

## BAB IV PEMBAHASAN

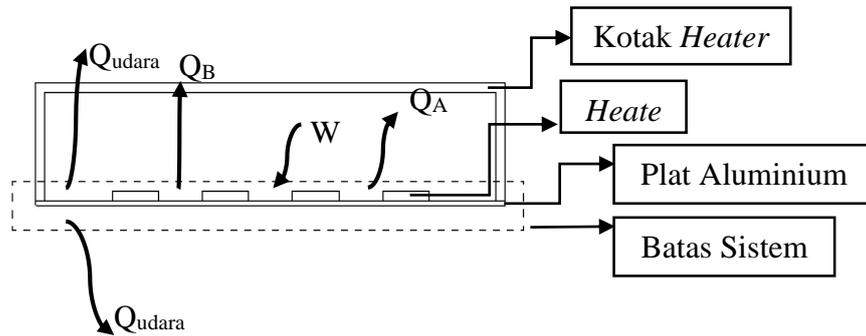
### 4.1. Perhitungan Waktu Pemanasan Lembaran Plastik

Pada proses pemanasan lembaran plastik, panas dari *heater* tidak langsung ditransferkan ke lembaran plastik. Tetapi, panas dari *heater* di transferkan terlebih dahulu ke plat aluminium dibawahnya yang kemudian diteruskan oleh plat aluminium kelembaran plastik. Hal ini bertujuan agar panas dari *heater* dapat menyebar dengan merata melalui plat aluminium sehingga proses pemanasan berlangsung dengan sempurna. Karena, sifat dari aluminium yang sangat baik dalam menghantarkan panas. Pada Tabel 4.1 dibawah ini dapat dilihat sifat dari aluminium :

**Tabel 4.1** *Typical properties for aluminium.*

Property	Value
Atomic Number	13
Atomic Weight (g/mol)	26.98
Valency	3
Crystal Structure	FCC
Melting Point (°C)	660.2
Boiling Point (°C)	2480
Mean Specific Heat (0-100°C) (cal/g.°C)	0.219
Thermal Conductivity (0-100°C) (cal/cms. °C)	0.57
Co-Efficient of Linear Expansion (0-100°C) ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	23.5
Electrical Resistivity at 20°C ( $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )	2.69
Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.6898
Modulus of Elasticity (GPa)	68.3
Poissons Ratio	0.34

(Sumber : Aalco Metal Ltd)



**Gambar 4.1** Proses Pemanasan Plat Aluminium Oleh *Heater*

Pemanasan pada plat aluminium oleh *heater* dapat dilihat pada (Gambar 4.1) diatas. Di dalam sistem tersebut bagian atau komponen yang akan di tinjau adalah plat aluminium dan *heater*, sehingga sistem yang digunakan adalah sistem tertutup hukum I termodinamika, yaitu :

$$Q = W + \Delta U \quad (4.1a)$$

$$- Q_{udara} - Q_B - Q_A = - W + \Delta U \quad (4.1b)$$

$$- Q_{udara} - Q_B - Q_A = - P \cdot \Delta t + m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.1c)$$

Dimana :  $Q_{udara}$  : Jumlah kalor yang dilepaskan ke udara diluar kotak *heater* dan dibawah plat aluminium.

$Q_B$  : Jumlah kalor yang dilepaskan ke kotak *heater*.

$Q_A$  : Jumlah kalor yang dilepaskan didalam kotak *heater*.

$P$  : Daya listrik yang dibutuhkan.

$\Delta t$  : Waktu.

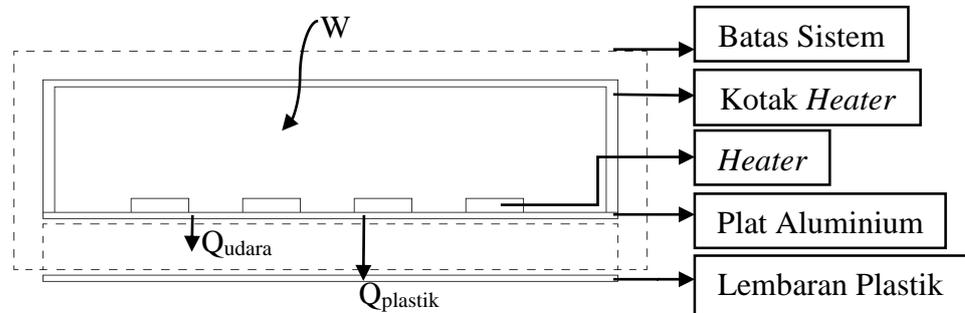
$m$  : Massa benda.

$c$  : Kalor jenis.

$\Delta T$  : Perbedaan temperatur.

Waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan awal tidak diperhitungkan (diabaikan) karena dalam perancangan mesin *vacuum forming* menggunakan termocontrol untuk mendapatkan temperatur *setting* yaitu  $80^\circ\text{C}$  pada plat

aluminium. Karena, untuk bahan plastik polystyrene (PS) memiliki glass transition temperature pada  $100^{\circ}\text{C}$  (373 k) (Lampiran 1).



**Gambar 4.2** Proses Pemanasan Lembaran Plastik

Pada sistem yang terdapat pada (Gambar 4.2) diatas bagian atau komponen yang ditinjau adalah *heater* + plat aluminium + udara diantara plat aluminium dan lembaran plastik + lembaran plastik. Karena, sistem diatas adalah sistem tertutup. Maka digunakan hukum I termodinamika sistem tertutup, yaitu :

$$Q = W + \Delta U \quad (4.2a)$$

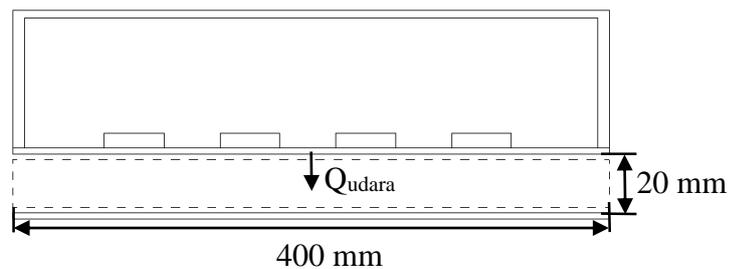
$$- Q_{\text{udara}} - Q_{\text{plastik}} = - W + 0 \quad (4.2b)$$

$$- Q_{\text{udara}} - Q_{\text{plastik}} = - P \cdot \Delta t \quad (4.3c)$$

Dimana :  $Q_{\text{udara}}$  : Jumlah kalor yang diterima udara diantara plat aluminium bagian bawah dengan lembaran plastik.

$Q_{\text{plastik}}$  : Jumlah kalor yang diterima lembaran plastik.

#### 4.1.1. Menghitung jumlah kalor pada udara ( $Q_{\text{udara}}$ )



**Gambar 4.3** Perpindahan Kalor Pada Udara

Pada sistem yang terdapat pada (Gambar 4.3) diatas yang akan ditinjau adalah udara yang berada diantara bagian bawah plat aluminium dengan lembaran plastik. Karena, sistem ini adalah sistem tertutup sehingga berlaku hukum I termodinamika, yaitu :

$$Q = W + \Delta U$$

$$Q_{udara} = 0 + m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

( $W=0$ ) karena, tidak ada daya yang masuk pada sistem.

Diketahui :  $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$  (Asumsi temperatur ruangan)

$T_2 = 80 \text{ }^\circ\text{C}$  (Temperatur plat aluminium)

$V_{udara} = (400 \times 300 \times 20) \text{ mm}^3$

$R_{udara} = 0,2870 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  (Lampiran 3)

$c_{v_{udara}} = 0,718 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$  (Lampiran 3)

$\rho_{udara} = 1,1614 \text{ kg/m}^3$  (Lampiran 2)

Sehingga,  $Q_{udara}$  adalah :

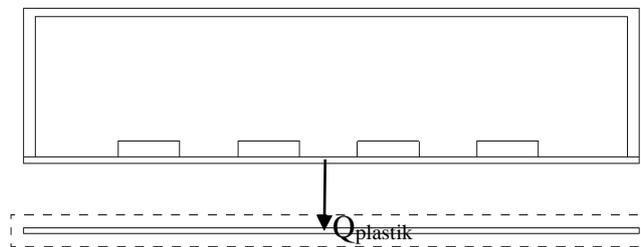
$$Q_{udara} = m \cdot c_v \cdot \Delta T$$

$$= \rho_{udara} \cdot V_{udara} \cdot c_{v_{udara}} \cdot \Delta T$$

$$= 1,1614 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,4 \times 0,3 \times 0,02) \text{ m}^3 \cdot 0,718 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (80-27)^\circ\text{C}$$

$$Q_{udara} = 0,106 \text{ kJ} = 106 \text{ Joule.}$$

#### 4.1.2. Menghitung jumlah kalor pada plastik ( $Q_{plastik}$ )



**Gambar 4.4** Perpindahan Kalor Pada Lembaran Plastik

Pada sistem diatas pada (Gambar 4.4) yang akan ditinjau adalah perpindahan kalor yang diterima lembaran plastik. Karena, sistem ini adalah sistem tertutup. Sehingga, berlaku hukum I termodinamika, yaitu:

$$Q = W + \Delta U$$

$$Q_{\text{plastik}} = 0 + m.c.\Delta T$$

( $W=0$ ) karena, tidak ada daya yg masuk dan kalor jenis untuk zat padat (lembaran plastik) adalah  $c_v=c_p=c$ .

