

# PENGARUH CETAKAN *SILICONE RUBBER* DAN TEMPERATUR TUANG LILIN TERHADAP KUALITAS POLA LILIN PADA *INVESTMENT CASTING*

Harrianda Hudaya<sup>1</sup>, Warman Fatra<sup>2</sup>, Dedy Masnur<sup>3</sup>  
*Casting and Solidification Technology Group*

Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau  
<sup>1</sup>harriandahudaya123@gmail.com, <sup>2</sup>warman\_fatra@lecture.unri.ac.id, <sup>3</sup>dedymasnur@gmail.com<sup>3</sup>

## Abstract

*Investment casting method is widely used in the industry, it could produce complex and high precision products. One of the important stage in the investment is the wax pattern production, because the quality of the cast product depends on the quality of the wax pattern. Silicone rubber in alternative mold material has good formability, low thermal conductivity, as well as the low cost of raw materials and the processes compared with metal. Mold silicone rubber and pour wax temperature varied 55 °C, 65 °C and 75 °C to investigate the effect of these variables on shrinkage of linear wax patterns and volume wax pattern which expressed as percentage. The lowest average of linear shrinkage is 0.65%, which obtained at temperature 55 °C. The lowest percentage of volumetric shrinkage is 7.59 %, which obtained at temperature 55 °C.*

*Keywords : invesment casting, mold material, wax pour temperature, shrinkage*

## 1. Pendahuluan

*Investment casting* merupakan salah satu teknologi pengecoran yang menghasilkan kualitas produk dengan kualitas baik seperti kepresisian yang tinggi dan dapat membuat produk yang rumit. Produk yang mampu dihasilkan oleh *investment casting* ini cakupannya cukup luas yaitu mulai dari industri kesehatan, pertanian, tekstil, senjata, elektronik, otomotif dan komponen listrik yang sangat dibutuhkan Indonesia [1].

Penelitian sebelumnya dilakukan terhadap 5 jenis lilin yaitu *paraffin wax*, *bee wax*, *montan wax*, *carnauba wax* dan *china wax*, dengan membuat 10 bahan dari kombinasi lilin dengan takaran tertentu, dicetak menggunakan cetakan berbahan *mild steel*. Persentase *linear shrinkage* dan *volumetric shrinkage* pola lilin terendah masing-masing 0.98% dan 2.53% [2].

Ketertarikan penggunaan metal sebagai bahan pembuat cetakan pola lilin masih memberikan nilai biaya (*cost*) yang relatif besar dan waktu proses untuk pembuatan yang cukup lama. Bahan *silicone rubber* juga bisa digunakan untuk sebagai alternatif bahan cetakan pola lilin [3].

*Silicone rubber* memiliki sifat mampu bentuk yang baik dan nilai konduktivitas termal bahan *silicone rubber* yang rendah yaitu 0.2 W/m.° K sedangkan bahan metal adalah 41 W/m.° K. Biaya bahan baku dan proses untuk membuat cetakan berbentuk balok dengan perkiraan volume :  $6.72 \times 10^{-4} \text{ m}^3$  bahan baku 5.29 kg + CNC : Rp 79.350 + Rp 1.500.000 = Rp 1.579.350, untuk bahan *silicone rubber* bahan baku 0.9 kg dengan biaya Rp 157.500.

Penelitian ini mengkaji *linear shrinkage* dan *volumetric shrinkage* dengan bahan cetakan *silicone rubber* dan variasi temperatur tuang lilin 55°C, 65°C dan 75°C.

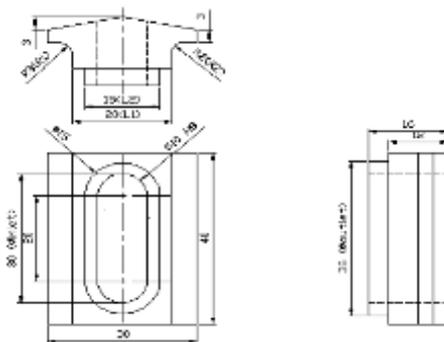
## 2. Metodologi

### 2.1 Pengumpulan bahan dan peralatan

Bahan cetakan yang digunakan pada penelitian ini adalah *silicone rubber*. Lilin yang digunakan adalah lilin jenis *parafin* dengan *melting point* 53°C- 74°C. Metode untuk mengurangi gaya *adhesi* digunakan lapisan pembatas yaitu margarin. Peralatan yang digunakan yaitu wadah plastik, wadah logam, kompor pelebur dan termokopel.

