

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Perhitungan REBA Sebelum

Pengumpulan data dan dokumentasi pekerja pada pembongkaran arang, selanjutnya dilakukan analisis perhitungan sudut yang dihasilkan oleh pekerja untuk menentukan berapa skor yang dihasilkan berdasarkan sudut postur kerja.

1. Perhitungan Skor Grup A

Perhitungan skor grup A meliputi bagian batang tubuh, leher, dan kaki dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Skor Grup A

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Batang tubuh	 81.4° Batang Tubuh	4 Termasuk fleksi dengan kategori sudut $>60^\circ$	-	4

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Leher	 61.0° Leher	2 Termasuk ekstensi dengan kategori sudut $>20^\circ$	-	2
kaki	 143.9° Kaki	1 Termasuk fleksi dengan kategori bobot tersebar merata	+2 jika lutut >60 fleksi (tidak dalam keadaan duduk)	3

Skor yang telah didapat pada tabel grup A kemudian dimasukkan kedalam tabel A untuk mengetahui nilai yang didapat (Tabel 4.2)

Tabel 4.2 Skor Tabel A

Tabel A	Leher												
		1				2				3			
	Kaki	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Batang tubuh	1	1	2	3	4	1	2	3	5	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tabel A berisi gabungan skor yang dihasilkan oleh batang tubuh, leher dan kaki. Hasil dari tabel 4.2 menunjukkan skor 7. Kemudian skor Tabel A ditambahkan dengan skor beban. Beban yang diangkat pekerja sebesar 38 Kg termasuk dalam kategori beban >10 Kg dengan skor 2. Total skor akhir dari tabel A adalah $7+2=9$ yang termasuk dalam kategori tinggi.

2. Perhitungan Skor Grup B

Perhitungan skor grup B meliputi bagian lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Skor Grup B

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Lengan atas	 90.8° Lengan atas	4 Termasuk fleksi dengan kategori sudut $<90^\circ$	-	4

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Lengan bawah	 36.3° Lengan bawah	2 Termasuk fleksi dengan kategori sudut $>20^\circ$	-	2
Pergelangan tangan	 13.5° Pergelangan tangan	1 Termasuk fleksi dengan kategori sudut $0^\circ-15^\circ$	-	1

Skor yang telah didapat pada tabel grup B kemudian dimasukkan kedalam tabel B untuk mengetahui nilai yang didapat (Tabel 4.4)

Tabel 4. 4 Skor Tabel B

Tabel B	Lengan bawah						
		1			2		
Lengan atas	Pergelangan tangan	1	2	3	1	2	3
	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7

	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Tabel B berisi gabungan skor yang dihasilkan oleh lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan. Hasil dari tabel 4.4 menunjukkan skor 5. Kemudian skor Tabel B ditambahkan dengan skor *coupling*. Pada proses pembongkaran tidak ada pegangan atau *coupling*, keadaan tersebut termasuk dalam kategori *unacceptable* dengan skor 3. Total skor akhir dari tabel B adalah $5+3=8$ yang termasuk dalam kategori tinggi.

3. Perhitungan Skor Gabungan

Perhitungan tabel C dilakukan dengan menggabungkan skor tabel A dan tabel B. (Tabel 4.5)

Tabel 4.5 Skor Tabel C

Tabel A	Tabel C											
	Tabel B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8
3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel C berisi gabungan dari skor akhir tabel A dan B. Hasil tabel menunjukkan skor 11. Kemudian skor tabel C ditambahkan dengan skor aktivitas. Aktivitas yang dilakukan dalam pembongkaran adalah adanya gerakan yang mengakibatkan perubahan posisi dari posisi awal dengan nilai skor 1. Total skor akhir dari tabel C adalah $11+1=12$. Skor 12 termasuk kedalam kategori level risiko sangat tinggi, sehingga perlu adanya tindakan penanganan segera.

4.1.2 Penentuan Matriks AHOQ

Pada tahap ini akan ditentukan kebutuhan teknis alat untuk menjadi dasar dalam proses perancangan alat bantu kerja. Tahap ini akan menjadi acuan desain yang nantinya akan menciptakan sebuah alat bantu kerja yang memenuhi kebutuhan pengguna. Berdasarkan hasil perhitungan skor REBA awal terdapat beberapa bagian tubuh yang memiliki skor risiko yang tinggi yaitu untuk skor 4 pada bagian batang tubuh dan kaki kemudian skor 3 pada bagian lengan atas. Skor tinggi tersebut didapatkan karena pembongkaran arang dilakukan dalam keadaan membungkuk sehingga sudut yang dihasilkan memiliki skor risiko yang besar. Hasil ini akan menjadi poin pokok yang nantinya akan dimasukkan kedalam proses pengolahan data dengan metode AHOQ.

