral, dan penanganan beban di ujung-ujung jangkauan — merupakan prediktor dominan pembebanan tulang belakang lumbar dan awitan MSDs [3][8].

Dalam konteks IKM Indonesia, di mana mekanisasi dibatasi oleh kendala modal, penyediaan alat bantu manual yang dirancang secara ergonomis merupakan strategi intervensi yang paling efisien dari segi biaya. REBA [9] dan OWAS [1] merupakan metode yang telah divalidasi secara luas untuk kuantifikasi risiko postur dalam lingkungan MMH dan berfungsi sebagai kerangka evaluasi untuk perancangan ulang ergonomis.

2.2 Metode Perancangan *French*

Metode perancangan produk *French*, yang dikembangkan oleh Michael J. French [10], menyediakan kerangka sistematis empat fase untuk mentransformasikan kebutuhan pengguna menjadi spesifikasi rekayasa detail: (1) Analisis Masalah — identifikasi kebutuhan pengguna dan kendala desain; (2) Konsep Desain — pembangkitan solusi konseptual dalam bentuk skematik; (3) Penegasan Konsep — pengembangan konsep terpilih menjadi tata letak desain detail; dan (4) Pendetailan Konsep — produksi gambar kerja lengkap beserta spesifikasi material, BOM, dan peta proses manufaktur. Metode *French* sangat cocok untuk pengembangan produk IKM karena penekanannya pada analisis iteratif dan integrasi eksplisit kendala manufaktur pada tahap konseptual [11].

2.3 Prinsip Desain Antropometri

Antropometri adalah pengukuran ilmiah dimensi tubuh manusia dan penerapannya dalam perancangan peralatan serta ruang kerja [12]. Penggunaan ambang batas desain berbasis persentil — umumnya P5 untuk dimensi ruang bebas minimum dan P95 untuk dimensi jangkauan maksimum — memastikan bahwa produk yang dirancang dapat mengakomodasi sebagian besar populasi pengguna. Untuk perancangan tinggi handle pada tugas dorong/tarik, persentil ke-5 tinggi siku berdiri umumnya diterapkan sebagai batas desain bawah guna mencegah elevasi bahu pada pengguna bertubuh lebih kecil, sementara lebar bahu pada persentil ke-95 mendefinisikan rentang genggam maksimum [4][5].

2.4 Keselamatan Kerja: Metode REBA

Rapid Entire Body Assessment (REBA) dikembangkan oleh Hignett dan McAtamney [9] sebagai alat analisis postur seluruh tubuh untuk mengevaluasi risiko MSDs di lingkungan kesehatan dan industri. REBA menilai 11 area tubuh (leher, batang tubuh, kaki, lengan atas, lengan bawah, pergelangan tangan) dan menginkorporasikan penilaian beban, coupling, dan aktivitas. Skor REBA akhir 1 menunjukkan risiko dapat diabaikan; 2–3 risiko rendah; 4–7

risiko sedang memerlukan intervensi dalam waktu dekat; 8–10 risiko tinggi memerlukan intervensi segera; dan ≥ 11 risiko sangat tinggi memerlukan intervensi langsung [9].

2.5 Analisis Ekonomi Teknik

Analisis ekonomi teknik menyediakan alat kuantitatif untuk mengevaluasi kelayakan finansial investasi dalam proyek rekayasa. *Net Present Value* (NPV) menghitung nilai sekarang dari semua arus kas masa depan yang didiskontokan pada *Minimum Acceptable Rate of Return* (MARR), dengan $NPV > 0$ mengindikasikan kelayakan finansial [13]. *Payback Period* (PP) mengukur waktu yang dibutuhkan agar arus kas bersih kumulatif sama dengan investasi awal, menyediakan indikator likuiditas dan risiko [14]. Penerapan gabungan NPV dan PP direkomendasikan untuk keputusan investasi IKM di mana profitabilitas dan kecepatan pemulihan modal sama-sama merupakan kendala kritis.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metodologi design science yang mengintegrasikan metode perancangan sistematis *French* dengan lima domain BOK. Penelitian dilaksanakan di IKM Virgo Snack, Semarang, Indonesia, dengan subjek pekerja bagian produksi.