Untuk lembaran plastik jenis *polystyrene* (PS):

Ukuran : P = 420mm, L = 320mm, T = 0,5mm

Tetapi, untuk proses pembentukan hanya: P= 400 mm dan L = 300 mm

Diketahui :  $T_1 = 27^\circ\text{C}$  (Asumsi temperatur ruangan)

$T_2 = 80^\circ\text{C}$  (Temperatur plat aluminium)

$c_{\text{plastik}} = 0,5 \text{ kal/gr.}^\circ\text{C}$  (Lampiran 4)

$\rho_{\text{plastik}} = 1,05 \text{ gr/cm}^3$  (Lampiran 4)

Sehingga,  $Q_{\text{plastik}}$  adalah :

$$Q_{\text{plastik}} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$= \rho_{\text{plastik}} \cdot V_{\text{plastik}} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$= 1,05 \text{ gr/cm}^3 \cdot (40 \times 30 \times 0,05) \text{ cm}^3 \cdot 0,5 \text{ kal/gr.}^\circ\text{C} \cdot (80-17)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{plastik}} = 1669,5 \text{ kal} = 6989,86 \text{ Joule.}$$

#### 4.1.3. Menghitung waktu pemanasan Lembaran Plastik

Dalam perancangan mesin *vacuum forming* ini *heater* yang digunakan adalah tipe *strip heater* yang memiliki daya 250 watt perbuah. Sehingga daya yang diperlukan sebesar 2 buah (*heater*) x 250 watt = 500 watt. Untuk dimensi *heater* yang digunakan adalah A=30cm, B=28cm, C=27cm (Lampiran 7).

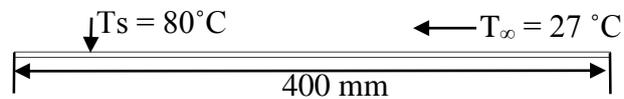
Sehingga, waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan lembaran plastik dapat dihitung sebesar :

$$\begin{aligned}
 - Q_{\text{udara}} - Q_{\text{plastik}} &= - P \cdot \Delta t \\
 - 106 - 6989,86 &= - 500 \cdot \Delta t \\
 \Delta t &= \frac{7095,86}{500} = 14,19 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Jadi, sebelum mengoperasikan mesin *vacuum forming* terlebih *stopwatch* pada mesin di *setting* sesuai ketebalan dan jenis plastik yang digunakan untuk mengatur lamanya proses pemanasan lembaran plastik. Sehingga, ketika waktu yang di *setting* berakhir, *stopwatch* akan memberikan sinyal berupa suara (alarm).

#### 4.2. Perhitungan Waktu Pendinginan Lembaran Plastik

Diasumsikan lembaran plastik berbentuk lembaran datar dan laju perpindahan kalor secara konveksi bebas atau alami.



**Gambar 4.5** Proses Pendinginan Lembaran Plastik

Diketahui :  $T_f = \frac{80+27}{2} = 53,5 \text{ } ^\circ\text{C} = 326,5 \text{ K}$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{53,5} = 0,087$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$T_s = 80 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Temperatur plastik})$$

$$T_\infty = 27 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (\text{Temperatur ruangan})$$

$$L = 0,4 \text{ m}$$

$$\nu = 15,89 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (\text{Lampiran Tabel 2})$$

$$Pr = 0,707 \quad (\text{Lampiran Tabel 2})$$

$$k = 0,0263 \text{ W/m.}^\circ\text{C} \quad (\text{Lampiran Tabel 2})$$

#### 4.2.1. Mencari Bilangan Grashof (GR)

$$\begin{aligned} Gr &= \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \\ &= \frac{9,81 \cdot 0,0187 \cdot (80 - 27) \cdot 0,4^3}{(15,89 \times 10^{-6})^2} \end{aligned}$$

$$Gr = 2,46 \times 10^9$$

#### 4.2.2. Mencari Bilangan Rayleigh (Ra = Gr . Pr)

$$Gr \cdot Pr = 2,46 \times 10^9 \cdot 0,707 = 1,74 \times 10^9$$

#### 4.2.3. Mencari Bilangan Nusselt (Nu)

Untuk,  $Ra = Gr \cdot Pr = 1,74 \times 10^9$  (Lampiran 5)

Maka, didapat nilai :  $c = 0,15$  dan  $m = 1/3$

$$\begin{aligned} Nu &= C (Gr \cdot Pr)^m \\ &= 0,15 (1,74 \times 10^9)^{1/3} \\ &= 180,42 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{Nu \cdot k}{L} \\ &= \frac{180,42 \cdot 0,0263}{0,4} = 11,86 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q &= h \cdot A (T_s - T_\infty) \\ &= 11,86 \text{ w/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot (0,4 \times 0,3) \text{m}^2 \cdot (80 - 27) ^\circ\text{C} \\ &= 75,4296 \text{ watt} \end{aligned}$$

#### 4.2.4. Menghitung waktu pendinginan lembaran plastik

Didalam perancangan lembaran plastik yang sudah dibentuk didinginkan secara alami sampai temperatur  $40 ^\circ\text{C}$ . Sehingga, kalor yang dilepaskan lembaran plastik sebesar :

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot c \cdot \Delta T \\ &= \rho_{\text{plastik}} \cdot V_{\text{plastik}} \cdot c_{\text{plastik}} \cdot \Delta T \\ &= 1,05 \text{ w/cm}^3 \cdot (40 \times 30 \times 0,05) \text{cm}^3 \cdot 0,5 \text{ kal/gr} \cdot ^\circ\text{C} \cdot (80 - 40) ^\circ\text{C} \\ &= 1260 \text{ kal} = 5275,37 \text{ Joule} \end{aligned}$$

Sehingga, waktu pendinginan lembaran plastik sebesar :

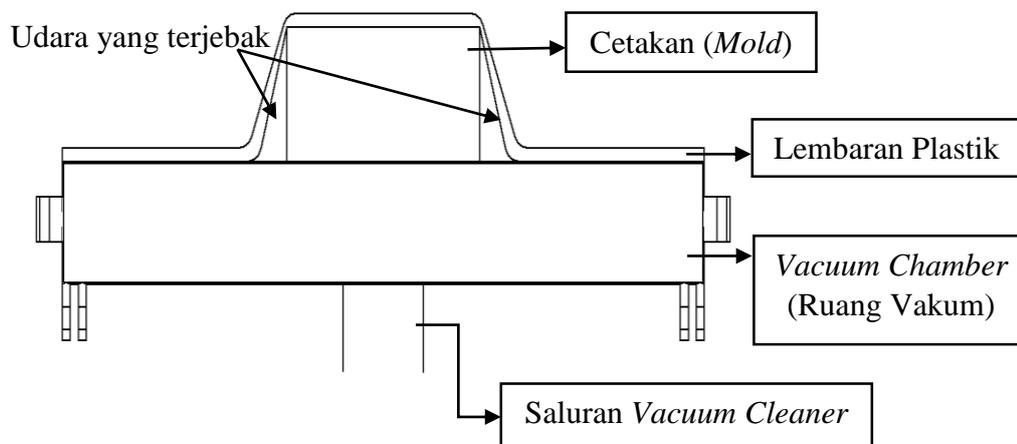
$$\Delta t = \frac{Q_{\text{plastik}}}{q} = \frac{5275,37}{75,4296} = 69,94 \text{ detik}$$

