

**PENGARUH VARIASI PENAMBAHAN UNSUR SILIKON (Si) PADA  
PENGECORAN LOGAM ALUMINIUM TERHADAP PENYUSUTAN,  
DENSITAS, KOMPOSISI KIMIA, STRUKTUR MIKRO, DAN KEKERASAN  
DENGAN METODE *INVESTMENT CASTING***

**Alta Wahyu Saputro, Patna Partono  
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah  
Surakarta**

**Abstrak**

Pengecoran merupakan suatu proses di mana logam padat dileburkan dalam tungku sampai logam menjadi cair. Kemudian dituangkan kedalam cetakan dan didiamkan hingga membeku. Metode penelitian yang digunakan adalah *investment casting* dengan penambahan unsur silikon (Si) 0%, 5%, dan 10% dari 400gram Aluminium. Pengecoran *investment casting* umumnya digunakan untuk membuat komponen yang berbentuk rumit yang memerlukan akurasi yang lebih ketat, dinding yang lebih tipis, dan permukaan akhir yang lebih baik, aluminium paduan tembaga memiliki keunggulan karena sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Pada proses ini dilakukan dengan menggunakan lilin yang dilapisi dengan *ceramik slurry*, kemudian menyisakan rongga untuk pengecoran logam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan unsur silikon (Si) terhadap penyusutan, densitas, komposisi kimia, struktur mikro, dan kekerasan. Pengujian komposisi kimia menggunakan alat uji *spectrometer* dengan standar pengujian ASTM E415, pengujian metalografi dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari produk dan pengujian kekerasan menggunakan alat *Micro Vickers* dengan standar ISO 6507, ASTM E384. Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan kandungan silikon sebesar 0,735%, 2,690%, dan 5,170%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin tinggi presentase silikon yang ada pada material menyebabkan kekerasan dan densitas meningkat dengan nilai kekerasan sebesar 73,1 VHN, 79,4 VHN, dan 84,4 VHN.

**Kata Kunci :** *Investment Casting*, Aluminium, Silikon, Penyusutan, Densitas, Kekerasan, Struktur Mikro, Komposisi Kimia

**Abstract**

Casting is a process in which solid metal is melted in a furnace until the metal becomes liquid. Then poured into the mold and allowed to freeze. The research method used is *investment casting* with the addition of silicon (Si) 0%, 5%, and 10% of 400 grams of Aluminum. *Investment casting* is generally used to make intricately shaped components that require tighter accuracy, thinner walls, and better surface finish, copper alloyed aluminum has advantages due to its high mechanical properties and corrosion resistance. This process is carried out using wax coated with ceramics slurry, then leaving a cavity for casting metal. The purpose of this study was to determine the effect of variations in the addition of the element silicon (Si) on shrinkage, density, chemical composition, microstructure, and hardness. Chemical composition testing uses a spectrometer test tool with ASTM E415 testing standards, metallographic testing is carried out to determine the microstructure of the product and hardness testing using *Micro Vickers* tools with ISO 6507 standards, ASTM E384. The chemical composition test results show a silicon content of 0.735%, 2.690%, and 5.170%. The test results show that the higher the

percentage of silicon present in the material causes the hardness and density to increase with hardness values of 73.1 VHN, 79.4 VHN, and 84.4 VHN.

**Keywords:** *Investment Casting*, Aluminum, Silicon, Shrinkage, *Density*, Hardness, Microstructure, Chemical Composition

## 1. PENDAHULUAN

Pengecoran merupakan suatu proses di mana logam padat dileburkan dalam tungku sampai logam menjadi cair. Kemudian dituangkan kedalam cetakan dan didiamkan hingga membeku. Pengecoran investment casting umumnya digunakan untuk membuat komponen yang berbentuk rumit yang memerlukan akurasi yang lebih ketat, dinding yang lebih tipis, dan permukaan akhir yang lebih baik dari pada yang dapat diperoleh dengan pengecoran pasir. Yang membedakan investment casting adalah cara pembuatan cetaknya. Pola komponen dibuat dengan lilin, yang kemudian dicelupkan ke dalam adonan gypsum hingga menjadi sebuah cetakan. Cetakan dikeringkan dan dipanaskan didalam tungku untuk melelehkan lilin dan cetakan cangkang gypsum untuk pengecoran (Hafid, 2012).

