

# Rancang Bangun Ergonomis Alat Semprot Pestisida Jenis Gendong

Weny Findiastuti

Jurusan Teknik Industri Universitas Trunojoyo  
Jl. Raya Telang PO BOX 2 Kamal, Bangkalan, Madura  
E-mail: [weny123@gmail.com](mailto:weny123@gmail.com)

## ABSTRAK

*Mace is a pesticide applicator tool is needed in order to eradicate and control of pests and plant diseases. That is to say that this tool is one tool that should be owned by a farmer. In the market, carrying a syringe in circulation and farmers are often used syringe with a tank model of the plate made of iron and less attention to ergonomics. With that background, it is designed in this study carry a syringe with ergonomic design approaches, methods and product development methods and approaches biomechanics. This study uses design methods and product development has 4 stages, namely: the planning stage, stage of product development, system-level design phase, repairs and testing phase to implementation. The analysis was conducted by biomechanics approach. The results obtained in this study is that there are 4 attributes customer need to be improved ergonomics approach, namely: handle the pressure, the length of the lever, grip design, and design backpack. After repairs done to get the product design concepts carrying Mace better, characterized by calculating the moment of the body segments long products.*

*Keywords: Design, Ergonomics, biomechanics*

## PENDAHULUAN

Dusun Tanjung Krajan, Desa Tanjung, Kecamatan Kedamean, Kabupaten Gresik merupakan daerah dengan mayoritas pencaharian sebagai petani. Dalam masa penyemprotan, setidaknya dilakukan penyemprotan hama dua kali sehari dengan menggunakan alat penyemprot pestisida jenis gendong. Selain pestisida, ajenis alat ini juga digunakan sebagai alat semprot pupuk dan vitamin tanaman. Sebagian besar, bahkan hampir semua petani di Dusun Tanjung Krajan menggunakan alat semprot pestisida manual (pompa) yang berbahan *stainless steel*.

Permasalahan timbul ketika operator alat semprot mengalami keluhan sakit nyeri punggung setelah melakukan penyemprotan. Dari analisa pendahuluan secara ergonomi, keluhan sakit punggung/cedera punggung akan dialami oleh operator bukan hanya dikarenakan oleh berat tangki yang bawa punggung

namun cedera juga dapat diakibatkan oleh gaya mekanik yang timbul pada saat mengoperasikan tuas tangki secara berulang-ulang.

Dalam mengoperasikan alat semprot ini, operator harus memanggul  $\pm 25$  kg setiap penyemprotan dengan isi tangki maksimal 17 liter. Pengurangan volume tangki tanpa analisa ergonomis yang diduga dapat mengurangi rasa nyeri punggung, belum menyelesaikan masalah secara signifikan karena dengan volume tangki yang lebih kecil menyebabkan operator harus berulang kali kembali untuk mengisi tangki. Pengambilan isi tangki yang berulang kali menyebabkan pekerjaan penyemprotan menjadi kurang efisien. Sehingga dibutuhkan analisa ergonomi lebih dalam untuk dapat merancang alat semprot pestisida jenis gendong yang ergonomis dalam hal kenyamanan dan efisiensi penggunaan.

Berdasarkan hasil wawancara dan pengamatan secara langsung dapat diketahui bahwa pada saat petani menggunakan alat ini merasa tidak nyaman dan mudah lelah bahkan menimbulkan rasa sakit akibat pemakaian alat semprot gendong yang mereka gunakan. Jika alat semprot gendong ini digunakan dalam durasi yang agak lama, bisa saja menimbulkan rasa sakit pada punggung dan bahu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi aspek kenyamanan alat semprot gendong dan memperbaiki rancangan alat semprot gendong menjadi lebih ergonomis.

### Alat Semprot Gendong

Pestisida yang dipakai dalam budidaya tanaman umumnya berbentuk cairan dan ada pula yang berbentuk tepung, digunakan untuk mengendalikan gulma, hama dan penyakit tanaman. Untuk mengaplikasikannya pestisida cair digunakan alat penyemprot yang disebut *sprayer*, sedangkan untuk pestisida berbentuk tepung digunakan alat yang disebut *duster*. Dalam penggunaannya sehari-hari petani sering menemukan masalah seperti teknik pemakaian, serta perbaikan dan pemeliharannya. Hal seperti ini pada akhirnya akan menentukan tingkat efisiensi dan efektivitas dalam penggunaannya. Gambar 2.1 di bawah ini merupakan contoh dari alat semprot gendong yang ada di pasaran. Sedangkan gambar 2.2 menunjukkan gambar prinsip kerja alat semprot gendong yang ada di pasaran.

Prinsip kerja alat penyemprot model *sprayer* adalah memecah cairan menjadi butiran partikel halus yang menyerupai kabut. Dengan bentuk dan ukuran yang halus ini maka pemakaian pestisida akan efektif dan merata ke seluruh permukaan daun atau tajuk tanaman. Untuk memperoleh butiran halus, biasanya dilakukan

dengan menggunakan proses pembentukan partikel dengan menggunakan tekanan (*hydraulic atomization*), yakni cairan di dalam tangki dipompa sehingga mempunyai tekanan yang tinggi, dan akhirnya mengalir melalui selang karet menuju ke alat pengabut. Cairan dengan tekanan tinggi dan mengalir melalui celah yang sempit dari alat pengabut, sehingga cairan akan pecah menjadi partikel-partikel yang sangat halus.