**Tabel 4.2** Waktu pemanasan dan pendinginan lembaran plastik *polystyrene* (PS) dengan ketebalan 0,5 Sampai 2 mm.

Ketebalan (mm)	Waktu Pemanasan (dt)	Waktu Pendinginan (dt)
0,5	14,19	69,94
0,6	16,99	83,93
0,8	22,58	111,90
1	28,17	139,88
1,2	33,76	167,85
1,5	42,15	209,81
1,8	50,54	251,78
2	56,13	279,75

#### 4.3. Perhitungan Waktu Vakum

Pada Perancangan mesin *vacuum forming* dengan maksimal cetakan 400x300x150 (mm) untuk proses vakumnya membandingkan dengan mesin *vacuum forming* formech 686 (Lampiran 6) dengan *Airflow* : 16 m<sup>3</sup>/jam (0,0044 m<sup>3</sup>/dt). Karena, semakin besar *airflow* (Q) maka semakin efisien waktu yang dibutuhkan untuk menghisap udara (vakum). Sehingga, dalam perancangan mesin *vacuum forming* ini menggunakan *vacuum cleaner* Philips CompactGo *Vacuum Cleaner with Bag* FC8291/01 (lampiran 8) dengan spesifikasi *vacuum cleaner* adalah *vacuum (max)* : 20 kPa (20.000 Pa) dan *Airflow (max)* : 26,6 l/s (0,0266 m<sup>3</sup>/dt). Perhatikan proses penghisapan udara pada (Gambar 4.6) dibawah ini :

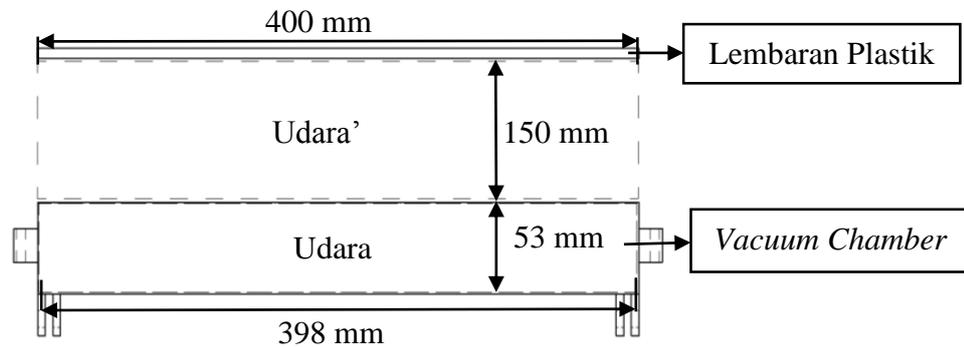


**Gambar 4.6** Proses Penghisapan Udara (Vakum)

Pada (Gambar 4.6) proses penghisapan udara (vakum) terjadi ketika *vacuum chamber* naik keatas bersama dengan cetakan (*mold*) di atasnya. Kemudian, cetakan (*mold*) akan menabrak plastik yang sudah lunak (karena pemanasan sebelumnya) dari bawah dan disaat yang bersamaan *vacuum cleaner* dihidupkan untuk menghisap udara di *vacuum chamber* dan udara yang terjebak diantara cetakan dan lembaran plastik. Sehingga, plastik akan mengikuti bentuk dari cetakan (*mold*) yang diinginkan sesuai dari produk yang diproduksi.

#### 4.3.1. Menghitung waktu vakum

Untuk menghitung waktu vakum, volume udara yang akan divakum perlu diperhatikan luasannya. Karena, semakin besar volume udara yang akan divakum maka waktu vakum juga akan semakin lama dan begitu sebaliknya. Dalam perhitungan waktu vakum untuk mesin *vacuum forming* ini, besaran volume dari cetakan (*mold*) dianggap seluas maksimal cetakan yaitu 400x300x150 (mm). sehingga, volume yang dihitung adalah udara didalam *vacuum chamber* dan udara diantara *vacuum chamber* dan lembaran plastik. Karena, volume cetakan (*mold*) yang tidak selalu sama melainkan mengikuti disain dari produk yang akan diproduksi.



**Gambar 4.7** Volume Udara Vakum

Diketahui :

$$V_{\text{vacuum chamber}} = (396 \times 296 \times 51) \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{udara}'} = (400 \times 300 \times 150) \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{plastik}} = (400 \times 300 \times 0,005) \text{ mm}^3$$

$$\text{Aliran Udara (Q)} = 0,0266 \text{ m}^3/\text{dt} \quad (\text{Lampiran 8})$$

Sehingga, untuk menghitung waktu vakum adalah :

$$\text{Waktu Vakum} = \frac{\text{Volume Vacuum Chamber} + \text{Volume Udara}' + \text{Volume Plastik}}{\text{Aliran Udara (Q)}}$$

$$= \frac{(0,396 \times 0,296 \times 0,051) \text{ m}^3 + (0,4 \times 0,3 \times 0,15) \text{ m}^3 + (0,4 \times 0,3 \times 0,0005) \text{ m}^3}{0,0266 \text{ m}^3/\text{dt}}$$

$$= 0,904 \text{ dt}$$

**Tabel 4.3** Waktu vakum untuk lembaran plastik *polystyrene* (PS) dengan ketebalan 0,5 sampai 2 mm.

Ketebalan (mm)	Waktu Vakum (dt)
0,5	0,904
0,6	0,904
0,8	0,905
1	0,906
1,2	0,907
1,5	0,908
1,8	0,91
2	0,91

#### 4.4. Cycle Time Process

*Cycle time process* adalah lamanya waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan satu siklus untuk memproduksi sebuah produk. Perhitungan *Cycle time process* dari mesin vacuum forming ini dalam satu siklus untuk memproduksi sebuah produk dapat ditentukan dengan menjumlahkan hasil dari data-data perhitungan waktu pemanasan, waktu pendinginan dan waktu vakum. Sehingga, *cycle time process* yang dibutuhkan dapat dilihat pada (Tabel 4.4 ) adalah :

**Tabel 4.4** *Cycle Time Process* untuk lembaran plastik *Polystyrene* (PS) dengan ketebalan 0,5 Sampai 2 mm.

Parameter	Waktu (dt)
Pemasangan/meletakkan cetakan (mold)	2
Pemasangan lembaran plastik	3
Pemanasan lembaran plastik	14,19 – 56,13
Waktu vakum	0,904 – 0,91
Pendinginan lembaran plastik	69,94 – 279,75
Pelepasan lembaran plastik	3
<b>Waktu Minimal <i>Cycle Time Process</i></b>	<b>93,034</b>
<b>Waktu Maksimal <i>Cycle Time Process</i></b>	<b>344,79</b>

Jadi, lamanya waktu yang dibutuhkan untuk membuat satu produk (*cycle time process*) menggunakan mesin *vacuum forming* ini untuk bahan lembaran plastik polystyrene (PS) dengan ketebalan 0,5 mm adalah 93,034 detik (1,55 menit) dan untuk ketebalan 2 mm adalah 344,79 dt (5,75 menit).

#### 4.5. Disain Mesin Vacuum Forming

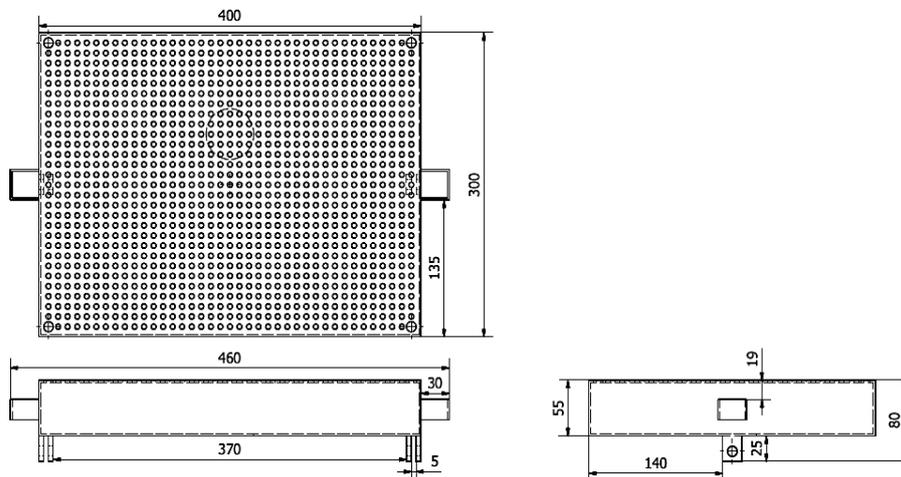
##### 1. Vacuum Chamber

*Vacuum chamber* digunakan untuk tempat meletakkan cetakan (*mold*) yang akan digunakan untuk mencetak produk. *Vacuum chamber* Dibagian dalamnya memiliki rongga, sedangkan dibagian atasnya terdapat lubang-lubang yang berdiameter 5 mm dengan jarak 10 mm antara satu lubang

dengan lubang yang lainya dan dibagian bawahnya terdapat sebuah lubang berdiameter 5 (cm) untuk saluran (selang) dari *vacuum cleaner*. Fungsi lubang tersebut adalah sebagai jalannya udara yang akan divakum oleh *vacuum cleaner*. Material yang digunakan untuk mendisain *vacuum chamber* ini adalah plat baja karbon JIS G3101 SS41 dengan ketebalan 2 (mm) dan plat berlubang 0,8 (mm) untuk bagian atasnya.



