



PAPER – **OPEN ACCESS**

ERGO-GENDONG: Redesain Alat Bantu Angkut Ergonomis bagi Buruh Gendong di Yogyakarta Menggunakan Pendekatan QFD dan TRIZ Terintegrasi

Author : Ahmad Arro'uf Sulfuadi, et al
DOI : 10.32734/ee.v9i2.2781
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 9 Issue 2 – 2026 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



ERGO-GENDONG: Redesain Alat Bantu Angkut Ergonomis bagi Buruh Gendong di Yogyakarta Menggunakan Pendekatan QFD dan TRIZ Terintegrasi

Ahmad Arro'uf Sulfuadi^{a*}, Rajab Bullah Anggara Nasution^a, Najma Tsakiba^a, Ferdian Anugrah Pratama^a, Dwi Adi Purnama^{a,b}

^aDepartemen Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang, Km. 14,5, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55584, Indonesia

^bDepartemen Manajemen Rekayasa, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang, Km. 14,5, Umbulmartani, Ngemplak, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55584, Indonesia

ahmad.sulfuadi@students.uui.ac.id, rajab.nasution@students.uui.ac.id, najma.tsakiba@students.uui.ac.id, ferdian.pratama@students.uui.ac.id, dwiadipurnama@uui.ac.id

Abstrak

Aktivitas pengangkutan beban berat oleh buruh gendong di Pasar Beringharjo, Yogyakarta, memiliki risiko ergonomi yang sangat tinggi karena postur kerja yang membungkuk ekstrem dan beban berlebih pada tulang belakang. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat bantu angkut ergonomis ERGO-GENDONG menggunakan integrasi metode *Quality Function Deployment* (QFD) dan *Theory of Inventive Problem Solving* (TRIZ). Data awal menunjukkan tingkat risiko postur kerja berada pada kategori kritis dengan skor REBA mencapai 11 dan persentase keluhan *Nordic Body Map* (NBM) sebesar 71,2%. Hasil pengolahan matriks QFD mengidentifikasi kebutuhan utama pengguna akan sistem penyangga punggung dan desain yang kompak, sementara metode TRIZ menyelesaikan kontradiksi teknis melalui prinsip *Anti-Weight*, *Dynamicity* dan *Composite Materials*. Desain final diimplementasikan menggunakan material ringan dengan mekanisme *parallel link* dan *coil spring* berdasarkan data antropometri responden. Proyeksi dampak menunjukkan bahwa ERGO-GENDONG mampu mengoreksi sudut pinggul dari 67° menjadi 0°–15° (postur netral), yang secara signifikan menurunkan beban kompresi pada diskus dan mereduksi skor REBA ke kategori risiko rendah (skor 2–4). Penelitian ini menyimpulkan bahwa intervensi teknologi *passive exoskeleton* efektif meningkatkan keselamatan kerja dan mengurangi risiko cedera muskuloskeletal pada pekerja sektor informal.

Kata Kunci: Buruh Gendong; Ergonomi; QFD; REBA; TRIZ

Abstract

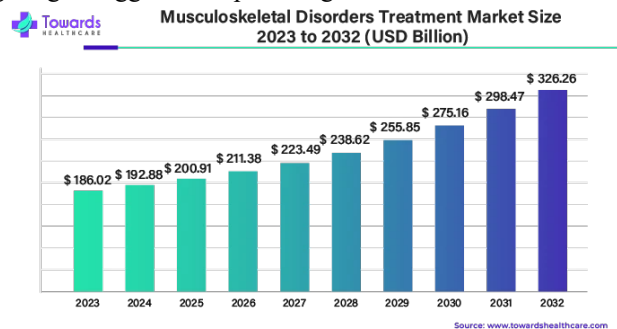
Heavy load transmission activities by porters at Beringharjo Market, Yogyakarta, have very high ergonomic risks due to extreme bending work postures and excessive load on the spine. This study aims to design an ergonomic lifting aid ERGO-GENDONG using the integration method of *Quality Function Deployment* (QFD) and *Theory of Inventive Problem Solving* (TRIZ). Initial data shows that the level of risk of work posture is in the critical category with a REBA score of 11 and a percentage of *Nordic Body Map* (NBM) complaints of 71.2%. The results of the QFD matrix processing identify the main needs of users for a back support system and a compact design, while the TRIZ method solves technical fossils through the principles of *Anti-Weight*, *Dynamicity* and *Composite Materials*. The final project design is implemented using lightweight materials with *parallel link* and *coil spring* mechanisms based on respondents' anthropometric data. Impact projections showed that ERGO-GENDONG was able to measure the hip angle from 67° to 0°–15° (neutral posture), which significantly reduced the compression load on the disc and reduced the REBA score to the low-risk category (score 2–4). This study concluded that passive exoskeleton technology intervention was effective in improving occupational safety and reducing the risk of musculoskeletal injuries in informal sector workers.

Keywords: Ergonomics; Porters; QFD; REBA; TRIZ

1. Latar Belakang

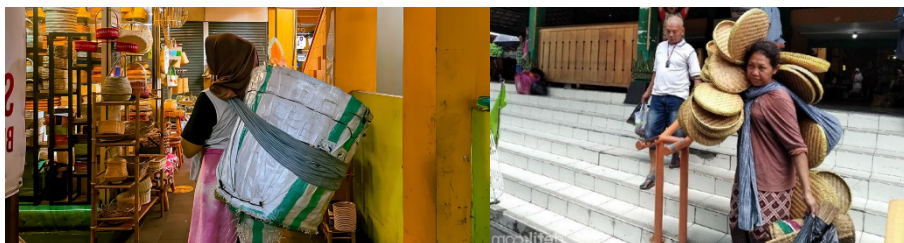
Pasar tradisional merupakan pusat aktivitas ekonomi yang sangat dinamis, namun sekaligus menjadi ruang kerja dengan intensitas *manual material handling* (MMH) yang sangat tinggi dan berisiko. Dalam tinjauan ergonomi makro dan biomekanika

kerja, aktivitas dasar MMH yang meliputi proses mengangkat, membawa, menarik, menahan, dan memindahkan beban secara manual, diakui sebagai kontributor utama dan faktor risiko paling signifikan terhadap kemunculan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) akibat kerja [1]. Penyakit akibat kerja ini umumnya dimanifestasikan dalam bentuk nyeri kronis pada punggung bawah (*low back pain*), kelelahan otot bahu, hingga cedera pada persendian anggota gerak atas dan bawah [2]. Secara fisiologis, risiko mikrotrauma pada jaringan otot dan tulang rawan belakang akan meningkat secara eksponensial ketika sebuah pekerjaan dilakukan di bawah kombinasi kondisi yang memberatkan, beban angkut yang melampaui batas aman kompresi tulang belakang, frekuensi pengulangan yang masif, durasi paparan yang panjang tanpa waktu pemulihan yang memadai, serta postur tubuh yang canggung (*awkward posture*) [3]. Literatur kontemporer menegaskan bahwa pekerja yang secara terus-menerus terpapar postur non-netral seperti membungkuk ekstrem, memutar batang tubuh secara asimetris, dan menahan beban berat dalam keadaan statis maupun dinamis, memiliki kerentanan yang sangat tinggi terhadap disfungsi muskuloskeletal akut maupun kronis [4].