### 2.2 Perancangan Master, Sistem Saluran dan Cetakan Inti.

Master dirancang sedemikian rupa untuk memenuhi keunggulan pengecoran *investment casting* yaitu perbedaan dimensi lebar (L1 dan L2), diameter *inlet* ( $\varnothing$  *inlet*) dan diameter *outlet* ( $\varnothing$  *outlet*) serta beda radius (R1 dan R2) seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Master nylon

Rancangan terdiri dari saluran turun (*sprue*) dan saluran masuk (*gate*) dirancang berdasarkan ketebalan rata-rata master. Selain itu cawan tuang (*pouring cup*) dapat menyesuaikan dengan penampang atas *sprue*. Ketebalan rata-rata

pada master 4 mm. Panjang sisi *sprue* atas, ketinggian *sprue*, panjang sisi *sprue* bagian bawah, luas permukaan bawah *sprue*, dan luas *gate* dapat menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5) [4].

$$Sa = 3.5 \times t \quad (1)$$

$$Ts = 6 \times Sa \quad (2)$$

$$Sb = 2 \left( 0.5 Sa - \left( \frac{Ts \times \cos 0.5^\circ}{100} \right) \right) \quad (3)$$

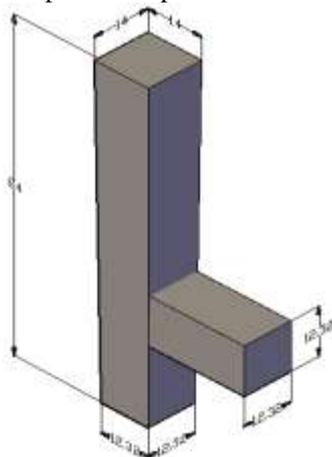
$$Ab = Sb^2 \quad (4)$$

$$Ag = Ab \quad (5)$$

dimana :

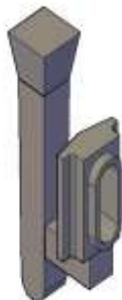
- t = tebal rata-rata benda cor (mm)
- Sa = Panjang sisi *sprue* atas (mm)
- Ts = Ketinggian *sprue* (mm)
- Sb = Panjang sisi *sprue* bagian bawah (mm)
- Ab = Luas permukaan bagian bawah (mm<sup>2</sup>)
- Ag = Luas *gate* (mm<sup>2</sup>)

Rancangan sistem berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Sistem Saluran

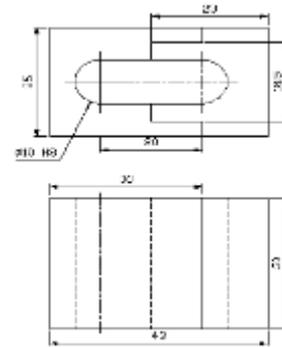
Pertimbangan untuk memperkecil nilai penyusutan dan cacat pola lilin akibat sistem saluran dan posisi master, bagian bawah *sprue* diberi radius agar pada saat penuangan lilin cair yang jatuh mengikuti radius sehingga mengurangi turbulensi (pergolakan aliran) seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Rancangan Sistem Saluran Akhir

Cetakan inti dirancang terdiri dari 2 buah balok balok yang memiliki lubang inti ditengahnya,

cetakan inti dapat terpisah dan menyatu seperti Gambar 4.

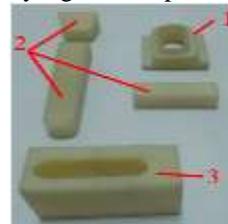


Gambar 4 Rancangan Cetakan Inti

### 2.3 Pembuatan Master, Sistem Saluran dan Cetakan Inti.

Bahan yang digunakan untuk pembuatan master, sistem saluran dan cetakan inti adalah bahan *nylon*. *Nylon* memiliki permukaan yang halus, tahan lama dan kekerasannya lebih rendah dibandingkan bahan logam.