**Gambar 4.8** Disain 3D *Vacuum Chamber*

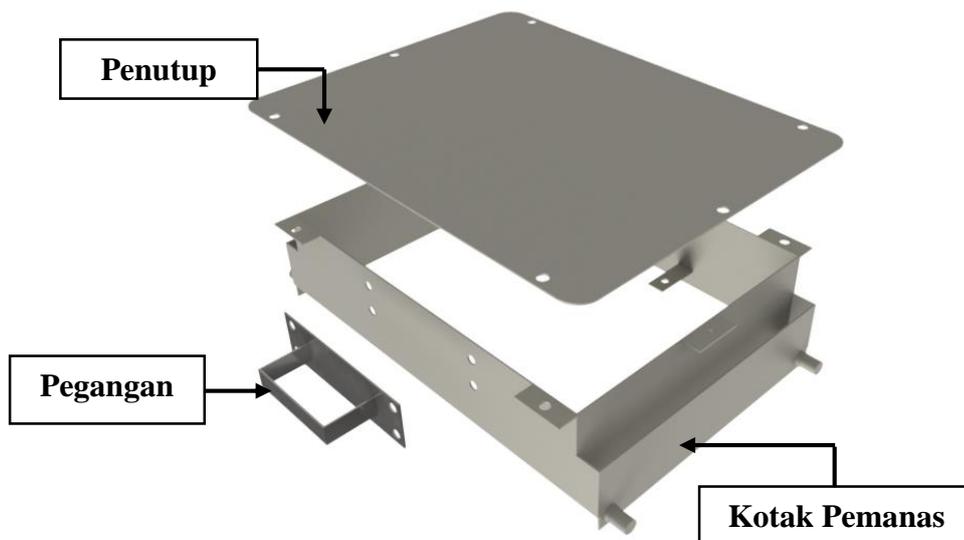


**Gambar 4.9** Gambar 2D *Vacuum Chamber*

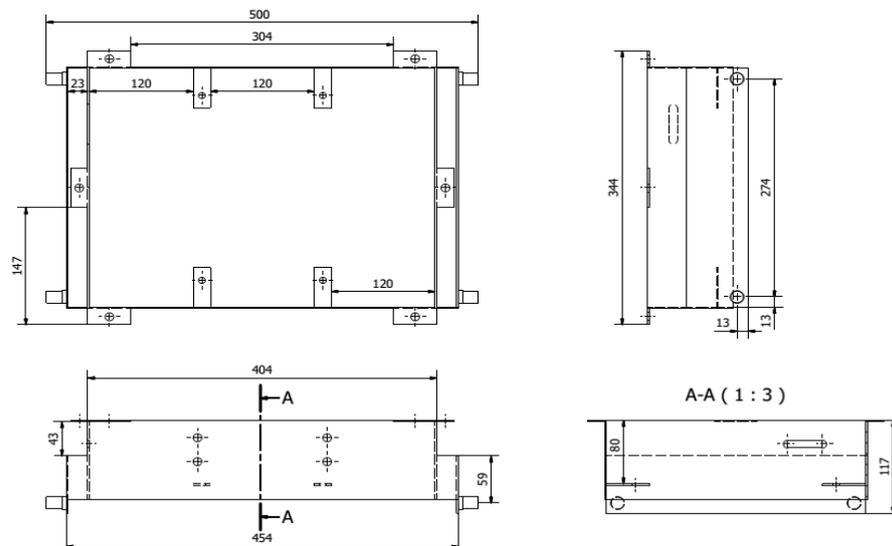
## 2. Kotak Pemanas

Kotak pemanas pada mesin *vacuum forming* ini digunakan untuk menempatkan 2 buah *heater* didalamnya untuk digunakan sebagai pemanas.

Dibagian bawah kotak pemanas terdapat plat aluminium dengan ketebalan 1 (mm) untuk memudahkan perpindahan panas merata. Untuk mekanisme penggeraknya kotak pemanas menggunakan 4 buah *bearing* untuk memudahkan dalam berpindah kedepan dan kebelakang. Material yang digunakan untuk mendisain kotak pemanas adalah plat baja karbon JIS G3101 SS41 dengan ketebalan 2 (mm).



**Gambar 4.10** Disain 3D Kotak Pemas



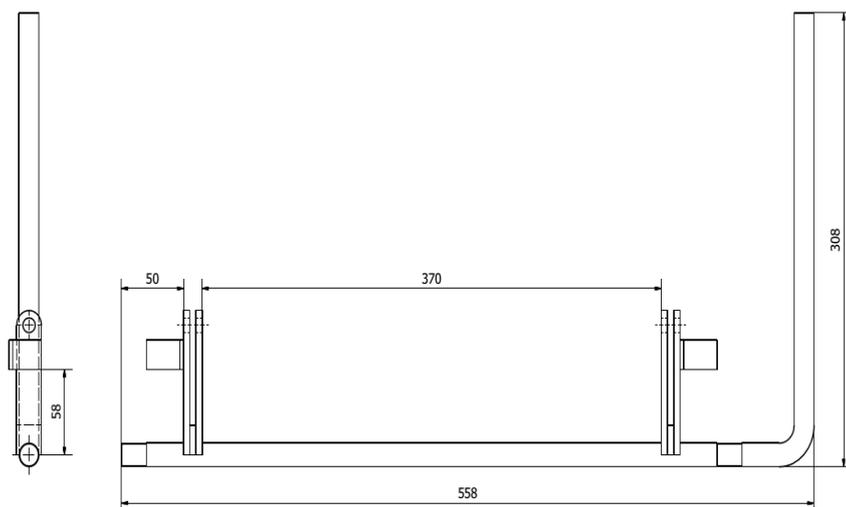
**Gambar 4.11** Gambar 2D Kotak Pemas

### 3. Tuas

Tuas digunakan sebagai mekanisme untuk menggerakkan naik-turunnya *vacuum chamber* ketika proses *vacuum forming* berlangsung. Material yang digunakan untuk mendisain tuas adalah batang pipa pejal baja karbon rendah JIS G3112 dengan diameter 16 (mm) dan plat strip baja karbon rendah dengan ukuran 5x15 (mm) dan memiliki lubang berdiameter 10 (mm).



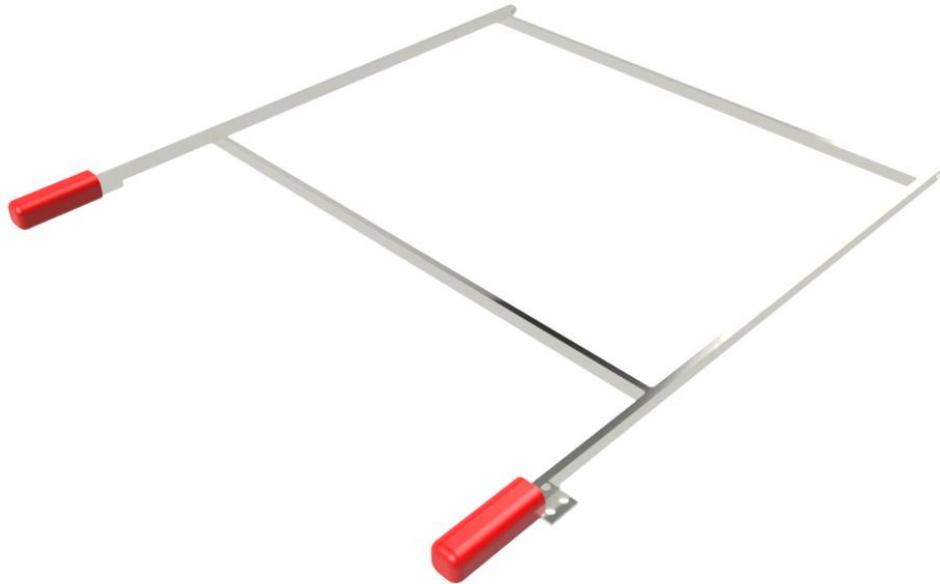
**Gambar 4.12** Disain 3D Tuas



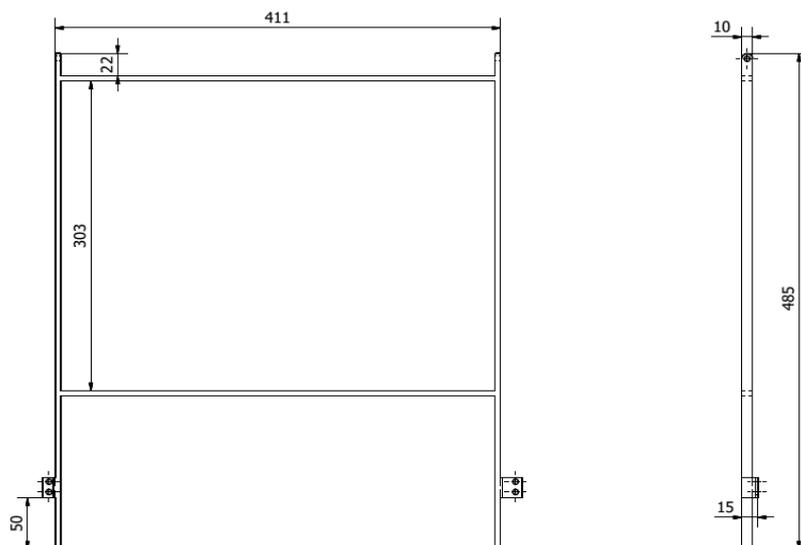
**Gambar 4.13** Gambar 2D Tuas

#### 4. *Clam* (Penjepit)

*Clamp* digunakan untuk menjepit lembaran plastik agar lembaran plastik tidak bergeser (bergerak) dari tempatnya pada saat proses pembentukan berlangsung pada mesin *vacuum forming*. Material yang digunakan untuk mendisain *clamp* adalah plat strip besi karbon rendah berukuran 5x10 (mm).



**Gambar 4.14** Disain *Clamp* (Penjepit)



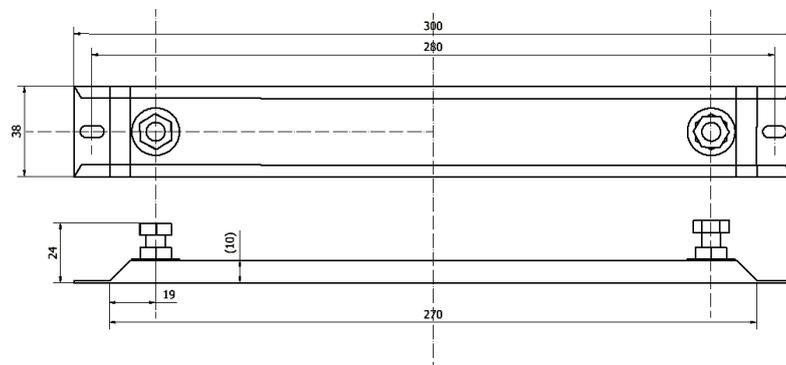
**Gambar 4.15** Gambar 2D *Clamp* (Penjepit)

## 5. Heater

*Heater* digunakan sebagai elemen pemanas yang ada pada kotak pemanas dan sebagai sumber panas dari kotak pemanas tersebut. *Heater* yang digunakan adalah tipe *strip* berukuran 30x3,8 (cm) yang memiliki daya 250 watt per unitnya. *Heater* yang digunakan didalam kotak pemanas pada mesin *vacuum forming* ini sebanyak 2 buah.



**Gambar 4.16** Disain 3D *Heater*



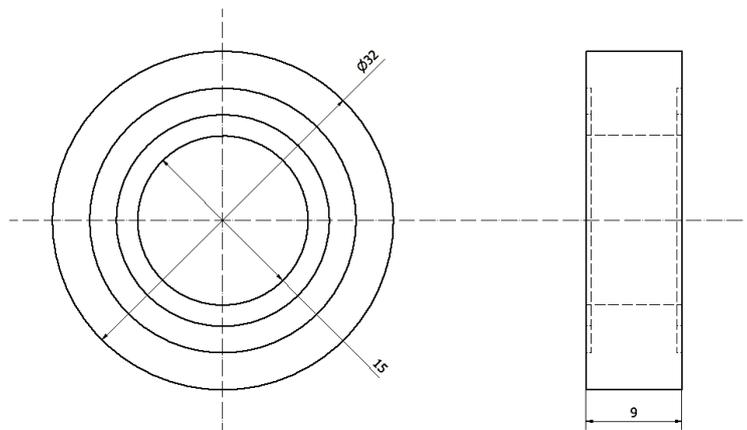
**Gambar 4.17** Gambar 2D *Heater*

## 6. Bearing

*Bearing* digunakan untuk membantu mekanisme pergerakan dari kotak pemanas dan tuas. *Bearing* yang digunakan adalah tipe 6002 sebanyak 6 buah. Dimana, 4 buah untuk menggerakkan kotak pemanas dan 2 buah untuk menggerakkan tuas.



**Gambar 4.18** Disain 3D *Bearing*



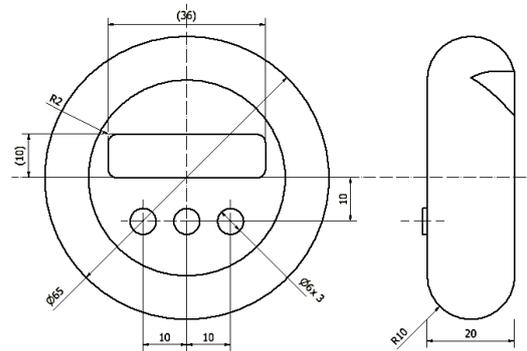
**Gambar 4.19** Gambar 2D *Bearing*

## 7. *Stopwatch Digital*

*Stopwatch* digunakan untuk menghitung atau mengatur lamanya waktu pemanasan ketika proses pembentukan *vacuum forming* berlangsung. Sehingga, proses pembentukan yang dilakukan menghasilkan produk lembaran plastik yang terbentuk dengan baik.



**Gambar 4.20** Disain 3D *Stopwatch Digital*



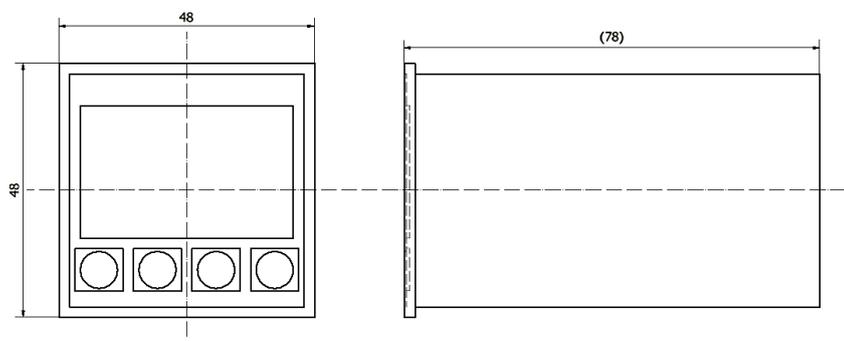
**Gambar 4.21** Gambar 2D *Stopwatch*

### 8. *Thermocontrol*

*Thermocontrol* digunakan untuk mengatur temperatur kotak pemanas (*heater*) sesuai dengan yang diinginkan dengan menggunakan *thermocouple* sebagai sensor inputnya untuk proses pemanasan lembaran plastik. *Thermocontrol* yang digunakan pada disain mesin *vacuum forming* ini adalah *thermocontrol* tipe E5CZ-R2 AC100-240.



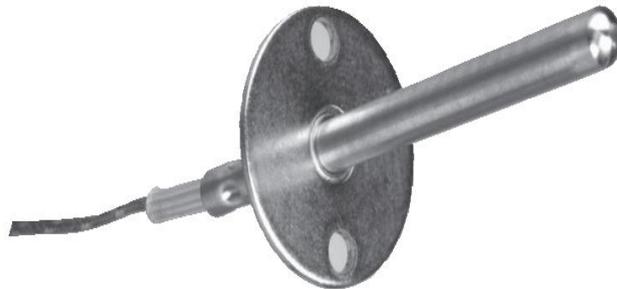
**Gambar 4.22** Gambar *Thermocontrol*



**Gambar 4.23** Gambar 2D *Thermocontrol*

### 9. *Thermocouple*

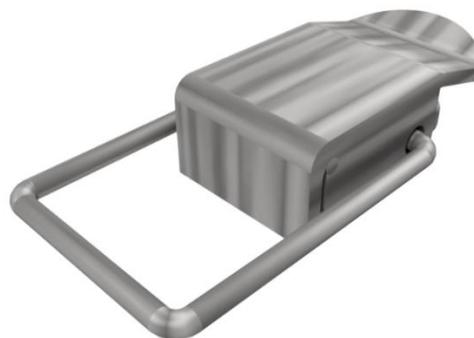
*Thermocouple* digunakan sebagai sensor yang terhubung kepada *thermocontrol* dimana untuk mengatur suhu kotak pemanas (*heater*) sesuai yang diinginkan untuk pemanasan lembaran plastik. Jenis *thermocouple* yang digunakan untuk disain mesin *vacuum forming* adalah *thermocouple* tipe K. Termokopel tipe K biasanya banyak digunakan karena berbasis nikel dan tidak mudah terkorosi. Karena kehandalan dan ketepatannya tipe K Termokopel digunakan secara ekstensif pada suhu sampai 2300 °F (1260 °C).



**Gambar 4.24** Gambar *Thermocouple*  
(Sumber: WATLOW)

### 10. *Clamp Toggle*

*Clamp toggle* digunakan untuk mengunci *clamp* setelah menjepit lembaran plastik pada mesin sehingga jepitan pada lembaran plastik akan semakin kuat. *Clamp toggle* yang digunakan adalah jenis *overval* berukuran *medium*.



**Gambar 4.25** Gambar 3D *Clamp Toggle*

### 11. Vacuum Cleaner

*Vacuum cleaner* digunakan untuk menghisap (vakum) udara yang berada didalam *vacuum chamber* dan udara di antara *vacuum chamber* dan lembaran plastik sehingga proses pembentukan lembaran plastik terbentuk dengan sempurna. *Vacuum cleaner* yang digunakan untuk disain mesin *vacuum forming* ini adalah *vacuum cleaner Philips CompactGo Vacuum Cleaner with Bag FC8291/01* dengan *vacuum (max)* : 20 kPa (20.000 Pa) dan *Airflow (max)* : 26,6 l/s (0,0266 m<sup>3</sup>/dt).



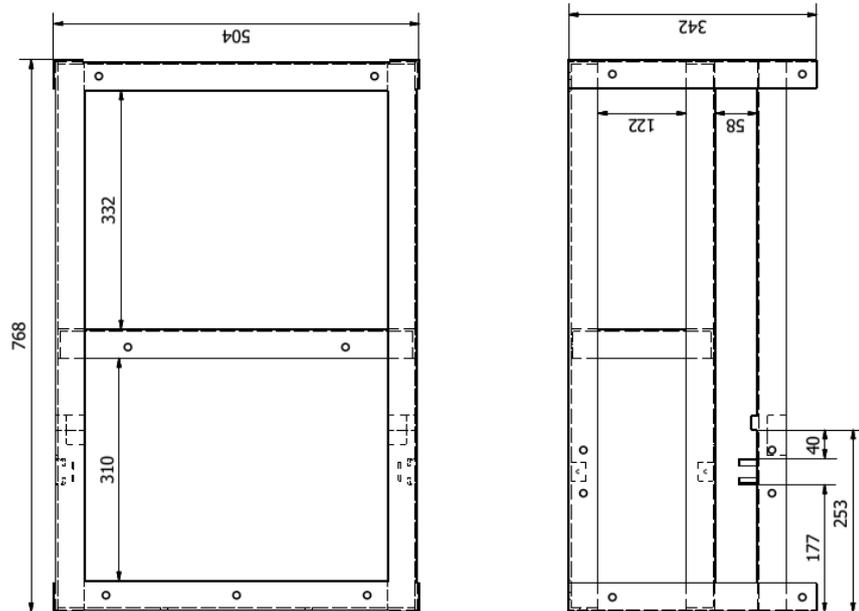
**Gambar 4.26** Gambar *Vacuum Cleaner*  
(Sumber: Philips)

### 12. Frame (Rangka)

*Frame* didisain untuk menopang setiap komponen-komponen dari disain mesin *vacuum forming*. Dimana, *frame* harus didisain sekokoh mungkin karena merupakan pondasi dari mesin *vacuum forming*. Material yang digunakan untuk mendisain *frame* mesin *vacuum forming* ini adalah menggunakan Plat siku baja karon SS400 dengan ukuran 40x40x3 (mm).



**Gambar 4.27** Disain 3D *Frame* (Rangka)



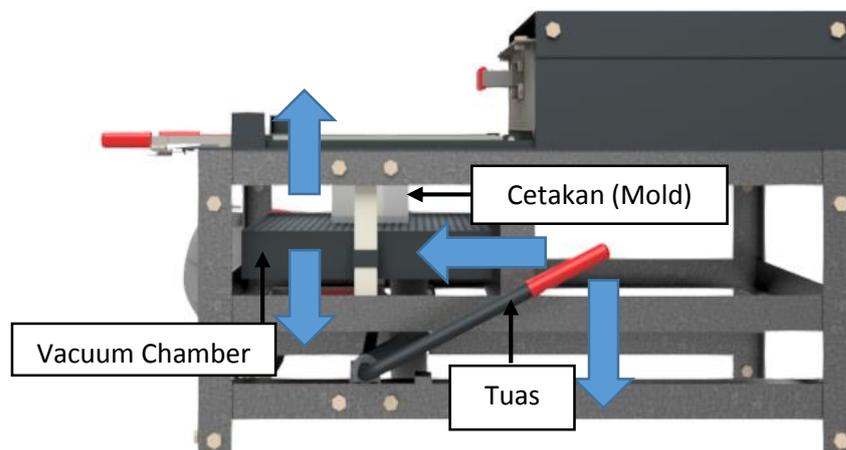
**Gambar 4.28** Gambar 2D *Frame* (Rangka)

#### 4.6. Mekanisme Mesin Vacuum Forming

Prose mekanisme mesin *vacuum forming* berlangsung secara manual dimana masih memerlukan tenaga manusia (operator) untuk menjalankannya dalam proses produksinya. Bahan pengujian yang digunakan berupa lembaran plastik berjenis *polystyrene* (PS) dengan panjang 420 mm dan lebar 320 mm dengan ketebalan 0,5 sampai dengan 2 mm.

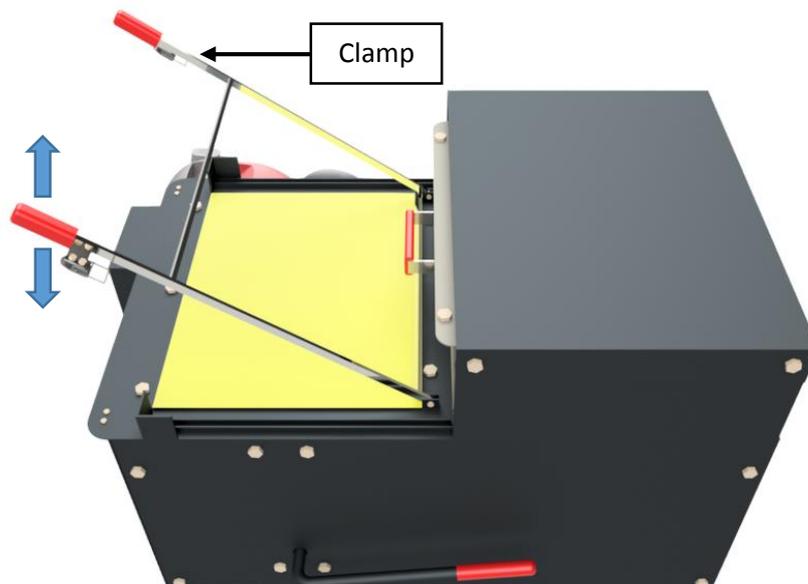
Adapun mekanisme proses yang dilakukan antara lain adalah :

1. Pertama menaikkan *vacuum chamber* keatas dengan cara menarik tuas disamping kanan mesin *vacuum forming*. Kemudian meletakkan cetakan (*mold*) diatas *vacuum chamber* dan menurunkan kembali *vacuum chamber* keposisi awal.



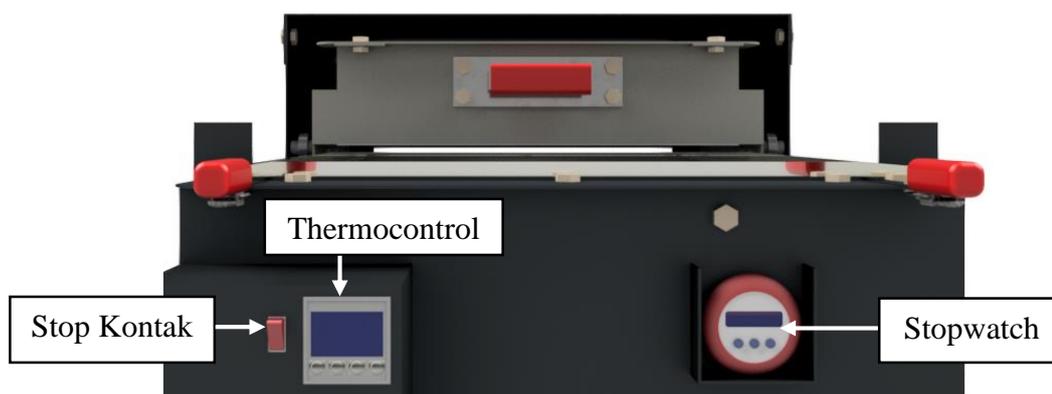
**Gambar 4.29** Mekanisme *Vacuum Chamber* dan Tuas

2. Selanjutnya mengangkat *clamp* keatas untuk meletakkan lembaran plastik *polystyrene* diatas mesin *vacuum forming* yang kemudian lembaran plastik dijepit oleh *clamp* agar tidak bergeser/bergerak dari posisinya ketika proses pembentukan berlangsung.



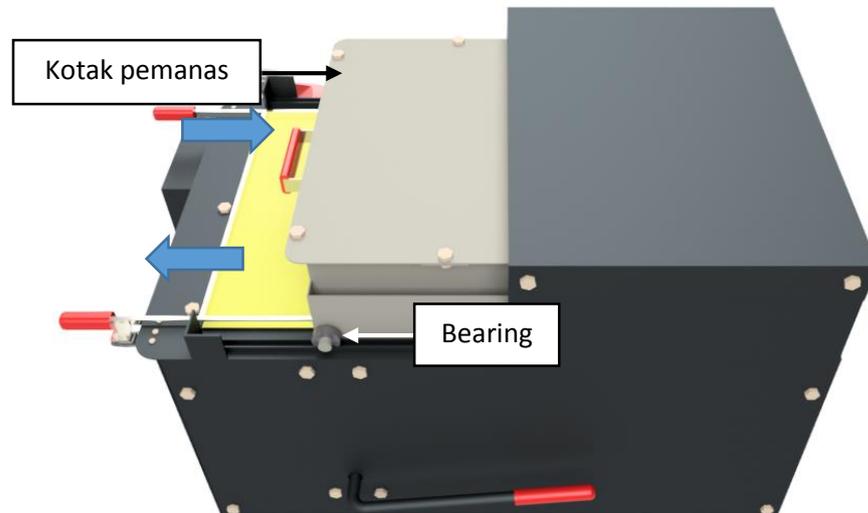
**Gambar 4.30** Mekanisme *Clamp*

3. Sebelum melakukan proses pemanasan terlebih dahulu di *setting* berapa lama waktu pemanasan pada *stopwatch* digital dan berapa temperatur kotak pemanas (*heater*) pada *thermocontrol* dengan input sensor *thermocouple*, sehingga proses pemanasan dapat berlangsung dengan sempurna. Lamanya waktu pemanasan dipengaruhi oleh jenis lembaran plastik dan ketebalan lembaran plastik yang digunakan.



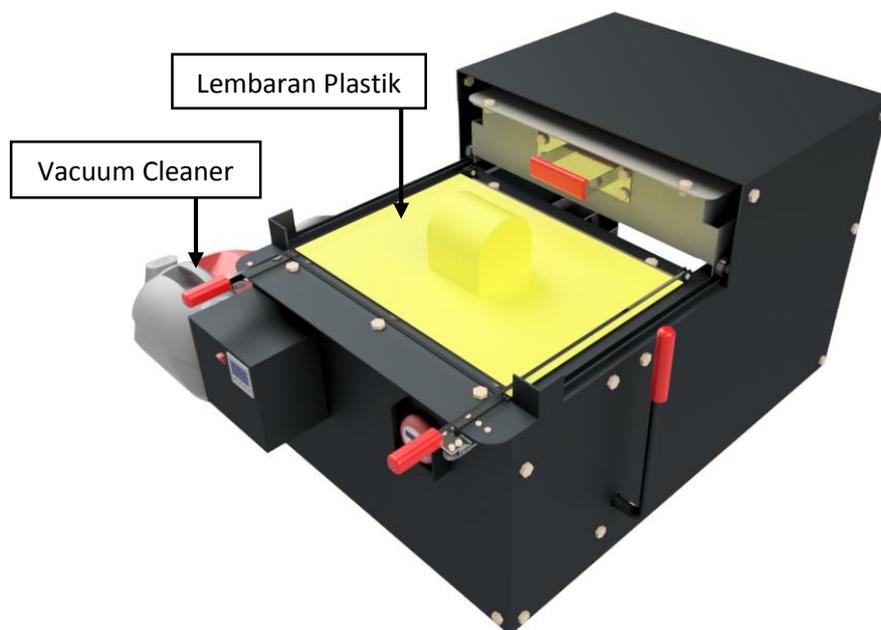
**Gambar 4.31** *Stopwatch* dan *Thermocontrol*

4. Selanjutnya kotak pemanas dapat ditarik kedepan dengan bantuan 4 buah *bearing* dibawahnya untuk melakukan proses pemanasan sampai lembaran plastik menjadi lunak (tidak meleleh). Setelah proses pemanasan selesai kotak pemanas dapat didorong kebelakang untuk dikembalikan ke posisi awal.



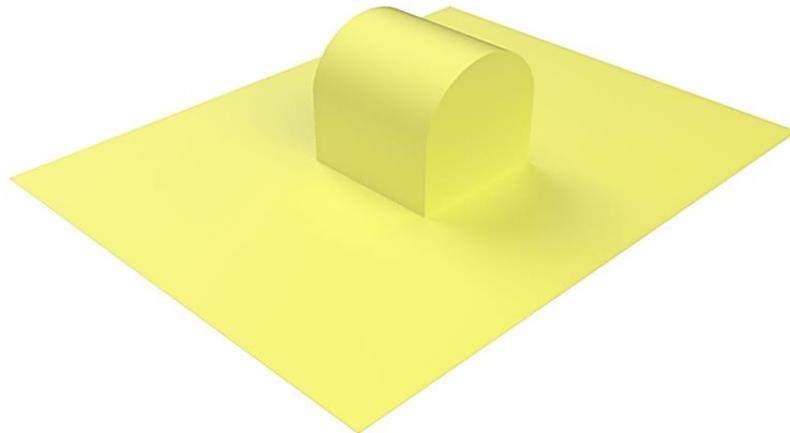
**Gambar 4.32** Mekanisme Kotak Pemanas

5. Setelah lembaran plastik menjadi lunak, vacuum chamber akan naik keatas sehingga cetakan (*mold*) akan mengenai lembaran plastik untuk proses pembentukan dan disaat yang bersamaan *vacuum cleaner* akan dihidupkan untuk menghisap (vakum) udara didalam *vacuum chamber* dan udara yang terjebak diantara lembaran plastik dan *vacuum chamber*.



**Gambar 4.33** Proses Pembentukan dan Vakum

6. Setelah proses pembentukan selesai, *vacuum cleaner* dimatikan dan *vacuum chamber* diturunkan. Selanjutnya, clamp yang menjepit lembaran plastik diangkat keatas untuk mengeluarkan lembaran plastik yang sudah selesai dibentuk (dengan syarat lembaran plastik sudah tidak bertemperatur tinggi).