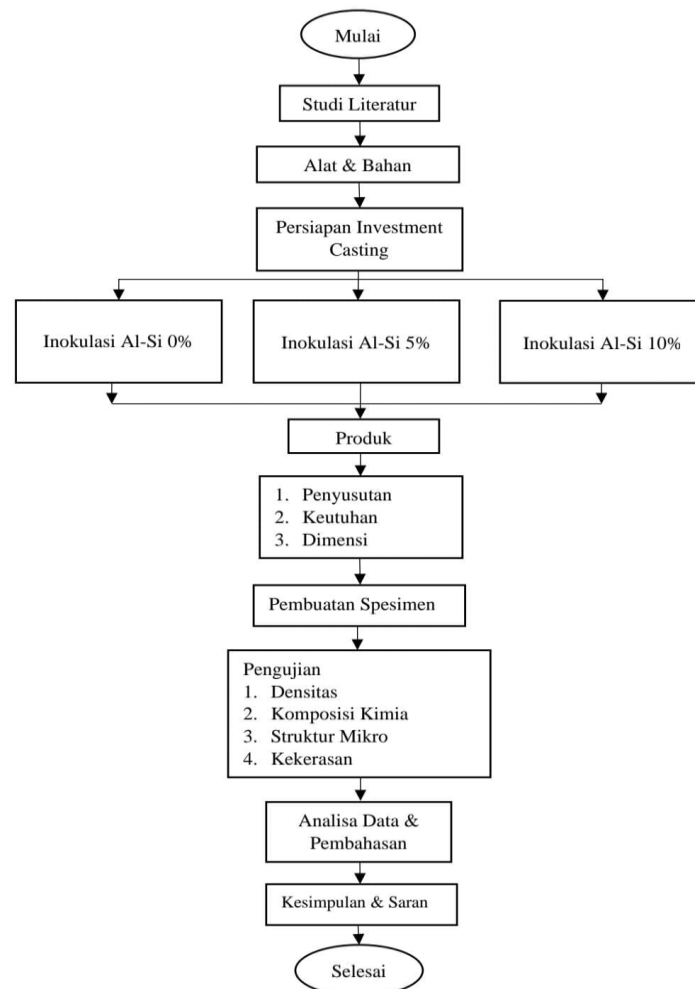
Aluminium adalah unsur non-ferrous yang merupakan logam ringan yang memiliki sifat ringan, ketahanan korosi yang cukup baik serta dapat menghantarkan listrik dan panas dengan baik. Aluminium juga memiliki sifat mudah dibentuk melalui proses pembentukan maupun pemesinan. Aluminium merupakan material yang penting dalam industri manufaktur karena memiliki sifat elastis dan cukup kuat jika berada di suhu rendah. Tetapi Aluminium juga memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah jika dibandingkan dengan logam lainya. Oleh sebab itu, diperlukan adanya penelitian untuk mendapatkan sifat-sifat Aluminium sesuai yang diinginkan. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat dari Aluminium adalah inokulasi dengan menggunakan bahan tambahan yaitu Al-Si (Surdia, et al., 1999).

Inokulasi Al-Si merupakan suatu proses penambahan material tambahan pada aluminium sebelum proses pengecoran. Bahan Inokulasi mengandung unsur-unsur seperti silikon (Si) dan aluminium (Al) yang dapat mempengaruhi pembentukan dari struktur mikro dan kekerasan dari material. Pada umumnya, inokulasi dengan Al-Si ini bertujuan untuk membentuk struktur mikro yang lebih kecil dan homogen, yang pada akhirnya dapat meningkatkan sifat mekanik dari aluminium.

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Variasi Penambahan Unsur Silikon (Si) Pada Pengecoran Logam Aluminium Terhadap Penyusutan, Density, Komposisi Kimia, Struktur Mikro dan Kekerasan Dengan Metode Investment Casting” Penulis akan menginvestigasi, bagaimana silikon (Si) mempengaruhi karakter dan sifat Aluminium. Data yang diperoleh akan diteliti untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan silikon (Si) pada Aluminium dengan metode investment casting.

