

TESIS

**DESAIN INOVATIF PERANCANGAN ALAT BANTU
PEMASANGAN GALON AIR MINUM DENGAN
PENDEKATAN TRIZ DAN KONSEP BIOMEKANIK**



MUHAMMAD SAFRI SETIAWAN

19916036

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

TESIS

**DESAIN INOVATIF PERANCANGAN ALAT BANTU
PEMASANGAN GALON AIR MINUM DENGAN
PENDEKATAN TRIZ DAN KONSEP BIOMEKANIK**



MUHAMMAD SAFRI SETIAWAN

19916036

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

**DESAIN INOVATIF PERANCANGAN ALAT BANTU
PEMASANGAN GALON AIR MINUM DENGAN
PENDEKATAN TRIZ DAN KONSEP BIOMEKANIK**

**Tesis untuk memperoleh Gelar Magister pada Program
Studi Teknik Industri Program Magister
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam
Indonesia**

MUHAMMAD SAFRI SETIAWAN

19916036

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2022**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**DESAIN INOVATIF PERANCANGAN ALAT BANTU PEMASANGAN
GALON AIR MINUM DENGAN PENDEKATAN TRIZ DAN KONSEP
BIOMEKANIK**

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : Muhammad Safri Setiawan

NIM : 19 916 036

Yogyakarta, 23 Januari 2022

**Mengetahui,
Dosen Pembimbing**



(Ir. Hartomo Soewardi, M.Sc, Ph.D)

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

DESAIN INOVATIF PERANCANGAN ALAT BANTU PEMASANGAN GALON AIR MINUM DENGAN PENDEKATAN TRIZ DAN KONSEP BIOMEKANIK

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : Muhammad Safri Setiawan
NIM : 19 916 036
Fakultas/ Jurusan : FTI/ Teknik Industri

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Strata-2 Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 23 Januari 2022

Tim Penguji

Ir. Hartomo Soewardi, M.Sc., Ph.D.



Ketua

Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.



Anggota 1

Dr. Dwi Handayani, S.T., M.Sc.



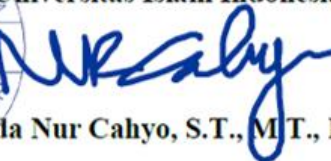
Anggota 2

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Magister
Universitas Islam Indonesia



(Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.)



KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamiin segala puji bagi *Allah Subhanhu Wa Ta'ala* atas limpahan karunia dan rahmat-Nya sehingga pada kesempatan ini penulis bisa menyelesaikan salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar magister yaitu dengan membuat Tesis yang berjudul **"Desain Inovatif Perancangan Alat Bantu Pemasangan Galon Air Minum dengan Pendekatan TRIZ dan Konsep Biomekanik"**. Tanpa adanya kekuatan serta kemudahan dari *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* Tesis ini tidak mungkin bisa terselesaikan dengan sebaik-baiknya. Tidak lupa pula sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi besar *Muhammad Sallahu'alaihi Wassallam* yang telah membimbing kita dari jalan kegelapan menuju jalan yang penuh rahmat (terang benderang) yaitu *addinul islam*.

Dalam penyusunan Tesis penulis mendapatkan dukungan motivasi, bantuan serta kesempatan dari berbagai pihak yang terkait. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak dan Ibu yang tidak pernah terlupakan doa-doanya serta dukungan motivasi yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis yakin dapat menyelesaikan persyaratan kelulusan ini dengan sebaik-baiknya.
2. Bapak Ir. Hartomo Soewardi M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing Tesis yang telah memberikan bimbingan serta arahan, motivasi, dan ilmu yang telah beliau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan ini.
3. Bapak Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.

4. Bapak Mulyadi, selaku kepala divisi *Production* PT. Universal Tekno Reksajaya yang telah memberikan arahan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.
5. Teman-teman sejurusan Teknik Industri yang telah memberikan dukungan serta motivasi dalam menyusun Tesis.

Semoga dari seluruh pihak yang terkait yang telah membantu penulis dalam melaksanakan tahap penyusunan Tesis mendapatkan balasan dari *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* dan diberikan kemudahan segala urusannya, aamiin aamiin ya Rabbal'alaamiin.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Laporan Tesis ini, oleh karena itu penulis sangat berharap saran dan kritik yang dapat membangun serta memberikan masukan agar dapat lebih baik dalam penulisan laporan kedepannya. Akhir kata semoga Laporan Tesis ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan bisa berguna untuk penelitian yang serupa.

Daftar Isi

SAMPUL DEPAN	i
SAMPUL DALAM.....	ii
PRASYARAT GELAR MAGISTER	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI	v
KATA PENGANTAR.....	vi
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Empiris.....	6
2.1.1 Perancangan Alat Bantu Pengangkat Galon	6
2.1.2 Posisi Penelitian	13
2.2 Kajian Teoritis	14
2.2.1 Desain.....	14
2.2.2 <i>TRIZ</i>	14
2.2.3 <i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	20
2.2.4 Ergonomi	21
2.2.5 Gangguan <i>Musculoskeletal</i>	22
2.2.6 Faktor Penyebab <i>Musculoskeletal Disorder</i>	22
2.2.7 Biomekanika	24
2.2.8 Batasan angkat secara biomekanika	24
BAB III METODE PENELITIAN	26
3.1 Objek dan Subjek Penelitian	26
3.2 Ruang Lingkup Penelitian Masalah.....	26
3.3 Populasi dan Sampel	26

3.4	Variabel Penelitian.....	28
3.5	Jenis Pengumpulan Data	28
3.6	Metode Eksperimen	28
3.7	Instrumen Penelitian	29
3.8	Prosedur Penelitian	29
3.8.1	Tahap Persiapan Penelitian.....	29
3.8.2	Tahap Pengambilan Data.....	31
3.8.3	Tahap Perancangan Produk dan Analisis Data	34
BAB IV HASIL PENELITIAN		38
4.1.	Pengolahan Data TRIZ : <i>Specific Problems</i>	38
4.1.1.	Profil Responden Studi Pendahuluan	38
4.1.2.	Identifikasi Sistem, Supersistem, dan Target TRIZ	39
4.1.3.	Identifikasi <i>Function Model</i> TRIZ.....	40
4.1.4.	Identifikasi <i>Cause and Effect Chain Analysis (CECA)</i> TRIZ	41
4.1.5	Profil Responden Kuesioner Desain Produk	43
4.1.6	Identifikasi Keinginan Pengguna	44
4.1.7	Uji Validitas.....	44
4.1.8	Uji Reliabilitas	44
4.2	Pengolahan Data TRIZ.....	45
4.2.1	<i>Model of Problem</i> TRIZ (Kontradiksi Masalah dan Solusi Umum)	45
4.3	Pengolahan Data TRIZ: <i>Specific Solution</i>	48
4.4	<i>Quality Function Deployment (QFD)</i>	53
4.4.1	Menentukan <i>Customer Needs</i>	53
4.4.2	Menentukan <i>Technical Requirement</i>	53
4.4.3	Menentukan <i>Target/Value</i>	54
4.4.4	<i>House of quality</i>	55
4.5	Pengolahan Data Antropometri	57
4.5.1	Karakteristik Subjek Data Antropometri	57
4.5.2	Uji Normalitas Data Antropometri.....	58
4.5.3	Uji Keseragaman Data Antropometri.....	58
4.5.4	Uji Kecukupan Data Antropometri	59
4.5.5	Perhitungan Persentil Data Antropometri.....	60
4.6	Visualisasi Desain Produk.....	62
4.6.1	Spesifikasi Desain Produk.....	62

4.6.2	Uji <i>Marginal Homogeneity</i> Desain Produk	63
4.7	Perhitungan Biomekanika	63
4.7.1	Biomekanika sebelum menggunakan alat bantu	63
4.7.2	Biomekanika setelah menggunakan alat bantu	81
4.7.3	Penghematan <i>Force Compression</i>	99
BAB V PEMBAHASAN		100
5.1	Analisis Atribut Keinginan Pengguna.....	100
5.2	Analisis Inventif Prinsip Perancangan Alat Bantu Menggunakan TRIZ	101
5.3	Analisis Desain Parameter Menggunakan QFD	103
5.4	Analisis Tingkat Uji Validasi Perancangan Desain Alat Bantu	107
5.5	Analisis Biomekanika	108
5.6	Analisis Segmentasi Produk.....	110
BAB VI PENUTUP		112
6.1	Kesimpulan	112
6.2	Saran	112
Daftar Pustaka.....		113
Daftar Lampiran.....		119

Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian.....	13
Tabel 2. 2 Matriks Kontradiksi TRIZ.....	19
Tabel 3. 1 Alpha Cronbach.....	33
Tabel 4. 1 Data Responden untuk Pilot Study	38
Tabel 4. 2 Komponen Sistem TRIZ	39
Tabel 4. 3 Komponen Supersistem TRIZ	39
Tabel 4. 4 Atribut Keinginan Pengguna	44
Tabel 4. 5 Hasil Uji Validitas Atribut	44
Tabel 4. 6 Hasil Uji Reliabilitas Atribut	45
Tabel 4. 7 TRIZ Specific Solution	48
Tabel 4. 8 Technical Requirement	53
Tabel 4. 9 Target/Value.....	54
Tabel 4. 10 House of Quality.....	56
Tabel 4. 11 Daftar Dimensi Tubuh Desain Alat	57
Tabel 4. 12 Hasil Uji Normalitas Data Antropometri	58
Tabel 4. 13 Hasil Uji Keseragaman Data Antropometri	58
Tabel 4. 14 Persentil Data Antropometri.....	60
Tabel 4. 15 Tingkat Signifikansi Uji Marginal Homogeneity	63
Tabel 4. 16 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	64
Tabel 4. 17 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	67
Tabel 4. 18 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	69
Tabel 4. 19 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	71
Tabel 4. 20 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	74
Tabel 4. 21 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	76
Tabel 4. 22 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	79
Tabel 4. 23 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	82
Tabel 4. 24 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	84
Tabel 4. 25 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	87
Tabel 4. 26 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	89
Tabel 4. 27 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	91
Tabel 4. 28 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	94
Tabel 4. 29 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu	96
Tabel 4. 30 Penghematan Force Compression.....	99

Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Alat Pengangkat Galon oleh Ghufrani (2010)	6
Gambar 2. 2 Penopang Dispenser	7
Gambar 2. 3 Pemutaran Dispenser	7
Gambar 2. 4 Pemasangan Dispenser dan Galon	7
Gambar 2. 5 Dispenser dan Galon Terpasang	7
Gambar 2. 6 Penguncian Beban Dispenser dan Galon	8
Gambar 2. 7 Alat Pengangkat Galon oleh Martin dkk (2018)	9
Gambar 2. 8 Mekanisme Alat Pengangkat Galon oleh Martin dkk (2018)	9
Gambar 2. 9 Alat pengangkat Galon oleh Suparti dan Ria (2017)	10
Gambar 2. 10 Keran Galon	10
Gambar 2. 11 Mekanisme Alat pengangkat Galon oleh Suparti dan Ria (2017)	11
Gambar 2. 12 Alat pengangkat Galon oleh Habni dkk (2014)	12
Gambar 2. 13 Batasan Angkat dalam Biomekanika Menurut NIOSH	25
Gambar 4. 1 Function Model TRIZ	41
Gambar 4. 2 Cause and Effect Chain Analysis untuk TRIZ	42
Gambar 4. 3 Kontradiksi teknis untuk atribut multifungsi	45
Gambar 4. 4 Kontradiksi Teknis untuk Atribut Mudah Digunakan	46
Gambar 4. 5 Kontradiksi Teknis untuk Atribut Aman	46
Gambar 4. 6 Diagram Kontrol Dimensi TSB	59
Gambar 4. 7 Diagram Kontrol Dimensi DGMAX	59
Gambar 4. 8 Diagram Kontrol Dimensi LJJ	59
Gambar 4. 9 Postur Biomekanika Sebelum Menggunakan Alat Bantu	64
Gambar 4. 10 Postur Biomekanika Sesudah Menggunakan Alat Bantu	82

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Aktivitas fisik berupa pengangkatan dan pemindahan material secara manual merupakan aktivitas sehari-hari yang sering dilakukan oleh manusia. Salah satu jenis pengangkatan yang sering dijumpai yaitu aktivitas pengangkatan galon ke dispenser. Berdasarkan survei BPS tahun 2016 dimana 42,8% rumah tangga menggunakan galon sebagai sumber utama pemenuhan air minum (BPS,2016). Survei juga dilakukan oleh peneliti di beberapa *e-commerce* dengan membandingkan penjualan produk dispenser galon atas dan galon bawah yang dijumlahkan berdasar 30 produk terlaris dalam *e-commerce* tersebut menyatakan bahwa, penjualan dispenser galon atas lebih banyak dibandingkan dispenser galon bawah. Hampir 90% pembeli di kedua *e-commerce* tersebut memilih dispenser galon atas untuk membantu pemenuhan kebutuhan air minum dalam kebutuhan sehari hari.

Bobot galon air minum rata-rata yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari mempunyai berat 20 liter atau 19 kg (Ghufrani, 2010). Galon biasanya diletakkan diatas dispenser dengan total ketinggian rata-rata adalah 1 meter. Energi yang diperlukan untuk mengangkat galon tersebut tergolong cukup besar, dan jika terjadi kesalahan dalam proses pengangkatannya dapat menimbulkan risiko cedera pada beberapa bagian tubuh seperti punggung, tangan, dan tulang belakang (Yudhistira, 2019). Menurut tabel beban angkat yang telah diklasifikasikan berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja Transmigrasi dan Koperasi maka bobot maksimum yang mampu ditopang oleh wanita adalah 10-12 kg dan laki-laki adalah 10-15 kg dengan interval pengangkatan hanya sesekali (Santoso, 2006). Hal tersebut membuat aktivitas pengangkatan galon cukup menjadi aktivitas yang riskan dan diperlukan perhatian lebih lanjut mengingat berat galon yang mencapai 20 kg.

Berdasarkan survei dalam studi pendahuluan terkait keluhan nyeri pada beberapa bagian otot akibat pengangkatan galon yang dilakukan terhadap sampel

subjek yang berjumlah 30 orang dan berumur 18-50 tahun, dengan kriteria khusus menggunakan dispenser galon atas dalam pemenuhan air minum untuk kebutuhan sehari-hari, maka diketahui bahwa persentase rata-rata bagian tubuh yang terkena keluhan *MSDs* yaitu punggung sebesar 26%, lengan bawah sebesar 22%, lengan atas sebesar 20% , pergelangan tangan 17%, dan kaki 14%,.Beberapa subjek juga menyebutkan bahwa pengaruh beban galon yang terlalu berat serta postur tubuh yang terlalu membungkuk saat mengambil ancang-ancang pengangkatan galon menjadi salah satu penyebab dari keluhan otot tersebut. Hal ini juga didukung oleh penelitian yang dilakukan Hikmah, dkk (2015) dimana pemindahan material secara manual dengan beban angkat yang berlebihan dan tidak dilakukan secara ergonomi dapat menyebabkan kerusakan pada jaringan tubuh. Dari data yang didapatkan nilai rata-rata kecelakaan akibat pengangkatan beban yang berlebih yaitu sebesar 18%, dan bagian tubuh yang paling sering terkena *strain* yaitu bagian punggung dengan persentase sebesar 61%. Penelitian yang dilakukan oleh (Setiawan et al., 2019) juga menyatakan bahwa postur yang terlalu membungkuk saat pengangkatan beban yang berat dapat menekan bagian punggung dengan membebani bagian L5/S1 dengan nilai kompresi sebesar 3600N dan masuk ke kategori hati-hati.

Aktivitas pemasangan galon ke dispenser saat ini masih dilakukan secara manual, sehingga membutuhkan banyak tenaga, kurang efisien dan, berisiko menyebabkan keluhan *Musculoskeletal disorders (MSDs)*. Berikut merupakan data dari rata-rata bagian tubuh yang paling sering terkena keluhan yaitu bagian punggung (26%), lengan atas (22%), dan lengan bawah (20%). Oleh sebab itu, terdapat suatu kontradiksi dalam permasalahan ini yaitu jika aktivitas manual saat pemasangan galon dapat diminimalisir dengan membuat alat bantu, maka risiko keluhan otot dan tenaga yang dikeluarkan dapat berkurang, akan tetapi biasanya dibutuhkan waktu yang lama dalam *setting* penggunaan alat bantu sehingga aktivitas menjadi kurang efisien. Maka dari itu dalam penelitian ini akan dibuat suatu desain inovatif dari rancangan alat bantu pemasangan galon yang dapat digunakan secara multifungsi untuk bisa mengakomodasi keseluruhan aktivitas manual yang ada saat ini, namun tetap efisien dalam penggunaannya. Beberapa alat bantu yang sudah pernah dirancang hanya berfungsi untuk membantu aktivitas

pengangkatan galon ke atas dispenser. Untuk itu pengembangan rancangan alat bantu seharusnya dapat digunakan secara multifungsi dengan mengakomodasi aktivitas pengangkutan dan pengangkatan galon secara lebih efisien dan efektif serta mempertimbangkan aspek kenyamanan dan keamanan pengguna.

Untuk menyelesaikan beberapa permasalahan kontradiktif yang ada pada proses pengembangan rancangan alat bantu, maka metode yang tepat untuk digunakan pada penelitian ini yaitu *Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)* (Ilevbare, Probert, & Robert, 2013). Metode TRIZ mempunyai beberapa level pemecahan masalah dalam kegunaannya untuk diaplikasikan sebagai pendekatan yang dapat merancang dan melakukan pembaharuan produk (Rachmananda, 2018). Metode tersebut dapat diimplementasikan dalam bermacam-macam bidang dan menghasilkan pemecahan masalah yang efektif (Ekmekci & Koksall, 2015).

Prespektif ergonomi juga dilibatkan dalam perancangan alat bantu ini guna memahami interaksi antara pengguna dan produk. Ergonomi mempertimbangkan aktivitas dilakukan oleh manusia dan lingkungannya (Diban & Gontijo, 2015). Implementasi ergonomi sendiri bertujuan untuk menurunkan risiko yang terjadi pada aktivitas pengangkatan galon yang dilakukan secara manual. Hal tersebut dilakukan untuk meningkatkan tanggapan positif dari pengguna (Chakrabarti, 2018). Sehingga dalam penelitian ini presepektif ergonomi yang akan digunakan yaitu, konsep antropometri dan biomekanika. Konsep antropometri bertujuan untuk merancang alat bantu yang relevan dengan ukuran dan karakteristik fisik tubuh pengguna sehingga nyaman saat digunakan (Sanders and Mc. Cormick, 1987). Implementasi dari pendekatan antropometri pada penelitian ini nantinya akan digunakan untuk mengakomodasi ukuran pada rancangan produk agar sesuai dengan dimensi tubuh pengguna. Sementara konsep biomekanika bertujuan untuk mengukur gaya tekan pada bagian otot yang relative mampu ditopang oleh tubuh, dan meminimalisir beban serta menghindari postur tubuh yang berbahaya saat penggunaan alat sehingga dapat digunakan dengan aman (Chaffin & Anderson., 1991). Hasil akhir pengukuran biomekanika yang berupa tekanan kompresi pada masing-masing bagian tubuh dengan satuan pengukuran *Newton (N)* juga akan menjadi pedoman komparasi untuk mengetahui perbedaan keluhan

MSDS yang terjadi pada kondisi sebelum dan sesudah penggunaan rancangan alat bantu.

Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan pada latar belakang ini. Peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian yang berjudul “Desain Alat Bantu Pemasangan Galon Air minum dengan Konsep Biomekanika” sebagai usulan perancangan alat bantu untuk menunjang aktivitas pengangkutan dan pengangkatan galon air minum secara lebih nyaman, dan aman.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjabaran pada latar belakang, maka rumusan masalah yang ada pada penelitian ini, yaitu

1. Bagaimana desain alat bantu pengangkatan galon yang ergonomi dan ekonomis dapat mengurangi risiko keluhan otot dengan menggunakan metode *TRIZ*?
2. Seberapa besar tingkat penurunan risiko *musculoskeletal* berdasarkan tekanan kompresi (satuan= *Newton*) pada bagian punggung setelah menggunakan alat bantu pengangkatan galon?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini, yaitu :

1. Mengidentifikasi kebutuhan pengguna saat melakukan aktivitas pemasangan galon secara manual.
2. Menentukan inventif prinsip desain alat bantu pemasangan galon sesuai dengan kebutuhan pengguna menggunakan *TRIZ*.
3. Menentukan desain parameter (QFD) dalam rancangan alat bantu pemasangan galon berdasarkan keinginan pengguna.
4. Menentukan tingkat uji validasi terhadap desain alat bantu pemasangan galon.
5. Menentukan penurunan tingkat risiko keluhan otot pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan alat pengangkat galon.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah,

1. Menghasilkan alat bantu pemasangan galon yang dapat mengurangi risiko keluhan otot dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.
2. Dapat menjadi salah satu referensi bagi studi dalam bidang biomekanika dan juga perancangan desain alat menggunakan metode *TRIZ*.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan dalam penelitian ini yaitu,

1. Penelitian ini hanya membahas proses perancangan usulan alat dan tidak membahas uji material terhadap usulan alat bantu.
2. Rancangan alat bantu lebih ditujukan untuk pengguna yang tidak terlalu memiliki banyak tenaga manual untuk melakukan aktifitas pemasangan galon seperti lansia, perempuan, dan anak-anak.

BAB II

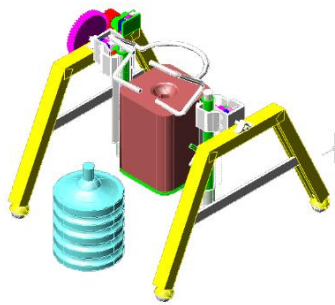
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Empiris

Kajian empiris atau penelitian terdahulu dilakukan untuk mengetahui posisi penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan perbandingan yang dilakukan terhadap penelitian yang sedang dilakukan. Selain untuk mengetahui posisi penelitian, kajian penelitian terdahulu dilakukan untuk mendukung landasan teori pada penelitian yang dikerjakan dan juga untuk mengisi kekosongan atau sebagai sumbangsih khazanah kekayaan intelektual dibidang karya ilmiah terkhusus dibidang penelitian yang sedang dikerjakan.

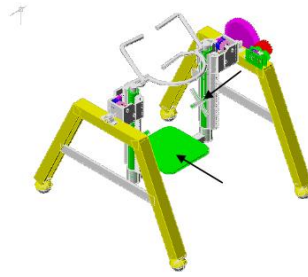
2.1.1 Perancangan Alat Bantu Pengangkat Galon

Terdapat beberapa penelitian terdahulu terkait alat pengangkat galon diantaranya yaitu, penelitian oleh (Ghufrani, 2010) terkait perancangan alat pengangkat galon menggunakan metode *axiomatic design*. Berikut merupakan rancangan dari penelitian tersebut,



Gambar 2. 1 Alat Pengangkat Galon oleh Ghufrani (2010)

rancangan desain dari alat ini mempunyai 3 fungsi utama yaitu mengangkat galon, memutar galon, dan menahan beban statis dari galon. Mekanisme kerja dari alat ini menggunakan prinsip torsi dengan tuas dan *gear* serta tidak memerlukan energi listrik dalam penggunaannya, berikut merupakan urutan kerja dari alat pengangkat ini,



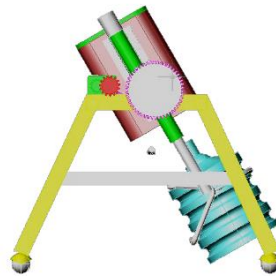
Gambar 2. 2 Penopang Dispenser

1. Dispenser dipasang pada alat dengan dikencangkan pada klem yang telah dirakit,



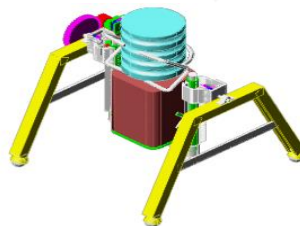
Gambar 2. 3 Pemutaran Dispenser

2. Setelah dispenser terpasang pada alat maka, putar tuas yang terletak pada bagian samping, arahkan mulut dispenser sampai ke mulut galon.



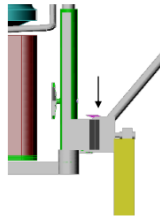
Gambar 2. 4 Pemasangan Dispenser dan Galon

3. Pasang galon pada bagian rangka penyangga galon.



Gambar 2. 5 Dispenser dan Galon Terpasang

4. Putar tuas kembali ke atas untuk memutar dispenser ke posisi awal.



Gambar 2. 6 Penguncian Beban Dispenser dan Galon

5. Kunci *gear ratchet* untuk menahan beban statis pada galon dan dispenser.

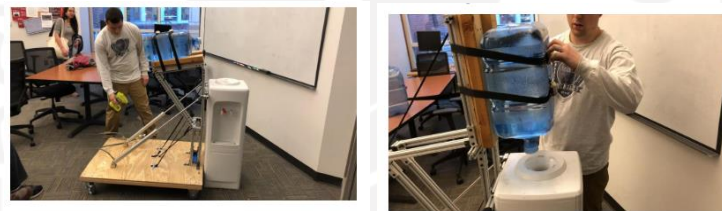
Parameter keberhasilan pada alat ini mengacu pada pengurangan gaya yang diterima pada bagian tubuh. Proses pengangkatan manual mengakibatkan gaya tekan pada struktur L5/S1 sebesar 2831 N. Menurut Siregar dan Ningsih (2019), dengan pengklasifikasian gaya menurut *NIOSH* maka gaya tekan pada penelitian yang dilakukan oleh Ghufrani masih masuk ke dalam kategori aman karena kurang dari 3430 N. Namun, menurut Ghufrani (2010) dengan besar gaya tersebut maka pekerjaan mengangkat galon ini hanya bisa dilakukan oleh orang dewasa yang normal dan tidak difabel, sehingga perlu dilakukan perancangan alat bantu untuk memudahkan aktivitas tersebut. Setelah dilakukan perancangan alat bantu pengangkatan gaya tekan yang ditimbulkan dari penggunaan alat berpindah dari L5/S1 ke bagian tangan pada saat gerakan menekan tuas. Gaya tekan pada proses inersi saat pengoperasian alat ini sebesar 26,2 N. Kekurangan dari penelitian ini yaitu alat tidak dirancang dengan konsep multifungsi, sehingga alat hanya berfokus pada urutan proses pengangkatan galon ke dispenser, namun tidak memperhatikan proses sebelumnya yaitu membawa galon dari suatu tempat ke tempat dimana dispenser berada.

Penelitian oleh (Martin et al., 2018), yang berjudul “*water cooler loader*”. Mekanisme kerja dari alat pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan kompresor udara. Kontrol untuk pengoperasian alat menggunakan *manifold*, dimana udara akan disalurkan melalui selang untuk kemudian mendapatkan gaya tekan mengangkat galon. Alat ini tidak membutuhkan energi listrik dalam penggunaannya.



Gambar 2. 7 Alat Pengangkat Galon oleh Martin dkk (2018)

Proses pemasangan galon ke alat dilakukan secara manual dengan mengangkat galon dan kemudian mengikatnya dengan tali. Untuk pemindahan galon dari alat pengangkat ke dispenser papan tumpuan pada galon harus didorong secara manual menuju mulut dispenser. Galon harus dilepas perlahan untuk dipasangkan ke dispenser,

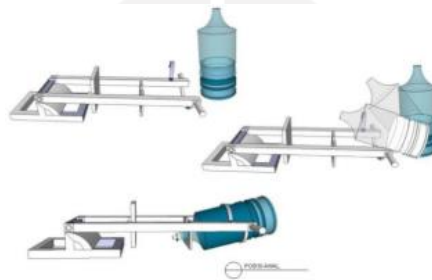


Gambar 2. 8 Mekanisme Alat Pengangkat Galon oleh Martin dkk (2018)

proses ini membutuhkan waktu selama 30 detik. Parameter keberhasilan dari perancangan alat menggunakan prinsip uabilitas (*usabilty matrix*). Beberapa kebutuhan pengguna yang dapat dipenuhi yaitu dapat mengangkat galon dengan berat 20 lbs, biaya perancangan alat yang murah, dan kemudahan pengoperasian yang mudah tanpa membutuhkan energi listrik. Sedangkan kebutuhan pengguna yang tidak dapat dipenuhi yaitu efisiensi penggunaan dimana pengguna kesulitan untuk melepaskan galon ke dispenser, ketika galon sudah berada diatas dispenser, dan hal lainnya yaitu ukuran alat yang tidak dapat dirancang secara ramping. Parameter biomekanika dalam produk ini sama sekali tidak berpengaruh terhadap L5/S1 karena sistem kerja yang menggunakan prinsip *automatic*. Kekurangan dari penelitian ini yang dapat dijadikan sebagai bahan perbaikan untuk penelitian selanjutnya yaitu, suara yang ditimbulkan akibat kinerja pompa cukup berisik, sehingga diperlukan peredam pada beberapa bagian alat. Dimensi dari alat juga cukup besar, sehingga membutuhkan ruang yang cukup luas untuk pemakaiannya.