1. Penentuan Atribut Pengguna

Tahap awal dalam menyusun matriks AHOQ adalah mengumpulkan data *Voice of Customer* (VOC) melalui wawancara langsung dengan pekerja. Data VOC yang masih berupa pernyataan diubah menjadi atribut kebutuhan pelanggan atau *customer attribute* (CA). Berikut konversi pernyataan menjadi CA ada tabel 4.6

Tabel 4.6 Penentuan Customer Attribute

No	Pernyataan	Customer Attribute
1	Ukuran alat tidak membuat tubuh membungkuk	Ukuran alat disesuaikan dengan ukuran tubuh
2	Bisa dibongkar pasang	Menggunakan mekanisme bongkar pasang
3	Alat mudah digunakan	Menggunakan mekanisme pengungkit sederhana
4	Masih menggunakan tenaga manusia	Alat dioperasikan secara manual
5	Alat awet	Penggunaan model rangka dan material yang kokoh
6	Penggerak yang umum digunakan	Penggunaan tuas penggerak

2. Konversi Atribut Keinginan Pengguna menjadi Persyaratan Fungsionalitas

Langkah selanjutnya mengubah CA menjadi *functional requirement* (FR), tahap ini setiap atribut kebutuhan pelanggan diubah menjadi persyaratan fungsionalitas alat. konversi ini didasari oleh aksioma pertama yang menyebutkan

bahwa independensi fungsi terpisah antara satu dengan yang lainnya. Berikut konversi CA menjadi FR pada tabel 4.7

Tabel 4. 7 Penentuan Functional requirement

No	Customer Attribute	Functional requirement
1	Ukuran alat disesuaikan dengan ukuran tubuh	Alat yang dibuat nyaman digunakan
2	Menggunakan mekanisme bongkar pasang	Tong pembongkaran dapat diganti dengan mudah
3	Menggunakan mekanisme pengungkit sederhana	Alat dapat mengurangi beban kerja fisik
4	Alat harus dioperasikan secara manual	Menghemat biaya operasional
5	Penggunaan model rangka dan material yang kokoh	Alat bisa bertahan lama
6	Penggunaan tuas penggerak	Alat mudah dioperasikan

3. Konversi Persyaratan Fungsionalitas menjadi Parameter Desain

Setelah didapatkan *functional requirement* langkah selanjutnya menentukan parameter desain. Agar memenuhi aksioma pertama seperti sebelumnya, diusahakan setiap FR hanya memiliki satu *design parameter* (DP) untuk menjaga independensi fungsi serta dipilih model yang sederhana untuk memenuhi aksioma 2. Parameter desain bertujuan memberi gambaran perwujudan dari persyaratan fungsional dalam bentuk variabel desain alat. Berikut konversi FR menjadi DP pada tabel 4.8

Tabel 4. 8 Penentuan Design Parameter

No	Functional requirement	No	Design parameter
FR1	Alat yang dibuat nyaman digunakan	DP1	Panjang tuas, tinggi poros dan ukuran <i>handle</i> tuas disesuaikan dengan antropometri
FR2	Tong pembongkaran dapat diganti dengan mudah	DP2	Rancangan bongkar pasang menggunakan mur-baut
FR3	Alat dapat mengurangi beban kerja fisik	DP3	Menggunakan sistem pengungkit jenis pertama
FR4	Menghemat biaya operasional	DP4	Alat dirancang tanpa mekanisme penggerak mesin
FR5	Alat bisa bertahan lama	DP5	Menggunakan rangka segitiga dan material pipa besi
FR6	Alat mudah dioperasikan	DP6	sistem tuas putar

4. Penentuan Constrain

Penentuan *constrain* sangat penting, karena pada tahap ini berfungsi sebagai batasan control dalam perancangan desain. Berikut hasil identifikasi *constrain* dari 2 *Customer Attribute* yang telah didapatkan dapat dilihat pada tabel 4.9

Tabel 4. 9 Constrain

No	Customer Attribute	Constrain
C1	Ukuran alat disesuaikan dengan data antropometri	1. Panjang tuas engkol 75 cm

No	Customer Attribute	Constrain
		2. Tinggi poros 105 cm 3. panjang pegangan handle 9 cm
C2	Penggunaan tuas penggerak	Berbentuk tuas engkol

Pada *constrain* pertama yaitu ukuran alat disesuaikan dengan data antropometri, ukuran yang digunakan meliputi bagian panjang tuas engkol, tinggi poros dan panjang pegangan handle. Ukuran dari setiap bagian sudah ditentukan melalui perbandingan dan pemilihan persentil antropometri Indonesia. Pada CA kedua penggunaan tuas penggerak menggunakan tuas engkol. Pemilihan bentuk tuas engkol ini mendukung persyaratan fungsional berupa kemudahan pengoprasian alat yaitu hanya dengan ditarik dan didorong. Penambahan constrain pada model AHOQ akan diwakili dengan symbol “Y” berarti *yes* dan “N” berarti *no*.

5. Perumusan Matriks Desain

Perumusan matriks desain dilakukan untuk menghubungkan persyaratan fungsional dengan desain parameter secara visual. Tujuan mengidentifikasi hubungan tersebut untuk memastikan tidak ada kesalahan idependensi fungsi. Matriks desain dapat dilihat pada tabel 4.9

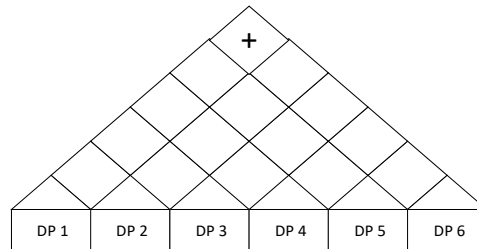
Tabel 4.10 Matriks Desain

FRs / DPs	DP1	DP2	DP3	DP4	DP5	DP6
FR1	1	0	0	0	0	0
FR2	0	1	0	0	0	0
FR3	0	0	1	0	0	0
FR4	0	0	0	1	0	0
FR5	0	0	0	0	1	0
FR6	0	0	0	0	0	1

Berdasarkan tabel 4.9 dapat dilihat terbentuk sebuah pola diagonal yang berarti bahwa masing-masing FR memiliki jawaban satu DP. Sehingga kondisi tersebut termasuk dalam kategori *uncoupled*, yang berarti telah memenuhi syarat aksioma pertama dan dikatakan bahwa rancangan desain ideal.