Gambar 1. Peningkatan Proyeksi MSDs Global

Menyempit pada konteks lokal di Pasar Beringharjo, Yogyakarta, kelancaran ekosistem distribusi barang dari area bongkar muat ke kios-kios pedagang sangat bergantung pada tenaga buruh gendong. Terdapat kompleksitas sosial-ekonomi dan ergonomi yang saling beririsan pada buruh gendong di Beringharjo, yang secara demografis didominasi oleh perempuan paruh baya hingga lansia, berasal dari kelompok masyarakat prasejahtera, dan menjadikan kekuatan fisik mereka sebagai satu-satunya modal kapital untuk bertahan hidup [5]. Berbeda dengan pekerja angkut di sektor industri modern yang terstandardisasi, buruh gendong menghadapi lingkungan fisik yang tidak menentu dan sangat menantang. Mereka harus memindahkan barang dengan variasi berat, bentuk, dan dimensi yang sangat fluktuatif, mulai dari karung sayur hingga kotak barang kelontong, melewati topografi pasar yang memiliki banyak undakan, lorong yang sangat sempit, serta kondisi kepadatan pengunjung yang tinggi. Untuk mempertahankan keseimbangan saat membawa beban berat dengan menggunakan selendang kain tradisional, para buruh secara tidak sadar mengadopsi postur kerja kompensatori yang sangat buruk, seperti mencondongkan tubuh jauh ke depan atau memiringkan pinggul secara tidak wajar [6]. Ritme kerja berbasis upah borongan memaksa mereka mengabaikan batas toleransi kelelahan fisik, sehingga mengeskalasi risiko cedera otot-rangka parah yang pada akhirnya dapat mengancam keberlanjutan mata pencaharian mereka.



Gambar 2. Fenomena Buruh Gendong

Dalam ranah keilmuan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), sejumlah intervensi ergonomi dan solusi *existing* sejatinya telah diusulkan untuk mereduksi bahaya MMH. Rekomendasi standar seperti panduan teknik pengangkatan ergonomis dari NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), penerapan rotasi kerja, hingga introduksi alat bantu mekanik seperti troli dorong, lori, atau kereta angkut beroda telah umum dipraktikkan [7]. Namun, evaluasi kritis menunjukkan bahwa solusi-solusi konvensional tersebut mengalami kegagalan implementasi jika dihadapkan pada realitas spasial dan kultural di Pasar Beringharjo. Troli standar dan lori tidak mampu bermanuver di lorong pasar yang sempit, berdesakan, dan memiliki banyak perbedaan elevasi (tangga). Di sisi lain, alat bantu angkut *wearable* modern yang ada di pasaran umumnya dirancang terlalu berat, memiliki mekanisme pemakaian yang rumit dan memakan waktu, berharga mahal, serta tidak adaptif terhadap perubahan cepat dimensi beban [8]. Akibat ketiadaan alat bantu yang benar-benar kontekstual, buruh gendong terus mempertahankan metode menggondong tradisional dengan selendang, sebuah praktik yang meskipun efisien secara waktu namun sangat destruktif bagi anatomi tubuh mereka dalam jangka panjang.

Berangkat dari urgensi dan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengusulkan ERGO-GENDONG, sebuah inisiatif redesain alat bantu angkut ergonomis yang dikustomisasi secara spesifik untuk mengakomodasi karakteristik kerja dan batasan lingkungan buruh gendong di Yogyakarta. Perancangan inovatif ini akan dikembangkan melalui kerangka kerja terintegrasi antara metode *Quality Function Deployment* (QFD) dan *Theory of Inventive Problem Solving* (TRIZ). Pendekatan QFD fase pertama (*House of Quality*) akan diimplementasikan untuk menangkap *Voice of Customer* yaitu kebutuhan subjektif buruh gendong akan alat yang ringan, praktis, murah, dan secara kultural dapat diterima lalu menerjemahkannya ke dalam parameter spesifikasi teknis dan karakteristik rekayasa yang terukur. Mengingat sering kali muncul konflik dalam spesifikasi teknis tersebut, misalnya kebutuhan alat untuk menahan beban yang sangat berat membutuhkan material tebal dan kaku, hal tersebut berkontradiksi dengan kebutuhan alat agar tetap ringan dan tipis untuk melewati lorong sempit. Metode TRIZ kemudian diintegrasikan melalui penggunaan *Contradiction Matrix* dan *Inventive Principles* dari TRIZ. Penelitian ini akan mengeliminasi kompromi teknis tersebut, sehingga mampu melahirkan alternatif rancangan konseptual yang kuat, ringkas, ergonomis, dan tidak membebani pekerja.

Untuk memastikan bahwa desain yang dihasilkan memiliki validitas yang kuat dan berbasis data (*data-driven*), penelitian ini akan diawali dengan pengukuran kuantitatif dan kualitatif langsung di lapangan. Investigasi keluhan subjektif sistem otot-rangka akan dipetakan secara presisi menggunakan instrumen *Nordic Body Map* (NBM), sementara objektivikasi tingkat risiko postur kerja dinamis selama aktivitas angkut akan dinilai menggunakan metode *Rapid Entire Body Assessment* (REBA). Selain itu, data antropometri Buruh Gendong akan dikumpulkan untuk memastikan kesesuaian dimensi produk dengan ukuran tubuh pengguna, guna mengoptimalkan distribusi beban biomekanik. Data komprehensif dari evaluasi ergonomi ini akan menjadi input utama dalam proses iterasi desain QFD dan TRIZ. Dampak dari implementasi penelitian ERGO-GENDONG ini diharapkan tidak hanya menghasilkan purwarupa alat yang aman, nyaman, dan stabil, tetapi juga secara esensial mampu memperbaiki kinematika postur kerja, menurunkan prevalensi penyakit akibat kerja, serta secara tidak langsung meningkatkan martabat, keselamatan, dan ketahanan ekonomi kelompok buruh gendong perempuan marjinal di Pasar Beringharjo.