Proses pembuatan master, sistem saluran dan cetakan inti menggunakan pemesinan frais (*milling*). Pahat yang digunakan *end mill* diameter 10 mm, 6 mm dan 4 mm. Pengerjaan permukaan menggunakan putaran pahat dengan *spindle low* dengan *feeding* 1 mm. Proses *finishing* menggunakan *spindle high* dengan *feeding* 0.5 mm. Master (1), sistem saluran (2) dan cetakan inti (3) yang telah dibuat menggunakan pemesinan (*milling*) seperti yang terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Master, sistem saluran dan cetakan inti

### 2.4 Pembuatan Cetakan

Cetakan dibuat menggunakan tiga bahan yaitu *gypsum*, *silicone rubber*, dan resin. Desain dan bentuk cetakan untuk ketiga bahan sama yaitu terdiri dari cetakan atas (*cope*) dan cetakan bawah (*drag*) yang disatukan dengan pin. Rongga cetakan terdapat sistem saluran, master dan inti. Cetakan *gypsum*, *silicone rubber* dan resin seperti Gambar 6



Gambar 6. cetakan *silicone rubber*

## 2.5 Pembuatan Pola Lilin

Lilin dilebur hingga mencair. Lalu lilin cair diukur temperaturnya hingga temperatur tuang pada 55°C, 65°C dan 75°C. Oles permukaan dalam dan lakukan penuangan kepada ketiga cetakan, lalu tunggu ± 60 menit atau hingga lilin menjadi solid. Bongkar pola lilin dari cetakan seperti Gambar 7.



Gambar 7. Pola lilin *silicone rubber*

## 2.6 Pengambilan Data

Data yang diambil adalah dimensi dan volume pada master dan pola lilin

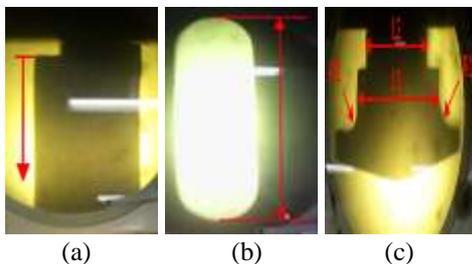
### 1. Pengukuran dimensi

Pengukuran dimensi pada 6 daerah pengukuran menggunakan alat ukur *profile projector* seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Profile projector*

Proses pengukuran pada daerah ukur dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. (a) Pengukuran diameter *Outlet* (b) Pengukuran diameter *Inlet* (c) pengukuran lebar1, lebar2, radius1 dan radius2

### 2. Pengukuran Berat

Pengukuran berat dilakukan pada master dan pola lilin. Data berat yang didapatkan digunakan

untuk mendapatkan volume master dan volume pola lilin.

Timbangan yang digunakan timbangan digital kapasitas 2000 gr dengan ketelitian 0.01 gr. Mengukur berat dilakukan untuk mendapatkan volume dari master dan spesimen. Volume didapatkan dari hasil pembagian berat benda ukur dan massa jenis benda ukur. Massa jenis dari lilin dan *nylon* didapatkan dengan menimbang kubus yang sisinya berukuran 1 cm atau volume 1 cm<sup>3</sup>. Kubus berjumlah 2 buah kubus pertama terbuat dari bahan lilin dan kubus kedua terbuat dari bahan *nylon*. Proses selanjutnya penimbangan master *nylon* dan spesimen pola lilin untuk mendapatkan berat keduanya.

## 2.7 Menghitung *linear shrinkage* dan *volumetric shrinkage*

Master dan pola lilin diukur dimensinya menggunakan *profile projector* kemudian data pengukuran dimensi dihitung menggunakan persamaan *linear shrinkage* (6). Master dan pola lilin ditimbang menggunakan timbangan digital, untuk mendapatkan berat. Data berat yang didapatkan digunakan untuk mendapatkan volume (7). *Volumetric shrinkage* didapatkan dengan menghitung volume master dan volume pola lilin ke persamaan *volumetric shrinkage* (8).