6. Korelasi antar Parameter Desain

Korelasi antar parameter desain dilakukan untuk mengetahui apakah ada keterkaitan atau dependensi antar DP. Berikut gambar korelasi antar parameter desain dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Korelasi Parameter Desain

Pada gambar 4.1 terdapat korelasi positif antara parameter desain satu (DP1) dan (DP6), hubungan bernilai positif karena kedua desain memiliki dasar ukuran yang sama yaitu berdasarkan data antropometri. Dependensi yang terjadi adalah pada penentuan tinggi poros engkol akan mempengaruhi bagian panjang tuas engkol. Selain dependensi DP1 dan DP6 tidak ada lagi dependensi yang lain.

7. Penambahan Constrain

Penambahan *constrain* diperlukan sebagai control dari parameter desain yang dibuat. *Constrain* ini nantinya akan dihubungkan dengan parameter desain dalam model.

	DP 1	DP 2	DP 3	DP 4	DP 5	DP 6
Constrain						
C1	Y	N	N	N	N	Y
C2	N	N	N	N	N	Y

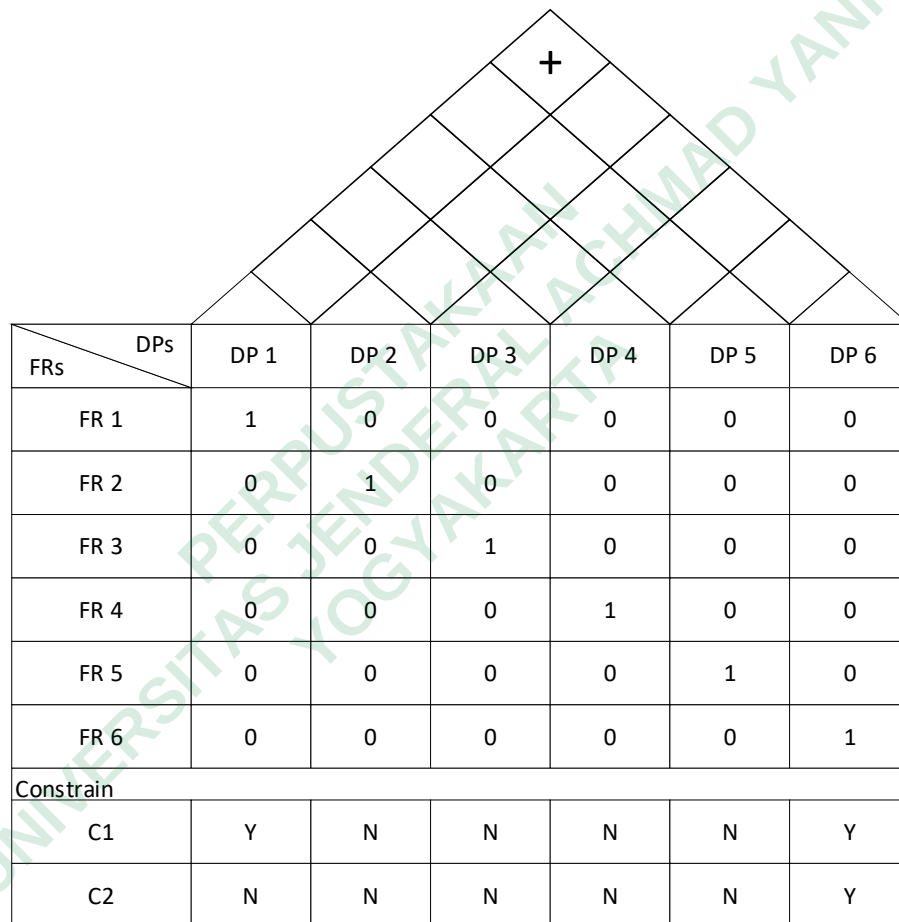
Gambar 4.2 Hubungan *constrain* dengan parameter desain

Pada gambar 4.2 pada constrain C1 yaitu “ukuran alat disesuaikan dengan data antropometri” tidak memiliki pengaruh terhadap DP2, DP3, DP4, dan DP5, namun memiliki pengaruh terhadap DP1 karena memiliki dimensi yang disesuaikan dengan antropometri agar tubuh tidak membungkuk sedangkan DP6 karena dimensi yang disesuaikan dengan antropometri untuk kenyamanan pegangan *handle*. *Constrain* kedua yaitu penggunaan tuas penggerak tidak memiliki pengaruh terhadap DP1, DP2, DP3, DP4 dan DP5, namun memiliki pengaruh terhadap DP6

yaitu sistem tuas putar karena sistem tuas putar yang digunakan adalah tuas engkol yang akan mendukung kemudahan dalam pengoperasian alat.

8. Evaluasi Model AHOQ

Evaluasi ini dilakukan untuk mengetahui dan memastikan bahwa kebutuhan pengguna telah terpenuhi dan sesuai dengan rancangan desain yang dibuat. Pada gambar 4.3 dapat dilihat hasil dari model lengkap AHOQ tidak memerlukan perbaikan model, hal ini didasari dengan:



FRs \ DPs	DP 1	DP 2	DP 3	DP 4	DP 5	DP 6
FR 1	1	0	0	0	0	0
FR 2	0	1	0	0	0	0
FR 3	0	0	1	0	0	0
FR 4	0	0	0	1	0	0
FR 5	0	0	0	0	1	0
FR 6	0	0	0	0	0	1
Constrain						
C1	Y	N	N	N	N	Y
C2	N	N	N	N	N	Y

Gambar 4.3 Model lengkap AHOQ

- a. Desain matriks pada model AHOQ termasuk dalam *uncoupled design* karena setiap FR hanya memiliki 1 hubungan terhadap DP. Dengan kategori tersebut telah memenuhi aksioma pertama, maka model desain dikatakan ideal.

- b. Pada model lengkap AHOQ bagian DP terdapat beberapa *constrain* yang memiliki simbol “Y” yang menunjukkan perlu adanya perhatian atau perlakuan khusus terhadap DP saat akan direalisasikan
- c. Terdapat korelasi antar parameter desain dengan simbol “+” yang berarti dependensi positif. Hal tersebut berarti bahwa pengaruh antar DP saling menguntungkan.

4.1.3 Pengukuran Antropometri

1. Dimensi Tubuh

Penentuan ukuran dalam rancangan produk alat bantu kerja pembongkaran arang batok perlu memperhatikan beberapa bagian yang akan mendukung pembentukan posisi kerja yang ideal. Dari hasil identifikasi AHOQ yang telah dilakukan didapat ide rancangan alat pembongkaran arang batok dengan memakai konsep yang hampir sama dengan sistem kerja mesin molen manual. Penentuan ukuran alat memperhatikan beberapa dimensi tubuh yang akan menjadi batas ukuran ideal alat agar nyaman digunakan. Pertimbangan ukuran dimensi tubuh yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.11

Tabel 4. 11 Dimensi tubuh

No	Dimensi tubuh	Tujuan
1	Jangkauan tangan kedepan	Memastikan pegangan engkol ada dalam jangkauan optimal agar tidak bungkuk atau condong berlebihan
2	Tinggi siku dari lantai saat berdiri	Penentuan tinggi poros engkol alat agar saat memutar engkol, lengan tidak terlalu naik atau turun
3	Lebar tangan	Penentuan lebar pegangan engkol agar sesuai dengan genggam tangan

2. Ukuran Antropometri

Penentuan ukuran alat bantu kerja yang sesuai dengan pengguna adalah salah satu langkah dalam menciptakan postur kerja yang ergonomis. Kesesuaian ukuran alat bantu akan menentukan bentuk postur tubuh pekerja berada dalam kondisi yang ideal atau tidak. Penelitian ini menggunakan data utama berupa antropometri pekerja UMKM Ujo Areng Batok dan data sekunder dari *website* Antropometri Indonesia sebagai data pembanding ukuran populasi umum Masyarakat Indonesia. Tujuan dari perbandingan data tersebut untuk mengetahui apakah terdapat

perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pekerja dan populasi. Hal tersebut juga menjadi sebuah pertimbangan untuk menjadikan alat ini bisa digunakan oleh mayoritas populasi. Data yang diambil dari *website* antropometri Indonesia adalah dengan penyaringan data jenis kelamin laki-laki dengan usia 18-47 dan bersuku Jawa. Dasar pemilihan jenis kelamin laki-laki bersuku Jawa karena menyesuaikan dengan pekerja dan wilayah UMKM. Pemilihan usia 18 tahun berdasarkan batas usia minimum berdasarkan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan dan 47 tahun sebagai batas pertumbuhan optimal dewasa. Tabel 4.12 menunjukkan ukuran antropometri

Tabel 4. 12 Ukuran antropometri

Kode	Dimensi Tubuh	Persentil Antropometri Indonesia			pekerja
		5	50	95	
D24	Panjang bahu-genggaman tangan ke depan	49.12	65.13	81.14	51 cm
D4	Tinggi siku dari lantai saat berdiri	90.53 cm	107.53 cm	124.53 cm	105 cm
D29	Lebar tangan	7.28 cm	8.77 cm	10.26 cm	9 cm

Pada penelitian ini menggunakan pemilihan persentil dari ketiga dimensi pada tabel 4.12 adalah sebagai berikut:

- Panjang bahu-genggaman tangan ke depan menggunakan persentil 5 dengan alasan untuk penentuan panjang tuas engkol dapat dijangkau oleh pekerja dengan jangkauan tangan terpendek masih dapat mencapai pengangan engkol yang nyaman. Pada penelitian ini digunakan persentil 5 yaitu 49.12 cm yang dibulatkan menjadi 50 cm, ukuran tersebut hanya memiliki selisih 1 cm dimana untuk toleransi antar persentil lain bisa dikatakan tidak terlalu berpengaruh secara signifikan.
- Dimensi tinggi siku berdiri menggunakan persentil 50 dengan alasan persentil 50 mewakili tinggi rata-rata populasi, sehingga bisa digunakan oleh mayoritas pengguna tanpa harus menurunkan bahu (untuk orang tinggi) dan mengangkat bahu (untuk orang pendek). Pada penelitian ini digunakan data antropometri pekerja yaitu 105 cm karena hanya memiliki selisih 2,53 cm dimana untuk toleransi antar persentil lain bisa dikatakan tidak terlalu berpengaruh secara signifikan.