2. Metode

2.1. MSDs

Musculoskeletal disorders (MSDs) merupakan gangguan pada sistem otot, sendi, tendon, ligamen, dan jaringan penunjang lainnya yang dapat timbul akibat aktivitas kerja yang dilakukan secara berulang, pembebanan berlebih, serta postur kerja yang tidak alamiah dalam waktu yang lama [9]. Dalam konteks penelitian ini, risiko MSDs menjadi sangat relevan karena aktivitas buruh gendong melibatkan proses mengangkat, menahan, dan membawa beban secara manual dengan variasi berat yang tinggi, frekuensi kerja yang berulang, serta kondisi postur yang cenderung tidak netral, seperti membungkuk, memutar tubuh, dan menumpukan beban pada bagian tubuh tertentu. Kondisi tersebut dapat meningkatkan keluhan pada beberapa bagian tubuh, terutama punggung bawah, bahu, leher, dan lengan, yang pada akhirnya memengaruhi kenyamanan, keamanan, dan kemampuan kerja buruh gendong

2.2. REBA

Rapid Entire Body Assessment (REBA) merupakan metode penilaian ergonomi yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat risiko postur kerja berdasarkan posisi tubuh saat bekerja, terutama pada bagian leher, punggung, lengan, pergelangan tangan, dan kaki, serta mempertimbangkan faktor beban, jenis genggam, dan aktivitas kerja yang dilakukan [10]. Dalam penelitian ini, REBA relevan digunakan karena aktivitas buruh gendong melibatkan postur kerja yang cenderung tidak netral, seperti membungkuk, menahan beban di punggung, dan berjalan sambil membawa barang dalam kondisi ruang gerak yang terbatas, sehingga berpotensi menimbulkan risiko ergonomi yang tinggi. Penggunaan metode REBA dapat membantu menggambarkan seberapa besar tingkat bahaya dari postur kerja tersebut secara sistematis, sehingga hasil penilaian dapat menjadi dasar dalam mengevaluasi kondisi kerja buruh gendong dan menentukan kebutuhan perbaikan desain alat bantu angkut yang lebih ergonomis

2.3. Antropometri

Antropometri merupakan ilmu yang mempelajari dimensi tubuh manusia dan pemanfaatannya dalam perancangan produk maupun fasilitas kerja agar sesuai dengan karakteristik fisik pengguna [11]. Dalam penelitian ini, data antropometri menjadi penting karena perancangan alat bantu angkut untuk buruh gendong tidak dapat dilakukan secara umum, melainkan harus disesuaikan dengan ukuran tubuh pengguna agar alat yang dihasilkan nyaman digunakan, tidak mengganggu gerak, serta mampu membantu distribusi beban kerja dengan lebih baik. Penerapan antropometri dalam perancangan ergonomis memungkinkan penentuan dimensi produk yang lebih tepat, seperti ukuran panjang, lebar, tinggi, maupun titik tumpu alat, sehingga produk yang dirancang dapat lebih selaras dengan kemampuan dan postur tubuh buruh gendong

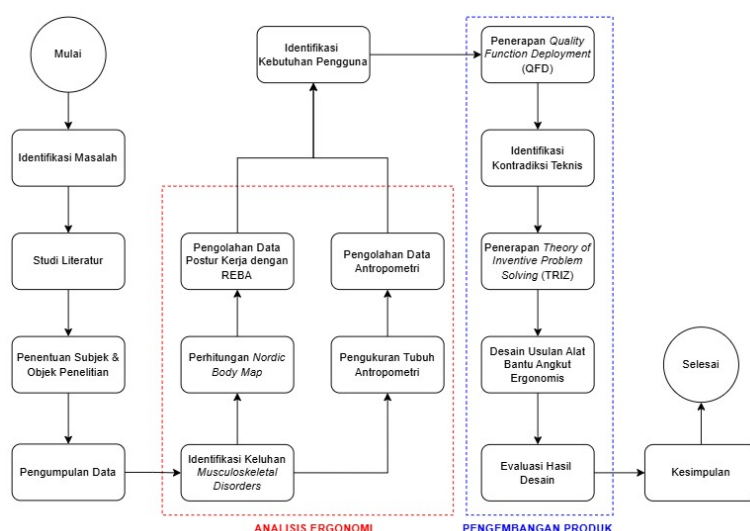
2.4. QFD

Quality Function Deployment (QFD) merupakan metode perancangan yang digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan dan keinginan pengguna ke dalam karakteristik teknis produk secara sistematis, sehingga produk yang dikembangkan tidak hanya memenuhi fungsi utama, tetapi juga sesuai dengan harapan pengguna [12]. Dalam penelitian ini, QFD relevan digunakan karena perancangan alat bantu angkut untuk buruh gendong perlu diawali dengan identifikasi kebutuhan nyata pengguna, seperti alat yang ringan, nyaman, aman, praktis digunakan, serta mampu menyesuaikan dengan kondisi kerja di lingkungan pasar yang sempit dan dinamis. Melalui QFD, suara pengguna dapat diolah menjadi atribut teknis yang lebih terukur sebagai dasar penyusunan spesifikasi desain, sehingga proses pengembangan produk menjadi lebih terarah dan berorientasi pada kebutuhan lapangan.

2.5. TRIZ

Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ) merupakan metode pemecahan masalah inventif yang digunakan untuk membantu proses perancangan ketika terdapat kontradiksi atau konflik antar tujuan desain, sehingga perancang tidak hanya memilih kompromi, tetapi dapat mencari solusi yang lebih inovatif [13]. Dalam penelitian ini, TRIZ relevan digunakan karena perancangan alat bantu angkut untuk buruh gendong berpotensi menghadapi berbagai pertentangan kebutuhan, misalnya alat harus cukup kuat untuk menahan beban, tetapi tetap ringan, mudah digunakan, dan tidak membatasi gerak di area pasar yang sempit. Melalui pendekatan TRIZ, konflik-konflik tersebut dapat diidentifikasi secara lebih sistematis, kemudian diarahkan pada prinsip-prinsip penyelesaian yang mampu menghasilkan alternatif desain yang lebih efektif dan kreatif.

2.6. Flowchart



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Alur penelitian dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur, kemudian dilanjutkan dengan penentuan subjek serta objek penelitian dan pengumpulan data di lapangan. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis pada tahap ergonomi melalui identifikasi keluhan *musculoskeletal disorders*, perhitungan *Nordic Body Map*, analisis postur kerja menggunakan REBA, serta pengukuran dan pengolahan data antropometri untuk mengetahui kondisi fisik dan kebutuhan pengguna. Hasil analisis tersebut kemudian menjadi dasar identifikasi kebutuhan buruh gendong, yang selanjutnya diterjemahkan ke dalam spesifikasi teknis dengan metode *Quality Function Deployment* (QFD), lalu disempurnakan melalui TRIZ untuk menyelesaikan kontradiksi teknis dalam desain. Tahap akhir penelitian adalah menghasilkan desain usulan alat bantu angkut ergonomis, melakukan evaluasi hasil desain, dan menarik kesimpulan penelitian.