**Gambar 4.34** Lembaran Plastik Setelah Proses *Vacuum Forming*

#### 4.7. Analisa Biaya

##### 4.7.1. Biaya Bahan atau Material

**Tabel 4.5** Uraian Biaya Bahan

No	Barang	Tipe	Jumlah	Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Plat Aluminium	1x2m (tebal 1 mm)	1	281.000	281.000
2	Plat Besi Siku (Rangka)	4cmx4cmx6m (tebal 3 mm)	1	90.000	90.000
3	Plat Besi (Eser)	4' x 8' (tebal 1 mm)	1	265.000	265.000
4	Plat Besi (Eser)	4' x 8' (tebal 2 mm)	2	425.000	850.000
5	Plat Strip	5 x 40 mm (panjang 6m)	1	97.000	97.000
6	Plat Berlubang	1 x 2 m (tebal 0,8 dan Diameter lubang 0,5 mm)	1	230.000	230.000
7	Besi Beton	Diameter 16 mm	1	167.000	167.000
8	Mur dan Baut	M5	12	500	6.000
9	Mur dan Baut	M10	31	1.000	31.000
<b>JUMLAH</b>					<b>Rp.2.016.000</b>

#### 4.7.2. Biaya Komponen atau Alat

**Tabel 4.6** Uraian Biaya Komponen

No	Barang	Tipe	Jumlah	Satuan (Rp)	Total (Rp)
1	Heater	Strip heater (daya 250 Watt)	2	80.000	160.000
2	Vacuum Cleaner	Philips CompactGo Vacuum Cleaner with Bag FC8291/01	1	895.000	895.000
3	Bearing	Tipe 6002 (15x31x9 mm)	6	10.000	60.000
3	thermocontrol	Omron E5CZ-R2 AC100-240	1	425.000	425.000
4	thermocoupel	Type K	1	170.000	170.000
5	stopwatch	Digital Alarm	1	45.000	45.000
6	Toggle clamp	Overval medium	2	23.000	46.000
7	MCB	ABB Miniature Circuit Breaker 6A	1	70.000	70.000
8	Isolasi anti panas	Teflon isolasi Nitto 973ULS (tebal 0.13mm dan lebar 13 mm)	1	75.000	75.000
<b>JUMLAH</b>					<b>Rp.1.946.000</b>

#### 4.7.3. Biaya Jasa Pembuatan

**Tabel 4.7** Uraian Biaya Jasa Pembuatan

No	Jasa dan Alat	Waktu Pemakaian (Jam)	Harga Jasa /Jam (Rp)	Operator (Rp)
1	Disain Mesin			1.500.000
2	Mesin Las	5	30.000	150.000
3	Mesin Bor	3	30.000	90.000
4	Mesin Grinda	2	30.000	60.000
5	Mesin Bubut	2	30.000	60.000
6	Mesin Cutting	5	30.000	150.000
7	Finishing	4	-	-
<b>JUMLAH</b>				<b>Rp.2.010.000</b>

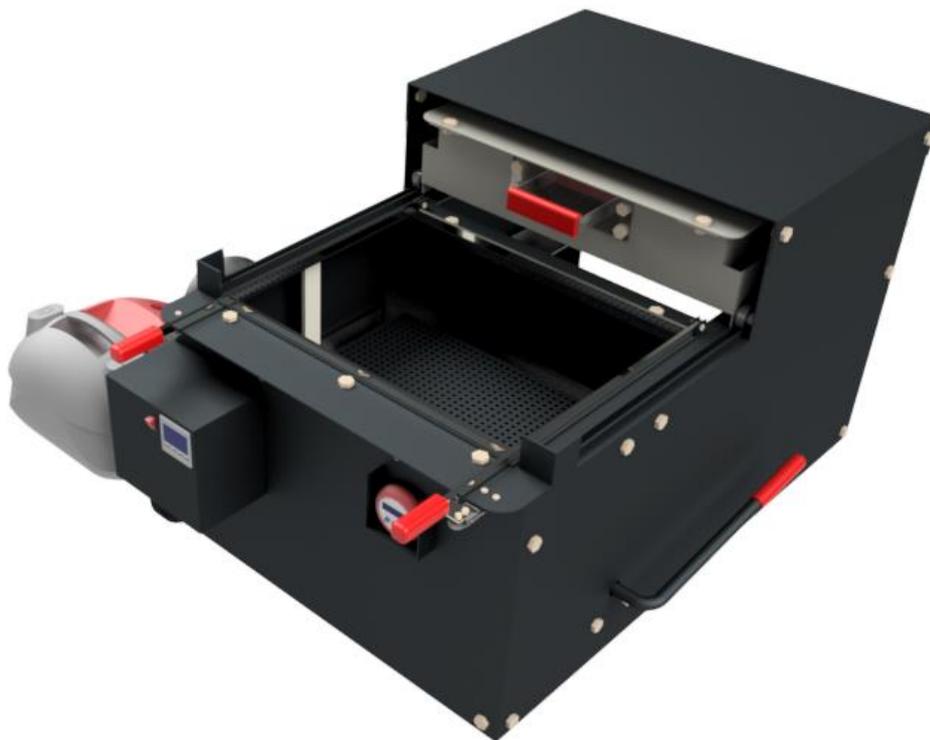
Total biaya pembuatan untuk mesin *vacuum forming* adalah biaya keseluruhan dari total biaya material, biaya komponen dan biaya jasa pembuatan. Dimana seperti yang telah diuraikan pada tabel diatas (Tabel 4.5, Tabel 4.6 dan Tabel 4.7) sehingga total biaya secara keseluruhan untuk pembuatan mesin *vacuum forming* adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\mathbf{Biaya\ Total} &= \text{Biaya Material} + \text{Biaya Komponen} + \text{Biaya Jasa Pembuatan} \\ &= \text{Rp.2.016.000,00} + \text{Rp.1.946.000,00} + \text{Rp.2.010.000,00} \\ &= \mathbf{\text{Rp.5.972.000,00}}\end{aligned}$$

Berdasarkan total biaya untuk pembuatan mesin *vacuum forming* diatas yaitu Rp.5.972.000,00 masih terbilang relatif lebih murah. Karena, mesin vacuum forming ini dirancang ataupun didisain untuk industri-industri kecil dan industri rumah tangga (UKM). Sehingga, harus memiliki harga yang relatif lebih murah dan terjangkau.

#### 4.8. Spesifikasi Mesin Vacuum Forming

Hasil perancangan dengan membandingkan mesin Formech 686 dan menggunakan metode perancangan secara rasional untuk mesin *vacuum forming* dapat digambarkan secara 3 dimensi dengan *software autodesk inventor professional 2016* seperti gambar dibawah ini.



**Gambar 4.35** Disain 3 Dimensi Mesin *Vacuum Forming*

**Tabel 4.8** Spesifikasi Mesin *Vacuum Forming*

Dimensi Mesin	562 x 880 x 496 (mm)
<i>Vacuum (max)</i>	20 kPa (20.000 Pa)
<i>Airflow (max)</i>	26,6 l/s (0,0266 m <sup>3</sup> /dt)
Dimensi Maksimal Cetakan	300 x 400 x 150 (mm)
Dimensi Maksimal Plastik	420 x 320 (mm)
Temperatur Maksimal <i>Heater</i>	400 °C
Konsumsi Daya	<i>Vacuum Cleaner</i> : 1000 Watt <i>Heater</i> : 500 Watt
<b>Biaya Total</b>	<b>Rp. 5.972.000,00</b>

#### 4.9. Perbandingan mesin *Vacuum Forming* dengan Formech 686

**Tabel 4.9** Perbandingan mesin *Vacuum Forming* dengan Formech 686

<b>Perbandingan</b>	<b>Mesin Formech 686</b>	<b>Mesin Vacuum Forming</b>
<b>Dimensi Mesin</b>	960 x 1800 x 1170 (mm)	562 x 880 x 496 (mm)
<b>Dimensi Cetakan</b>	646 x 620 x 325 (mm)	300 x 400 x 150 (mm)
<b>Dimensi Lembaran Plastik</b>	686 x 660 (mm)	420 x 320 (mm)
<b>Konsumsi Daya</b>	8 Kw	1,5 Kw
<b>Cooling (Pendingin)</b>	Blower	Secara Alami
<b>Heating Zone</b>	6	2
<b>Harga</b>	Rp.200.000.000,-	Rp.5.972.000,-