- c. Dimensi lebar tangan menggunakan persentil 50 dengan alasan ukuran rata-rata populasi genggamannya nyaman dan optimal dalam memegang handle engkol. Jika menggunakan persentil 95 pegangan tangan akan berkurang untuk tangan yang kecil dan jika menggunakan persentil 5 pegangan tangan akan membuat cepat pegal untuk tangan yang besar. Pada penelitian ini digunakan persentil 50 yaitu 8.77 cm yang dibulatkan menjadi 9 cm, ukuran tersebut sekaligus sesuai dengan antropometri pekerja.

Dengan demikian didapatkan hasil ukuran akhir perancangan alat sebagai berikut (Tabel 4.13):

Tabel 4.13 Ukuran dimensi akhir

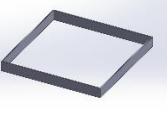
Kode	Dimensi	Ukuran Akhir
D25	Panjang bahu-genggamannya tangan ke depan	50 cm
D4	Tinggi siku dari lantai saat berdiri	105 cm
D29	Lebar tangan	9 cm

4.1.4 Perancangan Alat Bantu Kerja Menggunakan Co-design

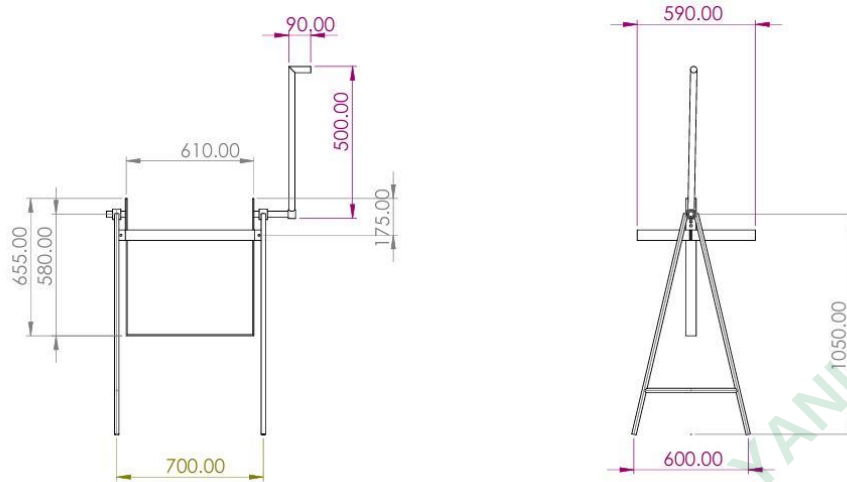
Perancangan alat bantu kerja dilakukan dengan melakukan brainstorming antaran peneliti dengan pekerja. Tujuan *brainstorming* ini adalah untuk merancang alat bantu kerja yang diharapkan akan memenuhi fungsionalitas, keamanan dan kenyamanan pekerja. Dalam proses *co-design* peneliti dan pekerja secara bersama dalam merancang alat, dan akan diambil pilihan konsep yang memiliki kriteria utama alat yang sudah didapatkan dari pengolahan data dari AHOQ. Berikut pilihan konsep bagian-bagian alat yang dipertimbangkan sebagai berikut (Tabel 4.14):

Tabel 4.14 Brainstorming Co-design

No.	Konsep 1	Konsep 2	Hasil	Pertimbangan
1	Kerangka T 	Kerangka segitiga 	Konsep 2	Distribusi beban lebih merata karena memiliki 2 tiang penyangga pada setiap sisi

No	Konsep 1	Konsep 2	Hasil	Pertimbangan
2	Tuas stir 	Tuas engkol 	Konsep 2	Pada proses penuangan lebih mudah karena cara pengoperasian hanya memerlukan penarikan dan dorongan
3	Sistem paten 	Sistem <i>clamp</i> atau pengunci 	Konsep 2	Mempermudah pergantian tong pembakaran
4	Sistem roda gigi 	Sistem pengungkit 	Konsep 2	Perawatan lebih mudah dan murah

Dalam proses perancangan, beberapa ukuran alat yang menunjang perbaikan postur badan disesuaikan dengan data pengolahan antropometri. Bagian yang memiliki ukuran berdasarkan pengolahan antropometri yaitu kerangka segitiga, Panjang tuas dan lebar pegangan tuas. Ukuran kerangka segitiga yang dipakai adalah tinggi rangka sebesar 105 cm digunakan sebagai peletakan titik poros alat, kemudian ukuran panjang tuas sebesar 69 cm sebagai ukuran ideal tangan menggapai pegangan tuas. Kedua ukuran tersebut menunjang dalam perbaikan postur kerja yang sebelumnya membungkuk menjadi posisi berdiri. Sedangkan untuk ukuran lebar pegangan tuas sebesar 9 cm digunakan sebagai tambahan untuk kenyamanan alat bantu. Penggunaan alat dilakukan dengan posisi berdiri kemudian melakukan penarikan tuas untuk memutar tong untuk melakukan pembongkaran arang yang berada didalam tong. Berikut ukuran alat dalam 2D dan model 3D yang sebagai berikut (Gambar 4.4 dan 4.5):



Gambar 4. 4 2D Alat



Gambar 4. 5 3D Alat

Berdasarkan hasil analisis AHOQ dan antropometri didapatkan ide rancangan alat bantu kerja dengan sistem yang hampir sama dengan molén manual. Alat ini menggunakan sistem pengungkit golongan pertama dengan mekanisme kuasa pada tuas engkol, titik tumpu pada poros tuas dan beban yang berada ditengah rangka. Pada alat ini terdiri dari beberapa bagian, antara lain rangka penyangga, rangka peletakan tong lengkap dengan sistem *clamp* penjepit, poros alat sebagai titik tumpu alat yang dilengkapi dengan *bearing*, dan tuas penggerak berupa tuas engkol. Penggunaan alat dilakukan dengan posisi berdiri kemudian melakukan penarikan tuas untuk memutar tong untuk melakukan pembongkaran arang yang berada didalam tong.

4.1.5 Percobaan Fungsionalitas Alat

Berdasarkan hasil percobaan alat dapat berfungsi dalam proses pembongkaran arang batok, ketika tuas diputar maka tong pembakaran akan ikut berputar mengikuti putaran tuas. Pada saat penuangan posisi kerangka dalam keadaan yang kokoh dan tidak goyang. Pekerja menyatakan bahwa kombinasi penggunaan sistem pengungkit yang dipasangkan dengan tuas engkol mengurangi beban yang dirasakan saat proses pembongkaran.



Gambar 4. 6 Uji coba alat

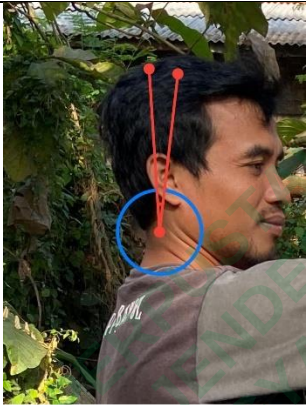
4.1.6 Perhitungan REBA Sesudah

Setelah dilakukan percobaan fungsionalitas alat, alat mampu melakukan pembongkaran arang. Tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis perhitungan sudut yang dihasilkan oleh pekerja saat melakukan pembongkaran arang menggunakan alat bantu kerja untuk mendapatkan berapa skor yang dihasilkan berdasarkan sudut postur kerja setelah perbaikan.

1. Perhitungan Skor Grup A

Perhitungan skor grup A meliputi bagian batang tubuh, leher, dan kaki dapat dilihat pada tabel 4.15

Tabel 4. 15 Skor Grup A sesudah

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Batang tubuh	 0.0° Batang Tubuh	1 Termasuk posisi tegak	-	1
Leher	 10.3° Leher	1 Termasuk fleksi dengan kategori sudut 0-20°	-	1
kaki	 172.2° Kaki	1 Termasuk fleksi dengan kategori bobot tersebar merata	+2 jika lutut >60 fleksi (tidak dalam keadaan duduk)	3

Skor yang telah didapat pada tabel grup A kemudian dimasukkan kedalam tabel A untuk mengetahui nilai yang didapat (Tabel 4.16)

Tabel 4. 16 Tabel A sesudah

Tabel A	Leher												
		1				2				3			
	Kaki	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Batang tubuh	1	1	2	3	4	1	2	3	5	3	3	5	6
	2	2	3	4	5	3	4	5	6	4	5	6	7
	3	2	4	5	6	4	5	6	7	5	6	7	8
	4	3	5	6	7	5	6	7	8	6	7	8	9
	5	4	6	7	8	6	7	8	9	7	8	9	9

Tabel A berisi gabungan skor yang dihasilkan oleh batang tubuh, leher dan kaki. Hasil dari tabel 4.15 menunjukkan skor 3. Kemudian skor Tabel A ditambahkan dengan skor beban. Beban yang diangkat pekerja sebesar 38 Kg termasuk dalam kategori beban >10 Kg dengan skor 2. Total skor akhir dari tabel A adalah $3+2=5$ yang termasuk dalam kategori sedang.

2. Perhitungan Skor Grup B

Perhitungan skor grup B meliputi bagian lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan dapat dilihat pada tabel 4.17

Tabel 4. 17 Skor Grup B sesudah

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Lengan atas	 100.6° Lengan Atas	4 Termasuk fleksi dengan kategori sudut $<90^\circ$	-1 karena penarikan tuas kebawah termasuk dalam bobot lengan sesuai dengan gravitasi	3
Lengan bawah	 157.0° Lengan Bawah	2 Termasuk fleksi dengan kategori sudut $>100^\circ$	-	2

Bagian tubuh	Besar sudut	Skor	Penambahan skor	Skor akhir
Pergelangan tangan	 7.1° Pergelangan tangan	1 Termasuk fleksi dengan kategori sudut 0°-15°	-	1

Skor yang telah didapat pada tabel grup B kemudian dimasukkan kedalam tabel B untuk mengetahui nilai yang didapat (Tabel 4.18).

Tabel 4. 18 Tabel B sesudah

Tabel B	Lengan bawah						
		1			2		
Lengan atas	Pergelangan tangan	1	2	3	1	2	3
	1	1	2	2	1	2	3
	2	1	2	3	2	3	4
	3	3	4	5	4	5	5
	4	4	5	5	5	6	7
	5	6	7	8	7	8	8
	6	7	8	8	8	9	9

Tabel B berisi gabungan skor yang dihasilkan oleh lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan. Hasil dari tabel 4.18 menunjukkan skor 4. Kemudian skor Tabel B ditambahkan dengan skor *coupling*. Pada proses pembongkaran sesudah menggunakan alat bantu mendapat *coupling* dengan kategori *Good* dengan keterangan Pegangan pas dan kuat serta pengguna hanya menggunakan setengah tenaga ketika mengangkat dengan skor 0. Total skor akhir dari tabel B ialah $4+0=4$ yang termasuk dalam kategori sedang.

3. Perhitungan Skor Gabungan

Perhitungan tabel C dilakukan dengan menggabungkan skor tabel A dan tabel B. (Tabel 4.19)

Tabel 4. 19 Skor Tabel C Sesudah

Tabel A	Tabel C											
	Tabel B											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	2	3	3	4	5	6	7	7	7
2	1	2	2	3	4	4	5	6	6	7	7	8

3	2	3	3	3	4	5	6	7	7	8	8	8
4	3	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9
5	4	4	4	5	6	7	8	8	9	9	9	9
6	6	6	6	7	8	8	9	9	10	10	10	10
7	7	7	7	8	9	9	9	10	10	11	11	11
8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11	11	11
9	9	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12
10	10	10	10	11	11	11	11	12	12	12	12	12
11	11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12

Tabel C berisi gabungan dari skor akhir tabel A dan B. Hasil tabel menunjukkan skor 5. Kemudian skor tabel C ditambahkan dengan skor aktivitas. Aktivitas yang dilakukan dalam pembongkaran adalah adanya gerakan yang mengakibatkan perubahan posisi dari posisi awal dengan nilai skor 1. Total skor akhir dari tabel C adalah $5+1=6$. Skor 6 termasuk kedalam kategori level risiko sedang yang masih memerlukan tindakan pengamatan lebih lanjut.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan REBA Sebelum

Hasil perhitungan REBA sebelum perbaikan menunjukkan bahwa postur kerja pada proses pembongkaran arang memiliki skor akhir 12, yang termasuk ke dalam kategori risiko sangat tinggi. Hal ini disebabkan oleh posisi kerja yang membungkuk secara signifikan dengan sudut batang tubuh $>60^\circ$, penambahan skor kaki dengan sudut fleksi $>60^\circ$, dan postur lengan atas dengan sudut $>90^\circ$. Beban yang diangkat juga cukup berat yaitu 38 kg, dan kondisi kerja tanpa pegangan *coupling* yang baik, menambah skor risiko. Dengan demikian, kondisi awal ini mengindikasikan perlunya tindakan perbaikan segera karena dapat menimbulkan keluhan *musculoskeletal disorder* pada pekerja.

Penelitian sebelumnya dengan metode yang sama dilakukan oleh Pratama & Setiawan, (2020), analisis penilaian risiko bagian punggung, leher, kaki, lengan atas, lengan bawah dan pergelangan tangan menggunakan metode REBA memperoleh skor 12 yang tergolong dalam risiko sangat tinggi. Dengan pertimbangan ergonomis berdasarkan antropometri dan preferensi kerja ideal perancangan alat bantu dapat merubah sudut setiap bagian tubuh menjadi lebih ideal sehingga menurunkan skor REBA menjadi 6 dengan kategori risiko sedang.

4.2.2 Penentuan Matriks AHOQ

Proses konversi dilakukan dari *Voice of Customer* (VOC) → *Customer Attribute* (CA) → *Functional Requirement* (FR) → *Design Parameter* (DP). Dari analisis ini diperoleh bahwa pekerja menginginkan alat yang ukuran alat disesuaikan dengan ukuran tubuh, menggunakan mekanisme bongkar pasang, menggunakan mekanisme pengungkit sederhana, alat harus dioperasikan secara manual, penggunaan model rangka dan material yang kokoh dan penggunaan tuas penggerak. Setelah itu FR dan DP dimasukkan kedalam matriks desain. Hasil matriks desain menunjukkan pola *uncoupled design*, artinya setiap fungsi memiliki satu parameter desain yang independen, sehingga rancangan memenuhi aksioma pertama (independensi fungsi). Untuk bagian parameter desain alat terdapat korelasi yang terjadfi antara DP1 dan DP6 dimana memiliki hubungan dependensi (+) yang menunjukkan korelasi jika penentuan tinggi titik poros alat akan mempengaruhi penentuan panjang tuas putar (tuas engkol). Penentuan *constraint* juga dilakukan untuk memastikan ukuran alat sesuai antropometri pekerja dan sistem penggerak berupa tuas engkol, yang mendukung kemudahan pengoperasian. Pada bagian akhir terdapat model lengkap AHOQ untuk memvisualisasikan secara lengkap keseluruhan tahap penyusunan AHOQ. Evaluasi model lengkap AHOQ meliputi desain matriks pada model AHOQ termasuk dalam *uncoupled design* karena setiap FR hanya memiliki 1 hubungan terhadap DP maka model desain dikatakan ideal, bagian DP terdapat beberapa *constrain* yang memiliki simbol “Y” yang menunjukkan perlu adanya perhatian atau perlakuan khusus terhadap DP saat akan direalisasikan dan Terdapat korelasi antar parameter desain dengan simbol “+” yang berarti dependensi positif. Hal tersebut berarti bahwa pengaruh antar DP saling berhubungan positif.