3.1 Fase Metode French

Fase 1 — Analisis Kebutuhan: Observasi terstruktur dan wawancara langsung dengan pekerja untuk mengidentifikasi kekurangan ergonomis troli yang digunakan saat ini. Definisi masalah mencakup tiga elemen: kendala desain, persyaratan fungsional, dan kebutuhan pengguna.

Fase 2 — Konsep Desain: Pembangkitan tiga konsep troli yang berbeda konfigurasi strukturalnya. Setiap konsep dideskripsikan berdasarkan rangka struktural, fitur utama, dan sistem roda. Pemilihan konsep menggunakan Matriks Keputusan Terbobot (*Weighted Decision Matrix/WDM*) dengan lima kriteria: stabilitas struktural, efisiensi manufaktur, kompatibilitas ergonomis, integrasi fitur keselamatan, dan efektivitas biaya.

Fase 3 — Penegasan Konsep: Konsep terpilih dikembangkan menjadi gambar teknik menggunakan *Autodesk Inventor 2023*, dengan dimensi ditentukan berdasarkan analisis antropometri.

Fase 4 — Pendetailan Konsep: Dokumentasi lengkap meliputi gambar teknik berdimensi akhir, *Bill of Materials* (BOM), dan *Operation Process Chart* (OPC).

3.2 Pengumpulan dan Analisis Data Antropometri

Data antropometri dikumpulkan dari $n=30$ pekerja, mencakup tiga dimensi yang relevan

dengan perancangan troli: (1) Tinggi Siku Berdiri (TSB) — untuk penentuan tinggi handle; (2) Lebar Bahu (LB) — untuk penentuan rentang handle; (3) Diameter Genggam (DG) — untuk penentuan diameter tabung *handle*. Semua pengukuran dilakukan dalam kondisi terstandar mengikuti protokol pengukuran antropometri yang telah ditetapkan [12].

Analisis data mengikuti protokol sekuensial: (a) Uji Kecukupan Data ($k=2$, tingkat kepercayaan 95%): $N' = [k/s \times (\sqrt{(N\sum x^2 - (\sum x)^2}) / \sum x)^2]$, dengan $N' \leq N$ mengindikasikan data cukup; (b) Uji Keseragaman Data: $BKA = \bar{x} + k\sigma$, $BKB = \bar{x} - k\sigma$; data yang melampaui batas kendali diidentifikasi dan ditangani sebelum perhitungan persentil; (c) Perhitungan Persentil: $P_i = \bar{x} \pm K_i\sigma$, dengan persentil P1, P25, P50, P75, P95 dihitung. Pemilihan persentil untuk setiap dimensi mengikuti rationale desain ergonomis yang telah mapan.

3.3 Analisis Keselamatan — REBA

Penilaian REBA diterapkan pada empat postur operasional kritis: (a) mendorong/bermanuver dengan troli; (b) meletakkan/mengambil barang di platform; (c) mengaktifkan stopper roda; dan (d) melipat/menegakkan *handle*. Penilaian mempertimbangkan sudut lengan atas, sudut lengan bawah, sudut pergelangan tangan, sudut leher, sudut batang tubuh, dan posisi kaki, dengan penilaian beban berdasarkan kapasitas maksimum platform 500 kg.

3.4 Analisis Kelayakan Ekonomi

Evaluasi ekonomi dilakukan melalui tiga langkah: (1) Estimasi biaya manufaktur dari rincian biaya material dan tenaga kerja (Tabel 5); (2) Estimasi manfaat operasional dari analisis penghematan waktu sistem baru vs. lama, dikonversi ke nilai moneter menggunakan upah tenaga kerja berlaku; (3) Perhitungan NPV dengan tingkat diskonto 8%, umur ekonomis 5 tahun, dan arus kas bersih tahunan = penghematan tahunan – biaya perawatan tahunan. *Payback Period* dihitung sebagai $PP = \text{Investasi Awal} / \text{Arus Kas Bersih Tahunan}$.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan dan Pernyataan Masalah