3. Hasil & Pembahasan

3.1. Analisis Postur Kerja

Untuk memahami besaran risiko ergonomi yang dihadapi oleh buruh gendong di Pasar Beringharjo, dilakukan pengukuran sudut postur tubuh terhadap lima responden saat melakukan aktivitas pengangkutan beban maksimal. Data sudut kinematika tubuh ini dikumpulkan guna mengidentifikasi segmen tubuh yang mengalami deviasi paling ekstrem dari posisi netral, sebagaimana dirangkum dalam tabel di bawah ini.

Tabel 1. Sudut Tubuh Sampel Responden

No	Segmen Tubuh	Sudut				
		Responden 1	Responden 2	Responden 3	Responden 4	Responden 5
1	Pinggul	53°	67°	52°	42°	30°
2	Leher	29°	19°	26°	23°	22°
3	Bahu	36°	65°	84°	85°	94°
4	Siku	18°	69°	70°	72°	57°
5	Lutut	13°	8°	7°	9°	6°
6	Pergelangan Tangan	32°	22°	27°	24°	30°

Data pada tabel di atas menunjukkan bahwa mayoritas responden bekerja dengan sudut pinggul dan bahu yang jauh melampaui batas posisi netral, dengan nilai tertinggi masing-masing mencapai 67° dan 94°. Tingginya sudut pada segmen pinggul mengonfirmasi adanya postur membungkuk yang ekstrem (*extreme trunk flexion*), yang secara biomekanika meningkatkan beban kompresi pada tulang belakang dan menjadi justifikasi utama perlunya intervensi.

Tabel 2. Level of Complaints

No	Location	Level of Complaints							
		A		B		C		D	
		Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
0	Upper neck/ Atas leher	0	0%	4	400%	1	100%	0	0%
1	Lower neck/ Bawah leher	0	0%	3	300%	2	200%	0	0%
2	Left shoulder/ Kiri bahu	0	0%	0	0%	2	200%	3	300%
3	Right shoulder/ Kanan bahu	0	0%	1	100%	1	100%	3	300%
4	Left upper arm/ Kiri atas lengan	0	0%	3	300%	2	200%	0	0%
5	Back/ Punggung	0	0%	0	0%	3	300%	2	200%
6	Right upper arm/ Kanan atas lengan	0	0%	4	400%	1	100%	0	0%
7	Waist/ Pinggang	0	0%	0	0%	2	200%	3	300%
8	Buttock/ Pantat	0	0%	5	500%	0	0%	0	0%
9	Bottom/ Bagian bawah pantat	0	0%	5	500%	0	0%	0	0%
10	Left elbow/ Kiri siku	0	0%	3	300%	1	100%	1	100%
11	Right elbow/ Kanan siku	0	0%	3	300%	2	200%	0	0%
12	Left lower arm/ Kiri lengan bawah	0	0%	5	500%	0	0%	0	0%
13	Right lower arm / Kanan lengan bawah	0	0%	5	500%	0	0%	0	0%
14	Left wrist/ Pergelangan tangan Kiri	0	0%	5	500%	0	0%	0	0%
15	Right wrist/ Pergelangan tangan Kanan	0	0%	5	500%	0	0%	0	0%
16	Left hand/ Tangan Kiri	1	100%	4	400%	0	0%	0	0%
17	Right hand/ Tangan Kanan	1	100%	4	400%	0	0%	0	0%
18	Left thigh/ Paha Kiri	0	0%	0	0%	4	400%	1	100%
19	Right thigh/ Paha Kanan	0	0%	1	100%	4	400%	0	0%
20	Left knee/ Lutut Kiri	0	0%	3	300%	0	0%	2	200%
21	Right knee/ Lutut Kanan	0	0%	3	300%	1	100%	1	100%
22	Left calf/ Betis Kiri	0	0%	0	0%	5	500%	0	0%
23	Right calf/ Betis Kanan	0	0%	1	100%	4	400%	0	0%
24	Left ankle/ Pergelangan kaki Kiri	0	0%	4	400%	1	100%	0	0%
25	Right ankle/ Pergelangan kaki Kanan	0	0%	4	400%	1	100%	0	0%
26	Left foot/ kakikiri	0	0%	4	400%	0	0%	1	100%
27	Right foot/ kaki kanan	0	0%	4	400%	0	0%	1	100%

Tabel 3. Skor Level of Complaints

Level of Complaints	Keterangan	Skor	Total
A	Tidak Sakit	1	2
B	Sedikit Sakit	2	81
C	Sakit	3	36
D	Sangat Sakit	4	21

Berdasarkan data pada tabel NBM di atas, terdapat pola keluhan yang sangat signifikan pada beberapa segmen tubuh utama. Keluhan dengan intensitas 'Sangat Sakit' (Level D) terpusat pada area bahu (Kiri & kanan), punggung, dan pinggang dengan persentase tertinggi mencapai 300% (akumulatif poin frekuensi). Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi beban saat ini sepenuhnya bertumpu pada tulang belakang dan sendi bahu, yang berisiko tinggi menyebabkan cedera degeneratif. Selain itu, tingginya total skor pada level 'Sedikit Sakit' (81 poin) dan 'Sakit' (36 poin) yang tersebar dari leher hingga kaki menunjukkan bahwa kelelahan fisik yang dialami buruh gendong bersifat menyeluruh (*generalized fatigue*). Temuan ini memperkuat urgensi untuk segera mengalihkan titik tekan beban ke area yang lebih stabil guna mereduksi tingkat keluhan tersebut. Berikut ini merupakan perhitungan dari *Nordic Body Map*:

$$\frac{\text{Jumlah komplain pada setiap level}}{\text{Jumlah responden}} \times 100\% = \frac{(2.1) + (81.2) + (36.3) + (21.4)}{5} \times 100\% = 71,2\%$$

Tabel 4. Tingkat Risiko Skor NBM

Tingkat Aksi	Total Skor Individu	Tingkat Risiko	Tindakan Perbaikan
1	28 - 49	Rendah	Belum diperlukan adanya tindakan perbaikan
2	50 - 70	Sedang	Mungkin diperlukan tindakan kemudian hari
3	71 - 91	Tinggi	Diperlukan tindakan segera
4	91-112	Sangat Tinggi	Diperlukan tindakan menyeluruh sesegera mungkin

Berdasarkan hasil perhitungan skor kolektif yang mengacu pada frekuensi komplain di setiap level rasa sakit, diperoleh nilai rata-rata persentase keluhan sebesar 71,2%. Jika nilai tersebut dikonversi ke dalam tabel klasifikasi tingkat risiko, maka kondisi kerja buruh gendong saat ini berada pada Tingkat Aksi 3, yang dikategorikan sebagai tingkat risiko tinggi. Hal ini menunjukkan adanya korelasi kuat antara postur kerja yang buruk dengan manifestasi rasa sakit fisik yang dirasakan pekerja secara nyata. Berada pada Tingkat Aksi 3 memberikan indikasi medis dan ergonomis bahwa 'Diperlukan tindakan segera' berupa intervensi desain. Tanpa adanya alat bantu yang mampu meredistribusi beban angkut, risiko ini akan terus meningkat menuju Tingkat Aksi 4 (Sangat Tinggi) yang berpotensi menyebabkan cacat permanen atau hilangnya kemampuan kerja buruh gendong secara total.

Tabel 5. Skor REBA

Responden	Posture Score A	Force/Load	Score A	Posture Score B	Coupling	Score B	Table C	Activity	Final Score REBA	Kategori Risiko
Responden 1	5	2	7	6	2	8	10	1	11	Very High Risk
Responden 2	3	2	5	6	2	8	8	1	9	High Risk
Responden 3	5	2	7	6	2	8	10	1	11	Very High Risk
Responden 4	4	2	6	6	2	8	9	1	10	High Risk
Responden 5	4	2	6	7	2	9	10	1	11	Very High Risk

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode REBA pada tabel di atas, terlihat profil risiko yang sangat kritis pada sampel responden. Nilai *Final Score* REBA berada pada rentang skor 9 hingga 11, di mana mayoritas responden menyentuh skor tertinggi yaitu 11. Secara metodologis, skor dalam kategori 'Very High Risk' mengindikasikan bahwa postur kerja yang dilakukan saat ini sangat berbahaya bagi integritas struktur otot-rangka dan memerlukan tindakan perbaikan segera (*action now*). Tingginya skor ini didominasi oleh kontribusi *Posture Score B* yang merepresentasikan deviasi ekstrem pada punggung, lengan, dan pergelangan tangan, serta didukung oleh *Force/Load* yang besar. Temuan ini memberikan bukti kuantitatif yang tak terbantahkan bahwa metode gendong tradisional tidak lagi memadai dan secara medis berpotensi menimbulkan cedera permanen. Oleh karena

itu, hasil REBA ini menjadi landasan kuat bagi perancangan alat bantu untuk mengintervensi postur kerja pengguna agar kembali ke rentang skor risiko rendah melalui koreksi posisi punggung dan distribusi beban yang lebih merata.

3.2. Penentuan Ukuran Tubuh

Dalam upaya menghasilkan rancangan alat bantu yang presisi dan mampu mengakomodasi variabilitas dimensi tubuh pengguna, dilakukan pengambilan data antropometri terhadap 40 responden buruh gendong. Pengukuran difokuskan pada dimensi tubuh yang berkorelasi langsung dengan komponen alat bantu, seperti Lebar Pinggul (LP), Panjang Lengan Atas (PLA), Tinggi Bahu Berdiri (TBB), dan Lebar Bahu (LBA). Data mentah hasil pengukuran tersebut disajikan secara ringkas pada tabel di bawah ini sebagai dasar penentuan persentil desain.

Tabel 6. Sampel Responden Antropometri

Name	Gender	Age	LP	PLA	TBB	LBA
Responden 1	P	81	20	18	32	30
Responden 2	L	75	32	34	58	42
Responden 3	P	68	35	30	52	36
Responden 4	L	82	30	33	55	40
Responden 5	P	70	38	29	50	35
...	...	...	...	...	...	...
Responden 40	L	72	35	35	60	43

Tabel di atas merepresentasikan keragaman fisik buruh gendong, dengan rentang usia responden yang didominasi oleh kelompok lansia. Data dimensi tubuh yang terkumpul ini selanjutnya diproses secara statistik untuk menentukan nilai Persentil 5, 50, dan 95. Penentuan persentil tersebut sangat krusial dalam tahap perancangan alat bantu, misalnya, data Lebar Bahu (LBA) akan digunakan untuk menentukan jarak antar-*strap*, sementara Lebar Pinggul (LP) akan menjadi acuan dalam menentukan dimensi *hip belt*. Dengan basis data antropometri ini, produk yang dihasilkan diproyeksikan memiliki tingkat kecocokan (*fit*) yang tinggi bagi mayoritas buruh gendong, sehingga dapat meminimalisir risiko cedera akibat ketidaksesuaian dimensi alat dengan tubuh pengguna.

Tabel 7. Uji Normalitas Data

Tests of Normality						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
LP	0,105	40	.200*	0,911	40	0,004
PLA	0,105	40	.200*	0,885	40	0,001
TBB	0,086	40	.200*	0,897	40	0,002
LBA	0,114	40	.200*	0,971	40	0,388

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Berdasarkan hasil uji normalitas pada tabel di atas, fokus analisis diarahkan pada kolom Kolmogorov-Smirnov mengingat jumlah sampel yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh variabel antropometri (LP, PLA, TBB, dan LBA) memiliki nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,200. Karena nilai signifikansi tersebut jauh lebih besar dari taraf nyata, maka dapat disimpulkan bahwa H_0 diterima, yang berarti seluruh data antropometri buruh gendong berdistribusi normal. Temuan ini memberikan validitas statistik yang kuat bagi tahapan penelitian selanjutnya. Dengan terbuktinya normalitas data, penentuan nilai persentil (5th, 50th, dan 95th) untuk dimensi alat bantu dapat dilakukan menggunakan pendekatan statistik parametrik. Hal ini menjamin bahwa spesifikasi teknis alat bantu yang dirancang nantinya benar-benar akurat dalam mewakili proporsi tubuh populasi buruh gendong secara ilmiah.

Tabel 8. Perhitungan Persentil

	LP	PLA	TBB	LBA
SB	3,673469	3,295451	5,385165	4,108223
P5	28,38214	25,77898	44,6414	31,59197
P50	34,425	31,2	53,5	38,35
P95	40,46786	36,62102	62,3586	45,10803

Tabel 9. Allowance

LP	PLA	TBB	LBA
2	2	2	2

Tabel 10. Penentuan Ukuran

LP	PLA	TBB	LBA
42,47	33,20	46,64	47,11

Tabel di atas menyajikan hasil perhitungan nilai persentil yang menjadi parameter utama dalam penentuan dimensi fisik alat bantu. Berdasarkan prinsip ergonomi, pemilihan persentil dilakukan secara selektif untuk menjamin kenyamanan pengguna maksimal. Sebagai contoh, untuk dimensi Lebar Pinggul (LP) dan Lebar Bahu (LBA), digunakan nilai Persentil 95 (P95) guna memastikan alat tetap mampu mengakomodasi pekerja dengan postur tubuh besar tanpa menimbulkan himpitan. Sebaliknya, pada dimensi Tinggi Bahu Berdiri (TBB), penggunaan Persentil 5 (P5) menjadi acuan agar alat bantu tetap dapat dijangkau dan digunakan secara nyaman oleh pekerja dengan postur tubuh yang paling kecil. Baris terakhir pada tabel menunjukkan dimensi akhir produk yang telah diintegrasikan dengan *allowance* (kelonggaran) sebesar 2 cm. Penambahan *allowance* ini dilakukan untuk mengakomodasi penggunaan pakaian, ruang gerak dinamis saat berjalan, serta toleransi pemasangan komponen bantalan (*padding*). Dengan ditetapkannya dimensi final seperti Lebar Pinggul 42,47 cm dan Lebar Bahu 47,11 cm, rancangan alat bantu secara teoritis telah memenuhi standar *fitment* antropometri bagi buruh gendong di Yogyakarta, sehingga dapat dipastikan bahwa alat bantu ini akan memberikan distribusi beban yang stabil dan meminimalisir tekanan berlebih pada titik-titik sensitif tubuh.

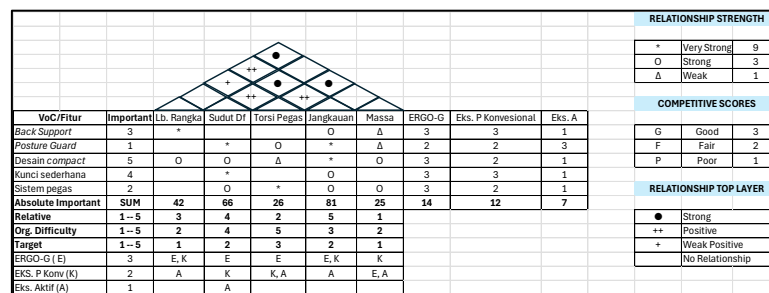
3.3. Desain Produk

Tahap awal perancangan dengan metode *Quality Function Deployment* (QFD) dimulai dengan melakukan identifikasi kebutuhan pengguna guna memastikan produk yang dihasilkan bersifat *user-centered*. Melalui proses wawancara mendalam dan observasi terhadap aktivitas buruh gendong, didapatkan sejumlah atribut keinginan pengguna yang dikategorikan sebagai *Voice of Customer* (VoC). Atribut-atribut ini mencakup aspek fungsionalitas, kemudahan penggunaan, hingga spesifikasi teknis yang diharapkan mampu menyelesaikan kendala fisik di lapangan, sebagaimana dirangkum dalam tabel berikut.

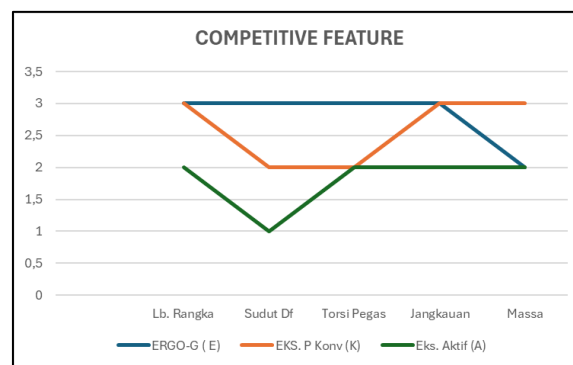
Tabel 11. *Voice of Customer*

No.	<i>Voice of Customer</i>
1.	Mebutuhkan mekanisme <i>Back Support</i>
2.	Mebutuhkan Struktur Penjaga Postur yang beresistensi
3.	Desain rangka luar harus <i>Slim/Compact</i>
4.	Sistem penguncian harus sederhana
5.	Menggunakan Sistem Pegas atau Gas Strut

Tabel VoC di atas menunjukkan bahwa fokus utama pengguna adalah pada mekanisme perlindungan tulang belakang (*Back Support*) dan penjagaan postur yang memiliki resistensi terhadap beban berat. Aspirasi mengenai desain yang *Slim* atau *Compact* menjadi temuan krusial, mengingat batasan ruang gerak di lorong Pasar Beringharjo yang sempit. Selain itu, adanya keinginan penggunaan sistem pegas atau *gas strut* mengindikasikan kebutuhan akan teknologi yang dapat membantu meredam kejutan serta meringankan beban saat proses pengangkatan berlangsung. Kelima poin VoC ini selanjutnya akan diterjemahkan ke dalam parameter teknis pada matriks *House of Quality* (HoQ) untuk menentukan karakteristik rekayasa yang paling prioritas.



Gambar 4. House of Quality



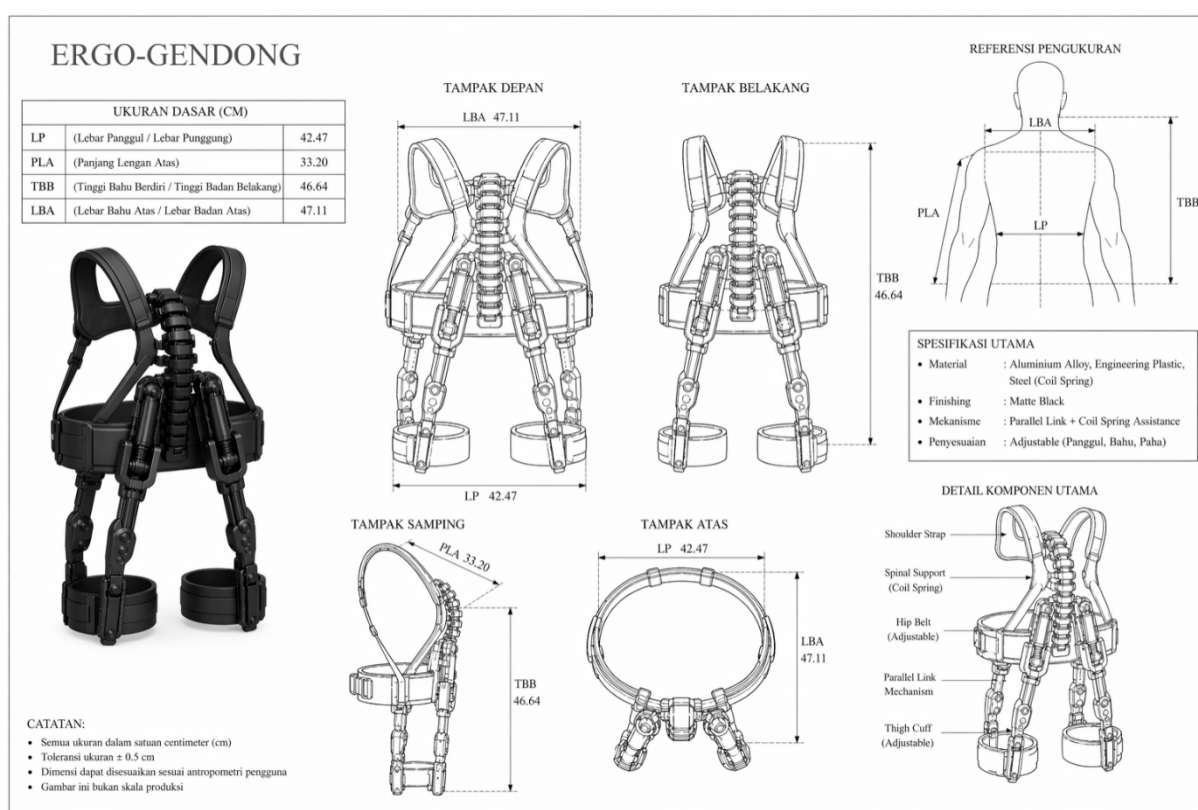
Gambar 5. Fitur Kompetitif

Berdasarkan matriks HoQ di atas, dapat dilakukan analisis mendalam terhadap prioritas pengembangan produk. Parameter 'Jangkauan' dan 'Sudut Df' muncul sebagai respon teknis dengan nilai *Absolute Importance* tertinggi (masing-masing 81 dan 66). Hal ini menunjukkan bahwa fleksibilitas alat dalam mengakomodasi pergerakan tubuh buruh saat membawa beban adalah aspek teknis paling kritis. Analisis pada bagian 'atap' HoQ (korelasi teknis) menunjukkan adanya korelasi positif kuat (++) antara Torsi Pegas dengan Sudut Df, namun terdapat potensi kontradiksi teknis pada parameter massa dan dimensi rangka jika tidak dikelola dengan baik. Selain itu, pada bagian *Competitive Scores*, alat bantu harus secara konsisten mengungguli eksistensi alat konvensional pada hampir seluruh atribut, terutama pada sistem penguncian dan implementasi sistem pegas. Temuan dari matriks HoQ ini menjadi *input* utama bagi alur TRIZ untuk menyelesaikan hambatan teknis yang teridentifikasi, sehingga menghasilkan desain yang tidak hanya unggul di atas kertas, namun juga andal secara fungsional.

Tabel 12. Aplikasi TRIZ

No.	Aspect	Reason	Contradiction	TRIZ	Principle	Solution
1	Power	Desire	Meningkatkan bantuan daya angkat beban	40	Composite Materials	Carbon Fiber for Torque
		Worst	Materialnya semakin tebal dan berat			
2	Stability	Desire	Ingin mengunci postur agar tetap tegak	15	Dynamicity	Wrist Belt Installation
		Worst	Buruh semakin sulit bergerak lincah			
3	Power	Desire	Ingin alat bisa diatur untuk semua ukuran tubuh	8	Anti-Weight	Rubber Material for Body Contact
		Worst	Semakin rumit dan lambat untuk dipakai/dilepas			

Tabel di atas memaparkan bagaimana tiga aspek kritis *Power*, *Stability*, dan integrasi sistem diselesaikan menggunakan prinsip TRIZ. Pada kontradiksi pertama, penggunaan *Principle 40 (Composite Materials)* melalui pemilihan *carbon fiber* menjadi solusi cerdas untuk mendapatkan daya angkat beban yang tinggi tanpa menambah massa alat. Selanjutnya, penerapan *Principle 15 (Dynamicity)* pada aspek stabilitas memungkinkan alat untuk menjaga postur tubuh tetap tegak namun tetap fleksibel mengikuti pergerakan buruh melalui instalasi sabuk fungsional. Terakhir, penggunaan *Principle 8 (Anti-Weight)* dengan material karet pada titik kontak tubuh memastikan alat bersifat *adjustable* dan nyaman tanpa menambah kerumitan mekanisme pakai. Integrasi ketiga prinsip TRIZ ini secara langsung memberikan *novelty* pada desain ERGO-GENDONG, menjadikannya alat bantu yang ringan, stabil, dan adaptif bagi kebutuhan spesifik buruh gendong di Yogyakarta.



Gambar 6. Desain ERGO-GENDONG

Integrasi desain yang divisualisasikan dalam gambar teknik tersebut membuktikan keberhasilan transformasi data kebutuhan buruh gendong menjadi sebuah solusi nyata berupa sistem *passive exoskeleton* yang sangat adaptif dan ergonomis. Melalui penerapan *Principle 15 (Dynamicity)* dari TRIZ, penggunaan mekanisme *Parallel Link* dan *Coil Spring* secara cerdas memberikan dukungan dinamis yang mampu meredam kejut serta memberikan bantuan daya angkat, sementara komponen *Spinal Support* bekerja sebagai penjaga postur (*Posture Guard*) yang mengoreksi sudut pinggul ekstrem kembali ke rentang netral guna meminimalisir gaya kompresi pada diskus. Dimensi alat yang telah disesuaikan dengan data antropometri persentil spesifik, mulai dari *Shoulder Strap* hingga *Thigh Cuff*, menjamin adanya distribusi beban multititik yang seimbang sehingga tidak lagi bertumpu hanya pada pundak, melainkan dialihkan ke struktur tulang panggul dan paha yang lebih kuat. Secara keseluruhan, rancangan ini secara teknis mampu memenuhi kriteria desain *slim* dan *compact* untuk operasional di lorong pasar yang sempit, sekaligus memberikan kebaruan (*novelty*) dalam bentuk perlindungan ergonomi menyeluruh yang secara teoretis diproyeksikan dapat menurunkan tingkat risiko cedera muskuloskeletal buruh gendong perempuan secara signifikan.

3.4. Proyeksi

Guna memvalidasi efektivitas purwarupa secara teoretis dan metodologis, disusun sebuah tabel proyeksi dampak yang menyandingkan parameter ergonomi pada kondisi eksisting dengan estimasi hasil setelah implementasi alat bantu. Tabel di bawah ini merangkum transformasi variabel kritis yang menjadi indikator keberhasilan desain dalam mereduksi risiko cedera muskuloskeletal pada buruh gendong, sekaligus memberikan justifikasi teknis atas setiap perubahan parameter yang diprediksi akan terjadi.

Tabel 13. Proyeksi Parameter

Parameter	Kondisi Eksisting	Kondisi Proyeksi	Justifikasi
Sudut Pinggul (Trunk)	30° – 67° (Membugkuk Ekstrem)	0° – 15° (Postur Netral/Tegak)	Fitur <i>Posture Guard</i> menahan tulang belakang agar tidak menekuk saat beban masuk.
Titik Tumpu Beban	Pundak & Punggung Atas	Panggul & Seluruh Punggung	Penggunaan <i>Waist Belt</i> mendistribusikan gaya ke tulang panggul yang lebih kuat.
Skor REBA	11 (Sangat Tinggi)	2 – 4 (Risiko Rendah/Sedang)	Perbaikan sudut pinggul dan bahu secara otomatis menurunkan poin penilaian REBA.

Parameter	Kondisi Eksisting	Kondisi Proyeksi	Justifikasi
Tingkat Risiko NBM	71,2% (Tinggi/Perlu Tindakan Segera)	< 40% (Penurunan Keluhan)	Reduksi tekanan pada otot bahu dan pinggang melalui sistem <i>back support</i> .

Berdasarkan komparasi data pada tabel di atas, terlihat adanya perbaikan drastis pada seluruh parameter ergonomi yang menjadi fokus penelitian. Perubahan paling signifikan diproyeksikan terjadi pada variabel Sudut Pinggul (*Trunk flexion*), di mana penggunaan fitur *Posture Guard* secara mekanis akan mengoreksi postur membungkuk ekstrem menjadi postur netral. Koreksi postur ini secara langsung berdampak pada penurunan beban kompresi pada diskus intervertebralis, yang didukung oleh redistribusi titik tumpu beban dari pundak ke tulang panggul melalui komponen *Waist Belt*. Penurunan tingkat risiko NBM dari angka kritis 71,2% menjadi di bawah 40% mengonfirmasi bahwa secara teoretis mampu mereduksi keluhan subjektif pada sistem otot-rangka secara sistemik. Dengan demikian, analisis proyeksi dapat memberikan bukti ilmiah yang kuat bahwa desain usulan memenuhi kaidah keselamatan kerja dan mampu memberikan perlindungan ergonomi yang jauh lebih unggul dibandingkan dengan metode pengangkutan tradisional menggunakan selendang.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa tujuan penelitian untuk merancang alat bantu angkut yang ergonomis bagi buruh gendong perempuan telah tercapai melalui pengembangan ERGO-GENDONG. Keberhasilan ini dibuktikan dengan kemampuan desain dalam mengintervensi kondisi kerja kritis, di mana rata-rata keluhan NBM sebesar 71,2% dan skor REBA 11 (*Very High Risk*) pada kondisi eksisting berhasil diproyeksikan turun secara signifikan ke tingkat risiko rendah hingga sedang melalui koreksi postur tubuh yang tegak. Implementasi metode QFD dan TRIZ telah menjawab kebutuhan spesifik pengguna melalui integrasi mekanisme *parallel link* dan *coil spring* yang ringan namun kokoh, sehingga secara biomekanika mampu memindahkan beban dari pundak ke panggul untuk mereduksi gaya kompresi. Dengan demikian, rancangan ini tidak hanya memenuhi kriteria antropometri pengguna lansia, tetapi juga secara efektif memberikan solusi teknis yang adaptif terhadap keterbatasan ruang gerak di pasar tradisional, sekaligus memvalidasi bahwa teknologi *passive exoskeleton* dapat meningkatkan standar keselamatan kerja dan meminimalisir risiko cedera muskuloskeletal pada pekerja sektor informal.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada Program Studi Teknik Industri Universitas Islam Indonesia atas dukungan fasilitas dan ekosistem akademik yang sangat membantu dalam penyelesaian riset ini, serta apresiasi setinggi-tingginya kepada Pihak Pengelola Pasar Beringharjo yang telah memberikan izin operasional dan kemudahan akses bagi penulis dalam melakukan observasi serta pengambilan data secara langsung di lapangan.

References

- [1] Y. Sari, P. Ningrum, and I. Qadrijati, "Hubungan Postur Kerja dan Getaran Mekanis dengan Keluhan Musculoskeletal Disorder Pekerja PT. BMSTI," *Public Health Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [2] Ö. Ayvaz, B. A. Özyıldırım, H. İşsever, G. Öztan, M. Atak, and S. Özel, "Ergonomic risk assessment of working postures of nurses working in a medical faculty hospital with REBA and RULA methods," *Sci. Prog.*, vol. 106, no. 4, pp. 1–21, 2023, doi: 10.1177/00368504231216540.
- [3] A. Ayudea, A. Engka, O. J. Sumampouw, and W. Kaunang, "Postur Kerja dan Keluhan Muskuloskeletal pada Nelayan di Desa Borgo Satu Kecamatan Belang," *Jurnal KESMAS*, vol. 11, no. 4, pp. 44–51, 2022.
- [4] I. J. Lailani, E. Reviati, D. Safitri, A. Yuana, D. Kurniawan, and F. Yuamita, "Analisis Postur Tubuh Kerja Pada Proses Penyediaan Bahan Baku CV. SP Aluminium Menggunakan Metode REBA," *Jurnal Ilmiah Research Student*, vol. 2, no. 1, pp. 584–593, 2025.
- [5] S. Ulfa, T. E. br Sinulingga, and J. Sinulingga, "Kain Tenun Tradisional: Warisan Budaya dan Industri Kreatif," *Jurnal Pendidikan Tambusai*, vol. 7, pp. 29709–29715, 2023, [Online]. Available: <https://www.jptam.org/index.php/jptam/article/view/11780>
- [6] N. M. Dewantari, "Analisa postur kerja menggunakan REBA untuk mencegah musculoskeletal disorder," *Journal Industrial Servicess*, vol. 7, no. 1, p. 33, 2021, doi: 10.36055/jiss.v7i1.12298.
- [7] Azmi, Fitra, and M. Suroso, "Penerapan Data Antropometri Dalam Perancangan Alat Pengupas Sabut Kelapa Ekonomis," *Jurnal Aplikasi Rancangan Teknik Industri*, vol. 16, no. 1, pp. 94–99, 2021, [Online]. Available: <https://ejurnal.sttdumai.ac.id/index.php/arti/article/view/198/142>
- [8] N. H. Pattiasina, P. Markus, and S. R. R. Pattiselanno, "Kajian Antropometri Pengrajin Tenun Ikat Khas Maluku," *Jurnal Simetrik*, vol. 11, no. 2, pp. 495–503, 2022, doi: 10.31959/js.v11i2.849.
- [9] L. Abo-Naser, G. Leibner, R. G. Vilenski, S. Luria, and Y. Kriger, "Gender differences in prevalence of musculoskeletal disorders (MSDs) among surgeons," *Perioper. Care Oper. Room Manag.*, vol. 40, p. 100542, Sep. 2025, doi: 10.1016/j.pcorm.2025.100542.
- [10] C. Wandya Puspitasari and J. Dwi Saptadi, "Analisis Faktor Risiko Musculoskeletal Disorders (MSDs) dan Keluhan MSDs Pada Buruh Gendong Perempuan Di Pasar Induk Giwangon Yogyakarta," *Jurnal Lentera Kesehatan Masyarakat*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, Apr. 2022, doi: 10.69883/jlkm.v1i1.2.
- [11] K. I. Nasikhudin, "RANCANG BANGUN ALAT BANTU JALAN ERGONOMI UNTUK MANULA," *Jurnal Inovasi Teknik Industri*, vol. 2, no. 1, p. 37, Jun. 2023, doi: 10.26753/jitin.v2i1.1097.
- [12] P. Setianah, L. Herlina, M. Pamenta, and H. H. Purba, "Persebaran Fungsi Kualitas Quality Function Deployment (QFD) di Bidang Manufaktur: Kajian Literatur," *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, vol. 21, no. 1, pp. 49–58, Apr. 2023, doi: 10.52330/jtm.v21i1.95.
- [13] A. Khodadadi and P. von Buelow, "Design exploration by using a genetic algorithm and the Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)," *Autom. Constr.*, vol. 141, p. 104354, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.autcon.2022.104354.