Pemindahan dari alat ini juga cukup merepotkan karena tidak adanya alat bantu seperti *handle* untuk mendorong alat ini dari satu tempat ke tempat lain, sehingga pengguna harus membungkuk untuk mendorong alat ini. Proses pemasangan galon ke dispenser yang dilakukan secara manual kurang efisien karena membutuhkan waktu yang cukup lama, dan *effort* yang lebih.

Penelitian oleh (Suparti & Ria, 2017) yang berjudul “ Perancangan Ulang Alat Penuang Air Galon Guna Meminimalisasi Beban Pengangkatan Dengan Metode *Quality Function Deployment*”. Mekanisme kerja dari alat ini menggunakan prinsip katrol. Alat yang dirancang dapat dilihat pada gambar berikut,



Gambar 2. 9 Alat pengangkat Galon oleh Suparti dan Ria (2017)

Alat ini dirancang tanpa harus membutuhkan dispenser, galon dapat langsung digunakan dengan memasang keran seperti pada gambar berikut,



Gambar 2. 10 Keran Galon

Keran tersebut dioperasikan dengan cara ditekan bagian moncongnya untuk mengeluarkan air dari galon. Proses kerja pada alat ini dimulai dengan memasangkan galon ke alat dengan posisi horizontal.



Gambar 2. 11 Mekanisme Alat pengangkat Galon oleh Suparti dan Ria (2017)

Jika galon sudah terpasang sempurna, alat ditarik ke atas hingga posisi vertikal kemudian alat dikunci pada bagian dasar. Tempat air minum diletakkan pada tatakan yang telah dirancang pada bagian bawah mulut galon. Parameter keberhasilan dari perancangan alat ini menggunakan kuesioner yang menyatakan seberapa puas responden terhadap rancangan alat pengangkat galon untuk mengurangi beban pada pengangkatan galon tersebut. Dari 15 responden, 100% menyatakan puas terhadap rancangan pengangkat galon tersebut. Dalam penelitian ini tidak dicantumkan secara mendetail skala performansi dari tingkat kepuasan responden terhadap rancangan alat. Beberapa hal yang menjadi kekurangan dalam penelitian ini yaitu, posisi pengguna masih harus membungkuk pada saat pemasangan dan pengangkat galon dari posisi horizontal ke posisi vertikal. Menurut Vosniaskos dkk (2017) menyatakan bahwa salah satu jenis *awkward posture* yang menjadi penyebab terbanyak keluhan *musculoskeletal* yaitu posisi membungkuk pada aktivitas pengangkatan (Vosniakos et al., 2017). Selain itu, alat juga tidak multifungsi untuk dapat membawa galon, dan juga alat tidak mudah dipindahkan dari satu tempat ke tempat lain.

Penelitian oleh (Habni et al., 2014) yang berjudul “Rancang Bangun Alat Pengangkat Tabung (*Gallon*) Air Minum *Collapsible*”. Fokus utama dari penelitian ini adalah merancang alat dengan prinsip *space saving*, dengan mekanisme penggerak yang digunakan adalah mekanisme penggerak secara manual, alat dioperasikan dengan cara memutar tuas pengangkat, setelah itu gaya akan diteruskan ke kotak roda gigi dan *spool* untuk menggulung sling pengangkat. Berikut merupakan gambaran dari alat yang dirancang,



Gambar 2. 12 Alat pengangkat Galon oleh Habni dkk (2014)

Urutan proses pada alat ini yaitu dengan memasang galon pada bagian bawah alat pengangkat kemudian melakukan penguncian. Tarik tuas pada bagian samping alat untuk mengangkat galon dan memutar galon menuju dispenser. Alat ini memiliki fungsi *portable* atau dapat dilipat sehingga memudahkan dalam proses penyimpanannya. Alat juga dilengkapi roda dan *handle* pendorong untuk membantu membawa memindahkan galon. Parameter keberhasilan dari alat ini yaitu dengan membandingkan dimensi alat dan keuntungan mekanis antara alat sebelumnya dan alat yang dirancang. Hasil perbandingan tersebut memberitahukan bahwa alat yang dirancang panjang dan tinggi alat yang lebih kecil namun lebar alat tetap sama dengan alat sebelumnya. Alat yang baru juga mempunyai keuntungan mekanis lebih baik dari alat sebelumnya yaitu dengan mengurangi putaran tuas sebanyak 83 putaran dari alat sebelumnya, dengan rata-rata gaya yang dikeluarkan dalam 1 putaran adalah 15 N. Hal tersebut juga menjadi salah satu fokus dalam pembahasan biomekanika, dimana beban yang ada pada L5/S1 saat mengangkat galon secara manual dialihkan ke bagian tangan. Kekurangan dalam penelitian ini yaitu gaya putar yang ditimbulkan masih terhitung banyak, sehingga dapat diganti dengan prinsip kerja lain untuk meminimalisir tenaga yang dikeluarkan akibat melakukan putaran tuas.

Beberapa hal yang menjadi kekurangan pada beberapa penelitian sebelumnya, dan bisa dikembangkan dalam penelitian ini yaitu,

1. Alat tidak multifungsi untuk digunakan sebagai troli pembawa galon, sehingga pengguna tetap akan kesusahan membawa galon ketika memindahkan dari tempat awal menuju ke letak dispenser.

2. Sebagian alat cenderung berbentuk cukup besar, sehingga memerlukan ruang yang cukup luas dalam penggunaan dan penyimpanannya.
3. Beberapa alat memiliki proses memasang galon ke alat pengangkat galon yang cukup rumit, sehingga memakan waktu yang cukup lama dalam pemasangannya.
4. Mekanisme kerja dari alat pengangkat galon masih menggunakan prinsip manual sehingga tetap membutuhkan tenaga yang cukup banyak.

Prinsip perancangan produk pada beberapa alat tidak memperhitungkan pendekatan ergonomi khususnya aspek biomekanika, sehingga diketahui bahwa beberapa alat masih menimbulkan *awkward postures* yang mempengaruhi gaya tekan pada L5/S1 dalam pengoperasiannya.

2.1.2 Posisi Penelitian

Berdasarkan *review* pada beberapa penelitian sebelumnya mengenai perancangan alat pengangkat galon yang dilakukan oleh (Martin et al., 2018), (Habni et al., 2014), (Ghufrani, 2010), dan (Suparti & Ria, 2017), maka posisi penelitian ini jika dibandingkan penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut,

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian

Penelitian oleh	Spesifikasi produk					Variabel Penelitian			Metode Penelitian	
	Prinsip pengoprasian			Kemampuan mobilitas alat (multifungsi)	Space saving	Keluhan MSDs	Atribut desain keinginan pengguna	Antropometri	Desain produk	Pendekatan ergonomi
	Pengangkatan manual	Kontrol	Otomatis							
Ghufrani, 2010		√				√	√	√	√	√
Martin dkk, 2018			√	√			√		√	
Suparti dan Ria, 2017	√					√		√		√
Habni dkk, 2014		√			√		√		√	
Penelitian ini			√	√	√	√	√	√	√	√

Penelitian ini akan lebih berfokus pada penggunaan alat yang multifungsi untuk pemindahan galon dari satu tempat ke tempat lain. Mempertimbangkan pendekatan ergonomi seperti aspek biomekanika untuk menghindari *awkward posture* dan mengalihkan beban pengangkatan dari L5/S1 ke bagian tubuh lain yang dirasa aman. Mempertimbangkan aspek antropometri dalam perancangannya untuk memperoleh dimensi produk yang *space saving*(ramping) dan efektif, efisien, serta nyaman ketika digunakan karena menyesuaikan dengan ukuran segmen tubuh pengguna (Soebroto, 2000). Proses memasang galon ke alat yang praktis dengan menerapkan prinsip *gripper pneumatic* untuk mencekram galon ke alat pengangkat galon, dan mekanisme kerja alat yang otomatis dan tidak menggunakan listrik untuk memasang galon ke dispenser.

2.2 Kajian Teoritis

Kajian teoritis membentuk suatu konsep dimana fenomena atau parameter yang ada relevan dengan sistematika, pengklasifikasian dan mempunyai keterkaitan satu sama lain sehingga bersifat umum. Kajian teoritis adalah landasan/dasar teori yang digunakan sebagai pedoman untuk memberikan solusi dalam pemecahan masalah penelitian.

2.2.1 Desain

Desain mempunyai makna sebagai salah satu kegiatan yang memiliki cakupan luas dalam inovasi, dan teknologi yang dapat diperturkarkan (transaksi jual-beli), dibuat, dan digagas secara fungsional. Cakupan aktivitas desain mencakup masalah yang berkaitan dengan sarana kebutuhan manusia, di antaranya desain interior, desain mebel, desain alat – alat lingkungan, desain alat transportasi, desain tekstil, desain grafis dan lain – lain. Dengan mempertimbangkan hal tersebut maka dalam suatu aktivitas untuk memecahkan permasalahan dan perencanaannya desainer akan berkolaborasi dengan disiplin ilmu yang lain seperti, arsitek, psikologi, atau profesi lain yang sesuai dengan permasalahan yang dihadapi (Khandani, 2012).

2.2.2 TRIZ

Genrich Altshuller, merupakan salah seorang pakar paten rekayasa Rusia pada tahun 1940-an, beliau merupakan orang yang berjasa dalam perkemabnagn Teknik berpikir kreatif untuk menyelesaikan suatu permasalahan (Ekmekci & Koksall,

2015). Studi yang dilakukan oleh Altshuller terkait pembuatan paten terbarunya yang berkaitan dengan pencarian metode standar penyelesaian yang dilakukan secara sistematis terhadap ± 200.000 paten dan setelah dilakukan seleksi diketahui hanya ada 40.000 paten yang inovatif. Pada studi tersebut diketahui bahwa ada pola yang terbentuk dalam pengembangan rekayasa sistem dalam merespon suatu masalah yang bersifat kontradiktif dan menghasilkan suatu pendekatan baru terhadap penyelesaian suatu permasalahan secara sistematis melalui *Theory of Inventive Problem Solving (TRIZ)* (Gadd, 2011).

TRIZ adalah akronim yang berasal dari Bahasa Rusia yaitu: *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch*, yang artinya adalah suatu filosofi, proses, dan sekumpulan teknik dari konsep pemecahan kontradiksi (San, 2009). *TRIZ* mempunyai pendekatan tersendiri dalam mencari dan meningkatkan solusi serta inovasi dalam sistem teknisnya (Ilevbare, Probert, & Robert, 2013). Pendekatan dalam penyelesaian masalah biasanya hanya melalui beberapa hal seperti pemetaan, *brainstorming*, analisis dan sebagainya yang hanya membantu dalam mengidentifikasi masalah, namun belum dapat menghasilkan suatu solusi permasalahan yang terstruktur. *TRIZ* sendiri diciptakan untuk mampu membantu dalam hal yang berkaitan dengan identifikasi masalah dan penyelesaian solusi secara langsung dengan penuh pertimbangan dan bersifat baru (Gadd, 2011). *TRIZ* telah memilih 39 parameter sistem dan menyediakan matriks permasalahan berukuran 39 x 39 (Altuntas & Yener, 2012). 39 parameter merupakan karakteristik terpenting pada sistem keteknikan, seperti :

1. Massa, panjang, volume
2. Keandalan
3. Kecepatan
4. Temperatur
5. Kerugian
6. Ketepatan Pengukuran
7. Ketepatan Proses Manufaktur
8. Kenyamanan dalam penggunaan, dan lain-lain

Adapun 39 tabel matrik kontradiksi (Gadd, 2011). Seperti yang dapat dilihat berikut

ini;

1. *Weight Of Moving Object*
2. *Weight Of Stationary Object*
3. *Length Of Moving Object*
4. *Length Of Stationary Object*
5. *Area Of Moving Object*
6. *Area Of Stationary Object*
7. *Volume Of Moving Object*
8. *Volume Of Stationary Object*
9. *Speed*
10. *Force (Intensity)*
11. *Stress Or Pressure*
12. *Shape*
13. *Stability Of The Object's Composition*
14. *Strength*
15. *Duration Of Action By A Moving Object*
16. *Duration Of Action By A Stationary Object*
17. *Temperature*
18. *Illumination Intensity*
19. *Use Of Energi By Moving Object*
20. *Use Of Energy By A Stationary Object*
21. *Power*
22. *Loss Of Energy*
23. *Loss Of Substance*
24. *Loss Of Information*
25. *Loss Of Time*
26. *Quantity Of Substance*
27. *Reliability*
28. *Measurement Accuracy*
29. *Manufacturing Precision*
30. *External Harm Affects The Object*

31. *Object Generated-Harmful Factor*
32. *Ease Of Manufacture*
33. *Ease Of Operation*
34. *Ease Of Repair*
35. *Adaptability Of Versality*
36. *Device Complexity*
37. *Difficulty Of Detecting And Measuring*
38. *Extent Of Automation*
39. *Productivity*

Dalam TRIZ, terdapat 40 prinsip pemecahan masalah, untuk permasalahan inventif yang kompleks. Ke-40 prinsip yang dirumuskan oleh Atshuller adalah berikut ini :

1. *Segmentation*
2. *Separation*
3. *Local quality*
4. *Symmetry change*
5. *Merging*
6. *Multifunctionality*
7. *Nested doll*
8. *Weight compensation*
9. *Preliminary counteraction*
10. *Preliminary action*
11. *Beforehand compensation*
12. *Equipotentially*
13. *The other way around*
14. *Curvature increase*
15. *Dynamic parts*
16. *Partial or excessive action*
17. *Dimensionality change*
18. *Mechanical vibration*
19. *Periodic action*
20. *Continuity of useful action*

21. *Hurrying*
22. *Blessing in disguise*
23. *Feedback*
24. *Intermediary*
25. *Self-service*
26. *Copying*
27. *Cheap disposables*
28. *Mechanical substitution*
29. *Pneumatics and hydraulics*
30. *Flexible shells and thin films*
31. *Porous materials*
32. *Optical property changes*
33. *Homogeneity*
34. *Discarding and recovering*
35. *Parameter changing*
36. *Phase transitions*
37. *Thermal expansion*
38. *Strong oxidants*
39. *Inert atmosphere*
40. *Composite materials*

Parameter tersebut saling membandingkan antara fitur yang akan dinaikkan (*improving feature*) dan fitur yang tidak diharapkan (*worsening feature*). Sehingga akan membentuk tabel 39 kontradiksi TRIZ yang menghasilkan usulan ide sesuai dengan 40 prinsip inventif TRIZ seperti yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini. Cara menggunakan matriks tersebut adalah dengan membandingkan kontradiksi yang ingin ditingkatkan pada bagian kolom (*improving feature*) dengan kontradiksi yang tidak diharapkan pada bagian baris (*worsening feature*). Cara menggunakan matriks tersebut adalah dengan membandingkan parameter yang ingin diperbaiki pada bagian baris (*improving feature*) dengan parameter yang menjadi kontradiksi pada bagian kolom (*worsening feature*). Hasil persilangan antara baris dan kolom parameter-parameter tersebut terdapat angka-angka yang

merupakan angka dari 40 prinsip TRIZ. Angka dalam persilangan matriks tersebut merupakan usulan TRIZ untuk memecahkan permasalahan yang dihadapi. Beberapa kolom pada tabel matrik kontradiksi TRIZ tidak terdapat angka-angka menunjukkan bahwa pada persilangan *improving feature* dengan *worsening feature* tersebut tidak terdapat kontradiksi teknik (*technical contradiction*) maupun kontradiksi fisik (*physical contradiction*). Berikut merupakan contoh matriks kontradiksi,

Tabel 2. 2 Matriks Kontradiksi TRIZ

		Worsened Feature			
Improved Feature	Parameter	1	2	3	4
	1	<i>all</i>	<i>all</i>	15, 8, 29, 34	<i>all</i>
	2	<i>all</i>	<i>all</i>	<i>all</i>	10, 1, 29, 35
	3	8, 15, 29, 34	<i>all</i>	<i>all</i>	<i>all</i>
	4	<i>all</i>	35, 28, 40, 29	<i>all</i>	<i>all</i>
	5	2, 17, 29, 4	<i>all</i>	14, 15, 18, 4	<i>all</i>

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam memecahkan masalah untuk mendapatkan usulan ide menggunakan metode TRIZ menurut Altuntas & Yener (2012) ,Gadd (2011), and Ilevbare, Probert, & Robert (2013).

1. Mengidenfitikasi permasalahan pada produk
2. Mengidentifikasi kontradiksi yang terjadi pada produk, tentukan fitur yang akan dinaikkan (*improving feature*) dan fitur yang tidak diharapkan (*worsening feature*).

3. Mengkategorikan fitur yang akan dinaikkan (*improving feature*) dan fitur yang tidak diharapkan (*worsening feature*) sesuai dengan 39 kontradiksi TRIZ.
4. Menggunakan tabel kontradiksi TRIZ untuk mendapatkan usulan kemudian disesuaikan dengan 40 prinsip inventif TRIZ.
5. *Brainstorming* untuk menentukan usulan yang paling tepat.

2.2.3 Quality Function Deployment (QFD)

Quality Function Deployment (QFD) adalah suatu *tools* yang terstruktur dan sering diaplikasikan dalam membuat suatu perencanaan dan pengembangan produk/jasa guna menentukan spesifikasi kebutuhan dan keinginan pengguna, serta melakukan evaluasi yang sistematis terhadap kapabilitas suatu produk atau jasa dalam memenuhi kebutuhan pengguna (Cohen, 1995). QFD adalah suatu usaha yang dilakukan perusahaan untuk merancang dan mengembangkan produk atau jasa sesuai dengan *voice of customer* dan juga mempertimbangkan *voice of engineer* yang merupakan refleksi dari kemampuan teknik perusahaan untuk memenuhi kebutuhan (Sulistyo, 2011). QFD adalah suatu alat yang digunakan dalam mendesain dan mengembangkan produk baru yang mampu mengintegrasikan kualitas dan desain, untuk memenuhi keinginan dan kebutuhan pengguna (*customer needs and wants*) yang diterjemahkan menggunakan suatu *technical requirement* (Rahman & Supomo, 2012). Berdasarkan beberapa definisi menurut para ahli tersebut, maka QFD dapat disimpulkan sebagai metode atau alat yang digunakan untuk membuat desain sesuai dengan kebutuhan pengguna. QFD telah teruji untuk mampu meningkatkan proses pengembangan produk dan menghasilkan produk yang sangat terfokus dan responsif terhadap kebutuhan pengguna (Ariningsih, 2008). Langkah-langkah dalam metode QFD adalah

1. Mengidentifikasi *customer requirement* melalui survei kepada konsumen baik wawancara mendalam atau kuesioner untuk menilai tingkat pentingnya atribut yang dibutuhkan pengguna.
2. Menilai kekuatan persaingan produk/jasa yang akan dirancang dengan pesaing, dalam konteks atribut kebutuhan pengguna.

3. Menentukan spesifikasi desain teknis untuk dapat mengetahui korelasinya dengan atribut kebutuhan pengguna.
4. Membuat matriks korelasi antara kebutuhan konsumen dengan desain teknis yang dirancang perusahaan (hubungannya kuat, sedang atau lemah).
5. Membuat matrik *trade off* antara desain teknis agar tercapai sinkronisasi antar desain. (Sulistyo, 2011) dan (Ictenbas, & Erylmaz, 2011)

2.2.4 Ergonomi

Ergonomi adalah istilah dari Bahasa Yunani yang terdiri dari dua suku kata, yaitu: 'ergon' yang artinya 'kerja' dan 'nomos' yang artinya 'hukum' atau 'aturan'. Dalam istilah tersebut maka dapat diartikan bahwa ergonomi adalah hukum atau aturan tentang yang berhubungan dengan pekerjaan (Nurmianto, 1996). Ergonomi merupakan ilmu yang berfokus untuk mempelajari keterkaitan antara manusia dengan elemen lain dalam suatu sistem dan pekerjaan yang mengimplementasikan teori, prinsip, data dan metode untuk menciptakan suatu sistem yang optimal, dalam prespektif manusia dan kinerjanya. Ergonomi mempunyai kontribusi dalam rancangan dan evaluasi tugas, pekerjaan, produk, lingkungan dan sistem kerja, supaya bisa digunakan secara harmonis sesuai dengan kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan manusia (Karwowski, 2006).

Berdasarkan beberapa definisi diatas maka ergonomi secara garis besar mempunyai tiga tujuan utama yaitu, meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melewati usaha untuk mencegah cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja secara mental dan fisik, mengusahakan hal-hal yang berkaitan dengan kepuasan dan promosi kerja. (Tarwaka et al., 2004).

Menurut Sanders dan McCormick (1993) ergonomi juga dapat didefinisikan sesuai dengan fokus dan tujuannya, seperti berikut ini:

1. Secara fokus

Ergonomi berfokus pada manusia dan hubungannya dengan produk, peralatan, fasilitas, prosedur dan lingkungan sehari-hari.

2. Secara tujuan

Menurut tujuan maka ergonomi mempunyai dua hal yaitu, peningkatan efektifitas dan efisiensi kerja serta peningkatan nilai-nilai

kemanusiaan, seperti peningkatan keselamatan kerja, pengurangan rasa lelah dan sebagainya.

3. Secara pendekatan

Ergonomi secara pendekatan yaitu implementasi informasi yang berkaitan dengan keterbatasan, kemampuan, karakteristik, tingkah laku dan motivasi manusia untuk merencanakan prosedur dalam aktivitas sehari-hari.

2.2.5 **Gangguan *Musculoskeletal***

Gangguan *muskuloskeletal* adalah merupakan kondisi yang berpengaruh secara buruk terhadap fungsi sendi, ligamen, otot, saraf dan tendon, serta tulang belakang. Gangguan muskuloskeletal merupakan salah satu jenis dari penyakit degeneratif, penyakit yang secara konsisten dapat merusak jaringan tubuh manusia. Hal ini berakibat pada rasa sakit yang mempengaruhi kemampuan seseorang untuk melakukan aktivitas sehari-hari. Bagian utama yang dapat dipengaruhi secara langsung oleh gangguan muskuloskeletal ini yaitu leher, bahu, pergelangan tangan, punggung, pinggul, lutut, dan kaki (Buckle, 2014). Beberapa gangguan umum yang ada yaitu,

1. Nyeri pada punggung bagian bawah
2. *Fibromyalgia*
3. *Osteoarthritis*
4. Radang sendi
5. Tendinitis

2.2.6 **Faktor Penyebab *Musculoskeletal Disorder***

Beberapa faktor yang menjadi penyebab *muskuloskeletal disorder* adalah,

2.2.6.1 **Faktor Individu**

Beberapa faktor individu yang berpengaruh antara lain,

- a) Masa kerja

Jika manusia bekerja dalam waktu yang cukup lama dan dilakukan dengan postur kerja yang salah dalam setiap aktivitas pekerjaan yang dilakukan maka akan

mengakibatkan keluhan *musculoskeletal* yang berdampak buruk jika diakumulasi dalam kurun waktu bertahun-tahun.

b) Jenis Kelamin

Massa otot wanita yang tergolong lebih rendah jika dibandingkan dengan laki-laki pada umumnya, membuat wanita akan berpeluang lebih besar untuk menerima keluhan *musculoskeletal disorder*.

c) Usia

Semakin bertambahnya umur manusia akan mengakibatkan penurunan kemampuan degenerasi tulang, penurunan kemampuan tersebut akan dimulai pada usia 30-an. Dengan pernyataan tersebut maka risiko manusia yang berumur lebih tua akan mengalami *musculoskeletal disorder* tentunya lebih tinggi.

d) Kebiasaan olahraga

Tingkat kebugaran tubuh berpengaruh pada keluhan *MSDs*. Menurut Tarwaka (2004) menyatakan bahwa tingkat kesegaran tubuh yang tinggi hanya akan berisiko pada keluhan *MSDs* sebesar 0,8%, sementara tingkat kesegaran tubuh akan berisiko sebesar 7,1% untuk terkena keluhan *MSDs*.

e) Tinggi badan

Tinggi badan juga mempengaruhi terjadinya keluhan. Hal ini berhubungan dengan postur tubuh saat bekerja (Karwowski & Marras, 1999; Karwowski, 2006).

2.2.6.2 Faktor pekerjaan

Beberapa faktor pekerjaan yang mempengaruhi keluhan *MSDs* antara lain:

1. Postur tubuh

Pekerjaan yang tidak mempertimbangkan perhitungan postur tubuh yang ergonomi cenderung berpeluang lebih besar untuk meningkatkan risiko kejadian *Musculoskeletal Disorder* semakin meningkat. Postur tubuh yang ergonomi yaitu postur tubuh yang tidak mengakibatkan perubahan sudut tubuh (Ide, 2007).

2. Repetisi

Pekerjaan yang mempunyai repetisi gerakan yang cukup banyak akan cenderung mempunyai risiko yang lebih tinggi untuk mengalami kejadian *Musculoskeletal Disorder* (Karwowski & Marras, 1999; Karwowski,

2006).

3. Pekerjaan yang Statis.

Gerakan statis cenderung mempunyai risiko yang lebih besar untuk mengalami kejadian *Musculoskeletal Disorder* dibanding gerakan dinamis (Karwowski & Marras, 1999; Karwowski, 2006)

2.2.6.3 Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan kerja yang mempengaruhi risiko kejadian *Musculoskeletal Disorder* yaitu temperatur, alat kerja, dan luas wilayah kerja (Sihawong et al., 2015).

2.2.7 Biomekanika

Biomekanika mempunyai makna sebagai keterkaitan hubungan antara pekerja secara fisik dengan mesin, material, dan peralatan yang mempunyai tujuan untuk meminimalisir keluhan pada rangka otot pekerja. Namun prinsip biomekanika yang lebih digunakan dalam penelitian ini akan berfokus pada perkiraan besarnya gaya tekan yang diterima pada L5/S1 untuk aktivitas pengangkatan (Chaffin & Anderson., 1991). Kegiatan pengangkatan dapat digolongkan menjadi beberapa hal seperti aman, hati-hati, atau berbahaya di titik L5/S1.

Aktivitas pengangkatan dalam model biomekanika merupakan suatu cakupan dari beberapa system yang menghubungkan pinggul dan segmen tulang belakang (L5/S1). Model biomekanika ini mempengaruhi *abdominal pressure* yang berfungsi untuk menjaga keseimbangan tubuh pekerja pada saat dikenai momen dan gaya. Untuk menjaga kestabilan tubuh pekerja karena momen dan gaya maka gaya tekan pada L5/S1 dapat diseimbangkan dengan gaya otot pada *spinal erector* dan gaya perut sebagai pengaruh dari tekanan perut (Tayyari & Smith., 1997).

2.2.8 Batasan angkat secara biomekanika

Batasan angkat biomekanika merupakan analisis yang dilakukan dalam kaitannya dengan rentang postur atau posisi aktivitas kerja, ukuran badan dan ukuran manusia. Dalam analisis biomekanika tersebut juga terdapat kriteria keselamatan dimana kriteria tersebut bergantung pada tekanan gaya

yang membebani *intervertebral disc* antara lumbar nomor lima dan sacrum nomor satu (L5/S1). Beberapa batasan gaya angkat yang ada pada kriteria keselamatan yang telah direkomendasikan oleh *NIOSH* yaitu , *Action Limit (AL)* adalah nilai batas gaya angkat beban normal, kemudian *MPL* atau *Maximum Permissible Limit* yaitu nilai batas gaya tekan pada segmen L5/S1. Nilai *AL* dan *MPL* tersebut mempunyai patokan standar yang ditetapkan oleh *NIOSH* satuan yang digunakan adalah *newton*. Titik L5/S1 sendiri digunakan sebagai batasan gaya angkat karena merupakan salah satu titik vital dan rawan yang dimiliki manusia saat sedang melakukan pekerjaan, khususnya pekerjaan yang berkaitan dengan aktivitas pengangkatan. Jika hasil gaya tekan dari suatu aktivitas kerja melebihi batas *MPL*, maka akan terjadi kelumpuhan dikarenakan pecahnya *disc*.



Gambar 2. 13 Batasan Angkat dalam Biomekanika Menurut NIOSH

Batasan gaya angkat maksimum yang diijinkan (*MPL*) berdasarkan gaya tekan adalah 6370 Newton pada L5/S1. Batasan gaya angkat normal (*AL*) berdasarkan gaya tekan sebesar adalah 3430 *Newton* pada L5/S1. Batasan gaya angkat normal ditentukan melalui,

Rumus : $AL(kg) = 40 (15/H) (1-0,004/V-75/) (0,7+7,5/D) (1-F/F_{max})$

H = Posisi horizontal (cm), arah titik tengah antara mata kaki pada tempat

V = Posisi vertikal (cm) pada tempat asal sebelum beban diangkat

D = Jarak angkat vertikal (cm) antara tempat asal dan tujuan dari aktivitas angkat tersebut.

F_{max} = Frekuensi maksimum yang dapat dilaksanakan (Nurmianto., 1991).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek dan Subjek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah alat pengangkat galon yang ergonomis dan dapat mengurangi risiko keluhan *musculoskeletal* dan material dengan harga yang ekonomis, serta praktis dalam penggunaannya. Subjek pada penelitian ini adalah orang yang menggunakan dispenser galon atas dalam pemenuhan air minum untuk kebutuhan sehari-hari dengan kriteria inklusi yaitu : Usia 15 – 64 Tahun, berjenis kelamin laki-laki dan perempuan, serta tidak mengalami cacat fisik.

3.2 Ruang Lingkup Penelitian Masalah

Ruang lingkup penelitian ini yaitu, sampel diasumsikan hanya pengguna yang menggunakan dispenser galon atas dalam kehidupan sehari-hari. Penelitian ini hanya terfokus pada risiko keluhan *musculoskeletal* yang dialami oleh pengguna dispenser galon atas, khususnya bagian leher, bahu dan pinggang. Parameter keberhasilan dari penelitian ini adalah pengurangan risiko keluhan *musculoskeletal* sebelum dan sesudah menggunakan alat pengangkat galon.

3.3 Populasi dan Sampel

a. Populasi

Populasi dalam penelitian ini adalah pengguna dispenser galon atas dalam pemenuhan kebutuhan air minum untuk kebutuhan sehari-hari yang berada di wilayah Kota Yogyakarta.

b. Sampel

Dengan mempertimbangkan dana, waktu, tenaga, dan ketelitian dalam melakukan analisis data, maka penelitian ini menggunakan sampel terhadap pengguna dispenser galon atas yang berusia antara 15-64 tahun. Karena populasi dalam penelitian ini tidak diketahui maka penentuan jumlah sampel dilakukan dengan menggunakan rumus Eriyanto (2007) sebagai berikut.

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1-p)}{E^2} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

n = Jumlah sampel

Z = Tingkat kepercayaan

p (1-p) = Variasi populasi

E = Kesalahan sampel yang dikehendaki (*sampling error*)

Penentuan Sampel

Proporsi sampel (p) pada penelitian ini belum diketahui, namun nilai p selalu diantara 0 sampai 1 dengan nilai p maksimal, maka

$$f(p) = p - p^2$$

$$\frac{df(p)}{d(p)} = 1 - 2p$$

$$\frac{df(p)}{d(p)} \text{ maksimalkan jika } \frac{df(p)}{d(p)} = 0$$

$$0 = 1 - 2p$$

$$-1 = -2p$$

$$p = 0,5$$

Dengan :

Tingkat kepercayaan = 90%

Derajat ketelitian (α) = 10% = 0,1 ; $\alpha/2 = 0,05$; $Z_{\alpha/2} = 1,645$

Maka, jumlah sampel minimum yang dibutuhkan adalah :

$$n = \frac{Z^2 \cdot p(1-p)}{E^2}$$

$$n = \frac{1,645^2 \cdot 0,5(1-0,5)}{0,1^2}$$

$$n = \frac{0,676}{0,01}$$

$$n = 67,6 \approx 68 \text{ sampel}$$

Dengan melakukan penelitian terhadap minimal 68 sampel, berarti sudah cukup mewakili populasi pengguna galon dispenser atas.

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua variabel yaitu variabel bebas, dan variabel terikat. Variabel bebas bertindak sebagai input penelitian yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahan timbulnya variabel terikat, yaitu risiko keluhan *musculoskeletal* pengguna dispenser galon atas pada proses pengangkatan galon. Sedangkan variabel terikat merupakan akibat/hasil yang didapatkan dari variabel bebas, dimana dalam penelitian ini variabel terikatnya yaitu pengurangan tingkat risiko keluhan *musculoskeletal* setelah menggunakan alat bantu pengangkat galon.

3.5 Jenis Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain,

1. Observasi, dengan melakukan pengamatan secara langsung terhadap subjek saat melakukan proses pengangkatan galon ke atas dispenser menggunakan analisis sudut postur tubuh dengan biomekanika dan juga penggunaan elektromiografi untuk mengetahui beban aktivitas otot pada saat melakukan proses pengangkatan.
2. Kuesioner, untuk mengetahui identifikasi kebutuhan pengguna untuk selanjutnya diterjemahkan ke dalam matriks TRIZ.

3.6 Metode Eksperimen

a. Desain Eksperimen

Desain eksperimen yang digunakan dalam penelitian ini adalah *True Experimental Design* yaitu *Pretest-Posttest Control Group Design*, pada paradigma ini terdapat *pre test* sebelum menggunakan alat bantu pemasangan galon sehingga hasil eksperimen dapat diketahui lebih akurat, karena dapat membandingkan dengan keadaan sebelum menggunakan alat bantu pemasangan galon.

b. Tugas Eksperimen

Tugas eksperimen yang akan dilakukan oleh responden adalah,

1. Melakukan pengangkatan galon,
2. Membawa galon dari titik angkat menuju ke tempat dispenser,
3. Meletakkan galon dan membuka tutup galon,
4. Mengangkat galon dan memasang ke dispenser.

Tugas ini akan dilakukan dalam dua kondisi yang berbeda yaitu tanpa alat bantu pemasangan galon dan dengan menggunakan alat bantu pemasangan galon.

c. **Prosedur Eksperimen**

Prosedur eksperimen yang akan dilakukan adalah :

- 1) Menjelaskan kepada responden tentang tujuan eksperimen, mereka harus memahami masalah yang akan dibuktikan melalui eksperimen.
- 2) Menjelaskan cara penggunaan alat bantu pemasangan galon.
- 3) Selama eksperimen berlangsung peneliti akan mendampingi responden dan mengukur sudut tubuh yang terbentuk dan kelelahan otot selama proses pengangkatan.
- 4) Setelah responden menyelesaikan tugasnya, maka peneliti mengisi form data eksperimental untuk mengumpulkan data tekanan kompresi (*Newton*).

3.7 Instrumen Penelitian

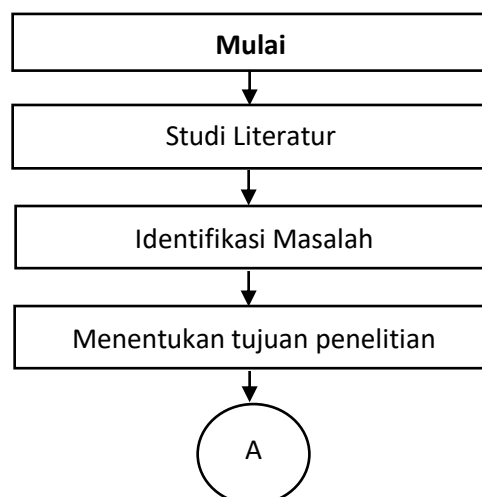
Instrumen penelitian adalah peralatan yang digunakan dalam penelitian ini. Berikut merupakan instrument penelitian yang ada,

1. *Coreldraw* untuk menggambar sudut tubuh menggunakan prinsip biomekanika untuk mengetahui beban yang diterima pada L5/S1,
2. Matriks TRIZ untuk penentuan atribut yang digunakan,
3. *Solidworks* untuk melakukan visualisasi terhadap desain alat bantu pengangkatan galon yang dapat mengurangi keluhan risiko *musculoskeletal*.

3.8 Prosedur Penelitian

Berikut merupakan prosedur dalam menjalankan penelitian ini,

3.8.1 Tahap Persiapan Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahap Persiapan Penelitian

1. Studi literatur,

Dalam penelitian ini diketahui bahwa permasalahan dari dispenser galon atas yaitu pada proses pengangkatan galon ke dispenser dengan keluhan nyeri otot paling tinggi yaitu bagian lengan atas, lengan bawah, dan punggung. Studi literatur dilakukan untuk mengetahui pendekatan yang cocok untuk dapat menyelesaikan permasalahan tersebut. Pendekatan dan instrumen yang digunakan untuk mengidentifikasi keluhan otot akibat pengangkatan galon ke dispenser yaitu biomekanika dan elektromiografi. Secara garis besar biomekanika digunakan untuk mengetahui tekanan yang diterima pada L5//S1 masih dalam batas aman atau tidak. Sementara elektromiografi digunakan untuk mengetahui nilai dan beban pada bagian otot yang mendapat keluhan nyeri yang tinggi. Pendekatan desain produk juga diaplikasikan untuk melakukan desain alat bantu pengangkat galon yang diproyeksikan dapat mengurangi keluhan *musculoskeletal*.

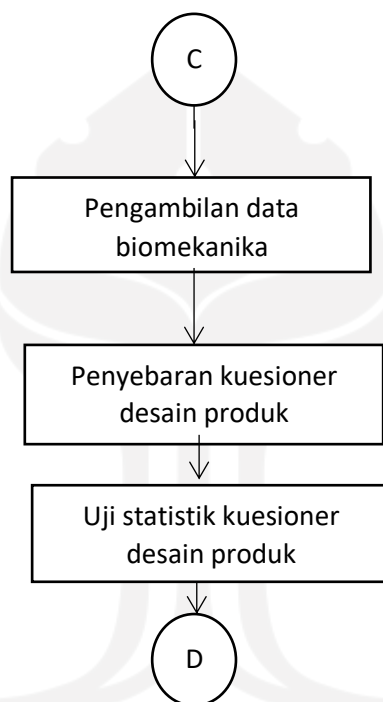
2. Identifikasi masalah studi literatur

Identifikasi permasalahan dimulai dengan melakukan beberapa survei terkait pengguna dispenser galon atas. Survei dilakukan dengan melakukan studi literatur pada *website* BPS terkait pengguna dispenser di Indonesia yaitu 42,8%. Survei berikutnya yaitu melakukan pembuktian dispenser mana yang paling banyak dibeli pada *marketplace shopee* dan Tokopedia, kemudian diketahui bahwa dispenser galon atas yang paling banyak diminati pada kedua *marketplace* tersebut. Permasalahan kemudian dikerucutkan pada aspek ergonomi khususnya keluhan *musculoskeletal* terkait penggunaan dispenser galon atas. Diketahui bahwa pengangkatan galon ke atas dispenser memang menimbulkan keluhan nyeri di beberapa bagian otot. Berdasarkan kuesioner *Nordic Body Maps*, bagian otot yang paling mendapatkan keluhan nyeri pada saat melakukan pengangkatan galon yaitu lengan bawah, lengan atas, dan punggung.

3. Menentukan tujuan penelitian

Tujuan pada penelitian ini kemudian ditentukan berdasarkan permasalahan dan pendekatan yang ada. Fokus pada penelitian secara garis besar ini yaitu untuk mengetahui nilai objektif dari keluhan *musculoskeletal* pada proses pengangkatan galon ke atas dispenser sebelum dan sesudah menggunakan alat pengangkat galon. Kemudian, mengetahui bentuk desain alat pengangkat galon yang dapat mengurangi keluhan *musculoskeletal* tersebut.

3.8.2 Tahap Pengambilan Data



Gambar 3. 2 Diagram alir Penelitian Tahap Pengambilan Data

5. Pengambilan Data Biomekanika

Biomekanika adalah ilmu digunakan untuk mengathui aspek mekanika gerakan pada tubuh manusia . Penggunaan biomekanika mempunyai beberapa tujuan salah satunya adalah untuk menentukan tekanan gaya (*force compression*) L5/S1 pada bagian tubuh manusia (Setiawan et al., 2019). Tahapan untuk mendapatkan data biomekanika dalam penelitian ini terbagi menjadi beberapa langkah yaitu,

- a. Subjek akan melakukan pengangkatan galon ke atas dispenser yang terdiri dari beberapa fase yaitu, pengambilan galon di lantai, pengangkatan galon ke dispenser, dan pemasangan galon ke dispenser.

b. Setiap fase yang dilakukan oleh subjek kemudian akan dilakukan perhitungan sudut tubuh.

c. Setelah diketahui besaran sudut tubuh dari setiap fase maka kemudian akan dilakukan perhitungan *FC/* tekanan pada L5/S1 guna mengetahui aktivitas pengangkatan yang dilakukan berbahaya atau tidak berdasarkan ketentuan yang telah ditetapkan oleh *NIOSH*.

6. Penyebaran Kuesioner Desain Produk

Pengambilan data untuk melakukan desain produk alat pengangkat galon yang disesuaikan dengan permasalahan yang ada dimulai dengan beberapa tahap yaitu,

A. Kuesioner Atribut Keinginan Pengguna

Pada tahap ini peneliti melakukan penyebaran kuesioner terhadap pengguna dispenser galon atas untuk mengetahui fitur alat bantu pengangkat galon seperti apa yang mereka inginkan.

B. Kuesioner Kepentingan Atribut

Tahap selanjutnya yaitu melakukan penyebaran kuesioner untuk mengetahui tingkat kepentingan atribut yang didapatkan dari kuesioner sebelumnya. Atribut yang valid akan dipertimbangkan untuk mendesain alat bantu pengangkat galon.

7. Uji statistik kuesioner desain produk

Uji statistik yang digunakan untuk desain produk yaitu,

A. Uji Validitas

Validitas merupakan suatu ukuran untuk mengetahui tingkat kevalidan dari suatu instrument (Arikunto, 2006). Instrumen tersebut dianggap valid jika mampu mengukur dan mengumpulkan suatu hal yang diinginkan dari data dan variable yang diteliti secara tepat. Teknik uji validitas yang digunakan harus dapat menyesuaikan dengan data yang ada atau informasi lain yang berkaitan dengan variabel penelitian.

Rumus korelasi *product moment* :

$$r_{xy} = \frac{N \sum xy - (\sum x) (\sum y)}{\sqrt{(N \sum x^2 - (\sum x)^2)(N \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

R_{xy}	: Koefisien korelasi antara x dan y
N	: Jumlah subjek
X	: Skor item
Y	: Skor total
ΣX	: Jumlah skor item
ΣY	: Jumlah skor total
ΣX^2	: Jumlah skor kuadrat skor item
ΣY^2	: Jumlah kuadrat skor total

B. Uji Reliabilitas

Langkah selanjutnya yaitu melakukan uji reliabilitas pada setiap item yang telah dianggap valid pada uji validitas. Reliabilitas merupakan instrument yang digunakan untuk menentukan apakah alat pengumpul data yang digunakan sudah dapat dipercaya atau belum (Arikunto, 2006). Instrumen yang dianggap reliabel maka ketika digunakan berkali-kali pun akan tetap menghasilkan hasil yang sama. Rumus *Alpha Cronbach* adalah rumus yang digunakan untuk menentukan tingkat reliabilitas dari suatu alat pengambilan data yang skornya bukan 1 dan 0, namun lebih ke pernyataan tidak setuju setuju dan sangat setuju. Rumus *Alpha Cronbach* akan digunakan dengan bantuan *software* SPSS dan taraf signifikannya adalah 5%. Apabila nilai reliabilitas dari rumus *Alpha Cronbach* semakin dekat dengan angka 1 maka semakin reliabel pula instrumen tersebut.

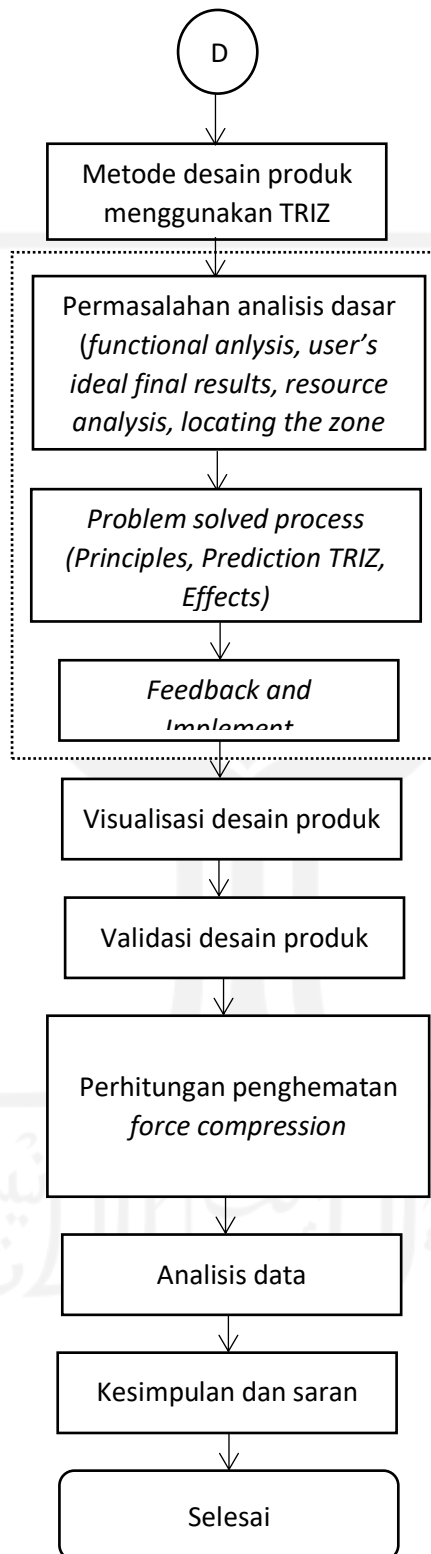
Harga R tabel yang digunakan adalah jika harga R antara:

Tabel 3. 1 Alpha Cronbach

Alpha Cronbach	Keterangan
0,00 – 1,19	Reliabilitas sangat rendah
0,20 – 0,39	Reliabilitas rendah
0,40 – 0,59	Reliabilitas sedang
0,60 – 0,70	Reliabilitas tinggi
0,80 – 1,00	Reliabilitas sangat tinggi

(Sugiyono, 2004).

3.8.3 Tahap Perancangan Produk dan Analisis Data



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian Tahap Perancangan Produk dan Analisis Data

1. Metode Desain Produk Menggunakan Pendekatan *TRIZ*.

Berikut merupakan langkah penggunaan metode *TRIZ* dalam permasalahan pengembangan produk yang disesuaikan kedalam beberapa kondisi (Yihong, Yunfei, & Ting, 2012),

1. Problem Analysis

Suatu permasalahan akan diawali dengan munculnya umpan balik. Beberapa cara yang dapat digunakan untuk melakukan analisis terhadap beberapa permasalahan sesuai dengan pedoman *TRIZ* yang akan dibahas berikut ini.

a. Functional Analysis

Melihat berbagai sudut pandang terkait fungsi dan peran dalam suatu sistem, sub sistem, dan komponen yang ada didalamnya.

b. The User's Ideal Final Result

Hal ini dapat menunjukkan identifikasi terhadap kondisi realitan yang berkaitan dengan peluang, dan peningkatan kualitas. Fungsi ini berkaitan dengan konsep makro yang didalamnya terdapat keuntungan, indicator performansi, faktor suksesor, dan lain-lain.

c. Resource Analysis

Identifikasi permasalahan yang berkaitan dengan hal-hal seperti penggunaan sumberdaya seperti energi, informasi, fungsi, dan elemen diluar dan didalam sistem yang mempunyai/dapat dikaitkan satu sama lain.

d. Locating the Zone of Conflict

Menentukan penggunaan *tools* yang akan diaplikasikan seperti *root cause analysis*, *plan do check action*, *fishbone diagram*, dan lain-lain.

2. Problem Solved

Tahap melakukan pengambilan keputusan berdasarkan solusi-solusi yang ada untuk menyelesaikan permasalahan menggunakan *tools* berikut ini,

a. Principles

Tools ini berhubungan dengan pemcahan kontradiksi teknis dan fisik. Kontradiksi tersebut merupakan dasar dari 39 paramater standar yang telah dipilih.

b. *Prediction*

Tools ini mengidentifikasi 8 pola evolusi teknis yang berkaitan dengan *TRIZ*, seperti peningkatan idealita, tahapan evolusi, pengembangan tidak seragam dari pengembangan elemen sistem, peningkatan dinamis dan kontrol, peningkatan kompleksitas dan penyederhanaan, penggabungan dan pemisahan part, transisi ke tingkat mikro dan penggunaan bidang, serta penurunan interaksi manusia (peningkatan automasi).

c. *Effects*

Kondisi yang terjadi ketika proses pengembangan sedang dilakukan, dapat berupa rekayasa, kejadian ilmiah, dan efek eksternal. *Tools* yang dapat digunakan dalam kondisi ini dapat berupa *database*, ensiklopedi, dan studi literatur.

3. *Feedback and Implement*

Tools ini digunakan untuk menentukan bahwa solusi yang dipilih sudah tepat dalam memenuhi kebutuhan pelanggan. Evaluasi solusi harus mencakup proses iterasi didalamnya, ini merupakan syarat yang harus dipenuhi jika ingin menerapkan *feedback and implement*.

2. Visualisasi Desain Produk

Desain alat yang akan divisualisasikan diperoleh dari atribut-atribut yang didapatkan pada proses pengambilan dan pengolahan data menggunakan pendekatan *TRIZ*. Desain produk divisualisasikan menggunakan *software Solidworks 2019*.

3. Validasi Desain Produk

Desain alat yang telah divisualisasikan kemudian akan dilakukan proses verifikasi kesesuaian dengan apa yang diinginkan oleh pengguna. Proses verifikasi akan menggunakan uji *marginal homogeneity*. Pengujian *marginal homogeneity* digunakan untuk menunjukkan perbedaan atau kesamaan respon dari uji dua sampel berhubungan (Sheskin, 2004). Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

H0: Tidak ada perbedaan antara keinginan pengguna dengan produk usulan

H1: Ada perbedaan antara keinginan pengguna dengan produk usulan.

4. Perhitungan Penghematan *Force Compression*

Perhitungan penghematan ini akan dilakukan untuk menghitung berapa persen dampak yang bisa diberikan dalam mengurangi keluhan *musculoskeletal* melalui

parameter *force compression* dalam aktivitas pemasangan galon menggunakan alat bantu.

5. Analisis Data

Analisis data dalam penelitian ini menjelaskan bagaimana hasil dari pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini. Dimana akan dilakukan pembahasan mengenai keluhan *musculoskeletal* yang dialami oleh pengguna pada saat melakukan proses pengangkatan galon. Pembahasan akan dilakukan berdasarkan sudut pandang dari hasil pengolahan data biomekanikan dan hasil sinyal dari elektromiografi. Berikutnya dilakukan pembahasan mengenai desain produk menggunakan pendekatan TRIZ. Dimana didalamnya juga akan membahas tentang fitur apa saja yang dibutuhkan sesuai dengan keinginan pengguna.

6. Kesimpulan

Kesimpulan dan saran menjadi bagian penutup dari penelitian ini, di mana kesimpulan berisi tentang penjelasan dan jawaban singkat dari rumusan masalah yang telah dibuat di awal. Selain itu, dipaparkan saran mengenai rekomendasi untuk mengembangkan penelitian yang akan datang.

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1. Pengolahan Data TRIZ : *Specific Problems*

4.1.1. Profil Responden Studi Pendahuluan

Tahap pertama berupa pengumpulan informasi dalam menentukan masalah utama dan kebutuhan penelitian lanjutan dilakukan dengan penyebaran kuesioner. Survei kualitatif yang dilakukan sebagai *pilot study* disebarkan kepada 68 responden acak pengguna galon dalam pemenuhan kebutuhan air minum sehari-hari. Adapun karakteristik responden dijelaskan dalam Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Data Responden untuk *Pilot Study*

No.	Karakteristik	Rentang	Pesentase (%)
1	Jenis Kelamin	Laki-laki	56,30%
		Perempuan	43,70%
2	Usia	<20 tahun	4,20%
		20-30 tahun	77,50%
		31-40 tahun	5,60%
		>40 tahun	12,60%
3	Jenis Dispenser	Galon atas	62%
		Galon bawah	15,50%
		Alat pompa dispenser	22,50%
4	Bagian tubuh yang menderita nyeri/pegal	Punggung	26%
		Lengan bawah	22%
		Lengan atas	20%
		Pergelangan tangan	17%
		Kaki	14%
		Tidak ada	14,80%

Informasi yang dihimpun melalui survei tersebut mencakup identifikasi pengalaman pengguna saat melakukan pemasangan galon khususnya aktivitas pengangkatan dan pengangkutan galon. Pengalaman tersebut mencakup beberapa hal yang terdiri dari penelusuran mengenai keluhan yang dirasakan pengguna dalam aktivitas pemasangan galon tersebut, penyebab keluhan yang ditimbulkan dari

aktivitas tersebut dan bagian tubuh yang paling sering merasakan keluhan otot pada saat melakukan aktivitas tersebut.

4.1.2. Identifikasi Sistem, Supersistem, dan Target *TRIZ*

Hasil survei melalui kuesioner pengalaman pengguna terhadap aktivitas pemasangan galon dijadikan referensi dalam penjabaran masalah. Identifikasi permasalahan kemudian dilakukan dengan *function analysis*, yaitu mengidentifikasi komponen-komponen yang terlibat dan yang terjadi ketika pengguna sedang melakukan aktivitas pemasangan galon. Sejumlah komponen yang akan diidentifikasi terdiri dari tiga bagian, yaitu sistem, supersistem, dan target. Peneliti memilih keluhan otot/keluhan MSDs yang dialami pengguna dan tingkat efisiensi sebagai target utama dalam penggunaan alat bantu aktivitas pemasangan galon. Selain itu, berikut identifikasi komponen dari sistem alat bantu pemasangan galon yang dicantumkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Komponen Sistem TRIZ

No.	Komponen Sistem
1	Tangan pengguna
2	Kaki pengguna
3	Badan pengguna
4	Tenaga manual

Kemudian, berikut merupakan komponen supersistem yang berpotensi mempengaruhi kinerja dari alat bantu pemasangan galon yang dicantumkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Komponen Supersistem TRIZ

No.	Komponen Supersistem
1	Galon air
2	Tutup galon

Hubungan antar masing-masing komponen sistem, supersistem, dan target akan dibahas pada sub bab selanjutnya yaitu *function model TRIZ*.