$$\text{Linier Shrinkage} = \frac{l_o - l_p}{l_o} \times 100 \% \quad (6)$$

dengan :  $l_o$  = dimensi produk master *nylon* (mm)  
 $l_p$  = dimensi spesimen pola lilin (mm)

$$v = \frac{\rho}{m} \quad (7)$$

dengan :  $v$  = volume (m<sup>3</sup>)  
 $\rho$  = massa jenis benda master *nylon* / lilin (Kg/ m<sup>3</sup>)

$$\text{volumetric shrinkage} = \frac{V_c - V_p}{V_c} \times 100 \% \quad (8)$$

dengan :  $V_c$  = Volume master *nylon* (m<sup>3</sup>)  
 $V_p$  = Volume spesimen pola lilin (m<sup>3</sup>)

## 3. Hasil

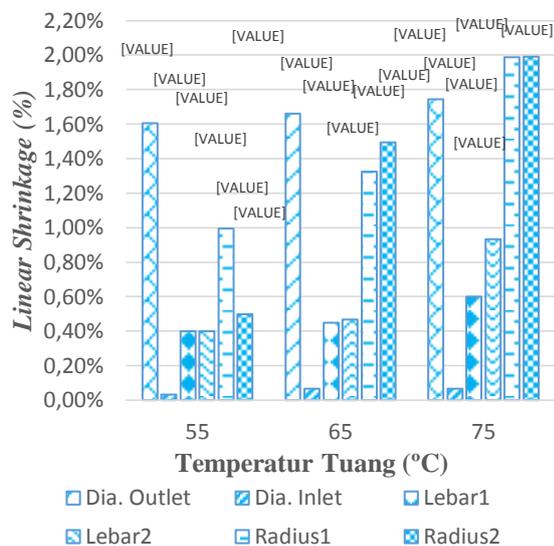
Hasil spesimen pola lilin dari hasil cetakan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil Spesimen Pola Lilin

### 3.1 Pengaruh temperatur tuang terhadap persentase *linear shrinkage* pada cetakan bahan *sillicone rubber*

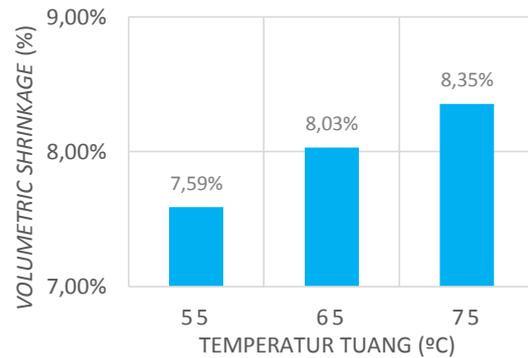
Gambar 11. adalah grafik persentase *linear shrinkage* pengaruh temperatur tuang pada bahan cetakan *sillicone rubber* dapat dilihat pada. Gambar 11. menunjukkan *linear shrinkage* meningkat seiring dengan peningkatan temperatur tuang pada setiap daerah pengukuran. Semakin rendah temperatur tuang maka persentase *linear shrinkage* semakin rendah begitu pula sebaliknya, kecuali pada daerah diameter *inlet*. Rata-rata persentase *linear shrinkage* temperatur 55 °C adalah 0.65%, pada temperatur 65 °C adalah 0.91% atau meningkat 0.26% dan temperatur 75 °C adalah 1.22% atau meningkat 0.31%.



Gambar 11. Grafik pengaruh pengaruh temperatur tuang terhadap persentase *linear shrinkage*

### 3.2 Pengaruh temperatur tuang terhadap *volumetric shrinkage* pada cetakan pola lilin bahan *sillicone rubber*

Gambar 12 adalah grafik pengaruh temperatur tuang terhadap *volumetric shrinkage*. Gambar 12. menunjukkan persentase *volumetric shrinkage* meningkat seiring peningkatan temperatur tuang. Persentase *volumetric shrinkage* pada temperatur 55 °C adalah 7.59%, pada temperatur 65 °C adalah 8.03% atau meningkat 0.44%, dan temperatur 75 °C adalah 8.35% atau meningkat 0.32%.