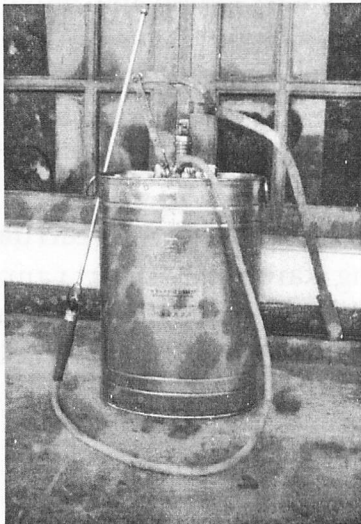
Berdasarkan prinsip kerjanya, maka alat penyemprot tipe gendong ini memiliki bagian utama yang terdiri :

1. Tangki dari bahan plat tahan karat, untuk menampung cairan
2. Unit pompa, yang terdiri dari silinder pompa, piston dari kulit
3. Tangkai pompa, untuk memompa cairan
4. Saluran penyemprot, terdiri dari kran, selang karet, katup serta pipa yang bagian ujungnya dilengkapi nosel
5. Manometer, untuk mengukur tekanan udara di dalam tangki
6. Sabuk penggendong
7. Selang karet
8. Piston pompa
9. Katup pengatur aliran cairan keluar dari tangki
10. Katup pengendali aliran cairan bertekanan yang ke luar dari selang karet
11. Laras pipa penyalur aliran cairan bertekanan dari selang menuju ke nosel
12. *Nozel*, untuk memecah cairan menjadi partikel halus

Persyaratan yang diperlukan dalam mengoperasikan *handsprayer* (alat penyemprot) ini adalah:

Isi tangki dengan cairan pestisida dan sisakan kurang lebih 1/5 bagian ruangan tangki untuk udara. Setelah diisi cairan, tangki dipompa kurang lebih sebanyak 50

- 80 kali pemompaan. Untuk mengetahui intensitas tekanan udara di dalam tangki dapat diamati melalui manometer. Beberapa persyaratan lainnya adalah bahan konstruksi terbuat dari plat tahan karat, bagian konstruksi pompa mudah dilepas untuk dibersihkan, selang terbuat dari karet atau plastik, nosel dapat dilepas dan dapat diganti baik tipe maupun ukuran lubangannya. Persyaratan lain yang berkaitan efektivitas aplikasi pestisida dalam pengoperasian alat penyemprot adalah kondisi kecepatan angin tidak melebihi 10 km/jam.



Gambar 2.1 Alat Semprot Gendong

Dimensi Alat:

p x l x t: 350 mm x 175 mm x 610 mm

Kapasitas Tanki: Maksimal 17 lt

Berat Kosong:  $\pm$  7 kg

Berat Penuh: 25 kg

Tuas Berbentuk Pipih

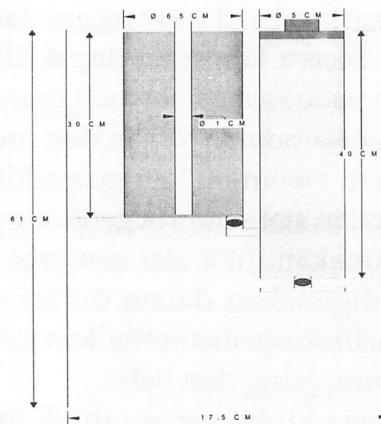
Tekanan Tuas:

Isi Kosong: 2 kg

Isi Penuh: 7.693 kg

Panjang Pipa: 1200 mm

Panjang Selang: 1200 mm



Gambar 2.2 Prinsip Kerja Alat Semprot Gendong

### Perancangan dan Pengembangan Produk

Pada penelitian ini tahapan proses perancangan produk terdiri dari (Ulrich, 2001) :

#### 1. Tahap Perencanaan.

Tahap perencanaan merupakan kegiatan yang sering dirujuk sebagai *zero phase* karena kegiatan ini mendahului persetujuan proyek dan proses peluncuran pengembangan produk aktual (Ulrich, 2001).

#### 2. Tahap Pengembangan Konsep.

Pada Tahap pengembangan konsep, kebutuhan pasar target diidentifikasi, alternatif konsep-konsep produk dibentuk dan dievaluasi, dan satu atau lebih konsep dipilih untuk perancangan dan pengembangan lebih lanjut.

#### 3. Tahap Perancangan Tingkat Sistem

Tahap ini mencakup definisi arsitektur produk dan uraian produk menjadi subsistem-subsistem serta komponen-komponen. Gambaran rakit akhir untuk sistem produksi biasanya didefinisikan selama Tahap ini. Output pada Tahap ini biasanya mencakup bentuk produk, spesifikasi secara fungsional dari tiap subsistem produk, serta diagram aliran untuk proses produksi produk, bentuk produk dan spesifikasi fungsional (Ulrich, 2001).

Pada tahap perancangan tingkat sistem ini dibuat dengan pertimbangan aspek ergonomi.

#### 4. Tahap Pengujian dan Perbaikan

Tahap ini melibatkan pengujian fungsional dan evaluasi dari bermacam-macam versi produksi awal produk. Prototipe awal biasanya dibuat dengan menggunakan komponen-komponen dengan bentuk dan jenis material pada produksi sesungguhnya, namun tidak memerlukan proses pabrikasi dengan proses yang sama dengan yang dilakukan pada produksi sesungguhnya.

#### 5. Tahap Produksi

Produk dibuat dengan menggunakan sistem produksi yang sesungguhnya. Tujuan dari produksi awal ini adalah untuk melatih tenaga kerja dalam memecahkan permasalahan yang timbul pada proses produksi sesungguhnya. Produk-produk dihasilkan selama produksi awal kadang-kadang disesuaikan dengan keinginan pelanggan secara hati-hati dievaluasi untuk mengidentifikasi kekurangan-kekurangan yang timbul.

#### Definisi Ergonomi

Istilah "ergonomi" berasal dari bahasa latin yaitu *ergon* (kerja) dan *nomos* (hukum alam) dan dapat didefinisikan sebagai studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, *engineering*, manajemen, dan desain perancangan. Ergonomi berkenaan pula dengan optimasi, efisiensi, kesehatan, keselamatan, dan kenyamanan manusia di tempat kerja (Nurmianto, 1991). Di dalam ergonomi dibutuhkan studi tentang sistem dimana manusia, fasilitas kerja, dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan

utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusianya.

Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun (*design*) ataupun rancang ulang (*redesign*) yaitu perancangan ulang suatu alat kerja.

#### Antropometri

Antropometri adalah studi tentang tubuh manusia yang digunakan dalam mendesain suatu sistem. Suatu desain yang digunakan untuk kepentingan manusia harus melibatkan dimensi tubuh manusia baik dalam hal lingkungan/tempat kerja maupun produk/alat.

#### Penilaian Beban Kerja Fisik Berdasarkan Jumlah Kebutuhan Kalori

Untuk mengetahui berat ringannya beban kerja adalah dengan menghitung nadi kerja, konsumsi oksigen, kapasitas ventilasi paru dan suhu inti tubuh. Pada batas tertentu ventilasi paru, denyut jantung dan suhu tubuh mempunyai hubungan yang linier dengan konsumsi oksigen atau pekerjaan yang dilakukan. (Grandjean, 1993).

#### Biomekanika

Biomekanika pada dasarnya mempelajari kekuatan, ketahanan, kecepatan, ketelitian, dan keterbatasan manusia dalam melakukan kerjanya.

Pendekatan biomekanika menitikberatkan pada struktur tulang dan posisi pengangkatan, dimana struktur tulang terutama pada tulang belakang akan mengalami tekanan yang berlebih ketika melakukan pengangkatan meskipun frekuensinya jarang. Pendekatan biomekanika memandang tubuh manusia sebagai suatu sistem, yang terdiri dari elemen-elemen yang saling berkait dan terhubung satu sama lain melalui sendi-sendi dan jaringan otot yang ada. Pendekatan biomekanika berguna untuk mengukur kekuatan dan

ketahanan fisik manusia untuk melakukan suatu pekerjaan tertentu, dimana hal ini bertujuan untuk mendapatkan suatu cara kerja yang lebih baik sehingga kemungkinan terjadinya cedera dapat diminimasi.

### Analisa Momen

Dalam menganalisis momen yang terjadi pada tubuh pekerja, menurut Scott, S.H and Winter, D.A (1993) dalam Yugo (2004), terdapat tiga jenis gaya yang bekerja di dalam tubuh manusia yaitu :

1. Gaya gravitasi yaitu gaya yang melalui pusat massa dari tiap segmen tubuh manusia dengan arah ke bawah. Besar gayanya adalah massa di kali percepatan gravitasi ( $F = m \cdot g$ ).
2. Gaya reaksi yaitu gaya yang terjadi akibat beban pada segmen tubuh dan berat segmen tubuh itu sendiri.
3. Gaya Otot yaitu gaya yang terjadi pada bagian sendi baik akibat gesekan sendi atau akibat gaya pada otot yang melekat pada sendi, gaya ini menggambarkan besarnya momen otot.

### METODE PENELITIAN

#### Data-data Yang Dibutuhkan

Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

1. Tahap Perencanaan
 

Pada tahap perencanaan data yang dibutuhkan berupa data hasil observasi lapangan mengenai :

  - ☞ Data segmen pengguna
  - ☞ Observasi produk acuan pembandingan
2. Tahap Pengembangan Konsep, meliputi :
  - ☞ Data identifikasi kebutuhan pengguna terhadap produk
3. Tahap Perancangan Tingkat Sistem, meliputi :
  - ☞ Gambar arsitektur produk

- ☞ Data anthropometri
- ☞ Data biomekanika

4. Tahap Pengujian dan Perbaikan, meliputi :

- ☞ Data biomekanika kerja

### Teknik Pengumpulan Data

Cara untuk melakukan kegiatan pengumpulan data adalah dengan cara sebagai berikut :

1. Tahap Perencanaan

Pada tahap perencanaan data yang dibutuhkan berupa data hasil observasi lapangan mengenai :

- ☞ Dimensi awal produk
 

Dilakukan dengan cara pengukuran secara langsung pada alat semprot gendong yang digunakan oleh petani atau yang sudah beredar di pasaran.
- ☞ Atribut
 

Atribut diperoleh dari hasil wawancara dengan petani.
- ☞ Kepuasan
 

Mengukur tingkat kepuasan konsumen pada alat semprot gendong.
- ☞ Harapan
 

Untuk mengetahui apa saja yang diinginkan konsumen pada perbaikan alat semprot gendong.
- ☞ Antropometri
 

Data antropometri digunakan untuk implementasi perbaikan.

2. Tahap Pengembangan Konsep, meliputi:

- ☞ Gap antara kepuasan dan harapan
 

Untuk menentukan atribut yang perlu dilakukan perbaikan. Jika nilai gap negatif berarti atribut tersebut perlu dilakukan perbaikan. Dan sebaliknya, jika nilai gap atribut bernilai positif atau nol, berarti atribut tersebut tidak perlu dilakukan perbaikan. Karena konsumen

- sudah merasa terpuaskan dengan alat yang sudah ada.
- ☞ Uji validitas  
Uji ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat keahian suatu instrument.
  - ☞ Uji reliabilitas  
Uji ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepercayaan suatu instrument.
  - ☞ Uji keseragaman data
  - ☞ Uji kecukupan data
3. Tahap Perancangan Tingkat Sistem, meliputi :
    - ☞ Gambar arsitektur produk
    - ☞ Data anthropometri
    - ☞ Data biomekanika  
Data anthropometri dan biomekanika yang digunakan dalam perancangan alat diambil dari pengukuran secara langsung pada petani.
  4. Tahap Perancangan Detail, meliputi :
    - ☞ Gambar arsitektur produk tingkat detail
  5. Pengujian dan Perbaikan, meliputi :
    - ☞ Data pengukuran biomekanika kerja dengan menggunakan alat hasil rancangan.
- b. Menterjemahkan kebutuhan pengguna kedalam matrik-matrik kebutuhan sehingga diperoleh spesifikasi akhir acuan perancangan.
  - c. Pembentukan alternatif-alternatif konsep perancangan.
  - d. Pemilihan konsep perancangan dengan menggunakan metode *binary dominance matrix*, dalam pemilihan konsep perancangan dibentuk tim perancang sebagai penilai dan untuk penentuan bobot prosentase kesesuaian kriteria terhadap konsep rancangan dilakukan dengan *Focus group discussion*.
2. Tahap Perancangan Tingkat Sistem
    - a. Persentil  
Persentil digunakan untuk implementasi perbaikan pada alat semprot gendong.
    - b. Denyut jantung  
Data denyut jantung diukur untuk mengetahui beban kerja yang dilakukan oleh petani pada saat menggunakan alat semprot gendong.
    - c. Konsumsi oksigen  
Konsumsi oksigen diukur untuk mengetahui konsumsi energi petani pada saat menggunakan alat semprot gendong. Hal ini dilakukan untuk mengetahui beban kerja petani pada saat menggunakan alat semprot gendong.

### Teknik Pengolahan Data dan Perancangan

Pada tahap pengolahan data ini, tidak semua data yang diperoleh akan dilakukan perhitungan atau pengolahan lebih lanjut, diantara data yang dilakukan pengolahan meliputi :

#### 1. Tahap Pengembangan Konsep

Pada Tahap pengembangan konsep teknik pengolahan data yang dilakukan sehingga diperoleh konsep sebagai bahan perancangan adalah dengan cara :

- a. Melakukan uji validitas dan reliabilitas terhadap kuisisioner yang telah disebarakan.

#### 3. Tahap Pengujian dan Perbaikan

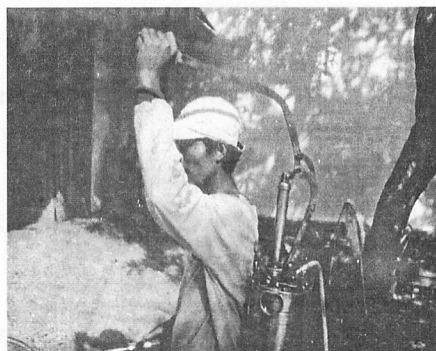
Tahap pengujian dan perbaikan dilakukan pada atribut yang perlu perbaikan. Hal ini dapat dilihat pada besarnya gap antara kepuasan dan harapan konsumen terhadap alat semprot gendong. Perbaikan-perbaikan yang akan dilakukan didasarkan pada pendekatan ergonomi, yaitu analisa anthropometri dan biomekanika.

**Tahap Analisa dan Kesimpulan**

Setelah dilakukan pengolahan data, dan dihasilkan bentuk rancangan, maka langkah selanjutnya adalah melakukan analisa hasil rancangan dan diakhiri dengan pembuatan kesimpulan berdasar pada analisa yang telah dilakukan pada hasil rancangan.

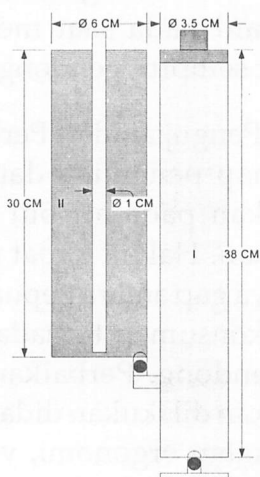
**HASIL DAN PEMBAHASAN  
Perhitungan Momen Sebelum Perbaikan Rancangan**

Analisa lengan bawah diasumsikan te-lapak tangan menyatu dengan lengan ba-wah dan punggung diasumsikan menyatu dengan kepala, leher sehingga panjang dan berat segmen tubuh tersebut disesuai-kan dengan menyatukan kedua bagian tu-buh tersebut. Berikut adalah posisi petani saat menarik tuas alat semprot gendong.



Gambar 3. Posisi petani saat menarik tuas

Berikut adalah rancangan volume ta-bung sebelum perbaikan :



Gambar 4 Tabung sebelum perbaikan

Dari gambar di atas dapat diketahui :

Vol tabung I adalah 365.598 cm<sup>3</sup>

Vol tabung II adalah 848.1 cm<sup>3</sup>

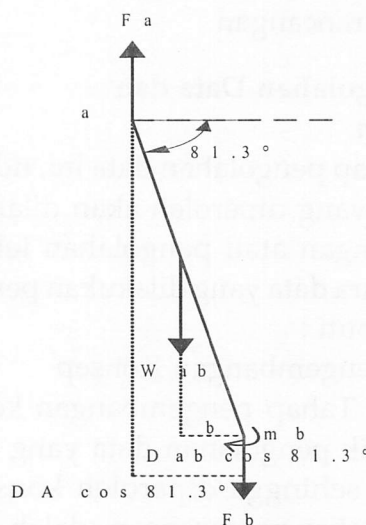
Sedangkan fluida yang dialirkan oleh tabung I ke tabung II adalah 192.42 cm<sup>3</sup>, hal ini dikarenakan volume torak yang ada di dalam tabung I.

Menurut Sularso, 2000 "Jika gas di-kompresikan pada temperature tetap, ma-ka tekanannya akan berbanding terbalik dengan volumenya". Atau bisa dituliskan dalam rumus  $P \cdot V = \text{konstan}$ .

Perbandingan volume fluida yang dialirkan tabung I dan volume tabung II adalah 192.42 cm<sup>3</sup> dibanding 848.1 cm<sup>3</sup> = 1/4.4. Perubahan volume udara pada tabung II menjadi 1/4.4, artinya tekanan fluida yang ditimbulkan sebesar 4.4 bar. Sehingga pada tabung I tekanan fluida menjadi: fa pada tabung I adalah 2.5

**a. Segmen Lengan Bawah**

Pada segmen ini dilakukan perhitung-an besarnya gaya dan momen pada lengan bagian bawah yang disebabkan oleh be-ban tekan pada tuas tangki, akibat proses penarikan Tuas.



Gambar 5. Analisa biomekanika segmen lengan bawah

Keterangan Gambar 5.14

a : Joint Pergelangan tangan

b : Joint Siku

Wab: Berat segmen lengan bawah

g : Percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )

Fa : Gaya pada pergelangan tangan (N)

Fb : Gaya pada Siku

a : Sudut yang sejajar dengan bidang horizontal

DA : Panjang lengan bawah

Dab : Pusat massa link lengan bawah

Ma : Momen pada pergelangan tangan

Mb : Momen lengan bawah

Fa didapat dari gaya tekan pada tuas, yaitu sebesar:

Diketahui:

$$F_a = 2.5$$

$$F_{ab} = W_{ab} \times g$$

$$F_{ab} = 2.852 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{ab} = 27.9496 \text{ N}$$

$$DA = 0.423536 \text{ m} \quad D_{ab} = 0.2542 \text{ m}$$

$$\alpha = 81.3^\circ \quad \cos \alpha = 0.151$$

Dengan hukum Newton yang berlaku maka dapat diketahui gaya dan momen sebagai berikut :

$$\sum F_x = 0 \text{ (tidak ada gaya pada sumbu x)}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_a - F_{ab} + F_b = 2.5 - 27.9496 + F_b = 0$$

$$F_b = 27.9496 - 2.5 = 25.4496 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$\cos 81,3^\circ [DA(-F_a) + D_{ab}(-F_{ab})]$$

$$+ M_b = 0$$

$$0.151 [0.423536 (-2.5) + 0.2542 (-27.9496)]$$

$$+ M_b = 0$$

$$M_b = 1.233 \text{ Nm}$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui:

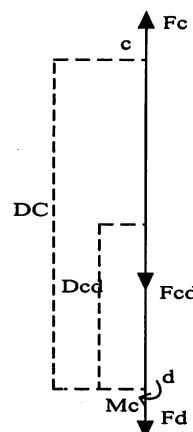
$$F_b = 25.4496 \text{ N}$$

$$M_b = 1.233 \text{ Nm}$$

Untuk perhitungan momen segmen lengan bawah yang lainnya terdapat pada lampiran.

## b. Segmen Lengan Atas

Link atau segmen kedua adalah lengan atas akan dihitung besarnya gaya dan momen yang terjadi pada bahu berhubungan dengan analisa link lengan bawah.



Gambar 7 Analisa biomekanik pada segmen punggung

Mc : Momen pada bahu

Md : Momen pinggul

$$F_c = 8.576 \text{ N}$$

$$F_{cd} = W_{cd} \times g = 36.208 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{cd} = 354.8384 \text{ N}$$

Dengan hukum Newton yang berlaku maka dapat diketahui gaya dan momen sebagai berikut :

$$\sum F_x = 0 \text{ (tidak ada gaya pada sumbu x)}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_c - F_{cd} + F_d = 8.576 - 354.8384 + F_d = 0$$

$$F_d = 346.2624 \text{ N}$$

$$\sum M = 0$$

$$\cos 90^\circ [DC(F_c) + D_{cd}(-F_{cd})] + M_c$$

$$+ M_d = 0$$

$$1.469 + M_d = 0$$

$$M_d = -1.469 \text{ Nm}$$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui:

$$F_d = 346.2624 \text{ N}$$

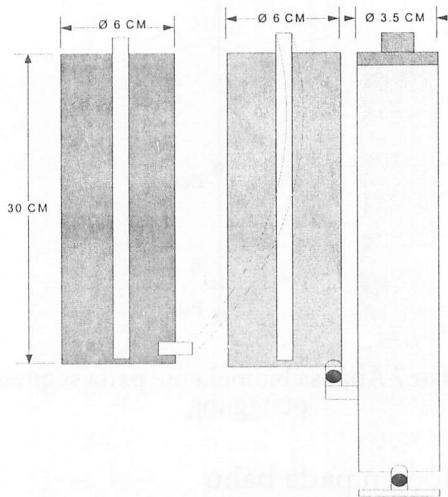
$$M_d = -1.469 \text{ Nm}$$

Untuk keseluruhan perhitungan momen segmen lengan atas terdapat pada lampiran.



### Perhitungan Momen Setelah Perbaikan Rancangan

Perbaikan yang dilakukan untuk tekanan handel adalah memperkecil tekanan handel agar pada waktu menarik tuas atau pemompaan akan terasa lebih ringan. Setelah dilakukan perbaikan didapatkan rancangan sebagai berikut:



Gambar 8 Rancangan tabung setelah perbaikan

Dengan menambahkan 1 tabung lagi, maka akan didapatkan tekanan sebesar 2.2 bar. Hal ini berkaitan dengan konsep fisika, dimana gas atau fluida yang diberikan tekanan akan diteruskan ke segala arah. Besar tekanan ini didapatkan dari penambahan volume ruang yang terkompresi menjadi 2 kali lebih besar. Dengan perhitungan dapat dituliskan sebagai berikut:

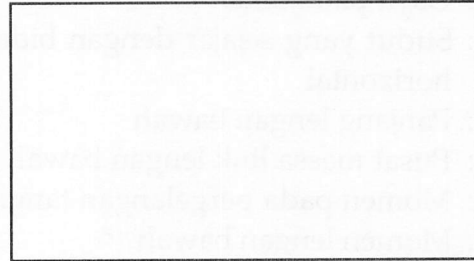
Untuk volume ruang terkompresi  $V$  tekanan yang didapatkan adalah 4.4 bar. Maka untuk volume ruang terkompresi  $2V$  besar tekanan adalah :

$$\begin{aligned} 2V &= 4.4 \text{ bar} \\ V &= 2.2 \text{ bar} \end{aligned}$$

Tekanan untuk desain perbaikan lebih kecil daripada desain awal. Hal inilah yang mengakibatkan tekanan handle pada desain perbaikan lebih ringan daripada desain awal. Sehingga pada tabung I tekanan fluida menjadi: jadi, pada tabung I adalah 1.275

### a. Segmen Lengan Bawah

Pada segmen ini dilakukan perhitungan besarnya gaya dan momen pada lengan bagian bawah yang disebabkan oleh beban tekan pada tuas tangki, akibat proses penarikan tuas.



Gambar 9 Analisa biomekanika pada segmen lengan bawah

Keterangan Gambar 9:

- a : Joint Pergelangan tangan
- b : Joint Siku
- Wab : Berat segmen lengan bawah
- g : Percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )
- Fa : Gaya pada pergelangan tangan (N)
- Fb : Gaya pada Siku
- $\alpha$  : Sudut yang sejajar dengan bidang horizontal
- DA : Panjang lengan bawah
- Dab : Pusat massa link lengan bawah
- Ma : Momen pada pergelangan tangan
- Mb : Momen lengan bawah

Fa didapat dari gaya tekan pada tuas, yaitu sebesar:

Diketahui:

$$\begin{aligned} Fa &= 1.275 \\ Fab &= Wab \times g \\ Fab &= 2.852 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\ Fab &= 27.9496 \text{ N} \\ DA &= 0.423536 \text{ m} \\ Dab &= 0.2542 \text{ m} \\ \alpha &= 81.3^\circ \\ \cos \alpha &= 0.151 \end{aligned}$$

Dengan hukum Newton yang berlaku maka dapat diketahui gaya dan momen sebagai berikut :

- ▶  $\Sigma F_x = 0$  (tidak ada gaya pada sumbu x)
- ▶  $\Sigma F_y = 0$   
 $F_a - F_{ab} + F_b = 1.275 - 27.9496 + F_b = 0$   
 $F_b = 27.9496 - 1.275 = 26.6746 \text{ N}$
- ▶  $\Sigma M = 0$   
 $\cos 81,3^\circ [D_a(-F_a) + D_{ab}(-F_{ab})] + M_b = 0$   
 $0.151 [0.423536 (-1.275) + 0.2542 (-27.9496)] + M_b = 0$   
 $M_b = 1.154 \text{ Nm}$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui:

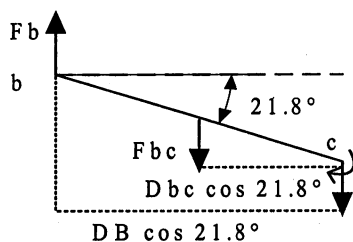
$$F_b = 26.6746 \text{ N}$$

$$M_b = 1.154 \text{ Nm}$$

Untuk perhitungan momen segmen lengan bawah yang lainnya terdapat pada lampiran.

### b. Segmen Lengan Atas

Link atau segmen kedua adalah lengan atas akan dihitung besarnya gaya dan momen yang terjadi pada bahu berhubungan dengan analisa link lengan bawah.



Gambar 9 Analisa biomekanik pada segmen lengan atas

$M_b$  : Momen pada siku

$M_c$  : Momen bahu

$$F_b = 26.6746 \text{ N}$$

$$F_{bc} = W_{bc} \times g = 3.472 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{bc} = 34.0256$$

$$NDB = 0.283456 \text{ m}$$

$$D_{bc} = 0.2976 \text{ m}$$

$$\alpha = 21.8^\circ \quad \cos \alpha = 0.928$$

Dengan hukum Newton yang berlaku maka dapat diketahui gaya dan momen sebagai berikut :

- ▶  $\Sigma F_x = 0$  (tidak ada gaya pada sumbu x)
- ▶  $\Sigma F_y = 0$   
 $F_b - F_{bc} + F_c = 26.6746 - 34.0256 + F_c = 0$   
 $F_c = 7.351 \text{ N}$
- ▶  $\Sigma M = 0$   
 $\cos 21.8^\circ [D_b(F_b) + D_{bc}(-F_{bc})] + M_b + M_c = 0$   
 $0.928 [0.283456 (26.6746) + 0.2976 (-34.0256)] + 1.154 + M_c = 0$   
 $M_c = 0.916 \text{ Nm}$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui:

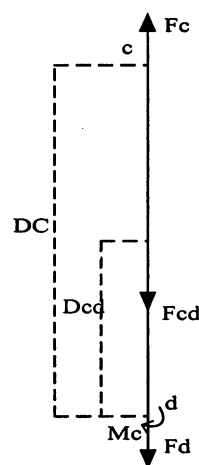
$$F_c = 7.351 \text{ N}$$

$$M_c = 0.916 \text{ Nm}$$

Untuk keseluruhan perhitungan momen segmen lengan atas terdapat pada lampiran.

### c. Segmen Punggung

Pada link ketiga yaitu link punggung akan dihitung besarnya gaya dan momen yang terjadi pada pinggul yang dipengaruhi oleh analisa link lengan atas.



Gambar 10 Analisa biomekanik pada segmen punggung

$M_c$  : Momen pada bahu

$M_d$  : Momen pinggul

$F_c = 7.351 \text{ N}$

$F_{cd} = W_{cd} \times g = 36.208 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2$

**$F_{cd} = 354.8384 \text{ N}$**

$DC = 0.802576 \text{ m}$

$D_{cd} = 0.248 \text{ m}$

$\alpha = 90^\circ \quad \cos \alpha = 0$

**$M_c = 0.916 \text{ Nm}$**

Dengan hukum Newton yang berlaku maka dapat diketahui gaya dan momen sebagai berikut :

- ▶  $\Sigma F_x = 0$  (tidak ada gaya pada sumbu x)
- ▶  $\Sigma F_y = 0$   
 $F_c - F_{cd} + F_d = 7.351 - 354.8384 + F_d = 0$   
 $F_d = 347.4874 \text{ N}$
- ▶  $\Sigma M = 0$   
 $\cos 90^\circ [DC(F_c) + D_{cd}(-F_{cd})] + M_c + M_d = 0$   
 $0.916 + M_d = 0$   
 $M_d = -0.916 \text{ Nm}$

Dari hasil perhitungan dapat diketahui:

**$F_d = 347.4874 \text{ N}$**

**$M_d = -0.916 \text{ Nm}$**

Untuk keseluruhan perhitungan momen segmen lengan atas terdapat pada lampiran.

### Perbaikan Panjang Tuas

Tuas pada desain awal yang mempunyai panjang 62 cm dirasa oleh para petani kurang nyaman dalam pemakaian. Untuk menentukan panjang tuas yang baru, diambil nilai 50 percentil dari ukuran antropometri lengan atas, lengan bawah dan tebal dada serta ditambahkan dengan tebal tangki. Kemudian ukuran diambil pada saat posisi tangan di bawah dan lengan atas dalam kondisi lurus vertikal, seperti pada gambar berikut.



Gambar 11 Posisi tangan di bawah

Pada gambar di atas sudut lengan atas dan lengan bawah diketahui sebesar  $86.1^\circ$ , hal ini dikarenakan ukuran tuas pompa kurang panjang. Sehingga lengan bawah akan terasa menggantung. Untuk mendapatkan posisi yang nyaman, maka sudut antara lengan atas dan lengan bawah dirubah menjadi  $90^\circ$ . Sehingga ukuran panjang tuas dapat dihitung yaitu sebesar 78 cm. Tuas pada desain perbaikan diatur agar pada saat penarikan tuas tidak mengganggu atau membentur bahu, dan tidak membuat lengan terasa menggantung. Jadi pada saat penarikan posisi lengan pas di bawah tapi tuas tidak membentur pada bahu.

### Perbaikan Desain Ransel

Desain ransel yang sekarang kurang memperhatikan aspek kenyamanan. Hal ini dapat dilihat dari ukuran ransel yang kurang lebar, selain itu juga tidak adanya pelapis pada ransel. Sehingga mengakibatkan timbul rasa sakit pada pemakaian alat semprot gendong ini.

Untuk perbaikan ransel, bahan ransel dilapisi dengan spon yang dibungkus dengan kain kulit imitasi, dan ukuran ransel diperlebar agar tekanan pada bahu bisa berkurang.

### Perbaikan Desain Grip

Desain tuas pada alat semprot gendong yang ada di pasaran berbentuk pipih (plat) yang pada bagian gripnya hanya dilapisi oleh karet. Namun desain seperti

ini dianggap kurang nyaman oleh petani, karena masih menimbulkan rasa sakit pada telapak tangan.

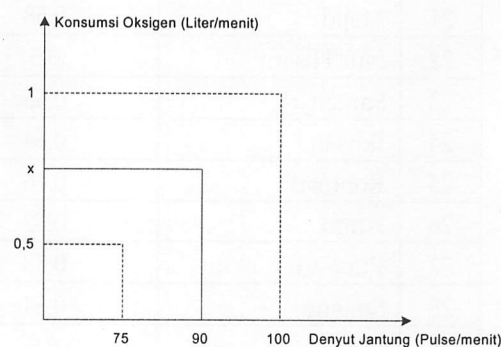
Untuk perbaikan grip, tuas plat (pipih) diganti dengan pipa (bulat). Sehingga pegangan pada grip lebih nyaman dan tidak menimbulkan rasa sakit pada telapak tangan.

Untuk ukuran diameter pipa, digunakan ukuran 4 cm. Ukuran ini diambil berdasarkan ketetapan *pheasant* untuk ukuran diameter optimum pada desain grip.

#### Konsumsi Oksigen Produk Hasil Rancangan (Setelah Perbaikan)

Berdasarkan hasil pengumpulan data denyut jantung petani, selanjutnya digunakan interpolasi untuk mengetahui besarnya konsumsi oksigen yang dikeluarkan petani dalam keadaan sebelum bekerja dan sesudah bekerja, namun pada bab ini adalah berdasarkan produk hasil rancangan. Adapun interpolasi yang dilakukan adalah sebagai berikut :

#### Untuk Petani: Suliyadi dengan beban 14 lt (Sebelum Bekerja)



Gambar 12 Grafik Interpolasi Konsumsi Oksigen dan Denyut Jantung

$$\frac{100 - 75}{76 - 75} = \frac{1 - 0.5}{x - 0.5}$$

$$25x - 12.5 = 0.5$$

$$25x = 13$$

$$x = 0.52$$

Dari hasil interpolasi di atas dapat diketahui besarnya konsumsi oksigen sebelum bekerja dan sesudah bekerja secara keseluruhan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Tabel Konsumsi Oksigen Beban 14 lt setelah perbaikan

No	Petani	Konsumsi Oksigen (l/min)		
		Sebelum Kerja	Sesudah Kerja	Kategori
1	Suliyadi	0.52	1,24	Sedang
2	Suhariono	0.54	1,3	Sedang
3	Akhmad Nur	0.48	1,24	Sedang
4	Akhmad Husein	0.56	1,34	Sedang
5	Rianto	0.64	1,26	Sedang
6	Suwaji	0.58	1,36	Sedang
7	Supi'in	0.48	1,28	Sedang
8	Kastono	0.6	1,34	Sedang
9	Supardi	0.56	1,38	Sedang
10	Diari	0.62	1,26	Sedang
11	Kasto	0.5	1,34	Sedang
12	Reben	0.48	1,28	Sedang
13	Juri	0.52	1,24	Sedang
14	Su'eb	0.5	1,34	Sedang
15	Senan	0.52	1,26	Sedang
16	Poniman	0.56	1,24	Sedang
17	Darman	0.6	1,34	Sedang
18	Lukman	0.66	1,28	Sedang

19	Jumadi	0.52	1,22	Sedang
20	Yasin	0.62	1,3	Sedang
21	Majid	0.58	1,26	Sedang
22	Nur Hisam	0.5	1,34	Sedang
23	Samen	0.56	1,3	Sedang
24	Ikhsan	0.54	1,24	Sedang
25	Rohmad	0.66	1,36	Sedang
26	Amin	0.52	1,34	Sedang
27	Purwadi	0.58	1,28	Sedang
28	Sugeng	0.54	1,32	Sedang
29	Seger	0.5	1,26	Sedang
30	Sriono	0.6	1,36	Sedang

Menurut Ketetapan bahwa 1 liter oksigen menghasilkan energi sebesar 4,8 Kcal maka energi yang dikeluarkan pedagang pasar sebelum bekerja dan sesudah bekerja adalah :

$$\text{Konsumsi energi} = \text{Konsumsi oksigen} * 4.8 \text{ Kcal}$$

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

1. Dalam penelitian ini didapatkan 10 atribut *customer need*, dan terpilih 4 atribut *customer need* yang perlu mengalami perbaikan dengan pendekatan ergonomis, yaitu : tekanan handle, panjang tuas, desain grip dan desain ransel.

2. Perbandingan analisa biomekanika produk lama dengan konsep rancangan lebih baik, ditandai dengan perhitungan momen segmen tubuh konsep rancangan lebih kecil dibandingkan dengan nilai momen segmen tubuh produk lama. Berikut adalah hasil dari perhitungan momen sebelum dan sesudah dilakukan perubahan.

Petani	Sebelum perbaikan			Setelah perbaikan		
	mb	mc	md	mb	mc	Md
Suliyadi	1,233	1,4698	1,4698	1,154	1,2259	1,2259
Suhariono	1,531	3,6234	3,6234	1,451	3,3748	3,3748
Akhmad Nur	1,667	3,8454	3,8454	1,579	3,5716	3,5716
Akhmad Husein	1,497	3,1103	3,1103	1,414	2,8542	2,8542
Rianto	1,618	3,8974	3,8974	1,534	3,6366	3,6366
Suwaji	1,531	3,6234	3,6234	1,451	3,3748	3,3748
Supi'in	0,720	-2,2696	-2,2696	0,644	-2,5064	-2,5064
Kastono	1,241	1,1246	1,1246	1,158	0,8684	0,8684
Supardi	0,946	-0,8630	-0,8630	0,867	-1,1101	-1,1101
Diari	1,666	3,8870	3,8870	1,578	3,6147	3,6147
Kasto	1,175	0,5172	0,5172	1,091	0,2582	0,2582
Reben	1,173	0,5671	0,5671	1,091	0,3099	0,3099
Juri	1,137	0,4259	0,4259	1,056	0,1728	0,1728
Su'eb	1,280	1,1915	1,1915	1,196	0,9280	0,9280
Senan	1,101	0,3389	0,3389	1,021	0,0917	0,0917
Poniman	1,007	-0,4368	-0,4368	0,927	-0,6855	-0,6855

Darman	1,036	-0,1133	-0,1133	0,957	-0,3589	-0,3589
Lukman	0,884	-1,1470	-1,1470	0,807	-1,3883	-1,3883
Jumadi	1,206	0,8624	0,8624	1,124	0,6064	0,6064
Yasin	1,242	1,0871	1,0871	1,159	0,8296	0,8296
Majid	1,348	1,8914	1,8914	1,265	1,6332	1,6332
Nur Hisam	1,099	0,4220	0,4220	1,020	0,1779	0,1779
Samen	1,344	2,0786	2,0786	1,263	1,8270	1,8270
Ikhsan	0,889	-1,3550	-1,3550	0,809	-1,6036	-1,6036
Rohmad	1,099	0,4220	0,4220	1,020	0,1779	0,1779
Amin	0,717	-2,1448	-2,1448	0,643	-2,3772	-2,3772
Purwadi	1,068	0,1314	0,1314	0,989	-0,1142	-0,1142
Sugeng	0,854	-1,2826	-1,2826	0,777	-1,5208	-1,5208
Seger	1,209	0,7376	0,7376	1,126	0,4771	0,4771
Sriono	0,914	-0,9656	-0,9656	0,836	-1,2083	-1,2083

### Saran

1. Sebaiknya perusahaan-perusahaan yang bergerak dalam produksi alat semprot gendong lebih memperhatikan kebutuhan dan keinginan konsumen.
2. Sebaiknya dalam penelitian selanjutnya membahas masalah biaya-biaya yang berkaitan dengan produksi.
3. Sebaiknya dalam penelitian selanjutnya menghitung ukuran dimensi tabung tambahan yang dapat memberikan perbaikan yang lebih optimal pada gaya tekan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Djojosumarto, Panut. 2000. *Teknik Aplikasi Pestisida Pertanian*, Penerbit Kanisius Yogyakarta.
- Gabriel, dr.J.F, *Fisika Kedokteran*, EGC, UNUD, Denpasar.
- Grandjean, E, 1986, *Fitting The Task To The man*, A Text Book Of Occupational Ergonomics, London.
- Hurst, Kenneth S, *Engineering Design Principles*, 1999, The Boulevard, Langford Lane Kidlington, England
- Nurmianto, Eko, 2004, *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasi*, Surabaya, Guna Widya.
- Purnomo, Hari, Titin Isna Oes, 2006, *Analisis Biomekanika Dengan Menggendong Barang Di Punggung Pada Pedagang Pasar Tradisional*, Prosiding Seminar Nasional Ergonomi dan K3, Surabaya
- Sears, Francis Weston, W. Zemansky, *University Physics 1*, New York
- Suma'mur, *Ergonomic untuk K3 dan Produktifitas*
- Sularso, Ir. MSME, Haruo Tahara, 2000, *Pompa dan Kompresor : Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan*, Pradnya Paramitha Jakarta
- Riduwan, H. Sunarto, 2007, *Pengantar Statistika Untuk Penelitian : Pendidikan, Sosial, Komunikasi Ekonomi, dan Bisnis*, Alfabeta, Bandung
- Wignjosoebroto, Sritomo, 2000, *Ergonomi : Studi Gerak dan Waktu*, Jakarta, Guna Widya