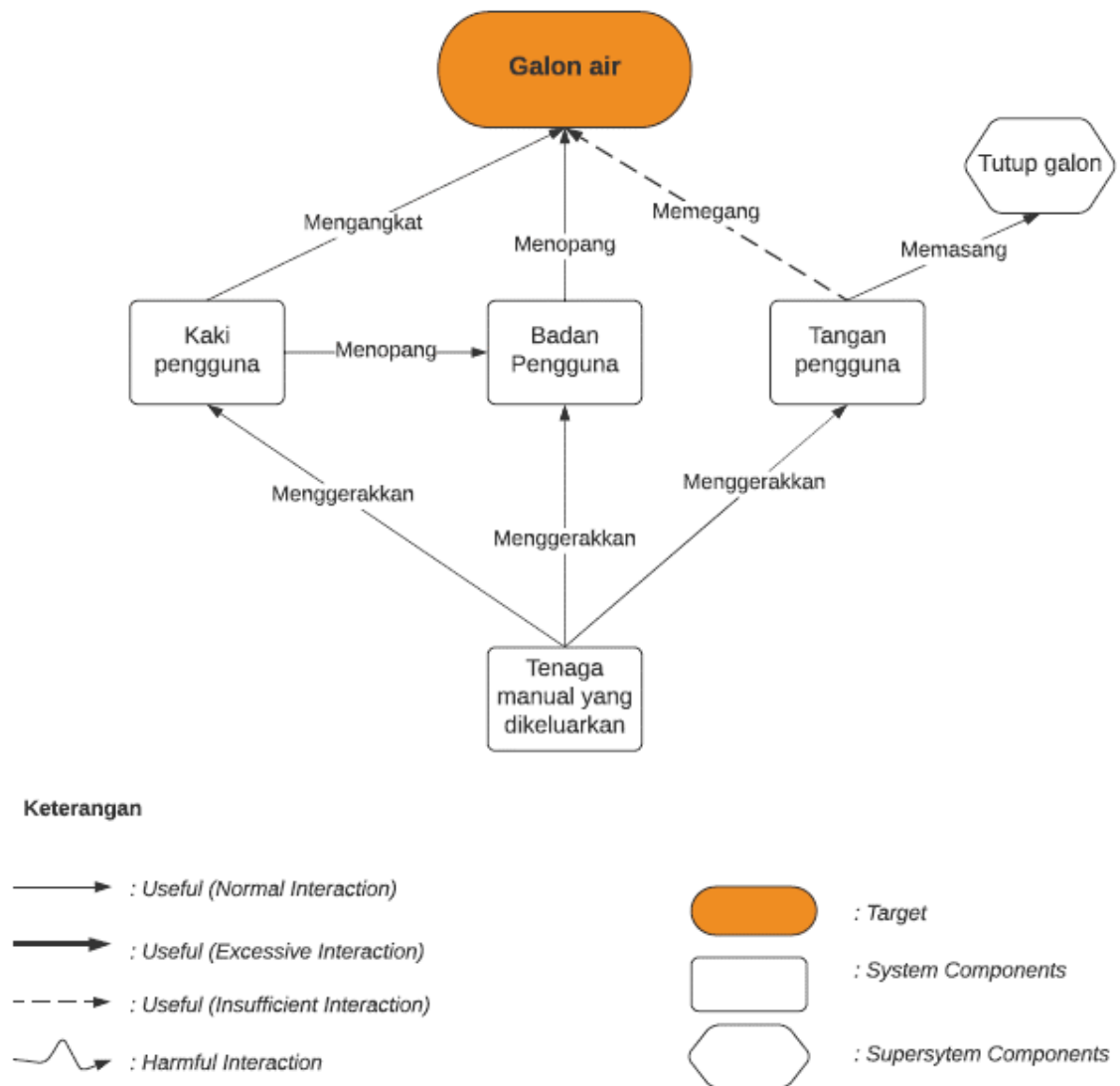
4.1.3. Identifikasi *Function Model TRIZ*

Berikut merupakan identifikasi dari interaksi/hubungan antara masing-masing komponen dari sistem, super sistem, sampai target dari sistem tersebut. Pada gambar dibawah dapat diketahui bahwa target utama dibuatnya alat bantu pemasangan galon yaitu karena adanya keluhan otot/ MSDs dan aktivitas yang dilakukan secara manual kurang efisien. Berikut merupakan hubungan interaksi antara masing-masing komponen, Hubungan antara komponen sistem,

1. Kaki pengguna menopang badan pengguna pada saat mengangkat galon air (*normal interaction*),
2. Tenaga manual yang dikeluarkan menggerakkan kaki pengguna saat aktivitas pemasangan galon air (*normal interaction*),
3. Tenaga manual yang dikeluarkan menggerakkan badan pengguna saat aktivitas pemasangan galon air (*normal interaction*),
4. Tenaga manual yang dikeluarkan menggerakkan tangan pengguna saat aktivitas pemasangan galon air (*normal interaction*),

Hubungan antara komponen sistem dan supersistem,

1. Tangan pengguna berfungsi untuk memegang galon air (*insufficient interaction*),
2. Badan pengguna berfungsi untuk menopang galon air (*normal interaction*),
3. Tangan pengguna berfungsi untuk memasang tutup galon (*normal interaction*),
4. Kaki pengguna berfungsi untuk mengangkat galon air (*normal interaction*).



Gambar 4. 1 Function Model TRIZ

4.1.4. Identifikasi Cause and Effect Chain Analysis (CECA) TRIZ

CECA merupakan bagian dari *function analysis*, yang dalam penelitian ini divisualisasikan melalui Gambar, kemudian serangkaian interaksi yang telah terkumpul diuraikan ke dalam analisis sebab dan akibat. Peneliti menentukan masalah utama (*target of problem*) yaitu keluhan otot/MSDs yang dirasakan pengguna dan kurangnya efisiensi dalam aktivitas pemasangan galon yang ada saat ini. Masalah utama diuraikan berdasarkan penyebab utama (*direct cause*), kemungkinan sebab yang berkontribusi terhadap penyebab utama (*intermediate cause*), hingga akar penyebab (*root cause*). Dalam Gambar dibawah, terdapat empat

akar penyebab masalah yang kemudian akan peneliti fokuskan solusinya menggunakan konsep TRIZ. Dari hasil CECA, maka *root cause* yang harus diselesaikan untuk mengatasi *target of problem* yaitu

- Aktivitas memasang tutup galon,
- Aktivitas mengangkat galon,
- Aktivitas membawa galon, dan
- Aktivitas memasang serta mengarahkan galon ke mulut dispenser.



Gambar 4. 2 Cause and Effect Chain Analysis untuk TRIZ

Berdasarkan permasalahan yang telah ditemukan dalam Gambar CECA tersebut, maka perancangan alat bantu diarahkan untuk dapat digunakan secara multifungsi sehingga dapat mengakomodasi keseluruhan elemen pekerjaan yang masih dilakukan secara manual dalam aktivitas pemasangan galon.

4.1.5 Profil Responden Kuesioner Desain Produk

Penyebaran kuesioner yang dilakukan berkenaan dengan usulan alat bantu pemasangan galon yang multifungsi dilakukan terhadap 68 responden. Peneliti memfokuskan kriteria responden yang menggunakan dispenser galon bawa dan juga atas dikarenakan nantinya diharapkan fungsi dari alat bantu ini dapat membantu pengguna dengan berbagai jenis dispenser. Adapun penjelasan karakteristik responden tersebut dijelaskan dalam Tabel berikut,

No.	Karakteristik	Rentang	Pesentase (%)
1	Jenis Kelamin	Laki-laki	60,50%
		Perempuan	39,50%
2	Usia	<20 tahun	3,90%
		20-30 tahun	81,30%
		31-40 tahun	3,90%
		>40 tahun	11,90%
3	Jenis Dispenser	Galon atas	62%
		Galon bawah	15,50%
		Alat pompa dispenser	22,50%

4.1.6 Identifikasi Keinginan Pengguna

Identifikasi keinginan pengguna yang dilakukan melalui penyebaran kuesioner terbuka mengenai kriteria keinginan pengguna terhadap alat bantu pemasangan galon yang telah dilakukan kepada 68 responden pengguna dispenser. Setelah terkumpul keinginan dari responden, kemudian peneliti mereduksi sejumlah kriteria berdasarkan kemiripannya menjadi 4 kriteria seperti yang tercantum dalam Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Atribut Keinginan Pengguna

No.	Atribut
1	Multifungsi
2	Mudah saat digunakan
3	Aman saat digunakan
4	Nyaman saat digunakan

4.1.7 Uji Validitas

Pengujian atribut alat dilakukan guna memastikan bahwa data yang diperoleh sesuai dengan keinginan pengguna pada saat melakukan aktivitas pemasangan galon. Sehingga, hasil uji dapat digunakan sebagai data penelitian.

Tabel 4. 5 Hasil Uji Validitas Atribut

No.	Atribut	Rtabel	Rhitung	Keputusan
1	Multifungsi	0,239	0,745	Valid
2	Mudah saat digunakan	0,239	0,912	Valid
3	Aman saat digunakan	0,239	0,801	Valid
4	Nyaman saat digunakan	0,239	0,853	Valid

Dalam penelitian ini, atribut dinyatakan valid jika nilai *Pearson Correlation* (sebagai rhitung) $> r_{tabel}$ (0,239; $df = 66$; *two tailed with a level of significance* = $5\%/2 = 0,025$). Berdasarkan hasil uji validitas seluruh atribut dalam Tabel, diketahui bahwa total 4 atribut memiliki nilai Rhitung $> R_{tabel}$, sehingga keputusan H_0 diterima (data dinyatakan valid).

4.1.8 Uji Reliabilitas

Uji reliabilitas dilakukan setelah empat atribut dinyatakan valid. Proses pengujian ini menggunakan *level of significance* = 0,025 dan ditentukan $df = 66$, sehingga nilai R_{tabel} diperoleh sebesar 0,926 sebagaimana tercantum dalam Tabel 4.6. Menurut aturan klasifikasi nilai *Cronbach's Alpha* dalam Tabel 3.1, nilai 0,926 berada dalam rentang $0,9 \leq \alpha$ yang menandakan kuesioner memiliki nilai reliabel yang bagus untuk digunakan (*Excellent reliability*).

Tabel 4. 6 Hasil Uji Reliabilitas Atribut

<i>Reliability Statistics</i>	
Cronbach Alpha	Number of Items
0,926	4

4.2 Pengolahan Data TRIZ

Dalam sub bab berikut akan disajikan *general problem* yang didapatkan dari hasil keinginan pengguna dan diagram CECA.

4.2.1 Model of Problem TRIZ (Kontradiksi Masalah dan Solusi Umum)

Berdasarkan identifikasi akar penyebab dan atribut yang dibutuhkan oleh responden, selanjutnya akan dimodelkan kontradiksi permasalahan yang ada untuk menentukan *worsening* dan *improving feature*-nya. Solusi umum/ *General solutions* akan diperoleh sebagai hasil dari persilangan kontradiksi matriks berdasarkan *worsening* dan *improving feature* yang telah ditentukan sebelumnya.

1. Multifungsi

Akar masalah: Jumlah gerakan kerja yang dilakukan terlalu banyak.

Kontradiksi (*engineering contradiction*): Jika alat dibuat untuk dapat mengangkat dan memasang galon ke dispenser (*improving feature: Device complexity*), maka alat akan lebih efisien dan efektif karena mempunyai beberapa fungsi sekaligus, akan tetapi alat harus membutuhkan energi yang besar untuk mengoprasikannya (*worsening feature: Use of energy by moving object*).

Inventive principle: Taking out (2), Cheap short-living objects(27), Mechanics substitution (28), Pneumatics and hydraulics (29).

	↓ Worsening Feature
↑ Improving Feature	Use of energy by moving object (19)
Device complexity (36)	2,27,28,29

Gambar 4. 3 Kontradiksi teknis untuk atribut multifungsi

2. Mudah saat digunakan

Akar masalah: Jumlah gerakan kerja yang dilakukan terlalu banyak.

Kontradiksi (*engineering contradiction*): Jika alat dibuat dengan mempunyai penopang dibawah galon (*improving feature: shape*), maka alat dapat mengangkat galon secara stabil, akan tetapi alat membutuhkan waktu dalam melakukan *setup* pemasangan galon ke alat bantu

(worsening feature: loss of time).

Inventive principle: Spherodaility/curvature(24), Preliminary action (10), Another dimension (17), Discarding and recovering (35).

	↓ Worsening Feature
↑ Improving Feature	Loss of time (25)
Shape (12)	24,10,17,35.

Gambar 4. 4 Kontradiksi Teknis untuk Atribut Mudah Digunakan

3. Aman

Akar masalah: Postur Angkat dalam gerakan membawa, mengangkat dan mengarahkan galon yang berat.

Kontradiksi (*engineering contradiction*): Jika rangka alat dibuat secara kuat dan kokoh untuk stabilitas dalam menahan beban galon (*improving feature: strength*), maka alat dapat digunakan dengan aman, akan tetapi alat akan mempunyai beban yang berat (*worsening feature: weight of moving object*).

Inventive principle: Segmentation (1), Antiweight (8), Dynamics (15), Composite materials (40).

	↓ Worsening Feature
↑ Improving Feature	Weight of moving object (1),
Strength (14)	1,8,15,40.

Gambar 4. 5 Kontradiksi Teknis untuk Atribut Aman

4. Nyaman

Akar masalah: Postur angkat dalam gerakan membawa, mengangkat dan mengarahkan galon yang berat.

Kontradiksi (*physical contradiction*):

- Dimensi tinggi *handle* dari alat bantu harus bisa memanjang untuk digunakan oleh orang dengan dimensi tubuh yang tinggi dan harus bisa memendek untuk digunakan dimensi tubuh yang pendek.
- Alat harus dapat melebar untuk dapat mengangkat galon dengan ukuran besar, dan harus ramping untuk dapat mengangkat galon dengan ukuran yang tidak terlalu besar.

Inventive principle: Dalam atribut ini peneliti menemukan tiga kontradiksi fisik yang berhubungan dengan pemisahan terhadap waktu. Maka dari itu berdasarkan kontradiksi tersebut, terdapat beberapa alternatif solusi prinsip inventif yang dapat dipilih adalah sebagai berikut, Segmentation (1), Nested Doll (7), Prior counteraction (9), Prior action (10), Cushion

in advance (11), Dynamics (15), Partial/Excessive action (16), Mechanical vibration (18), Periodic action (19), Rushing through (21), Intermediary (24), Copying (26), Cheap short living objects (27), Pneumatics and hydraulics (29), Discarding and recovering (34), dan Thermal expansion (37).



4.3 Pengolahan Data TRIZ: *Specific Solution*

TRIZ *general solutions* yang telah diidentifikasi dapat dijadikan acuan dalam menentukan solusi spesifik terhadap permasalahan yang terjadi.

Berdasarkan hasil identifikasi, berikut merupakan model solusi yang ditentukan menggunakan prinsip inventif.

Tabel 4. 7 TRIZ *Specific Solution*

Atribut	Kontradiksi	Inventive Principle	Deskripsi	Sub-Prinsip	Solusi yang spesifik
Multifungsi	Jika alat dibuat untuk dapat mengangkat dan memasang galon ke dispenser, maka alat akan lebih efisien dan efektif karena mempunyai beberapa fungsi sekaligus, akan tetapi alat harus membutuhkan energi yang besar untuk mengoprasikannya	<i>Pneumatics and hydraulics (29)</i>	A. Menggunakan jenis zat berupa gas atau cairan sebagai bagian dari objek dibandingkan dengan zat padat (dapat ditiup, diisi cairan, melalui bantalan udara, hidrostatik, hidroreaktif).	A. Menggunakan jenis zat berupa gas atau cairan sebagai bagian dari objek dibandingkan dengan zat padat (dapat ditiup, diisi cairan, melalui bantalan udara, hidrostatik, hidroreaktif).	Untuk dapat mengangkat, memutar sampai memasang galon ke dispenser, maka sub prinsip pneumatik (pengisian udara dalam komponen tertentu) diterapkan pada kerangka penyangga alat untuk mengangkat beban galon.

Atribut	Kontradiksi	Inventive Principle	Deskripsi	Sub-Prinsip	Solusi yang spesifik
Mudah digunakan	Jika alat dibuat dengan mempunyai penopang dibawah galon (improving feature: shape), maka alat dapat mengangkat galon secara stabil, akan tetapi alat membutuhkan waktu dalam melakukan setup pemasangan galon ke alat bantu (worsening feature: loss of time)..	<i>Spheroidality-curvature (24)</i>	<p>A. Mengganti objek yang mempunyai permukaan/struktur bujur sangkar menjadi lengkung, bulat, atau bola</p> <p>B. Menggunakan roler, roda, atau kubah</p> <p>C. Memanfaatkan prinsip kerja benda berputar</p>	A. Mengganti objek yang mempunyai permukaan/struktur bujur sangkar menjadi lengkung, bulat, atau bola	A. Menghilangkan permukaan bujur sangkar untuk penopang galon, dan beralih ke penjepit galon yang mempunyai bentuk lengkung sesuai pola struktur dari galon.

Atribut	Kontradiksi	Inventive Principle	Deskripsi	Sub-Prinsip	Solusi yang spesifik
Aman	Jika rangka alat dibuat secara kuat dan kokoh sehingga stabil dalam menahan beban galon maka alat dapat digunakan dengan aman, akan tetapi alat akan mempunyai beban yang berat dan membutuhkan tenaga yang besar untuk mendorongnya	<i>Composite materials</i> (40)	A. Mengganti bahan dari material yang sejenis menjadi perpaduan antara beberapa material	A. mengganti bahan dari material yang sejenis menjadi perpaduan antara beberapa material	A. Rangka alat bantu menggunakan besi <i>assental</i> ST41, yang merupakan jenis dari baja karbon rendah dengan kandungan utama adalah besi dan karbon yang kurang dari 3%. Alasan pemilihan bahan ini yaitu karena <i>assental</i> ST41 mempunyai tingkat kekerasan tinggi, beban yang ringan, tahan terhadap korosi, dan harganya tergolong murah.

Atribut	Kontradiksi	Inventive Principle	Deskripsi	Sub-Prinsip	Solusi yang spesifik
Nyaman	Dimensi tinggi kerangka dari alat bantu harus bisa memanjang untuk digunakan oleh orang dengan dimensi tubuh yang tinggi dan harus pendek agar dapat dijangkau oleh dimensi tubuh yang pendek.	Dynamics (15)	<p>A. Merancang karakteristik objek, lingkungan luar, atau proses untuk kondisi yang optimal dalam setiap tahap operasi.</p> <p>B. Membagi objek menjadi beberapa bagian yang mampu bergerak terhadap objek lainnya.</p> <p>C. Mengubah objek atau proses dari kondisi tidak fleksibel menjadi adaptif.</p>	A. Merancang karakteristik objek, lingkungan luar, atau proses untuk kondisi yang optimal dalam setiap tahap operasi.	Ukuran tinggi dari pegangan alat bantu akan disesuaikan dengan ukuran tinggi siku berdiri pada yang dapat mengakomodasi semua ukuran persentil, sehingga dimensi dari pegangan alat menjadi optimal untuk dapat mengakomodasi keseluruhan tinggi pengguna yang berbeda-beda

Atribut	Kontradiksi	Inventive Principle	Deskripsi	Sub-Prinsip	Solusi yang spesifik
	Lebar penjepit alat harus dapat digunakan untuk menjepit galon yang paling besar dan harus ramping untuk dapat menjepit galon yang kecil	Segmentation (1)	<p>A. Membagi objek ke dalam bagian yang berbeda.</p> <p>B. Membuat objek mudah untuk dilepas rakitannya.</p> <p>C. Meningkatkan tingkat fragmentasi atau segmentasi.</p> <p>D. Mengubah ke tingkatan yang lebih kecil (<i>micro level</i>).</p>	C. Meningkatkan tingkat fragmentasi atau segmentasi.	Setiap <i>part</i> dari alat bantu yaitu kerangka, penahan beban, dan <i>handle</i> akan dibuat bersegmen-segmen sehingga memudahkan alat bantu untuk dapat dilipat ketika tidak digunakan.

4.4 Quality Function Deployment (QFD)

Metode QFD pada penelitian ini akan dimanfaatkan untuk menentukan solusi spesifik yang telah ditentukan sebelumnya menggunakan matriks kontradiksi TRIZ, dan menerjemahkan solusi tersebut ke dalam suatu nilai yang berbentuk objektif. Berikut merupakan tahapan QFD yang digunakan dalam penelitian ini.

4.4.1 Menentukan *Customer Needs*

Customer Needs dalam penelitian ini akan menggunakan atribut keinginan pengguna yang telah diketahui sebelumnya dalam penggunaan metode TRIZ. Hal ini dilakukan guna menghindari tumpang tindih fungsi dari QFD dan TRIZ, sehingga berikut merupakan *customer needs* yang akan digunakan,

1. Multifungsi,
2. Mudah digunakan,
3. Aman digunakan,
4. Nyaman digunakan.

4.4.2 Menentukan *Technical Requirement*

Technical Requirement adalah sebuah desain teknis untuk menunjang kebutuhan pelanggan. *Technical Requirement* yang ditentukan tidak harus memiliki jumlah yang sama dengan kebutuhan pelanggan tetapi harus dapat memenuhi kebutuhan pelanggan tersebut. Berikut merupakan *technical requirement* yang ditentukan sesuai dengan *customer needs* yang ada yaitu sebagai berikut:

Tabel 4. 8 *Technical Requirement*

No	<i>Customer Needs</i>	<i>Technical Requirement</i>
1	Multifungsi	Fungsi 1: Sistem pengangkat galon Fungsi 2: Sistem pemutar galon Fungsi 3: Sistem penjepit hidrolik Fungsi 4: Sistem penggerak alat bantu Fungsi 5: Sistem pendorong galon Fungsi 6: Sistem pengarah galon
2	Mudah digunakan	Sistem pengangkat galon Sistem pemutar galon

No	Customer Needs	Technical Requirement
		Sistem penjepit hidrolik
		Sistem penggerak alat bantu
		Sistem pendorong galon
		Sistem pengarah galon
		Posisi <i>handle</i> yang <i>adjustable</i>
		Ukuran tombol yang ergonomi
3	Aman digunakan	Material rangka yang kuat dan ringan
		Sistem pengunci galon
		Material pengunci galon
		Material <i>handle</i>
4	Nyaman digunakan	Ukuran penjepit hidrolik
		Ukuran rangka alat bantu
		Ukuran lebar diameter <i>handle</i>
		Ukuran tombol yang ergonomi

4.4.3 Menentukan Target/Value

Target adalah realisasi dari sebuah perencanaan yang terdapat pada *Technical Requirement*. Dari *target* tersebut kemudian ditentukan spesifikasi dari parameter yang harus dicapai untuk memenuhi *Technical Requirement* yang telah dibuat. Berikut merupakan target yang harus dicapai dalam penelitian ini:

Tabel 4. 9 Target/Value

No	Technical Requirement	Target
1	Sistem pengangkat galon	Sistem <i>pneumatic</i> , <i>max force</i> : 28 kgf, <i>max press</i> : 10 bar
2	Sistem pemutar galon	Prinsip katrol ganda, diameter roda katrol: 13 mm, maksimum beban: 100 kg.
3	Sistem penjepit hidrolik	- Hidrolik <i>gas spring</i> (panjang:40 cm, <i>max force</i> : 200N) - Pedal (13,5 cm x 13,5 cm X 0,2 cm)
4	Sistem penggerak alat bantu	Roda karet+selflock, diameter roda: 5 inch

5	Sistem pendorong galon	Sistem <i>pneumatic</i> , <i>max force</i> : 28 kgf, <i>max press</i> : 10 bar
6	Sistem pengarah galon	Prinsip katrol ganda, diameter roda katrol: 13 mm, maksimum beban: 100 kg.
7	Ukuran penjepit hidrolik	Diameter maksimal: 29 cm, Diameter minimal: 18cm
8	Desain tombol yang ergonomi	Lebar diameter tombol: 3,7 cm
9	Material rangka yang kuat dan ringan	Besi Assental ST 41
10	Ukuran rangka alat bantu	Panjang: 20 cm, Lebar: 30 cm, Tinggi: 102 cm.
11	Sistem pengunci galon	<i>Ratchet</i> pengunci gantungan+Tali kalar, maks beban: 68 kg
12	Material pengunci galon	Nilon, plastik, dan logam
13	Posisi <i>handle</i> yang <i>adjustable</i>	Tinggi handle, minimal: 89cm, maksimal: 102 cm.
14	Ukuran lebar diameter <i>handle</i>	Diameter lebar handle, minimal: 2,5cm, maksimal: 5 cm
15	Material <i>handle</i>	Besi assental ST 41 dan Silikon

4.4.4 *House of quality*

House of quality merupakan suatu alat dalam metode QFD, berupa suatu matriks yang menghubungkan antara atribut keinginan pengguna, dan atribut yang sudah diterjemahkan ke dalam bahasa teknis oleh praktisi. Alat ini berfungsi untuk untuk membentuk peringkat antar

atribut yang diperoleh dari skor hubungan antar masing-masing atribut. Dari daftar peringkat tersebut maka praktisi dapat berkonsentrasi terhadap atribut yang mempunyai skor akhir paling banyak, yang berarti atribut tersebut mempunyai tingkat kepentingan dan kebutuhan yang tinggi.

Tabel 4. 10 *House of Quality*

Target	Nyaman digunakan	Aman digunakan	Mudah digunakan	Multifungsi	Customer Requirements (Explicit and Implicit)	Functional Requirements
Sistem pneumatic, max force: 28 kgf, max press: 10 bar			●	●		Sistem pengangkat galon
Prinsip katrol ganda, diameter roda katrol: 13 mm, maksimum beban: 100 kg			●	●		Sistem pemutar galon
Hidrolik gas spring (panjang: 40 cm, max force: 200N) + pedal (13,5 cm x 13,5 cm X 0,2 cm)			●	●		Sistem klamp hidrolik
Roda karet- <i>wheel/lock</i> , diameter roda: 5 inch			●	●		Sistem penggerak alat bantu
Hidrolik gas spring (panjang: 40 cm, max force: 200N)			●	●		Sistem mendorong galon
Sistem pneumatic, max force: 28 kgf, max press: 10 bar			●	●		Sistem pengarah galon
Tinggi <i>handle</i> , minimal: 89cm, maksimal: 102 cm.			●			Posisi <i>handle</i> yang <i>adjustable</i>
Besi assental ST 41, ketebalan: 3 cm		●				Material rangka yang kuat dan ringan
Besi assental ST 41, ketebalan 3 cm dan dilapisi karet silikon		●				Material handle
Stopper penahan beban, panjang: 10cm, diameter: 1cm		●				Sistem pengunci galon
Besi assental ST 41, ketebalan: 3 cm		●				Material pengunci galon
Panjang: 40 cm, lebar: 45 cm, tinggi: 141 cm	●					Dimensi rangka alat bantu
Lebar diameter tombol: 3,9 cm	●		●			Ukuran tombol yang ergonomi
Diameter maksimal: 35 cm, Diameter minimal: 18cm	●		●			Ukuran penjepit hidrolik
Diameter lebar <i>handle</i> , minimal: 3,7 cm, maksimal: 5 cm	●					Ukuran lebar diameter handle

Berdasarkan matrik korelasi dari *house of quality* pada table 4. Maka berikut merupakan peringkat atribut dari skor nilai hubungan dari yang paling tinggi sampai paling rendah,

- 1) Sistem pengangkat galon
- 2) Sistem pemutar galon
- 3) Sistem pendorong galon
- 4) Sistem penjepit hidrolik
- 5) Sistem penggerak alat bantu
- 6) Sistem pengarah galon
- 7) Ukuran tombol yang ergonomic
- 8) Material rangka yang kuat dan ringan
- 9) Sistem pengunci galon
- 10) Material pengunci galon

- 11) Posisi *handle* yang *adjustable*
- 12) Material *handle*
- 13) Ukuran penjepit hidrolik
- 14) Ukuran rangka alat bantu
- 15) Ukuran diameter *handle*.

4.5 Pengolahan Data Antropometri

4.5.1 Karakteristik Subjek Data Antropometri

Data antropometri yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari kalangan usia dewasa dengan karakteristik fisik normal. Pada penelitian ini digunakan 30 subjek dengan rentang usia 40- 75 tahun. Rata-rata usia dari subjek ini yaitu sebesar $60,97 \pm 11,75$ tahun.

Dimensi tubuh yang digunakan dalam merancang ukuran alat bantu khususnya untuk mendesain *handle*/ pegangan untuk membantu meningkatkan kenyamanan dan mempermudah penggunaan alat bantu yaitu dimensi tinggi siku berdiri (TSB), dan diameter lingkaran genggam maksimal (DGMAX), dimensi tersebut dipilih berdasarkan beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Sokhibi dkk (2018), dalam penelitian yang bertujuan untuk membuat troli yang ergonomi untuk mengangkut beras. Dalam penelitian tersebut dimensi tubuh TSB dan DGMAX digunakan dalam merancang *handle* troli supaya lebih nyaman digunakan karena memiliki ukuran yang telah disesuaikan dengan ukuran tubuh mayoritas dalam populasi pengguna alat tersebut.

Untuk lebih jelasnya, maka ukuran desain alat bantu dan pemanfaatan dari dimensi tubuh yang diperoleh melalui data antropometri telah terangkum dalam Tabel 4.12.

Tabel 4. 11 Daftar Dimensi Tubuh Desain Alat

Dimensi tubuh		Kebutuhan dimensi tubuh dalam spesifikasi alat
Tinggi siku berdiri	(TSB)	Jarak ketinggian <i>handle</i> dari permukaan tanah
Diameter genggaman max.	(DGMAX)	Lebar diameter <i>handle</i>
Lebar jari telunjuk	(LJL)	Lebar diameter tombol sistem angkat

4.5.2 Uji Normalitas Data Antropometri

Berikut hasil pengujian normalitas data yang telah dilakukan dengan *software IBM SPSS Statistics v 25*, dalam Tabel 4.12

Tabel 4. 12 Hasil Uji Normalitas Data Antropometri

Dimensi	Shapiro Wilk		
	Statistic	Df	Sig.
TSB	0,961	30	0,336
DGMAX	0,933	30	0,058
LJL	0,941	30	0,095

Dalam Tabel 4.13, tingkat signifikansi (α) untuk setiap dimensi tubuh bernilai lebih dari 0,05. Hal ini menandakan bahwa semua dimensi tubuh untuk kategori perhitungan data antropometri anak-anak telah berdistribusi normal ($\alpha > 0,05$), sehingga H_0 diterima, artinya data dinyatakan berdistribusi normal.

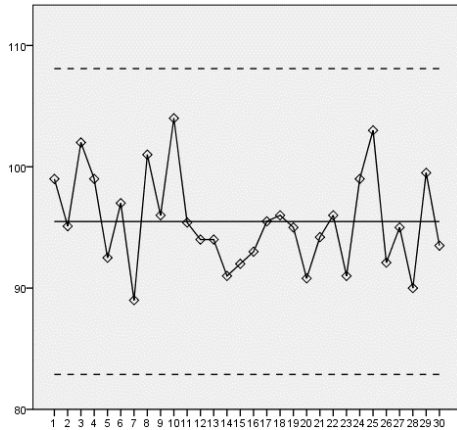
4.5.3 Uji Keseragaman Data Antropometri

Pengolahan data antropometri dilakukan pada rentang usia 40- 75 tahun dengan jenis kelamin laki-laki dan perempuan, berikut merupakan pengujian keseragaman data dalam Tabel 4.13 menggunakan *software IBM SPSS Statistics v 25*.

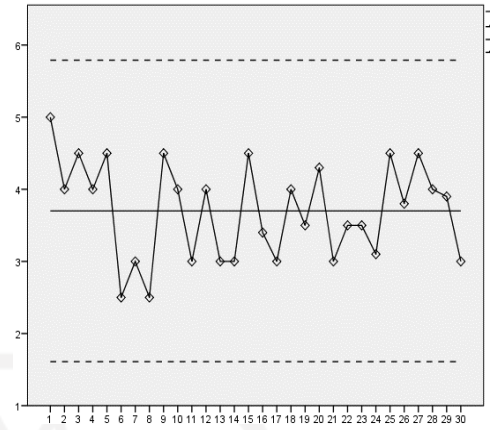
Tabel 4. 13 Hasil Uji Keseragaman Data Antropometri

Dimensi	N	Mean	Std. Deviation	UCL	LCL
TSB	30	95,49	3,9	108,09	82,88
DGMAX	30	3,7	0,68	5,79	1,61
LJL	30	2,32	0,35	3,23	1,39

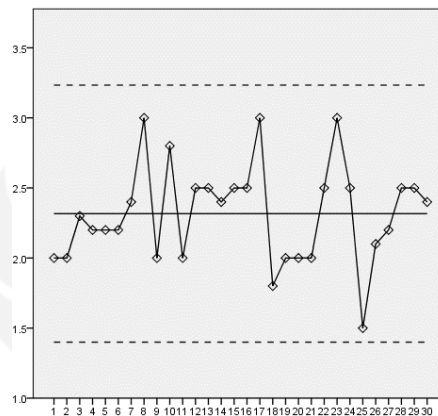
Berdasarkan data dimensi dari masing-masing subjek, yang diilustrasikan dalam diagram kontrol data antropometri, bahwa data yang diambil telah seragam. Hal tersebut telah didukung dalam ilustrasi gambar yang menunjukkan sebaran nilai data ke-1 hingga ke-30, telah berada dalam batas garis *Upper Control Limit (UCL)* dan *Lower Control Limit (LCL)*.



Gambar 4. 6 Diagram Kontrol Dimensi TSB



Gambar 4. 7 Diagram Kontrol Dimensi DGMAX



Gambar 4. 8 Diagram Kontrol Dimensi LJJ

4.5.4 Uji Kecukupan Data Antropometri

Dalam pengujian kecukupan data antropometri ini, tingkat kepercayaan yang digunakan sebesar 95% (nilai $k=2$) dan tingkat ketelitian sebesar 10% (nilai $s=0,1$). Dari masing-masing nilai hasil perhitungan, data dinyatakan cukup jika nilai $N' < N$ (data; $N=30$). Berikut merupakan pengolahan uji kecukupan data setiap dimensi:

A. Dimensi Tinggi Siku Berdiri

Berikut merupakan N' ,

$$N' = \left[\frac{2/0,1\sqrt{(30 \times 426,06) - 111^2}}{111} \right]^2$$

$$= 0,49$$

Nilai $N' < N$ ($0,49 < 30$), maka data dinyatakan cukup.

B. Dimensi Diameter Genggaman Maksimal

Berikut merupakan perhitungan N' ,

$$N' = \left[\frac{2/0,1\sqrt{(30 \times 426,06) - 111^2}}{111} \right]^2$$

$$= 12,96$$

Nilai $N' < N$ ($12,96 < 30$), maka data dinyatakan cukup.

C. Dimensi Lebar Jari Telunjuk

Berikut merupakan perhitungan N' ,

$$N' = \left[\frac{2/0,1\sqrt{(30 \times 164,67) - 69,5^2}}{69,5} \right]^2$$

$$= 3,02$$

Nilai $N' < N$ ($3,02 < 30$), maka data dinyatakan cukup.

4.5.5 Perhitungan Persentil Data Antropometri

Penetapan ukuran beberapa bagian alat ditentukan melalui dimensi-dimensi tubuh yang telah disebutkan dalam Tabel 4.14 Berikut merupakan hasil perhitungan persentil untuk setiap dimensi terpilih.

Tabel 4. 14 Persentil Data Antropometri

Dimensi	Persentil (cm)		
	P ₅	P ₅₀	P ₉₅
TSB	89,07	95,49	102
DGMAX	2,58	3,7	4,82
LJL	3,32	3,9	4,48

Untuk penyesuaian masing-masing dimensi berdasarkan spesifikasi alat akan dijelaskan pada paragraph berikut,

A. Dimensi Tinggi *handle*

Tinggi *handle* pada alat bantu akan dibuat *adjustable* untuk dapat digunakan secara nyaman oleh pengguna dengan berbagai macam ukuran tubuh. Untuk itu pendekatan antropometri yang digunakan akan mengimplementasikan prinsip *design for range*. Dimana dalam penelitian yang dilakukan oleh Taifai dan Disai (2016), mereka menggunakan Persentil 5 untuk menentukan ukuran alat paling minimal untuk mengakomodasi populasi ukuran tubuh yang kecil, dan persentil 95 untuk mengakomodasi populasi dengan ukuran tubuh yang besar. Berikut merupakan perhitungan untuk ukuran dimensi tinggi *handle* berdasarkan persentil 5 dan 95,

$$\begin{aligned}
 P_5 &= \bar{x} - Z_x \cdot (SB) \\
 &= 95,49 - (1,645 \times 3,9) \\
 &= 89,07 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tinggi *handle* minimal dari alat bantu adalah 89,07 cm

$$\begin{aligned}
 P_{95} &= \bar{x} + Z_x \cdot (SB) \\
 &= 95,49 + (1,645 \times 3,9) \\
 &= 101,9 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tinggi *handle* maksimal dari alat bantu adalah 101,9 cm

B. Dimensi Diameter Genggaman *handle*

Dimensi diameter genggaman *handle* dibuat dengan pendekatan antropometri yang akan mengimplementasikan prinsip *design for average*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hughes dan Johnson, (2012) juga menggunakan prinsip *design for average* dengan persentil 50 dalam mendesain tombol *keyboard* untuk anak-anak. Hal tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam mendesain lebar *handle* pada alat bantu pemasangan galon. Berikut merupakan perhitungan dari persentil yang digunakan,

$$\begin{aligned}
 P_{50} &= \bar{x} \\
 &= 3,7 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Diameter dari genggaman *handle* yaitu 3,7 cm

C. Dimensi Lebar Diameter Tombol

Dimensi lebar telunjuk dibuat untuk menentukan ukuran dari diameter tombol yang digunakan dalam sistem pengoprasian pengangkatan galon. Pendekatan antropometri yang digunakan akan mengimplementasikan prinsip *design for average*. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Hughes dan Johnson, (2012) juga menggunakan prinsip *design for average* dengan persentil 50 dalam mendesain tombol *keyboard* untuk anak-anak. Hal tersebut akan digunakan sebagai acuan dalam mendesain tombol pada alat bantu pemasangan galon. Berikut merupakan perhitungan dari persentil yang digunakan,

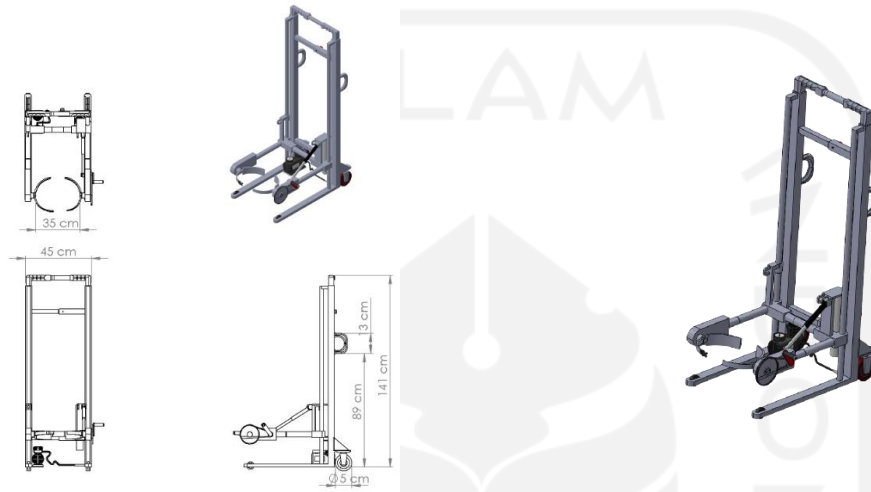
$$\begin{aligned}
 P_{50} &= \bar{x} \\
 &= 3,9 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Diameter dari genggaman *handle* yaitu 3,9 cm

4.6 Visualisasi Desain Produk

4.6.1 Spesifikasi Desain Produk

Berikut merupakan hasil rancangan alat bantu pemasangan galon sesuai dengan konsep penerapan desain menggunakan TRIZ *inventive principles*. Pembuatan desain virtual ditujukan sebagai gambaran secara visual kepada pengguna alat bantu pemasangan galon untuk kemudian diuji validitas desainnya.



Pada bagian gambar 4.9 rancangan alat bantu memiliki tinggi 141 cm dari permukaan tanah. Lebar alat memiliki ukuran 45 cm yang disesuaikan dengan ukuran diameter galon. Ukuran *handle* memiliki panjang 13 cm, dan bagian terendahnya memiliki tinggi 89 cm dari permukaan tanah yang disesuaikan berdasarkan dimensi tinggi siku berdiri (TSB). Sementara diameter *handle* mempunyai lebar 3,7 cm yang disesuaikan dengan dimensi diameter lingkaran genggam (DGMAX), dan diameter tombol mempunyai ukuran 3,9 cm yang disesuaikan dengan dimensi lebar jari telunjuk (LJL).

Cara kerja alat yaitu, pertama dengan menggeser penjepit galo sesuai dengan ukuran galon. Kedua, pasang kunci pengaman pada penjepit galon. Ketiga, angkat galon dengan menekan tombol untuk mengaktifkan pneumatiknya. Keempat, putar tuas galon untuk memutar letak dari galon, untuk selanjutnya dorong tuas untuk mengunci letak galon. Kelima, tekan kembali tombol untuk memasang galon ke dispenser. Keenam, lepas penjepit galon dengan melepas penguncinya terlebih dahulu. Setelah itu tekan kembali tombol pneumatic untuk mengembalik penjepit ke posisi semula.

4.6.2 Uji *Marginal Homogeneity* Desain Produk

Proses uji homogenitas terhadap desain alat ditujukan guna mengidentifikasi desain yang diusulkan terhadap pemenuhan keinginan pengguna melalui atribut-atribut yang telah dirangkum. Dengan menggunakan tingkat signifikansi sebesar 5%, hasil uji homogenitas ditunjukkan melalui Tabel 4.

Tabel 4. 15 Tingkat Signifikansi Uji *Marginal Homogeneity*

Atribut	Asymp. Sig. 2 tailed
Multifungsi	0,155
Mudah digunakan	0,145
Aman digunakan	0,219
Nyaman digunakan	0,206

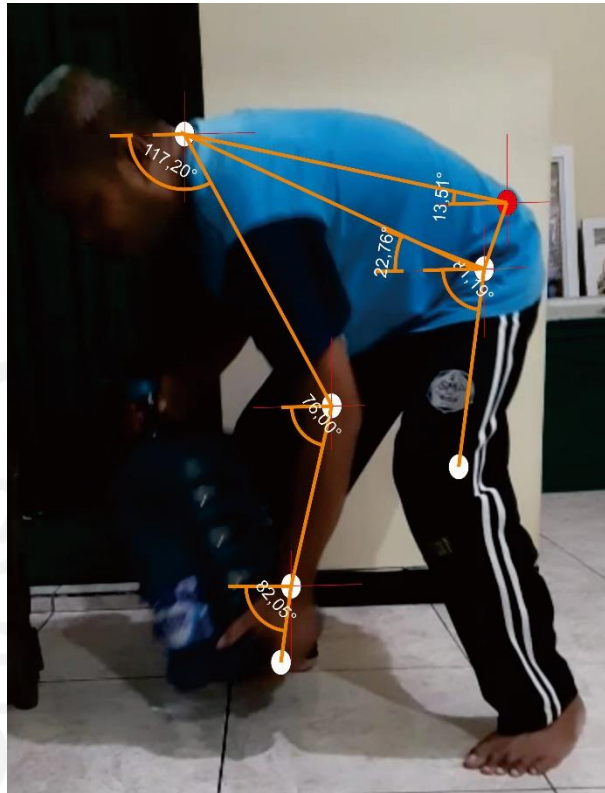
Hasil pengolahan menggunakan IBM SPSS 22 menunjukkan bahwa H_0 diterima, yaitu tidak ada perbedaan yang signifikan antara keinginan pengguna dan desain alat yang diusulkan (*Asymp. Sig.* setiap atribut $> 0,05$).

4.7 Perhitungan Biomekanika

Berikut merupakan perhitungan biomekanika yang digunakan untuk menentukan tekanan/resultan gaya yang diterima oleh segmen-segmen tubuh. Perhitungan biomekanika terbagi menjadi 2 sub-bab yaitu perhitungan biomekanika pada aktivitas pemasangan galon sebelum menggunakan alat bantu dan perhitungan biomekanika pada aktivitas pemasangan galon menggunakan alat bantu.

4.7.1 Biomekanika sebelum menggunakan alat bantu

Berikut merupakan postur tubuh dari subjek pada saat melakukan pengangkatan galon sebelum menggunakan alat bantu.



Gambar 4. 9 Postur Biomekanika Sebelum Menggunakan Alat Bantu

Dalam postur tubuh tersebut untuk perhitungan biomekanika memperhatikan beberapa segmen tubuh yaitu pergelangan tangan, lengan bawah, lengan atas, dan punggung.

A. Subjek 1

Tabel 4. 16 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,085m	$\theta_1 = 82$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,26m	$\theta_2 = 76$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,27m	$\theta_3 = 117$
4	Punggung	SL4 = 0,4m	$\theta_4 = 13$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 22,7$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 81$

Massa Tubuh	= 70 kg	$W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$
Massa Benda	= 20 kg	$W_{\text{badan}} = m.g = 70 \cdot 10 = 700 \text{ N}$
Jarak Horizontal	= 56 cm	$\lambda_2 = 0,430$
Jarak Vertikal 1	= 0 cm	$\lambda_3 = 0,436$
Jarak Vertikal 2	= 60 cm	$\lambda_4 = 0,670$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7+(15-7)\theta^4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7+(15-7)\theta^4}{90^\circ} = 0.34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m.g = 20.10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m.g = 70.10 = 700 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 700 = 4,2 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 700 = 11,9 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 700 = 19,6 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 700 = 350 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 11,9 + 2 \cdot 19,6 + 350 \\ &= 621,4 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,2 = 104,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,2) \cdot 0,085 \cdot \cos 82 \\ &= 1,23 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,2 + 11,9 = 116,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 1,23 + (11,9 \cdot 0,430 \cdot 0,26 \cdot \cos 76) + (104,2 \cdot 0,26 \cdot \cos 76) \end{aligned}$$

$$= 8,1 \text{ Nm}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$F_{ys} = F_{ye} + W_{UA}$$

$$= 116,1 + 19,6 = 135,7 \text{ N}$$

$$M_s = M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3)$$

$$= 8,1 + (19,6 \cdot 0,436 \cdot 0,27 \cdot \cos 117) + (116,1 \cdot 0,27 \cdot \cos 117)$$

$$= 7,1 \text{ Nm}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2 \cdot 135,7 + 350 = 621,4 \text{ N}$$

$$M_T = 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (7,1) + (350 \cdot 0,670 \cdot 0,4 \cdot \cos 13) + (2 \cdot (135,7) \cdot 0,4 \cdot \cos 13)$$

$$= 182,81 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta_H+\theta_T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(22,7+81)]}{75} [182,81^{1,8}]$$

$$PA = 0,089 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,089 \times 465$$

$$FA = 41,44 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L5}{S1} - FA \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{182,81 - 41,44 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 3588,76 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_c = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_c = 621,4 \cdot \cos 13 + 41,44 + 3588,76$$

$$F_c = 4152,79 \text{ N} > 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

B. Subjek 2

Tabel 4. 17 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,08m	$\theta_1 = 39$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,27m	$\theta_2 = 60$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,3m	$\theta_3 = 85$
4	Punggung	SL4 = 0,45m	$\theta_4 = 13$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 5$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 51$

Massa Tubuh = 75 kg $W_o = m \cdot g = 10 \cdot 10 = 100 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m \cdot g = 75 \cdot 10 = 750 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

E = 0,05 m

D1 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

D2 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 75 \cdot 10 = 750 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 750 = 4,5 \text{ N}$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 750 = 12,75 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 750 = 21 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 750 = 375 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_O + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,5 + 2 \cdot 12,75 + 2 \cdot 21 + 375 \\ &= 651,5 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_O / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,5 = 104,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_O/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,2) \cdot 0,08 \cdot \cos 839 \\ &= 6,49 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,5 + 12,75 = 117,25 \text{ N} \\ M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 6,49 + (12,75 \cdot 0,430 \cdot 0,27 \cdot \cos 60) + (104,5 \cdot 0,27 \cdot \cos 60) \\ &= 21,34 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\ &= 117,25 + 21 = 138,25 \text{ N} \\ M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\ &= 21,34 + (21 \cdot 0,436 \cdot 0,3 \cdot \cos 85) + (117,25 \cdot 0,3 \cdot \cos 85) \\ &= 24,65 \text{ Nm} \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned} F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\ &= 2 \cdot 138,25 + 375 = 651,5 \text{ N} \\ M_T &= 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\ &= 2 \cdot (24,65) + (375 \cdot 0,670 \cdot 0,45 \cdot \cos 13) + (2 \cdot (138,25) \cdot 0,45 \cdot \cos 13) \\ &= 280,7 \text{ Nm} \end{aligned}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta H + \theta T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(5+51)]}{75} [280,7^{1,8}]$$

$$PA = 0,78 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,78 \times 465$$

$$FA = 361,35 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M_{\frac{L5}{S1}} - FA.D}{E}$$

$$F_M = \frac{280,7 - 361,35 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 5024,6 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + FA + F_M$$

$$F_C = 651,5 \cdot \cos 13 + 361,35 + 5024,6$$

$$F_C = 5298,09 \text{ N} > 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

C. Subjek 3

Tabel 4. 18 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,07m	$\theta_1 = 20$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,28m	$\theta_2 = 20$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,3m	$\theta_3 = 80$
4	Punggung	SL4 = 0,36m	$\theta_4 = 45$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 45$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 50$

Massa Tubuh

$$= 70 \text{ kg}$$

W_o

$$= m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$\text{Massa Benda} = 20 \text{ kg} \quad W_{\text{badan}} = m \cdot g = 75 \cdot 10 = 700 \text{ N}$$

$$\text{Jarak Horizontal} = 56 \text{ cm} \quad \lambda_2 = 0,430$$

$$\text{Jarak Vertikal 1} = 0 \text{ cm} \quad \lambda_3 = 0,436$$

$$\text{Jarak Vertikal 2} = 60 \text{ cm} \quad \lambda_4 = 0,670$$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7 + (15 - 7) \theta_4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7 + (15 - 7) \theta_4}{90^\circ} = 0.34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 70 \cdot 10 = 700 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 700 = 4,2 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 700 = 11,9 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 700 = 19,6 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 700 = 350 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 11,9 + 2 \cdot 19,6 + 350 \\ &= 621,4 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,2 = 104,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,2) \cdot 0,07 \cdot \cos 20 \\ &= 6,85 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,2 + 11,9 = 116,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 6,85 + (11,9 \cdot 0,430 \cdot 0,28 \cdot \cos 20) + (104,2 \cdot 0,28 \cdot \cos 20) \\ &= 35,6 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$F_{ys} = F_{ye} + W_{UA}$$

$$= 116,1 + 19,6 = 135,7 \text{ N}$$

$$M_s = M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3)$$

$$= 35,6 + (19,6 \cdot 0,436 \cdot 0,3 \cdot \cos 80) + (116,1 \cdot 0,3 \cdot \cos 80)$$

$$= 42,1 \text{ Nm}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2 \cdot 135,7 + 350 = 621,4 \text{ N}$$

$$M_T = 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (42,1) + (350 \cdot 0,670 \cdot 0,36 \cdot \cos 45) + (2 \cdot (135,7) \cdot 0,36 \cdot \cos 45)$$

$$= 213 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta_H+\theta_T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(45+50)]}{75} [213^{1,8}]$$

$$PA = 0,18 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,18 \times 465$$

$$FA = 84,72 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L5}{S1} - FA \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{213 - 84,72 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 4073,66 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_c = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + FA + F_M$$

$$F_c = 621,4 \cdot \cos 45 + 84,72 + 4073,66$$

$$F_c = 4428,39 \text{ N} > 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

D. Subjek 4

Tabel 4. 19 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,09m	$\theta_1 = 50$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,26m	$\theta_2 = 60$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,28m	$\theta_3 = 85$
4	Punggung	SL4 = 0,41m	$\theta_4 = 15$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 10$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 80$

Massa Tubuh = 93 kg $W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m.g = 93 \cdot 10 = 930 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

E = 0,05 m

D1 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

D2 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m.g = 20.10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m.g = 93.10 = 930 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 930 = 5,58 \text{ N}$

$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 930 = 15,81 \text{ N}$

$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 930 = 26,04 \text{ N}$

$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 930 = 465 \text{ N}$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\
 &= 200 + 2 \cdot 5,58 + 2 \cdot 15,81 + 2 \cdot 26,04 + 465 \\
 &= 759,86 \text{ N}
 \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$F_{yw} = W_O / 2 + W_H$$

$$= 200/2 + 5,58 = 105,58 \text{ N}$$

$$M_w = (W_O/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1$$

$$= (200/2 + 5,58) \cdot 0,09 \cdot \cos 50$$

$$= 6,1 \text{ Nm}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$F_{ye} = F_{yw} + W_{LA}$$

$$= 105,58 + 15,81 = 121,39 \text{ N}$$

$$M_e = M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2)$$

$$= 6,1 + (15,81 \cdot 0,430 \cdot 0,26 \cdot \cos 60) + (105,58 \cdot 0,26 \cdot \cos 60)$$

$$= 20,72 \text{ Nm}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$F_{ys} = F_{ye} + W_{UA}$$

$$= 121,39 + 26,04 = 147,43 \text{ N}$$

$$M_s = M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3)$$

$$= 20,72 + (26,04 \cdot 0,436 \cdot 0,28 \cdot \cos 85) + (121,39 \cdot 0,28 \cdot \cos 85)$$

$$= 23,95 \text{ Nm}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2 \cdot 147,43 + 465 = 759,86 \text{ N}$$

$$M_T = 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (23,95) + (465 \cdot 0,670 \cdot 0,41 \cdot \cos 15) + (2 \cdot (147,43) \cdot 0,41 \cdot \cos 15)$$

$$= 288,07 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4} [43 - 0,360(\theta_H + \theta_T)]}{75} \left[M \frac{L_5^{1,8}}{S_1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4} [43 - 0,360(10 + 80)]}{75} [288,07^{1,8}]$$

$$PA = 0,38 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,38 \times 465$$

$$FA = 175,71 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M_{S1}^{L5} - F_A \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{288,07 - 175,71 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 5468,54 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_C = 759,86 \cdot \cos 15 + 175,71 + 5468,54$$

$$F_C = \mathbf{6026,8 \text{ N}} > 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

E. Subjek 5

Tabel 4. 20 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,085m	$\theta_1 = 68$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,25m	$\theta_2 = 72$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,27m	$\theta_3 = 108$
4	Punggung	SL4 = 0,38m	$\theta_4 = 5$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 11,4$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 64$

$$\text{Massa Tubuh} = 95 \text{ kg} \quad W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$\text{Massa Benda} = 20 \text{ kg} \quad W_{\text{badan}} = m \cdot g = 95 \cdot 10 = 950 \text{ N}$$

$$\text{Jarak Horizontal} = 56 \text{ cm} \quad \lambda_2 = 0,430$$

$$\text{Jarak Vertikal 1} = 0 \text{ cm} \quad \lambda_3 = 0,436$$

$$\text{Jarak Vertikal 2} = 60 \text{ cm} \quad \lambda_4 = 0,670$$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7+(15-7)\theta 4}{90^\circ} = 0.34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m.g = 20.10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m.g = 95.10 = 950 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 950 = 5,7 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 950 = 16,15 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 950 = 26,6 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 950 = 475 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 5,7 + 2 \cdot 16,15 + 2 \cdot 26,6 + 475 \\ &= 771,9 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 5,7 = 105,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 5,7) \cdot 0,085 \cdot \cos 68 \\ &= 3,37 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 105,7 + 16,15 = 121,85 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 3,37 + (16,15 \cdot 0,430 \cdot 0,25 \cdot \cos 72) + (105,7 \cdot 0,25 \cdot \cos 72) \\ &= 12,07 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\ &= 121,85 + 26,6 = 148,45 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\ &= 12,07 + (26,6 \cdot 0,436 \cdot 0,27 \cdot \cos 108) + (148,45 \cdot 0,27 \cdot \cos 108) \\ &= 0,93 \text{ Nm} \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2.138,25 + 375 = 651,5 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_T &= 2M_S + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\ &= 2 \cdot (0,93) + (475 \cdot 0,670 \cdot 0,38 \cdot \cos 5) + (2 \cdot (148,45) \cdot 0,38 \cdot \cos 5) \\ &= 234,74 \text{ Nm} \end{aligned}$$

e. Tekanan Perut

$$\begin{aligned} PA &= \frac{10^{-4} [43 - 0,360(\theta_H + \theta_T)]}{75} \left[M \frac{L_5^{1,8}}{S_1} \right] \\ PA &= \frac{10^{-4} [43 - 0,360(11,4 + 64)]}{75} [234,74^{1,8}] \\ PA &= 0,39 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

f. Gaya Perut

$$\begin{aligned} FA &= PA \times AA \\ FA &= 0,39 \times 465 \\ FA &= 181,81 \text{ N} \end{aligned}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$\begin{aligned} F_M &= \frac{M \frac{L_5}{S_1} - FA \cdot D}{E} \\ F_M &= \frac{234,74 - 181,81 \cdot 0,082}{0,05} \\ F_M &= 4424 \text{ N} \end{aligned}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$\begin{aligned} F_C &= W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M \\ F_C &= 771,9 \cdot \cos 5 + 181,81 + 4424 \\ F_C &= \mathbf{5011,15 \text{ N}} > 3430 \text{ N} \end{aligned}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

F. Subjek 6

Tabel 4. 21 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,07m	$\theta_1 = 50$

2	Lengan Bawah	SL2 = 0,25m	$\theta_2 = 52$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,27m	$\theta_3 = 88$
4	Punggung	SL4 = 0,37m	$\theta_4 = 10$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 15$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 70$

Massa Tubuh = 85 kg $W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m.g = 85 \cdot 10 = 850 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

E = 0,05 m

D1 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

D2 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m.g = 85 \cdot 10 = 850 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 850 = 5,1 \text{ N}$

$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 850 = 14,45 \text{ N}$

$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 850 = 23,8 \text{ N}$

$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 850 = 425 \text{ N}$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\
 &= 200 + 2 \cdot 5,1 + 2 \cdot 14,45 + 2 \cdot 23,8 + 425 \\
 &= 711,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned}
 F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\
 &= 200/2 + 5,1 = 105,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$M_w = (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1$$

$$= (200/2 + 4,73) \cdot 0,07 \cdot \cos 50$$

$$= 4,73 \text{ Nm}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$F_{ye} = F_{yw} + W_{LA}$$

$$= 105,1 + 14,45 = 119,55 \text{ N}$$

$$M_e = M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2)$$

$$= 4,73 + (14,45 \cdot 0,430 \cdot 0,25 \cdot \cos 52) + (104,5 \cdot 0,25 \cdot \cos 52)$$

$$= 21,86 \text{ Nm}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$F_{ys} = F_{ye} + W_{UA}$$

$$= 119,55 + 23,8 = 143,35 \text{ N}$$

$$M_s = M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3)$$

$$= 21,86 + (23,8 \cdot 0,436 \cdot 0,27 \cdot \cos 88) + (119,55 \cdot 0,27 \cdot \cos 88)$$

$$= 23,09 \text{ Nm}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2 \cdot 143,35 + 425 = 711,7 \text{ N}$$

$$M_T = 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (23,09) + (425 \cdot 0,670 \cdot 0,37 \cdot \cos 10) + (2 \cdot (138,25) \cdot 0,37 \cdot \cos 10)$$

$$= 254,4 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta_H+\theta_T)]}{75} \left[M \frac{L_5^{1,8}}{S_1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(9+80)]}{75} [254,4^{1,8}]$$

$$PA = 0,35 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,35 \times 465$$

$$FA = 164,34 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L_5}{S_1} - FA \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{254,4 - 164,34 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 4828,65 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_C = 711,7 \cos 10 + 164,34 + 4828,65$$

$$F_C = 5365,2 \text{ N} > 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

G. Subjek 7

Tabel 4. 22 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,08m	$\theta_1 = 40$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,27m	$\theta_2 = 62$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,3m	$\theta_3 = 85$
4	Punggung	SL4 = 0,42m	$\theta_4 = 15$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 8$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 52$

$$\text{Massa Tubuh} = 80 \text{ kg} \quad W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$\text{Massa Benda} = 20 \text{ kg} \quad W_{\text{badan}} = m \cdot g = 80 \cdot 10 = 800 \text{ N}$$

$$\text{Jarak Horizontal} = 56 \text{ cm} \quad \lambda_2 = 0,430$$

$$\text{Jarak Vertikal 1} = 0 \text{ cm} \quad \lambda_3 = 0,436$$

$$\text{Jarak Vertikal 2} = 60 \text{ cm} \quad \lambda_4 = 0,670$$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 0,34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 80 \cdot 10 = 800 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 800 = 4,8 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 800 = 13,6 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 800 = 22,4 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 800 = 400 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,8 + 2 \cdot 13,6 + 2 \cdot 22,4 + 400 \\ &= 681,6 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,8 = 104,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,73) \cdot 0,08 \cdot \cos 40 \\ &= 6,42 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,8 + 13,6 = 118,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 6,42 + (13,6 \cdot 0,430 \cdot 0,27 \cdot \cos 62) + (104,8 \cdot 0,27 \cdot \cos 62) \\ &= 20,45 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\ &= 118,4 + 22,4 = 140,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\ &= 20,45 + (22,4 \cdot 0,436 \cdot 0,3 \cdot \cos 85) + (118,4 \cdot 0,3 \cdot \cos 85) \\ &= 23,8 \text{ Nm} \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned} F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\ &= 2 \cdot 143,8 + 400 = 681,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_T &= 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\ &= 2 \cdot (23,8) + (400 \cdot 0,670 \cdot 0,42 \cdot \cos 15) + (2 \cdot (143,8) \cdot 0,42 \cdot \cos 15) \end{aligned}$$

$$= 270,56 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta H+\theta T)]}{75} \left[M \frac{L5}{S1}^{1,8} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(8+52)]}{75} [270,56^{1,8}]$$

$$PA = 0,35 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,35 \times 465$$

$$FA = 316,88 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L5}{S1} - FA.D}{E}$$

$$F_M = \frac{270,56 - 316,88 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 4883,16 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_C = 681,6 \cos 15 + 316,88 + 4883,16$$

$$F_C = 5224,66 \text{ N} > 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

4.7.2 Biomekanika setelah menggunakan alat bantu

Berikut ini merupakan gambaran postur dari pengguna saat melakukan pemasangan galon menggunakan alat bantu,



Gambar 4. 10 Postur Biomekanika Sesudah Menggunakan Alat Bantu

Dari postur tersebut kemudian akan dihitung kembali biomekanika nya dengan berpedoman pada segmen pergelangan tangan, lengan bawah, lengan atas, dan punggung.

A. Subjek 1

Tabel 4. 23 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,085m	$\theta_1 = 5$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,26m	$\theta_2 = 30$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,27m	$\theta_3 = 55$
4	Punggung	SL4 = 0,4m	$\theta_4 = 95$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 100$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 95$

$$\text{Massa Tubuh} = 70 \text{ kg} \quad W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 100 \text{ N}$$

$$\text{Massa Benda} = 20 \text{ kg} \quad W_{\text{badan}} = m.g = 70 \cdot 10 = 700 \text{ N}$$

$$\text{Jarak Horizontal} = 56 \text{ cm} \quad \lambda_2 = 0,430$$

$$\text{Jarak Vertikal 1} = 0 \text{ cm} \quad \lambda_3 = 0,436$$

$$\text{Jarak Vertikal 2} = 60 \text{ cm} \quad \lambda_4 = 0,670$$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m.g = 20.10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m.g = 70.10 = 700 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 700 = 4,2 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 700 = 11,9 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 700 = 19,6 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 700 = 350 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_O + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 11,9 + 2 \cdot 19,6 + 350 \\ &= 621,4 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_O / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,2 = 104,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_O/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,2) \cdot 0,085 \cdot \cos 5 \\ &= 8,82 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,2 + 11,9 = 116,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 8,82 + (11,9 \cdot 0,430 \cdot 0,26 \cdot \cos 30) + (104,2 \cdot 0,26 \cdot \cos 30) \\ &= 33,44 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\ &= 116,1 + 19,6 = 135,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\ &= 33,44 + (19,6 \cdot 0,436 \cdot 0,27 \cdot \cos 55) + (116,1 \cdot 0,27 \cdot \cos 55) \\ &= 52,74 \text{ Nm} \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned} F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\ &= 2 \cdot 135,7 + 350 = 621,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_T &= 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\ &= 2 \cdot (52,74) + (350 \cdot 0,670 \cdot 0,4 \cdot \cos 95) + (2 \cdot (135,7) \cdot 0,4 \cdot \cos 95) \\ &= 87,85 \text{ Nm} \end{aligned}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta H+\theta T)]}{75} \left[M \frac{L5}{S1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(100+95)]}{75} [87,85^{1,8}]$$

$$PA = 0,11 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,11 \times 465$$

$$FA = 53,17 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L5}{S1} - FA.D}{E}$$

$$F_M = \frac{87,85 - 53,17 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 1921,14 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$FC = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + FA + F_M$$

$$FC = 621,4 \cdot \cos 95 + 53,17 + 1921,14$$

$$FC = \mathbf{1920,15 \text{ N}} < 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Aman**)

B. Subjek 2

Tabel 4. 24 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,08m	$\theta_1 = 5,78$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,27m	$\theta_2 = 35$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,3m	$\theta_3 = 56$
4	Punggung	SL4 = 0,45m	$\theta_4 = 95$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 102$

6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 94$
---	----------------	--	-----------------

Massa Tubuh = 75 kg $W_o = m \cdot g = 10 \cdot 10 = 100 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m \cdot g = 75 \cdot 10 = 750 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

E = 0,05 m

D1 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

D2 = $\frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 75 \cdot 10 = 750 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 750 = 4,5 \text{ N}$

$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 750 = 12,75 \text{ N}$

$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 750 = 21 \text{ N}$

$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 750 = 375 \text{ N}$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,5 + 2 \cdot 12,75 + 2 \cdot 21 + 375 \\ &= 651,5 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,5 = 104,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,2) \cdot 0,08 \cdot \cos 5,78 \\ &= 8,32 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,5 + 12,75 = 117,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 8,32 + (12,75 \cdot 0,430 \cdot 0,27 \cdot \cos 35) + (104,5 \cdot 0,27 \cdot \cos 35) \end{aligned}$$

$$= 32,64 \text{ Nm}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$F_{ys} = F_{ye} + W_{UA}$$

$$= 117,25 + 21 = 138,25 \text{ N}$$

$$M_s = M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3)$$

$$= 32,64 + (21 \cdot 0,436 \cdot 0,3 \cdot \cos 56) + (117,25 \cdot 0,3 \cdot \cos 56)$$

$$= 53,85 \text{ Nm}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2 \cdot 138,25 + 375 = 651,5 \text{ N}$$

$$M_T = 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (53,85) + (375 \cdot 0,670 \cdot 0,45 \cdot \cos 95) + (2 \cdot (138,25) \cdot 0,45 \cdot \cos 95)$$

$$= 87 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta H+\theta T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4}[43-0,360(102+94)]}{75} [87^{1,8}]$$

$$PA = 0,11 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,11 \times 465$$

$$FA = 51,15 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L5}{S1} - FA \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{87 - 51,15 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 1903,48 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_c = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_c = 651,5 \cdot \cos 95 + 51,15 + 1903,48$$

$$F_c = \mathbf{1899,64 \text{ N}} < 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Aman**)

C. Subjek 3

Tabel 4. 25 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,07m	$\theta_1 = 4$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,28m	$\theta_2 = 38$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,3m	$\theta_3 = 52$
4	Punggung	SL4 = 0,36m	$\theta_4 = 94,5$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 100$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 92$

Massa Tubuh = 70 kg $W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m.g = 70 \cdot 10 = 700 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

$E = 0,05 \text{ m}$

$D1 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

$D2 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m.g = 20.10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m.g = 70.10 = 700 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 700 = 4,2 \text{ N}$

$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 700 = 11,9 \text{ N}$

$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 700 = 19,6 \text{ N}$

$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 700 = 350 \text{ N}$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 W_{TOT} &= W_O + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\
 &= 200 + 2 \cdot 4,2 + 2 \cdot 11,9 + 2 \cdot 19,6 + 350 \\
 &= 621,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned}
 F_{yw} &= W_O / 2 + W_H \\
 &= 200/2 + 4,2 = 104,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_w &= (W_O/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\
 &= (200/2 + 4,2) \cdot 0,07 \cdot \cos 4 \\
 &= 7,28 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned}
 F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\
 &= 104,2 + 11,9 = 116,1 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\
 &= 7,28 + (11,9 \cdot 0,430 \cdot 0,28 \cdot \cos 38) + (104,2 \cdot 0,28 \cdot \cos 38) \\
 &= 31,4 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned}
 F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\
 &= 116,1 + 19,6 = 135,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\
 &= 31,4 + (19,6 \cdot 0,436 \cdot 0,3 \cdot \cos 52) + (116,1 \cdot 0,3 \cdot \cos 52) \\
 &= 54,42 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned}
 F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\
 &= 2 \cdot 135,7 + 350 = 621,4 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_T &= 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\
 &= 2 \cdot (54,42) + (350 \cdot 0,670 \cdot 0,36 \cdot \cos 94,5) + (2 \cdot (135,7) \cdot 0,36 \cdot \cos 94,5) \\
 &= 94,55 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

e. Tekanan Perut

$$\begin{aligned}
 PA &= \frac{10^{-4} [43 - 0,360(\theta H + \theta T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right] \\
 PA &= \frac{10^{-4} [43 - 0,360(100 + 92)]}{75} [94,55^{1,8}] \\
 PA &= 0,13 \text{ N/cm}^2
 \end{aligned}$$

f. Gaya Perut

$$F_A = P_A \times A_A$$

$$F_A = 0,13 \times 465$$

$$F_A = 58,28 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M_{S1}^{L5} - F_A \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{94,55 - 58,28 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 2070,45 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_C = 621,4 \cdot \cos 94,5 + 58,28 + 2070,45$$

$$F_C = \mathbf{2070,45 \text{ N}} < 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Aman**)

D. Subjek 4

Tabel 4. 26 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,09 m	$\theta_1 = 0$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,26 m	$\theta_2 = 32$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,28 m	$\theta_3 = 54$
4	Punggung	SL4 = 0,41 m	$\theta_4 = 84$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 97$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 90$

$$\text{Massa Tubuh} = 93 \text{ kg} \quad W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$\text{Massa Benda} = 20 \text{ kg} \quad W_{\text{badan}} = m \cdot g = 93 \cdot 10 = 930 \text{ N}$$

$$\text{Jarak Horizontal} = 56 \text{ cm} \quad \lambda_2 = 0,430$$

$$\text{Jarak Vertikal 1} = 0 \text{ cm} \quad \lambda_3 = 0,436$$

$$\text{Jarak Vertikal 2} = 60 \text{ cm} \quad \lambda_4 = 0,670$$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 93 \cdot 10 = 930 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 930 = 5,58 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 930 = 15,81 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 930 = 26,04 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 930 = 465 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 5,58 + 2 \cdot 15,81 + 2 \cdot 26,04 + 465 \\ &= 759,86 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 5,58 = 105,58 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 5,58) \cdot 0,09 \cdot \cos 0 \\ &= 9,5 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 105,58 + 15,81 = 121,39 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 9,5 + (15,81 \cdot 0,430 \cdot 0,26 \cdot \cos 32) + (105,58 \cdot 0,26 \cdot \cos 32) \\ &= 34,28 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\ &= 121,39 + 26,04 = 147,43 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_s = M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3)$$

$$= 34,28 + (26,04 \cdot 0,436 \cdot 0,28 \cdot \cos 54) + (121,39 \cdot 0,28 \cdot \cos 54)$$

$$= 56,13 \text{ Nm}$$

d. Segmen Punggung

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T$$

$$= 2 \cdot 147,43 + 465 = 759,86 \text{ N}$$

$$M_T = 2M_S + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (56,13) + (465 \cdot 0,670 \cdot 0,41 \cdot \cos 84) + (2 \cdot (147,43) \cdot 0,41 \cdot \cos 84)$$

$$= 138,24 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$PA = \frac{10^{-4} [43 - 0,360(\theta H + \theta T)]}{75} \left[M \frac{L_5^{1,8}}{S_1} \right]$$

$$PA = \frac{10^{-4} [43 - 0,360(97 + 90)]}{75} [138,24^{1,8}]$$

$$PA = 0,23 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$FA = PA \times AA$$

$$FA = 0,23 \times 465$$

$$FA = 107,53 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L_5}{S_1} - FA \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{138,24 - 107,53 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 3075,99 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + FA + F_M$$

$$F_C = 759,86 \cdot \cos 84 + 107,53 + 3075,99$$

$$F_C = 3263,95 \text{ N} < 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Aman**)

E. Subjek 5

Tabel 4. 27 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
-----	--------------	-------------	----------------------

1	Telapak Tangan	SL1 = 0,085m	$\theta_1 = 6,29$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,25m	$\theta_2 = 15$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,27m	$\theta_3 = 62$
4	Punggung	SL4 = 0,38m	$\theta_4 = 84$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 98$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 80$

Massa Tubuh = 95 kg $W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m \cdot g = 95 \cdot 10 = 950 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

$E = 0,05 \text{ m}$

$D1 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

$D2 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 95 \cdot 10 = 950 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 950 = 5,7 \text{ N}$

$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 950 = 16,15 \text{ N}$

$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 950 = 26,6 \text{ N}$

$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 950 = 475 \text{ N}$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\
 &= 200 + 2 \cdot 5,7 + 2 \cdot 16,15 + 2 \cdot 26,6 + 475 \\
 &= 771,9 \text{ N}
 \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned}
 F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\
 &= 200/2 + 5,7 = 105,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\
 &= (200/2 + 5,7) \cdot 0,085 \cdot \cos 6,29 \\
 &= 8,93 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned}
 F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\
 &= 105,7 + 16,15 = 121,85 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\
 &= 8,93 + (16,15 \cdot 0,430 \cdot 0,25 \cdot \cos 15) + (105,7 \cdot 0,25 \cdot \cos 15) \\
 &= 36,14 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned}
 F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\
 &= 121,85 + 26,6 = 148,45 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\
 &= 36,14 + (26,6 \cdot 0,436 \cdot 0,27 \cdot \cos 62) + (148,45 \cdot 0,27 \cdot \cos 62) \\
 &= 53,05 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned}
 F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\
 &= 2 \cdot 138,25 + 375 = 651,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_T &= 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\
 &= 2 \cdot (53,05) + (475 \cdot 0,670 \cdot 0,38 \cdot \cos 84) + (2 \cdot (148,45) \cdot 0,38 \cdot \cos 84) \\
 &= 130,53 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

e. Tekanan Perut

$$\begin{aligned}
 PA &= \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta H + \theta T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right] \\
 PA &= \frac{10^{-4}[43-0,360(98+80)]}{75} [130,53^{1,8}] \\
 PA &= 0,18 \text{ N/cm}^2
 \end{aligned}$$

f. Gaya Perut

$$\begin{aligned}
 FA &= PA \times AA \\
 FA &= 0,18 \times 465 \\
 FA &= 84,05 \text{ N}
 \end{aligned}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L5}{S1} - FA \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{130,53 - 84,05 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 2853,77 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_C = 771,9 \cdot \cos 84 + 84,05 + 2853,77$$

$$F_C = \mathbf{3018,5 \text{ N}} < 3430 \text{ N}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Aman**)

F. Subjek 6

Tabel 4. 28 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,07m	$\theta_1 = 6$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,25m	$\theta_2 = 17$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,27m	$\theta_3 = 60$
4	Punggung	SL4 = 0,37m	$\theta_4 = 85$
5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 97$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 88$

$$\text{Massa Tubuh} = 85 \text{ kg} \quad W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$\text{Massa Benda} = 20 \text{ kg} \quad W_{\text{badan}} = m \cdot g = 85 \cdot 10 = 850 \text{ N}$$

$$\text{Jarak Horizontal} = 56 \text{ cm} \quad \lambda_2 = 0,430$$

$$\text{Jarak Vertikal 1} = 0 \text{ cm} \quad \lambda_3 = 0,436$$

$$\text{Jarak Vertikal 2} = 60 \text{ cm} \quad \lambda_4 = 0,670$$

$$E = 0,05 \text{ m}$$

$$D1 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$$

$$D2 = \frac{7 + (15 - 7)\theta_4}{90^\circ} = 0,34$$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$$W_o = m \cdot g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$$

$$W_{\text{badan}} = m \cdot g = 85 \cdot 10 = 850 \text{ N}$$

$$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 850 = 5,1 \text{ N}$$

$$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 850 = 14,45 \text{ N}$$

$$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 850 = 23,8 \text{ N}$$

$$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 850 = 425 \text{ N}$$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 5,1 + 2 \cdot 14,45 + 2 \cdot 23,8 + 425 \\ &= 711,7 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 5,1 = 105,1 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,73) \cdot 0,07 \cdot \cos 6 \\ &= 7,32 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 105,1 + 14,45 = 119,55 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_e &= M_w + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\ &= 7,32 + (14,45 \cdot 0,430 \cdot 0,25 \cdot \cos 17) + (104,5 \cdot 0,25 \cdot \cos 17) \\ &= 33,93 \text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned} F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\ &= 119,55 + 23,8 = 143,35 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\ &= 33,93 + (23,8 \cdot 0,436 \cdot 0,27 \cdot \cos 60) + (119,55 \cdot 0,27 \cdot \cos 60) \\ &= 51,47 \text{ Nm} \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned} F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\ &= 2 \cdot 143,35 + 425 = 711,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$M_T = 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4)$$

$$= 2 \cdot (51,47) + (425 \cdot 0,670 \cdot 0,37 \cdot \cos 85) + (2 \cdot (138,25) \cdot 0,37 \cdot \cos 85)$$

$$= 121,37 \text{ Nm}$$

e. Tekanan Perut

$$P_A = \frac{10^{-4} [43 - 0,360(\theta H + \theta T)]}{75} \left[M \frac{L_5^{1,8}}{S_1} \right]$$

$$P_A = \frac{10^{-4} [43 - 0,360(97 + 88)]}{75} [121,37^{1,8}]$$

$$P_A = 0,18 \text{ N/cm}^2$$

f. Gaya Perut

$$F_A = P_A \times A_A$$

$$F_A = 0,18 \times 465$$

$$F_A = 82,54 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$F_M = \frac{M \frac{L_5}{S_1} - F_A \cdot D}{E}$$

$$F_M = \frac{121,37 - 82,54 \cdot 0,082}{0,05}$$

$$F_M = 2667,62 \text{ N}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$F_C = W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M$$

$$F_C = 711,7 \cos 85 + 82,54 + 2667,62$$

$$F_C = \mathbf{2812,19 \text{ N} > 3430 \text{ N}}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Aman**)

G. Subjek 7

Tabel 4. 29 Data Ukuran Segmen dan Sudut Tubuh Sebelum Menggunakan Alat Bantu

No.	Segmen Tubuh	Panjang (m)	Sudut yang Terbentuk
1	Telapak Tangan	SL1 = 0,08m	$\theta_1 = 2$
2	Lengan Bawah	SL2 = 0,27m	$\theta_2 = 35$
3	Lengan Atas	SL3 = 0,3m	$\theta_3 = 55$
4	Punggung	SL4 = 0,42m	$\theta_4 = 82$

5	Inklinasi Perut		$\theta_H = 96$
6	Inklinasi Paha		$\theta_T = 92$

Massa Tubuh = 80 kg $W_o = m.g = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N}$

Massa Benda = 20 kg $W_{\text{badan}} = m.g = 80 \cdot 10 = 800 \text{ N}$

Jarak Horizontal = 56 cm $\lambda_2 = 0,430$

Jarak Vertikal 1 = 0 cm $\lambda_3 = 0,436$

Jarak Vertikal 2 = 60 cm $\lambda_4 = 0,670$

$E = 0,05 \text{ m}$

$D1 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 3,81$

$D2 = \frac{7+(15-7)\theta_4}{90^\circ} = 0.34$

Perhitungan *Force Compression* (FC)

Pengangkatan 1

$W_o = m.g = 20.10 = 200 \text{ N}$

$W_{\text{badan}} = m.g = 80.10 = 800 \text{ N}$

$W_H = 0,6\% \cdot W_{\text{badan}} = 0,6\% \cdot 800 = 4,8 \text{ N}$

$W_{LA} = 1,7\% \cdot W_{\text{badan}} = 1,7\% \cdot 800 = 13,6 \text{ N}$

$W_{UA} = 2,8\% \cdot W_{\text{badan}} = 2,8\% \cdot 800 = 22,4 \text{ N}$

$W_T = 50\% \cdot W_{\text{badan}} = 50\% \cdot 800 = 400 \text{ N}$

Sehingga,

$$\begin{aligned} W_{\text{TOT}} &= W_o + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_T \\ &= 200 + 2 \cdot 4,8 + 2 \cdot 13,6 + 2 \cdot 22,4 + 400 \\ &= 681,6 \text{ N} \end{aligned}$$

a. Telapak Tangan

$$\begin{aligned} F_{yw} &= W_o / 2 + W_H \\ &= 200/2 + 4,8 = 104,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_w &= (W_o/2 + W_H) \cdot SL_1 \cdot \cos \theta_1 \\ &= (200/2 + 4,73) \cdot 0,08 \cdot \cos 2 \\ &= 8,38 \text{ Nm} \end{aligned}$$

b. Segmen Lengan Bawah

$$\begin{aligned} F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} \\ &= 104,8 + 13,6 = 118,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_e &= M_W + (W_{LA} \cdot \lambda_2 \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) + (F_{yw} \cdot SL_2 \cdot \cos \theta_2) \\
 &= 8,38 + (13,6 \cdot 0,430 \cdot 0,27 \cdot \cos 35) + (104,8 \cdot 0,27 \cdot \cos 35) \\
 &= 32,85 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

c. Segmen Lengan Atas

$$\begin{aligned}
 F_{ys} &= F_{ye} + W_{UA} \\
 &= 118,4 + 22,4 = 140,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_s &= M_e + (W_{UA} \cdot \lambda_3 \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) + (F_{ye} \cdot SL_3 \cdot \cos \theta_3) \\
 &= 32,85 + (22,4 \cdot 0,436 \cdot 0,3 \cdot \cos 55) + (118,4 \cdot 0,3 \cdot \cos 55) \\
 &= 54,9 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

d. Segmen Punggung

$$\begin{aligned}
 F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T \\
 &= 2 \cdot 143,8 + 400 = 681,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_T &= 2M_s + (W_T \cdot \lambda_4 \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) + (2F_{ys} \cdot SL_4 \cdot \cos \theta_4) \\
 &= 2 \cdot (54,9) + (400 \cdot 0,670 \cdot 0,42 \cdot \cos 82) + (2 \cdot (143,8) \cdot 0,42 \cdot \cos 82) \\
 &= 141,94 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

e. Tekanan Perut

$$\begin{aligned}
 PA &= \frac{10^{-4}[43-0,360(\theta H + \theta T)]}{75} \left[M \frac{L5^{1,8}}{S1} \right] \\
 PA &= \frac{10^{-4}[43-0,360(96+92)]}{75} [141,94^{1,8}] \\
 PA &= 0,25 \text{ N/cm}^2
 \end{aligned}$$

f. Gaya Perut

$$\begin{aligned}
 FA &= PA \times AA \\
 FA &= 0,25 \times 465
 \end{aligned}$$

$$FA = 114,42 \text{ N}$$

g. Gaya Otot pada Spinal Erector

$$\begin{aligned}
 F_M &= \frac{M \frac{L5}{S1} - FA \cdot D}{E} \\
 F_M &= \frac{141,94 - 114,42 \cdot 0,082}{0,05} \\
 F_M &= 3165,7 \text{ N}
 \end{aligned}$$

h. Gaya Tekan/Kompresi pada L5/S1

$$\begin{aligned}
 F_C &= W_{TOT} \cdot \cos \theta_4 + F_A + F_M \\
 F_C &= 681,6 \cos 82 + 114,42 + 3165,7 \\
 F_C &= \mathbf{3374,98 \text{ N}} > 3430 \text{ N}
 \end{aligned}$$

(Melewati batas AL dan masuk ke dalam klasifikasi **Hati-Hati**)

4.7.3 Penghematan *Force Compression*

Penghematan *force compression* digunakan untuk mengetahui seberapa berdampak alat bantu pemasangan galon dapat mengurangi *force compression* di bagian L5/S1 pada saat melakukan aktivitas pemasangan galon secara manual. Rumus yang digunakan dalam untuk menghitung penghematan ini yaitu,

$$= \frac{\text{Force compression manual} - \text{Force compression dengan alat}}{\text{Force compression manual}}$$

Berikut merupakan hasil perhitungan dari penghematan *force compression* dari seluruh subjek yang ada,

Tabel 4. 30 Penghematan Force Compression

Subjek	Tekanan L5/S1		
	Sebelum	Sesudah	Persentase
Subjek 1	4152,79	1920,15	53,76%
Subjek 2	5298,06	1899,64	64,14%
Subjek 3	4428,34	2079,97	53,03%
Subjek 4	6026,80	3262,95	45,86%
Subjek 5	5011,15	3018,50	39,76%
Subjek 6	5365,20	2812,19	47,58%
Subjek 7	5224,66	3374,98	35,40%

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Analisis Atribut Keinginan Pengguna

Merujuk pada tabel 4.4, terdapat 4 atribut keinginan pengguna pada desain alat bantu pemasangan galon, berikut merupakan penjelasan dari masing-masing atribut.

a. Atribut Multifungsi

Atribut multifungsi dipilih karena pengguna menginginkan alat yang dapat digunakan untuk membawa, mengangkat serta menurunkan galon, atau dapat dikatakan dapat mengakomodasi keseluruhan elemen pekerjaan pada aktivitas pemasangan galon. Berdasarkan penelitian oleh Srivastava dkk (2014) juga menyatakan bahwa prinsip multifungsi memang lebih di inginkan oleh pengguna karena dapat meringkas pekerjaan serta meningkatkan efisiensi dan efektifitas dalam melakukan suatu pekerjaan (Srivastava et al., 2014).

b. Atribut Mudah Digunakan

Atribut mudah digunakan dipilih karena pengguna menginginkan alat yang digunakan tidak terlalu mempunyai banyak bagian yang sulit untuk dioperasikan atau memakan banyak waktu ketika menggunakannya. Berdasarkan penelitian oleh Sugandini dkk (2018) juga menyatakan bahwa semakin mudah pengoprasian alat maka semakin tinggi pula kepuasan pengguna terhadap alat tersebut dan tingkat kemudahgunaan alat yang tinggi juga akan meningkatkan keinginan pengguna untuk menggunakan alat tersebut (Sugandini et al., 2018).

c. Atribut Aman Digunakan

Atribut aman digunakan dipilih karena pengguna menginginkan alat yang memiliki rangka yang dapat menahan beban galon dengan kuat, namun juga tetap memiliki massa yang ringan agar dapat didorong dengan mudah. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Guo dan Sun (2020), menyatakan bahwa komposisi dari material produk yang digunakan akan berpengaruh terhadap massa/beban dari produk tersebut (Guo dan Sun, 2020).

d. Atribut Nyaman Digunakan

Atribut nyaman digunakan dipilih karena pengguna menginginkan alat yang digunakan tidak menyebabkan postur tubuh yang menimbulkan keluhan atau nyeri saat pengoprasian alat, sehingga alat dibuat dengan ukuran yang menyesuaikan dengan dimensi tubuh pengguna nya, sehingga alat dapat mengakomodasi keseluruhan ukuran tubuh dari populasi yang ada.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ahirwar dkk (2021) menyatakan bahwa faktor kenyamanan alat harus diperhatikan karena faktor tersebut mempengaruhi ketertarikan dan kepuasan pengguna (Ahirwar et al., 2021).

5.2 Analisis Inventif Prinsip Perancangan Alat Bantu Menggunakan TRIZ

Pernyataan-pernyataan kontradiksi teknis dan fisik menghasilkan beberapa rekomendasi prinsip inventif yang dapat di implementasikan dalam perancangan alat bantu. Pada pernyataan kontradiksi teknis yang pertama, yang merujuk pada gambar 4.3, jika alat dibuat untuk dapat mengangkat dan memasang galon ke dispenser (*improving feature: Device complexity*), maka alat akan lebih efisien dan efektif karena mempunyai beberapa fungsi sekaligus, akan tetapi alat harus membutuhkan energi yang besar untuk mengoprasikannya (*worsening feature: Use of energy by moving object*). Parameter *device complexity* (36) dipilih sesuai dengan deskripsi terkait jumlah fungsi yang dapat dilakukan oleh suatu alat, semakin banyak fungsi yang dapat dilakukan oleh alat tersebut maka akan semakin kompleks alat tersebut. Parameter *Use of energy by moving object* (19) dipilih sesuai dengan deskripsi terkait energi yang dibutuhkan untuk mengoprasikan suatu alat. Untuk menyelesaikan kontradiksi tersebut, maka terpilih prinsip *Pneumatics & hydraulics* (29). Dalam penelitian oleh Sampathkumar dkk, (2019), juga menyatakan bahwa penggunaan sistem *pneumatic and hydraulics* cukup efektif dalam membantu meringankan aktivitas pengangkatan beban (Sampathkumar et al., 2019). Untuk penelitian ini sub-prinsip *Pneumatics & hydraulics* (29) yang digunakan adalah sub-prinsip A yang menjelaskan bahwa pemanfaatan jenis zat berupa gas atau cairan sebagai bagian dari suatu objek yang ditiup, diisi dengan cairan, bantalan udara, hidrostatik, atau hidro-reaktif. Cara kerja yang digunakan yaitu dengan memanfaatkan sistem kerja pompa pneumatik untuk dapat mengangkat beban dari galon.

Untuk pernyataan kontradiksi teknis kedua yang merujuk pada gambar 4.4, jika alat dibuat dengan mempunyai penopang dibawah galon (*improving feature: shape*), maka alat dapat mengangkat galon secara stabil, akan tetapi alat membutuhkan waktu dalam melakukan setup pemasangan galon ke alat bantu (*worsening feature: loss of time*). Parameter *shape* (12) dipilih sesuai dengan deskripsi terkait bentuk penopang galon yang digunakan untuk menstabilkan galon saat diangkat. Parameter *loss of time* (25) dipilih sesuai dengan deskripsi terkait jumlah konsumsi dari waktu yang diperlukan/ kemungkinan potensi kehilangan waktu untuk melakukan proses *setup* saat pengguna harus memasang galon ke penopang alat tersebut, yang mengharuskan pengguna untuk mengangkat galon ke atas penopang. Untuk menyelesaikan kontradiksi tersebut, maka prinsip yang dipilih, yaitu

Spherodaility/curvature(24). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Symeonidou dan Gupta (2012) juga menyatakan bahwa dengan membuat penahan beban yang fleksibel dengan menyesuaikan bentuk dari struktur objek benda yang ditahan maka akan menyederhanakan jumlah tenaga yang dikeluarkan (Symeonidou & Gupta, 2012). Sub-prinsip yang di implementasikan dalam penelitian ini yaitu sub-prinsip A, yaitu dengan mengganti objek yang mempunyai permukaan/struktur bujur sangkar menjadi lengkung, bulat, atau bola. Jadi alih-alih menggunakan penopang berbentuk bujur sangkar/kotak, maka penopang yang digunakan akan lebih berbentuk seperti penjepit yang mempunyai struktur lengkung sesuai dengan pola bentuk yang dimiliki oleh galon, sehingga memudahkan guna untuk terpasang ke alat bantu.

Jenis kontradiksi teknis ketiga yang merujuk pada gambar 4.5, jika rangka alat dibuat secara kuat dan kokoh untuk stabilitas dalam menahan beban galon (*improving feature: strength*), maka alat dapat digunakan dengan aman, akan tetapi alat akan mempunyai beban yang berat (*worsening feature: weight of moving object*). Parameter *strength* (14) dipilih sesuai dengan deskripsi terkait seberapa kuat dan stabil rangka alat dalam menahan tekanan dari galon. Parameter *weight of moving object* (1) dipilih sesuai dengan deskripsi terkait beban/objek yang dibawa oleh suatu alat dalam keadaan bergerak, dalam hal ini yaitu galon yang akan diangkat, diputar, dan dipasang menuju dispenser. Untuk menyelesaikan kontradiksi tersebut maka, rekomendasi prinsip yang dipilih, yaitu *Composite Materials* (40). Penggunaan *composite materials* juga didukung oleh penelitian Guo dan Sun, (2020), yang menyatakan bahwa komposisi dari material produk yang digunakan akan berpengaruh terhadap massa/beban dari produk tersebut (Guo & Sun, 2020). Sub-prinsip yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sub-prinsip A pada prinsip ke-40 dengan mengganti bahan baku pembuatan alat dari material yang seragam menjadi material campuran. Dalam hal ini yaitu memilih material besi campuran yang mempunyai kekokohan yang tinggi namun memiliki massa yang ringan. Besi yang tepat dengan kriteria yang diinginkan adalah besi *assental* ST 41 yang merupakan jenis dari baja karbon rendah dengan kandungan utama adalah besi dan karbon yang kurang dari 3%.

Untuk kontradiksi fisik pertama yaitu posisi *handle* dari alat bantu harus bisa memanjang lebih tinggi (+P) untuk digunakan oleh orang dengan tubuh yang tinggi (Waktu 1) dan harus bisa memendek (-P) untuk digunakan oleh orang bertubuh pendek (Waktu 2). Prinsip yang digunakan untuk menyelesaikan kontradiksi tersebut yaitu prinsip *Dynamics* (15). Sub-prinsip yang digunakan adalah implementasi dari sub-prinsip A, yaitu merancang karakteristik objek lingkungan luar, atau proses untuk kondisi yang optimal dalam

setiap tahap operasi. Perancangan bentuk dan ukuran objek yang optimal tersebut di implementasikan dalam bentuk ukuran *handle* yang akan mempunyai dimensi panjang paling rendah dari persentil orang yang paling kecil dalam populasi (P₅) dan dimensi paling tinggi dari persentil orang yang paling tinggi (P₉₅) (Sari, Vitasari, & Salmamia, 2018).

Untuk pernyataan kontradiksi fisik kedua, yaitu rangka alat harus dapat melebar (+P) untuk dapat mengangkat galon dengan ukuran besar (Waktu 1), dan harus dapat menyempit (-P) untuk dapat mengangkat galon dengan ukuran yang tidak terlalu besar (Waktu 2). Prinsip inventif yang diterapkan untuk menyelesaikan kontradiksi tersebut adalah *Segmentation* (1). Penentuan lebar dari rangka yang *adjustable* juga didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Taifa and Desai, (2017) yang berhasil mengaplikasikan prinsip *design for range* untuk membuat bagian alat secara bersegmen dengan menyesuaikan rentang ukuran minimal dan maksimal dari ukuran alat yang dibuat (Taifa & Desai, 2017). Dalam penelitian ini, solusi spesifik yang digunakan adalah Sub-prinsip B yang menjelaskan bahwa suatu objek harus dibuat untuk secara mudah dapat dilepas rakitannya. Sub prinsip B diterapkan dalam bentuk rangka penjepit yang mempunyai lubang-lubang untuk penentuan lebar dari kerangka, sehingga nantinya lubang tersebut akan dipasang mur/ *stopper* penahan beban untuk mengencangkan kerangka.

5.3 Analisis Desain Parameter Menggunakan QFD

Berdasarkan *house of quality* yang merujuk pada tabel 4.10, dalam proses penentuan parameter desain alat menggunakan QFD, terdapat 4 *customer needs*, dan 15 *technical requirement* dengan masing-masing *target*-nya. Penjelasan dari masing-masing *technical requirements* dan *target*, dengan hubungannya terhadap tiap *customer needs* adalah sebagai berikut,

1. Pada fungsi sistem pengangkatan galon, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu multifungsi dan mudah digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi ini merupakan salah satu perwujudan elemen kerja pemasangan galon yaitu aktivitas pengangkatan galon. Selain itu fungsi ini juga harus dapat digunakan tanpa cara kerja yang rumit untuk memenuhi atribut mudah digunakan. Untuk itu *target* dalam fungsi ini yaitu menggunakan sistem pneumatic, dimana untuk mengangkat galon dengan berat 19 kg, setidaknya dibutuhkan kapasitas kekuatan tekan sejumlah 2 bar, namun sistem pneumatic yang akan digunakan yaitu dengan kapasitas tekanan sebesar 10 bar, hal ini dikarenakan kapasitas tekanan terkecil yang tersedia di pasaran

adalah 10 bar. Selain itu sistem pneumatic juga menggunakan tenaga angin yang memanfaatkan kompresor sehingga tidak membutuhkan tenaga manusia dalam pengoprasiaannya.

2. Pada fungsi sistem pemutar galon *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu multifungsi dan mudah digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi ini merupakan salah satu perwujudan elemen kerja pemasangan galon yaitu aktivitas pemutaran galon sebelum dipasangkan ke mulut dispenser. Selain itu fungsi ini juga harus dapat memudahkan elemen kerja yang diakomodasi atau setidaknya dapat mengurangi tenaga manual yang dikeluarkan agar lebih mudah untuk digunakan. Untuk itu *target* dalam fungsi ini yaitu menggunakan prinsip katrol ganda dengan ukuran roda katrol adalah 13 mm, dan maksimal beban yang mampu ditarik sebesar 100 kg. Prinsip katrol ganda dipilih karena memiliki keuntungan mekanis lebih besar dari katrol lainnya (Sartika, 2011), sehingga dapat meminimalisir tenaga manual yang dikeluarkan oleh pengguna.
3. Pada fungsi sistem penjepit *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu multifungsi dan mudah digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi ini merupakan salah satu perwujudan dari elemen kerja memegang galon dengan badan dan tangan saat melakukan aktivitas pemasangan. Selain itu fungsi ini juga diharuskan untuk dapat dengan mudah digunakan saat pengguna menggunakan sistem penjepit ini untuk menjepit galon. Prinsip kerja dari sistem ini adalah dengan menjepit galon secara melingkar, sehingga galon dapat terjepit dengan kencang saat diangkat.
4. Pada fungsi sistem penggerak alat bantu *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu multifungsi dan mudah digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi ini merupakan perwujudan dari elemen gerakan kerja membawa galon. Selain itu, nantinya alat penggerak ini harus dapat digunakan dengan mudah sehingga, tenaga manual yang dikeluarkan pengguna dapat diminimalisir. Untuk itu *target* dari fungsi ini yaitu menerapkan prinsip roda berporos, dengan spesifikasinya adalah roda karet, yang mempunyai *selflock* sehingga lebih aman saat alat berhenti, serta dengan diameter roda sebesar 5 inch. Alasan pemilihan roda berporos dikarenakan dapat memindahkan barang dari suatu tempat dengan memperkecil gaya gesek dan mengurangi tenaga yang harus dikeluarkan (Marti, 2017), sehingga roda berporos akan sangat tepat untuk membantu mobilitas perpindahan galon.

5. Pada sistem pendorong galon *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu multifungsi dan mudah digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi ini merupakan salah satu bagian dari elemen kerja memasang galon ke mulut dispenser. Selain itu fungsi ini juga harus dapat memudahkan pengguna dalam pengoprasiaannya. Untuk itu *target* dari fungsi ini yaitu penggunaan hidrolik *gas spring* untuk mendorong galon ke depan, dengan ukuran sepanjang 40 cm. Tenaga yang dibutuhkan untuk mendorong galon seberat 19 kg adalah 186 N, untuk itu akan digunakan hidrolik *gas spring* dengan tenaga/ *maxforce* 200 N. Prinsip kerja dari hidrolik ini sendiri nantinya pengguna hanya tinggal mendorong dari belakang galon dengan tenaga seminimal mungkin, maka galon akan terdorong dengan sendirinya ke depan dengan bantuan hidrolik tersebut.
6. Pada sistem pengarah galon *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu multifungsi dan mudah digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi ini merupakan salah satu bagian dari elemen kerja pengarah galon ke mulut dispenser. Selain itu fungsi ini harus dapat dengan mudah dioperasikan sehingga bisa menghemar waktu dan tenaga dari pengguna. Untuk itu *target* dari alat ini yaitu menggunakan sistem *pneumatic* yang digunakan juga pada sistem pengangkatan, hal ini dilakukan guna simplifikasi komponen alat dengan menjadi satu *part* untuk 2 fungsi yang berbeda.
7. Pada fungsi posisi *handle* yang *adjustable*, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu mudah digunakan dengan hubungan *strong* (9). Fungsi/kebutuhan teknis ini digunakan untuk mempermudah pengguna dalam menggerakkan alat bantu. Untuk itu *target* dalam kebutuhan teknis menggunakan pendekatan antropometri yang digunakan dalam menentukan tinggi dari *handle* ini. Dimensi dari *handle* menggunakan ukuran tinggi siku berdiri (TSB) dengan persentil 5 yaitu setinggi 89 cm untuk mengakomodasi pengguna yang bertubuh pendek, dan dapat ditarik keatas sampai ketinggian 102 cm (persentil 95) untuk mengakomodasi pengguna yang bertubuh tinggi.
8. Pada fungsi tombol yang ergonomi, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu mudah digunakan dan nyaman digunakan dengan masing-masing hubungan adalah *strong* (9). Fungsi/ kebutuhan teknis ini dibutuhkan pengguna untuk mengoperasikan sistem *pneumatic* agar dapat bergerak secara otomatis setelah tombol ditekan. Untuk itu dalam pemenuhan *target* digunakan pendekatan antropometri untuk mempermudah

pengguna dalam menekan tombol. Lebar jari telunjuk (LJL) digunakan untuk penentuan diameter dari tombol, dengan persentil yang digunakan adalah persentil 50 yaitu sebesar 3,7 cm, dengan asumsi bahwa tombol akan mengakomodasi keseluruhan rata-rata dimensi tubuh dalam populasi.

9. Untuk material rangka yang kuat dan ringan, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu aman digunakan dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini dibutuhkan pengguna agar ketika menggunakan alat, pengguna dapat dengan ringan mendorongnya namun juga tetap bisa menopang beban dari galon dengan kuat dan stabil sehingga meminimalisir potensi bahaya yang mungkin timbul. Maka dari itu, dalam pemenuhan *target* digunakan material dari baja berkarbon rendah dengan campuran dari besi dan karbon yang mempunyai tingkat campuran sebesar 3%. Nama dari material tersebut adalah besi *assental* ST 41, dengan ketebalan yang digunakan sebesar 3cm karena dengan ketebalan tersebut material dapat cukup optimal untuk menopang beban dari galon, namun masih mempunyai massa yang tergolong cukup ringan yaitu 700 gram.
10. Untuk material *handle*, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu aman digunakan dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini dibutuhkan juga dalam menunjang pembuatan *handle* yang *adjustable* sehingga nantinya pengguna akan tetap nyaman ketika mendorong *handle*. Pemenuhan *target* dalam kebutuhan teknis ini juga menggunakan material yang sama dengan rangka nya, yaitu besi *assental* ST 41. Hal ini dipilih karena besi *assental* juga mempunyai karakteristik massa yang ringan sehingga cocok untuk digunakan sebagai material dasar pembuatan *handle*.
11. Pada fungsi untuk sistem pengunci galon, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu aman digunakan dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini diperlukan untuk menahan ukuran dari penjepit yang dapat berfungsi *adjustable*, sehingga penjepit dapat dengan stabil menopang galon dan meningkatkan keamanan pengguna. Untuk pemenuhan *target* dalam kebutuhan teknis ini akan digunakan *stopper* penahan beban dengan Panjang 10cm, dan diameter 1 cm.
12. Untuk material pengunci galon, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu aman digunakan, dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini dibutuhkan pengguna juga dalam menunjang pembuatan *stopper* penahan beban yang dapat berfungsi dengan kuat untuk menahan penjepit. Untuk itu pemenuhan *target* yang digunakan adalah penggunaan material dari besi *assental* ST 41. Material tersebut dipilih

dikarenakan terbuat dari baja yang tentunya mempunyai tingkat kekuatan yang cukup dan stabil dalam menahan beban.

13. Untuk dimensi rangka alat bantu, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu nyaman digunakan, dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini dibutuhkan agar pengguna merasa nyaman ketika menggunakan alat ini, sehingga nantinya dimensi akan disesuaikan dengan ukuran dari galon dan tinggi nya menyesuaikan dengan rata-rata ketinggian dispenser. Untuk itu dalam pemenuhan *target* ini dimensi yang digunakan yaitu untuk lebar rangka akan menyesuaikan dengan lebar galon dengan ukuran terbesar yaitu selebar 35 cm dengan panjang 40 cm, sementara untuk tinggi rangka akan diasumsikan bahwa dispenser diletakkan diatas meja sehingga total ketinggian antara dispenser dan meja adalah 100 cm, maka alat akan mempunyai total tinggi sebesar 141 cm.
14. Untuk dimensi penjepit, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu nyaman digunakan, dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini dibutuhkan untuk memudahkan pengguna menjepit galon dalam berbagai ukuran, dari yang paling besar yaitu galon 20 liter, dan galon yang paling kecil yaitu 7 liter. Untuk itu, dalam pemenuhan *target* akan digunakan ukuran rangka penjepit yang berfungsi secara *adjustable* dengan ukuran yang paling lebar yaitu 30 cm, dan dapat diperkecil hingga 18 cm.
15. Untuk dimensi lebar *handle*, *customer needs* yang dapat dipenuhi yaitu nyaman digunakan, dengan hubungan *strong* (9). Kebutuhan teknis ini dibutuhkan agar pengguna merasa nyaman ketika menggunakan alat ini, serta meminimalisir keluhan yang terjadi seperti *awkward* postur yang diakibatkan dari penggunaan alat. Untuk itu dalam pemenuhan *target* pada alat ini nantinya digunakan pendekatan antropometri untuk menentukan dimensi alat agar sesuai dengan ukuran tubuh pengguna. Dimensi yang digunakan untuk mengukur lebar *handle* yaitu diameter lengkar genggam maksimal (DGMAX). Persentil yang digunakan yaitu persentil 50 yang dimaksudkan agar alat dapat mengakomodasi rata-rata ukuran tubuh yang ada dalam suatu populasi. Dimensi lebar *handle* yang dibuat nantinya berukuran 3,7 cm.

5.4 Analisis Tingkat Uji Validasi Perancangan Desain Alat Bantu

Rancangan alat dalam penelitian ini ditujukan sebagai alternatif dalam penggunaan alat bantu bagi pengguna dispenser galon atas, yang dominan melakukan aktivitas pemasangan galon secara manual. Aktivitas pemasangan galon yang dilakukan secara manual dapat berdampak pada *force compression* yang tinggi pada L5/S1 dan menyebabkan risiko keluhan MSDs yang

tinggi. Oleh sebab itu, perancangan alat bantu yang dapat meminimalisir tekanan pada L5/S1 cukup dibutuhkan. Gambar 4.9 merupakan ilustrasi desain alat dari sisi isometrik dan ukuran alat secara 2 dimensi. Alat yang dirancang memiliki beberapa bagian yang terdiri dari rangka utama, penjepit, *handle*, roda, tuas pemutar galon, dan sistem pneumatic. Dimana dalam bagian-bagian alat tersebut telah dibuat dengan mewakili atribut yang sesuai dengan keinginan pengguna.

Bagian pneumatic membantu pengguna dalam aktivitas mengangkat dan menurunkan galon, sehingga mewujudkan alat bantu yang dapat digunakan secara multifungsi. Hal tersebut juga merupakan implementasi dari prinsip TRIZ ke 29. Bagian penjepit yang dibuat dengan mengikuti bentuk dari struktur galon sehingga pengguna dapat memasang galon ke alat bantu dengan mudah. Hal tersebut juga merupakan implementasi dari prinsip TRIZ ke 14. Rangka utama alat bantu terbuat dari material campuran baja berkarbon rendah, sehingga mempunyai massa yang ringan namun mempunyai tingkat kekuatan tinggi, sehingga dapat stabil dalam menahan beban galon, dan mewujudkan alat bantu yang dapat dengan aman digunakan. Hal tersebut juga merupakan implementasi dari prinsip TRIZ ke 40. Bagian *handle* yang posisi tinggi rendah, serta lebarnya telah disesuaikan dengan dimensi antropometri pengguna, sehingga mewujudkan alat bantu yang dapat digunakan secara nyaman. Hal tersebut juga merupakan implementasi dari prinsip TRIZ ke 15.

Selain itu, hasil uji kesesuaian penilaian kepentingan atribut dalam desain produk dengan penilaian atribut yang ditampilkan dalam desain produk menggunakan *Marginal Homogeneity* menunjukkan keempat atribut memiliki nilai *Asym. Sig. 2-tailed* $> 0,05$. Hal ini menandakan bahwa atribut multifungsi (0,155), mudah digunakan (0,145), aman digunakan (0,209), dan nyaman digunakan (0,206), pada saat penilaian kepentingan dan validasi desain produk tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga keinginan pengguna dengan kondisi desain produk yang dirancang sudah sesuai.

5.5 Analisis Biomekanika

Hasil dari eksperimen yang dilakukan kepada 7 subjek yang telah dilakukan untuk mengetahui *force compression* dari masing-masing subjek, dimana terdapat 2 perlakuan yaitu pemasangan galon manual dan pemasangan galon dengan menggunakan rancangan alat bantu. Diketahui dari hasil eksperimen pada pemasangan galon manual yang merujuk pada gambar 4.9 dan tabel 4.16 hingga tabel 4.22, diketahui bahwa tekanan *force compression* paling rendah dari ke-7 subjek tersebut memiliki nilai 4152,79 N, sementara nilai *force compression* tertingginya

yaitu 6026,80 N. Berdasarkan batasan angkat menurut NIOSH, yang merujuk pada gambar 2.13, 7 subjek tersebut memiliki hasil tekanan *force compression* diatas batas aman, dan masuk ke dalam kategori hati-hati. Hal tersebut tentunya berpotensi menyebabkan meningkatnya risiko keluhan MSDs, dengan risiko tertingginya yaitu menderita kelumpuhan akibat tekanan yang tinggi pada bagian L5/S1. Banyak faktor yang menjadi penyebab tingginya *force compression*, namun faktor yang paling berpengaruh yaitu terletak pada berat objek, berat subjek, dan postur sudut tubuh dari subjek itu sendiri (Zhang et al., 2020). Berdasarkan hasil dari perhitungan biomekanika yang telah dilakukan, diketahui bahwa semakin besar berat badan dari subjek, maka semakin tinggi pula *force compression*. Hal tersebut menyebabkan aktifitas ini memang harus disokong oleh alat bantu yang dapat meminimalisir risiko keluhan MSDs yang ada.

Pada eksperimen dengan perlakuan menggunakan alat bantu dengan merujuk pada gambar 4.10 dan tabel 4.23 hingga tabel 4.29, diketahui bahwa dari hasil perhitungan biomekanika yang ada, nilai *force compression* tertinggi yaitu 3262,95 N, dan nilai terendahnya yaitu 1899,64 N. Dari hasil perbandingan yang telah dilakukan berdasarkan hasil biomekanika yang merujuk pada tabel 4.30, diketahui bahwa rata-rata penghematan tekanan pada L5/S1 (*force compression*) sebagai dampak dari penggunaan alat bantu yaitu sebesar 35% sampai 64%.