Observasi langsung dan wawancara di IKM Virgo Snack mengidentifikasi empat kekurangan utama troli modifikasi yang ada: (1) ketiadaan mekanisme pengunci roda, menciptakan risiko pergerakan troli yang tidak disengaja di permukaan lantai produksi yang tidak rata; (2) tinggi handle tidak dikalibrasi terhadap antropometri pekerja, menginduksi elevasi bahu dan fleksi batang tubuh selama aktivitas mendorong; (3) dimensi platform tidak memadai untuk penempatan wadah produksi standar yang stabil; dan (4) tidak terdapat

penguat struktural pada titik sambungan *handle*, mengakibatkan getaran dan ketidakstabilan saat beroperasi dengan muatan.

Berdasarkan analisis tersebut, persyaratan desain dirumuskan sebagai: (R1) handle ergonomis pada tinggi siku berdiri P5 untuk mencegah elevasi bahu; (R2) lebar handle pada lebar bahu P95 untuk mengakomodasi operator berbahu paling lebar; (R3) *stopper* pengunci roda pada minimal dua roda; (R4) konstruksi baja tahan karat untuk ketahanan korosi di lingkungan produksi pangan; (R5) kapasitas muatan maksimum ≥ 300 kg; (R6) biaya manufaktur di bawah produk komersial setara.

4.2 Pembangkitan dan Pemilihan Konsep

Tiga konsep dibangkitkan untuk menjawab persyaratan yang teridentifikasi. Konsep 1 — Troli Lipat Ringan: Rangka aluminium ringan dengan platform yang dapat dilipat. Keunggulan: penyimpanan kompak, portabel. Keterbatasan: kekakuan struktural lebih rendah, kapasitas muatan terbatas (± 150 kg), tidak cocok untuk penggunaan industri berat. Konsep 2 — Troli Barang Platform Datar: Rangka pipa baja hollow dengan platform datar baja tahan karat yang luas, *handle* ergonomis miring, dan sistem roda castor 4-roda dengan stopper pengunci pada roda belakang. Keunggulan: stabilitas struktural tinggi, distribusi beban merata, cocok untuk beban berat, dapat difabrikasi dengan peralatan las standar. Konsep 3 — Troli Rak Bertingkat: Struktur rak tetap tiga tingkat dengan keempat roda swivel berrem. Keunggulan: mengorganisir banyak barang kecil. Keterbatasan: pusat gravitasi lebih tinggi mengurangi stabilitas dengan beban berat, manufaktur lebih kompleks, biaya lebih tinggi.

Melihat dari identifikasi masalah yang ada maka munculah kebutuhan dan solusi yang dapat diterapkan dalam perancangan alat troli barang sebagai berikut:

Tabel 1 Kebutuhan dan Solusi

No	Kebutuhan	Solusi
1	Kesesuaian <i>handgrip</i>	Terdapat <i>handgrip</i> yang miring sehingga ergonomis saat digunakan serta <i>handgrip</i> dapat dilipat agar mudah dipindahkan dan tidak memakan tempat
2	Diharapkan troli barang tidak bergerak saat sedang tidak digunakan	Menambahkan <i>Stopper</i> Pada Roda Troli

troli barang dibuat berdasarkan kebutuhan, dimana alat troli barang yang akan dibuat desainnya terdiri dari beberapa part yaitu troli, roda, *stopper* dan *handgrip*. Desain troli yang

akan dibuat digunakan untuk troli di proses produksi, dimana desain pembuatannya menggunakan *software Autodesk Inventor 2023* yang mencakup bentuk, ukuran, dan spesifikasinya.

Pada part *stopper* didesain terdapat pijakan sehingga dapat memudahkan dalam mengaturnya dan juga terdapat *handgrip* miring sehingga menyesuaikan penggunaannya. Terdapat empat roda di bagian dasar troli, memungkinkan mobilitas yang mudah.