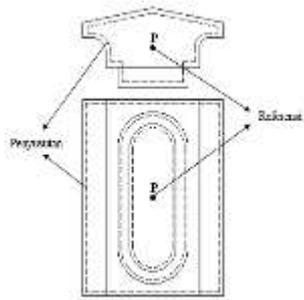
Gambar 12. Pengaruh temperature tuang terhadap persentase *volumetric shrinkage*

## 4. Pembahasan

### 4.1 Pengaruh bahan cetakan terhadap *linear shrinkage*

Nilai konduktivitas termal bahan berpengaruh terhadap laju perpindahan panas. Perpindahan panas yang terjadi pada masing cetakan *sillicone rubber* adalah perpindahan panas secara konduksi atau panas mengalir pada media benda padat. Perpindahan panas berhenti ketika dua media mencapai temperatur yang sama perpindahan panas konduksi ( $\dot{Q}_{cond}$ ) dipengaruhi oleh perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ), ketebalan ( $\Delta x$ ), luas ( $A$ ), dan konduktivitas termal material ( $k$ ) [5].

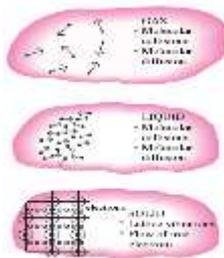
Nilai konduktivitas termal *sillicone rubber* 0.2 W/m.° K [6]. Nilai  $k$  yang rendah akan memberikan  $\dot{Q}_{cond}$  yang rendah pula. Laju perpindahan panas ( $\dot{Q}_{cond}$ ) berpengaruh pada proses pembekuan pola lilin. Arah dari pembekuan suatu benda cair adalah dari bagian pinggir kebagian inti. Saat pembekuan pola lilin didalam cetakan, panas dari lilin berangsur-angsur akan ditansfer kelingkungan hingga  $T_1$  dan  $T_2$  ( $\Delta T$ ) mencapai kesetimbangan atau hingga pola lilin membeku. Jika panas yang ditransfer lebih besar maka lilin pada bagian tepi akan lebih cepat mulai membeku, sehingga molekul lilin mulai membeku pada bagian tepi dan akan saling mengikat dengan molekul lilin yang masih cair pada bagian tengah hingga lilin membeku 100%. Jika nilai  $k$  lebih rendah maka pembekuan lilin menjadi lebih seragam antara bagian tepi dan bagian inti sehingga memberikan nilai penyusutan yang lebih kecil. Arah penyusutan menuju ke bagian tengah atau inti. Arah penyusutan material yang menuju ke sebuah titik *referensi* di dalam benda. Semua titik yang ada pada benda kerja akan menyusut menuju ke titik *referensi* P seperti yang terlihat pada Gambar 13. [7]



Gambar 13. Arah penyusutan

#### 4.2 Pengaruh temperatur tuang terhadap *linear shrinkage*

Kenaikan temperatur tuang lilin berpengaruh terhadap kenaikan *linear shrinkage*. Hal ini dipengaruhi perubahan fasa lilin dari padat menjadi cair. Lilin yang memiliki bentuk padat pada temperatur ruang akan berubah fasa menjadi cair apabila dipanaskan hingga temperatur *melting point* lilin. Perubahan fasa pada lilin akan merubah susunan bentuk dan jarak antar molekul seperti yang terlihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Molekul benda pada setiap fasa

Saat lilin dalam fasa solid molekul-molekul memiliki susunan yang lebih teratur dan jarak antar molekul rapat dan seragam. Saat keadaan cair susunan molekul berubah menjadi acak dan jarak antar molekul tidak beraturan. Ketika lilin dipanaskan molekul-molekul lilin akan bergerak atau jarak molekul menjadi berubah. Semakin tinggi temperatur molekul-molekul akan bergerak semakin cepat dan acak sehingga menyebabkan jarak antar molekul semakin besar. Jika lilin dituang dengan temperatur lilin yang berbeda kedalam rongga cetakan yang memiliki volume yang sama, maka temperatur tuang lilin yang lebih tinggi akan memberikan persentase penyusutan yang lebih tinggi begitupun sebaliknya. Saat proses penuangan, lilin akan mengisi penuh hingga permukaan *pouring cup* baik pada temperatur tuang lilin 55°C, 65°C, dan 75°C. Seiring dengan pembekuan, lilin akan berubah menjadi fasa solid. Molekul-molekul pada saat keadaan cair akan rapat kembali membentuk susunan yang teratur hingga menyebabkan pola lilin pada masing-masing temperatur tuang mengalami penyusutan.