## 2. METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Suarakarta untuk proses pengecoran material, pengujian penyusutan, densitas dan struktur mikro; Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret (UNS) untuk pengujian kekerasan dan Politeknik Manufaktur Ceper untuk pengujian komposisi kimia. Terdapat beberapa tahapan dalam melakukan pengujian ini, tahapan-tahapan tersebut berdasarkan pada Gambar 1. Diagram Alir Penelitian berikut ini:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## **2.1 Prosedur Penelitian**

### **2.1.1 Proses *Investment Casting* dan Penambahan Al-Si**

1. Menyiapkan lilin yang akan digunakan untuk membuat pola lilin.
2. Menyiapkan tungku kowi, gas yang telah dipasang regulator untuk mencairkan lilin.
3. Menuangkan lilin cair ke dalam cetakan pola lilin.
4. Mendinginkan lilin yang sudah terbentuk.
5. Melapisi lilin dengan gypsum serta bubuk alumina dan pasir silika.
6. Menjemur dibawah sinar matahari agar cetakan gysum kering merata.
7. Memasukan cetakan gysum kedalam furnace dengan suhu  $200^{\circ}$  selama 30 menit agar lilin dapat keluar dari cetakan gysum dan menjadi cetakan produk.
8. Memasukan aluminium dan silikon (Si) kedalam kowi serta melelehkan menggunakan tungku dengan suhu  $850^{\circ}$ .
9. Menuangkan cairan aluminium ke dalam cetakan produk.
10. Menghancurkan cetakan gpysum.
11. Produk jadi dan siap dilakukan penelitian.

### **2.1.2 Proses Pengujian Penyusutan**

1. Menyiapkan produk yang akan diuji
2. Mengukur volume benda asli.
3. Mengukur benda produk.

### **2.1.3 Proses Pengujian Densitas**

1. Menyiapkan produk yang akan diuji.
2. Mengukur massa produk cor.
3. Mengukur volume produk cor.
4. Mengukur nilai densitas

### **2.1.4 Proses Pengujian Komposisi Kimia**

1. Menyiapkan sampel hingga bersih dan permukaan kering.
2. Memastikan sampel tidak tersentuh setelah persiapan sampel.
3. Memastikan sampel tidak saling tumpang tindih.
4. Membuka katup utama tabung kemudian buka katup regulator.
5. Mengatur tekanan argon untuk 3 bar lalu pastikan tekanan tabung harus lebih dari 5 bar apabila kurang dari 5 bar ganti tabung tersebut.

6. cover stand lalu lepaskan penutup selang warna merah.
7. Menghidupkan *UPS/stabilizer*
8. Menghidupkan *main switch*.
9. Menyalakan computer tunggu sampai tampilan windows 10 muncul, lalu klik dua kali pada ikon *Elementas Suite ES Analysis*.
10. Melakukan purging yaitu membiarkan alat tersebut hidup dengan gas argon mengalir selama kurang lebih 1 jam.
11. Mengeklik ikon *activated method*, lalu pilih *base* dan *methods* yang akan digunakan.
12. Menempatkan sampel pada *table* tempat spark dan pastikan lubang *spark* sepenuhnya tertutup.
13. Memutar clamp sample lalu turunkan diatas sample yang akan dianalisa.
14. Memeriksa tampilan posisi *sample* di *monitor waiting for start* yang berarti terhubung dan siap untuk dilakukan analisa.
15. Mengeklik *workflow* menu lalu klik *maintenance*.
16. Menempatkan sample RE 12 yang telah digerinda pada table analisa, lalu klik start atau keyboard F2 atau tombol on didepan alat.
17. Mengecek indicator sampai menunjukkan warna hijau lalu klik *complete* jika berwarna bisa lakukan *measure again* atau dilakukan *purging* lagi, jika masih merah sample harus digerinda lagi.
18. Melakukan verifikasi data dengan tes *control sample spark* minimal 2 kali dengan menempatkan sample dengan posisi berubah-ubah.
19. Mengeklik ikon *report analysis* untuk mencetak ke printer langsung dan simpan hasil dengan format pdf.
20. Mengklik *complete analysis* atau *reject analysis* untuk menghapus.

#### **2.1.5 Proses Pengujian Struktur Mikro**

1. Menyiapkan spesimen yang akan diuji.
2. