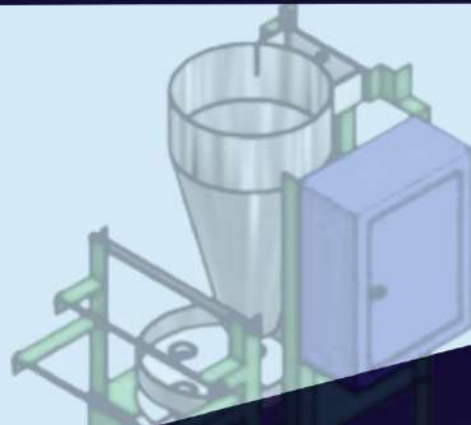
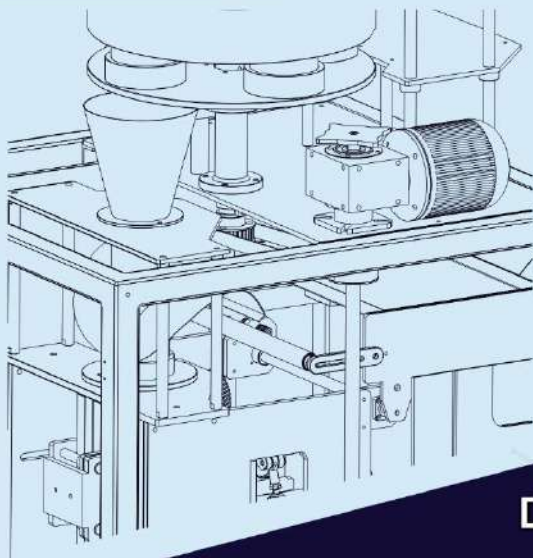


# PERANCANGAN TEKNIK MESIN PENGEMAS SERBUK



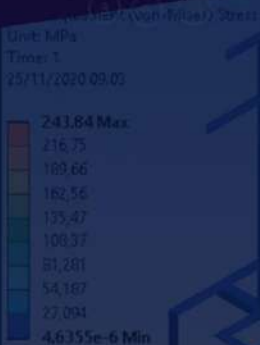
Dony Hidayat Al-Janan, S.T., M.T.,PhD.

Kriswanto, S.Pd., M.T.

Arimaz Hangga, S.T., M.T.

Khoirudin Fathoni S. T., M.T

Bayu Wiratama, S.E., M.M.



Penerbit  
**LPPM**  
Universitas Negeri Semarang



# PERANCANGAN TEKNIK - MESIN PENGEMAS SERBUK

Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., PhD

Kriswanto, S.Pd., M.T.

Arimaz Hangga, S.T., M.T.

Khoirudin Fathoni, S.T., M.T.

Bayu Wiratama, S.E., M.M.



# **PERANCANGAN TEKNIK - MESIN PENGEMAS SERBUK**

## **Penulis:**

Dony Hidayat Al-Janan, S.T., M.T., PhD

Kriswanto, S.Pd., M.T.

Arimaz Hangga, S.T., M.T.

Khoirudin Fathoni, S.T., M.T.

Bayu Wiratama, S.E., M.M.

**ISBN: 978-623-366-006-8**

## **Editor:**

Agung Prakoso, S.Pd.

Karsan, S.Pd.

Reza Unggul Okta Saputra, S.Pd.

## **Desain sampul dan tata letak:**

Muhammad Dwi Akhsan

## **Penerbit:**

Penerbit LPPM Universitas Negeri Semarang Gedung Prof. Dr. Retno

Sriningsih Satmoko, Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Kampus

Sekaran, Gunungpati, Semarang 50229 WA 085158837598 |

Email [sentraki@mail.unnes.ac.id](mailto:sentraki@mail.unnes.ac.id)

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014  
Dilarang memperbanyak/menyebarluaskans buku ini dalam bentuk  
dan dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penulis

## **KATA PENGANTAR**

Segala puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah memberi kita rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ini. Buku ini dimaksudkan dengan tujuan sebagai referensi pembaca yang sedang belajar mengenai perancangan, analisis struktur rancangan, dan pengujian sitem control sebuah produk.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga buku ini dapat dibuat. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan buku ini masih banyak kekurangan, sehingga kritik dan saran diperlukan untuk perubahan-perubahan pada masa mendatang. Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan buku ini dan penulis berharap buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Semarang, 1 Juli 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	iv
DAFTAR ISI .....	v
BAB I PERANCANGAN .....	1
1.1 Metode-Metode Perancangan Produk .....	1
1.2 Mengidentifikasi Kebutuhan Konsumen .....	5
1.3 Menentukan Tingkat Kepentingan Mesin Pengemas Produk Serbuk.....	6
1.4 Mengevaluasi Atribut-Atribut Produk Pesaing .....	7
1.5 <i>House of Quality</i> (HOQ) .....	8
1.6 Persyaratan teknis mesin pengemas produk serbuk.....	10
1.7 Derajat kepentingan .....	10
1.8 Tingkat kesulitan .....	11
1.9 Perkiraan biaya.....	12
1.10 Matriks Morfologi Mesin Pengemas .....	13
1.11 Penentuan Konsep Produk.....	14
1.12 Pemilihan Konsep Produk .....	16
1.13 Perancangan Produk .....	17
1.14 Perancangan Elemen Mesin.....	18
1.15 <i>Bill of Materials</i> .....	21
BAB II ANALISIS KEKUATAN RANCANGAN .....	24
2.1 Sifat Mekanik Bahan.....	24
2.2 Tegangan .....	25
2.3 Deformasi atau Regangan ( $\epsilon$ ).....	26
2.4 Tegangan Termal.....	27
2.5 Konduksi Termal.....	28
2.6 Teori <i>Von Mises</i> .....	28
2.7 Kriteria Kegagalan.....	29
2.8 Faktor Keamanan.....	29
2.9 Baja ST 40 .....	30
2.10 Baja ASTM A36.....	31
2.11 Metode Elemen Hingga.....	32
2.12 Matrik kekakuan.....	32
2.13 <i>Ansys Workbench</i> 15.0 .....	33
2.14 Tumpuan.....	35

2.15 Beban .....	36
2.16 Prosedur Analisis Tegangan dan Deformasi Menggunakan <i>Software Ansys Workbench 15.0</i> .....	37
2.17 Hasil Simulasi pada variasi rangka, <i>cam shaft</i> dan lengan <i>sealer</i> .....	44
2.17.1Komponen Rangka.....	44
2.17.2Komponen Poros <i>Cam</i> .....	47
2.17.3Komponen Lengan <i>Sealer</i> Vertikal.....	50
<b>BAB III PERANCANGAN SISTEM KONTROL MESIN PENGEMAS PRODUK SERBUK .....</b>	<b>56</b>
3.1 Pengantar .....	56
3.2 Pengertian .....	58
3.2.1 Pengemasan.....	58
3.2.2 Mesin Pengemas .....	58
3.2.3 Sistem Kontrol .....	59
3.2.4 <i>Raspberry Pi</i> .....	59
3.2.5 <i>GPIO (General Purpose Input-Output)</i> .....	62
3.2.6 Bahasa Pemrograman <i>Python</i> .....	64
3.2.7 Motor <i>Stepper</i> .....	65
3.2.8 <i>Driver Stepper</i> .....	69
3.2.9 <i>Heater</i> (Elemen Pemanas) .....	71
3.2.10 <i>Solid State Relay (SSR)</i> .....	74
3.2.11Termokopel.....	76
3.2.12Modul Termokopel .....	79
3.3 Tahapan Pengerjaan.....	80
3.3.1 Tahap Perencanaan Konsep dan Desain .....	80
3.3.2 Tahap Pembuatan Program .....	81
3.3.3 Tahap Pelaksanaan atau Uji Coba Program.....	81
3.3.4 Tahap Uji Performa.....	82
3.3.5 Tahap Analisis Program dan Data .....	82
3.3.6 Tahap Evaluasi.....	82
3.4 Alat Dan Bahan Uji Coba.....	83
3.4.1 Alat.....	83
3.4.2 Bahan .....	83
3.5 Perancangan Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam.....	84
3.5.1 Sistem Pengemasan Menggunakan Motor <i>Stepper</i> .....	85
3.5.2 Sistem Pengepresan dengan Kontrol <i>Heater</i> .....	88
3.5.3 Diagram Alir Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam	93

3.6 Hasil Perancangan Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam	96
3.6.1 Prosedur Operasional Mesin Pengemas Produk Serbuk dengan Sistem Kontrol <i>Raspberry Pi</i>	100
3.6.2 Uji Performa Sistem Kontrol <i>Raspberry Pi</i> pada Mesin Pengemas Produk Serbuk	102
3.6.3 Spesifikasi Mesin Pengemas dengan Sistem Kontrol <i>Raspberry Pi</i> Kapasitas 2600 pcs/jam	106
3.7 Hasil Uji Performa Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam	107
DAFTAR PUSTAKA	114

## **BAB I**

### **PERANCANGAN**

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk sesuai dengan kebutuhan manusia mengenai suatu produk hingga muncul suatu desain gambar dan dokumen hasil perancangan yang nantinya akan digunakan dalam proses produksi. Dalam tahap perancangan terdapat beberapa keputusan-keputusan penting yang nantinya akan mempengaruhi kegiatan-kegiatan lain yang menyusul.

Perancangan merupakan langkah awal untuk mewujudkan suatu produk yang bertujuan untuk mempermudah pekerjaan/kegiatan manusia. Perancangan produk itu sendiri terdiri dari serangkaian kegiatan yang berurutan, kegiatan-kegiatan dalam proses perancangan dinamakan fase. Setiap fase terdiri dari beberapa kegiatan yang nantinya akan menghasilkan suatu kesimpulan.

Aktivitas perancangan pada masyarakat modern tidak sama dengan aktivitas pembuatan sehingga komunikasi sangat berperan penting. Tujuan aktivitas perancangan adalah memberikan deskripsi hasil produk yang dapat dipahami oleh pihak lain yang akan membuat dan diwujudkan dalam gambar teknik sesuai dengan aturan-aturannya.

Gambar teknik berperan sebagai deskripsi umum seperti gambar sketsa, sampai dengan detail paling spesifik seperti komponen-komponen dan rincian-rincian tentang bagaimana produk harus dibuat. Gambar teknik berisikan keterangan informasi tambahan seperti dimensi produk dan catatan material yang akan digunakan untuk membuat produk. Bagaimanapun tidak diragukan bahwa gambar teknik merupakan bagian dari komunikasi perancangan yang paling berguna dalam hal deskripsi dan menyampaikan penjelasan tentang bagaimana produk akan dibuat.

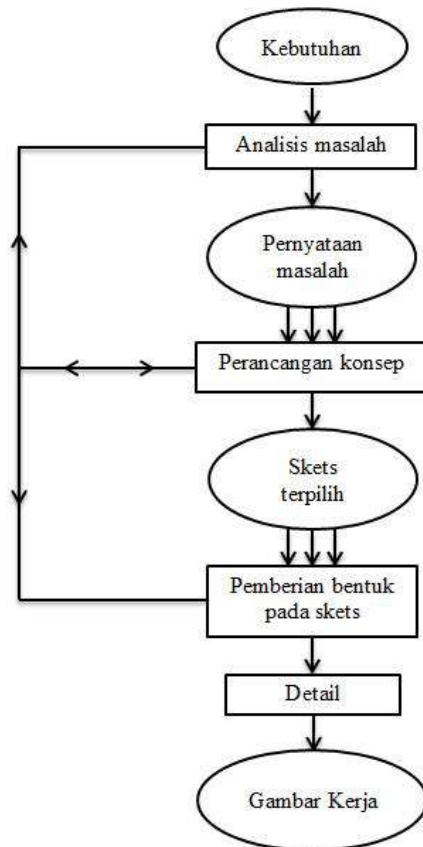
Evaluasi rancangan sangat diperlukan untuk mengecek rancangan sebelum proses manufaktur. Ini merupakan suatu usaha untuk meramalkan kesalahan yang mungkin terjadi dan memastikan rancangan dapat dibuat. Perkiraan biaya, ruang yang cukup, rancangan yang memenuhi syarat minimum merupakan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam mengevaluasi rancangan.

#### **1.1 Metode-Metode Perancangan Produk**

##### **1.1.1 Metode Perancangan *French***

Metode perancangan *French* merupakan salah satu dari banyak metode yang sering digunakan untuk merancang suatu permasalahan khususnya perancangan suatu produk alat/mesin. Metode ini hampir sama dengan metode-metode lainnya, yaitu dimulai dengan menentukan kebutuhan dan diakhiri dengan gambar rancangan dan keterangan-keterangan lainnya.





Gambar 1.1 *Flowchart* metode *French* (Harsokoesoemo, 2004:26)

Pada *flowchart* diatas metode/model cara merancang deskriptif menurut *French* sebagaimana dijelaskan sebagai berikut, bentuk lingkaran menunjukkan hasil kegiatan yang mendahuluinya dan bentuk segiempat menyatakan kegiatan-kegiatan yang sedang berlangsung. Fase perancangan detail adalah fase terakhir dari proses perancangan, dimana terdapat sangat banyak keputusan-keputusan tentang hal-hal kecil tetapi penting yang harus diambil. Kualitas pekerjaan pada tahap ini harus baik untuk menghindari:

- Tertundanya penyelesaian produk
- Bertambahnya biaya
- Kegagalan produk ketika menjalankan fungsinya

Rangkaian kegiatan analisis evaluasi dan optimasi berakhir pada satu buah produk saja, yang terbaik diantara konsep-konsep alternatif lainnya. Satu produk hasil evaluasi tersebut dituangkan dalam sebuah dokumen yang terdiri dari:

- Satu set gambar rancangan
- Spesifikasi teknis

- *Bill of Material (BOM)*

### 1.1.2 Metode Perancangan *Pahl dan Beitz*

Dalam bukunya "*Engineering Design: A Systematic Approach*" berisikan mengenai cara bagaimana merancang produk, dimana terdiri dari 4 fase sebagai berikut:

#### 1. Perancangan dan penjelasan tugas

Fase ini menyusun spesifikasi teknis produk yang dapat memenuhi kebutuhan konsumen. Spesifikasi teknis didapatkan dari hasil survei atas permintaan masyarakat sehingga menghasilkan spesifikasi teknis. Hasil dari fase ini adalah spesifikasi teknis produk yang sebelumnya telah terkumpul berisi informasi tentang kebutuhan konsumen dan persyaratan lain.

#### 2. Perancangan konsep produk

Spesifikasi teknis yang telah didapatkan pada fase pertama, akan dilanjutkan ke fase pencarian konsep-konsep produk yang memenuhi persyaratan dalam spesifikasi teknis tersebut. Konsep produk biasanya dapat berupa sketsa gambar sederhana yang memuat semua komponen-komponen produk.

Beberapa konsep yang sudah didapatkan selanjutnya dievaluasi mengenai kriteria teknis, kriteria ekonomis dll. Konsep produk yang memenuhi kriteria akan dilanjutkan ke fase berikutnya, sebaliknya konsep yang tidak memenuhi kriteria tidak akan dipakai lagi.

#### 3. Perancangan Bentuk (*Embodiment Design*)

Pada fase perancangan bentuk, konsep hasil terbaik yang sebelumnya hanya berupa sketsa garis atau batang saja, akan diberi bentuk sedemikian rupa sehingga komponen-komponen terbentuk. Tujuan dari fase ini diantaranya yaitu agar kita dapat mengetahui bagaimana bentuk produk yang dalam gerakannya tidak saling bertabrakan atau berinterferensi sehingga produk dapat bekerja sesuai fungsinya. Selain itu dalam fase ini akan ditentukan material-material yang akan dipakai untuk setiap komponen dan perhitungan kekuatan.

#### 4. Perancangan Detail

Susunan komponen-komponen produk, dimensi, material yang digunakan, bentuk akhir produk akan ditetapkan. Demikian juga bagaimana cara pembuatan setiap komponen produk serta perkiraan biaya yang sudah dihitung. Fase ini menghasilkan bentuk gambar rancangan yang lengkap dan *bill of materials* (spesifikasi produk).

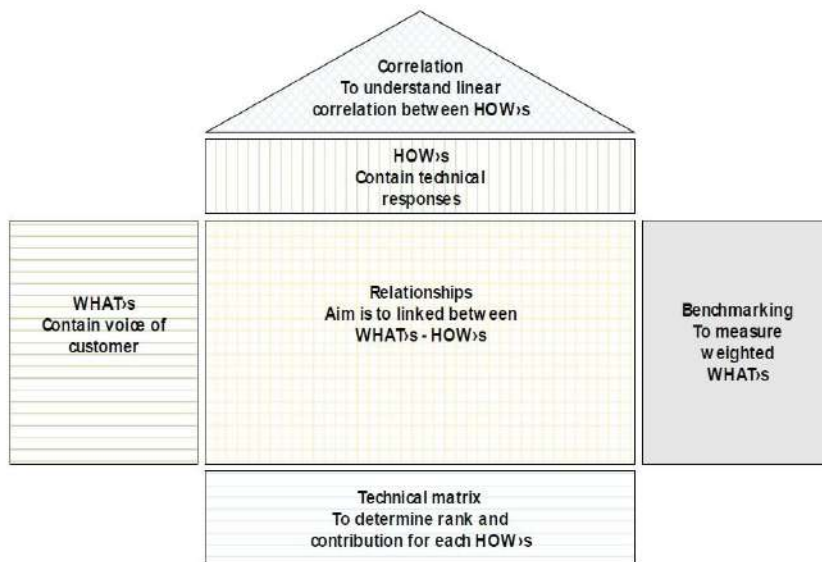
### 1.1.3 Metode Perancangan *Quality Function Deployment (QFD)* dan *Matriks House of Quality (HOQ)*

*Quality Function Deployment* atau QFD merupakan suatu metode untuk meningkatkan kualitas barang atau jasa dengan memahami kebutuhan konsumen yang nantinya akan dihubungkan dengan ketentuan teknis hingga muncul gambar desain dan dokumen hasil perancangan yang telah disusun.

Metode QFD merupakan metode yang sistematis dan analitik untuk pengumpulan data tentang harapan pelanggan. QFD mewakili proses perencanaan untuk menerjemahkan pelanggan persyaratan (suara pelanggan) menjadi persyaratan teknis yang sesuai untuk semua fase dalam siklus produk (pemasaran, perencanaan, desain produk, prototipe pengembangan, penelitian dan pengembangan proses produksi, produksi, penjualan). QFD kini telah menjadi metode untuk meningkatkan daya saing global. Waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan produk menjadi lebih singkat merupakan salah satu keunggulan dari metode ini (Hadi, 2017).

beberapa manfaat utama dalam metode QFD adalah sebagai berikut:

1. Memutuskan rancangan produk dan jasa baru pada kebutuhan pelanggan.
2. Mengutamakan kegiatan-kegiatan desain.
3. Menganalisis kinerja produk perusahaan yang utama untuk memenuhi kebutuhan para pelanggan utama.
4. Dengan berfokus pada upaya rancangan, tidak akan mengurangi waktu yang diperlukan untuk daur rancangan secara keseluruhan sehingga dapat mengurangi waktu untuk memasarkan produk-produk baru.
5. Mengurangi banyaknya perubahan desain setelah dikeluarkan dengan memastikan upaya yang difokuskan pada tahap perencanaan.
6. Mendorong terselenggaranya tim kerja dan menghancurkan rintangan antar bagian dengan melibatkan pemasaran, rekayasa teknik, dan pabrikasi sejak awal proyek.
7. Menyediakan suatu cara untuk membuat dokumentasi proses dan menyediakan suatu dasar yang kukuh untuk mengambil keputusan rancangan.



Gambar 1.2 Matriks HOQ (Rahmawan, 2017:13)

Dalam metode QFD terdapat alat pokok yang dinamakan Rumah Kualitas atau *House of Quality* (HOQ). HOQ adalah sebuah matriks yang menunjukkan hubungan antara kebutuhan-kebutuhan konsumen dan sifat-sifat rekayasa teknik. Dengan menggunakan HOQ perancang mampu menyesuaikan kebutuhan para konsumen dengan desain dan masalah-masalah yang akan dihadapi saat pembuatan produk. Dalam menggunakan matriks HOQ sebagai alat untuk merancang produk terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan, diantaranya sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi keinginan-keinginan konsumen.
2. Menentukan tingkat kepentingan relatif dari atribut-atribut.
3. Mengevaluasi atribut-atribut dari produk pesaing.
4. Membuat matriks perlawanan antara atribut produk dengan karakteristik.
5. Mengidentifikasi hubungan antara karakteristik teknis dan atribut produk.
6. Mengidentifikasi interaksi yang relevan diantara karakteristik teknis.
7. Menentukan gambaran target yang ingin dicapai untuk karakteristik teknis.

Penentuan tingkat kesulitan, derajat kepentingan dan perkiraan biaya dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Derajat kepentingan} = \frac{\text{tot bobot hub karateristik teknik dg atribut}}{\text{tot bobot hub karateristik teknik dg atribut}} \times 100\% \dots\dots\dots(1.1)$$

$$\text{Tingkat kesulitan} = \frac{\text{tot bobot tiap karateristik teknik}}{\text{tot bobot hubungan karateristik teknik}} \times 100\% \dots\dots\dots(1.2)$$

$$\text{Perkiraan biaya} = \frac{\text{bobot tingkat kesulitan}}{\text{total nilai tingkat kesulitan}} \times 100\% \dots\dots\dots(1.3)$$

## 1.2 Mengidentifikasi Kebutuhan Konsumen

Kebutuhan konsumen didapat dari kuesioner yang diberikan kepada beberapa konsumen/responden. Jenis kuesioner yang digunakan adalah kuesioner tertutup yang akan diberikan kepada responden. Tabel 1.1 merupakan contoh data atribut identifikasi kebutuhan konsumen yang diperoleh dari UMKM (Usaha Mikro Kecil Menengah) atau usaha rumahan yang memiliki usaha produk serbuk yang sudah atau belum memiliki mesin pengemas produk serbuk otomatis.

Tabel 1.1 Data atribut mesin pengemas produk serbuk

No.	Atribut		
	Primer	Sekunder	Tersier
1	Desain	Dimensi	Lebar mesin $\leq$ 1 daun pintu ( $\pm$ 80 cm)
2			Ketinggian $\pm$ 170 cm
3		Sistem penggerak	Motor listrik
4		Kemampuan produksi	Mampu memproduksi produk serbuk kopi, gula, tepung dan susu
5		Daya mesin	500-1000 watt
6		Pengoperasian	Menggunakan sistem kontrol
7		Jenis sambungan	Las dan Mur Baut
8		Kapasitas produksi	2600 pcs/jam

No.	Atribut		
	Primer	Sekunder	Tersier
9		Harga mesin	< 20 jt
10		Mobilitas mesin	Menggunakan roda
11		Perawatan	Kemudahan perakitan
12			Kemudahan perawatan
13			<i>Sparepart</i> mudah didapatkan
14	Bahan	Rangka mesin	Material yang kuat dan anti karat
15		Corong tabung dan <i>former</i>	Material yang kuat, anti karat dan aman untuk makanan
16	Fungsi	Utama	Pengemas produk serbuk

### 1.3 Menentukan Tingkat Kepentingan Mesin Pengemas Produk Serbuk

Penentuan tingkat kepentingan atribut dalam buku ini mengambil contoh pada perancangan mesin pengemas produk serbuk otomatis. Masing-masing atribut diberikan bobot nilai berupa angka 1-5 dimana semakin tinggi bobot nilai yang diberikan maka semakin tinggi nilai kepentingan atribut tersebut.

Tabel 1.2 Tingkat kepentingan atribut mesin pengemas produk serbuk

No.	Atribut			Tingkat Kepentingan
	Primer	Sekunder	Tersier	
1	Desain	Dimensi	Lebar mesin $\leq$ 1 daun pintu ( $\pm$ 80 cm)	5
2			Ketinggian $\pm$ 170 cm	4
3		Sistem penggerak	Motor listrik	5
4		Kemampuan produksi	Mampu memproduksi produk serbuk kopi, gula, tepung dan susu	4
5		Daya mesin	500-1000 watt	3
6		Pengoperasian	Menggunakan sistem kontrol	3
7		Jenis sambungan	Las dan Mur Baut	3
8		Kapasitas produksi	260 0 pcs/jam	5
9		Harga mesin	< 20 jt	4
10		Mobilitas mesin	Menggunakan roda	4
11		Perawatan	Kemudahan perakitan	4
12			Kemudahan perawatan	5
13			<i>Sparepart</i> mudah didapatkan	4

No.	Atribut			Tingkat Kepentingan
	Primer	Sekunder	Tersier	
14	Bahan	Rangka mesin	Material yang kuat dan anti karat	5
15		Corong tabung dan <i>former</i>	Material yang anti karat dan aman untuk makanan	5
16	Fungsi	Utama	Pengemas produk serbuk	5

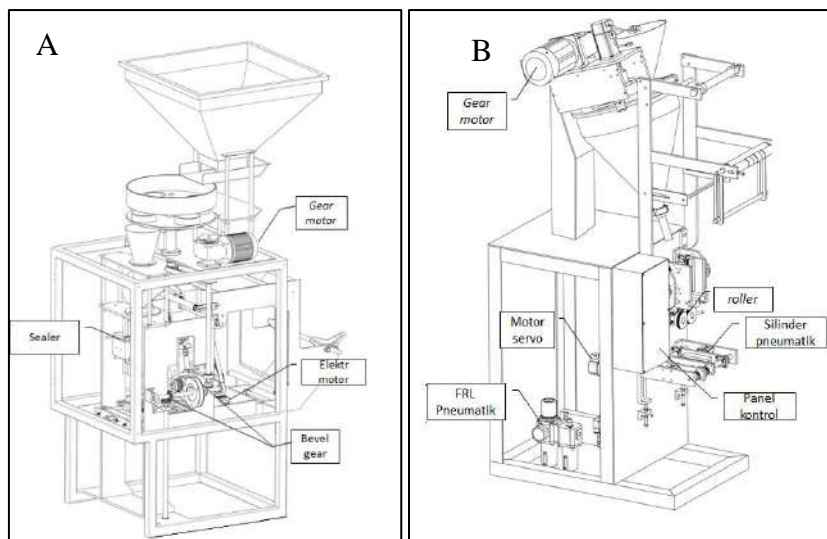
#### 1.4 Mengevaluasi Atribut-Atribut Produk Pesaing

Atribut produk pesaing dievaluasi dengan cara mengkaji masing-masing atribut produk pesaing yang didapatkan dari penyebaran kuesioner berdasarkan tingkat kepentingan. Gambar 1.3 menunjukkan gambar (a) produk pesaing 1 dan (B) produk pesaing 2. Produk pesaing 1 adalah mesin pengemas dengan sistem mekanik menggunakan roda gigi, penggerak motor listrik. Produk pesaing 2 adalah mesin pengemas dengan penggerak bagian *sealer* menggunakan pneumatik, penggerak roller menggunakan motor *stapper*, dan pada penggerak system pengisian menggunakan *gearmotor*. Kedua materi

Tabel 1.3 Evaluasi atribut produk pesaing

No.	Atribut			Tingkat Kepentingan		
	Primer	Sekunder	Tersier	Pesaing 1	Pesaing 2	
1	Desain	Dimensi	Lebar mesin $\leq 1$ daun pintu ( $\pm 80$ cm)	3	3	
2			Ketinggian $\pm 170$ cm	5	5	
3		Sistem penggerak	Motor listrik	5	5	
4		Kemampuan produksi	Mampu memproduksi produk serbuk kopi, gula, tepung dan susu	5	5	
5		Daya mesin	500-1000 watt	3	3	
6		Pengoperasian	Menggunakan sistem kontrol	5	5	
7		Jenis sambungan	Las dan Mur Baut	5	5	
8		Kapasitas produksi	2600 pcs/jam	5	5	
9		Harga mesin	$< 20$ jt	2	2	
10		Mobilitas mesin	Menggunakan roda	2	2	
11		Perawatan		Kemudahan perakitan	4	4
12				Kemudahan perawatan	4	4

No.	Atribut			Tingkat Kepentingan	
	Primer	Sekunder	Tersier	Pesaing 1	Pesaing 2
13			<i>Sparepart</i> mudah didapatkan	4	4
14		Rangka mesin	Material yang kuat dan anti karat	5	5
15	Bahan	Corong tabung dan <i>former</i>	Material yang anti karat dan aman untuk makanan	5	5
16	Fungsi	Utama	Pengemas produk serbuk	5	5



Gambar 1.3 (A) Mesin Pengemas Pesaing 1, (B) Mesin Pengemas Pesaing 2  
(Sumber: google.com)

### 1.5 House of Quality (HOQ)

*House of Quality* (HOQ) atau rumah kualitas merupakan kombinasi antara karakteristik teknis desain dan atribut yang diinginkan konsumen serta sebagai pembandingan dengan produk pesaing. Tahap identifikasi hubungan antar atribut produk dengan karakteristik teknik dilakukan dengan cara memberikan bobot hubungan antara atribut produk dan karakteristik teknis. Atribut produk terdapat dalam kolom “Apa”, sedangkan karakteristik teknis terdapat dalam kolom “Bagaimana” pada rumah kualitas.

Selain mengidentifikasi hubungan antara karakteristik teknik dengan atribut produk, perlu dilakukan juga identifikasi hubungan antar sesama karakteristik teknik. Gambar 1.4 merupakan rumah kualitas produk mesin pengemas produk serbuk.





### 1.6 Persyaratan teknis mesin pengemas produk serbuk

Dari matriks rumah kualitas diatas didapatkan persyaratan teknis mesin pengemas sebagai berikut:

1. Mesin pengemas produk serbuk mempunyai dimensi lebar 1 daun pintu ( $\pm 80$  cm).
2. Mesin pengemas produk serbuk memiliki ketinggian  $\pm 170$  cm.
3. Mesin pengemas produk serbuk menggunakan sistem penggerak motor listrik.
4. Mesin pengemas produk serbuk mampu memproduksi produk serbuk kopi, gula, tepung dan susu.
5. Mesin pengemas produk serbuk memiliki daya 500-1000 watt.
6. Mesin pengemas produk serbuk menggunakan sistem kontrol untuk kemudahan pengoperasian mesin.
7. Mesin pengemas produk serbuk menggunakan sambungan mur baut untuk kemudahan perakitan dan perawatan.
8. Mesin pengemas produk serbuk mampu memproduksi 2600 pcs/jam.
9. Mesin pengemas produk serbuk memiliki harga dibawah 20 juta.
10. Mesin pengemas produk serbuk menggunakan roda agar mudah dipindah tempatkan.
11. Mesin pengemas produk serbuk mudah dalam hal perakitan.
12. Mesin pengemas produk serbuk mudah dalam hal perawatan.
13. Komponen-komponen mesin yang digunakan mudah didapat di pasaran untuk kemudahan perawatan mesin.
14. Mesin pengemas produk serbuk menggunakan material yang kuat dan anti karat.
15. Corong tabung, *volumetric fillers* dan *former* menggunakan material yang anti karat dan aman untuk makanan.
16. Mesin pengemas produk serbuk mempunyai fungsi utama untuk pengemasan makanan produk serbuk.

### 1.7 Derajat kepentingan

Besarnya nilai derajat kepentingan dapat dihitung menggunakan persamaan (1.1), dengan cara menghitung bobot masing-masing hubungan antara atribut produk dengan karakteristik teknik.

- a. Lebar mesin sesuai kebutuhan =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- b. Ketinggian mesin ergonomis =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- c. Komposisi produk =  $\frac{21}{315} \times 100\% = 6,7\% = 7\%$
- d. Mudah dipindah tempatkan =  $\frac{18}{315} \times 100\% = 5,7\% = 6\%$
- e. Sambungan tetap dan tidak tetap =  $\frac{18}{315} \times 100\% = 5,7\% = 6\%$

- f. *Sparepart* mudah didapatkan =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- g. Jumlah alat untuk menyetel =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- h. Keadaan lingkungan =  $\frac{18}{315} \times 100\% = 5,7\% = 6\%$
- i. Jumlah variasi bahan baku yang diproduksi =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- j. Jumlah mekanisme komponen mesin =  $\frac{18}{315} \times 100\% = 5,7\% = 6\%$
- k. Daya listrik rendah =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- l. Bahan tidak terkena korosi =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- m. Waktu perakitan yang dibutuhkan =  $\frac{22}{315} \times 100\% = 6,6\% = 7\%$
- n. Bahan material kuat dan anti karat =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- o. Material berstandar *food grade* =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$
- p. Sistem kontrol =  $\frac{20}{315} \times 100\% = 6,3\% = 6\%$

Dalam matriks rumah kualitas diatas didapatkan nilai tingkat kepentingan tiap karakteristik teknik tergolong cukup penting. Ditunjukkan hasil perhitungan tingkat kepentingan karakteristik teknik yang dihasilkan masuk dalam rentang 1-15 atau masuk pada kategori cukup penting.

### 1.8 Tingkat kesulitan

Besarnya nilai tingkat kesulitan dapat dihitung menggunakan persamaan (1.2), dengan cara menjumlahkan semua bobot nilai hubungan antar sesama karakteristik teknik kemudian membagi bobot dari masing-masing karakteristik teknik dengan jumlah bobot tersebut.

- a. Lebar mesin sesuai kebutuhan =  $\frac{18}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- b. Ketinggian mesin ergonomis =  $\frac{18}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- c. Komposisi produk =  $\frac{21}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- d. Mudah dipindah tempatkan =  $\frac{17}{282} \times 100\% = 6\% = 1$  (Mudah)
- e. Sambungan tetap dan tidak tetap =  $\frac{21}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- f. *Sparepart* mudah didapatkan =  $\frac{15}{282} \times 100\% = 5\% = 1$  (Mudah)
- g. Jumlah alat untuk menyetel =  $\frac{17}{282} \times 100\% = 6\% = 1$  (Mudah)
- h. Keadaan lingkungan =  $\frac{17}{282} \times 100\% = 6\% = 1$  (Mudah)
- i. Jumlah variasi bahan baku =  $\frac{15}{282} \times 100\% = 5\% = 1$  (Mudah)
- j. Jumlah mekanisme komponen mesin =  $\frac{19}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- k. Daya listrik rendah =  $\frac{17}{282} \times 100\% = 6\% = 1$  (Mudah)

- l. Bahan tidak terkena korosi =  $\frac{17}{282} \times 100\% = 6\% = 1$  (Mudah)
- m. Waktu perakitan yang dibutuhkan =  $\frac{19}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- n. Bahan material kuat dan anti karat =  $\frac{18}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- o. Material berstandar *food grade* =  $\frac{18}{282} \times 100\% = 7\% = 1$  (Mudah)
- p. Sistem kontrol =  $\frac{15}{282} \times 100\% = 5\% = 1$  (Mudah)

Dalam matriks rumah kualitas diatas tingkat kesulitan dalam hal karakteristik teknik secara keseluruhan mudah dalam perakitan. Ditunjukkan hasil perhitungan tingkat kesulitan karakteristik teknis antara 1-20% masuk pada kriteria mudah untuk dikerjakan.

### 1.9 Perkiraan biaya

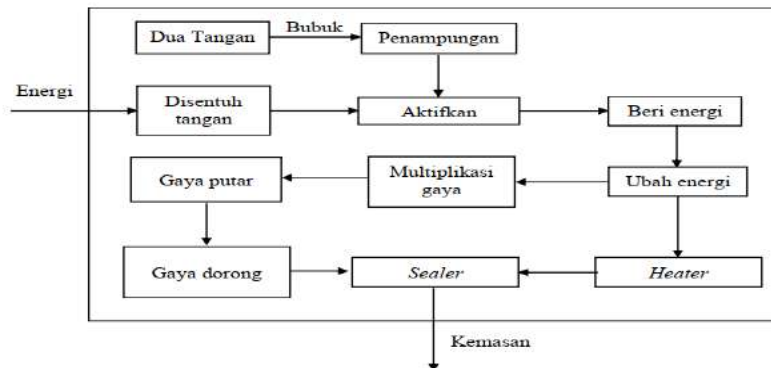
Nilai perkiraan biaya dapat dihitung menggunakan persamaan (1.3), dimana semakin tinggi tingkat kesulitan akan semakin mahal pula perkiraan biayanya, begitu pula sebaliknya.

- a. Lebar mesin sesuai kebutuhan =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- b. Ketinggian mesin ergonomis =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- c. Komposisi produk =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- d. Mudah dipindah tempatkan =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- e. Sambungan tetap dan tidak tetap =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- f. *Sparepart* mudah didapatkan =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- g. Jumlah alat untuk menyetel =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- h. Keadaan lingkungan =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- i. Jumlah variasi bahan baku =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- j. Jumlah mekanisme komponen mesin =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- k. Daya listrik rendah =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- l. Bahan tidak terkena korosi =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- m. Waktu perakitan yang dibutuhkan =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- n. Bahan material kuat dan anti karat =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- o. Material berstandar *food grade* =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)
- p. Sistem kontrol =  $\frac{1}{16} \times 100\% = 6\%$  (Murah)

Dalam matriks rumah kualitas diatas, hasil perhitungan perkiraan biaya rancangan mesin tergolong cukup murah. Berdasarkan hasil perhitungan biaya perkiraan biaya rancangan mesin termasuk kategori cukup murah dengan rentang nilai antara 1-15.

### 1.10 Matriks Morfologi Mesin Pengemas

Data yang telah didapatkan dari rumah kualitas (HOQ) akan menghasilkan beberapa persyaratan-persyaratan teknis dalam membuat mesin pengemas produk serbuk yang sesuai dengan kebutuhan konsumen. Berdasarkan persyaratan teknis tersebut, dapat dibuat matriks morfologi fungsi mengenai konsep produk sebagai berikut:



Gambar 1.5 Blok fungsi mesin pengemas produk serbuk

Blok fungsi dari mesin pengemas produk serbuk dapat diurutkan sebagai berikut: “Dua tangan” langkah untuk memasukkan produk serbuk ke dalam corong tabung “Penampungan”, selanjutnya pemberian “Energi” pada mesin pengemas. Mesin pengemas dihubungkan dengan arus listrik dengan cara “Disentuh tangan” untuk nyalakan tombol *On/Off* pada panel mesin untuk “Aktifkan” motor penggerak “Beri Energi”. Motor penggerak akan mengubah arus listrik menjadi gerak putaran “Ubah energi”. “Multiplikasi gaya” dari motor listrik akan dihubungkan dengan poros utama untuk memberikan “Gaya putar” yang akan digunakan untuk menggerakkan *sealer* vertikal dan horizontal. Langkah terakhir yaitu pengambilan “Kemasan”.

Setelah blok fungsi didapatkan, tahap selanjutnya yaitu mencari solusi pada masing-masing sub-fungsi. Solusi yang memenuhi sub-fungsi bukan sebagai konsep produk melainkan baru konsep elemen, sedangkan konsep produk didapatkan dari kombinasi antara konsep elemen. Berikut merupakan tabel matriks morfologi:

Tabel 1.1 Matriks morfologi mesin pengemas produk serbuk

<b>Energi Sub-fungsi</b>	<b>Mekanik</b>
Penampung produk	A. 1. Corong tabung
	A. 2. Corong segi empat
Penggerak	B. 1. Motor listrik
Transfer energi	C. 1. <i>Gearbox</i>
	C. 2. <i>Kopling flens</i>
Pengisian produk	D. 1. <i>Volumetric fillers</i>
	D. 2. <i>Pneumatic sliding system</i>
Pengaturan berat kemasan	E. 1. Gelas Takar

Energi Sub-fungsi	Mekanik
Penggerak <i>roller</i>	F. 1. Motor <i>stepper</i>
	F. 2. <i>Electromagnetic brake</i>
Transmisi	G. 1. Roda gigi lurus
	G. 2. Roda gigi payung

Dari tabel matriks morfologi di atas dapat dikombinasikan model varian mesin pengemas produk serbuk (konsep produk) sebagai berikut:

Konsep 1 : A.2 + B.1 + C.2 + D.1 + E.1 + F.2 + G.1 + G.2

Konsep 2 : A.1 + B.1 + C.1 + C.2 + D.1 + E.1 + F.2 + G.1 + G.2

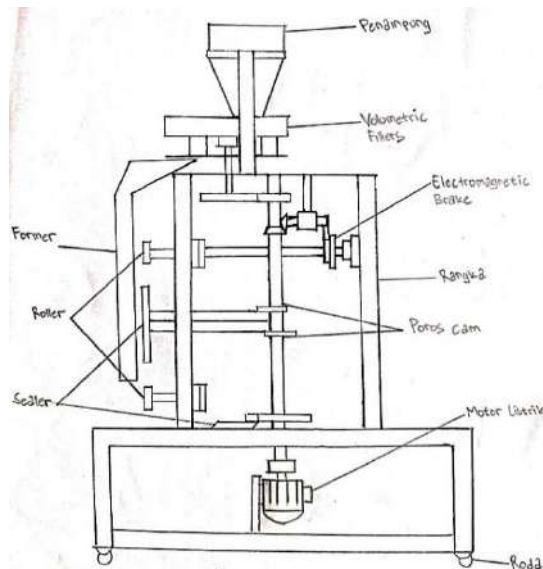
Konsep 3 : A.1 + B.1 + C.1 + C.2 + D.1 + E.1 + F.1 + G.1

Rancangan konsep yang sudah didapat dari matriks morfologi akan dilanjutkan dalam bentuk sketsa gambar untuk memperjelas bagaimana konsep produk yang akan dibuat.

## 1.11 Penentuan Konsep Produk

### 1.11.1 Konsep Pertama

Konsep produk yang pertama (Gambar 1.6.) memiliki prinsip kerja, motor penggerak dihubungkan secara langsung dengan poros utama menggunakan kopleng *flens*, sehingga kecepatan putar poros utama sama dengan kecepatan putaran motor penggerak. Penampung menggunakan corong segi empat yang di letakan di bagian atas dan ditopang oleh rangka mesin. Mekanisme pengisian produk menggunakan sistem *volumetric fillers*, dimana terdapat piringan dengan gelas takar yang nantinya akan terisi oleh produk.

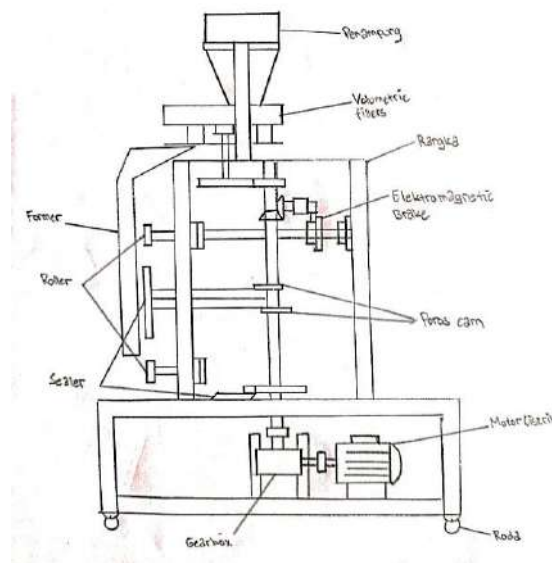


Gambar 1.6 Sket konsep produk pertama

Piringan akan berputar dengan cara dihubungkan dengan poros utama yang sudah di transmisi melalui roda gigi lurus. Produk yang ada dalam gelas takar akan jatuh melalui *former* berbentuk tabung yang diselimuti oleh plastik kemasan. Plastik akan bergerak turun melalui *roller* yang sudah dihubungkan dengan poros *electromagnetic brake*, dimana *electromagnetic brake* dapat bergerak karena terhubung dengan poros utama melalui transmisi roda gigi payung. Plastik yang sudah terisi produk akan disatukan dengan cara memanaskan plastik tersebut menggunakan *heater* yang terpasang *sealer* vertikal dan horizontal.

### 1.11.2 Konsep Kedua

Konsep produk kedua memiliki rancangan sistem kerja motor penggerak dihubungkan dengan *gearbox* yang berfungsi untuk mereduksi putaran poros motor penggerak yang kemudian akan dihubungkan ke poros utama melalui kopling *flens*. Konsep rancangan kedua menggunakan penampung corong berbentuk tabung yang di letakan pada bagian atas mesin. Mekanisme pengisian produk menggunakan sistem *volumetric fillers*, dimana terdapat piringan dengan gelas takar yang nantinya akan terisi oleh produk.



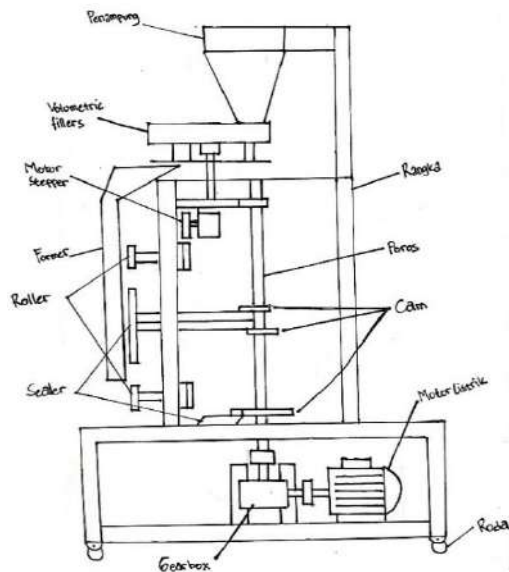
Gambar 1.7 Sket konsep produk kedua

Piringan akan berputar dengan cara dihubungkan dengan poros utama yang sudah di transmisi melalui roda gigi lurus. Produk yang ada dalam gelas takar akan jatuh melalui *former* berbentuk tabung yang diselimuti oleh plastik kemasan. Plastik akan bergerak turun melalui *roller* yang sudah dihubungkan dengan poros *electromagnetic brake*, dimana *electromagnetic brake* dapat bergerak karena terhubung dengan poros utama melalui transmisi roda gigi payung. Plastik yang

sudah terisi produk akan disatukan dengan cara memanaskan plastik tersebut menggunakan *heater* yang terpasang *sealer* vertikal dan horizontal.

### 1.11.3 Konsep Ketiga

Konsep produk ketiga memiliki rancangan sistem kerja motor penggerak dihubungkan dengan *gearbox* yang berfungsi untuk mereduksi putaran poros motor penggerak yang kemudian akan dihubungkan dengan poros utama melalui kopleng *flens*. Penampungan produk menggunakan corong berbentuk tabung yang akan di letakan pada bagian atas mesin dan ditopang oleh rangka mesin. Mekanisme pengisian produk menggunakan sistem *volumetric fillers*, dimana terdapat piringan dengan gelas takar yang nantinya akan terisi oleh produk. Piringan akan berputar dengan cara dihubungkan dengan poros utama yang sudah di transmisi melalui roda gigi lurus. Produk yang ada dalam gelas takar akan jatuh melalui *former* berbentuk tabung yang diselimuti oleh plastik kemasan. Plastik akan bergerak turun dengan bantuan *roller* yang sudah dihubungkan dengan motor *stepper*, dimana poros motor *stepper* akan dihubungkan dengan poros *roller* melalui sprocket dan rantai. Plastik yang sudah terisi produk akan disatukan dengan cara memanaskan plastik tersebut menggunakan *heater* yang terpasang *sealer* vertikal dan horizontal.



Gambar 1.8 Sket konsep produk ketiga

## 1.12 Pemilihan Konsep Produk

Tahap pemilihan konsep produk dilakukan dengan memberi nilai pada masing-masing konsep produk yang sudah ada. Dalam tahap ini, masing-masing kriteria teknik diberi bobot nilai sesuai dengan tingkat kepentingan. Semakin tinggi nilai kriteria teknik, maka semakin tinggi tingkat kepentingan dibanding kriteria teknik yang lain. Masing-masing rancangan konsep produk akan dibandingkan

dengan produk referensi yang sudah ditentukan dari konsep produk. Dalam hal ini produk konsep kedua yang akan dijadikan produk referensi dalam penentuan konsep produk. Adapun tabel pemilihan konsep produk yang akan dipilih dengan memberikan nilai pada masing-masing konsep produk sebagai berikut:

Tabel 1.2 Matriks pengambilan keputusan mesin pengemas produk serbuk

No.	Kriteria	Bobot	Konsep Produk		
			1	2	3
1.	Lebar mesin $\leq$ 1 daun pintu ( $\pm 80$ cm)	8	S	REFERENSI	S
2.	Ketinggian $\pm 170$ cm	8	S		S
3.	Menggunakan motor listrik	6	S		S
4.	Mampu memproduksi produk serbuk kopi, gula, tepung dan susu	8	S		S
5.	Daya mesin 500-1000 watt	7	S		+
6.	Menggunakan sistem kontrol	5	S		S
7.	Menggunakan sambungan las dan mur baut	5	S		S
8.	Kapasitas mesin 2600 pcs/jam	9	S		S
9.	Harga jual mesin < 20 juta	7	-		+
10.	Menggunakan roda	5	S		S
11.	Kemudahan perakitan	5	-		+
12.	Kemudahan perawatan	6	-		S
13.	<i>Sparepart</i> mudah didapatkan	6	-		+
14.	Material mesin yang kuat dan anti karat	7	S		S
15.	Corong tabung, <i>volumetric fillers</i> dan <i>former</i> menggunakan material yang anti karat dan aman untuk makanan	7	S		S
16.	Fungsi utama pengemas produk serbuk	9	S		S
Total S			12	-	12
Total +			0	-	4
Total -			4	-	0
Total Keseluruhan setelah bobot diperhitungkan			-24	-	24
Simbol	Nilai				
+	1				
S	0				
-	-1				

Dari matriks pengambilan keputusan, telah didapatkan konsep produk yang memiliki nilai paling tinggi yaitu pada konsep produk ke-3, sehingga konsep produk tersebut yang akan diproses selanjutnya untuk menjadi produk mesin pengemas produk serbuk.

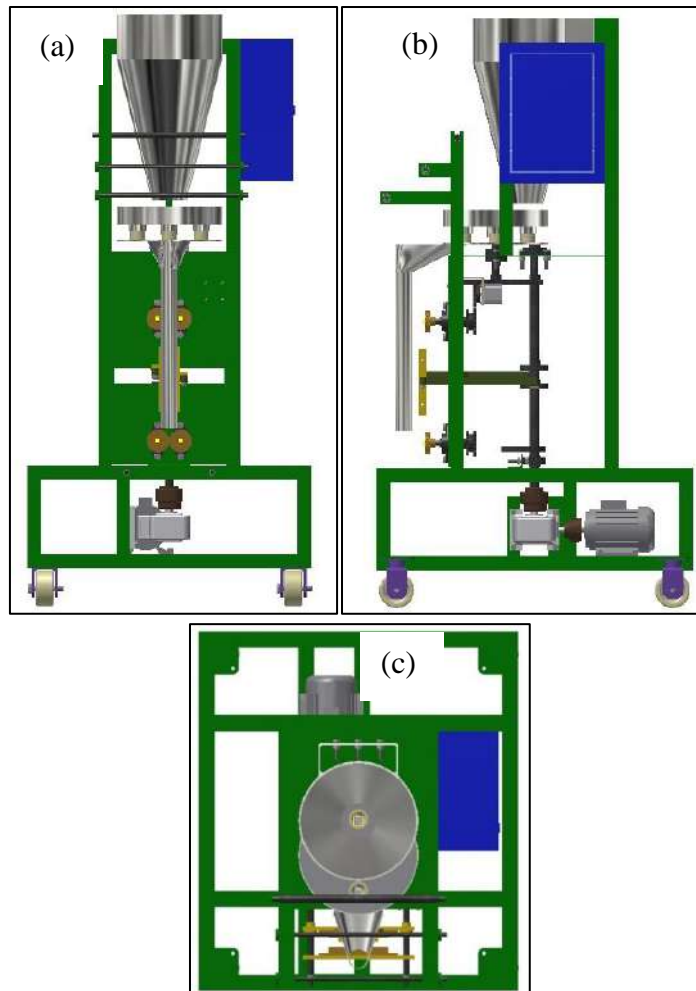
### 1.13 Perancangan Produk

Setelah tahap pemilihan konsep produk, akan dilanjutkan dengan tahap perancangan produk atau disebut sebagai tahap pemberian bentuk. Pada tahap



sebelumnya konsep produk ke-3 yang memperoleh nilai tertinggi, maka produk tersebut yang akan dilanjutkan ke tahap perancangan produk. Tahap perancangan produk dilakukan dengan bantuan *software* CAD.

Konsep dan model keseluruhan rancangan produk ketiga dapat dilihat pada gambar berikut:



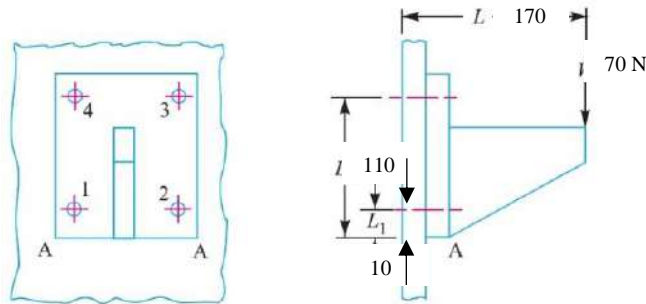
Gambar 1.9 Model mesin pengemas (a) tampak depan; (b) tampak samping kanan; dan (c) tampak atas

#### 1.14 Perancangan Elemen Mesin

Hasil perancangan produk mesin pengemas produk serbuk didapatkan bentuk gambar 3D (tiga dimensi). Tahap selanjutnya yaitu perancangan elemen mesin konsep ke-3. Berikut merupakan hasil perhitungan analisis kekuatan sambungan dari rancangan konsep produk mesin pengemas produk serbuk.

## 1. Sambungan Mur dan Baut

Sambungan mur dan baut pada dudukan *gearbox* mengalami pembebanan eksentris tegak lurus dengan sumbu lubang baut. Beban geser yang terjadi pada baut dapat dihitung dengan persamaan 1.4, beban tarik yang terjadi pada baut dapat dihitung menggunakan persamaan 1.5, dan beban tarik ekuivalen dapat dihitung menggunakan persamaan 1.6. Beban yang dihitung merupakan beban dari baut yang mendapatkan pembebanan dari *gearbox*. Hasil perhitungan beban sambungan baut pada dudukan *gearbox* disajikan sebagai berikut:



Gambar 1.10 Pembebanan pada baut dudukan *gearbox*

- a. Beban geser

$$W_s = \frac{W}{n_b} \dots\dots\dots (1.4)$$

$$= \frac{100 \text{ N}}{4} = 25 \text{ N}$$

- b. Beban tarik

$$wt = \frac{W \cdot L \cdot L_2}{2 [(L_1)^2 + (L_2)^2]} \dots\dots\dots (1.5)$$

$$= \frac{W \cdot L \cdot L_2}{2 [(L_1)^2 + (L_2)^2]} = \frac{100 \cdot 173 \cdot 110}{2 [(10)^2 + (110)^2]} = 77,9 \text{ N}$$

- c. Beban tarik ekuivalen

$$wte = \frac{1}{2} \left[ wt + \sqrt{(wt)^2 + 4(ws)^2} \right] \dots\dots\dots (1.6)$$

$$= \frac{1}{2} \left[ 77,9 + \sqrt{(77,9)^2 + 4(25)^2} \right] = 85,3 \text{ N}$$

- d. *Safety factor*

$$sf = \frac{\sigma_{\text{yield strength}}}{\sigma_{\text{design}}} \dots\dots\dots (1.7)$$

$$= \frac{640}{85,3} = 7,5$$

Berdasarkan perhitungan *safety factor* tegangan baut pada dudukan rangka *gearbox* didapatkan nilai *safety factor* 7,5, dimana nilai itu sudah melebihi batas

minimum 1 maka dinyatakan aman. Nilai *yield strength* 640 MPa didapatkan dari data *mechanical properties class 8.8 medium carbon*.

## 2. Sambungan Las

Dudukan corong tabung mendapat pembebanan dari berat dan volume produk yang telah dituangkan nantinya. Besar kekuatan tarik pada sambungan las *butt joint* dapat dihitung melalui persamaan 1.8. Hasil perhitungan kekuatan tarik pada dudukan corong tabung disajikan sebagai berikut:

- a. Beban sambungan las *butt joint*

$$wb = \frac{w_{tube}}{4} \dots\dots\dots (1.8)$$

$$= \frac{190}{4} = 47,5 N$$

- b. Kekuatan tarik sambungan las *butt joint*

$$\sigma t = \frac{wb_1}{A} \dots\dots\dots (1.9)$$

$$= \frac{47,5}{120} = 0,3 N/mm^2$$

- c. *Safety factor*

$$sf = \frac{\sigma_{ultimate\ strength}}{\sigma_{design}} \dots\dots\dots (1.10)$$

$$= \frac{413,685}{0,3} = 1378,9$$

Berdasarkan perhitungan *safety factor* sambungan las *butt joint* pada rangka mesin didapatkan nilai *safety factor* 1378.9, dimana nilai itu sudah melebihi batas dari faktor tegangan akibat beban fatik minimum 1,2 maka dinyatakan aman. Nilai *ultimate strength* 413,685 MPa didapatkan dari data spesifikasi tipe elektroda AWS A516013.

## 3. Perbandingan torsi poros motor penggerak dan torsi poros gearbox

Sistem penggerak mesin pengemas produk serbuk menggunakan motor listrik, dengan bantuan *gearbox* untuk mereduksi putaran dari poros motor listrik. Penentuan besarnya torsi motor penggerak dan torsi *gearbox* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

- a. Torsi motor penggerak

$$\tau_m = \frac{5250 \cdot HP}{n} \dots\dots\dots (1.11)$$

$$= \frac{5250 \cdot 0,5}{1400} = 1,85 lb\ ft = 2,4 Nm$$

- b. Torsi *gearbox*

$$\tau_g = \frac{\tau_m}{\frac{1}{30}} \dots\dots\dots (1.12)$$

$$= \frac{2.4}{\frac{1}{30}} = 72 Nm$$

#### 4. Poros

Untuk menentukan besarnya torsi poros utama dapat dihitung menggunakan persamaan 1.14, sedangkan untuk menghitung tegangan geser pada poros dapat dihitung menggunakan persamaan 1.13. Hasil perhitungan dapat disajikan sebagai berikut:

a. Tegangan geser

$$T = \frac{P \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \dots\dots\dots (1.13)$$

$$= \frac{372 \cdot 60}{2 \cdot 3,14 \cdot 46,67} = \frac{22320}{293,09} = 76,1 Nmm$$

b. Torsi poros

$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi d_p^3} \dots\dots\dots (1.14)$$

$$= \frac{16 \cdot 76,1}{3,14 \cdot (25,4)^3} = \frac{1217,6}{51455,4} = 0,03 N/mm^2$$

#### 5. Perhitungan jumlah kemasan

Penentuan jumlah kemasan yang dihasilkan, dapat dihitung melalui kecepatan putar poros utama. Hasil perhitungan dapat disajikan sebagai berikut:

a. Kecepatan putar poros motor penggerak

$$= 1400 rpm$$

b. Kecepatan putar poros *gearbox* dengan ratio 1:30

$$= \frac{1400}{30} = 46,7 rpm$$

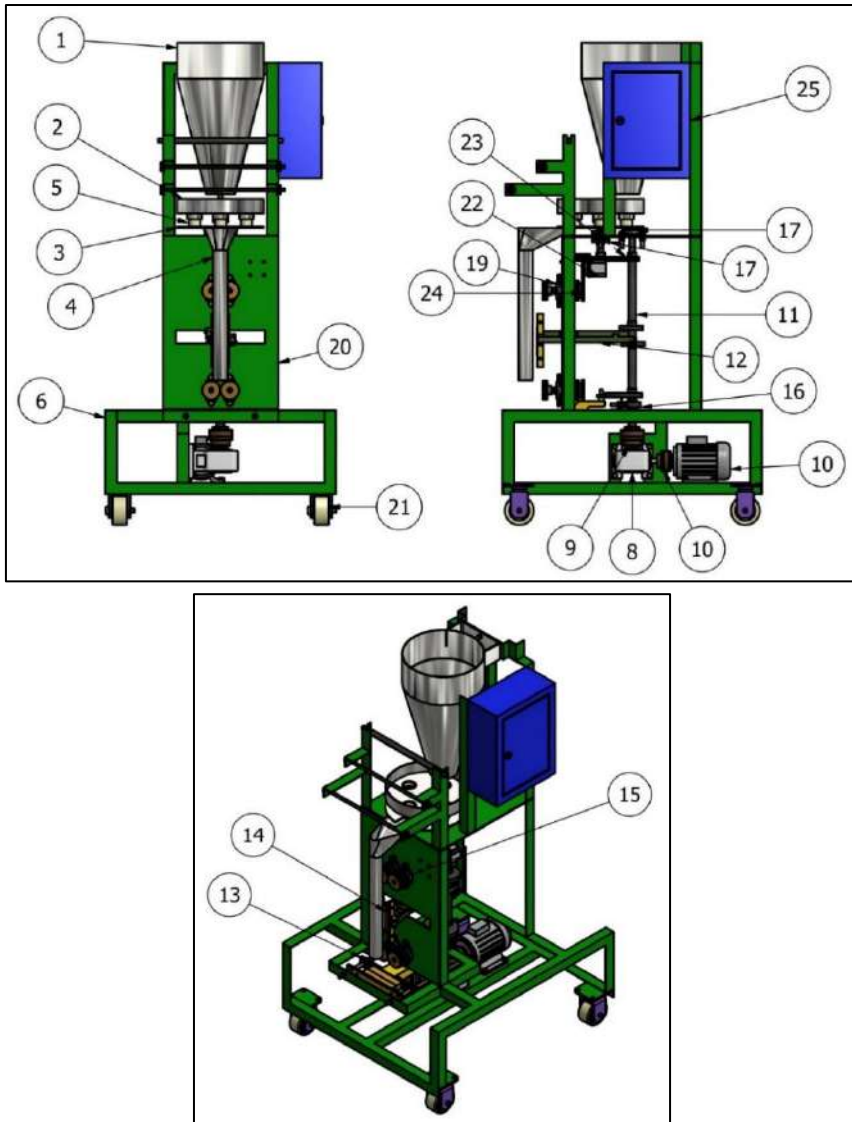
c. Perhitungan jumlah kemasan per jam

$$= 46,7 \times 60 \text{ menit} = 2802$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat disimpulkan bahwa jumlah kemasan yang dihasilkan secara maksimal yaitu 2802 pcs/jam, dikarenakan 1 putaran poros utama menghasilkan 1 buah kemasan. Jumlah itu sudah melebihi dari kebutuhan pengguna yaitu 2600 pcs/jam. Jumlah kemasan yang dihasilkan dipengaruhi oleh putaran poros motor penggerak atau perbandingan rasio *gearbox*. Semakin kecil putaran poros motor penggerak atau semakin besar rasio *gearbox*, maka akan semakin sedikit kemasan yang dihasilkan.

#### 1.15 Bill of Materials

Setelah analisis rancangan *mockup* didapatkan, rancangan produk dilanjutkan pada tahap penentuan material dan komponen yang akan di aplikasikan pada rancangan mesin yang telah dibuat (*Bill of Materials*). Berikut merupakan gambaran model keseluruhan serta komponen-komponen yang terdapat pada rancangan mesin pengemas produk serbuk.



Gambar 1.11 Gambar susunan mesin pengemas produk serbuk

Berikut merupakan spesifikasi dari masing-masing komponen pada mesin pengemas produk serbuk.

Tabel 1. 3 Spesifikasi komponen mesin pengemas produk serbuk

No.	Nama komponen	Material
1.	Corong tabung	<i>Stainless steel 304</i>
2.	Piringan atas	<i>Stainless steel 304</i>
3.	Piringan bawah	<i>Stainless steel 304</i>
4.	<i>Former</i>	<i>Stainless steel 304</i>
5.	Gelas takar	Teflon
6.	Rangka besi siku 40x40x3 mm	ASTM 36

No.	Nama komponen	Material
7.	Motor listrik 0,5 Hp	<i>universal</i>
8.	<i>Gearbox</i>	<i>universal</i>
9.	Kopling <i>flens</i> 80	<i>Cast iron</i>
10.	Kopling <i>flens</i> 60	<i>Cast iron</i>
11.	Poros utama	<i>Steel</i>
12.	<i>Sealer</i> vertikal	<i>Steel</i>
13.	<i>Sealer</i> horizontal	<i>Steel</i>
14.	<i>Sealer</i> kuningan	<i>Brass steel</i>
15.	<i>Roller</i>	<i>Brass steel</i>
16.	<i>Pillow block bearing</i> UCP Ø1 inch	<i>Cast iron</i>
17.	<i>Pillow block bearing</i> UCF Ø20 mm	<i>Cast iron</i>
18.	<i>Pillow block bearing</i> UCFL Ø20 mm	<i>Cast iron</i>
19.	<i>Pillow block bearing</i> UCFL Ø15 mm	<i>Cast iron</i>
20.	Plat baja 5 mm	<i>Steel</i>
21.	Roda mesin	Roda Kastor Polyurethane
22.	Motor <i>stepper</i>	<i>unviersal</i>
23.	Roda gigi lurus	<i>Steel</i>
24.	Sproket	<i>Steel</i>
25.	Panel box listrik	<i>Steel</i>



Gambar 1.12 Prototipe mesin pangemas serbuk

## **BAB II**

### **ANALISIS KEKUATAN RANCANGAN**

#### **2.1 Sifat Mekanik Bahan**

##### **2.1.1 Kekuatan Bahan**

Kekuatan menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, tergantung pada jenis beban yang bekerja atau mengenainya (Wahyudi, 2014:35). Contoh: kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan torsi, kekuatan lengkung.

##### **2.1.2 Kekerasan**

Kekerasan, dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu bahan untuk tahan terhadap penggoresan, pengikisan (abrasi), identasi atau penetrasi. Sifat ini berkaitan dengan sifat tahan aus (*wear resistance*). Kekerasan juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.

##### **2.1.3 Kekenyalan (*Elasticity*)**

Kekenyalan (*elasticity*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu benda mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Apabila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi hanya bersifat sementara, perubahan bentuk tersebut akan hilang bersama dengan hilangnya tegangan yang diberikan. Akan tetapi apabila tegangan yang bekerja telah melewati batas kemampuannya, maka sebagian dari perubahan bentuk tersebut akan tetap ada walaupun tegangan yang diberikan telah dihilangkan. Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastis yang dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, atau dapat dikatakan dengan kata lain adalah kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.

##### **2.1.4 Kekakuan (*Stiffness*)**

Kekakuan (*stiffness*), menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi). Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting daripada kekuatan.

##### **2.1.5 Plastisitas (*Plasticity*)**

Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastik (permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai macam pembentukan seperti *forging*, *rolling*, *extruding* dan lain sebagainya. Sifat ini juga sering disebut sebagai keuletan (*ductility*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastik cukup besar dikatakan sebagai bahan yang memiliki keuletan tinggi, bahan

yang ulet (*ductile*). Sebaliknya bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastik dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau getas (*brittle*).

### 2.1.6 Ketangguhan (*Toughness*)

Ketangguhan (*toughness*), menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit diukur.

### 2.1.7 Kelelahan (*Fatigue*)

Kelelahan (*fatigue*), merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang-ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastiknya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan ini. Karenanya kelelahan merupakan sifat yang sangat penting, tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

### 2.1.8 Creep

*Creep*, atau bahasa lainnya merambat atau merangkak, merupakan kecenderungan suatu logam untuk mengalami deformasi plastik yang besarnya berubah sesuai dengan fungsi waktu, pada saat bahan atau komponen tersebut tadi menerima beban yang besarnya relatif tetap.

## 2.2 Tegangan

Menurut Sutikno 2011, menyatakan bahwa secara sederhana tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada satu satuan luas permukaan benda yang dikenakan oleh gaya. Secara matematis definisi tegangan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} [N/mm^2] \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan: F = gaya [N]

A = luasan permukaan dikenakan gaya [mm<sup>2</sup>]

Tegangan dibagi menjadi dua macam, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang bekerja secara tegak lurus pada permukaan benda ( $\sigma$ ). Tegangan geser adalah tegangan yang bekerja sejajar dengan permukaan benda ( $\tau$ ).

Dalam kasus tegangan tiga dimensi, sebuah elemen tegangan akan menderita tegangan-tegangan normal pada semua permukaannya. Tegangan-tegangan geser memiliki dua buah indeks bawah, dimana yang pertama menunjukkan bidang tegangan bekerja dan yang kedua mengidentifikasi arahnya dalam bidang tersebut.

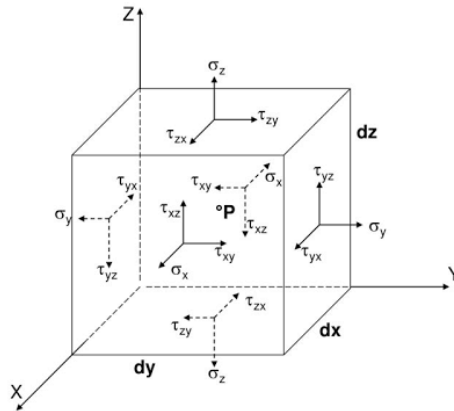
Dari kesetimbangan elemen dapat dibuktikan bahwa tegangan-tegangan geser yang bekerja pada bidang-bidang tegak lurus dan diarahkan tegak lurus pada garis



perpotongan bidang-bidang ini besarnya sama. Sehingga akan berlaku hubungan sebagai berikut:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{xz} = \tau_{zx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \dots\dots\dots (2.2)$$

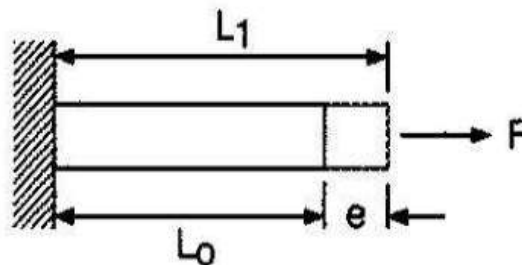
Keterangan:  $\tau$  = tegangan geser



Gambar 2.1 Komponen Tegangan (Sutikno, 2011)

### 2.3 Deformasi atau Regangan ( $\epsilon$ )

Dalam sebuah perancangan, yang perlu diperhatikan adalah keadaan material pada saat hasil rancangan dioperasikan. Untuk mengetahuinya maka perlu diketahui karakteristik material yang digunakan dengan cara melakukan uji material seperti uji tarik (*Tensile Test*). Uji tarik adalah suatu *test* secara terus menerus dengan menambahkan beban pada suatu material yang diteliti dan mencatat berapa besar beban dan *elongasi* yang terjadi pada material sampai material tersebut patah. Tegangan yang terjadi dihitung dengan membagi besar beban yang terjadi dengan *cross-sectional area* (luas penampang) dari material yang diuji. Besar *elongasi* atau regangan dapat diketahui dengan membagi perubahan panjang yang terjadi akibat penambahan beban dengan panjang mula-mula material.



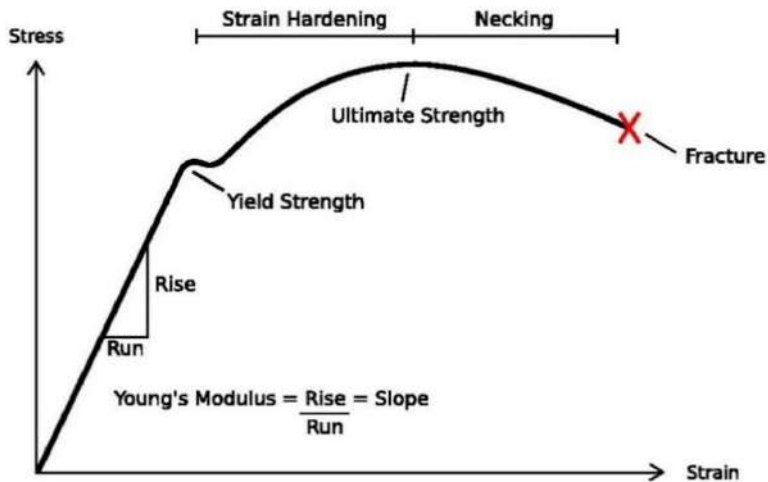
Gambar 2.2 Perubahan Bentuk Karena Beban Tarik (Sutikno,2011)

Untuk memperoleh satuan deformasi atau regangan ( $\epsilon$ ) adalah dengan membagi perpanjangan ( $\delta$ ) dengan panjang mula-mula ( $L_0$ ) dari suatu spesimen. Regangan dapat dirumuskan:

$$\epsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} = \frac{\delta}{L_0} \dots\dots\dots (2.3)$$

- Keterangan:  $\epsilon$  = regangan  
 $L_0$  = panjang awal [mm]  
 $L_1$  = panjang akhir [mm]  
 $\delta$  = perubahan panjang [mm]

Hubungan tegangan dan regangan dapat ditunjukkan dalam gambar berikut:



Gambar 2.3 Kurva Tegangan-Regangan

Rasio antara tegangan dan regangan normal dapat disebut Modulus Young atau Modulus Elastisitas, merupakan tangen dari sudut yang terbentuk antara garis hubungan tegangan dan regangan dengan garis sumbu regangan dan dinotasikan:

$$E = \tan\theta = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots (2.4)$$

Sedangkan rasio antara tegangan dan regangan geser disebut Modulus Geser atau Modulus Kekakuan, dinotasikan:

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \dots\dots\dots (2.5)$$

- Dengan:  $G$  = modulus elastisitas geser (kg.mm/s<sup>2</sup>)  
 $\tau$  = tegangan geser (kg.mm/s<sup>2</sup>)  
 $\gamma$  = regangan geser

**2.4 Tegangan Termal**

Tegangan akibat beban termal merupakan persoalan teknik yang cukup kompleks untuk diselesaikan secara analitis. Untuk pembebanan termal rumus tegangan didasarkan pada besarnya perbedaan regangan pada setiap titik dan elemen akibat terjadinya distribusi temperatur yang tidak merata. Menurut Bandriyana tahun

2005, secara umum bentuk rumusan tegangan termal dapat disusun dalam persamaan matrik sebagai berikut:

$$\sigma = D\varepsilon = D[\alpha\Delta T]^T \dots\dots\dots (2.6)$$

- Dimana: D = matrik konstanta yang bergantung pada jenis bahan dan dinyatakan dalam besaran Modulus Young (*E*) dan angka poisson (*v*).  
 ε = regangan  
 α = koefisien muai panas dari bahan  
 Δ*T* = beda suhu

Dengan menyelesaikan *inverse* matrik yang terbentuk dalam persamaan dapat diperoleh hasil berupa distribusi tegangan termal pada sistem.

**2.5 Konduksi Termal**

Konduksi adalah perpindahan panas tanpa disertai perpindahan bagian-bagian zat perantaranya, dimana energi panas dipindahkan dari satu molekul ke molekul lain dari benda tersebut. *Heat flux* pada perpindahan panas konduksi yaitu:

$$q'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (2.7)$$

- Dengan: k = Konduktivitas termal (W/m.K)

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{k.A.\Delta T}{L} \dots\dots\dots (2.8)$$

- Dengan: H = laju hantaran panas (J/s atau Watt)  
 A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)  
 Δ*T* = perbedaan suhu  
 L = panjang benda (m)

**2.6 Teori Von Mises**

Von Mises (1913) dalam Awwaluddin (2014) menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana tegangan normal itu tidak tergantung dari orientasi atau sudut (*invariant*) kedua *deviator* tegangan *J*<sub>2</sub> melampaui harga kritis tertentu

$$J_2 = k^2 \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan *J* adalah *yield* untuk kondisi *Von-Mises* (N/m<sup>2</sup>) dan *k* adalah tegangan luluh bahan geser murni (N/m<sup>2</sup>) dimana:

$$J_2 = 1/6[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana σ adalah tegangan tarik bahan (N/m<sup>2</sup>). Untuk mengevaluasi tetapan *k* dan menghubungkannya dengan tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial akan terjadi bila σ<sub>1</sub> = σ<sub>0</sub>, σ<sub>2</sub> = σ<sub>3</sub> = 0 sehingga didapatkan bentuk kriteria luluh *Von Mises*.

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dari persamaan di atas dapat dilihat bahwa luluh akan terjadi bilamana selisih tegangan pada sisi kanan melampaui tegangan luluh dalam uji tarik uniaksial σ<sub>0</sub>. Untuk mengidentifikasi tetapan *k* dalam persamaan (2.9), perhatikan keadaan tegangan dalam geser murni, seperti dalam uji puntir. σ<sub>1</sub> = σ<sub>3</sub> = τ, dan σ<sub>2</sub> = 0 pada luluh dimana:

$$\sigma_1^2 + \sigma_1^2 + 4\sigma_1^2 = 6k^2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Sehingga  $\sigma_1 = k$ , maka k menggambarkan tegangan luluh dalam keadaan geser murni (puntir). Karena itu kriteria *Von Mises* meramalkan bahwa tegangan luluh pada puntiran akan lebih kecil daripada dalam penegangan uniaksial, sesuai dengan:

$$k = \frac{1}{\sqrt{3}}\sigma_0 = 0,577\sigma_0 \dots\dots\dots (2.13)$$

Kriteria luluh *Von Mises* mengisyaratkan bahwa luluh tidak tergantung pada tegangan normal atau tegangan geser tertentu, melainkan tergantung dari fungsi ketiga harga tegangan geser utama. Karena kriteria luluh didasarkan atas selisih tegangan normal,  $\sigma_1 - \sigma_2$ , dan sebagainya maka kriteria tersebut tidak tergantung pada komponen tegangan hidrostatis. Karena kriteria luluh *von mises* melibatkan suku pangkat dua, hasilnya tidak tergantung dari tanda tegangan individual.

Semula Von Mises mengusulkan kriteria ini karena matematikanya sederhana. Setelah itu, ahli lainnya berusaha untuk memberikan arti fisik. Hencky (1924) dalam Awwaluddin (2014) menunjukkan bahwa persamaan (2.11) setara dengan perumpamaan bahwa luluh itu terjadi bilamana energi distorsi mencapai suatu harga kritis. Energi distorsi adalah bagian energi regangan total per satuan volume yang diperlukan untuk perubahan bentuk yang berlainan dengan energi perubahan volume.

**2.7 Kriteria Kegagalan**

Kesalahan maupun kerusakan pada suatu elemen mesin dapat terjadi dalam berbagai wujud yang disebabkan adanya faktor kegagalan. Faktor tersebut misalnya sifat dasar beban (statis berulang, berbalik, atau berfluktuasi), jenis bahan (ulet atau getas) dan analisis produk rancangan (Mott, 1985).

Suatu perancangan atau desain dapat dikatakan gagal apabila nilai tegangan *von mises* lebih besar dari nilai *yield strength*. Maka nilai faktor keamanan harus lebih dari 1 atau  $sf > 1$ .

$$sf = \frac{\sigma_{yield\ strength}}{\sigma_{von}} \dots\dots\dots (2.14)$$

**2.8 Faktor Keamanan**

Kekuatan sebenarnya dari suatu struktur haruslah melebihi kekuatan yang dibutuhkan. Perbandingan dari kekuatan sebenarnya terhadap kekuatan yang dibutuhkan disebut faktor keamanan (n) (Awwaluddin, 2014:32).

$$Faktor\ keamanan\ (n) = \frac{kekuatan\ sebenarnya}{kekuatan\ yang\ dibutuhkan} \dots\dots\dots (2.15)$$

Faktor keamanan haruslah lebih besar daripada 1,0 untuk menghindari kegagalan. Tergantung pada keadaan, maka faktor keamanan yang harganya sedikit di atas 1,0 hingga 10 yang dipergunakan. Mengikutsertakan faktor keamanan ke dalam desain bukanlah suatu hal yang sederhana, karena baik kekuatan dan kegagalan memiliki berbagai macam arti. Kegagalan dapat berarti patah atau rusak sama sekali pada suatu struktur. Penentuan faktor keamanan memperhitungkan kemungkinan

pembebanan yang melampaui batas (*overloading*) dari suatu struktur baik dari pembebanan statik maupun pembebanan dinamik secara berulang, serta kemungkinan kegagalan akibat kelelahan struktur (*fatigue failure*) dan lain-lain.

Apabila faktor keamanan sangat rendah, maka kemungkinan kegagalan akan menjadi tinggi dan karena itu desain strukturnya tidak diterima. Sebaliknya jika faktor keamanan sangat besar, maka strukturnya akan menjadi boros bahan dan kemungkinan tidak sesuai dengan fungsinya misalnya menjadi sangat berat.

Menurut Mott (1985) dalam menentukan nilai *safety factor* suatu komponen dapat menggunakan aturan di bawah ini.

#### 1. Material ulet

- a)  $n = 1,00$  hingga  $2,0$  untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
- b)  $n = 2,0$  hingga  $2,5$  untuk perancangan elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan tingkat kepercayaan rata-rata untuk semua data perancangan.
- c)  $n = 2,5$  hingga  $4,0$  untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima beban dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.
- d)  $n = 4,0$  atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beberapa kombinasi bahan, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

#### 2. Material getas

- a)  $n = 3,0$  hingga  $4,0$  untuk perancangan struktur yang menerima beban statis dengan tingkat kepercayaan yang tinggi untuk semua data perancangan.
- b)  $n = 4,0$  hingga  $8,0$  untuk perancangan struktur statis atau elemen-elemen mesin yang menerima pembebanan dinamis dengan ketidakpastian mengenai beban, sifat-sifat bahan, analisis tegangan, atau lingkungan.

### 2.9 Baja ST 40

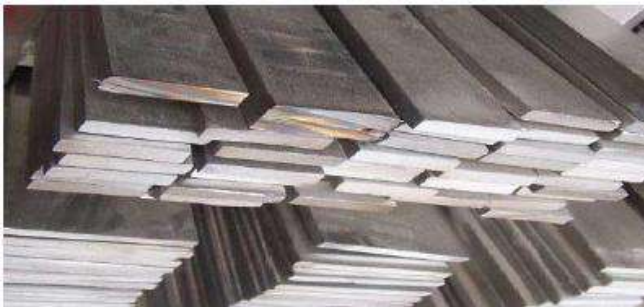
Baja ST 40 adalah baja yang dibuat berdasarkan standar DIN (*Deutch Industrie Normen*). Baja ST 40 memiliki sifat mekanik berupa kekuatan tarik sebesar  $42-50 \text{ kgf/mm}^2$ , *yield strength* minimal  $23 \text{ kgf/mm}^2$ , nilai regangan sebesar  $34\%$ , *ultimate strength*  $50 \text{ kgf/mm}^2$  dan masa jenis sebesar  $7,86 \text{ g/mm}^3$ . Baja ST 40 termasuk golongan baja karbon rendah, dengan kandungan karbon maksimal (C) =  $0,15\%$ , Si =  $0,27\%$ , Mn =  $0,65\%$ , S =  $0,05\%$ , P =  $0,026\%$ . Baja ST 40 digunakan untuk kawat, paku, peralatan otomotif, dan sebagai bahan baku *welded fabrication*. (Haq, 2019)

Tabel 2.1 Karakteristik Material Baja ST40 (Haq, 2019)

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Elastic Modulus	$2e+11$	$\text{N/m}^2$
<i>Poisson Ratio</i>	0,2	N/A

<i>Density</i>	7860	Kg/m <sup>3</sup>
<i>Tensile Strength</i>	5e+08	N/m <sup>2</sup>
<i>Yield Strength</i>	2,3e+08	N/m <sup>2</sup>

Pada contoh perancangan ini Baja ST40 digunakan sebagai material dari poros cam yang digunakan pada desain mesin pengemas.



Gambar 2.4 Plat Baja ST40 (Haq, 2019)

## 2.10 Baja ASTM A36

Plat baja ASTM (*American Standard Testing and Material*) A36 adalah baja karbon rendah yang memiliki kekuatan yang baik dan juga ditambah dengan sifat baja yang bisa dirubah bentuk menggunakan mesin dan juga dilakukan pengelasan. Plat baja ASTM A36 juga dapat dilakukan pelapisan *galvanish* maupun *coating* untuk memberikan ketahanan terhadap korosi. Plat baja ASTM A36 dapat digunakan untuk berbagai macam aplikasi, tergantung pada ketebalan plat dan juga tingkat ketahanan korosinya. Beberapa produk yang menggunakan plat baja jenis ini seperti konstruksi bangunan, tanki, maupun pipa ([www.onealsteel.com](http://www.onealsteel.com), Carbon & Alloy steel Plat, 2019).

Pada penelitian ini Baja ASTM A36 digunakan sebagai material yang digunakan pada desain rangka mesin pengemas.

Tabel 2.2 Karakteristik Material ASTM A36 (Restu, 2017)

<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Units</i>
Elastic Modulus	2e+11	N/m <sup>2</sup>
<i>Poisson Ratio</i>	0,26	N/A
<i>Shear Modulus</i>	7,93e+010	N/m <sup>2</sup>
<i>Density</i>	7850	Kg/m <sup>3</sup>
<i>Tensile Strength</i>	4e+08	N/m <sup>2</sup>
<i>Yield Strength</i>	2,5e+08	N/m <sup>2</sup>
<i>Thermal Expansion</i>	1,17e-05	K.deg
<i>Thermal Conductivity</i>	50	W/m.K

### 2.11 Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga atau *Finite Element Method* (FEM) atau Analisa Elemen Hingga atau *Finite Element Analysis* (FEA), adalah dasar pemikiran dari suatu bangunan bentuk-bentuk kompleks dengan blok-blok sederhana atau membagi objek yang kompleks ke dalam bagian-bagian kecil yang teratur (Awwaluddin, 2014:35). Penggunaan metode elemen hingga terdiri dari beberapa analisa:

- a. Analisa Perancangan adalah perhitungan sederhana, serta simulasi komputer
- b. *Finite Element Method* atau *Finite Element Analysis* adalah metode simulasi komputer yang paling banyak diaplikasikan dalam *engineering*.
- c. Penggunaan dari aplikasi CAD atau CAM

Aplikasi metode elemen hingga dalam *engineering* adalah untuk: *Mechanical / Aerospace/ Civil/ Automobile Engineering, Structure analysis (Static/ dynamic, linear/ nonlinear), Thermal/ fluid flows, Electromagnetics, Geomechanics, Biomechanics*.

Prosedur analisa menggunakan metode elemen hingga adalah sebagai berikut:

- a. Membagi struktur ke dalam bagian-bagian kecil (elemen dengan *nodes*)
- b. Menjelaskan sifat fisik dari tiap-tiap elemen, semakin rumit bentuk geometri, kemudian banyak interaksi bebannya, penerapan *constrain*, serta sifat materialnya berbeda, maka model matematika yang bisa mewakili permasalahan tersebut semakin sulit.
- c. Menghubungkan atau merangkai elemen-elemen pada *nodes* untuk membentuk rekaan persamaan sistem dari keseluruhan struktur
- d. Menyelesaikan persamaan sistem dengan melibatkan kuantitas yang tidak diketahui pada *nodal*, misalnya pergeseran
- e. Menghitung kuantitas yang diinginkan (regangan dan tekanan) pada elemen-elemen yang dipilih.

Dalam analisis sebagian besar dapat diperlakukan dalam analisis *static linier* yang didasarkan pada asumsi sebagai berikut: *Small Deformation* (perubahan yang terjadi sangat kecil), *Elastic Material, Static Loads*. Analisa linier menyediakan banyak informasi tentang perilaku suatu struktur dan merupakan yang baik untuk beberapa analisa karena mempertimbangkan suatu elemen penuh pada prismatic.

### 2.12 Matrik kekakuan

Analisis persoalan struktur *thermal*, mekanika fluida, elektromagnet, bahan dan lainnya dengan menggunakan Metoda Elemen Hingga semakin diperlukan karena luwes dan dapat diselesaikan dengan komputer. Dalam Metoda Elemen Hingga, suatu struktur, benda atau daerah yang akan dianalisis dibagi menjadi sejumlah besar bentuk yang dinyatakan sebagai elemen. Elemen dapat berupa garis lurus, segitiga, segi empat, tetrahedral dan *quadrilateral* (Susmikanti, 2005).

Langkah dalam analisis elemen hingga meliputi diskritisasi menjadi sejumlah bilangan hingga elemen yang merupakan tahap dasar. Dalam hal ini akan dibahas

diskritisasi dalam bentuk segi empat. Diskritisasi digambarkan sebagai pembagian benda yang masing-masing berkaitan yaitu elemen dan simpul. Simpul ini diberi nomer dari satu hingga sejumlah simpul yang ada, demikian pula dengan elemen. Tahap kedua adalah proses pengolahan data yang mengarah pada pembentukan matrik kekakuan. Matrik ini berdasarkan koordinat global. Matrik kekakuan akan digunakan pada tahap penyelesaian dalam persamaan  $K.a = f$  di mana (a) vektor yang tidak diketahui, (f) adalah vektor gaya atau beban, (K) adalah matriks kekakuan. Tahap ketiga meliputi transformasi dari sistem koordinat global ke sistem lokal. Tahap keempat adalah *assembly* dari karakteristik elemen global. Pada tahap ini matrik kekakuan elemen global dan vektor gaya *nodal* elemen global harus di *assembly* menjadi bentuk matrik kekakuan *assembly* dan vektor gaya *nodal assembly*. Sesudah tahap *assembly*, pada tahap kelima ini, matriks kekakuan *assembly* dan vektor gaya *nodal assembly* harus dimodifikasi sesuai dengan pembatasan. Tahap berikutnya adalah tahap keenam yang merupakan penyelesaian. Hasil dari sistem persamaan  $K.a = f$  harus dicari untuk vektor yang tidak diketahui. Tahap terakhir atau ketujuh adalah perhitungan dari *resultant* elemen seperti adanya regangan, tegangan, menjadi lebih atau kurang ditinjau dari arah perpindahan *nodal*.

### 2.13 Ansys Workbench 15.0

Ansys dianggap sebagai salah satu alat yang digunakan di bidang simulasi, dikembangkan oleh Ansys Inc., USA. Ansys ini dapat digunakan dengan tujuan untuk mensimulasikan masalah *thermal analisis*, *structural analisis*, *computational fluid dynamics* (CFD), *harmonic analisis*, *modal analisis*, *transient dynamics*, *buckling*, dan masih banyak lainnya (Vaishnav, 2019:11).



Gambar 2.5 Aplikasi Software Ansys Workbench 15.0  
(Sumber: [www.ansys.com](http://www.ansys.com))

Selain itu, *software* ini juga menawarkan fasilitas untuk mengembangkan model sederhana. Dengan bantuan pustaka yang ada, seseorang dapat mengetahui *material properties* dan bahkan menambahkan properti yang diinginkan atau material



baru dengan properti nilai yang diketahui. Ansys juga mencakup serangkaian model untuk memecahkan masalah rumit mengenai *engineering*, arsitektur, ilmu fisika, model matematika dan aplikasi lainnya.

Pengolahan data menggunakan *Software Ansys Workbench 15.0* dilakukan dengan menggunakan simulasi *software*. Berikut adalah pengertian dari beberapa langkah yang harus dilakukan untuk simulasi:

a. *Preprocessing*

*Preprocessing* adalah tahap awal yang dilakukan pada proses simulasi. Pada tahap ini dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu:

(a) *Modeling*

*Modeling* adalah proses memasukkan geometri dari model benda yang akan disimulasikan. Model dibuat sesederhana mungkin tanpa mengubah geometri struktur secara signifikan.

(b) *Element Type*

Pada tahap ini adalah pemilihan tipe elemen yang akan digunakan atau nantinya akan diaplikasikan pada benda tersebut.

(c) *Real Constant*

Pada tahap ini dimasukkan nilai *real constant* berupa ketebalan untuk material, luas area potongan dan sebagainya.

(d) *Material Properties*

Pembebanan statis dengan material *linear isotropic* dan *linear orthotropic*, maka *material properties* yang diperlukan yaitu: Densitas, Modulus Elastisitas, *Poisson Ratio* dan sebagainya.

b. *Meshing*

*Meshing* adalah proses membagi geometri model *solid* menjadi elemen-elemen dan setiap elemen mempunyai *node*. Setiap *node* mempunyai derajat kebebasan dimana gaya akan terdistribusi ke setiap elemen. Semakin banyak *node* maka hasilnya semakin mendekati kondisi aslinya, namun perlu diperhatikan kemampuan komputer yang digunakan untuk melakukan analisis, karena dengan bertambahnya *node* diperlukan perhitungan yang semakin banyak sehingga membutuhkan spesifikasi komputer yang tinggi.

Proses *meshing* atau deskritisasi dapat digunakan untuk isometrik 1D, 2D, dan 3D. Dalam *meshing* 3D terbagi dalam empat jenis, yaitu *tetrahedron*, piramida, prisma, dan *heksahedron* (Chandru, 2017: 11239). *Mesh* memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan keakuratan analisis dan simulasi, karena jumlah atau *node* yang diberikan pada model akan mempengaruhi ketelitian hasil simulasi (Rasyid, 2017: 2)

c. Penerapan Kondisi Batas

Kondisi batas yang dimaksud disini mencakup beban yang diberikan (gaya atau tekanan) dan tumpuan.

d. *Solution*

Proses *solution/solving* merupakan proses saat perhitungan dilakukan, iterasi dilakukan berulang sampai ditemukan nilai yang paling mendekati.

e. *Postprocessing*

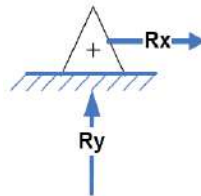
Pada tahap ini berupa penampilan hasil pada proses *viewing result* untuk analisis statis berupa gambar dan tabel.

### 2.14 Tumpuan

Dalam suatu konstruksi dalam menahan beban yang diberikan, terdapat tiga jenis tumpuan yang biasa digunakan:

1. Tumpuan sendi

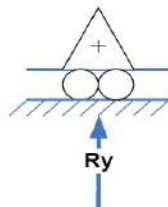
Tumpuan sendi adalah tumpuan yang mencegah translasi di ujung suatu balok tetapi tidak mencegah rotasinya. Tumpuan sendi (engsel) merupakan tumpuan yang tidak dapat menerima momen ( $M$ ), apabila dikenakan beban momen tumpuan ini akan berputar karena sifatnya seperti sendi. Tumpuan ini mampu menerima dua reaksi gaya vertikal ( $F_y$ ) dan horizontal ( $F_x$ ).



Gambar 2.6 Tumpuan sendi (Sumber: Gere, 1997: 236)

2. Tumpuan rol

Tumpuan rol adalah tumpuan yang mencegah translasi dalam arah vertikal tetapi tidak dalam arah horizontal. Tumpuan rol merupakan tumpuan yang dapat memberikan reaksi berupa gaya vertikal ( $R_y=F_y$ ), tidak dapat menerima gaya dari arah horizontal ( $F_x$ ) apabila diberi gaya tersebut tumpuan akan bergerak atau menggelinding karena sifat rol dan tidak dapat menerima beban momen.



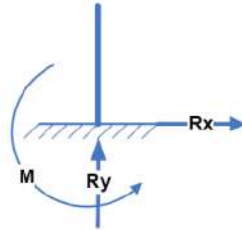
Gambar 2.7 Tumpuan rol

(Sumber: Gere dan Timoshenco, 1997: 236)

3. Tumpuan jepit

Tumpuan jepit memberikan pengaruh terhadap konstruksi tidak dapat bertranslasi maupun berotasi. Berarti dianggap tidak ada gerakan sama sekali karena dijepit. Tumpuan ini dapat menerima semua reaksi:

- (a) Gaya vertikal ( $F_y$ ),
- (b) Gaya horizontal ( $F_x$ ), dan
- (c) Momen ( $M$ ).



Gambar 2.8 Tumpuan jepit  
(Sumber: Gere dan Timoshenco, 1997: 236)

## 2.15 Beban

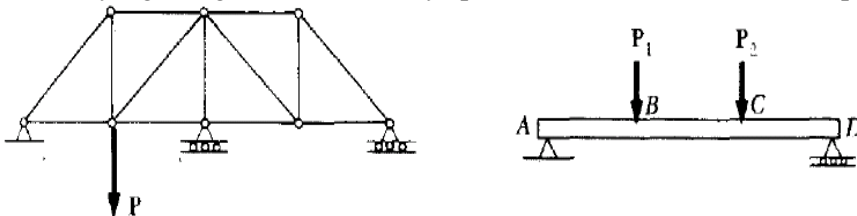
Beban atau muatan merupakan aksi/gaya yang mengenai struktur. Beban yang terdistribusi pada benda memiliki dua arah distribusi. Beban positif apabila beban bekerja ke bawah dan negatif apabila beban bekerja ke atas (Mott, 1985). Beban merupakan gaya gravitasi yang bekerja pada suatu massa suatu benda dirumuskan sebagai berikut:

$$W = \rho V g \dots \dots \dots (2.16)$$

Beban dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan cara bekerja dari beban tersebut, yaitu:

- a. Beban titik atau beban terpusat

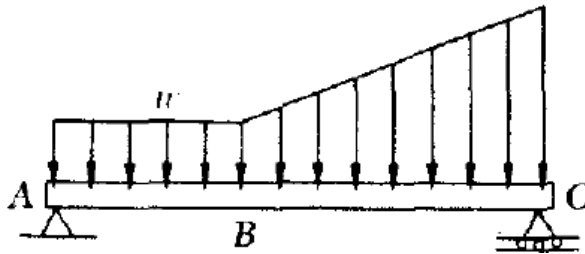
Beban yang mengenai struktur hanya pada satu titik tertentu secara terpusat.



Gambar 2.9 Beban Terpusat  
(Sumber: Gere dan Timoshenco, 1997: 236)

b. Beban terdistribusi

Beban yang mengenai struktur tidak terpusat tetapi terdistribusi, baik distribusi merata ataupun tidak merata, sebagai contoh beban air, angin, dan tekanan.

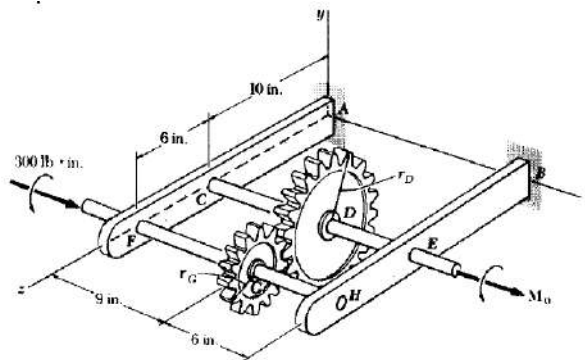


Gambar 2.10 Beban Terdistribusi  
(Sumber: Gere dan Timoshenco, 1997: 236)

c. Beban momen

Beban momen dapat berupa beban titik pada konstruksi yang menimbulkan momen atau momen yang memang diterima oleh konstruksi seperti momen puntir (torsi) pada poros. Beban torsi terjadi pada gaya yang bekerja pada porosnya dengan persamaan sebagai berikut:

$$\tau = F \times r \dots \dots \dots (2.17)$$

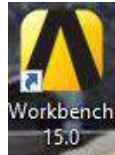


Gambar 2.11 Torsi pada poros transmisi  
(Sumber: Gere dan Timoshenco, 1997: 236)

## 2.16 Prosedur Analisis Tegangan dan Deformasi Menggunakan *Software Ansys Workbench 15.0*

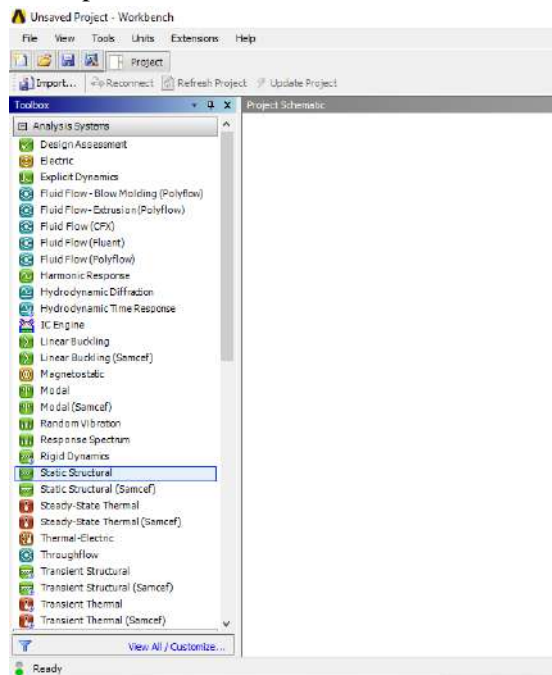
Setelah data-data seperti dimensi desain 3D mesin pengemas, *material properties* dan perhitungan beban telah tersedia selanjutnya yaitu analisis tegangan dan deformasi pada desain 3D tersebut menggunakan *software Ansys Workbench 15.0*. Berikut langkah-langkah analisis menggunakan *software Ansys Workbench 15.0*:

1. Buka aplikasi *Ansys Workbench 15.0*.



Gambar 2.12 Logo Aplikasi Ansys Workbench 15.0

2. Pilih *Static Structural* pada *Toolbox*.



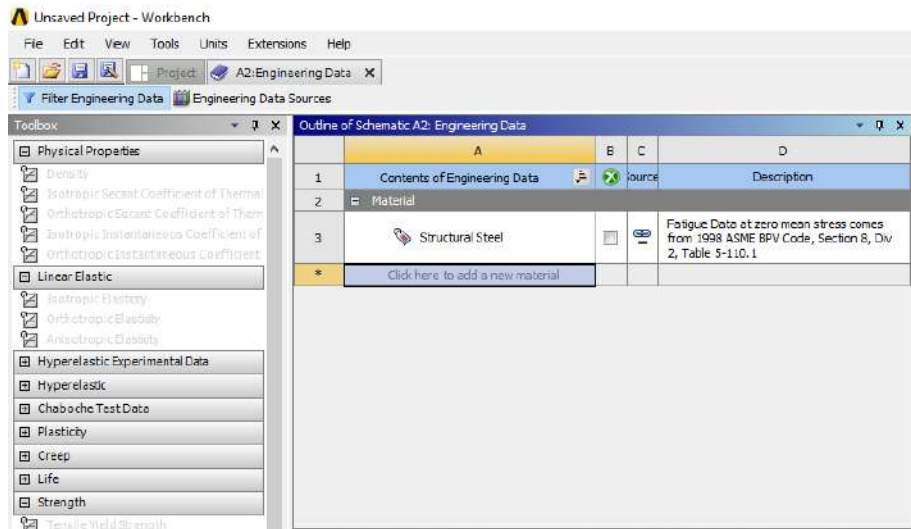
Gambar 2.13 Halaman beranda Workbench

3. Pilih *Engineering Data*.



Gambar 2.14 Menu pilihan aplikasi

4. Buat Material baru sesuai material yang akan digunakan dengan memilih kotak yang bertuliskan “*click here to add new material*”, kemudian masukkan *engineering data* sesuai dengan material properties yang digunakan.



Gambar 2.15 Menu pemilihan material

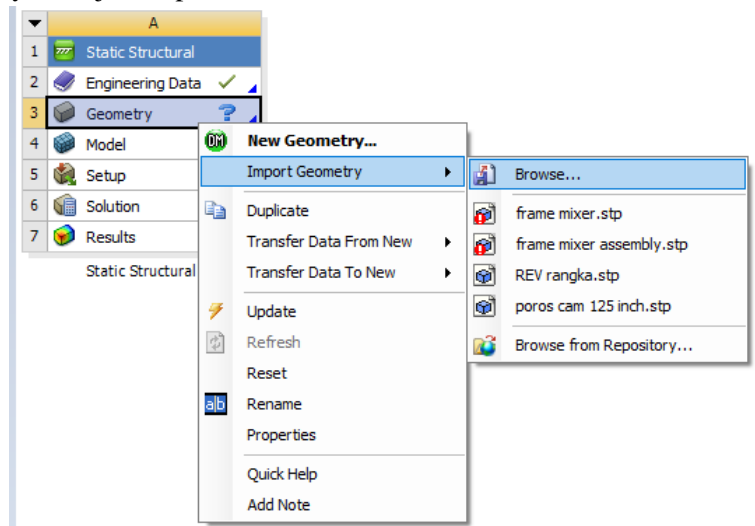
5. Pada kolom yang berwarna kuning masukkan material properties yang digunakan seperti *density*, *young modulus*, *poisson ratio*, *yield strength*.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Density		kg m <sup>-3</sup>		
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion				
6	Isotropic Elasticity				
7	Derive from	Young's M...			
8	Young's Modulus		Pa		
9	Poisson's Ratio				
10	Bulk Modulus		Pa		
11	Shear Modulus		Pa		
12	Tensile Yield Strength		Pa		
13	Compressive Yield Strength		Pa		
14	Tensile Ultimate Strength		Pa		
15	Compressive Ultimate Strength		Pa		

Gambar 2.16 Menu Pengisian spesifikasi material

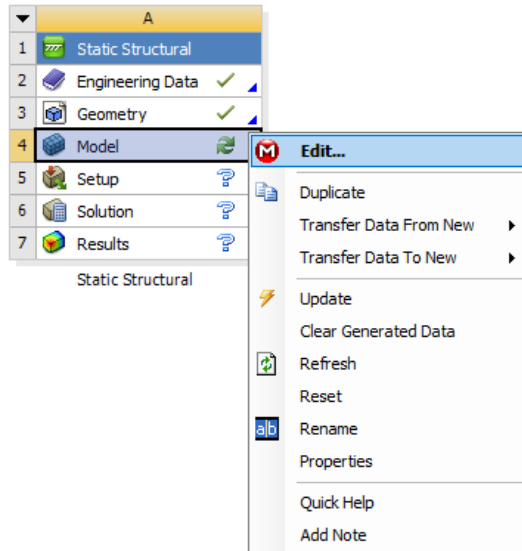
6. Jika material properties telah dimasukkan pada *engineering data*, selanjutnya memasukkan *geometry* atau desain 3D yang akan dianalisis dengan mengimpor

file desain 3D yang telah dibuat menggunakan *software CAD* kemudian diubah formatnya menjadi *.stp*.



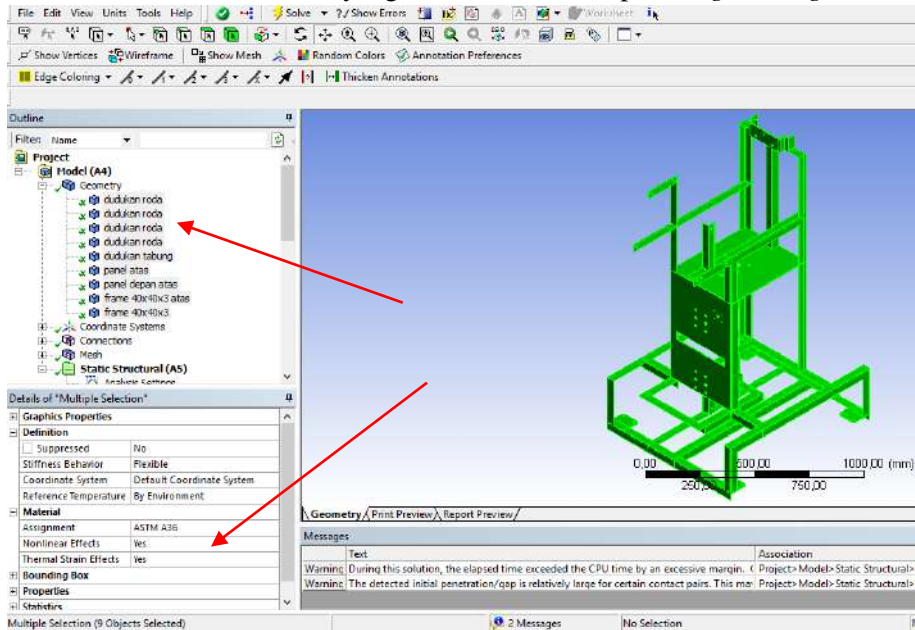
Gambar 2.17 Menu *import geometry*

7. Setelah memasukkan *geometry* selanjutnya buka model kemudian pilih *edit*



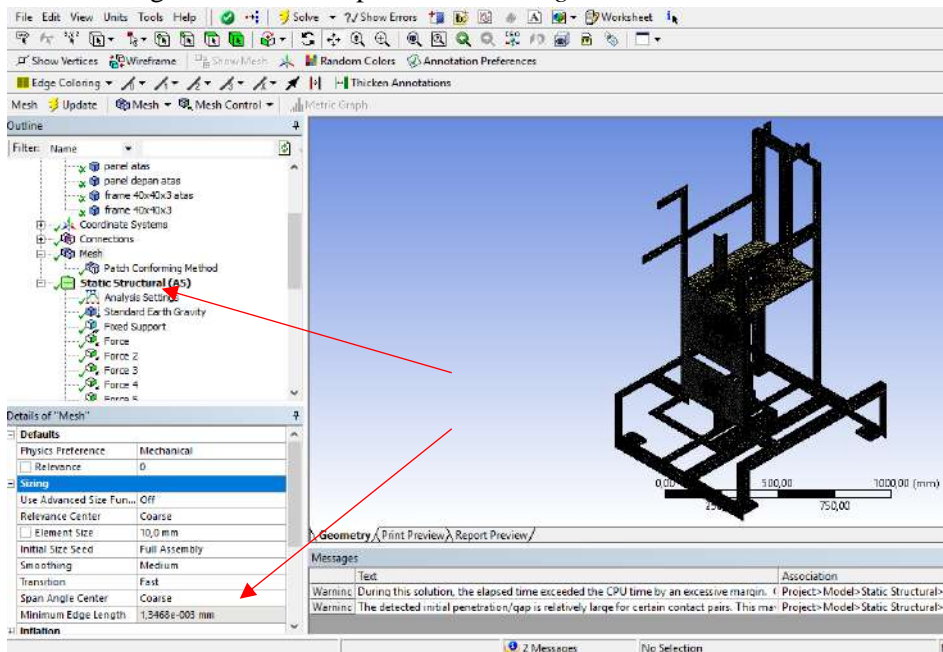
Gambar 2.18 Menu *edit model*

8. Pilih material sesuai material yang telah dimasukkan pada *engineering data*.



Gambar 2.19 Menu pemilihan material

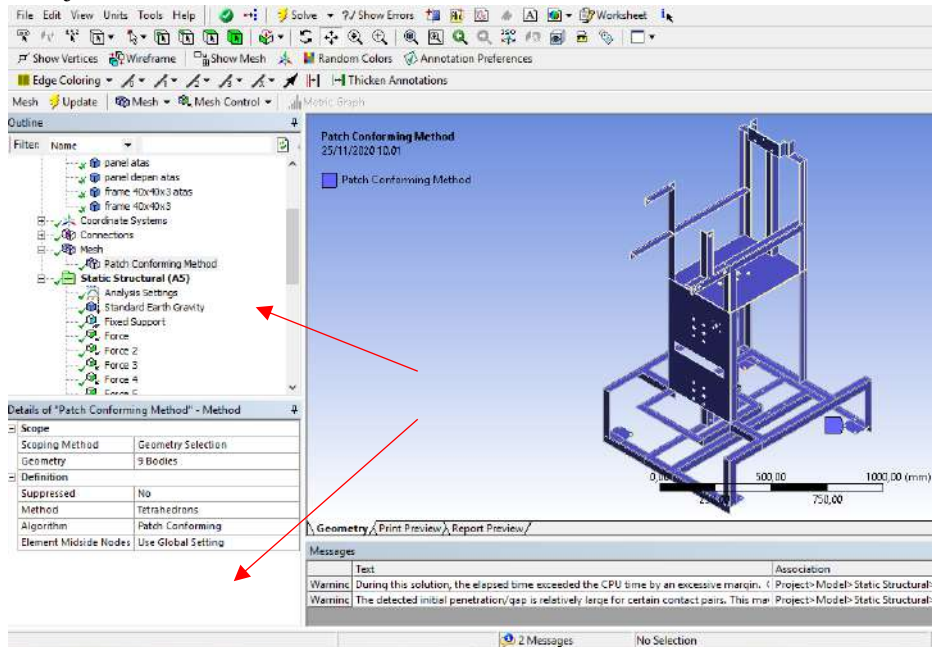
9. Selanjutnya yaitu melakukan *meshing* pada desain 3D dengan meng-klik *mesh* serta mengisi ukuran *mesh* pada kolom *sizing*.



Gambar 2.20 Proses *meshing*

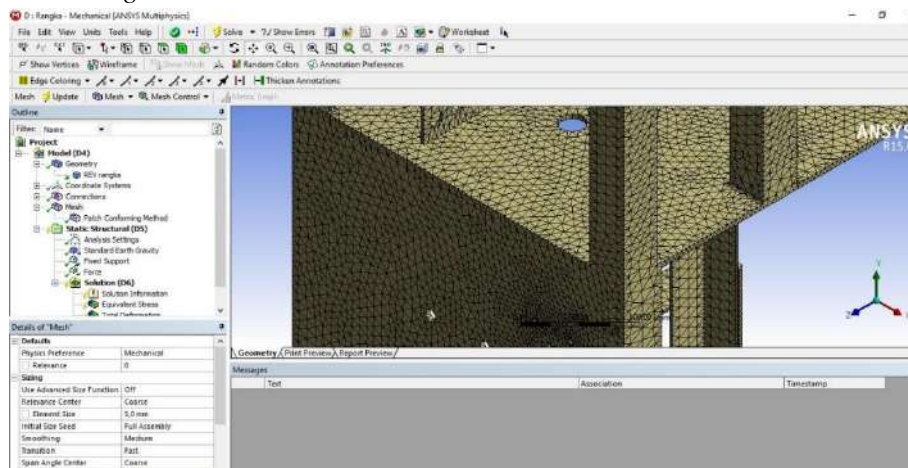


## 10. Pilih jenis *mesh* Tetrahedron



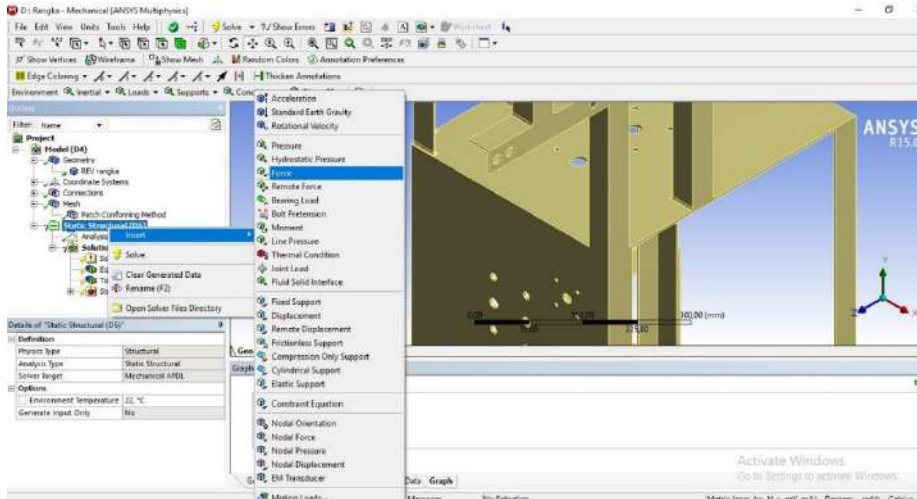
Gambar 2.21 Menu pemilihan jenis *mesh*

## 11. Kemudian *generate mesh*.



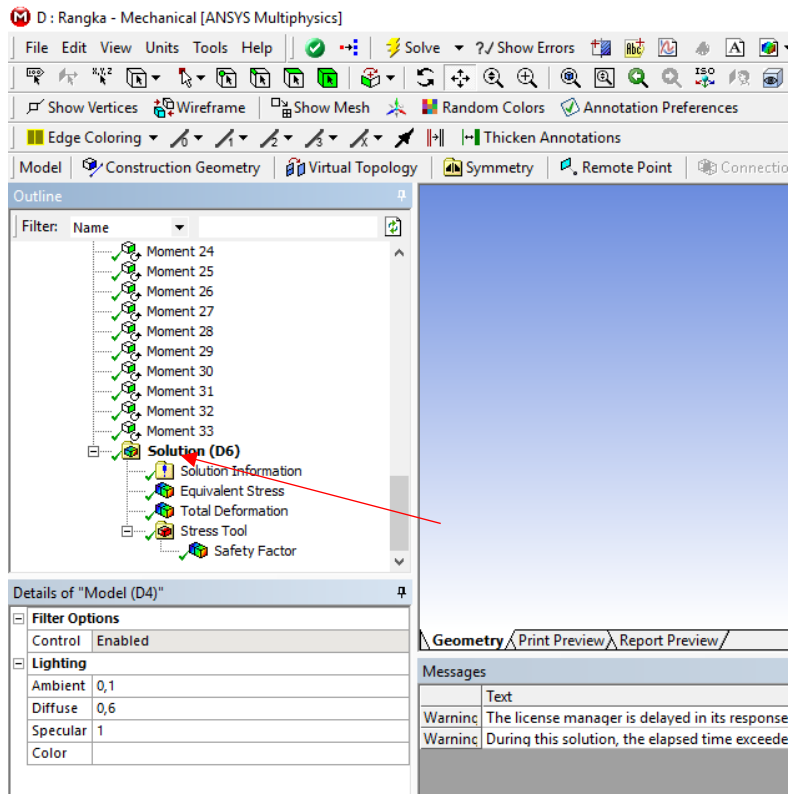
Gambar 2.22 Menu *generate mesh*

## 12. Setelah *meshing* kemudian input tumpuan dan beban yang terjadi seperti gravitasi, beban komponen, momen dan lain-lain pada *Static Structural*.

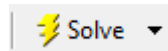


Gambar 2.23 Menu input tumpuan dan beban

13. Setelah memasukkan beban yang terjadi selanjutnya pilih solution lalu masukkan *Equivalent Stress*, *Total Deformation* dan *Safety Factor*.

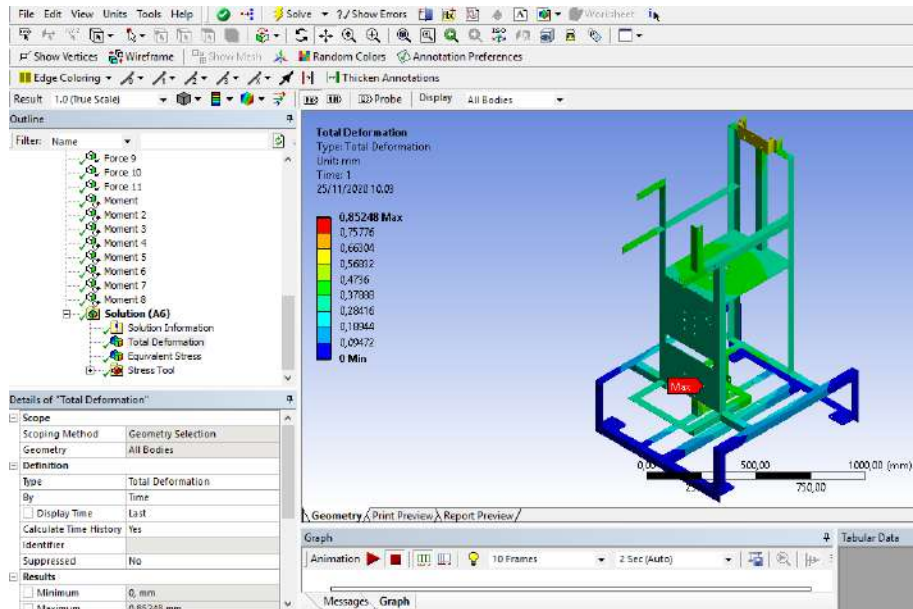
Gambar 2.24 Menu pemilihan *solution*

14. Kemudian klik *Solve*, tunggu sampai proses *solving* selesai.



Gambar 2.25 Lambang *solve*

15. Hasil keluar.

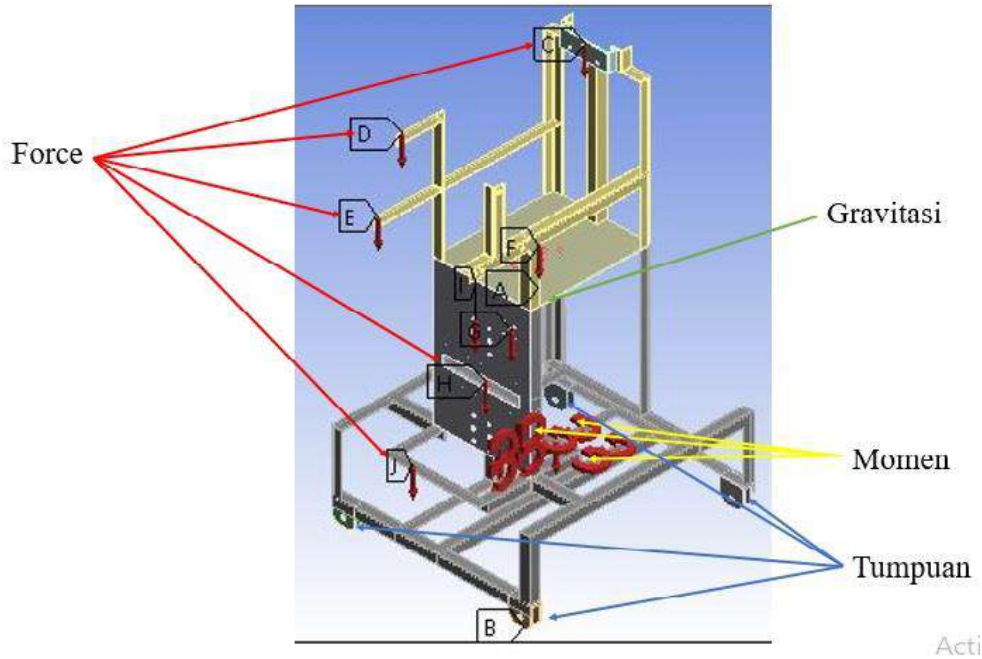


Gambar 2.24 Keluaran hasil *meshing*.

## 2.17 Hasil Simulasi pada variasi rangka, *cam shaft* dan lengan *sealer*

### 2.17.1 Komponen Rangka

Pada rangka yang digunakan sebagai komponen dari mesin pengemas berkapasitas 2600 pcs/jam menggunakan material besi siku ASTM A36 dengan bahan sepanjang 17.560 mm atau 17,5 m yang memerlukan 2,95 batang besi siku sepanjang 6 meter. Sebelum proses simulasi menggunakan *software Ansys Workbench 15.0* perlu dilakukan pengaturan terkait tumpuan, data material, beban yang diberikan. Data material berupa *material properties* dari material besi ASTM A36.



Gambar 2.25 Pemberian beban pada rangka

Jenis tumpuan yang digunakan pada rangka mesin pengemas yaitu tumpuan jepit atau *Fixed Support* yang terletak di bagian bawah mesin. Untuk jenis mesh yang digunakan pada variasi rangka yaitu Mesh Tetrahedron dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 2.3 Ukuran mesh pada variasi komponen rangka

Rangka (mm)	40x40x3	40x40x4	40x40x5	50x50x3	50x50x4	50x50x5
Size (mm)	10	10	10	10	10	10
Element	166248	141162	147317	180242	159373	163227
Nodes	341681	295839	302373	367875	326783	329782

Selain itu, mesin pengemas juga diberikan beberapa beban dan momen yang terdiri dari beban motor listrik, *gearbox*, poros cam serta momen pada lubang baut dudukan *gearbox*, dudukan motor listrik dan dudukan *bearing* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.25. Perhitungan beban yang diberikan pada rangka mesin pengemas menggunakan persamaan 2.18 s.d. 2.23.

$$W = m \cdot g \dots\dots\dots (2.18)$$

$$W_{ra} = W_t + W_{rp} + W_{pr} + W_{ap} + W_b \dots\dots\dots (2.19)$$

$$W_{rt} = W_{ro} + W_{ms} + W_{ls} + W_{sb} + W_b \dots\dots\dots (2.20)$$

$$W_{rb} = W_{pc} + W_m + W_{gb} + W_{cf} \dots\dots\dots (2.21)$$

$$W_{cf} = W_{cf1} + W_{cf2} \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\tau = F.r \dots\dots\dots (2.23)$$

Tabel 2.4 Hasil perhitungan beban pada rangka

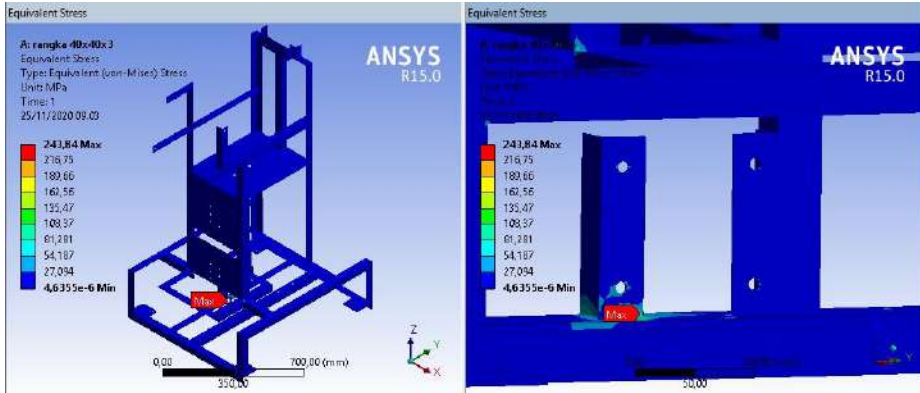
<b>Part</b>	<b>Nilai</b>	<b>Part</b>	<b>Nilai</b>
$W_{gb}$	98 N	$W_{pb}$	39,2 N
$W_{ro}$	31,56 N	$W_b$	38,22 N
$W_{ms}$	10,78 N	$W_{pc}$	52,92 N
$W_{ls}$	28,91 N	$W_m$	166,6 N
$W_{sb}$	33,22 N	$W_{cf1}$	11,76 N
$W_t$	186,2 N	$W_{cf2}$	16,66 N
$W_{pr}$	29,4 N	$\tau_b$	9,8 Nm
$W_{dp}$	18,62 N	g	9,806 m/s <sup>2</sup>
$W_{rp}$	29,4 N		

Simulasi yang dilakukan pada komponen rangka mesin pengemas menggunakan *software Ansys Workbench 15.0* dengan variasi ketebalan besi siku dilakukan sebanyak enam kali dan menghasilkan data sebagai berikut:

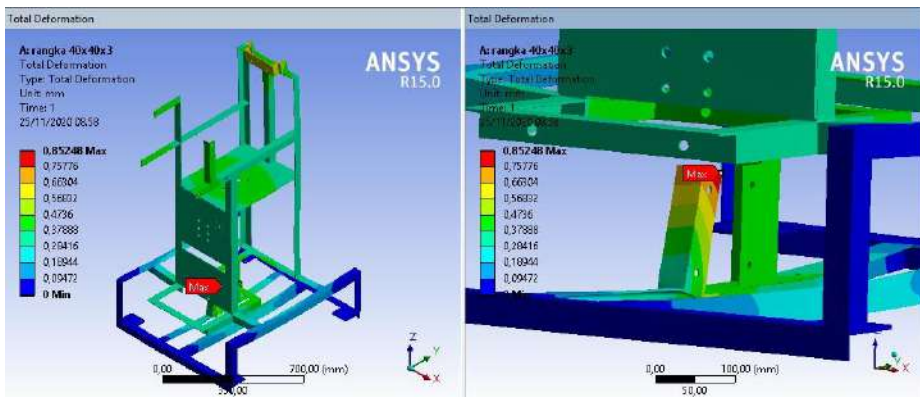
Tabel 2.5 Hasil simulasi pada rangka material ASTM A36

Komponen	Dimensi (mm)	$\sigma_{von}$ (Mpa)	$\delta$ (mm)	$Sf$	Biaya (Rp)
Rangka 1	40x40x3	243,84	0,85	1,02	251.120
Rangka 2	40x40x4	158,86	0,49	1,57	324.120
Rangka 3	40x40x5	106,27	0,38	2,35	411.720
Rangka 4	50x50x3	205,57	0,7	1,21	370.840
Rangka 5	50x50x4	141,06	0,37	1,77	414.698
Rangka 6	50x50x5	99,25	0,25	2,51	544.405

Tabel 2.5 menunjukkan bahwa hasil analisis tegangan *von-mises* tertinggi terjadi pada rangka 1 yaitu sebesar 243,84 MPa dan tegangan terendah terjadi pada rangka 6 yaitu 99,25 MPa. Nilai deformasi hasil simulasi memperlihatkan bahwa nilai deformasi terkecil terdapat pada rangka 6 yaitu sebesar 0,25 mm dan deformasi terbesar terdapat pada rangka 1 yaitu sebesar 0,85 mm. *Safety factor* pada komponen rangka didapat nilai terkecil pada rangka 1 yaitu 1,02 dan nilai tertinggi didapatkan pada rangka 6 yaitu sebesar 2,51. Harga material pada komponen rangka didapatkan harga terendah pada Rangka 1 yaitu Rp. 251,120 dan harga tertinggi didapat pada rangka 6 dengan harga Rp. 544.405.



Gambar 2.26 Tegangan *von-mises* pada komponen rangka 1



Gambar 2.27 Deformasi pada komponen rangka 1

**2.17.2Komponen Poros Cam**

Pada poros *cam* yang digunakan sebagai komponen dari mesin pengemas berkapasitas 2600 *pcs*/jam menggunakan material besi silinder pejal berbahan ST 40 sepanjang 700 mm dan plat besi ASTM A36 setebal 15 mm sebagai cam. Sebelum proses simulasi menggunakan *software Ansys Workbench 15.0*, perlu dilakukan pengaturan terkait tumpuan, data material dan beban yang diberikan. Data material berupa *material properties* dari material besi ST 40 dan ASTM A36.

Jenis tumpuan yang digunakan pada poros cam yaitu tumpuan jepit atau *Fixed Support* yang terletak di titik B pada Gambar 2.10.4. Perhitungan beban yang diberikan pada poros cam menggunakan persamaan 2.24 s.d. 2.27 dengan kondisi komponen berotasi kemudian ditahan oleh *fixed support* pada kedua ujung poros. Hasil perhitungan gaya yang diberikan pada poros cam disajikan pada Tabel 2.6.

$$\tau_m = \frac{5252 \times P}{N} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\tau_{pc} = \frac{60 \times P}{2 \cdot \pi \cdot ns} \dots\dots\dots (2.25)$$



$$n_s = \frac{d_1}{d_2} n_m \dots\dots\dots (2.26)$$

$$F = \frac{\tau}{r} \dots\dots\dots (2.27)$$

Tabel 2.6 Hasil perhitungan beban pada poros *cam*

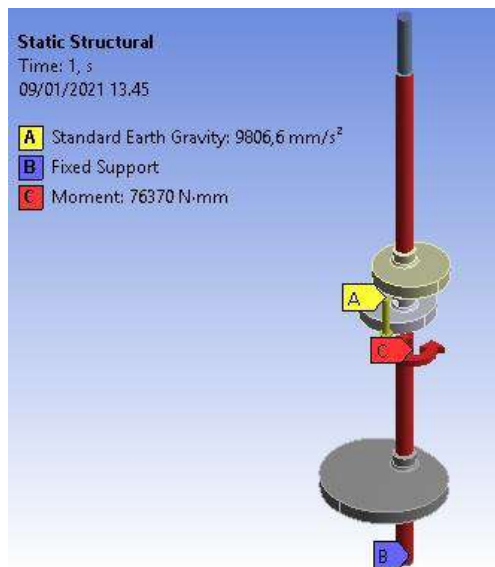
Part	Nilai
$g$	9,806 m/s <sup>2</sup>
$\tau_m$	76,37 Nm
$n_m$	1400 rpm
$n_s$	46,67 rpm

Untuk jenis *mesh* yang digunakan pada variasi poros *cam* yaitu *Mesh Tetrahedron* dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 2.7 Ukuran mesh pada variasi poros *cam*

Diameter poros (inch)	0,75	1	1,25
Size (mm)	3	3	3
Element	34489	42890	52805
Nodes	63063	78042	94525

Setelah mendapatkan hasil perhitungan manual beban yang akan diberikan terhadap poros *cam*, kemudian hasil perhitungan tersebut dimasukkan ke dalam simulasi seperti Gambar 2.28 berikut ini.



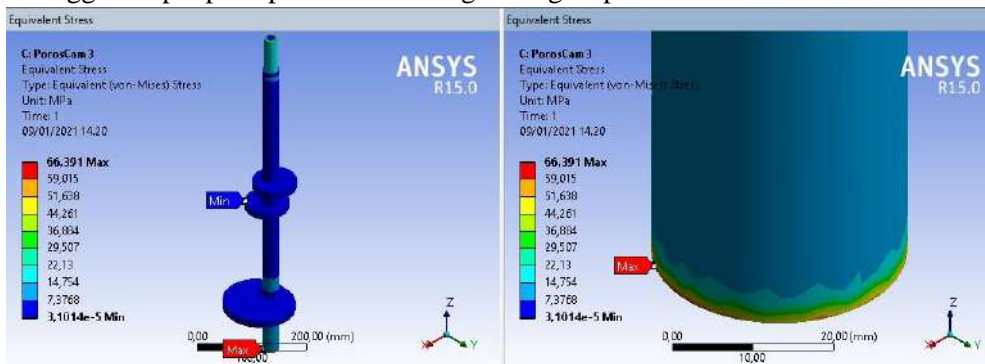
Gambar 2.28 Pemberian beban pada poros *cam*

Simulasi yang dilakukan pada komponen poros cam mesin pengemas menggunakan *software Ansys Workbench 15.0* dengan variasi diameter dilakukan sebanyak 3 kali dan menghasilkan data sebagai berikut:

Tabel 2.8 Hasil simulasi pada poros *cam* material ST40

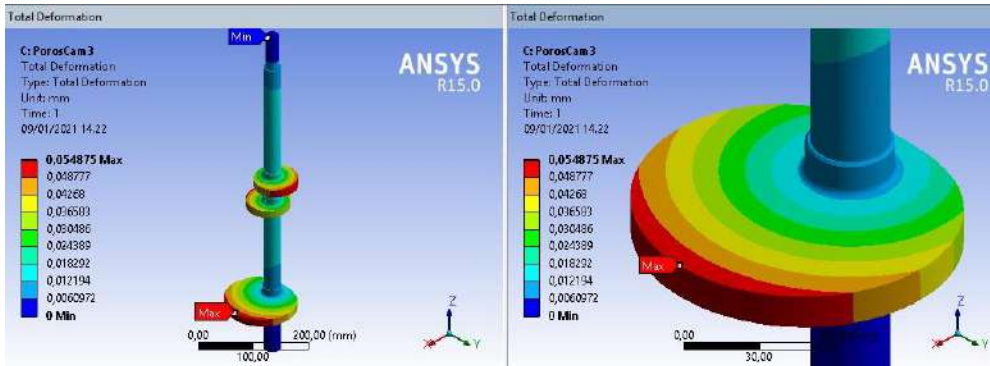
Komponen	Diameter poros (inch)	$\sigma_{von}$ (Mpa)	$\delta$ (mm)	$Sf$	Biaya (Rp)
Poros Cam 1	0.75	245,68	0,39	0,93	85.000
Poros Cam 2	1	112,85	0,13	2,03	105.000
Poros Cam 3	1.25	66,39	0,05	3,4	114.000

Seperti yang ditunjukkan Tabel 2.10.6 bahwa hasil analisis tegangan tertinggi terdapat pada komponen poros cam 1 yaitu sebesar 245,68 MPa dan tegangan terendah terdapat pada komponen poros cam 3 yaitu sebesar 66,39 MPa seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10.5. Nilai hasil simulasi deformasi terbesar terdapat pada poros cam 1 dengan nilai 0,39 mm dan deformasi terkecil terdapat pada poros cam 3 yaitu sebesar 0,05 mm yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9. *Safety Factor* pada komponen poros cam terbesar terjadi pada poros cam 3 yaitu sebesar 3,4 sedangkan yang terkecil terdapat pada poros cam 1 yakni 0,93. Harga material pada komponen poros cam didapatkan harga terendah pada poros cam 1 yakni Rp 85.000 dan harga tertinggi didapat pada poros cam 3 dengan harga Rp 114.000.



Gambar 2.29 Hasil simulasi tegangan pada poros cam 3

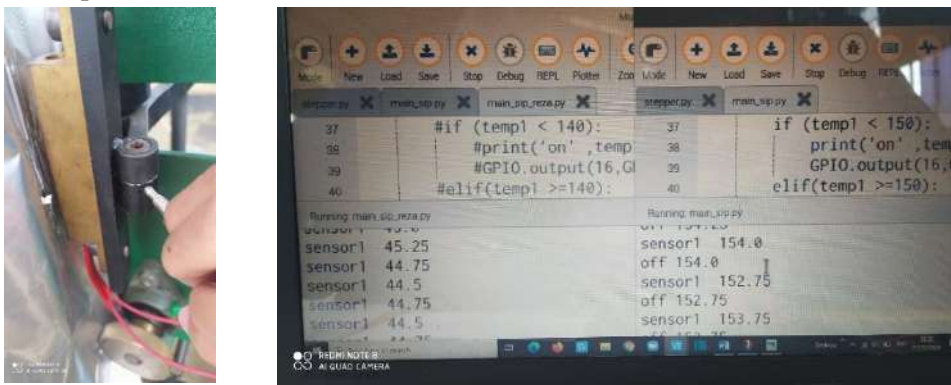




Gambar 2.30 Hasil simulasi deformasi pada poros cam 3.

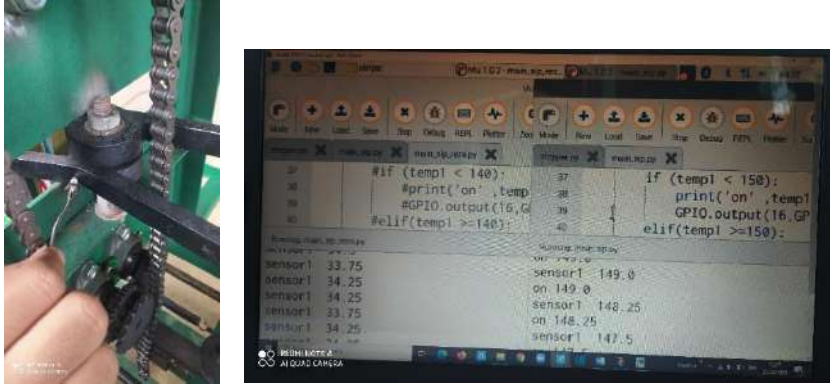
### 2.17.3 Komponen Lengan *sealer* Vertikal.

Pada lengan *sealer* vertikal yang digunakan sebagai komponen dari mesin pengemas berkapasitas 2600 pcs/jam menggunakan material plat besi ASTM A36 sepanjang 325 mm. Sebelum proses simulasi menggunakan *software Ansys Workbench 15.0* perlu dilakukan pengukuran terkait beban dan termal yang diberikan pada komponen.



Gambar 2.31 Pengukuran temperatur pada ujung lengan *sealer*

Panas tertinggi yang terukur pada ujung lengan *sealer* yaitu sebesar 45,25 °C sesuai dengan Gambar 2.10.7. Pengukuran yang dilakukan menggunakan *thermocouple* yang dihubungkan dengan *Raspberry Pi*. Gambar 2.10.8 menunjukkan suhu tertinggi yang terukur pada bagian luar tumpuan lengan *sealer* sebesar 34,25 °C



Gambar 2.32 Pengukuran temperatur pada bagian luar tumpuan lengan *sealer*.

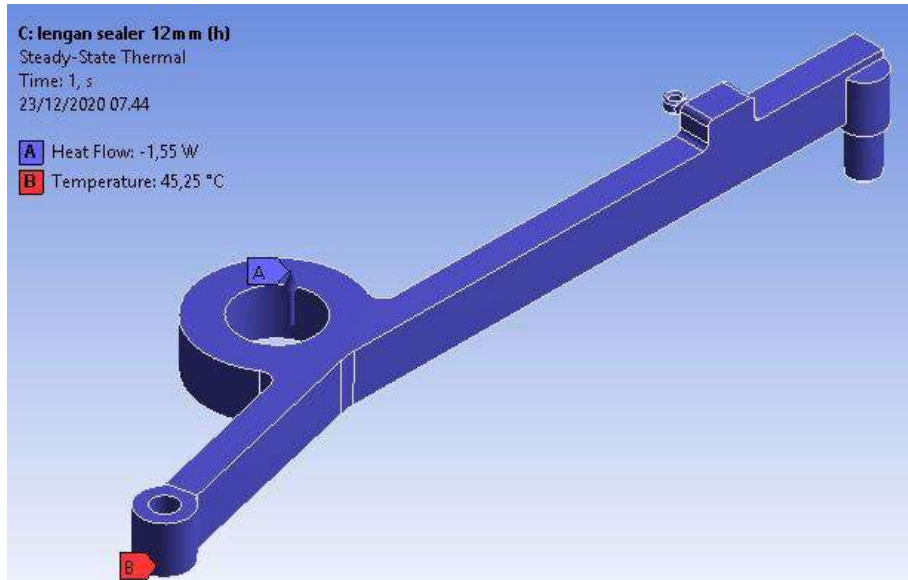
Untuk mengetahui besar nilai laju aliran panas (*Heat Flow*) perlu dilakukan perhitungan secara manual. Perhitungan dilakukan menggunakan rumus laju aliran panas sebagai berikut:

$$H = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

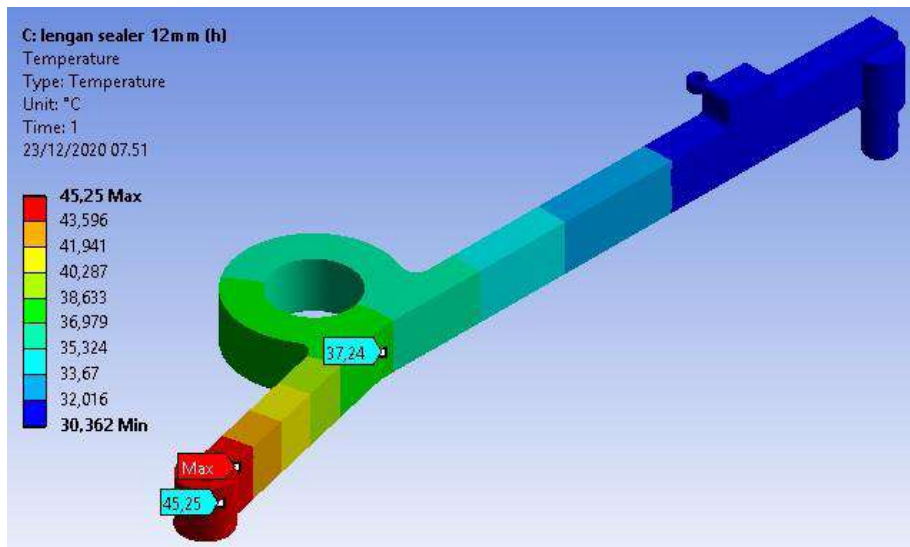
$$H = \frac{50 \frac{W}{mK} \times 2,4 \cdot 10^{-4} m^2 \times (45,25 - 34,25)}{8,5 \cdot 10^{-2} m^2}$$

$$H = 1,55 \frac{J}{s} \text{ atau Watt}$$

Setelah itu dilakukan penyesuaian menggunakan Ansys Workbench 15.0 dengan memasukkan hasil perhitungan pada simulasi. Diperoleh perbedaan terkait hasil simulasi dengan hasil pengukuran menggunakan termokopel. Pada hasil simulasi diperoleh temperatur sebesar 37,24 °C yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.9, sedangkan pada hasil pengukuran sebesar 34,25 °C. Dari hasil tersebut terdapat selisih antara hasil perhitungan manual dengan hasil simulasi yaitu 2,9 °C atau sebesar 8 %. Hal ini cukup kecil sehingga nilai *heat flow* dapat digunakan.

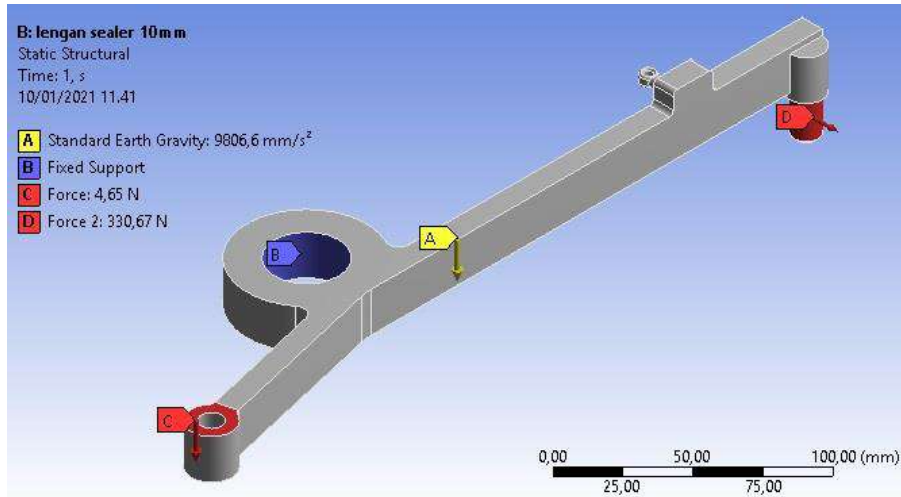


Gambar 2.33 Pemberian termal pada simulasi



Gambar 2.34 Hasil simulasi temperatur

Selanjutnya perlu dilakukan pengaturan terkait tumpuan, data material, beban yang diberikan. Selain termal berupa panas yang berasal dari *sealer* plastik yang bersinggungan langsung lengan *sealer* juga diberikan beberapa beban struktural. Pembebanan terjadi dalam kondisi ketika komponen tertahan oleh *fixed support*. Data material berupa *material properties* dari material besi ASTM A36.



Gambar 2.35 Pemberian beban pada lengan *sealer*.

Jenis tumpuan yang digunakan pada lengan *sealer* yaitu tumpuan tetap atau *Fixed Support* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.10.11. Untuk jenis mesh yang digunakan pada variasi lengan *sealer* yaitu Mesh Tetrahedron dengan rincian sebagai berikut.

Tabel 2.9 Ukuran mesh pada variasi lengan sealer

<b>Tebal plat (mm)</b>	10	12	14
<b>Size (mm)</b>	5	5	5
<b>Element</b>	3343	3394	3470
<b>Nodes</b>	6540	6684	6830

Selain itu lengan *sealer* juga diberikan beberapa beban, momen dan termal yang terdiri dari beban pegas, *sealer*, momen pada lubang dudukan lengan *sealer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.11, serta *thermal* atau suhu panas dari komponen *sealer* yang bersinggungan langsung dengan lengan *sealer* seperti pada Gambar 2.10.9.

Tabel 2.10 Hasil perhitungan beban pada lengan sealer

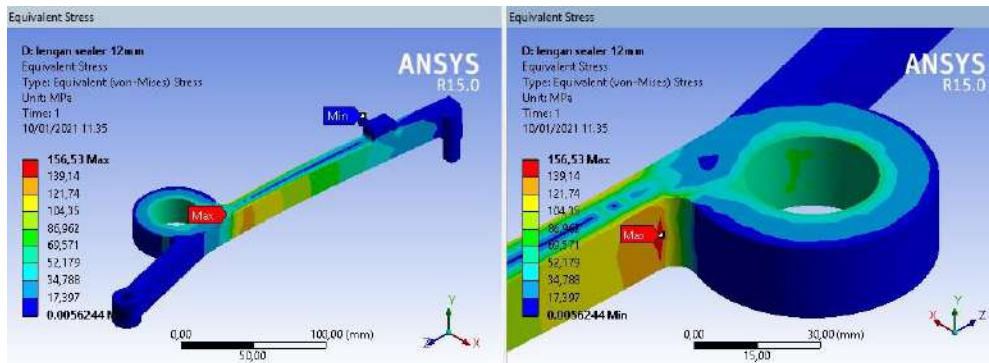
<b>Part</b>	<b>Nilai</b>
g	9,806 m/s <sup>2</sup>
F <sub>1</sub>	4,65 N
F <sub>2</sub>	330,67 N
Suhu	45,25 °C
<i>Heat Flow 1</i>	1,29 W
<i>Heat Flow 2</i>	1,55 W
<i>Heat Flow 3</i>	1,81 W

Simulasi yang dilakukan pada komponen lengan *sealer* mesin pengemas menggunakan *software Ansys Workbench 15.0* dengan variasi ketebalan dilakukan sebanyak 3 kali dan menghasilkan data sebagai berikut:

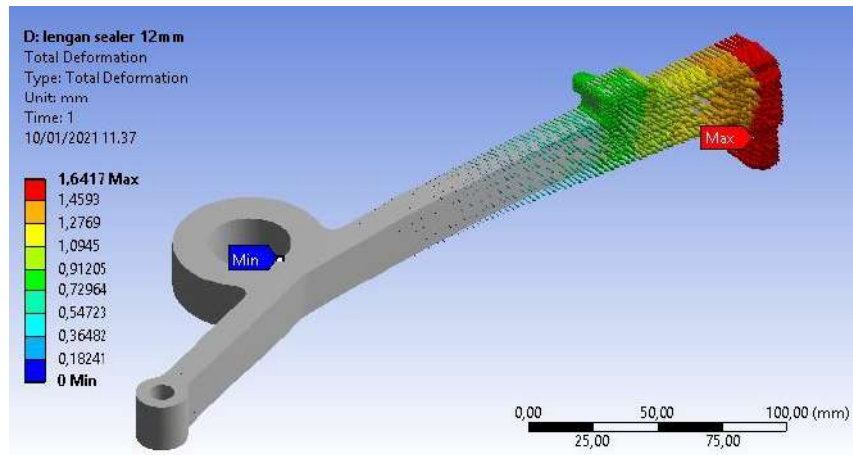
Tabel 2.11 Hasil simulasi pada lengan *sealer* vertikal

Komponen	Ketebalan (mm)	$\sigma_{\text{von}}$ (Mpa)	$\delta$ (mm)	<i>Sf</i>	Biaya (Rp)
Lengan 1	10	201,81	2,8	1,23	82.000
Lengan 2	12	156,53	1,6	1,59	95.000
Lengan 3	14	120,97	1,04	2,06	110.000

Seperti yang ditunjukkan Tabel 2.10.9 bahwa hasil analisis tegangan tertinggi terdapat pada komponen lengan 1 yaitu sebesar 201,81 MPa dan tegangan terendah terdapat pada komponen lengan 3 yaitu sebesar 120,97 MPa. Hasil simulasi untuk nilai deformasi terbesar terdapat pada lengan 1 yaitu sebesar 2,8 mm dan deformasi terkecil terdapat pada lengan 3 yaitu sebesar 1,04 mm. *Safety Factor* pada komponen lengan *sealer* terbesar terjadi pada lengan 3 yaitu sebesar 2,06 sedangkan yang terkecil terdapat pada lengan 1 yakni 1,23. Harga material pada komponen lengan *sealer* didapatkan harga terendah pada lengan 1 yakni Rp 82.000 dan harga tertinggi terdapat pada lengan 3 yakni dengan harga Rp 110.000.



Gambar 2.36 Hasil simulasi tegangan pada lengan *sealer 2*



Gambar 2.37 Hasil simulasi deformasi pada lengan *sealer* 2

### **BAB III**

## **PERANCANGAN SISTEM KONTROL MESIN PENGEMAS PRODUK SERBUK**

### **3.1 Pengantar**

Teknologi berkembang dengan sangat pesat di era industri 4.0, yang mana mempengaruhi berbagai aspek bidang kehidupan. Teknologi menjadi hal yang sangat berguna bagi kehidupan manusia dikarenakan membuat aktivitas dan pekerjaan manusia menjadi lebih mudah dan efisien. Pengembangan teknologi banyak dilakukan saat ini, sehingga memunculkan inovasi teknologi yang semakin efisien dan canggih. Proses peningkatan teknologi terjadi hampir di semua sektor, tak terkecuali pada sektor industri (Huda dkk, 2017:577), baik industri skala kecil, sedang, maupun besar. Perkembangan yang pesat dari teknologi sensor, interkoneksi, dan analisis data memunculkan gagasan untuk mengintegrasikan seluruh teknologi tersebut ke dalam berbagai bidang industri (Prasetyo dan Sutopo, 2018: 17). Hal ini ditandai dengan digunakannya mesin-mesin yang menggunakan teknologi otomatis di dalam suatu industri. Teknologi yang digunakan dalam sebuah industri menjadikan produksi menjadi lebih cepat, kompleks, dan efisien. Salah satu industri yang tidak luput dari penggunaan teknologi otomatis yaitu industri makanan.

Industri makanan banyak ditemukan di Indonesia, mulai dari skala besar, seperti perusahaan besar hingga skala kecil seperti UMKM dan pedagang kaki lima. Umumnya perusahaan skala besar menggunakan peralatan dan teknologi modern yang canggih dan berharga mahal. Sedangkan untuk skala kecil menggunakan teknologi sederhana. Sebagian besar industri skala kecil dan menengah, kegiatan proses produksi menggunakan mesin konvensional (Susandi dkk, 2016:33). Industri skala kecil dan menengah menggunakan mesin atau peralatan konvensional yang dioperasikan manusia. Walaupun menggunakan peralatan konvensional, industri skala kecil yang meliputi UMKM dan pedagang kaki lima melakukan setiap tahapan proses produksi. Banyak tahapan yang dilakukan dalam proses produksi industri makanan, salah satunya yaitu tahap pengemasan.

Pengemasan merupakan tahapan melaminasi atau mengepak produk-produk bahan makanan, minuman, ataupun sejenisnya untuk melindungi produk dari kerusakan yang ditimbulkan oleh pengaruh luar. Menurut Mukhtar dan Nurif (2015: 181), kemasan adalah suatu wadah yang menempati suatu barang agar aman, menarik, mempunyai daya pikat dari seorang yang ingin membeli suatu produk. Pengemasan harus mengacu kepada kebutuhan dan keinginan konsumen yang selalu berubah mengikuti selera dan kemajuan zaman. Kemasan produk yang baik memberikan manfaat kepada produsen maupun konsumen (Wahyudie dkk, 2016: 59).

Proses pengemasan di industri kecil, termasuk UMKM masih menggunakan proses pengemasan manual sehingga dibutuhkan mesin pengemas otomatis agar proses produksi menjadi semakin cepat dan efisien. Teknologi mesin pengemas di Indonesia saat ini memiliki mekanisme yang rumit, sehingga menyebabkan harga mesin menjadi mahal, yang tidak dapat dijangkau oleh pelaku UMKM dan industri kecil. Mesin pengemas berbiaya rendah perlu dikembangkan yang mana bisa manfaat bagi industri kecil (Saraf dkk, 2016:424). Hal tersebut terjadi karena mesin pengemas yang diproduksi tidak hanya diciptakan untuk produk tertentu saja, melainkan untuk produk lainnya seperti makanan ringan dan lain sebagainya.

Kushartanto, dkk (2019:58), sistem kontrol banyak digunakan untuk memudahkan kerja mesin, meningkatkan hasil produksi, untuk menekan biaya keluaran, dan memperbanyak keuntungan dari hasil proses produksi. Sistem kontrol berupa interkoneksi komponen dengan membentuk konfigurasi sistem yang akan memberikan respon sistem yang diinginkan. Komponen-komponen tersebut dapat dikendalikan oleh hubungan *input-output* yang merupakan hubungan sebab akibat dari suatu proses, yang pada gilirannya merupakan pengolahan sinyal *input* untuk memberikan variabel sinyal *output*. Sistem kontrol dibagi menjadi 2 jenis, yaitu sistem kontrol loop terbuka dan sistem kontrol loop tertutup. Salah satu jenis kontrol yang umum digunakan ialah *Raspberry Pi*.

*Raspberry Pi* merupakan sebuah komputer yang berukuran kecil yang dapat digunakan seperti sebuah *personal computer* (PC). Dengan memanfaatkan fitur GPIO (*General Purpose Input Output*), *Raspberry Pi* dapat mengendalikan sistem operasi seperti halnya alat pengontrol PLC (*Programmable Logic Controller*). *Raspberry Pi* dapat diprogram dengan bahasa pemrograman, salah satunya bahasa pemrograman *Python*. *Raspberry Pi* telah menerapkan teknologi jaringan *wireless* dan *wire* yang dapat dihubungkan dengan perangkat seperti PC, laptop, dan *smartphone*, yang menunjang perkembangan dunia teknologi. *Raspberry Pi* juga digunakan sebagai *server* berbasis web (*web server*), yang nantinya akan difungsikan sebagai sistem kontrol atau *remote* (Sitohang, 2015:746). Penggunaan teknologi *web* saat ini dapat diaplikasikan sebagai sistem kontrol dan *monitoring*, yang digunakan untuk mengendalikan peralatan elektronika yang terdapat pada sebuah mesin, sehingga *user* cukup mengontrol dari PC atau *smartphone* yang terhubung dengan jaringan internet. Dalam hal ini pengontrolan menggunakan *Raspberry Pi* memiliki beberapa keunggulan seperti *low power* dan relatif mudah apabila dihubungkan dengan *web server* dibandingkan dengan mikrokontroler. Dengan memanfaatkan *Raspberry Pi* sebagai pusat kontrol tentunya dapat diprogram melalui PC untuk melakukan pengendalian sistem kontrol yang akan dibuat.

Salah satu pemanfaatan sistem kontrol dan otomasi banyak ditemui pada mesin-mesin yang terdapat di perusahaan besar, termasuk diantaranya mesin pengemas. Mesin pengemas yang terdapat di perusahaan besar umumnya



menggunakan kontrol PLC yang memiliki harga lebih mahal daripada *Raspberry Pi*. PLC jenis modular tidak dapat dipasang secara langsung pada perangkat yang memerlukan *power* tinggi seperti motor listrik, dikarenakan *output* PLC memiliki kemampuan yang terbatas (Kemendikbud, 2013:25). Untuk itu perlu dipasang perangkat penguat yang disebut *buffer*. Selain itu, dalam Naya (2017:121), penggunaan pada lingkungan panas yang tinggi, menyebabkan vibrasi yang tinggi yang dapat merusak PLC. Hal ini tentu saja menjadi kekurangan tersendiri, yang mana tidak tahan terhadap suhu yang panas dan efek guncangan serta banyaknya vendor penyedia PLC dengan spesifikasi yang berbeda-beda, membuat penentuan jenis PLC yang tepat memerlukan banyak pertimbangan. Mengkombinasikan mesin pengemas yang sudah ada dengan menggunakan sistem kontrol *Raspberry* merupakan salah satu inovasi sekaligus solusi menjadikan mesin pengemas lebih murah, handal, dan efisien, serta dapat dikendalikan dengan menggunakan jaringan internet melalui sebuah PC atau laptop. Oleh karena itu, berdasarkan uraian di atas serta keinginan penulis untuk memberikan salah satu solusi terhadap kebutuhan yang ada, berupa ide penggunaan sistem kontrol *Raspberry* untuk mengatur kerja dari sistem pengemasan pada mesin pengemas.

## **3.2 Pengertian**

### **3.2.1 Pengemasan**

Pengemasan disebut juga pembungkusan, pewadahan, atau pengepakan. Pengemasan adalah teknologi dalam mewadahi atau melindungi produk agar siap untuk didistribusikan, disimpan, dijual, atau digunakan oleh konsumen akhir. Pengemasan juga mengacu pada proses mendesain, evaluasi, dan memproduksi kemasannya. Dengan demikian pengemasan juga merupakan suatu sistem terkoordinasi dalam menyiapkan barang untuk transportasi, pergudangan, logistik, penjualan, dan penggunaan akhir.

Menurut Marwati, dkk (2019: 664), fungsi kemasan secara umum yaitu: (1) mewadahi produk selama proses distribusi (2) melindungi dan mengawetkan produk (3) sebagai identitas produk (4) memperluas pemasaran produk (5) menambah daya tarik calon pembeli (6) sebagai sarana informasi dan iklan dan (7) memberi kenyamanan bagi pemakai. Pada mesin ini pengemasan yang dimaksud adalah pengemasan olahan produk serbuk ke dalam plastik untuk selanjutnya ditutup dengan *di press* menggunakan *sealing*, yang kesemuanya dikerjakan dan dikontrol secara otomatis dengan menggunakan *Raspberry Pi* yang digunakan pada mesin pengemas.

### **3.2.2 Mesin Pengemas**

Pengemasan adalah melaminasi atau mengepak produk-produk bahan makanan minuman atau sejenisnya untuk melindungi produk dari kerusakan yang ditimbulkan oleh udara. Pada dasarnya mesin pengemas berfungsi melaminasi dua bagian plastik yang akan direkat sehingga terbentuk suatu kantong yang kedap udara, serata menjadi menarik bagi produk tersebut.

Mesin pengemas merupakan sebuah mesin, baik itu manual maupun otomatis yang digunakan untuk melakukan pengemasan pada suatu produk. Sementara mesin pengemas serbuk merupakan mesin pengemas yang digunakan untuk pengemasan produk berupa serbuk.

### 3.2.3 Sistem Kontrol

Menurut Nurkamiden (2017), sistem kontrol adalah suatu proses pengendalian atau pengaturan terhadap satu atau lebih sistem, sehingga memiliki *range* yang sama. Sistem kontrol mempunyai peranan penting dalam dunia industri modern saat ini. Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, sistem kontrol telah mendorong manusia untuk mengatasi permasalahan yang timbul di sekitarnya dengan cara yang lebih mudah, efisien, dan efektif. Adanya sistem kontrol otomatis secara tidak langsung dapat menggantikan peran manusia dalam menjalankan suatu pekerjaan.

Sistem kontrol dibagi menjadi 2, yaitu sistem kontrol Loop Terbuka (*Open-loop control system*) dan sistem kontrol Loop tertutup (*Closed-loop Control System*).

- a. Sistem Kontrol Loop Terbuka (*Open-loop Control System*) Sistem kontrol loop terbuka adalah suatu sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh terhadap aksi pengontrolan. Dengan demikian pada sistem kontrol ini, nilai keluaran tidak diumpan balik ke parameter pengendalian.
- b. Sistem Kontrol Loop Tertutup (*Closed-loop Control System*) Sistem kontrol loop tertutup adalah suatu sistem kontrol yang sinyal keluarannya memiliki pengaruh langsung terhadap aksi pengendalian yang dilakukan. Yang menjadi ciri dari sistem pengendali tertutup adalah adanya sinyal umpan balik. Sinyal umpan balik merupakan sinyal keluaran atau suatu fungsi keluaran dan turunannya yang diumpankan ke elemen kendali untuk memperkecil kesalahan dan membuat keluaran sistem mendekati hasil yang diinginkan.

### 3.2.4 Raspberry Pi

*Raspberry Pi* adalah *Single Board Computer* (SBC) atau dapat disebut mini PC *Raspberry Pi* yang mempunyai fungsi yang hampir sama dengan laptop (Nurkamiden, 2017). *Raspberry Pi* dikembangkan oleh *Raspberry Pi Foundation* yang pertama kali rilis pada Februari tahun 2012, yang di dalamnya merupakan *Developer* dan Ahli Komputer dari Universitas Cambridge, Inggris. *Raspberry Pi* sudah mengalami perubahan dari versi yang pertama sampai sekarang. *Raspberry Pi* yang pertama dirilis pada Februari 2012 adalah *Raspberry Pi* model B Versi 1 yang dibekali dengan Memori RAM sebesar 256 MB. Kemudian pada september 2012, dibuat lagi *Raspberry Pi* model B Versi 2 dengan perubahan pada RAM yaitu sebesar 512 MB dan masih banyak lagi versi dari *Raspberry Pi* yang dibuat sampai dengan *Raspberry Pi* terakhir yang dibuat yaitu Juni 2019 dengan nama *Raspberry Pi* 4.

Giant, dkk (2015:71), *Raspberry Pi* dikembangkan untuk mengajarkan dasar-dasar ilmu komputer dan pemrograman untuk siswa sekolah di seluruh dunia.

*Raspberry Pi* sangat berbeda dari *microcontroller*, seperti *Arduino*, yang lebih populer untuk proyek-proyek *prototyping*, karena sesungguhnya *Raspberry Pi* adalah komputer, sehingga biasa disebut dengan *microprocessor*.

*Raspberry Pi* yang digunakan oleh penulis ialah *Raspberry Pi 3* model B. *Raspberry Pi* model ini dirilis pada Februari 2016 yang memiliki bagian-bagian perangkat keras dan fungsi yang penting. Berikut gambar dan spesifikasi *Raspberry Pi 3* model B:



Gambar 3.1 *Raspberry Pi 3* Model B

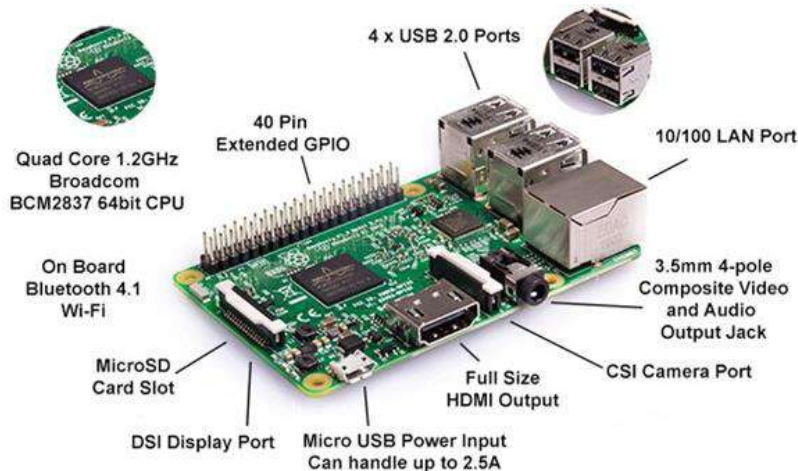
Sumber: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/>

Tabel 3. 1 Spesifikasi *Raspberry Pi 3* Model B

Spesifikasi	Keterangan
Processor	Quad Core 1,2 GHz Broadcom BCM 2837 64 bit CPU
Memori	1 GB RAM LPDDR2 (900 MHz)
Wireless Adapter/LAN	BCM 43438 Wireless LAN
Bluetooth	Bluetooth Low Energy (BLE)
Jaringan	10/100 Base Ethernet
GPIO	40 pin
Port USB	4 port USB 2.0
Eksternal Audio dan Video	Full size HDMI dengan 4 pole keluaran stereo dan composite video port
Kamera	Port kamera CSI (Camera Serial Interface) untuk menghubungkan kamera <i>Raspberry Pi</i>
Tampilan	Port tampilan DSI (Display Serial Interface) untuk menghubungkan tambahan layar pada <i>Raspberry Pi</i>
Penyimpanan	Port Micro SD untuk memuat sistem operasi dan menyimpan data

Spesifikasi	Keterangan
Daya	Sumber daya Mikro USB yang dapat ditingkatkan hingga 2.5A

Bagian utama dari *Raspberry Pi* adalah processor. *Raspberry Pi 3* model B memiliki BCM2837 Chip Broadcom yang mewujudkan suatu CPU inti ARM Cortex-A53. Chip ini memiliki *clock speed* 900 MHz dengan sistem 64-bit *Quad Core*. *Raspberry Pi 3* model B memiliki beberapa macam *port*, diantaranya:



Gambar 3.2 Port pada *Raspberry Pi 3* Model B

Sumber: <https://electroino.com/raspberry-pi-adalah/>

- Port power*, merupakan *port* sumber daya *Raspberry Pi* yang berupa micro USB, dengan tegangan 5 V dan arus minimal 2 A.
- Port Micro SD*, berfungsi sebagai media penyimpanan yang berupa sistem operasi dan file lainnya. *Micro SD* ini bertindak sebagai *hard disk* dari *Raspberry Pi*, dengan ukuran minimal 4GB.
- Port USB (Universal Serial Bus)*, memiliki peran untuk menghubungkan *Raspberry Pi* dengan perangkat lain yang digunakan untuk mentransfer data, baik dari *Raspberry Pi* ke perangkat lain, atau dari perangkat lain ke *Raspberry Pi*.
- Port audio/video output*, berfungsi untuk menampilkan gambar dan suara apabila diperlukan.
- Port HDMI (High Definition Multimedia Interface)*, berfungsi sebagai media *output* dalam bentuk gambar. Sebuah HDMI yang dihubungkan ke DVI (*Digital Visual Interface*) *converter* dapat mengkonversi sinyal HDMI ke DVI yang biasanya digunakan oleh monitor.

- f. *Port* LAN, berfungsi untuk menghubungkan *Raspberry Pi* dengan perangkat komputer lain atau jaringan internet.
- g. *Port* CSI (*Camera Serial Interface*), berfungsi sebagai penghubung ke komponen kamera.
- h. *Port* DSI (*Display Serial Interface*), berfungsi sebagai tambahan layar (umumnya layar sentuh) pada *Raspberry Pi* dengan jenis kabel *Serial*.
- i. *Pin* GPIO (*General Purpose Input Output*), memiliki 40 pin yang dapat diformat dan dihubungkan dengan perangkat elektronik lain sesuai dengan kebutuhan. Pada pin GPIO ini juga dapat dihubungkan dengan Arduino dan mikrokontroler lainnya.

Bahasa pemrograman yang digunakan dalam pengontrolan *unit device* umumnya adalah bahasa *Python*. Bahasa *python* adalah bahasa pemrograman formal dengan aturan-aturan dan format spesifiknya sendiri. *Raspberry Pi* juga bisa digunakan untuk pengontrolan lebih dari satu *device*, baik jarak dekat ataupun jarak jauh. Berbeda dengan mikrokontroler yang hanya dapat mengontrol 1 *unit device*, *Raspberry Pi* dapat mengontrol lebih dari 1 *unit device* yang ingin dikontrol.

*Raspberry Pi* memiliki kelebihan dan kelemahan sebagai berikut:

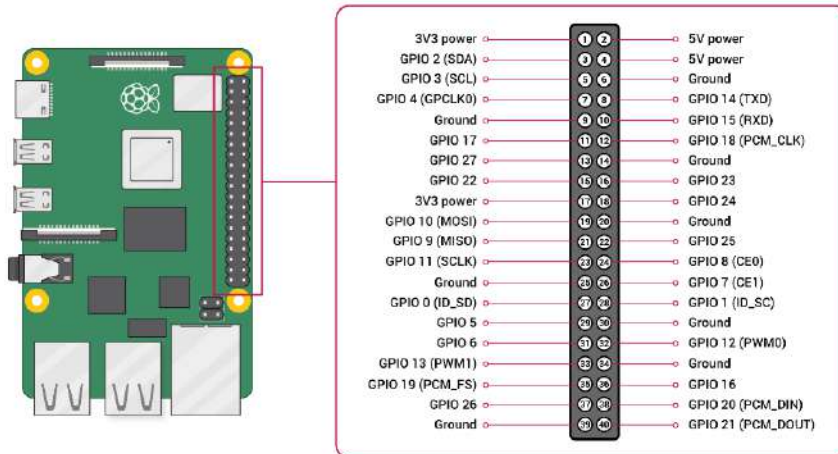
- Kelebihan *Raspberry Pi*
  - a. Dibandingkan dengan mikrokontroler, *Raspberry Pi low power* dan relatif mudah apabila dihubungkan dengan *web server* (Indra, et al., 2019:1).
  - b. *Raspberry Pi* ini menggunakan Micro SD Card untuk menyimpan data, baik itu data *operating system* ataupun untuk media penyimpanan data jangka panjang.
  - c. Dapat mengontrol lebih dari 1 *unit device*.
  - d. Memiliki keunggulan pada grafis 3D dan tampilan *Bluray* pada video.
  - e. Mendukung *overclock* dan *overvolting* dengan cara mengedit file config.txt
  - f. Dapat menjalankan program-program perkantoran
- Kelemahan *Raspberry Pi*:
  - a. *Raspberry Pi* ini cukup sensitif dengan listrik statis sehingga jika ingin menggunakan perangkat ini harus berhati – hati dalam memegangnya.
  - b. Jika mengedit file config.txt untuk membuat *Raspberry Pi* agar bisa *overclock* dan *overvolting* maka dapat memperpendek usia perangkat SoC (*System On Chip*).

### 3.2.5 GPIO (*General Purpose Input-Output*)

Pada *Raspberry Pi* terdapat pin yang disebut dengan GPIO (*General Purpose Input Output*), yang memungkinkan *Raspberry Pi* untuk dihubungkan dengan peralatan elektronik custom (Raspberry Pi Trading Ltd, 2015:7). Pada pin GPIO ini, juga dapat dihubungkan dengan Arduino dan mikrokontroler lainnya.

GPIO adalah pin yang digunakan untuk membaca *input* dan mengontrol *output* berdasarkan kondisi yang berbeda sesuai dengan program yang telah dibuat pada

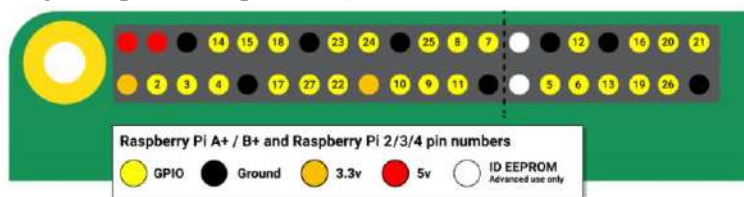
*Raspberry Pi*. Beberapa pin GPIO dapat digunakan sebagai *input-output* digital dan sebagai antarmuka yang dapat digunakan secara universal, baik dari atau ke luar *Raspberry Pi*. Selain itu, pin GPIO juga dapat diakses untuk mengendalikan *output* perangkat keras, seperti LED, motor, dan *relay*. Adapun *input Raspberry Pi* dapat membaca status tombol dan *switch* dengan cepat, atau dapat membaca sensor, seperti suhu, cahaya, dan gerak. *Raspberry* memiliki 40 pin yang terdiri dari 2 pin sebagai sumber tegangan 5 V, 2 pin sumber tegangan 3,3 V, 8 pin *ground*, 26 pin GPIO dan 2 pin serial, seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 3.3 GPIO *Raspberry Pi*

Sumber: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>

Jumlah pin GPIO berbeda untuk *Raspberry Pi* dengan *Raspberry Pi 2* dan *3*. *Raspberry Pi 1* memiliki 26 pin, sedangkan *Raspberry Pi 2* dan *3* memiliki 40 pin. Berikut konfigurasi pin GPIO pada *Raspberry Pi 3*:



Gambar 3. 4 Pin *Raspberry Pi*

Sumber: <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>

Beberapa istilah yang harus diperhatikan antara lain:

- Pin 3,3V dan 5V: Pin ini merupakan pin yang berfungsi untuk sumber tegangan ke komponen lain yang dihubungkan ke *Raspberry Pi*, seperti sensor, LED, motor, dan *relay*. Pin ini dihubungkan ke pin *vcc* pada komponen.

- Pin GND atau *Ground*: pin ini dihubungkan ke pin *ground* atau negatif (-) pada komponen lain yang dihubungkan ke *Raspberry Pi*, seperti LED, sensor, motor, maupun *relay*.
- Pin GPIO: Pin ini yang akan dikontrol melalui bahasa pemrograman *Python*. Dengan *Python* pin ini dapat diatur aktif atau mati, terhubung atau tidak berdasarkan kondisi tertentu dengan program yang dibuat.

### 3.2.6 Bahasa Pemrograman *Python*

Bahasa pemrograman *Python* dikembangkan oleh *Python Software Foundation* yang merupakan sebuah organisasi non profit yang dibentuk sebagai pemegang hak cipta intelektual *Python* sejak versi 2.1. Dengan ada hak cipta ini mencegah *python* dimiliki oleh perusahaan komersial. Saat ini distribusi *python* sudah mencapai versi 2.6.1 dan versi 3.0. Nama *Python* dipilih oleh Guido sebagai nama bahasa ciptaannya karena kecintaan Guido pada acara televisi *Monty Python's Flying Circus* oleh karena itu ungkapan-ungkapan khas dari acara tersebut seringkali muncul dalam pengguna *python*.

*Python* adalah sebuah bahasa pemrograman yang bisa digunakan pada beberapa platform (*multiplatform*), dan bersifat sumber perangkat bebas terbuka (*opensource*). *Python* menggunakan bahasa pemrograman yang mudah dipelajari dan *powerful*. *Python* memiliki struktur data tingkat tinggi yang efisien dan merupakan pendekatan yang sederhana tetapi efektif pada pemrograman yang berorientasi pada objek (*Object-oriented Programming*). *Syntax elegant* dan *dynamic typing* yang dimiliki oleh *python*, bersama dengan *interpreted nature* dari *Python*, menjadikannya bahasa pemrograman yang ideal untuk melakukan '*scripting*' dan pengembangan aplikasi yang pesat dalam banyak area pada kebanyakan platform.

Hal utama yang membedakan *Python* dengan bahasa lain adalah dalam hal aturan penulisan kode program. *Python* memiliki aturan yang berbeda dengan bahasa lain, seperti indentasi, tipe data, *tuple*, dan *dictionary*. *Python* adalah bahasa pemrograman dinamis yang mendukung pemrograman berorientasi objek. *Python* dapat digunakan untuk berbagai keperluan pengembangan perangkat lunak dan dapat berjalan di berbagai sistem operasi seperti Linux, Windows, Unix, Symbian, dan masih banyak lagi. Arsitektur yang dapat dikembangkan (*extensible*) dan ditanam (*embeddable*) dalam bahasa lain, misal *objek oriented Python* dapat digabungkan dengan modul yang dibuat dengan C++.

*Python* telah digunakan pada berbagai aplikasi saat ini, contohnya adalah *BitTorrent*, *Yum*, *Civilization 4*, bahkan saat ini *Python* merupakan bahasa resmi dari *Raspberry Pi* (Rao, et al., 2015:800). Kata "Pi" dalam *Raspberry Pi* merujuk pada kata *Python*. *Python* mendukung beberapa modul khusus untuk *Rasperry Pi* termasuk modul GPIO.

Beberapa fitur yang dimiliki *Python* adalah:

1. Memiliki kepustakaan yang luas; dalam distribusi *Python* telah disediakan modul-modul 'siap pakai' untuk berbagai keperluan.
2. Memiliki tata bahasa yang jernih dan mudah dipelajari.
3. Memiliki aturan *layout* kode sumber yang memudahkan pengecekan, pembacaan kembali, dan penulisan ulang kode sumber.
4. Berorientasi objek.
5. Memiliki sistem pengelolaan memori otomatis (*garbage collection*, seperti *java*)
6. Modular, mudah dikembangkan dengan menciptakan modul-modul baru; modul-modul tersebut dapat dibangun dengan bahasa *Python* maupun C/C++.
7. Memiliki fasilitas pengumpulan sampah otomatis, seperti halnya pada bahasa pemrograman Java, *Python* memiliki fasilitas pengaturan penggunaan ingatan komputer sehingga para pemrogram tidak perlu melakukan pengaturan ingatan komputer secara langsung.
8. Memiliki banyak fasilitas pendukung sehingga mudah dalam pengoperasiannya.

### 3.2.7 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah salah satu jenis dari motor DC yang dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital. Prinsip kerja dari motor *stepper* yaitu mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit, yang mana motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan pada motor *stepper* tersebut. Gerakan diskrit motor *stepper* ialah putaran secara bertahap, tidak kontinu seperti berputarnya motor AC induksi. Motor *stepper* bekerja berdasarkan kondisi yang telah ditentukan yaitu motor berputar ke kanan atau ke kiri (Oktawiani, dkk 2018:227). Oleh karena itu, untuk menggerakkan motor *stepper* diperlukan pengendali motor *stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik.

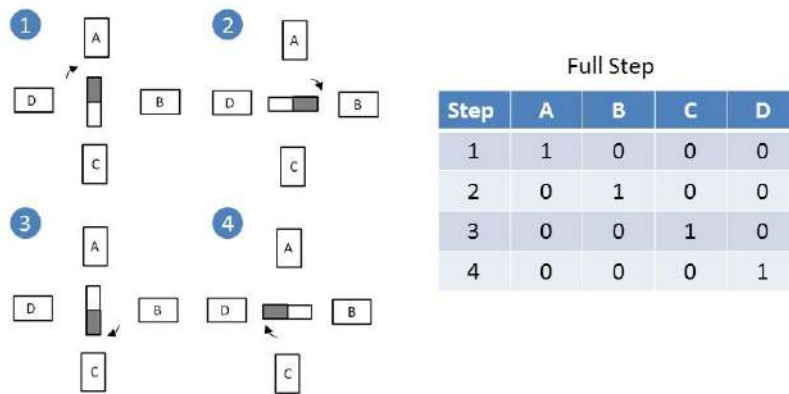


Gambar 3. 5 Motor Stepper

Sumber: <http://jagootomasi.com/motor-stepper-prinsip-kerja-dan-pengendalian-pada-otomasi-industri/>

Penerapan motor *stepper* dalam industri ialah dikendalikan dengan bantuan *driver*. Berikut merupakan ilustrasi struktur motor *stepper* sederhana dengan jumlah 4 *step* untuk 1 putaran penuh dan pulsa yang dibutuhkan untuk menggerakkannya:



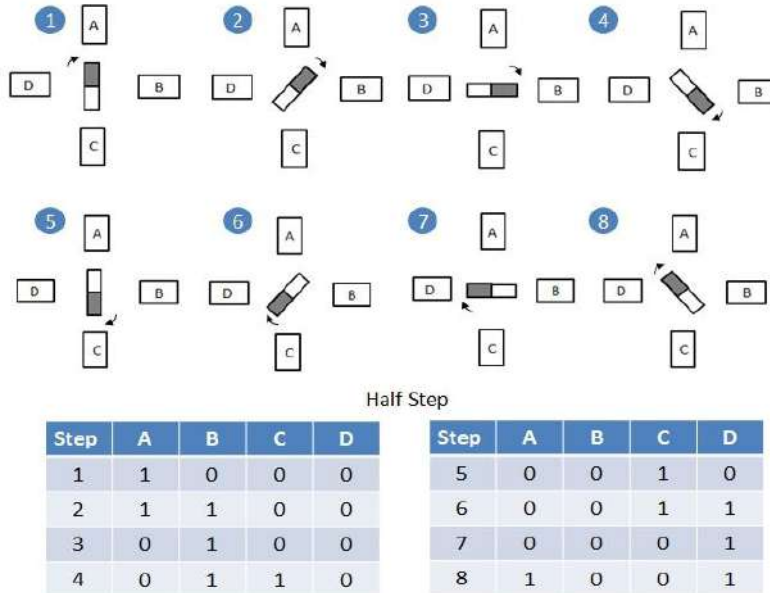


Gambar 3.6 Gerakan Rotor Motor Stepper *Full Step*

Sumber: <http://jagootomasi.com/motor-stepper-prinsip-kerja-dan-pengendalian-pada-otomasi-industri/>

Gambar di atas merupakan arah putaran rotor motor *stepper* dan tabel di sebelahnya adalah *logic phase* pada setiap *step*. Pulsa diberikan pada kumparan untuk menggerakkan motor *stepper* searah jarum jam (*clockwise*). Berdasarkan gambar, *signal* pulsa seolah-olah berjalan dari *phase* A ke *phase* B dan seterusnya. Sehingga bagian rotor yang diibaratkan seperti magnet akan berputar karena tertarik oleh gaya magnet yang dibangkitkan oleh setiap *phase*. Pemberian signal seperti di atas adalah metode *full step*, sehingga dibutuhkan 4 kali *step* untuk 1 putaran penuh.

Pada beberapa penerapan, putaran motor dapat diubah menjadi setengahnya, yang mana untuk menghasilkan 1 putaran penuh diperlukan *step* dua kali lipat. Dengan kata lain, yang awalnya hanya memerlukan 4 *step*, sekarang menjadi 8 *step*. Perhatikan gambar di bawah ini:



Gambar 3.7 Gerakan Rotor Motor Stepper *Half Step*

Sumber: <http://jagootomasi.com/motor-stepper-prinsip-kerja-dan-pengendalian-pada-otomasi-industri/>

Kemudian perintah *step* untuk merubah kondisi *logic phase* dilakukan dengan memberi *pulse* atau *clock* pada *driver* motor *stepper*. Dengan demikian, pada metode *full step*, jika diberikan pulsa sebanyak 8 kali, maka motor akan berputar 2 putaran. Begitu juga jika diberikan pulsa sebanyak 16 kali, maka motor akan berputar 4 putaran. Sehingga untuk mengatur sudut putaran motor *stepper*, diperlukan pengaturan jumlah pulsa yang diberikan pada *driver*-nya.



Gambar 3.8 Spesifikasi yang Terdapat pada Motor Stepper

Sumber: <http://jagootomasi.com/motor-stepper-prinsip-kerja-dan-pengendalian-pada-otomasi-industri/>

Setiap motor *stepper* akan memiliki spesifikasi tertentu yaitu berapa derajat motor akan berputar setiap kali diberikan 1 *pulse*, atau disebut dengan *step/pulse*. Pada gambar di atas, terdapat motor dengan spesifikasi  $0.072^{\circ}/step$ , artinya setiap

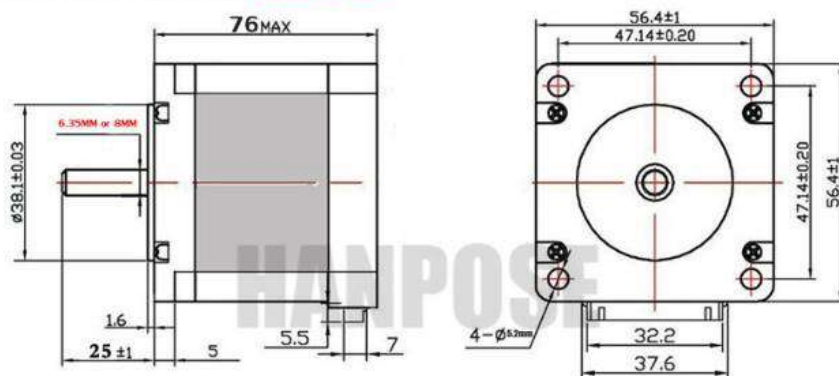
pemberian 1 kali *pulse* maka motor akan bergerak sejauh  $0.072^{\circ}$ . Dikarenakan satu putaran adalah 360 derajat, maka diperlukan 5000 *pulse* agar motor berputar 1 putaran penuh. Beberapa spesifikasi yang lain dinyatakan dalam bentuk *pulse per rotation* (ppr), misalnya 5000 ppr. Dengan demikian, untuk mengatur sudut putaran yang diinginkan, dapat dilakukan dengan mengatur jumlah pulsa yang diberikan kepada motor tersebut.

Seperti halnya motor listrik yang lain, motor *stepper* dapat dikendalikan dan diatur kecepataannya. Semakin cepat jeda antar pemberian *pulse* satu ke *pulse* berikutnya (T) maka gerakan motor *stepper* juga akan semakin cepat. Oleh karena itu, pengaturan kecepatan motor *stepper* dapat diatur dengan frekuensi pulsa yang diberikan. Contohnya pada sebuah motor *stepper* yang memiliki 5000 ppr, apabila menginginkan motor *stepper* berputar dengan kecepatan 1 rps (*revolution per second*), maka diperlukan 5000 *pulse* tiap detik atau 5 kHz. Begitu juga seterusnya sesuai dengan kecepatan motor *stepper* yang diinginkan. Jenis motor *stepper* yang digunakan dalam produk ini adalah motor *stepper* NEMA 23 23HS7628 dengan kekuatan 1.89 N.m. Spesifikasi lengkap motor *stepper* NEMA 23 ditunjukkan pada gambar berikut:

NEMA23 Stepper motor parameters

型号 Model	步角距	电机长度	相电流	相电阻	相电感	保持转矩	转子惯量	引线数	重量
	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (Ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm)	Rotor Inertia (g.cm <sup>2</sup> )	Lead Wire (No)	Motor Weight (g)
57BYGH41P280	1.8	41	2.8	0.7	1.4	55	120	4	450
57BYGH51P280	1.8	51	2.8	0.83	2.2	101	275	4	650
57BYGH56P280	1.8	56	2.8	0.9	2.5	126	300	4	700
57BYGH76P280	1.8	76	2.8	1.13	3.6	189	480	4	1000
57BYGH100P280	1.8	100	2.8	2.1	10	260	650	4	1800

Motor shaft diameter is optional: **6.35MM or 8MM**




STEP ANGLE	1.8 ±10%	STEPPER MOTOR TYPE	57BYGH76P280	<b>HANPOSE</b> <small>Drawing ownership are "HANPOSE", Please indicate the source if use.</small>
NUMBER OF THE PHASE	2	RATED CURRENT	2.8A	
INSULATION RESISTANCE	100M ohm MIN. (500V DC)	RESISTANCE PER PHASE	1.13 Ohm±10%	
INSULATION CLASS	CLASS B	INDUCTANCE PER PHASE	3.6MH±20%	
ROTOR INERTIA	480G.CM <sup>2</sup>	HOLDING TORQUE	189N.cm	

Gambar 3.9 Data Sheet Motor Stepper

### 3.2.8 *Driver Stepper*

Secara teoritis, motor *stepper* dapat digerakkan secara langsung oleh mikrokontroler ataupun *microprocessor* (Suryati, dkk, 2019:A92). Namun, pada kenyataannya, tegangan dan arus yang dikeluarkan oleh mikrokontroler maupun *microprocessor*, termasuk *Arduino* dan *Raspberry Pi* terlalu kecil untuk menggerakkan motor *stepper*. Oleh karena itu, diperlukan sebuah kontrol untuk memberikan tegangan, arus, dan sinyal agar motor dapat berputar, yaitu dengan menggunakan *driver* motor *stepper*.

*Driver* motor *stepper* akan mengatur putaran motor *stepper* per langkahnya sesuai dengan spesifikasinya. Jenis *driver* mengikuti jenis motor *stepper* yang dikendalikannya. Untuk motor *stepper* NEMA 23 dapat menggunakan *driver* TB6600 dengan bentuk seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11. *Driver* ini memiliki arus *output* maksimal sebesar 4A dengan tegangan antara 9-42V. Adapun spesifikasi *driver* TB6600 adalah sebagai berikut:



TB6600
Stepper Motor Driver

**Analog Driver**  
**Model TB6600**

Analog Technology, max. 40 VDC / 4.0 A (PEAK)

**Product Description:**  
The TB6600 single axis drive is a low cost microstepping drive. It is suitable for driving 2-phase and 4-phase hybrid stepper motors. Not for professional applications.

**Features:**


- Cost-effective
- Supply voltage up to +40 VDC, Output current up to 4.0 A (PEAK)
- Output current selectable in 8 steps via DIP-switch
- Automatic idle-current reduction (in standstill mode) to reduce motor heating
- Pulse input frequency up to 20 kHz
- Input suitable for 5 V signals
- Inputs are optically isolated
- 6 selectable microstep resolutions, up to 6400 steps/rev with standard 1,8° motors
- Suitable for 2-phase and 4-phase motors
- Supports PUL/DIR mode
- Over current and overheat protection

**Electrical Specifications:**

Parameters	Min	Typ.	Max	Unit
Output current	0,7	-	4,0 (3,5 RMS)	A
Supply voltage	+9	+36	+40	VDC
Logic signal current	8	10	15	mA
Puls input frequency	0	-	20 when duty cycle is 25 high / 75 low 13 when duty cycle is 50 / 50	kHz
Insulation resistance:	500			MΩ

**Further Specifications:**

Microsteps / 1,8°	200		6400
PUL / DIR		yes	
NEMA sizes	17		24
Motor type Mechatron	42BYGH-XXXX		60BYGH-XXX



22.01.18

Right of techn. modifications is reserved
[www.sorotec.de](http://www.sorotec.de)
Technische Änderungen vorbehalten

Gambar 3.10 Data Sheet *Driver Stepper TB6600*



Gambar 3.11 *Driver Stepper TB6600*  
(Data Sheet TB6600 <https://www.mcielectronics.cl>)

Kelebihan menggunakan driver TB6600 ini adalah kemampuannya yang dapat menangani motor *stepper* yang berkekuatan besar seperti motor *stepper* NEMA 23. Untuk jenis motor *stepper* yang lebih kecil dapat menggunakan *driver* L293D atau L298N atau yang lain. Dalam mengatur putaran motor *stepper*, *driver stepper* memiliki beberapa pengaturan, yaitu *micro stepping* dan *peakcurrent*.

*Micro stepping* merupakan kemampuan *driver stepper* TB6600 untuk membuat gerak motor *stepper* menjadi lebih lembut. Caranya adalah membagi 360 putaran dengan jumlah pulsa lebih banyak (lebih dari 200 pulsa). Sementara itu, *peakcurrent* merupakan arus maksimal yang akan dialirkan ke motor *stepper*. Cara mengatur 2 pengaturan ini terdapat di bagian samping *driver stepper* TB6600 yaitu dengan mengatur posisi *switch* SW1, SW2, dan SW3 untuk *micro stepping* dan SW4, SW5, dan SW6 untuk *peakcurrent*.

### 3.2.9 *Heater* (Elemen Pemanas)

*Heater* adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghasilkan panas dari sumber listrik (Julianto, dkk, 2015:122). *Heater* banyak dipakai dalam kehidupan sehari-hari, baik di dalam mesin industri, rumah tangga, maupun peralatan elektronik. *Heater* merupakan alat yang berfungsi untuk mendapatkan suhu panas tertentu dari suatu ruangan atau perangkat. Sumber panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas listrik ini bersumber dari kawat ataupun pita bertahanan listrik tinggi (*resistance wire*). Biasanya bahan yang digunakan adalah kawat niklin yang digulung menyerupai bentuk spiral dan dimasukkan dalam selongsong/pipa sebagai pelindung, kemudian dialiri arus listrik pada kedua ujungnya dan dilapisi isolator listrik yang mampu menahan panas dengan baik sehingga aman untuk digunakan.

Bentuk dan tipe dari *heater* bermacam-macam disesuaikan dengan fungsi, tempat pemasangan dan media yang akan dipanaskan. Adapun jenis dan bentuk dari elemen pemanas adalah sebagai berikut:

a. Elemen Pemanas Listrik Bentuk Dasar

Elemen pemanas di mana *resistance wire* hanya dilapisi oleh isolator listrik, macam-macam elemen pemanas bentuk dasar adalah: *Ceramic*, *Coil*, *Infrared*, *Silica* dan *Quartz Heater*. Gambar berikut menunjukkan elemen pemanas *Infrared Ceramic Heater*.



Gambar 3.12 Infrared Ceramic Heater

Sumber: <https://www.majuhurheater.com/heater/>

b. Elemen Pemanas Listrik Bentuk Lanjut

Merupakan elemen pemanas dari bentuk dasar yang dilapisi oleh pipa atau lembaran plat logam untuk maksud sebagai penyesuaian terhadap penggunaan dari elemen pemanas tersebut. Bahan logam yang biasa digunakan adalah *mild steel*, *stainless steel*, tembaga, dan kuningan. *Heater* yang termasuk dalam jenis dan ini adalah *tubular*, *cartridge*, *band*, *nozzle*, dan *stripe heater*. Gambar berikut menunjukkan elemen pemanas *band heater*.



Gambar 3.13 Band Heater

Sumber: <https://www.majuhurheater.com/heater/>

*Heater* yang akan digunakan dalam perancangan ini adalah *heater* jenis *cartridge* yang berbentuk silinder, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. *Heater* ini bekerja pada arus 220 V dengan daya sebesar 350 W. Sementara untuk spesifikasi lengkap dari *cartridge heater* dapat dilihat pada gambar di bawah.





Gambar 3.14 Heater Cartridge

Sumber: <http://id.cnheatingelement.com/cartridge-heater/low-density-cartridge-heater/cartridge-type-electric-heater-with.html>

## Cartridge Heaters

### Metric EB Cartridge

#### Applications and Technical Data

Continued

#### Maximum Allowable Watt Density

Both the *Maximum Allowable Watt Density* metric and inch-base charts will tell you either the hole fit or recommended watt density in relationship to part temperature. Enter the chart with either known variable, part fit in hole dimension or watt density. Then find the part temperature by reading up or over on the chart. The part temperature curves shown are measured 13 mm ( $\frac{1}{2}$  inch) from the heater in a mild steel block. For stainless steel blocks, enter the graph with a fit of 0.04 mm (0.0015 inch) larger than actual. For aluminum and brass blocks, enter the graph with a temperature 55°C (100°F) above actual block temperature.

**On-Off Cycling:** On-off cycling shortens heater life. If the heater cycles more than once per hour, multiply the watt density, shown on the chart, by 0.8 to determine the maximum allowable watt density for the application. If the heater cycles more than once a minute, multiply by 0.7.

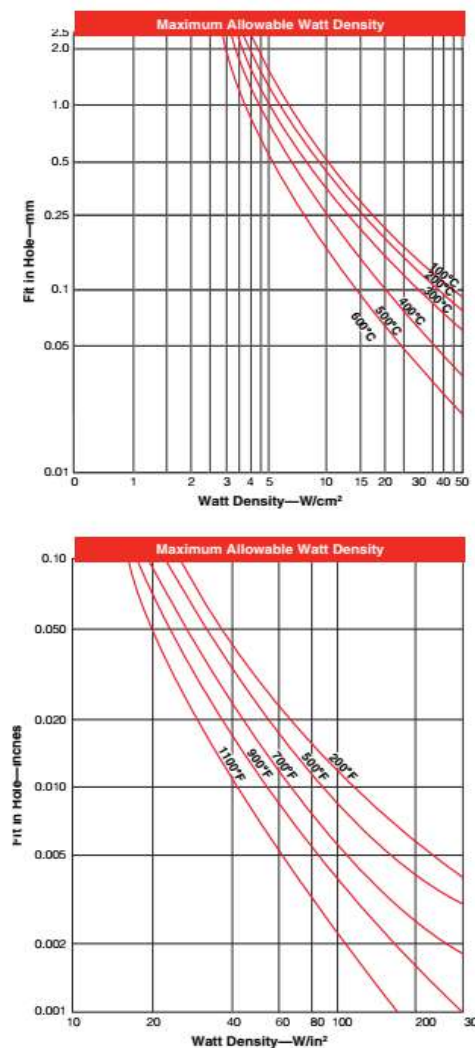
#### Tolerances

**Diameter:** -0.02 mm, -0.08 mm  
(-0.0008 inch, -0.0031 inch)

**Length:**  $\pm 3$  percent with  $\pm 2.4$  mm  
( $\pm \frac{1}{8}$  inch) minimum

**Resistance:** +5 percent, -10 percent. Resistance is measured at room temperature following first heater operation.

**Wattage:** +10 percent, -5 percent. Wattage decreases approximately 5 percent with temperature. Wattage tolerances are for heaters at operating temperature.



Gambar 3.15 Data Sheet Cartridge Heater



### 3.2.10 Solid State Relay (SSR)

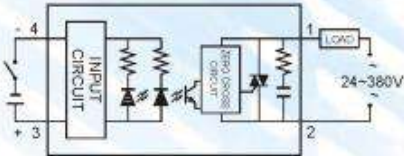
*Solid State Relay* atau SSR merupakan sebuah saklar elektronik yang tidak mempunyai bagian yang bergerak (Wijaya, dkk, 2018:10). SSR menggunakan saklar elektronik semikonduktor yang bisa mengendalikan aliran arus listrik lebih besar dengan kontrol hanya menggunakan arus listrik yang kecil. Perbedaan dengan *relay* biasa atau konvensional ialah jika pada *relay* biasa terdapat *coil* untuk membentuk medan magnet sehingga tuas *relay* bisa berubah posisinya, sedangkan pada SSR tidak terdapat komponen mekanis atau komponen yang bergerak.



Gambar 3.16 *Solid State Relay*

Menurut Kustiawan (2018:3), *relay* biasa yang menggunakan elektro mekanik memiliki beberapa keterbatasan jika dibandingkan dengan SSR diantaranya yaitu siklus hidup kontak yang terbatas, mengambil banyak ruang, dan besarnya daya kontaktor *relay*. Dengan keterbatasan *relay* biasa tersebut membuat SSR menjadi pilihan untuk penyusunan rancangan ini. SSR yang digunakan ialah tipe SSR-40DA seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas, yang memiliki kapasitas arus maksimal 40 A. SSR ini memiliki tegangan *input* 3 – 32V DC yang dapat bersumber dari berbagai mikrokontroler dan *microprocessor* seperti Arduino dan *Raspberry Pi*. Sementara untuk tegangan *output* 24-380V AC yang dapat tersambung dengan listrik PLN 220V. Spesifikasi lengkap dari SSR 40DA dijelaskan pada gambar berikut:

## ■ Specification

Type	Terminal Type					PCB Type
Model	SSR-10DA	SSR-25DA	SSR-40DA	SSR-25DA-H	SSR-40DA-H	SSR-P03DA
Rated Load Current	10A	25A	40A	25A	40A	3A
<b>Input Data</b>						
Operating Voltage	3~32VDC					
Min. ON / OFF Voltage	ON > 2.4V , OFF < 1.0V					
Trigger Current	7.5mA / 12V					
Control Method	Zero Cross Trigger					
<b>Output Data</b>						
Operating Voltage	24~380VAC		90~480VAC		24~380VAC	
Min. Black Voltage	600 VAC < Repetive >					
Voltage Drop	1.6 V / 25 C					
Max. Durated Current	135A	275A	410A	275A	410A	135A
Leakage Current	3.0mA	3.0mA	3.0mA	5.0mA	5.0mA	3.0mA
Response Time	ON < 10ms , OFF < 10ms					
<b>General Data</b>						
Dielectric Strength	Over 2.5KVAC / 1min.					
Isolation Strength	Over 50M $\Omega$ / 500VDC					
Operating Temperature	-20 C ~+80 C					
Housing Material	Intensive ABS					
Weight	Appr. 105g					Appr. 15g
<b>Connection Diagram</b>						
						

Gambar 3.17 Data Sheet SSR (Solid State Relay)

### 3.2.11 Termokopel

Termokopel adalah salah satu jenis sensor temperatur dengan prinsip *seebeck* yaitu persambungan dua logam jika dipanaskan akan menimbulkan beda potensial atau tegangan listrik (Rachman dan Wahanani, 2016:33). Termokopel terdiri atas sepasang kawat logam berbeda jenis yang dihubungkan bersama-sama pada salah satu ujungnya. Kedua kawat ini akan menghasilkan beda potensial ketika mengalami kenaikan maupun penurunan suhu. Beda potensial inilah yang nantinya akan dibaca sebagai nilai dari termokopel tersebut.



Gambar 3.18 Termokopel Tipe K

Sumber: <http://id.top-heaterchina.com/info/k-type-thermocouple-22930606.html>

Termokopel ditempatkan pada sisi *heater* untuk mendeteksi suhu *heater* pada saat bekerja. Termokopel yang digunakan merupakan tipe K yang dibuat dengan bahan *nickel-cromium* dan *nickel-aluminium* seperti yang ditunjukkan gambar 2.14 di atas. Termokopel ini mampu membaca temperatur antara  $-270^{\circ}\text{C}$ - $1.370^{\circ}\text{C}$  (akan tahan lama jika digunakan pada temperatur  $0^{\circ}\text{C}$ - $400^{\circ}\text{C}$ ) seperti ditunjukkan pada gambar berikut:

Revised Thermocouple Reference Tables

MAXIMUM TEMPERATURE RANGE

Thermocouple Grade -200 to 1250°C, -328 to 2282°F

Extension Grade 0 to 200°C, 32 to 392°F

LIMITS OF ERROR (whichever is greater)

Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C

Special: 1.1°C or 0.4%

COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:

Clean Oxidising and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C

REFERENCE JUNCTION AT 0°C

Nickel-Chromium vs. Nickel-Aluminum



Thermoelectric Voltage in Millivolts

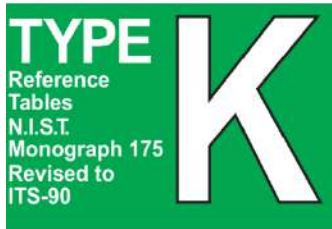
Table with 21 columns and 12 rows of thermoelectric voltage data in millivolts for various temperature ranges from -200°C to 800°C.

sales@omega.co.uk

+44 (0)161 777 6622



# Revised Thermocouple Reference Tables



Nickel-Chromium  
VS.  
Nickel-Aluminum



**MAXIMUM TEMPERATURE RANGE**

Thermocouple Grade  
– 200 to 1250°C, – 328 to 2282°F  
Extension Grade  
32 to 392°F  
0 to 200°C

**LIMITS OF ERROR**

(whichever is greater)  
Standard: 2.2°C or 0.75% Above 0°C  
2.2°C or 2.0% Below 0°C  
Special: 1.1°C or 0.4%

**COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:**

Clean Oxidising and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

TEMPERATURE IN DEGREES °C  
REFERENCE JUNCTION AT 0°C

Thermoelectric Voltage in Millivolts

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C	°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	°C
800	33.275	33.316	33.357	33.398	33.439	33.480	33.521	33.562	33.603	33.644	33.685	800	1100	45.119	45.157	45.194	45.232	45.270	45.308	45.346	45.383	45.421	45.459	45.497	1100
810	33.685	33.726	33.767	33.808	33.848	33.889	33.930	33.971	34.012	34.053	34.093	810	1110	45.497	45.534	45.572	45.610	45.647	45.685	45.723	45.760	45.798	45.836	45.873	1110
820	34.093	34.134	34.175	34.216	34.257	34.297	34.338	34.379	34.420	34.460	34.501	820	1120	45.873	45.911	45.948	45.986	46.024	46.061	46.099	46.136	46.174	46.211	46.249	1120
830	34.501	34.542	34.582	34.623	34.664	34.704	34.745	34.786	34.826	34.867	34.908	830	1130	46.249	46.286	46.324	46.361	46.398	46.436	46.473	46.511	46.548	46.585	46.623	1130
840	34.908	34.948	34.989	35.029	35.070	35.110	35.151	35.192	35.232	35.273	35.313	840	1140	46.623	46.660	46.697	46.735	46.772	46.809	46.847	46.884	46.921	46.958	46.995	1140
850	35.313	35.354	35.394	35.435	35.475	35.516	35.556	35.596	35.637	35.677	35.718	850	1150	46.995	47.033	47.070	47.107	47.144	47.181	47.218	47.256	47.293	47.330	47.367	1150
860	35.718	35.758	35.798	35.839	35.879	35.920	35.960	36.000	36.041	36.081	36.121	860	1160	47.367	47.404	47.441	47.478	47.515	47.552	47.589	47.626	47.663	47.700	47.737	1160
870	36.121	36.162	36.202	36.242	36.282	36.323	36.363	36.403	36.443	36.484	36.524	870	1170	47.737	47.774	47.811	47.848	47.884	47.921	47.958	47.995	48.032	48.069	48.106	1170
880	36.524	36.564	36.604	36.644	36.685	36.725	36.765	36.805	36.845	36.885	36.925	880	1180	48.105	48.142	48.179	48.216	48.252	48.289	48.326	48.363	48.399	48.436	48.473	1180
890	36.925	36.965	37.006	37.046	37.086	37.126	37.166	37.206	37.246	37.286	37.326	890	1190	48.473	48.509	48.546	48.582	48.619	48.656	48.692	48.729	48.765	48.802	48.838	1190
900	37.326	37.366	37.406	37.446	37.486	37.526	37.566	37.606	37.646	37.686	37.725	900	1200	48.838	48.875	48.911	48.948	48.984	49.021	49.057	49.093	49.130	49.166	49.202	1200
910	37.725	37.765	37.805	37.845	37.885	37.925	37.965	38.005	38.044	38.084	38.124	910	1210	49.202	49.239	49.275	49.311	49.348	49.384	49.420	49.456	49.493	49.529	49.565	1210
920	38.124	38.164	38.204	38.243	38.283	38.323	38.363	38.402	38.442	38.482	38.522	920	1220	49.565	49.601	49.637	49.674	49.710	49.746	49.782	49.818	49.854	49.890	49.926	1220
930	38.522	38.561	38.601	38.641	38.680	38.720	38.760	38.799	38.839	38.878	38.918	930	1230	49.926	49.962	49.998	50.034	50.070	50.106	50.142	50.178	50.214	50.250	50.286	1230
940	38.918	38.958	38.997	39.037	39.076	39.116	39.155	39.195	39.235	39.274	39.314	940	1240	50.286	50.322	50.358	50.393	50.429	50.465	50.501	50.537	50.572	50.608	50.644	1240
950	39.314	39.353	39.393	39.432	39.471	39.511	39.550	39.590	39.629	39.669	39.708	950	1250	50.644	50.680	50.715	50.751	50.787	50.822	50.858	50.894	50.929	50.965	51.000	1250
960	39.708	39.747	39.787	39.826	39.866	39.905	39.944	39.984	40.023	40.062	40.101	960	1260	51.000	51.036	51.071	51.107	51.142	51.178	51.213	51.249	51.284	51.320	51.355	1260
970	40.101	40.141	40.180	40.219	40.259	40.298	40.337	40.376	40.415	40.455	40.494	970	1270	51.355	51.391	51.426	51.461	51.497	51.532	51.567	51.603	51.638	51.673	51.708	1270
980	40.494	40.533	40.572	40.611	40.651	40.690	40.729	40.768	40.807	40.846	40.885	980	1280	51.708	51.744	51.779	51.814	51.849	51.885	51.920	51.955	51.990	52.025	52.060	1280
990	40.885	40.924	40.963	41.002	41.041	41.081	41.120	41.159	41.198	41.237	41.276	990	1290	52.060	52.095	52.130	52.165	52.200	52.235	52.270	52.305	52.340	52.375	52.410	1290
1000	41.276	41.315	41.354	41.393	41.431	41.470	41.509	41.548	41.587	41.626	41.665	1000	1300	52.410	52.445	52.480	52.515	52.550	52.585	52.620	52.654	52.689	52.724	52.759	1300
1010	41.665	41.704	41.743	41.781	41.820	41.859	41.898	41.937	41.976	42.014	42.053	1010	1310	52.759	52.794	52.828	52.863	52.898	52.932	52.967	53.002	53.037	53.071	53.106	1310
1020	42.053	42.092	42.131	42.169	42.208	42.247	42.286	42.324	42.363	42.402	42.440	1020	1320	53.106	53.140	53.175	53.210	53.244	53.279	53.313	53.348	53.382	53.417	53.451	1320
1030	42.440	42.479	42.518	42.556	42.595	42.633	42.672	42.711	42.749	42.788	42.826	1030	1330	53.451	53.486	53.520	53.555	53.589	53.623	53.658	53.692	53.727	53.761	53.795	1330
1040	42.826	42.865	42.903	42.942	42.980	43.019	43.057	43.096	43.134	43.173	43.211	1040	1340	53.795	53.830	53.864	53.898	53.932	53.967	54.001	54.035	54.069	54.104	54.138	1340
1050	43.211	43.250	43.288	43.327	43.365	43.403	43.442	43.480	43.518	43.557	43.595	1050	1350	54.138	54.172	54.206	54.240	54.274	54.308	54.343	54.377	54.411	54.445	54.479	1350
1060	43.595	43.633	43.672	43.710	43.748	43.787	43.825	43.863	43.901	43.940	43.978	1060	1360	54.479	54.513	54.547	54.581	54.615	54.649	54.683	54.717	54.751	54.785	54.819	1360
1070	43.978	44.016	44.054	44.092	44.130	44.169	44.207	44.245	44.283	44.321	44.359	1070	1370	54.819	54.852	54.886									1370
1080	44.359	44.397	44.435	44.473	44.511	44.550	44.588	44.626	44.664	44.702	44.740	1080													
1090	44.740	44.778	44.816	44.853	44.891	44.929	44.967	45.005	45.043	45.081	45.119	1090													

 [www.omega.co.uk](http://www.omega.co.uk)  +44 (0)161 777 6611

Gambar 3.19 Data Sheet Termokopel Tipe K

### 3.2.12 Modul Termokopel

Temperatur yang dibaca oleh termokopel perlu ditampilkan hasilnya pada sebuah layar agar dapat terbaca oleh pengguna. Untuk itu diperlukan sebuah modul untuk melakukan hal tersebut, yaitu modul MAX6675. Menurut Aswardi, dkk, (2019: 154), modul MAX6675 merupakan rangkaian yang berfungsi untuk merubah hasil keluaran termokopel ke dalam bentuk data serial (SPI).



Gambar 3. 20 Modul Termokopel MAX6675

Sumber: <http://www.jogjarobotika.com/sensor-temperatur/2184-max6675-module.html>

Modul MAX6675 seperti pada gambar di atas dapat mengkonversi pengukuran *hot junction* mulai dari 0°C-1024°C. MAX6675 dapat bekerja pada tegangan 3,0V DC sampai 5,5V DC dengan arus operasi 50 mA. Terdapat 5 pin yang dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian untuk suplai arus listrik dan bagian untuk jalur komunikasi SPI. Bagian untuk suplai arus listrik terdiri dari 2 pin yaitu VCC dan GND. Sementara untuk bagian jalur komunikasi SPI terdiri dari 3 pin yaitu: SCK (*Serial Clock*), CS (*Chip Select*), dan SO (*Serial Data Output*). Kelima pin ini nantinya akan dihubungkan dengan *Raspberry Pi* sebagai pengatur dan kontrol modul MAX6675. Untuk spesifikasi dari modul MAX6675 terdapat pada gambar berikut ini:

MAX6675

Cold-Junction-Compensated K-Thermocouple-to-Digital Converter (0°C to +1024°C)

**Absolute Maximum Ratings**

Supply Voltage ( $V_{CC}$  to GND) ..... -0.3V to +6V  
 SO, SCK, CS, T-, T+ to GND ..... -0.3V to  $V_{CC} + 0.3V$   
 SO Current ..... 50mA  
 ESD Protection (Human Body Model) .....  $\pm 2000V$   
 Continuous Power Dissipation ( $T_A = +70^\circ C$ )  
 8-Pin SO (derate 5.88mW/°C above +70°C) ..... 471mW  
 Operating Temperature Range ..... -20°C to +85°C

Storage Temperature Range ..... -65°C to +150°C  
 Junction Temperature ..... +150°C  
 SO Package  
 Vapor Phase (60s) ..... +215°C  
 Infrared (15s) ..... +220°C  
 Lead Temperature (soldering, 10s) ..... +300°C

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

**Electrical Characteristics**

( $V_{CC} = +3.0V$  to +5.5V,  $T_A = -20^\circ C$  to +85°C, unless otherwise noted. Typical values specified at +25°C.) (Note 1)

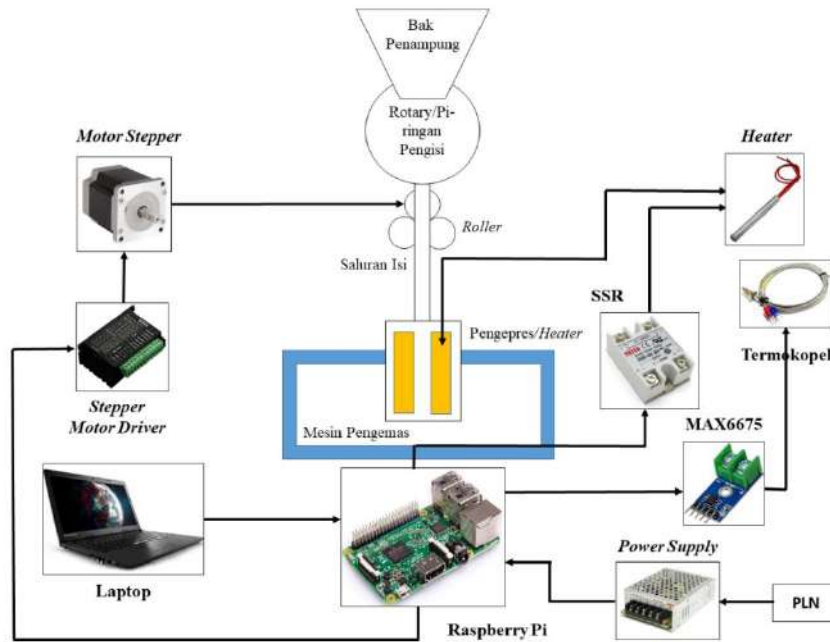
PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
Temperature Error		$T_{THERMOCOUPLE} = +700^\circ C$ , $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-5		+5	LSB
			$V_{CC} = +5V$	-6		+6	
		$T_{THERMOCOUPLE} = 0^\circ C$ to $+700^\circ C$ , $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-8		+8	
			$V_{CC} = +5V$	-9		+9	
Thermocouple Conversion Constant		$T_{THERMOCOUPLE} = +700^\circ C$ to +1000°C, $T_A = +25^\circ C$ (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-17		+17	$\mu V/LSB$
			$V_{CC} = +5V$	-19		+19	
Cold-Junction Compensation Error		$T_A = -20^\circ C$ to +85°C (Note 2)	$V_{CC} = +3.3V$	-3.0		+3.0	°C
Resolution				0.25			°C
Thermocouple Input Impedance				60			k $\Omega$
Supply Voltage	$V_{CC}$		3.0		5.5		V
Supply Current	$I_{CC}$			0.7	1.5		mA
Power-On Reset Threshold		$V_{CC}$ rising		1	2	2.5	V
Power-On Reset Hysteresis				50			mV
Conversion Time		(Note 2)		0.17	0.22		s
<b>SERIAL INTERFACE</b>							
Input Low Voltage	$V_{IL}$				0.3 x $V_{CC}$		V
Input High Voltage	$V_{IH}$			0.7 x $V_{CC}$			V
Input Leakage Current	$I_{LEAK}$	$V_{IN} = GND$ or $V_{CC}$			$\pm 5$		$\mu A$
Input Capacitance	$C_{IN}$			5			pF

Gambar 3.21 Data Sheet Modul Termokopel MAX6675

**3.3 Tahapan Pengerjaan****3.3.1 Tahap Perencanaan Konsep dan Desain**

- 1) Studi literatur mencari teori dan referensi yang relevan dengan topik gagasan yang akan dikerjakan
- 2) Menganalisa kebutuhan produsen, dalam hal ini ialah pelaku UMKM terhadap kebutuhan mesin pengemas otomatis yang digunakan dalam proses produksi.

- 3) Perencanaan konsep desain sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas, seperti yang ditunjukkan pada diagram berikut:



Gambar 3.22 Konsep Desain Sistem Kontrol *Raspberry Pi* pada Mesin Pengemas

- 4) Persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas.

### 3.3.2 Tahap Pembuatan Program

- 1) Sebelum pembuatan program, terlebih dahulu dilakukan penginstalan sistem operasi pada *Raspberry Pi* yang dilakukan pada komputer.
- 2) Setelah sistem operasi terinstal, untuk memudahkan pengerjaan *Raspberry Pi* dapat dilakukan penghubungan antara laptop dengan *Raspberry Pi*, sehingga *Raspberry Pi* dapat diakses melalui laptop.
- 3) Pembuatan program pengaturan berat dan kapasitas mesin pengemas melalui pengaturan penarikan *roller* pada motor *stepper*.
- 4) Pembuatan program pengaturan temperatur melalui termokopel sehingga *heater* melakukan pemanasan yang tepat untuk proses pengepresan kemasan pada mesin pengemas.
- 5) Melakukan simulasi atau percobaan program yang telah dibuat pada masing-masing komponen, sebelum dipasang pada mesin pengemas.

### 3.3.3 Tahap Pelaksanaan atau Uji Coba Program

- 1) Pemasangan komponen pengontrolan *Raspberry Pi* pada mesin pengemas.



- 2) Dalam tahap pelaksanaan program diawali dengan menghubungkan *Raspberry Pi* dan laptop atau komputer dengan jaringan internet atau *wifi* melalui penyesuaian alamat IP, sehingga pengaturan dan program mesin pengemas dapat dijalankan melalui laptop atau komputer.
- 3) Setelah semua komponen terangkai dan terhubung, program yang telah dibuat dapat dijalankan pada masing-masing komponen tanpa menggunakan produk serbuk terlebih dahulu. Ini bertujuan agar diperoleh pengaturan dan penyetelan program yang tepat, sehingga pada saat mesin bekerja, produk serbuk dapat dikemas dengan baik melalui sistem pengemasan dan pengepresan yang dikontrol oleh *Raspberry Pi*.

#### **3.3.4 Tahap Uji Performa**

- 1) Uji performa mesin pengemas dengan sistem kontrol *Raspberry Pi* dilakukan pada perintah yang di-inputkan, yaitu berat dan kapasitas pengemasan yang dapat dilihat dari kemampuan penarikan dan jeda berhenti *roller* melalui motor *stepper* dan kemampuan pembacaan temperatur melalui termokopel sehingga suhu *heater* dijaga pada suhu pengepresan. Dari kedua uji performa ini dapat diperoleh data apakah mesin pengemas stabil dalam melakukan pengisian, pengemasan, dan pengepresan kemasan atau tidak.
- 2) Hasil dari uji performa selanjutnya didokumentasikan dan dicatat untuk memperoleh data performa mesin. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap data yang diperoleh dari hasil uji performa.

#### **3.3.5 Tahap Analisis Program dan Data**

- 1) Analisis program yang pertama dilakukan pada kerja motor *stepper* apakah melakukan penarikan plastik kemasan melalui *roller* dengan tepat atau tidak. Apabila diperoleh berat dan kapasitas mesin pengemas yang kurang sesuai, dapat dilakukan koreksi program untuk nantinya diujikan kembali hingga diperoleh nilai berat dan kapasitas yang sesuai dengan jumlah minimal kemasan sejumlah 2600 psc/jam.
- 2) Analisis kedua dilakukan pada *heater* yang terdapat pada *sealer*, apakah melakukan pemanasan yang sesuai atau tidak dalam proses pengepresan kemasan, sehingga hasil pengepresan pada kemasan baik dan tertutup rapat.
- 3) Analisis mengenai hasil pengujian yang telah dilakukan pada mesin pengemas bertujuan agar diperoleh proses dan hasil pengemasan yang baik dengan kemampuan pengemasan yang stabil.
- 4) Penarikan kesimpulan.

#### **3.3.6 Tahap Evaluasi**

Pada tahap ini dilakukan evaluasi berdasarkan hasil uji performa mesin pengemas kapasitas 2600 pcs/jam dengan sistem kontrol *Raspberry Pi* yang telah dilakukan. Evaluasi ini berupa solusi dari hasil pengemasan pada saat uji performa

mesin pengemas, pemaksimalan kerja mesin pengemas, dan rencana produksi serta penerapan mesin pengemas berbasis sistem kontrol *Raspberry Pi* yang mampu menghasilkan *income* dan kebermanfaatan bagi masyarakat, khususnya pelaku UMKM dan industri kecil.

### 3.4 Alat Dan Bahan Uji Coba

#### 3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam perancangan mesin pengemas produk serbuk yaitu:

- a) Mesin Pengemas  
Mesin yang akan dikontrol dengan sistem kontrol *Raspberry Pi*.
- b) Komputer atau laptop  
Komputer atau laptop digunakan sebagai antarmuka *user* dalam mengakses, membuat, dan menjalankan program pada *Raspberry Pi*.
- c) *Raspberry Pi 3* model B  
*Raspberry Pi* digunakan sebagai pusat pemrograman yang menjadi otak dan pengontrol sistem pada mesin pengemas.
- d) *Toolkit Raspberry Pi 3* model B  
Semua perlengkapan yang dibutuhkan untuk menunjang penggunaan *Raspberry Pi*.
- e) Kabel LAN  
Digunakan untuk menghubungkan *Raspberry Pi* dengan komputer atau laptop.
- f) Aplikasi Penginstal *Raspberry Pi*, meliputi NOOBS, *SD Formatter*, *IP Scanner*, *PuTTY*, *VNC Viewer*, dan *VNC Server*.
- g) Jaringan Internet  
Jaringan internet digunakan untuk menghubungkan *server Raspberry Pi* dengan komputer atau laptop melalui alamat IP.
- h) Timbangan digital  
Digunakan untuk mengukur berat hasil pengemasan yang dilakukan oleh mesin pengemas.
- i) *Stopwatch*  
Digunakan untuk menghitung lama pengemasan yang dilakukan oleh mesin pengemas dengan sistem kontrol *Raspberry Pi*.

#### 3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

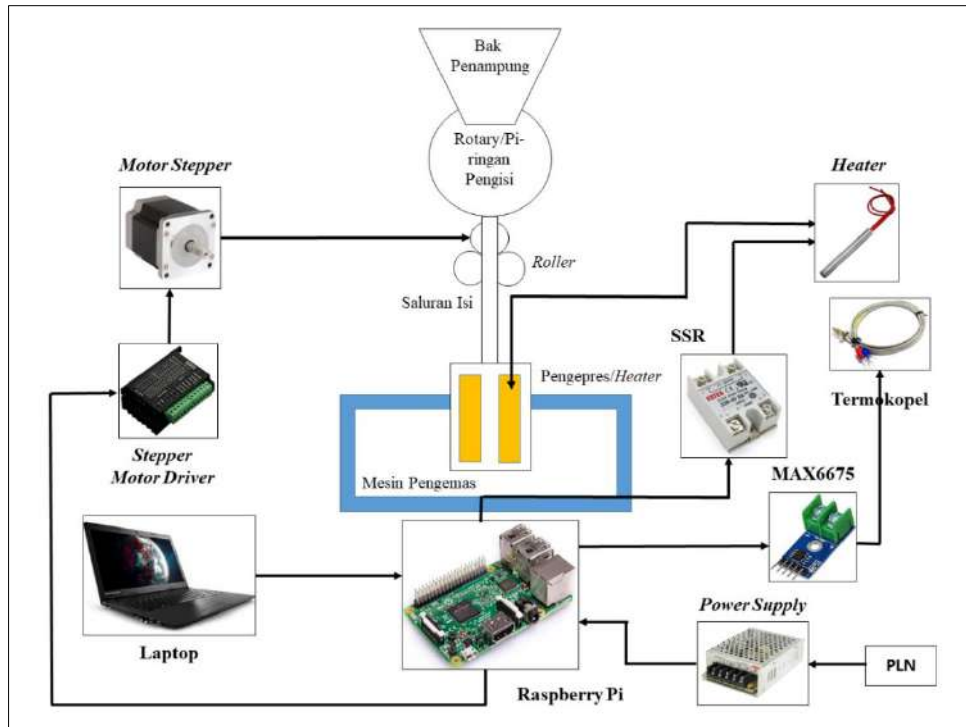
- a) Motor stepper  
Digunakan untuk mengatur *roller* dalam melakukan penarikan plastik kemasan pada mesin pengemas.
- b) *Driver* motor stepper

Perangkat elektronik yang digunakan untuk mengontrol kecepatan serta arah putar motor stepper.

- c) Kabel jamper  
Digunakan untuk menghubungkan GPIO pin *Raspberry Pi* dengan komponen pengontrol mesin pengemas.
- d) *Power supply*  
Digunakan untuk mengubah arus AC menjadi arus DC yang kemudian diubah menjadi daya atau energi yang dibutuhkan komponen-komponen pada rangkaian sistem kontrol mesin pengemas.
- e) *Heater*  
Digunakan sebagai pemanas dalam proses pengepresan plastik kemasan pada mesin pengemas.
- f) *Solid State Relay (SSR)*  
SSR untuk mengaktifkan atau mematikan arus listrik dalam proses pemanasan *heater*.
- g) Baut dan mur  
Digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen pada sistem kontrol mesin pengemas.
- h) Sensor termokopel  
Digunakan untuk mendeteksi temperatur pada *heater* mesin pengemas, sehingga memperoleh temperatur yang tepat pada saat mesin pengemas bekerja.
- i) Modul termokopel MAX6675  
Digunakan untuk membaca dan menampilkan temperatur yang dibaca oleh sensor termokopel.
- j) Panel box  
Digunakan sebagai tempat seluruh rangkaian sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas produk serbuk.

### **3.5 Perancangan Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam**

Secara keseluruhan desain sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas produk serbuk ditunjukkan pada gambar di bawah. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, *Raspberry Pi* menjadi pusat kontrol untuk mengatur kerja dari mesin pengemas melalui sebuah laptop ataupun komputer.



Gambar 3.23 Sistem Kontrol *Raspberry Pi* pada Mesin Pengemas

Seperti pada gambar di atas, sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas terbagi menjadi 2 sistem, yaitu sistem pengemasan dikontrol menggunakan motor *stepper* dan sistem pengepresan yang dilakukan dengan mengontrol pemanasan pada *heater* sesuai dengan proses pengepresan pada kemasan. Penjelasan mengenai sistem tersebut adalah sebagai berikut:

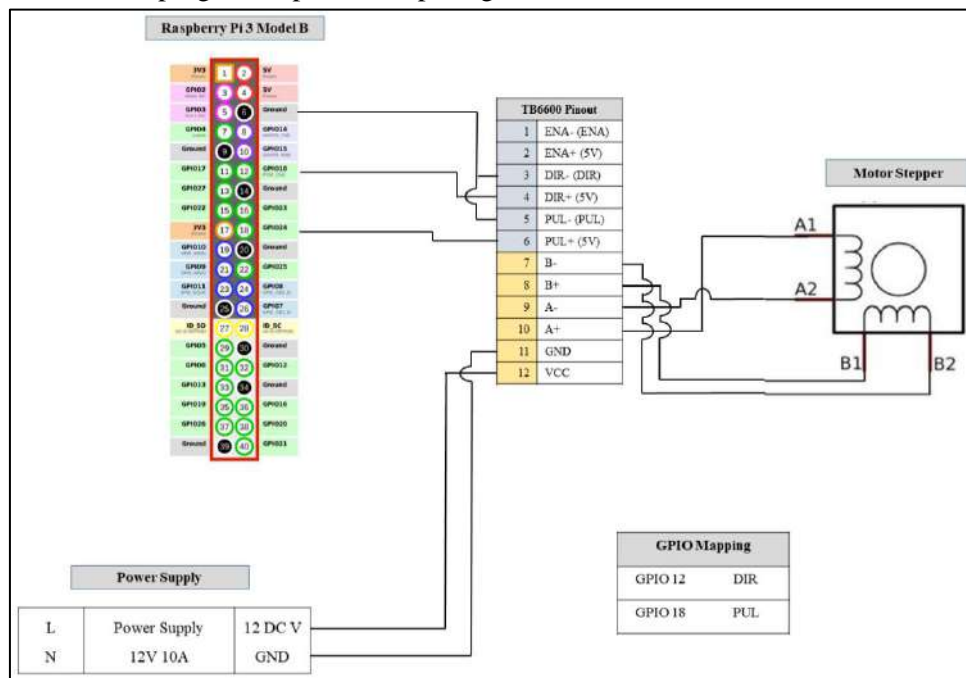
### 3.5.1 Sistem Pengemasan Menggunakan Motor *Stepper*

Sistem pengemasan diatur menggunakan putaran motor *stepper* dalam melakukan penarikan plastik kemasan dan jeda berhenti motor *stepper* untuk pengisian produk serbuk ke dalam kemasan. Motor *stepper* yang digunakan merupakan motor *stepper* NEMA 23 23HS7628 dengan kekuatan 1.89 N.m. Motor *stepper* dikontrol oleh *Raspberry Pi* melalui *driver* motor *stepper* untuk melakukan penarikan plastik kemasan sesuai dengan proses pengemasan pada saat mesin pengemas bekerja. *Driver* motor *stepper* yang digunakan ialah TB6600 yang dapat digunakan untuk mengendalikan motor *stepper* dengan daya yang besar, termasuk motor *stepper* NEMA 23 yang digunakan pada mesin pengemas ini. *Driver* ini memiliki arus *output* maksimal sebesar 4A dengan tegangan antara 9 – 42V.

Penarikan plastik kemasan oleh motor *stepper* disesuaikan dengan jumlah dan ukuran produk yang diinginkan. Jika produk yang dikemas banyak tentunya akan membutuhkan ukuran kemasan yang besar juga. Dalam hal ini motor *stepper* dapat

diatur putarannya sehingga dapat menarik plastik kemasan sesuai dengan jumlah yang diinginkan. Untuk jeda berhenti motor *stepper* dapat diatur sesuai dengan berat produk serbuk yang akan dikemas dengan memperhatikan aliran pengemasan dari bak penampung ke plastik kemasan.

Program pada sistem pengemasan ini diinputkan pada *Raspberry Pi* untuk diteruskan ke *driver* motor *stepper* dengan daya yang dihasilkan oleh *power supply*. Untuk skema program dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3.24 Skema Program Sistem Pengemas

Kemudian untuk program pengemasan yang diinputkan pada *Raspberry Pi* adalah sebagai berikut:

```

1 #!/bin/bash
2 from time import sleep
3 import RPi.GPIO as GPIO
4
5 DIR = 12
6 PUL = 18
7
8 GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
9 GPIO.setwarnings(False)
10 GPIO.setup(PUL, GPIO.OUT)
11 GPIO.setup(DIR, GPIO.OUT)
12

```

```

12
13 delay = 0.00001
14 GPIO.output(DIR, GPIO.HIGH)
15 flag=1
16 while (flag):
17     for x in range (6400):
18         GPIO.output(DIR, GPIO.HIGH)
19         GPIO.output(PUL, GPIO.HIGH)
20         print ('On')
21         sleep(delay)
22         GPIO.output(PUL, GPIO.LOW)
23         print('Off')
24
16 while (flag):
17     for x in range (6400):
18         GPIO.output(DIR, GPIO.HIGH)
19         GPIO.output(PUL, GPIO.HIGH)
20         print ('On')
21         sleep(delay)
22         GPIO.output(PUL, GPIO.LOW)
23         print('Off')
24         sleep(delay)
25     sleep(3)
26     print('berhenti')
27     GPIO.cleanup()

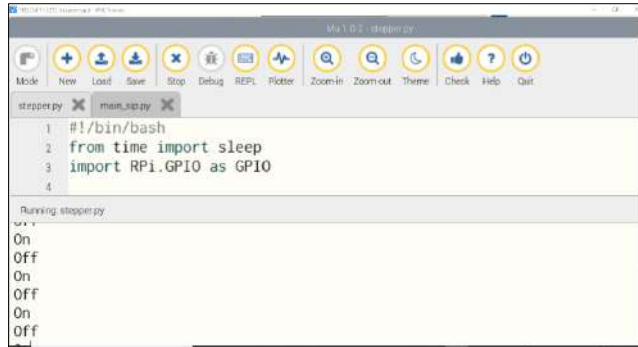
```

Gambar 3.25 Pembuatan Program Sistem Pengemasan

Untuk memperoleh program yang benar dan tepat, selanjutnya dilakukan uji coba atau simulasi program yang diinputkan pada *Raspberry Pi* dengan cara menghubungkan seluruh rangkaian sistem pengemasan seperti pada gambar di bawah, namun rangkaiannya belum dipasangkan pada mesin pengemas. Kemudian program yang telah dibuat dieksekusi dengan me-*run* pada layar program *Raspberry Pi*. Gambar dan hasil dari uji coba program ditunjukkan seperti pada gambar berikut:

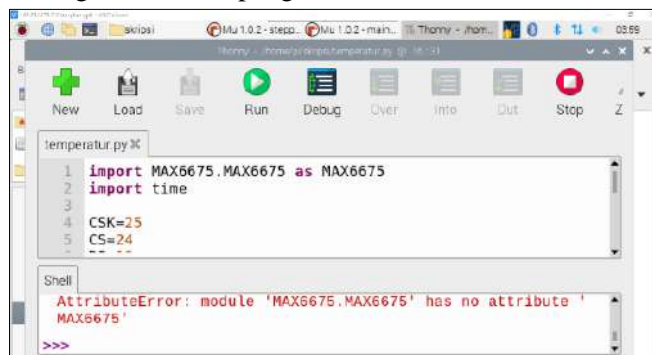


Gambar 3.26 Rangkaian Uji Coba Program



Gambar 3.27 Hasil Uji Coba Program

Program benar apabila pada saat dilakukan eksekusi dapat berjalan dengan baik, serta di bagian bawah atau *running* program tidak terdapat peringatan seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Berdasarkan gambar di atas maka dapat disimpulkan bahwa program berjalan dengan benar dan tepat sehingga siap untuk dipasangkan pada rangkaian mesin pengemas.

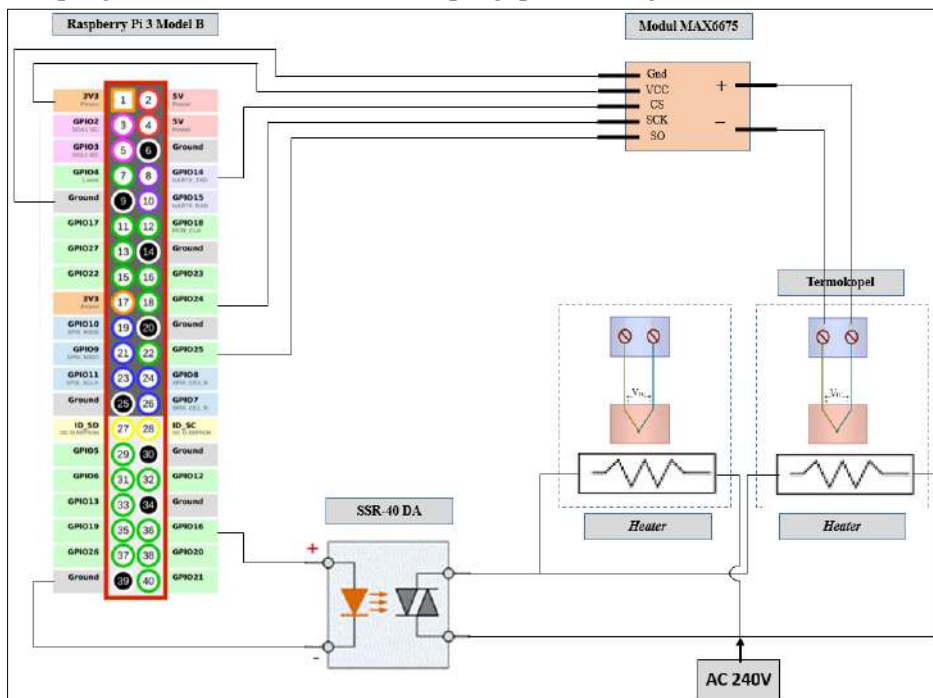


Gambar 3.28 Peringatan pada Program yang Salah

### 3.5.2 Sistem Pengepresan dengan Kontrol Heater

Sistem pengepresan dilakukan dengan mengontrol pemanasan pada *heater*. *Heater* yang digunakan ialah jenis *cartridge heater* dengan panjang 130 mm dan diameter 8 mm untuk *heater* bawah. Sementara yang *heater* atas mempunyai ukuran panjang 80 mm dan diameter 8 mm. *Heater* ini masing-masing dipasangkan pada pasangan *sealer* yang berfungsi untuk melakukan pengepresan pada plastik kemasan. *Heater* ini bekerja pada arus 220 V dengan daya sebesar 350 W. Suhu pada *heater* diatur untuk memperoleh pemanasan yang tepat pada saat proses pengepresan. Ketika belum mencapai suhu pengepresan, *heater* akan dialiri arus listrik untuk meningkatkan suhu sehingga diperoleh temperatur pengepresan yang diinginkan. Ketika mencapai temperatur pengepresan maka arus yang mengalir ke *heater* akan berhenti, sehingga tidak melakukan pemanasan.

Proses ini dilakukan dengan menempatkan termokopel pada sisi *heater* untuk mendeteksi temperatur *heater* pada saat bekerja. Termokopel ditempatkan pada pengepres bawah. Termokopel ini merupakan tipe K yang mampu membaca suhu 0 sampai 400°C dengan panjang kabel 2 meter. Suhu yang dibaca oleh termokopel melalui modul termokopel selanjutnya diteruskan ke *Raspberry Pi* untuk memerintah SSR dalam menghubungkan dan memutuskan arus ke *heater*. Modul termokopel yang digunakan ialah MAX6675 yang dapat digunakan untuk berbagai mikrokontroler maupun *microprocessor* seperti *Raspberry Pi*. Saat proses pengepresan, semakin lama maka suhu *heater* akan turun. Oleh karenanya ketika suhunya turun di bawah suhu pengepresan, maka *heater* akan kembali dialiri arus listrik melalui SSR untuk terus menjaga suhu pengepresan yang diinginkan pada mesin pengemas. Berikut skema sistem pengepresan dengan kontrol *heater*:



Gambar 3.29 Skema Program Sistem Pengepresan dengan Kontrol Heater

Kemudian untuk program sistem pengepresan yang diinputkan pada *Raspberry Pi* adalah sebagai berikut:



```

1  #!/usr/local/bin/python3
2  #-*- coding: utf-8 -*-
3
4  import RPi.GPIO as GPIO
5  import MAX6675 as MAX6675
6  import time
7  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
8  GPIO.setwarnings(False)
9
10 #CLK OR SCK
11 CLK = 23
12

```

```

12
13 #CS
14 CS = 14
15
16 #SO OR DO
17 #sensor1
18 DO1 = 25
19 #sensor2
20 #DO2 = 12
21
22 #c = celsius
23 #f = Fahrenheit

```

```

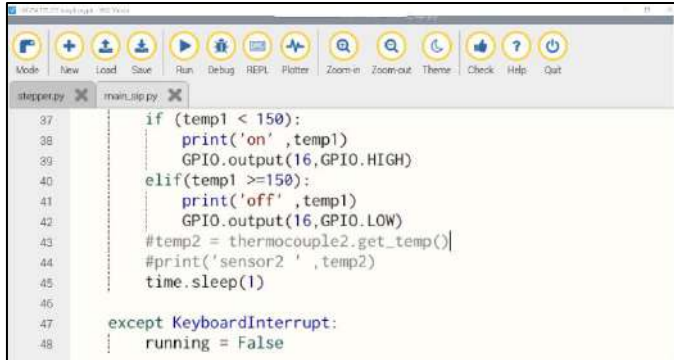
22 #c = celsius
23 #f = Fahrenheit
24 #k = kelvin
25 units = "c"
26 GPIO.setup(16, GPIO.OUT)
27
28 thermocouple1 = MAX6675.MAX6675(CLK, CS, DO1, units)
29 #thermocouple2 = MAX6675.MAX6675(CLK, CS, DO2, units)
30 time.sleep(1)
31 running = True
32 while(running):

```

```

32 while(running):
33     try:
34
35         temp1 = (thermocouple1.get_temp())
36         print('sensor1 ',temp1)
37         if (temp1 < 150):
38             print('on' ,temp1)
39             GPIO.output(16,GPIO.HIGH)
40         elif(temp1 >=150):
41             print('off' ,temp1)
42             GPIO.output(16,GPIO.LOW)
43         #temp2 = thermocouple2.get temp()

```



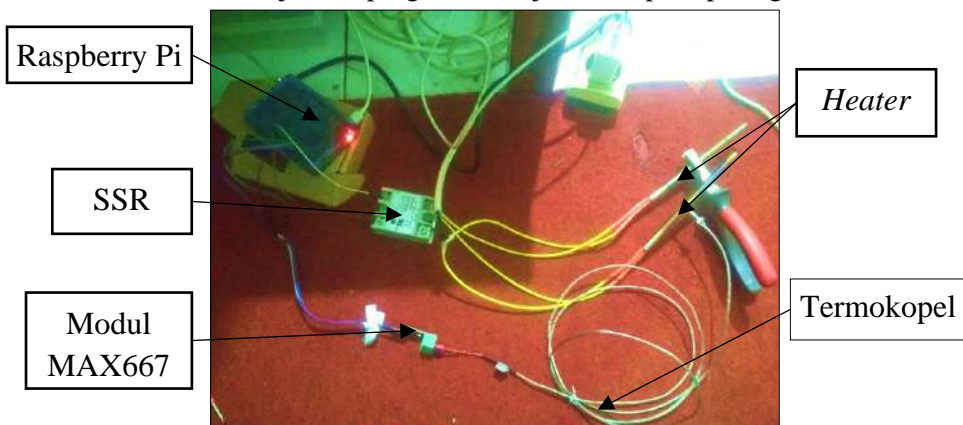
```

37     if (temp1 < 150):
38         print('on' ,temp1)
39         GPIO.output(16,GPIO.HIGH)
40     elif(temp1 >=150):
41         print('off' ,temp1)
42         GPIO.output(16,GPIO.LOW)
43     #temp2 = thermocouple2.get_temp()
44     #print('sensor2 ' ,temp2)
45     time.sleep(1)
46
47     except KeyboardInterrupt:
48         running = False

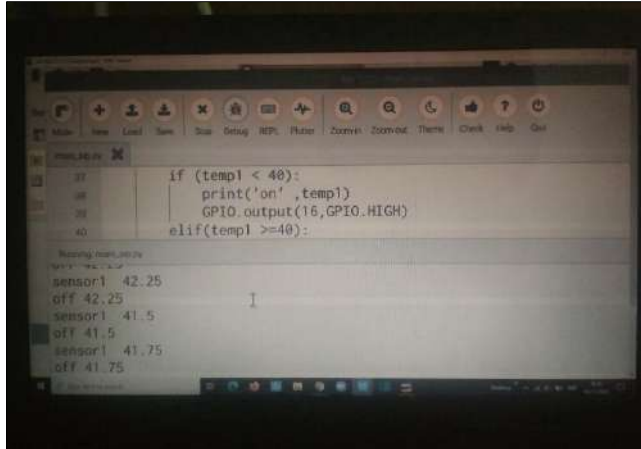
```

Gambar 3.30 Program Sistem Pengepresan

Seperti halnya pada sistem pengemasan, pada sistem pengepresan juga dilakukan uji coba atau simulasi program yang diinputkan pada *Raspberry Pi* dengan cara menghubungkan seluruh rangkaian sistem pengemasan seperti pada gambar di atas dengan rangkaian belum dipasangkan pada mesin pengemas. Kemudian program yang telah dibuat dieksekusi dengan *me-run* pada layar program *Raspberry Pi*. Gambar dan hasil dari uji coba program ditunjukkan seperti pada gambar berikut:



Gambar 3. 31 Rangkaian Uji Coba Program



```

if (temp1 < 40):
    print('on' ,temp1)
    GPIO_output(16,GPIO.HIGH)
elif(temp1 >=40):
    print('off' ,temp1)
    GPIO_output(16,GPIO.LOW)

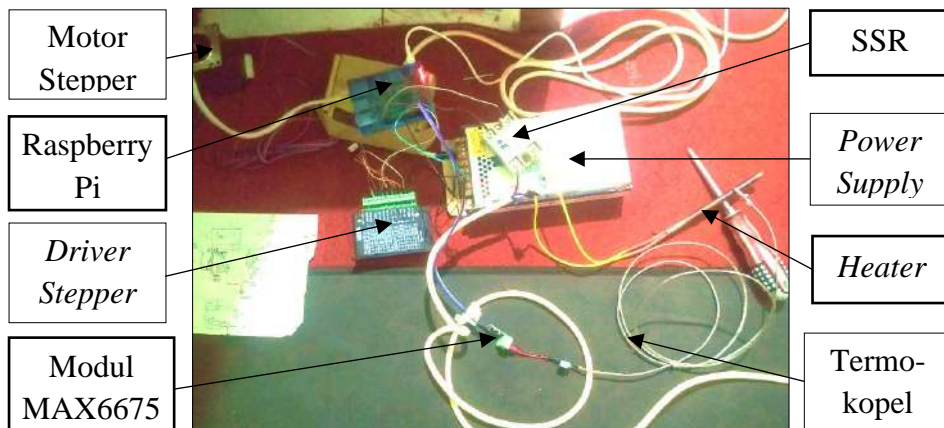
Running main.py
sensor1 42.25
off 42.25
sensor1 41.5
off 41.5
sensor1 41.75
off 41.75

```

Gambar 3.32 Hasil Uji Coba Program

Program benar apabila pada saat dilakukan eksekusi dapat berjalan seperti yang diinginkan, dengan di bagian bawah atau *running* program tidak terdapat peringatan. Berdasarkan gambar di atas, maka dapat disimpulkan bahwa program berjalan dengan benar dan tepat sehingga siap untuk dipasangkan pada rangkaian mesin pengemas.

Setelah program pada sistem pengemasan dan pengepresan sudah diuji coba masing-masing, selanjutnya dilakukan uji coba program secara bersama-sama. Ini dikarenakan pada saat mesin pengemas bekerja, kedua sistem akan berjalan bersama-sama. Dalam uji coba ini semua komponen sistem pengemasan dan pengepresan harus terpasang dan kedua program juga harus terbuka semua di layar monitor seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



Gambar 3.33 Rangkaian Sistem Pengemasan dan Pengepresan

Prosedur uji coba sama seperti uji coba pada masing-masing sistem pengemasan dan pengepresan, yaitu dengan me-*run* masing-masing program secara bersamaan. Hasil uji coba program ditunjukkan pada gambar berikut:

```

16 while (flag):
17     for x in range (6400):
18         GPIO.output(DIR,
19                     GPIO.output(PUL,
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000

```

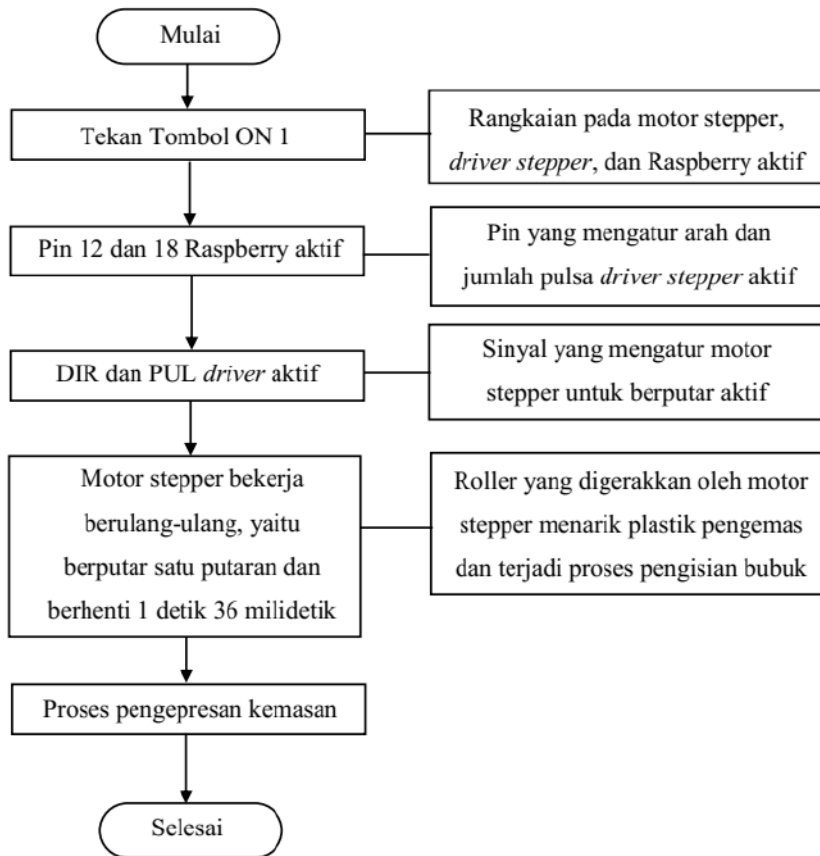
Gambar 3.34 Hasil Uji Coba Program Pengemasan dan Pengepresan

Berdasarkan hasil uji coba di atas, program berhasil berjalan dengan baik. Kedua program dapat berjalan dan bekerja secara bersama-sama. Ini menunjukkan bahwa program berhasil dan dapat diterapkan pada mesin pengemas produk serbuk. Selanjutnya dilakukan pemasangan masing-masing komponen berdasarkan rangkaian sistem pengemasan dan pengepresan pada mesin pengemas yang nantinya akan dilanjutkan dengan uji performa mesin.

### 3.5.3 Diagram Alir Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam

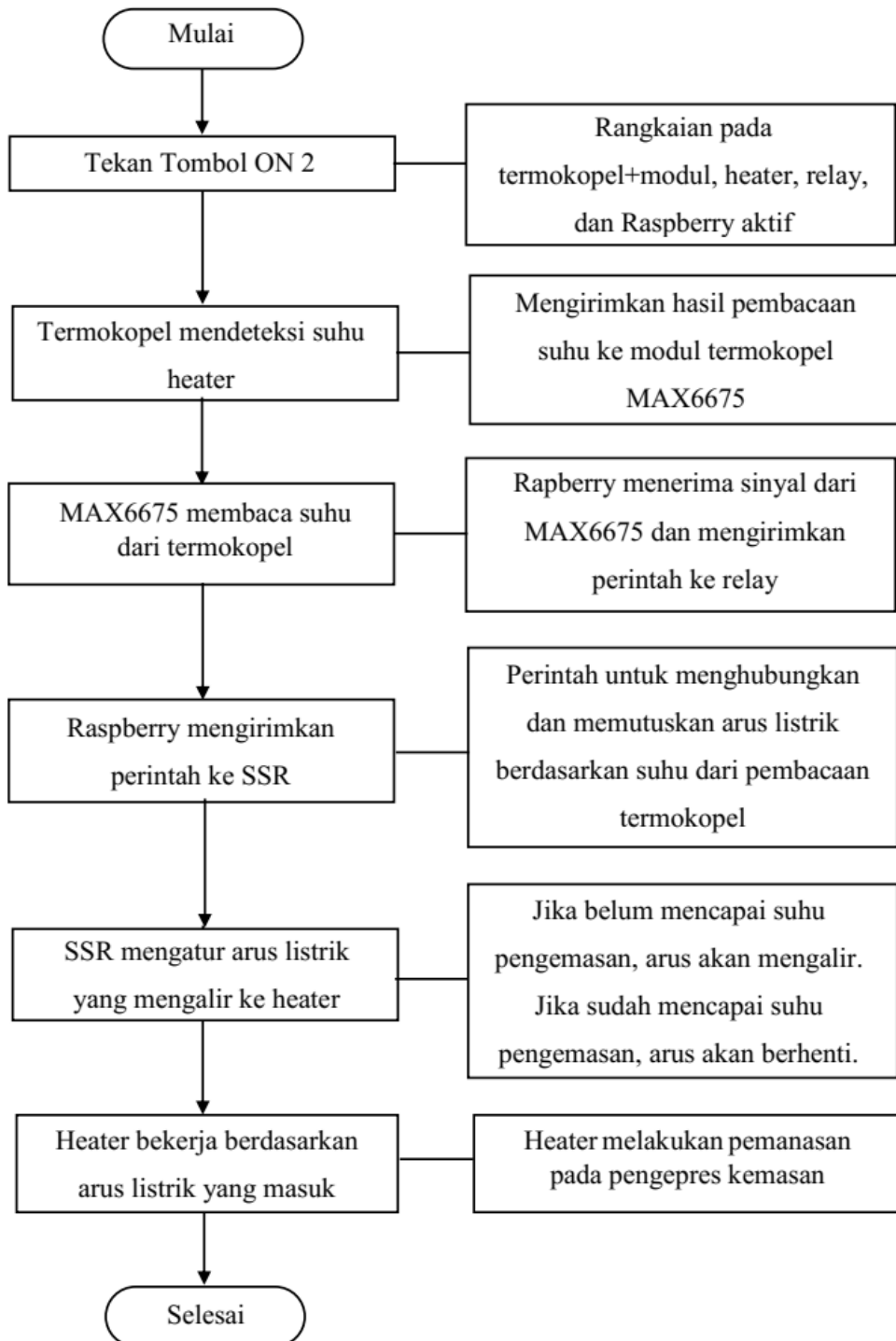
Diagram alir sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas dibagi menjadi 2 bagian yang disesuaikan dengan proses pengaktifan masing-masing sistem, yaitu diagram alir sistem pengemasan dengan menggunakan motor *stepper* dan diagram alir sistem pengepresan dengan kontrol pemanasan pada *heater* sesuai dengan proses pengepresan pada kemasan. Diagram alir berikut merupakan salah satu bagian untuk memahami prosedur operasional mesin pengemas produk serbuk. Berikut kedua diagram alir tersebut:

a. **Sistem Pengemasan dengan Menggunakan Motor *Stepper***



Gambar 3.35 Diagram Alir Sistem Pengemasan

**b. Sistem Pengepresan dengan Kontrol Pemanasan pada Heater**



Gambar 3.36 Diagram Alir Sistem Pengepresan

### 3.6 Hasil Perancangan Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam

Hasil perancangan komponen sistem pengemasan dimulai dari gelas ukur yang ditunjukkan pada gambar di bawah. Gelas ukur ini digunakan sebagai pengatur berat sekaligus jalan masuk produk serbuk yang akan dikemas. Terdapat beberapa gelas ukur dengan volume yang berbeda-beda untuk mendapatkan berat kemasan yang berbeda pula. Selanjutnya hasil perancangan *roller* yang digerakkan oleh motor *stepper* ditunjukkan pada gambar.



Gambar 3.37 Gelas Ukur

Gelas ukur yang digunakan dalam uji coba ini berbahan teflon, yang dibuat seperti pada gambar. Terdapat ulir sebagai alur pemasangan pada piringan pembagi dan dapat dikencangkan hingga gelas ukur benar-benar rapat dan bergesekan dengan piringan bawah. Ini bertujuan agar tidak ada produk serbuk yang bocor atau tumpah pada saat proses pengemasan. Terdapat 4 buah gelas ukur yang dipasangkan pada piringan pembagi. Gelas ukur yang digunakan mempunyai ukuran sebagai diameter luar 38 mm, diameter dalam 17 mm, dan tinggi lubang 48 mm, sehingga dapat dihitung volumenya sebagai berikut:

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot t \dots\dots\dots (3.1)$$

$$= 3,14 \cdot 8,5^2 \cdot 48$$

$$= 10.889,5 \text{ mm}^3$$

$$\text{Massa jenis gula} = 1,6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = 0,0016 \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3}$$

Sehingga berat gula yang akan dikemas yaitu:

$$m = \rho \cdot V \dots\dots\dots (3.2)$$

$$= 0,0016 \frac{\text{gr}}{\text{mm}^3} \times 10.889,5 \text{ mm}^3$$

$$= 17,42 \text{ gram}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, berat produk serbuk yang akan dikemas yaitu 17,42 gram. Penggunaan gelas ukur dapat diganti dengan ukuran diameter yang

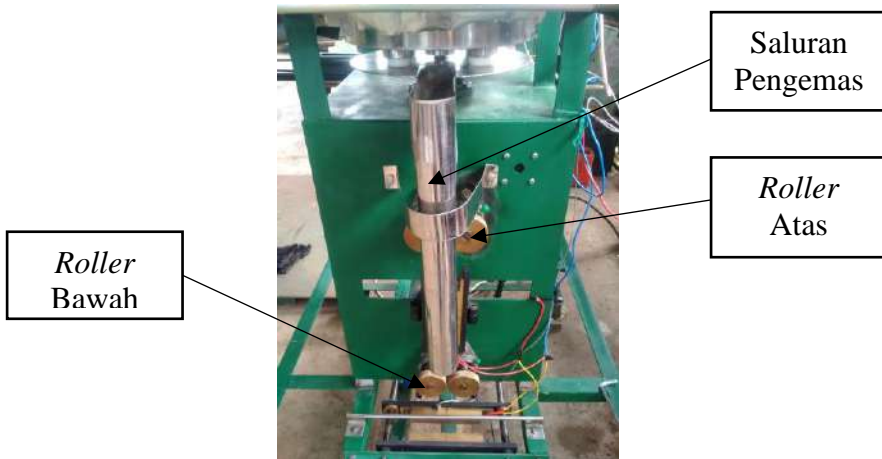
berbeda sesuai dengan berat kemasan yang akan dikemas. Perbandingan antara gelas ukur yang digunakan saat ini dengan gelas ukur yang akan digunakan nantinya yaitu:

$$m_1 = m_2 \dots\dots\dots (3.3)$$

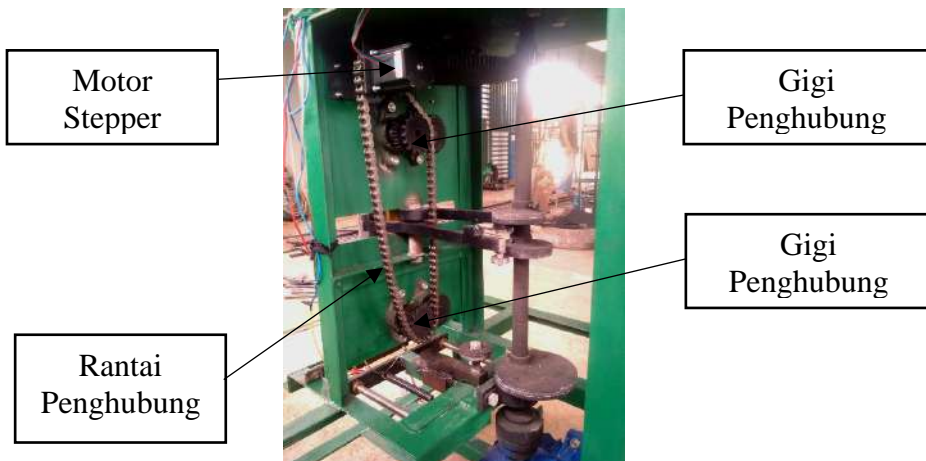
$$\rho \cdot \pi \cdot r_1^2 \cdot t = \rho \cdot \pi \cdot r_2^2 \cdot t \dots\dots\dots (3.4)$$

$$r_1^2 = r_2^2 \dots\dots\dots (3.5)$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui bahwa massa jenis ( $\rho$ ), nilai phi ( $\pi$ ), dan tinggi lubang ( $t$ ) bernilai sama. Diperoleh nilai jari-jari ( $r$ ) kuadrat dari tiap-tiap gelas ukur. Sehingga perbandingan antara gelas ukur yang digunakan saat ini dengan gelas ukur yang akan digunakan nantinya ialah perbandingan kuadrat dari jari-jari gelas ukur yang digunakan.



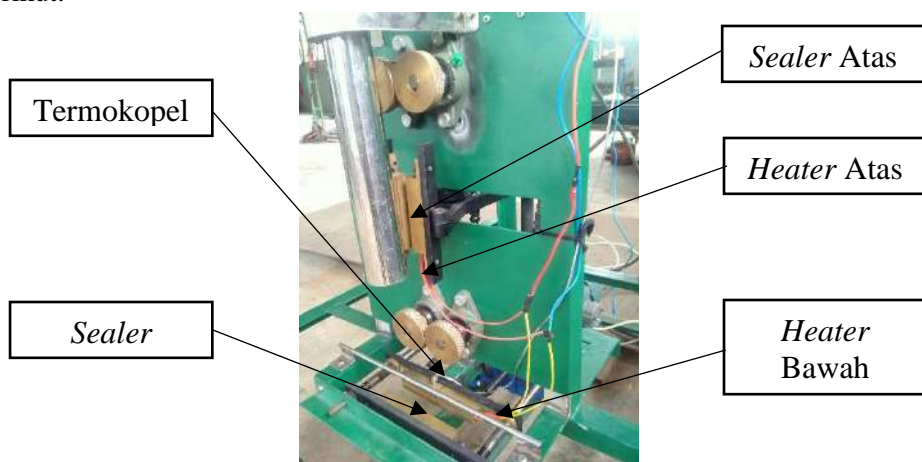
Gambar 3.38 Hasil Perancangan Sistem Pengemasan Tampak Depan



Gambar 3.39 Hasil Perancangan Sistem Pengemasan Tampak Belakang



Dari gambar diatas dua pasang *roller* atas dan bawah digunakan sebagai penarik plastik kemasan. Kedua *roller* digerakkan oleh putaran motor *stepper* melalui pasangan roda gigi yang terpasang di bagian belakang mesin. Putaran motor *stepper* disesuaikan dengan proses kerja mesin pengemas yang dikontrol oleh *Raspberry Pi*. Putaran motor *stepper* dapat diatur kecepatannya, sehingga untuk memperoleh ukuran kemasan yang berbeda diatur melalui kecepatan putar motor *stepper*. Jika digunakan untuk mengemas produk dengan kemasan yang kecil dan pendek, maka kecepatan putar motor *stepper* dibuat lambat. Sementara jika digunakan untuk mengemas produk dengan kemasan yang lebih panjang, kecepatan putar motor *stepper* dibuat cepat. Dengan waktu yang sama, perbedaan kecepatan putaran motor *stepper* tentunya akan menghasilkan panjang kemasan yang berbeda pula. Sementara untuk hasil perancangan komponen sistem pengepresan ditunjukkan pada gambar berikut.



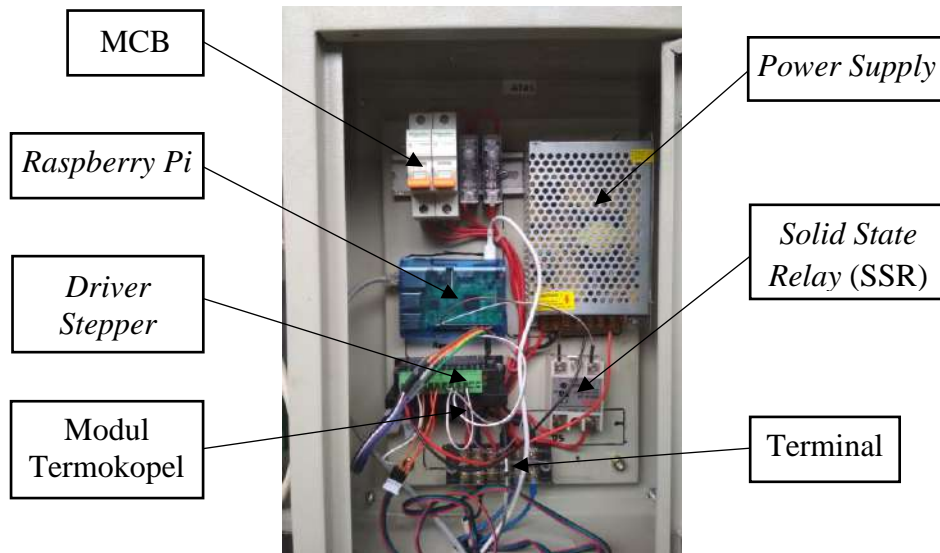
Gambar 3.40 Hasil Perancangan Sistem Pengepresan

Pada gambar di atas menunjukkan bahwa terdapat 2 pasang *sealer* atau pengepres, yaitu *sealer* atas yang berfungsi untuk mengepres plastik kemasan bagian belakang dan *sealer* bawah yang berfungsi untuk mengepres plastik kemasan bagian bawah. Pada masing-masing *sealer* atas dan bawah dipasangkan *heater* pada salah satu pengepresnya yang berfungsi untuk memanaskan *sealer* untuk memperoleh suhu pengepresan kemasan yang tepat. Pada *heater* bawah dipasangkan termokopel untuk mendeteksi dan membaca suhu dari *sealer*. Hasil pembacaan suhu selanjutnya ditampilkan oleh modul termokopel MAX6675 pada layar monitor. Melalui program sistem kontrol *Raspberry Pi*, hasil pembacaan suhu termokopel digunakan untuk mengatur SSR dalam menghubungkan dan memutuskan arus listrik yang mengalir ke *heater*, sehingga pemanasan *sealer* dapat dijaga pada suhu pengepresan yang diinginkan. Berikut tampilan mesin pengemas produk serbuk dengan gulungan rol plastik yang siap untuk dilakukan proses pengemasan.



Gambar 3.41 Hasil Perancangan Sistem Pengemasan dan Pengepresan

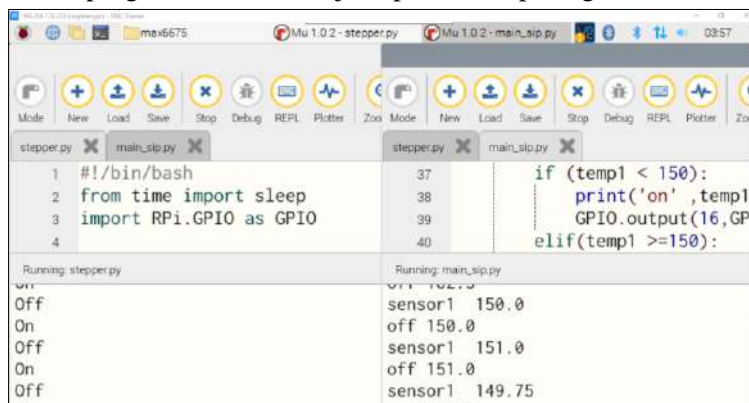
Kedua sistem selanjutnya diatur melalui sebuah rangkaian sistem kontrol *Raspberry Pi* yang dipasangkan pada panel box, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3.42 Panel Rangkaian Sistem Kontrol *Raspberry Pi*

Pada rangkaian sistem kontrol *Raspberry Pi* di atas, *Raspberry Pi* dihubungkan ke laptop atau komputer sebagai pusat dan *monitoring* program yang berjalan. Melalui laptop atau komputer inilah, *Raspberry Pi* mengatur sistem pengemasan dan pengepresan pada mesin pengemas produk serbuk. Setelah semua rangkaian sistem pengemasan dan pengepresan telah terhubung, selanjutnya dapat dilakukan

penyalaaan mesin pengemas untuk melakukan proses pengisian hingga pengemasan produk serbuk yang akan dikemas. Penyalaaan mesin dimulai dengan mengaktifkan program sistem pengepresan untuk memanaskan *heater* hingga mencapai temperatur pengepresan. Setelah mencapai temperatur pengepresan, program sistem pengemasan diaktifkan untuk memulai kerja mesin dalam melakukan pengemasan produk serbuk. Tampilan kedua program ketika bekerja dapat dilihat pada gambar berikut.



```

stepper.py | main_sip.py
1 #!/bin/bash | 37 | if (temp1 < 150):
2 from time import sleep | 38 |     print('on' , temp1
3 import RPi.GPIO as GPIO | 39 |     GPIO.output(16, GP
4 | 40 | elif (temp1 >=150):

Running: stepper.py | Running: main_sip.py
Off | sensor1 150.0
On | off 150.0
Off | sensor1 151.0
On | off 151.0
Off | sensor1 149.75

```

Gambar 3.43 Program Pengemasan dan Pengepresan pada Saat Dijalankan

### 3.6.1 Prosedur Operasional Mesin Pengemas Produk Serbuk dengan Sistem Kontrol *Raspberry Pi*

Agar penggunaan sistem kontrol mesin pengemas produk serbuk ini dapat dilakukan dengan baik, maka perlu adanya prosedur untuk mengoperasikannya. Prosedur operasional mesin meliputi instalasi, pengoperasian, dan mematikan. Berikut prosedur pengoperasian sistem kontrol *raspberry pi* pada mesin pengemas produk serbuk:

1. Langkah instalasi
  - a. Pastikan bak penampung produk serbuk dan gelas ukur bersih dari kotoran maupun sisa produk sebelumnya.
  - b. Pasang ujung lembaran rol plastik melewati rumah saluran pengemas, *roller* atas, *sealer* atas, *roller* bawah hingga *selaer* bawah. Pastikan lembaran plastik kemasan terjepit dengan baik dan kuat.
  - c. Hubungkan *Raspberry Pi* dengan laptop. Buka program sistem pengemasan dan pengepresan mesin pengemas.
  - d. Colokkan terminal rangkaian panel box ke stopkontak. Pastikan semua komponen dan rangkaian mesin pengemas terhubung dengan baik.
  
2. Langkah pengoperasian

- a. Masukkan produk serbuk ke dalam bak penampung.
  - b. Tekan tombol ON pada MCB 1 untuk mengaktifkan pemanasan *heater* dan penarikan motor *stepper*.
  - c. Tekan *Run* pada program sistem pengepresan sehingga kontrol dan pemanas *heater* aktif dan tunggu hingga mencapai temperatur pengepresan yang diinginkan (150°C).
  - d. Putar secara manual poros motor utama hingga cam bawah (besar) mendorong pengepres/*sealer* hingga berhimpitan satu sama lain. Pada kondisi ini, plastik kemasan yang telah dipasang akan dipres dan membentuk bagian bawah kemasan.
  - e. Hidupkan motor utama dan motor *stepper* secara bersama-sama. Motor utama dengan cara menekan tombol ON pada MCB 2 dan motor *stepper* dengan cara me-*run* program sistem pengemasan.
  - f. Proses pengemasan akan berlangsung. Dalam proses pengemasan produk serbuk dari bak penampung atas masuk ke dalam saluran pengemasan melalui gelas ukur. Selanjutnya produk serbuk akan masuk ke dalam plastik kemasan yang telah dipres bagian bawahnya dan akan bergerak ke bawah lagi sesuai dengan penarikan *stepper* hingga kemasan dipres bagian atasnya. Pada proses ini akan terjadi secara berulang-ulang hingga terbentuk kemasan-kemasan produk serbuk.
  - g. Periksa kemasan yang dihasilkan untuk memastikan produk benar-benar terkemas rapat dan sesuai dengan berat yang diinginkan. Pada proses pengepresan diperlukan 1 sampai 2 kali pengepresan hingga diperoleh pengepresan yang benar-benar baik dan rapat.
  - h. Perhatikan dan pastikan mesin bekerja dengan baik selama proses pengemasan. Pastikan seluruh sistem pengemasan dan pengepresan bekerja dengan baik dan lancar.
3. Langkah mematikan
    - a. Untuk mematikan mesin pengemas matikan secara bersama-sama motor utama dengan motor *stepper*. Motor utama dengan menekan tombol OFF pada MCB 2 dan tekan *stop* pada program sistem pengemasan motor *stepper*.
    - b. Tekan *stop* pada program sistem pengepresan (pemanas *heater*), dilanjutkan dengan menekan tombol OFF pada MCB 1.
    - c. Cabut terminal rangkaian panel box dari stopkontak dan pastikan semua sistem rangkaian benar-benar terputus aliran listriknya.
    - d. Potong plastik kemasan yang masih menempel dengan sisa lembaran plastik kemasan. Kumpulkan produk serbuk yang telah dikemas dan produk siap untuk dipasarkan.
  4. Pengaturan Opsional (Penghentian Mesin Pengemas)

- a. Jika ingin mengaktifkan pengaturan opsional ini, maka pada saat awal penyalan mesin program ini harus diaktifkan.
- b. Atur berapa waktu (dalam detik) mesin pengemas akan bekerja. Misal 1 jam maka yang harus diisikan di program yaitu 3.600 detik.
- c. Lakukan penyalan seperti langkah di atas.
- d. Setelah 3.600 detik mesin bekerja, mesin pengemas akan otomatis berhenti dikarenakan pemutusan arus yang dilakukan oleh SSR.

### **3.6.2 Uji Performa Sistem Kontrol *Raspberry Pi* pada Mesin Pengemas Produk Serbuk**

Uji coba performa sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas bertujuan untuk mengetahui dan menguji kinerja mesin pengemas apakah dapat melakukan pengemasan dengan benar dan tepat atau tidak. Pengujian ini berupa pengujian penarikan plastik kemasan motor stepper dan pengujian pengepresan pada pemanasan *heater*.

#### **a. Pengujian Sistem Kontrol Pengemasan dengan Motor Stepper**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja *roller* melalui motor *stepper* dalam melakukan penarikan plastik kemasan dan jeda berhenti pada saat proses pengisian produk serbuk pada mesin pengemas. Berat produk serbuk yang akan dikemas telah diatur dan disesuaikan dengan gelas ukur yang ditempatkan di bak penampung. Agar mendapatkan berat yang berbeda maka harus menggunakan gelas ukur yang berbeda pula. Produk serbuk dari gelas ukur selanjutnya masuk ke dalam plastik kemasan yang ditarik oleh *roller* melalui motor *stepper*.

Pengujian kinerja motor *stepper* dilakukan untuk melihat kemampuan dan konsistensi *roller* dalam melakukan penarikan plastik kemasan dan jeda berhenti pada saat proses pengisian produk serbuk. Penarikan plastik kemasan dilakukan melalui putaran motor *stepper*. Kecepatan putar motor *stepper* disesuaikan dengan panjang kemasan yang diinginkan, dengan waktu putar yang sama. Terdapat 4 gelas ukur pada piringan pembagi, sehingga waktu putar dan jeda berhenti motor *stepper* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mencapai saluran pengemasan antara gelas ukur yang satu dengan gelas ukur yang lain.

Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan produk serbuk berupa gula. Konsistensi motor *stepper* dapat dilihat dari berat yang dihasilkan dari masing-masing pengemasan produk serbuk sebanyak 10 kali percobaan yang dilakukan. Apabila perbedaan hasil pengukuran berat masing-masing produk tidak terlalu jauh, maka penarikan motor *stepper* bisa dikatakan baik dan konsisten.

Proses pengujian kemasan dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Kemasan yang dihasilkan oleh mesin pengemas diletakkan di atas timbangan, kemudian dilanjutkan dengan mengukur berat kemasan beserta isinya. Setelah diperoleh hasilnya, dilakukan pengukuran berat kemasan tanpa isi, sehingga berat

produk serbuk yang ada di dalam kemasan diperoleh dengan mengurangi berat keseluruhan dengan berat kemasan.



Gambar 3.44 Pengukuran Berat Kemasan dengan Timbangan Digital

Hasil dari pengujian selanjutnya diuraikan dengan tabel di bawah ini:

Tabel 3.2 Pengujian Sistem Pengemasan dengan Motor *Stepper*

Percobaan Ke-	Berat Produk + Kemasan (gram)	Berat Kemasan (gram)	Berat Produk (gram)
1	13,75	2,55	11,20
2	13,70	2,54	11,16
3	13,76	2,55	11,21
4	13,80	2,57	11,23
5	13,75	2,54	11,21
6	13,70	2,57	11,13
7	13,78	2,55	11,23
8	13,74	2,53	11,21
9	13,68	2,53	11,15
10	13,71	2,54	11,17

b. Pengujian Sistem Kontrol Pengepresan dengan Pemanas *Heater*

Pengujian kedua dilakukan terhadap sistem kontrol pengepresan dengan pemanas *heater* sesuai dengan proses pengemasan yang dilakukan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah sistem kontrol pada *heater* bekerja dengan baik atau tidak dalam memberikan pemanasan pada *sealer* pada saat proses pengepresan. Suhu pada *heater* diatur untuk memperoleh pemanasan yang tepat pada saat proses pengemasan. Ketika belum mencapai suhu pengepresan, *heater* akan dialiri arus

listrik untuk meningkatkan suhu sehingga diperoleh suhu pengepresan yang diinginkan. Ketika mencapai suhu pengepresan maka *heater* akan berhenti melakukan pemanasan dengan cara memutuskan arus listrik yang mengalir ke *heater*. Saat proses pengepresan lama-kelamaan suhu *heater* akan turun, oleh karenanya ketika suhunya turun di bawah suhu pengepresan, maka *heater* akan kembali dialiri arus listrik untuk terus menjaga suhu pengepresan pada mesin pengemas. Proses menghubungkan dan memutuskan aliran listrik ini dilakukan oleh SSR dengan sensor suhu berupa termokopel sebagai pendeteksinya.

Tabel 3.3 Pembacaan Suhu oleh Sensor Termokopel

Pembacaan Suhu	Pemanasan pada <i>Heater</i>	
	ON	OFF
< 150 <sup>0</sup> C	√	-
>= 150 <sup>0</sup> C	-	√

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data bahwa sensor termokopel menunjukkan pembacaan suhu yang tepat, sehingga SSR dapat menghubungkan dan memutuskan arus ke *heater* dengan tepat pula, sesuai dengan suhu pengepresan kemasan yang diinginkan.

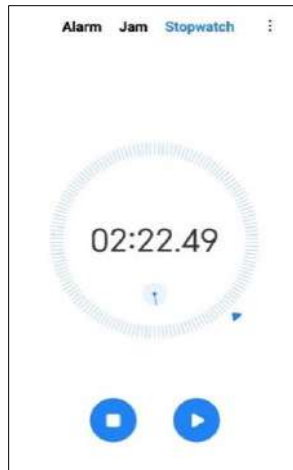
Suhu pengepresan pada *heater* pada mesin pengemas dalam keadaan normal adalah sekitar 150<sup>0</sup>C dengan batas toleransi maksimum sebesar 200<sup>0</sup>C (Julianto, dkk, 2015:116). Untuk dapat mencapai suhu pengepresan tersebut, diperlukan waktu 2 menit 22 detik yang dihitung menggunakan *stopwatch* dan mesin dalam keadaan dingin yang belum pernah digunakan sebelumnya. Jika sudah pernah digunakan sebelumnya, maka untuk mencapai suhu pengepresan menjadi lebih cepat. Selain itu, lama waktu untuk mencapai temperatur pengepresan juga dipengaruhi oleh cuaca dan kondisi awal *sealer* sebelum mesin pengemas digunakan.

```

37
38     if (temp1 < 150):
39         print('on', temp1)
40         GPIO.output(16,GPIO.HIGH)
41     elif(temp1 >=150):
42
Running: main_sip.py
off 150.5
sensor1 150.5
off 151.25
sensor1 151.25
off 151.75
sensor1 151.75

```

Gambar 3.45 Pembacaan suhu



Gambar 3.46 Lama Waktu Mencapai Temperatur Pengepresan

c. Pengaturan Opsional: Sistem Penghentian Mesin Pengemas Berdasarkan Waktu

Pengaturan ini merupakan pengaturan opsional yang dapat digunakan untuk mematikan mesin pengemas ketika mencapai waktu tertentu yang telah diatur sebelumnya. Pengaturan ini juga memungkinkan untuk mendapatkan jumlah kemasan berdasarkan perhitungan waktu mesin pengemas bekerja. Pengaturan ini menggunakan *relay* untuk memutuskan arus yang mengalir ke motor *stepper*, SSR, dan motor utama ketika mencapai waktu yang diinginkan. Perancangan ini dengan menempatkan SSR DC to DC pada tombol MCB 1 dan 2. Sehingga ketika mesin bekerja dalam waktu tertentu yang sudah diatur sebelumnya, mesin akan berhenti secara otomatis karena arus yang mengalir ke sistem pengemasan dan pengepresan telah terputus oleh SSR. Namun perintah ini merupakan perintah opsional yang dapat disesuaikan oleh keinginan pengguna, artinya perintah program ini dapat dinonaktifkan apabila tidak ingin melakukan penghentian mesin pengemas berdasarkan waktu tertentu. Berikut program yang diinputkan pada sistem *Raspberry Pi*.





```

1 import RPi.GPIO as GPIO
2 import time
3 GPIO.setmode(GPIO.BCM)
4
5 GPIO.setup(6,GPIO.OUT)
6 GPIO.output(6,GPIO.LOW)
7
8 while True:
9     GPIO.output(6, GPIO.HIGH)
10    print("Mesin ON")
11    time.sleep(3600)
12    GPIO.output(6, GPIO.LOW)
13    print("Mesin OFF")
14    time.sleep(1800)
15    GPIO.cleanup()

```

Gambar 3.47 Program Penghentian Mesin Pengemas

### 3.6.3 Spesifikasi Mesin Pengemas dengan Sistem Kontrol *Raspberry Pi* Kapasitas 2600 pcs/jam.

Berdasarkan hasil perancangan dan uji performa pengemasan dapat dinyatakan bahwa spesifikasi sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas produk serbuk telah memenuhi kebutuhan, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Mesin berdimensi kecil dengan ukuran panjang 900 mm x lebar 800 mm x tinggi 1700 mm sehingga mesin ergonomis dan mudah disesuaikan dengan ruang kerja.
2. Dapat mengemas produk serbuk minimal 2600 pcs/jam.
3. Berat produk serbuk yang akan dikemas diatur dengan menggunakan gelas ukur yang memiliki ukuran diameter dalam yang berbeda.
4. Plastik kemasan yang digunakan ialah jenis plastik *aluminium foil*.
5. Ukuran kemasan, terutama panjangnya ditentukan oleh kecepatan putaran motor *stepper* yang dapat diatur sesuai dengan jenis dan berat produk yang akan dikemas.
6. Jeda waktu berhenti motor *stepper* saat melakukan penarikan plastik kemasan dapat diatur sesuai dengan jenis dan berat produk yang diinginkan.
7. Mesin pengemas produk serbuk menggunakan sistem kontrol berupa *Raspberry Pi* 3 model B.
8. Proses penarikan dan pengisian plastik kemasan memanfaatkan kerja dari motor *stepper*. Motor *Stepper* yang digunakan merupakan motor *stepper* NEMA 23 23HS7628 dengan kekuatan 1.89 N.m.

9. Menggunakan *heater*, sensor termokopel, modul termokopel MAX6675, dan SSR untuk mengatur temperatur pemanasan pada *sealer* atau pengepres. *Heater* yang digunakan bekerja pada arus 220 V dengan daya sebesar 350 W. Termokopel tipe K mampu membaca suhu pada mesin pengemas antara 0°C sampai 400°C yang ditempatkan pada pengepres plastik kemasan.
10. Dapat dihubungkan dengan internet sehingga bisa dikontrol dari jarak jauh, namun dalam jaringan internet yang sama (dalam tahap pengembangan).
11. Untuk memperoleh hasil pengepresan yang rekat diperlukan 1-2 pengemasan terlebih dahulu, dikarenakan pasangan *sealer*-nya belum mencapai temperatur pengepresan.

Gambar mesin pengemas produk serbuk dengan sistem kontrol *Raspberry Pi*.



Gambar 3.48 Mesin Pengemas Produk Serbuk

### 3.7 Hasil Uji Performa Mesin Pengemas Produk Serbuk Kapasitas 2600 pcs/jam

Pembuatan model/perancangan produk mesin pengemas produk serbuk dilakukan dengan menggunakan *software CAD*, sehingga memberikan kemudahan dalam merancang detail desain dari masing-masing komponen karena memberikan ukuran dengan tata letak komponen yang sesuai. Dari desain awal mesin pengemas, dapat dirancang konsep dan cara kerja dari sistem kontrol *Raspberry Pi* yang akan diaplikasikan pada mesin pengemas. Setelah rangkaian sistem kontrol pada mesin pengemas selesai dirancang, selanjutnya dilakukan perealisasiian dari rangkaian yang telah dibuat tersebut.

Proses pembuatan dan pengerjaan sistem kontrol pada mesin pengemas disesuaikan dengan rangkaian yang telah dibuat dan keadaan di lapangan. Selanjutnya dilakukan instalasi pada *Raspberry Pi* hingga siap untuk digunakan sebagai sistem kontrol dari mesin pengemas produk serbuk. Pembuatan hingga simulasi program selanjutnya dilakukan pada *Raspberry Pi* untuk mengetahui program yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik atau tidak. Setelah program dapat bekerja dengan baik selanjutnya program tersebut diaplikasikan pada mesin pengemas hingga siap untuk dilakukan uji performa pada mesin pengemas produk serbuk.

Pada bagian ini menunjukkan performa mesin pengemas produk serbuk yang telah selesai dikerjakan. Uji performa dilakukan terhadap pengemasan produk serbuk berupa gula yang merupakan perwujudan bentuk produk serbuk yang paling sering dipasarkan oleh pelaku industri kecil dan UMKM. Uji performa dilakukan pada penarikan plastik kemasan dan jeda berhenti motor *stepper* yang berpengaruh terhadap konsistensi pengemasan mesin pengemas. Selain itu, pengujian juga dilakukan terhadap sistem kontrol pengepresan dengan pemanas *heater* sesuai dengan proses pengemasan yang dilakukan.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, dapat dilakukan analisis dari sistem kontrol *Raspberry Pi* pada mesin pengemas produk serbuk. Pengujian pertama dilakukan terhadap penarikan plastik kemasan pada motor *stepper*. Dalam hal ini motor *stepper* dapat diatur putarannya sehingga dapat menarik plastik kemasan sesuai dengan panjang kemasan yang diinginkan. Untuk jeda berhenti motor *stepper* dapat diatur sesuai dengan berat produk serbuk yang akan dikemas dengan memperhatikan aliran pengemasan dari bak penampung ke plastik kemasan. Pengujian dilakukan terhadap produk serbuk berupa gula. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali percobaan pengemasan dan diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 3.4 Pengujian Sistem Pengemasan

Percobaan Ke-	Berat Produk + Kemasan (gram)	Berat Kemasan (gram)	Berat Produk (gram)
1	13,75	2,55	11,20
2	13,70	2,54	11,16
3	13,76	2,55	11,21
4	13,80	2,57	11,23
5	13,75	2,54	11,21
6	13,70	2,57	11,13
7	13,78	2,55	11,23
8	13,74	2,53	11,21
9	13,68	2,53	11,15

Percobaan Ke-	Berat Produk + Kemasan (gram)	Berat Kemasan (gram)	Berat Produk (gram)
10	13,71	2,54	11,17
<b>Jumlah</b>	<b>137,37</b>	<b>25,47</b>	<b>111,9</b>
<b>Rata-rata</b>	<b>13,737</b>	<b>2,547</b>	<b>11,19</b>

Data pada tabel menunjukkan performa penarikan plastik kemasan pada motor *stepper*. Berat produk gula dengan kemasan yang dihasilkan memiliki rata-rata 13,737 gram. Sementara untuk berat produk gula memiliki rata-rata 11,19 gram. Berat tertinggi produk gula dengan kemasan ialah 13,80 gram dan berat terendah produk gula dengan kemasan ialah 13,68 gram. Selisih berat rata-rata dengan berat tertinggi ialah 0,063 gram. Sementara selisih rata-rata dengan berat terendah ialah 0,057 gram. Dengan selisih dibawah 0,1 gram, menunjukkan bahwa berat yang dihasilkan dari pengemasan produk gula baik dan konsisten.

Pengujian kedua dilakukan terhadap sistem kontrol pengepresan pada pemanas *heater*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan seperti yang ditunjukkan pada Tabel, diperoleh data bahwa sensor suhu atau termokopel menunjukkan pembacaan suhu yang tepat. SSR dapat menghubungkan dan memutuskan arus ke *heater* dengan tepat sesuai dengan suhu pengepresan kemasan yang diinginkan, yaitu 150°C. Selanjutnya panas dari *heater* akan memanaskan *sealer* sehingga siap digunakan untuk proses pengepresan dan menjaganya pada suhu pengepresan selama mesin pengemas bekerja.

Pemanasan pada *sealer* oleh *heater* selanjutnya akan digunakan untuk proses pengepresan plastik kemasan yang telah berisi produk serbuk. Kemasan yang telah terisi produk serbuk pada saat proses pengisian, selanjutnya ditarik oleh *roller* bawah oleh motor *stepper* untuk dilakukan pengepresan pada plastik kemasan.

Kualitas pengepresan berupa tingkat kerapatan kemasan yang dihasilkan, baik kerapatan pada bagian belakang kemasan maupun bagian atas dan bawah kemasan. Hal ini bertujuan agar produk serbuk yang dikemas tidak bocor sehingga higienis dan aman dari pengaruh luar. Dalam uji coba pengemasan, diperoleh rincian data sebagai berikut:

Tabel 3.5 Hasil Kemasan yang Dihasilkan Mesin Pengemas

Percobaan Ke	Tingkat Kerapatan Kemasan (%)
1	0%
2	100%
3	100%
4	100%

5	100%
6	100%
7	100%
8	100%
9	100%
10	100%
<b>11 dan seterusnya</b>	<b>100%</b>

Hasil pengepresan menunjukkan pada saat awal melakukan pengepresan belum bisa melakukan pengepresan dengan baik, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah dikarenakan pasangan *sealer* yang satu belum mencapai suhu pengepresan yang diinginkan. Kualitas kemasan yang dihasilkan masih belum merekat sempurna dan masih bisa dibuka dengan menggunakan tangan. Hal ini dikarenakan *sealer* yang lain belum mendapat hantaran panas dari *sealer* pasangannya. Diperlukan 1-2 pengemasan terlebih dahulu untuk memperoleh pengepresan yang kuat. Setelah 1-2 pengemasan, selanjutnya *sealer* dapat bekerja dengan baik dan mampu melakukan pengemasan dengan kuat, seperti yang ditunjukkan pada gambar.

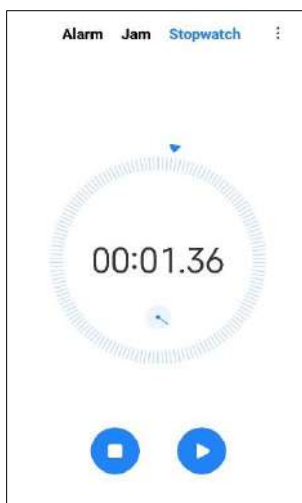


Gambar 3. 49 Pengepresan Pertama



Gambar 3. 50 Pengepresan Kedua dan Seterusnya

Dari keseluruhan proses pengemasan yang dilakukan diperlukan waktu 1 detik 36 milidetik untuk menghasilkan 1 pcs kemasan. Terdapat 4 gelas ukur yang terdapat pada piringan pembagi. Waktu yang diperlukan untuk berotasi dari gelas ukur satu ke gelas ukur yang lain untuk mencapai saluran pengemasan ialah 1 detik 36 milidetik. Hasil rotasi inilah yang merupakan waktu untuk mengemas 1 kemasan produk serbuk. Waktu ini juga merupakan lama jeda berhenti yang dilakukan oleh motor stepper dalam proses pengemasan produk serbuk. Dari waktu tersebut diperoleh:



Gambar 3.51 Waktu Gelas Ukur Mencapai Saluran Pengemasan

$$\begin{aligned}
 1 \text{ detik } 36 \text{ milidetik} &= 1 \text{ kemasan} \\
 1 \text{ menit} &= \frac{60 \text{ detik}}{1 \text{ detik } 36 \text{ milidetik}} \\
 &= 44,1 \text{ kemasan} \\
 &\approx 44 \text{ kemasan}
 \end{aligned}$$

$$1 \text{ jam} = 44 \times 60 = 2.640 \text{ kemasan}$$

Dari perhitungan di atas, mesin pengemas jika digunakan untuk proses pengemasan dalam waktu 1 jam akan menghasilkan  $44 \times 60$  menit = 2.640 kemasan. Jumlah ini sangat memenuhi dari target awal perancangan mesin pengemas produk serbuk dengan kontrol *Raspberry Pi* sejumlah 2600 kemasan per jam.

Kemasan produk serbuk yang dihasilkan memiliki ukuran panjang  $\pm 100$  mm dan lebar  $\pm 95$  mm yang dapat diatur ukuran panjangnya sesuai dengan kecepatan putaran motor stepper pada saat melakukan penarikan plastik kemasan. Penarikan stepper ini dapat disesuaikan dengan jenis dan berat produk yang akan dikemas. Berikut ini merupakan hasil pengemasan yang telah dikerjakan oleh mesin pengemas produk serbuk dengan sistem kontrol *Raspberry Pi*.



Gambar 3. 52 Hasil Pengemasan Produk Serbuk

Berdasarkan uji performa yang telah dilakukan pada sistem pengemasan dengan motor stepper dan sistem pengepresan dengan kontrol *heater*, diperoleh kesimpulan bahwa mesin pengemas bekerja dengan baik dengan pengemasan yang konsisten. Putaran dan jeda berhenti *roller* dalam melakukan penarikan dan pengisian plastik kemasan dapat berjalan baik dan lancar. Dari pengaturan putaran dan jeda berhenti motor stepper, menghasilkan berat rata-rata produk dengan kemasannya seberat 137,37 gram. Berat yang dihasilkan berbeda dari perhitungan berat yang telah dihitung sebelumnya. Ini dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi, salah satunya yaitu produk serbuk yang masuk ke dalam gelas ukur tidak tertekan sehingga masih renggang dan kurang padat. Selisih berat rata-rata dengan berat tertinggi dan berat terendah ialah 0,063 gram dan 0,057 gram. Dengan selisih dibawah 0,1 gram, menunjukkan bahwa berat yang dihasilkan dari pengemasan produk gula baik dan konsisten.

Sementara untuk sistem pengepresan, sensor suhu termokopel melakukan pembacaan suhu dengan tepat, sehingga *heater* dapat mencapai suhu pengepresan yang diinginkan yaitu 150<sup>0</sup>C. Panas *heater* akan mengalir ke *sealer* dan suhu pengepresan akan dijaga melalui kontrol arus pada SSR oleh *Raspberry Pi*. Berdasarkan hasil pengepresan yang dilakukan, kemasan produk serbuk yang dihasilkan rapat dan kuat, apabila kedua *sealer* bekerja pada suhu pengepresan. Berdasarkan uji coba dan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh 2.640 kemasan dalam waktu 1 jam. Kemasan produk serbuk yang dihasilkan dapat diatur ukuran panjangnya sesuai dengan kecepatan putaran motor stepper pada saat melakukan penarikan plastik kemasan. Penarikan *roller* oleh motor stepper ini dapat disesuaikan dengan jenis dan berat produk yang akan dikemas.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ajes, M. 2015. Virtual Bursting Test Elbow 16” Lr 90° Dengan Metode Elemen Hingga Menggunakan Software Ansys Workbench. Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2015. Jakarta. 17 November
- Aswardi, O. Candra, dan Z. Saputra. 2019. *Sistem Pemanas Logam dengan Induction Heater Berbasis Atmega32*. Artikel disajikan pada Seminar FORTEI 2019. Universitas Negeri Padang. Padang. 151-157.
- Awwaluddin, M., Purwanta, E. 2014. Analisis Statik Support Pemegang Sumber Pada Prototip Pencitraan Peti Kemas Menggunakan Ansys. *Jurnal Perangkat Nuklir* 8(1): 32-39
- Bandriyana, B. 2005. Analisis Tegangan Pada Bengkokan Pipa Dalam Sistem Pemipaan Fasilitas Nuklir Dengan Metode Elemen Hingga. Prosiding Semiloka Teknologi Simulasi dan Komputasi serta Aplikasi: 111-118.
- Chandru, B. T., dan P. M. Suresh. 2017. Finite Element and Experimental Modal Analysis of Car Roof with and without Damper. *Materials Today Proceedings* 4: 11237-11244.
- Gere, J. M., S. P. Timoshenco. 1997. *Mechanics Of Material*. Terjemahan B. Suryoatmono. 2000. *Mekanika Bahan*. Jakarta: Erlangga.
- Giant, R. Febrio, Darjat, dan Sudjadi. 2015. Perancangan Aplikasi Pemantau dan Pengendali Piranti Elektronik pada Ruang Berbasis Web. *Jurnal Transmisi* 17(2): 70-75.
- Ginting, Rosnani. 2010. *Perancangan Produk Edisi Pertama*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Hadi, H. A., Purba, H. H., Indarto, K. S., Simarmata, R. G. P., Putra, G. P., Ghazali, D., & Aisyah, S. (2017). The Implementation of Quality Function Deployment (QFD) in Tire Industry. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 8(4), 223-228.
- Haq, R., dkk. 2019. Analisa Kekuatan Tarik, Tekuk dan Impak Pengelasan Flux Cored Arc Welding Material Baja ST40 Posisi 3G dengan Variasi Kuat Arus Listrik. *Jurnal Teknik Perkapalan* 7(4): 184-193
- Harsokoesoemo, H. Darmawan. 2004. *Pengantar Perancangan Teknik (Perancangan Produk) Edisi kedua*. Bandung: Penerbit ITB.
- <http://id.cnheatingelement.com/cartridge-heater/low-density-cartridge-heater/cartridge-type-electric-heater-with.html> (Diakses pada tanggal 19 Desember 2020, pukul 11.45)
- <http://id.top-heaterchina.com/info/k-type-thermocouple-22930606.html> (Diakses pada tanggal 19 Desember 2020, pukul 18.00)
- <http://jagootomasi.com/motor-stepper-prinsip-kerja-dan-pengendalian-pada-otomasi-industri/> (Diakses pada tanggal 11 Juli 2020, pukul 15.00)
- <http://www.jogjarobotika.com/sensor-temperatur/2184-max6675-module.html> (Diakses pada tanggal 19 Desember 2020, pukul 21.15)
- <https://electroino.com/raspberry-pi-adalah/> (Diakses pada tanggal 24 Maret 2020, pukul 21.15)

- <https://www.majuhurheater.com/heater/> (Diakses pada tanggal 11 Juli 2020, pukul 15.45)
- <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/> (Diakses pada tanggal 16 Maret 2020, pukul 00.50)
- <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b/> (Diakses pada tanggal 16 Maret 2020, pukul 00.25)
- TB6600 Stepper Motor Driver - MCI Electronics diakses tanggal (16 Maret 2020) <https://www.mcielectronics.cl>.
- Huda, S., M. Kabib, dan R. Winarso. 2017. Desain *Automatic Line Plastic Packing of Cake* Berbasis Mikrokontroler Atmega 328. *Prosiding SNATIF*. Universitas Muria Kudus. Kudus. 577-584
- Indra, D., Tasmil, Herman, S. H. Mansyur, dan E. I. Alwi. 2019. Design Web-Based Electrical Control System Using Raspberry Pi. *Journal of Information Technology and Its Utilization* 2(1): 1-3.
- Julianto, K. Ferry, I. Surjati, dan Suraidi. 2015. Sistem Pemantauan Kinerja Serta Pengaturan Mesin *Packing* secara Otomatis pada Pabrik Wafer dengan *Zigbee*. *Jurnal Tesla* 17(2): 116-127.
- Kemendikbud. 2013. *Sistem Kontrol Terprogram*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). *A textbook of machine design*. Eurasia.
- Kushartanto, P., M. Kabib, dan R. Winarso. 2019. Sistem Kontrol Gerak dan Perhitungan Produk pada Mesin Pres dan Pemetong Kantong Plastik. *Jurnal Crankshaft* 2(1): 57-66.
- Kustiawan, E. 2018. Meningkatkan Efisiensi Peralatan dengan Menggunakan Solid State Relay (SSR) dalam Pengaturan Suhu Pack Pre-Heating Oven (PHO) (Studi Kasus Di PT Indonesia Toray Synthetics, Tangerang). *Jurnal STT YUPPENTEK* 9(1): 1-6.
- Marwati, T., A. Lesmaningsih, dan T. F. Djaafar. 2019. Kajian Teknologi Pengemasan Serbuk dan Permen Cokelat di TTP Nglanggeran Yogyakarta. *Jurnal Research Fair Unisri* 2019 3(1): 663-670.
- Mott, R. L. 1985. *Machine Element in Mechanical Design*. C.E. Merrill publishing company
- Mukhtar, S. dan M. Nurif. 2015. Peranan Packaging dalam Meningkatkan Hasil Produksi Terhadap Konsumen. *Jurnal Sosial Humaniora* 8(2): 181-191.
- Naya, C. 2017. Aplikasi PLC LG KG80S dengan VB.6.0 untuk Pengendalian Lampu. *Jurnal Teknologi Pelita Bangsa-SIGMA* 7(2): 112-121.
- Nurkamiden, M. Reza, M. E. I. Najooan, dan M. D. Putro. 2017. Rancang Bangun Sistem Pengendalian Perangkat Listrik Berbasis Web Server Menggunakan Mini PC Raspberry Pi Studi Kasus Gedung Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. *E-Jurnal Teknik Informatika* 11(1).
- Oktawiani, P. Isma, I K. G. D. Putra, dan K. D. Wibawa. 2018. Sistem Penjemur Pakaian Otomatis Menggunakan Raspberry Pi Berbasis Android. *Jurnal Merpati* 6(3): 225-233.
- Prasetyo, H. dan W. Sutopo. 2018. Industri 4.0: Telaah Klasifikasi Aspek Dan Arah Perkembangan Riset. *Jurnal Teknik Industri* 13(1): 17-26.

- Rachman, A. Nur dan N. A. Wahanani. 2016. Pengembangan Sistem Instrumentasi Thermobath dan Akuisisi Data Termokopel Tipe K. *Jurnal Sigma Epsilon* 20(1):33.
- Rahmawan, A. (2017). Implementation of Quality Function Deployment (QFD) in Agro-industrial Technology curriculum. *Agroindustrial Technology Journal*, 1(1), 10-21.
- Rao, P. B. dan S. K. Uma. 2015. Raspberry Pi Home Automation with Wireless Sensors Using Smart Phone. *Jurnal IJCSMC* 4(5): 797-803.
- Raspberry Pi (Trading) Ltd. 2015. *The Official Raspberry Pi Projects Book*. Cambridge: The Magpi.
- Rasyid, M. K. 2017. Desain dan pengembangan Engsel Pintu Menggunakan Aplikasi Metode Elemen Hingga. *JURNAL TEKNIK MESIN ITI* 1(1): 1.
- Restu, F., dkk. 2017. Analisa Kekuatan Material ASTM A36 Pada Konstruksi Ragum Terhadap Variasi Gaya Cekam Dengan Menggunakan Software Solidworks 2013. *Jurnal Integrasi* 9(2): 113-118
- Saraf, M. R., V. V. Riuwale, V. V. Kulkarni, dan S. M. Kulkarni. 2016. Design and Development of Cost Effective Automatic Machine for Powder Packaging. *International Journal of Current Engineering and Technology* 4: 420-424.
- Sitohang, H. 2015. Implementasi *Home Automation* Berbasis Web pada Kontrol dan *Server* Raspberry Pi. *E-Proceeding of Applied Science* 1(1). Universitas Telkom. 746-751.
- Suryati, Misriana, A. Fauziah, dan W. Mellyssa. 2019. Pengaturan Gerakan Translasi Menggunakan Motor Stepper. *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. Politeknik Negeri Lhokseumawe. Lhokseumawe. A89-A94.
- Susandi, D., Whydiantoro, dan D. A. Hermawan. 2016. Minimalisasi Ongkos Unit Produksi dengan Otomatisasi Proses Operasi. *Jurnal Metris* 17: 33-42.
- Susmikanti, M. 2005. Pembentukan Matrik Kekuatan Elemen Segi empat Pada Metode Elemen Hingga. *Risalah Lokakarya Komputasi Sains dan Teknologi Nuklir XVI* (169-187)
- Sutikno, E. 2011. Analisis Tegangan Akibat Pembebanan Statis Pada Desain *Carbody TeC Railbus* Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Rekayasa Mesin* 2(1): 65-81
- Vaishnav, N., Dubey, S. 2019. Thermal Analysis of I C Engine Fins using ANSYS Software. *International Journal of Modern Engineering & Management Research* 7(2): 11-19
- Wahyudi, T., Nugroho, E. 2014. Hubungan Siklus Putaran Dan Beban Terhadap Kekuatan Bahan Pada Uji Fatik Bending. *TurboISSN 2301-6663* 3(1): 33-40
- Wahyudie, I. Ary, Z. Saputra, dan Z. Kurniawan. 2016. Peningkatan Performa Kemasan dan Strategi Pemasaran (IbM UKM Pengerajin Kerupuk Getas). *Jurnal Rotor* (2): 59-62.
- Wijaya, A. Purnomo, R. P. Pratama, dan C. Niswatin. 2018. *Smart Boarding House Billing* Berbasis Raspberry Pi. *Jurnal JIT* 2(1): 7-14.
- Onealsteel.2019. carbon & alloy steel plat di akses pada tanggal 15 Juli 2020 tersedia pada : <http://onealsteel.com>.



Buku **“PERANCANGAN TEKNIK - MESIN PENGEMAS SERBUK”** berisi tentang proses perancangan menggunakan model perancangan produk, analisis struktur untuk efisiensi biaya bahan dan validasi produk pada pengguna dari sebuah mesin pengemas serbuk. Buku ini merupakan pedoman kegiatan perancangan produk untuk memenuhi kebutuhan pengguna .

Buku ini dapat digunakan sebagai bahan ajar Perancangan Teknik atau Perancangan Teknologi untuk mahasiswa, pengajar, perancang, trainer, dan peneliti.



REPUBLIC INDONESIA  
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

# SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202138860, 14 Agustus 2021

## Pencipta

Nama : **Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., PhD, Kriswanto, S.Pd., M.T. dkk**  
Alamat : Perum Anugrah I-A RT004 RW003 Kelurahan Ngijo Kecamatan  
Gunungpati, Semarang, JAWA TENGAH, 50228  
Kewarganegaraan : Indonesia

## Pemegang Hak Cipta

Nama : **Sentra KI LPPM UNNES**  
Alamat : Gedung Prof. Dr. Retno Sriningsih Satmoko, Penelitian Dan Pengabdian  
Masyarakat, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, JAWA TENGAH,  
50229  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Jenis Ciptaan : **Buku**  
Judul Ciptaan : **PERANCANGAN TEKNIK-MESIN PENGEMAS SERBUK**  
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali : 1 Juli 2021, di Semarang  
di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia  
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali  
dilakukan Pengumuman.  
Nomor pencatatan : 000265581

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA  
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.  
NIP. 196611181994031001

## Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

**LAMPIRAN PENCIPTA**

No	Nama	Alamat
1	Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., PhD	Perum Anugrah I-A RT004 RW003 Kelurahan Ngijo Kecamatan Gunungpati
2	Kriswanto, S.Pd., M.T.	Jl. Bakti II B21/9 Trangkil Sejahtera, Kelurahan Sukorejo, Kecamatan Gunungpati
3	Arimaz Hangga, S.T., M.T.	Ngagelrejo 1-B/24 RT010 RW002 Kelurahan Ngagelrejo Kecamatan Wonokromo
4	Khoirudin Fathoni, S.T., M.T.	Jl. Brotojoyo Timur V/24-A RT004/RW002 Kelurahan Panggung Kidul Kecamatan Semarang Utara
5	Bayu Wiratama, S.E., M.M.	Jl. Karonsih Utara 238 RT002 RW003 Kelurahan Ngaliyan Kecamatan Ngaliyan