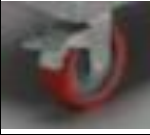



4.3 Penegasan Konsep Desain

Perancangan skema desain alat troli barang (troli barang dengan menggunakan *handle* miring dan *stopper*) di gudang penyimpanan sebagai berikut :



Gambar 1. Rancangan Troli Barang

Tabel 2. Keterangan Desain Alat

Papan Troli		Roda Depan	
<i>Handle</i>		<i>Stopper</i>	
Penguat <i>Handle</i>		Roda Belakang	
Roda Troli			

Tabel 3. Matriks Keputusan Terbobot Pemilihan Konsep

Kriteria	Bobot	Konsep 1 (Skor/BS)	Konsep 2 (Skor/BS)	Konsep 3 (Skor/BS)
Stabilitas Struktural	25%	2 / 0,50	5 / 1,25	3 / 0,75
Efisiensi Manufaktur	20%	3 / 0,60	5 / 1,00	2 / 0,40
Kompatibilitas Ergonomis	25%	3 / 0,75	5 / 1,25	3 / 0,75
Integrasi Fitur Keselamatan	20%	2 / 0,40	5 / 1,00	4 / 0,80
Efektivitas Biaya	10%	4 / 0,40	4 / 0,40	2 / 0,20
Total Skor Terbobot	100%	2,65	4,90 ✓	2,90

Konsep 2 mencapai skor terbobot tertinggi (4,90/5,00) dan dipilih untuk pengembangan detail lebih lanjut.

4.4 Hasil Analisis Antropometri

Data antropometri dikumpulkan dari 30 pekerja. Uji kecukupan data mengkonfirmasi kecukupan untuk ketiga dimensi ($N' < 30$). Uji keseragaman mengidentifikasi data pencilan marginal pada tinggi siku berdiri (satu data 119 cm melampaui BKA = 117,79 cm) dan lebar bahu (satu data 34 cm di bawah BKB = 33,35 cm); data ini dipertahankan karena deviasi marginal ($\leq 2\%$ dari rentang) dan penghapusannya tidak mengubah nilai rata-rata maupun standar deviasi secara signifikan. Tabel 2 menyajikan ringkasan hasil analisis antropometri.

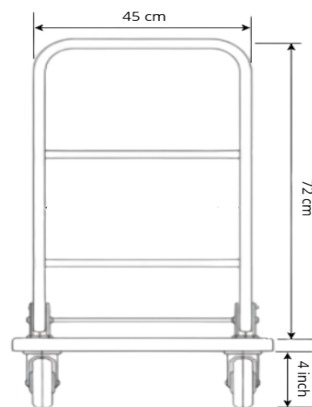
Tabel 4. Ringkasan Analisis Antropometri (n=30)

Dimensi	Rata-rata (cm)	SD (cm)	BKB	BKA	N'	Status	Persentil Digunakan	Nilai (cm)
Tinggi Siku Berdiri (TSB)	104,53	6,63	91,27	117,79	6,23	Cukup*	P5	89,11
Lebar Bahu (LB)	40,53	3,59	33,35	47,71	12,12	Cukup*	P95	47,57
Diameter Genggam (DG)	17,37	1,61	14,15	20,59	13,26	Cukup	P50	17,37

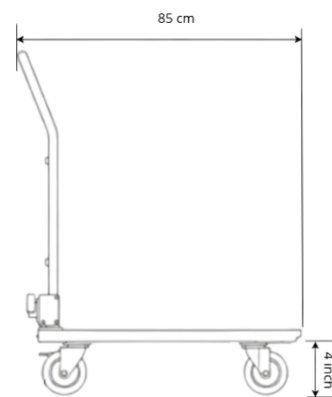
*Pencilan marginal terdeteksi namun dipertahankan (deviasi $\leq 2\%$ dari rentang). SD: Standar Deviasi; BKB: Batas Kontrol Bawah; BKA: Batas Kontrol Atas.

Rasionale pemilihan persentil mengikuti prinsip ergonomis yang telah mapan: P5 untuk tinggi *handle* (TSB) memastikan bahwa pekerja dengan tinggi siku lebih rendah pun dapat menggunakan *handle* tanpa elevasi bahu, yang merupakan risiko MSDs utama pada tugas mendorong [5][12]; P95 untuk lebar bahu (LB) memastikan pekerja berbahu paling lebar dapat diakomodasi tanpa penyempitan genggam; P50 untuk diameter genggam (DG) menyediakan kesesuaian yang seimbang bagi pengguna bertangan kecil maupun besar.