#### 4.3 Pengaruh bahan cetakan terhadap *volumetric shrinkage*

Grafik *volumetric shrinkage* menunjukkan nilai persentase penyusutan sangat besar dibandingkan grafik *linear shrinkage*. Hal ini dipengaruhi oleh permeabilitas cetakan. Permeabilitas yaitu kemampuan cetakan untuk mengalirkan udara kelingkungan pada saat proses pengecoran. Permeabilitas cetakan yang tinggi akan mengurangi cacat porositas gas pada pola lilin yang diakibatkan oleh terperangkapnya gas didalam cetakan. Cetakan *sillicone rubber* memiliki permeabilitas rendah hal ini dapat dilihat pada spesimen pola lilin pada Gambar 15. terdapatnya lubang udara yang besar pada salah satu permukaan spesimen yang terbentuk akibat udara terperangkap didalam cetakan selama proses pembekuan. Lubang udara tersebut mengurangi volume spesimen pola lilin secara drastis sehingga memberikan persentase *volumetric shrinkage* yang besar.



Gambar 15. Porositas spesimen cetakan *sillicone rubber*

#### 4.4 Pengaruh temperatur tuang terhadap *volumetric shrinkage*

Gambar 12. Juga menunjukkan persentase *volumetric shrinkage* meningkat seiring meningkatnya temperatur tuang. Saat temperatur tuang semakin tinggi maka lilin menguap sehingga terbentuk udara dirongga cetakan yang mengakibatkan porositas semakin besar. Saat penuangan lilin pada volume rongga cetakan yang sama, lilin cair dituang hingga penuh atau mencapai permukaan *pouring cup*. Semakin tinggi temperatur jarak antar molekul akan semakin besar begitu pula sebaliknya, sehingga jumlah lilin yang masuk kedalam rongga cetakan pada temperatur tuang 55°C lebih besar dibandingkan temperatur tuang 65°C, dan 75°C. Seiring dengan pembekuan lilin molekul-molekul lilin cair akan kembali merapat dan susunannya menjadi teratur. Hal ini yang menyebabkan meningkatnya *volumetric shrinkage* seiring dengan kenaikan temperatur tuang.

### 5. Simpulan

Beberapa simpulan yang dapat diambil dari penelitian ini :

1. Semakin rendah temperatur tuang maka persentase *linear shrinkage* semakin rendah begitu pula sebaliknya, kecuali pada daerah

diameter *inlet*. Rata-rata persentase *linear shrinkage* temperatur 55 °C adalah 0.65%, temperatur 65 °C adalah 0.91% dan temperatur 75 °C adalah 1.22%.

2. Persentase *volumetric shrinkage* paling rendah pada temperatur tuang 55 °C yaitu 7.59%, temperatur 65 °C adalah 8.03% dan temperatur 75 °C adalah 8.35%.

### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Riau atas bantuan dana DIPA Universitas Riau dalam penyelesaian penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Hafid, 2012. Penelitian Bahan Substitusi *Import* untuk Pembuatan Cetakan Keramik pada Teknologi Proses *Investment casting*. Balai Besar Logam Mesin (MIDC)
- [2] Sandhu, S., dan Sharma, A. 2012. Investigation Of Optimize Wax Pattern In The Investment Casting By Using The Different Form Of Waxes. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684 Volume 3*.
- [3] Setiyono, A., dan Soeharto, 2012. Studi Eksperimen pada *Investment Casting* dengan Komposisi *Ceramic Shell* yang Berbeda dalam Pembuatan Produk *Toroidal Piston*. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- [4] Surdia, T., dan Chijiwa, K. 2000. Teknik pengecoran logam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- [5] Cengel, Y.A. 2003. *Heat Transfer A Practical Approach*, Second Edition. McGraw-Hill Companies. Inc
- [6] C Shin-Etsu, 2012. Characteristic Properties of Sillicone Rubber Compounds.
- [7] Moerbani, J. 1999. *Plastic Moulding*, Jurnal Akademi Teknik Mesin Industri (ATMI), Surakarta.