Penurunan yang cukup signifikan dari dua eksperimen yang telah dilakukan disebabkan oleh karena perbaikan yang dihasilkan dari alat bantu dengan merubah postur yang awalnya harus membungkuk untuk mengangkat galon, namun dengan bantuan alat bantu ini pengguna bisa mengangkat galon dengan postur normal tubuh, dan tetap menjaga posisi tulang belakang dalam posisi kurva-S yang merupakan postur natural tubuh (Setyowati & Fathimahhayati, 2021). Hal tersebut juga sesuai dengan pernyataan menurut menurut Vosniaskos dkk (2017) yang menyatakan bahwa salah satu jenis *awkward posture* yang menjadi penyebab terbanyak keluhan *musculoskeletal* yaitu posisi membungkuk pada aktivitas pengangkatan (Vosniakos, Deville and Matsas, 2017). Berdasarkan Vecchio (2017) juga menyatakan bahwa postur angkat yang baik adalah sesuai dengan postur natural tubuh dan tidak membebani bagian tulang belakang tubuh (Vecchio, 2017).

5.6 Analisis Segmentasi Produk

Berdasarkan hasil dari perancangan alat bantu dan beberapa uji yang telah dilakukan, maka perancangan alat bantu ini, akan lebih direkomendasikan dengan segmentasi demografis yang meliputi, perempuan, anak-anak, dan lansia. Hal tersebut dikarenakan pengguna cenderung kurang memiliki tenaga yang cukup memadai untuk menyelesaikan aktifitas secara manual, sehingga dapat memanfaatkan fitur-fitur yang ada pada alat ini untuk menyelesaikan aktifitas pemasangan galon. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Skrzek dkk (2012) dan Jones dkk (2016), mengenai perbandingan tenaga yang dimiliki berdasarkan jenis kelamin dan usia, menyatakan bahwa laki-laki yang berusia 20-40 tahun memiliki tenaga yang paling kuat karena jenis massa otot yang dimiliki, sementara di usia lansia kekuatan tersebut akan berkurang hingga 30-89%. Selain itu berdasarkan hasil perhitungan biomekanika didapatkan fakta bahwa berat badan juga mempengaruhi tingkat skor *force compression*. Semakin tinggi bobot dari badan pengguna justru beban yang boleh untuk diangkat semakin kecil, karena potensi orang mengalami gangguan/keluhan pada bagian L5/S1 akan lebih besar. Hal ini juga dibuktikan pada penelitian yang dilakukan oleh Shiri dkk (2014) yang menyatakan bahwa 10,7% kasus kecacatan di dunia diakibatkan oleh *low back pain* dan orang yang menderita obesitas mempunyai potensi lebih tinggi dalam terkena dampak untuk penyakit tersebut (Shiri et al., 2014). Maka dari itu, orang yang menderita obesitas juga menjadi salah satu segmentasi demografis dari tujuan dibuatnya alat bantu pemasangan galon ini.

Untuk beberapa alasan dari aspek ekonomis yang dapat menjadi landasan dalam lebih megutamakan penggunaan alat bantu ini dibanding alat lain yang beredar di pasaran yaitu,

1. Jika dilihat dari segi harga, maka alat ini cenderung lebih murah dari dispenser galon bawah yang notabene menjadi kompetitor utama alat ini. Pembuatan alat bantu yang membutuhkan dana sekitar 1 juta dan harga dispenser galon atas yang mempunyai harga di kisaran 300 ribu rupiah, membuat total biaya yang harus dikeluarkan untuk bisa menggunakan alat ini berada di kisaran 1,3 juta rupiah. Sementara rata-rata harga dispenser galon bawah yang beredar di pasaran berada di kisaran harga 2 juta rupiah.
2. Jika dilihat dari segi konsumsi elektrik, untuk mengoperasikan alat bantu akan membutuhkan daya sebesar 120 watt dan dispenser galon atas umumnya hanya membutuhkan daya di kisaran 190-200 Watt, maka total daya konsumsi yang dibutuhkan berada di kisaran 320 Watt. Sementara dispenser galon bawah membutuhkan daya di kisaran angka 400 Watt. Hal tersebut dikarenakan untuk sistem sedot penarikan air keluar

dari galon, dispenser galon bawah harus menggunakan tenaga listrik, sementara dispenser galon atas hanya memanfaatkan gaya gravitasi.



BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini, antara lain,

1. Atribut keinginan pengguna dalam merancang alat bantu pemasangan galon yang sesuai dengan keinginan pengguna meliputi, multifungsi, mudah digunakan, nyaman digunakan, dan aman digunakan.
2. Inventif prinsip yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan dalam masing-masing atribut sesuai dengan TRIZ meliputi, prinsip *Pneumatics & hydraulics* (29), prinsip *Spherodaility/curvature*(24), prinsip *Composite Materials* (40), Prinsip *Dynamics* (15), Prinsip *Segmentation* (1).
3. Desain parameter yang telah dikembangkan dalam perancangan alat bantu pemasangan galon ini meliputi , sistem pengangkat galon, sistem pemutar galon, sistem klamp hidrolik, sistem penggerak alat bantu, sistem pendorong galon, sistem pengarah galon, posisi handle yang adjustable, material rangka yang kuat dan ringan, ukuran lebar diameter handle, sistem pengunci galon, material pengunci galon, dimensi rangka alat bantu, ukuran penjepit hidrolik, ukuran tombol yang ergonomi.
4. Rancangan desain alat bantu yang dikembangkan adalah valid untuk memenuhi kebutuhan pengguna sesuai dengan nilai Asym. Sig. 2-tailed > 0,05.
5. Desain alat bantu yang dikembangkan, dari aspek biomekanika telah bisa menurunkan *force compression* sebesar 35% sampai 64% dan telah berada dibawah nilai *action limit*-nya senilai 3430 N.

6.2 Saran

Hasil implementasi perancangan alat bantu galon sudah dapat membantu aktivitas pemasangan galon dalam kehidupan sehari-hari dan mengurangi keluhan MSDs yang ditimbulkan dalam aktivitas tersebut. Namun, untuk lebih menyempurnakan perancangan alat bantu, maka alat juga bisa dirancang lebih baik lagi dengan mempertimbangkan aspek kepraktisan, khususnya dalam hal dimensi alat, sehingga dapat memudahkan pengguna dalam melakukan penyimpanan pada saat alat tidak sedang digunakan. Selain itu, aspek pengujian hendaknya tidak hanya berfokus pada ergonomi, dan perancangan desain alat, tetapi dapat dikembangkan lebih jauh lagi dengan menyertakan aspek ekonomi, aspek usability dan beberapa aspek lain yang dibutuhkan.

Daftar Pustaka

- Ahirwar, N., Singh, V., Swati, R., & Jadiya, M. K. (2021). *The Prevalence of Comfort Level in Handicraft Workers Because Of Hand Tools*. 8(6), 1–5.
<https://doi.org/10.9790/6737-08060105>
- Altuntas, S., & Yener, E. 2012. An Approach Based on TRIZ Methodology and SERVQUAL Scale to Improve the Quality of Health-Care Service: A Case Study. *EGE Academic Review*, 97-106.
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik* (Edisi Revisi VI). Jakarta : PT Rineka Cipta.
- Ariningsih, E. P. (2008). Implementasi Fuzzy Quality Function Deployment (QFD) dalam Mengurangi Risiko Produk Baru. *SEGMENT Jurnal Manajemen dan Bisnis*, (1).
- Badan Pusat Statistik. 2016. Persentase Rumah Tangga Menurut Provinsi dan Sumber Air Minum (Persen). Available at:
<https://www.bps.go.id/indicator/29/142/1/persentase-rumah-tangga-menurut-provinsi-dan-sumber-air-minum.html>.
- Buckle, P. (2014). *Ergonomics and musculoskeletal disorders : Overview Ergonomics and musculoskeletal disorders : overview*. June 2005, 3–7.
<https://doi.org/10.1093/occmed/kqi081>
- Chaffin, D. B. dan Anderson, G. B. J. (1991). *Occupational Biomechanics*. 2nd ed. Wiley. New York, USA.
- Chakrabarti, D. (2018). Ergonomic Issue for Good Product Design. *Journal of Ergonomics*, 1-3.
- Cohen, L. (1995). *Quality function deployment: how to make QFD work for you*. Prentice Hall.
- Diban, D. O., & Gontijo, L. A. (2015). The Complexity of Ergonomic in Product Design

- Requirements. ELSEVIER: Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE), 6169-6174.
- Ekmekci, I., & Koksall, M. (2015). TRIZ Methodology and An Application Example for Product Development. ELSEVIER - Social and Behavioural Sciences, 2689-2698.
- Eriyanto. 2007. Teknik Sampling: Analisis Opini Publik. LKIS, Yogyakarta.
- Gadd, K. (2011). TRIZ for Engineers: Enabling Inventive Problem Solving. UK: Wiley Publication.
- Ghufrani, M. S. (2010). Perancangan Alat Pengangkut Galon Ke Dispenser Dengan Pendekatan Metode Axiomatic Design. In *Universitas Sebelas Maret*.
- Guo, S., & Sun, J. (2020). Research on the attribute of product design material elements based on system theory. *E3S Web of Conferences*, 179, 9–11. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017901013>
- Habni, H., Jobiliong, E., & Riman, A. (2014). *Rancang Bangun Alat Pengangkat Tabung (Gallon) Air Minum Collapsible*. 1(2), 17–26.
- Hikmah, Rizqi N., Sujoso, Anita D. P., Hartanti, Ragil I. (2015). Postur Kerja Sebelum dan Sesudah Pelatihan Safety Tentang Manual Material Handling pada Pekerja Depo Air Minum (Studi Kasus di Kecamatan Sumbersari Jember). Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa. Pp. 1-5.
- Hughes, E. E., & Johnson, P. W. (2012). Children computer mouse use and anthropometry. *Work*, 41(SUPPL.1), 846–850. <https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0252-846>.
- Ictenbas, B. D & Eryilmaz, H. 2011. Quality Function Deployment As A Strategic Planning Tool. *International Journal Of Social Sciences and Humanity Studies* Vol. 3 No. 2 ISSN : 1309-8063 : 73-76
- Ide P. 2007. Inner Healing in the Office 1st ed. Jakarta: Gramedia.
- Ilevbare, I. M., Probert, D., & Robert, P. (2013). A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. ELSEVIER Technovation, 30-37.

- Jones, M. T., Jagim, A. R., Haff, G. G., Carr, P. J., Martin, J., & Oliver, J. M. (2016). Greater strength drives difference in power between sexes in the conventional deadlift exercise. *Sports*, 4(3), 1–10. <https://doi.org/10.3390/sports4030043>
- Karwowski, W. (2007). *Ergonomics and Human Factors: The Paradigms for Science, Engineering, Design, Technology, and Management of Human-compatible Systems*. Ergonomics Taylor and Francis Online, 436-463.
- Khandani, S. (2012). Engineering Design. Retrieved from <https://resources.saylor.org/wwwresources/archived/site/wpcontent/uploads/2012/09/ME101-4.1-Engineering-Design-Process.pdf>.
- Martin, N., Matthews, M., & Schooler, B. (2018). Water Cooler Bottle Loader. In *Worcester Polytechnic Institute*.
- Nurmianto, E., 1996. *Ergonomi: Konsep Dasar dan Aplikasinya Tinjauan Anatomi, Fisiologi, Antropometri, Psikologi, dan Komputasi untuk Perancangan, Kerja dan Produk*, Jakarta: PT Guna Widya.
- Rachmananda. (2018). *Desain Alat Membatik (Canting) yang Ergonomis dan Inovatif Untuk Difable*. Universitas Islam Indonesia.
- Sampathkumar, M., Sakthivel, A., Tharun Prasad, P., Vinothkumar, S., & Vinothkumar, R. (2019). Design and fabrication of electromagnetic braking system for four wheeler. *South Asian Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 1–3. <https://doi.org/10.26524/sajet190802>
- San, Y. T. (2009). *TRIZ Systematic Innovation in Manufacturing*. Malaysia: First fruits Publishing.
- Sanders, M., & McCormick, E. (1992). *Human Factors in Engineering and Design*. Singapore: McGraw-Hill.
- Santoso, D. (2006). Kapasitas Angkat Beban Untuk Pekerja Indonesia. *Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 148–155. <https://doi.org/10.9744/jti.8.2.pp.148-155>
- Setiawan, M. S., Kirana, I. W., Cahyani, A. D., & Suryoputro, M. R. (2019). *Penilaian*

- Postur Pekerja Pengangkatan Galon Dengan Metode REBA dan Biomekanika. *Seminar Dan Konferensi Nasional IDEC*, 1–8.
- Setyowati, D. L., & Fathimahhayati, L. (2021). Sikap Kerja Ergonomis Untuk Mengurangi Keluhan Muskuloskeletal. *Insan Cendekia Mandiri*.
- Sheskin, D. J. (2004). *Handbook of Parametric and Non Parametric Statistical Procedures Third Edition*. Washington: Chapman & Hall/CRC.
- Sihawong R, Sitthipornvorakul E, Paksaichol A, Janwantanakul P. 2015. Predictors For Chronic Neck And Low Back Pain In Office Workers: A 1 Year Prospective Cohort Study. *J Occup Health* 58: 16-24.
- Skrzek, A., Ignasiak, Z., Koziel, S., Sławińska, T., & Rozek, K. (2012). Differences in muscle strength depend on age, gender and muscle functions. *Isokinetics and Exercise Science*, 20(3), 229–235. <https://doi.org/10.3233/IES-2012-0464>
- Rachmananda. (2018). *Desain Alat Membatik (Canting) yang Ergonomis dan Inovatif Untuk Difable*. Universitas Islam Indonesia.
- Rahman, A. Supomo, H. 2012. Analisa Kepuasan Pelanggan pada Pekerjaan Reparasi Kapal dengan Metode Quality Function Deployment (QFD). *Jurnal Teknik ITS* Vol. 1 No. 1 ISSN : 2301-9271 : 298.
- Sari, S. A., Vitasari, P., & Salmimia, L. A. (2018). Penerapan Ergonomi pada Mesin Penghancur Guna Peningkatan Pupuk Organik. *SENIATI Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2018 Tema A - Penelitian*, 64-67.
- Shiri, R., Lallukka, T., Karppinen, J., & Viikari-Juntura, E. (2014). Obesity as a risk factor for sciatica: A meta-analysis. *American Journal of Epidemiology*, 179(8), 929–937. <https://doi.org/10.1093/aje/kwu007>
- Siregar, Z. H., & Ningsih, M. S. (2019). Implementasi metode NIOSH dan Analisa QEC pada alat potong ranting. *Jurnal PASTI*, 13(2), 121. <https://doi.org/10.22441/pasti.2019.v13i2.002>.
- Soebroto, S. W. (2000). *Prinsip-Prinsip Perancangan Berbasis Dimensi Tubuh*

- (Antropometri) Dan Perancangan Stasiun Kerja 1). *Oktober*, 159(2), 17–19.
[http://personal.its.ac.id/files/pub/2829-m_sritomo-ie-Rancangan Antropometri & Work Station.pdf](http://personal.its.ac.id/files/pub/2829-m_sritomo-ie-Rancangan%20Antropometri%20&%20Work%20Station.pdf)
- Srivastava, S., Srivastava, S., & Khatri, C. . (2014). Multi-Function Operating Machine: A Conceptual Model. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 11(3), 69–75. <https://doi.org/10.9790/1684-11336975>
- Sugandini, D., Purwoko, Pambudi, A., Resmi, S., Reniati, Muafi, & Kusumawati, R. A. (2018). The role of uncertainty, perceived ease of use, and perceived usefulness towards the technology adoption. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(4), 660–669.
- Sugiyono. (2005). Metode Penelitian Kualitatif Kuantitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Sulistyo, H. 2011. Implementasi QFD dalam Meningkatkan Daya Saing Pasar Tradisional. *Jurnal Siasat Bisnis* Vol. 15 No. 2 : 158-160.
- Suparti, E., & Ria, R. (2017). *Perancangan Ulang Alat Penuang Air Galon Guna*. 1–7.
- Symeonidou, I., & Gupta, U. (2012). Bending curvature: A design tool for interactive complexity. *Beyond Codes and Pixels - Proceedings of the 17th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia, CAADRIA 2012, April 2012*, 547–556. <https://doi.org/10.13140/2.1.4091.6485>
- Taifa, I. W., & Desai, D. A. (2017). Anthropometric measurements for ergonomic design of students' furniture in India. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20(1), 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2016.08.004>
- Tarwaka, S., & Bakri, L. S. (2004). Ergonomi Untuk Keselamatan: Kesehatan Kerja dan Produktivitas. Surakarta: UNIBA Pers
- Tayyari, F., & Smith, J. L. (1997). Occupational Ergonomics: Principles and Applications. London: Chapman & Hall.

- Vecchio, L. Del. (2017). Choosing a Lifting Posture: Squat, Semi-Squat or Stoop. *MOJ Yoga & Physical Therapy*, 2(2), 56–62. <https://doi.org/10.15406/mojypt.2017.02.00019>
- Vosniakos, G. C., Deville, J., & Matsas, E. (2017). On Immersive Virtual Environments for Assessing Human-driven Assembly of Large Mechanical Parts. *Procedia Manufacturing*, 11(June), 1263–1270. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.253>
- Yihong, L., Yunfei, S., & Ting, C. (2012). Study of New Wall Materials Design Based on TRIZ Integrated Innovation Method. *CSCanada Management Science and Engineering*, 15-29.
- Yudhistira, H. (2019). Pembutan Mekanisme Pengangkat Galon Air. *Ayan*, 8(5), 55.
- Zhang, Y., Ke, J., Wu, X., & Luo, X. (2020). A biomechanical waist comfort model for manual material lifting. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(16), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165948>

Daftar Lampiran

Lampiran 1. Kuesioner Survei Pengalaman dan Atribut Keinginan Pengguna

Kuesioner aktivitas pengangkutan dan pengangkatan galon

Assalamualaikum,

Perkenalkan saya Muhammad Safri Setiawan, mahasiswa Teknik Industri UII, sedang melakukan penelitian mengenai "Desain Inovatif Alat Bantu Pemasangan Galon yang Ergonomis dengan Pendekatan TRIZ"

Di bawah ini terdapat beberapa pertanyaan seputar pengalaman dalam melakukan aktivitas pemasangan galon, khususnya kegiatan pengangkutan dan pengangkutan galon. Oleh karena itu penilaian dan partisipasi Anda dalam mengisi kuesioner ini akan sangat membantu saya dalam melakukan kegiatan penelitian ini. Semua informasi yang diperoleh nantinya hanya untuk kepentingan penelitian, untuk itu saya menjaga kerahasiaan atas informasi yang Anda berikan.

Jika ada hal lain yang ingin ditanyakan mengenai kuesioner penelitian ini, Anda dapat menghubungi kontak berikut:
Telp/ WA: +6285959211600
Email : safriim6@gmail.com

Atas ketersediaan dan perhatian yang Anda berikan, saya mengucapkan terimakasih. Semoga setiap informasi yang Anda berikan dapat menjadi tabungan kebaikan untuk Anda.

Wassalamualaikum.

Demografi Responden

Jenis Kelamin *

- ☐ Laki-laki
☐ Perempuan

Usia *

- ☐ <20 tahun
☐ 20-30 tahun
☐ 31-40 tahun
☐ 41-50 tahun
☐ 51-65 tahun
☐ >65 tahun

Identifikasi Pengalaman Pengguna

Berikut merupakan sejumlah pertanyaan mengenai aktivitas pemasangan galon khususnya kegiatan membawa dan mengangkat galon

Menurut Anda apa yang membuat aktivitas tersebut merepotkan? (misal: beban galon yang berat, jarak dispenser dan galon yang jauh, letak dispenser yang agak tinggi, tutup galon yang susah dibuka,dll) *

Your answer

Apakah jenis dispenser yang anda gunakan? *

☐ Dispenser dengan letak galon berada diatas
☐ Dispenser dengan letak galon berada dibawah
☐ Alat pompa galon

Apakah aktivitas pemasangan galon khususnya aktivitas membawa dan mengangkat galon merupakan salah satu aktivitas yang merepotkan bagi Anda? *

☐ Ya
☐ Tidak

Apakah Anda merasakan keluhan seperti pegal/nyeri/kaku saat/setelah melakukan aktivitas membawa dan mengangkat galon? *

☐ Ya
☐ Tidak

Bagian tubuh mana yang merasa pegal/nyeri/kaku saat/setelah melakukan aktivitas membawa dan mengangkat galon? (misal: punggung, pergelangan tangan, kaki, lengan atas, lengan bawah, dll) *

Your answer

Apakah Anda membutuhkan alat bantu yang efektif dan efisien untuk membantu meringankan beban dari aktifitas membawa dan mengangkat galon tersebut? *

☐ Ya
☐ Tidak

Jika anda merasa membutuhkan alat bantu, kriteria apa saja yang anda inginkan dalam alat bantu tersebut untuk membantu/menunjang aktivitas pemasangan galon? (misal: desain menarik, multifungsi, aman, dan nyaman, mudah saat digunakan, mampu menahan dan mengangkat beban galon,dll) *

Your answer

Submit

Clear form

Lampiran 2. Kuesioner Kepentingan Atribut Pengguna

Kuesioner Kepentingan Atribut Pengguna

Assalamualaikum,

Perkenalkan saya Muhammad Safri Setiawan, mahasiswa Teknik Industri UII, sedang melakukan penelitian mengenai "Desain Inovatif Alat Bantu Pemasangan Galon yang Ergonomis dengan Pendekatan TRIZ"

Di bawah ini terdapat beberapa pertanyaan seputar pemilihan tingkat kepentingan atribut terhadap inovasi alat bantu pemasangan galon. Oleh karena itu penilaian dan partisipasi Anda dalam mengisi kuesioner ini akan sangat membantu saya dalam melakukan kegiatan penelitian ini. Semua informasi yang diperoleh nantinya hanya untuk kepentingan penelitian, untuk itu saya menjaga kerahasiaan atas informasi yang Anda berikan.

Jika ada hal lain yang ingin ditanyakan mengenai kuesioner penelitian ini. Anda dapat menghubungi kontak berikut:
 Telp/ WA: +6285959211600
 Email : safrim6@gmail.com

Atas ketersediaan dan perhatian yang Anda berikan, saya mengucapkan terimakasih. Semoga setiap informasi yang Anda berikan dapat menjadi tabungan kebaikan untuk Anda.

Wassalamualaikum.

Demografi Responden

Jenis Kelamin *

- ☐ Laki-laki
☐ Perempuan

Usia *

Your answer

Tingkat Kepentingan Atribut

Berikut merupakan kuesioner tingkat kepentingan atribut (kriteria) alat bantu pemasangan galon dengan ketentuan sebagai berikut:

- Multifungsi
- Mudah digunakan
- Aman digunakan
- Nyaman digunakan.

Berikut merupakan petunjuk pengisian kuesioner.

-Pilihlah jawaban sesuai dengan keinginan Anda terhadap desain alat bantu pemasangan galon yang inovatif.

- Pilih salah satu dari 5 pilihan yang tersedia, dengan keterangan sebagai berikut.

1= Sangat Tidak Setuju (STS)

2= Tidak Setuju (TS)

3= Netral (N)

4= Setuju (S)

5= Sangat Setuju (SS)

Selamat mengisi.

Bagaimana jika alat bantu dibuat untuk memudahkan pengguna dalam mengoperasikannya? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Bagaimana jika alat bantu dibuat untuk dapat digunakan dengan aman? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Bagaimana jika alat bantu dibuat multifungsi (mempunyai beberapa fungsi seperti membawa dan mengangkat galon ke dispenser) *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Bagaimana jika alat bantu untuk dapat digunakan dengan nyaman? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Submit

Clear form

Lampiran 3. Kuesioner Kesesuaian Desain

Kuesioner Kesesuaian Desain Produk Alat Bantu Pemasangan galon

Assalamualaikum,

Perkenalkan saya Muhammad Safri Setiawan, mahasiswa Teknik Industri UII, sedang melakukan penelitian mengenai "Desain Inovatif Alat Bantu Pemasangan Galon yang Ergonomis dengan Pendekatan TRIZ"

Di bawah ini terdapat beberapa pertanyaan seputar pemilihan tingkat kepentingan atribut terhadap rancangan desain alat bantu pemasangan galon. Oleh karena itu penilaian dan partisipasi Anda dalam mengisi kuesioner ini akan sangat membantu saya dalam melakukan kegiatan penelitian ini. Semua informasi yang diperoleh nantinya hanya untuk kepentingan penelitian, untuk itu saya menjaga kerahasiaan atas informasi yang Anda berikan.

Jika ada hal lain yang ingin ditanyakan mengenai kuesioner penelitian ini. Anda dapat menghubungi kontak berikut:

Telp/ WA: +6285959211600

Email : safrim6@gmail.com

Atas ketersediaan dan perhatian yang Anda berikan, saya mengucapkan terimakasih. Semoga setiap informasi yang Anda berikan dapat menjadi tabungan kebaikan untuk Anda.

Wassalamualaikum.

Demografi Responden

Jenis Kelamin *

☐ Laki-laki

☐ Perempuan

Usia *

Your answer

Kuesioner Kesesuaian Desain Produk

Berikut merupakan kuesioner tingkat kepentingan atribut (kriteria) alat bantu pemasangan galon dengan ketentuan sebagai berikut:

- Multifungsi
- Mudah digunakan
- Aman digunakan
- Nyaman digunakan.

Deskripsi Alat Bantu

Penggunaan alat bantu dari rancangan yang diusulkan dapat mengakomodasi pengguna dalam melakukan aktivitas pemasangan galon untuk meminimalisir tenaga yang dikeluarkan dengan sistem pneumatik untuk mengangkat galon dan gear katrol untuk memutar galon. Material rangka alat juga didukung dengan menggunakan material ST41, yang mempunyai kekuatan yang kokoh dan stabil dalam menahan beban, namun mempunyai beban yang ringan karena mempunyai tingkat campuran baja dengan karbon yang rendah.

Berikut merupakan petunjuk pengisian kuesioner.

-Pilihlah jawaban sesuai dengan keinginan Anda terhadap desain alat bantu pemasangan galon yang inovatif.

- Pilih salah satu dari 5 pilihan yang tersedia, dengan keterangan sebagai berikut.

1= Sangat Tidak Setuju (STS)

2= Tidak Setuju (TS)

3= Netral (N)

4= Setuju (S)

5= Sangat Setuju (SS)

Selamat mengisi.

Rancangan Desain Alat Bantu Pemasangan Galon

Apakah alat bantu sudah memiliki jumlah fungsi yang cukup untuk membantu aktivitas pemasangan galon? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Apakah desain alat bantu terlihat mudah saat digunakan? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Apakah desain alat bantu terlihat aman saat digunakan? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Apakah desain alat bantu terlihat nyaman saat digunakan? *

	1	2	3	4	5	
STS	☐	☐	☐	☐	☐	SS

Submit

Clear form

Lampiran 4. Data Antropometri

Subjek Ke-	TSB (cm)	DLG (cm)	LJL (cm)
1	99.00	5.00	2.00
2	95.10	4.00	2.00
3	102.00	4.50	2.30
4	99.00	4.00	2.20
5	92.50	4.50	2.20
6	97.00	2.50	2.20
7	89.00	3.00	2.40
8	101.00	2.50	3.00
9	96.00	4.50	2.00
10	104.00	4.00	2.80

11	95.40	3.00	2.00
12	94.00	4.00	2.50
13	94.00	3.00	2.50
14	91.00	3.00	2.40
15	92.00	4.50	2.50
16	93.00	3.40	2.50
17	95.50	3.00	3.00
18	96.00	4.00	1.80
19	95.00	3.50	2.00
20	90.80	4.30	2.00
21	94.20	3.00	2.00
22	96.00	3.50	2.50
23	91.00	3.50	3.00
24	99.00	3.10	2.50
25	103.00	4.50	1.50
26	92.10	3.80	2.10
27	95.00	4.50	2.20
28	90.00	4.00	2.50
29	99.50	3.90	2.50
30	93.50	3.00	2.40

Lampiran 5. Desain Produk Secara Isometrik



Lampiran 6. Desain Gambar Teknik