Dimensi desain akhir yang diturunkan dari analisis antropometri: tinggi *handle* = 72 cm (diturunkan dari TSB P5 = 89,11 cm, disesuaikan -17,11 cm untuk sudut dorong optimal), lebar *handle* = 47,57 cm (\approx P95 LB), diameter luar tabung *handle* = 2,54 cm (\approx pipa 1 inci, standar terdekat dengan DG P50 = 17,37 mm untuk perhitungan lingkaran genggam).



Gambar 2. Tampak Belakang



Gambar 3. Tampak Samping

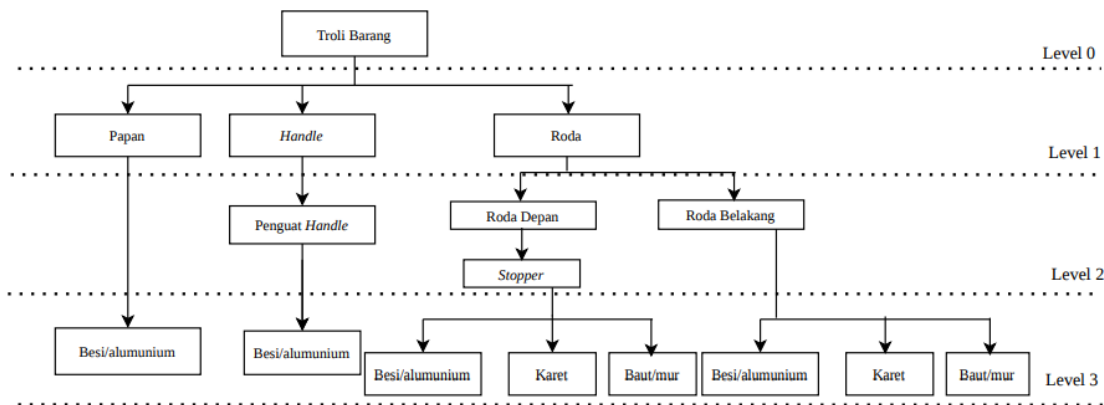
4.5 Spesifikasi Desain dan Detail Teknis

Tabel 5. Spesifikasi Desain Akhir

Komponen	Spesifikasi	Rasionale Desain
Tinggi <i>Handle</i>	72 cm	TSB P5 (89,11 cm) disesuaikan untuk sudut dorong optimal
Lebar <i>Handle</i>	47,57 cm	LB P95 — mengakomodasi operator berbahu paling lebar
Material <i>Handle</i>	Baja tahan karat (SUS 304)	Tahan korosi untuk lingkungan produksi pangan
Panjang <i>Platform</i>	85 cm	Mengakomodasi wadah produksi standar (60×80 cm) dengan kelonggaran
Lebar <i>Platform</i>	45 cm	Menyeimbangkan kapasitas muatan dengan pemanfaatan ruang lantai
Material <i>Platform</i>	Pelat baja tahan karat, t=1	Kaku, mudah dibersihkan, tahan korosi

	mm	
Material Rangka	Pipa hollow baja, Ø25 mm	Kekakuan struktural memadai untuk kapasitas 300 kg
Jenis Roda (Depan)	2× castor tetap, 4 inci	Stabilitas arah saat mendorong
Jenis Roda (Belakang)	2× castor swivel dengan kunci, 4 inci	Kemampuan manuver + penguncian untuk keselamatan
Material Roda	Poliuretan (PU)	Redaman getaran, perlindungan lantai
Kapasitas Muatan Maks.	300 kg (dirancang); 500 kg (estimasi struktural)	Mencakup muatan unit produksi tipikal
Berat Total (kosong)	≈15 kg	Dapat dikelola untuk pemindahan posisi

4.6 Bill of Materials dan Proses Manufaktur



Gambar 4. Bil Of Material

Bill of Materials (BOM) disusun dalam tiga level: Level 0 (produk jadi: Troli Barang), Level 1 (tiga rakitan utama: Platform, Rakitan Handle, Rakitan Roda), Level 2 (sub-komponen: Penguat Handle, Roda Depan, Roda Belakang dengan Stopper), dan Level 3 (material baku: besi/aluminium, karet/PU, baut/mur). Operation Process Chart (OPC) memetakan urutan manufaktur pada tiga lini produksi paralel (Platform, Handle, Roda) yang bertemu pada perakitan akhir, dengan total waktu pemrosesan 160 menit yang terdiri dari 9 operasi dan 3 inspeksi. Urutan proses: pengukuran material baku → pemotongan → pengelasan/penyambungan → pengecatan → perakitan → inspeksi akhir.