Penelitian serupa juga dilakukan oleh Siboro et al. (2023), penelitian ini merancang alat pencacah limbah material 3D printer di Laboratorium Desain Produk IT Del menggunakan metode AHOQ. Limbah berupa sisa filamen dan cetakan gagal sulit terurai sehingga perlu dikelola melalui daur ulang. Dari hasil penerjemahan kebutuhan pengguna Lab Desprin teridentifikasi kebutuhan alat yang dirancang memiliki penyaring berukuran 10–15 mm, indikator on/off, penutup

saluran input untuk keamanan sekaligus meredam kebisingan, mudah dipindahkan, serta hemat energi karena digerakkan dengan sepeda, bukan listrik. Dengan demikian, alat ini dinilai praktis, aman, dan ramah lingkungan untuk mengelola limbah filamen 3D printer.

4.2.3 Pengukuran Antropometri

Hasil pengukuran antropometri difokuskan pada tiga dimensi utama: jangkauan tangan ke depan, tinggi siku dari lantai saat berdiri, dan lebar tangan. Pemilihan persentil dilakukan secara strategis:

1. Panjang tuas menggunakan persentil 5 agar pekerja dengan tangan pendek tetap dapat menjangkau tuas.
2. Tinggi poros menggunakan persentil 50 agar nyaman untuk mayoritas pengguna.
3. Lebar pegangan menggunakan persentil 50 agar optimal untuk rata-rata ukuran tangan.

Hasil akhir ukuran: panjang tuas 50 cm, tinggi poros 105 cm, dan lebar pegangan 9 cm. Dengan desain ini, postur kerja yang semula membungkuk berubah menjadi tegak, sehingga mengurangi gangguan otot seperti *musculoskeletal disorder*. Dalam penelitian Taryat & Nurwathi (2021), juga menggunakan data antropometri sebagai penentuan ukuran alat bantu kerja perajang singkong dengan pertimbangan agar pengguna dapat menggunakan alat dengan nyaman dan ergonomis.

4.2.4 Perancangan Alat Bantu Kerja Menggunakan *Co-design*

Proses perancangan dilakukan melalui metode *co-design* bersama pekerja agar alat yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan lapangan. Pilihan desain yang dipilih adalah kerangka segitiga untuk distribusi beban yang stabil, tuas engkol untuk mempermudah proses penuangan, sistem pengunci *clamp* agar pergantian tong lebih mudah, dan sistem pengungkit sederhana untuk mengurangi beban fisik pekerja. Rancangan akhir berbentuk mirip molen manual dengan sistem pengungkit jenis pertama. Tuas engkol digunakan untuk memutar tong secara ergonomis, mengurangi pembebanan otot, dan memungkinkan pekerja bekerja dengan posisi berdiri.

Penelitian Gumulya (2018), membahas tentang pengolahan limbah kayu yang awalnya hanya dijual sebagai kayu bakar dan menyebabkan polusi udara diolah dengan pendekatan *co-design* dengan melibatkan peneliti dan pengrajin dalam proses penentuan desain melalui pemilihan sketsa gambar dan referensi model sehingga menciptakan sebuah produk DIY (*Do It Yourself*) kit mainan kayu, berupa model boneka kayu yang dapat dicat kreatif oleh konsumen.

4.2.5 Percobaan Fungsionalitas Alat

Percobaan menunjukkan bahwa alat dapat berfungsi dengan baik. Saat tuas diputar, tong ikut berputar secara stabil. Pekerja merasakan pengurangan beban fisik, terutama pada saat membalik tong pembakaran. Sistem rangka cukup kokoh, dan penggunaan tuas engkol terbukti mempermudah operasional. Dari sudut pandang ergonomi, alat ini berhasil mengurangi aktivitas membungkuk yang sebelumnya mendominasi pekerjaan.

4.2.6 Perhitungan REBA Sesudah

Hasil pengukuran REBA setelah penggunaan alat menunjukkan skor akhir 6, yang termasuk kategori risiko sedang. Hal ini berarti ada penurunan risiko signifikan dibandingkan kondisi awal (dari skor 12 menjadi 6). Perubahan ini disebabkan oleh:

1. Batang tubuh yang semula membungkuk $>60^\circ$ kini tegak.
2. Leher dan kaki berada dalam posisi yang lebih netral.
3. Beban masih sama (38 kg), namun penggunaan tuas engkol dan pegangan (coupling) yang baik membuat pekerja hanya menggunakan sebagian tenaga.

Dengan demikian, penggunaan alat bantu kerja ini efektif menurunkan risiko ergonomi dari sangat tinggi menjadi sedang, meskipun masih perlu perhatian untuk mengurangi beban yang diangkat.