4.7 Analisis Keselamatan: Penilaian REBA

Penilaian REBA dilakukan untuk empat postur tugas kritis, dengan hasil yang dirangkum dalam Tabel 4.

Tabel 6. Hasil Penilaian REBA per Postur Tugas

Postur Tugas	Sudut	Sudut	Sudut	Skor REBA	Level
--------------	-------	-------	-------	-----------	-------

	Batang Tubuh	Leher	Lengan Atas		Risiko
Mendorong/Bermanuver (dengan tinggi <i>handle</i> baru)	Netral (0–20°)	0–15°	20–45°	3–4	Rendah
Memuat/Membongkar <i>Platform</i>	10–20° fleksi	0–15°	20–45°	3–5	Rendah–Sedang
Mengaktifkan <i>Stopper</i> Roda (dioperasikan kaki)	0–10°	0–10°	0–20°	2–3	Rendah
Melipat/Menegakkan <i>Handle</i>	0–20°	0–15°	20–45°	3–4	Rendah

Catatan: Skor REBA merupakan nilai estimasi berdasarkan analisis postur desain; pengukuran langsung dengan prototipe direkomendasikan pada validasi penelitian berikutnya.

Sudut dan tinggi *handle* ergonomis yang diturunkan dari analisis P5 antropometri memposisikan lengan atas pengguna pada rentang 20–45° dari netral dan mempertahankan keselarasan pergelangan tangan yang alami selama mendorong, berkontribusi pada skor REBA yang rendah. *Stopper* roda yang dioperasikan dengan kaki mengeliminasi kebutuhan fleksi batang tubuh saat pengereman, menghasilkan skor REBA terendah (2–3) dari semua postur yang dinilai. Hasil ini konsisten dengan temuan Nashida dkk. [5] yang mendemonstrasikan penurunan skor REBA dari rentang 8–11 menjadi 3 setelah perancangan ulang ergonomis.

4.8 Analisis Kelayakan Ekonomi

Tabel 7. Rincian Biaya Manufaktur

No.	Item	Spesifikasi	Jml.	Harga Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Pelat besi/aluminium	60×120 cm, t=1 mm	1	205.000	205.000
2	Pipa besi/aluminium (rangka)	P=6000 mm, D=1 inci	1	144.000	144.000
3	Roda castor tetap	4 inci, karet/PU	2	12.800	25.600
4	Roda castor swivel dengan kunci	4 inci, karet/PU	2	39.500	89.000

5	Baut dan mur	M8, lapis seng	16	300	4.800
6	Perakitan, las, finishing	Tenaga kerja: 2 hari	—	75.000/hari	150.000
7	Cat anti karat	1 komponen, 400 mL	1	89.000	89.000
TOTAL BIAYA MANUFAKTUR					Rp 707.400

Troli yang dirancang berbiaya Rp707.400, lebih rendah 29,4% dari harga produk komersial acuan sebesar Rp1.002.000, dengan fitur keselamatan tambahan berupa sistem stopper pengunci roda yang tidak tersedia pada produk komersial dasar.

Tabel 8. Ringkasan Kelayakan Ekonomi

Indikator	Nilai (Rp)	Dasar / Catatan
Total Investasi Awal	707.400	Biaya manufaktur (Tabel 5)
Hari Kerja Tahunan	300 hari/tahun	6 hari/minggu × 50 minggu
Penghematan Waktu per Hari	9 menit (0,15 jam)	Estimasi dari pengurangan waktu reposisi & pemuatan
Tarif Upah Tenaga Kerja	Rp20.000/jam	Upah IKM berlaku, Semarang
Penghematan Tenaga Kerja Tahunan	900.000	0,15 jam × 20.000 × 300 hari
Biaya Perawatan Tahunan	100.000	Pelumasan roda, pengencangan baut, pengecatan ulang
Arus Kas Bersih Tahunan	800.000	900.000 – 100.000
Tingkat <i>Diskonto</i> (MARR)	8%	Tingkat diskonto standar IKM
Umur Ekonomis	5 tahun	Estimasi konservatif untuk konstruksi baja
Σ Nilai Sekarang (5 tahun)	3.194.167	DCF pada 8%
Net Present Value (NPV)	2.486.767	NPV > 0 → Layak secara finansial
Return on Investment (ROI)	113%	(800.000 / 707.400) × 100%
Payback Period (PP)	≈11 bulan	707.400 / 800.000 × 12

NPV positif sebesar Rp2.486.767 mengkonfirmasi bahwa investasi menghasilkan manfaat ekonomi bersih selama umur ekonomisnya setelah didiskontokan pada MARR 8%.

Payback Period sekitar 11 bulan (< 1 tahun) mengindikasikan pemulihan modal yang cepat, menjadikan investasi ini sangat menarik bagi IKM dengan modal terbatas. ROI sebesar 113% semakin mengkonfirmasi kinerja finansial yang kuat relatif terhadap investasi awal.

4.9 Analisis Komparatif dengan Literatur Terdahulu

Tabel 9. Perbandingan dengan Studi Terkait

Studi	Metode	Industri	Analisis Antropometri	Eval. Keselamatan	Analisis Ekonomi	Temuan Utama
Iskandar & Janari [4] (2021)	Ergonomi Partisipatori + FGD	Pengemasan (korporat)	✓ (dasar)	✓ (OWAS)	✗	9 inovasi ergonomis; handle adjustable
Nashida dkk. [5] (2024)	REBA + QFD + Antropometri	Penggilingan padi (IKM)	✓ (lengkap)	✓ (REBA)	✗	REBA 8-11 → 3; +40% produktivitas
Sudarmanto [6] (2024)	VDI 2206	Otomotif (besar)	✗	✗	✗	Troli AGV 250 kg; otomatis
Penelitian ini (2026)	French + Multi-BOK	Pangan IKM	✓ (n=30; kecukupan, keseragaman, persentil)	✓ (REBA; 4 postur)	✓ (NPV + PP)	NPV > 0; PP < 1 thn; biaya 29,4% di bawah pasaran

D. KESIMPULAN

Penelitian ini mendemonstrasikan kerangka kerja yang sistematis dan berbasis data untuk perancangan troli barang ergonomis dalam konteks industri kecil menengah. Kontribusi dan temuan utama penelitian adalah sebagai berikut:

(1) Metode perancangan sistematis *French*, yang diterapkan melalui empat fase sekuensial dan didukung analisis lima domain BOK, menghasilkan rancangan troli yang secara teknis kokoh dan tervalidasi secara ergonomis, sesuai dengan kendala operasional IKM.

(2) Analisis antropometri terhadap 30 pekerja (uji kecukupan: $N' < 30$ untuk semua dimensi; perhitungan persentil: TSB P5 = 89,11 cm, LB P95 = 47,57 cm, DG P50 = 17,37 cm) menghasilkan spesifikasi dimensi yang mengakomodasi keragaman fisiologis populasi

pekerja. Tinggi handle 72 cm mencegah elevasi bahu dan fleksi batang tubuh selama tugas mendorong.

(3) Penilaian REBA pada empat postur tugas kritis menghasilkan skor risiko 2–5 (dapat diabaikan hingga sedang), mengindikasikan bahwa fitur desain ergonomis — handle miring, ketinggian yang sesuai, dan *stopper* roda yang dioperasikan kaki — secara efektif mengurangi risiko MSDs dibandingkan troli improvisasi semula.

(4) Analisis kelayakan ekonomi mengkonfirmasi kelayakan finansial: NPV = Rp2.486.767 (NPV > 0 pada tingkat diskonto 8%, umur ekonomis 5 tahun), ROI = 113%, dan Payback Period ≈11 bulan. Biaya manufaktur Rp707.400 lebih rendah 29,4% dari produk komersial sejenis.

Kerangka multi-BOK terpadu ini dapat ditransfer ke konteks perancangan alat bantu ergonomis IKM lainnya, terutama di mana keterbatasan anggaran menghalangi pengadaan alternatif komersial. Penelitian berikutnya disarankan untuk memvalidasi skor REBA melalui pengukuran empiris dengan prototipe terbangun, melakukan uji pengguna untuk mengkuantifikasi penghematan waktu aktual, dan menilai integritas struktural di bawah kondisi muatan maksimum.

E. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yuliana, L., Kurniawan, N.B.P., & Ramdan, M. (2025). Analisis Pengangkatan Material Secara Manual Terhadap Gangguan Muskuloskeletal pada Pekerja Gudang PT. Boga Kreasi Indah Balikpapan. *Identifikasi*, 11(2), 206–211.
- [2] 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.
- [3] Punnett, L., & Wegman, D.H. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 14(1), 13–23.
- [4] Iskandar, M.N., & Janari, D. (2021). Usulan Desain Troli Barang Menggunakan Pendekatan Antropometri dan Ergonomi Partisipatori. *Jurnal Industry Xplore*, 6(2), 1–12.
- [5] Nashida, A.A., Nuriyadi, D.A., Prameswari, N.S., Senthika, I.P., Rahma, Z.N., & Imran, R.A. (2024). Perancangan Troli Ergonomis sebagai Alat Bantu Angkut Karung dengan Quality Function Deployment pada Penggilingan Padi Sri Rezeki di Banyumas. *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, 8(1), 60–69.
- [6] Sudarmanto, F.P. (2024). Perancangan Troli Material Handling Menggunakan Sistem

Automatic Guide Vehicle (AGV) dengan Metode Perancangan VDI 2206 untuk PT. Autoplastik Indonesia. Skripsi, Politeknik Manufaktur Bandung.

- [7] International Labour Organization. (2012). *Manual Handling: A Small Business Guide*. ILO Publications.
- [8] Dempsey, P.G. (1998). A critical review of biomechanical, epidemiological, physiological and psychophysical criteria for designing manual materials handling tasks. *Ergonomics*, 41(1), 73–88.
- [9] Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205.
- [10] French, M.J. (1999). *Conceptual Design for Engineers*, 3rd ed. Springer.
- [11] Sumarta, D.M. (2022). Perancangan Mesin Pengupas Ceri Kopi Dengan Penggerak Mula Motor Listrik Menggunakan Metode French. *Sistemik: Jurnal Ilmiah Nasional Bidang Ilmu Teknik*, 10(2), 66–71.
- [12] Pheasant, S., & Haslegrave, C.M. (2018). *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work*, 3rd ed. CRC Press.
- [13] Diwantari, N.M.A., et al. (2025). Analisis Kelayakan Investasi Peralatan Produksi dengan Metode NPV dan Payback Period pada UMKM. *Jurnal Teknik Industri Unissula*, 3(1), 45–52.
- [14] Sapna, S., Ramadhan, I.C., & Margana, R.R. (2025). Analisis Kelayakan Investasi Mesin Menggunakan Metode NPV, IRR, dan Payback Period di Salah Satu UMKM Pabrik Roti di Bandung. *Industri Inovatif*, 15(1), 51–58.
- [15] Amalia, R., dkk. (2024). Evaluasi Ergonomi Aktivitas MMH di Industri Kecil Menengah. *Jurnal Ergonomi Indonesia*, 10(1), 15–23.
- [16] Zakaria, M., & Putri, D.A. (2022). Perancangan Ulang Troli Ergonomis pada Lingkungan Produksi. *Jurnal Teknik Industri*, 14(2), 88–97.
- [17] Syahdani, A., dkk. (2024). Product Design and Development in SMI: A Systematic Approach. *Indonesian Journal of Industrial Engineering*, 6(2), 112–121.
- [18] Nasution, H., dkk. (2026). Integration of Ergonomic Evaluation and Engineering Controls in SMI Risk Reduction. *Safety Science Journal Indonesia*, 4(1), 30–38.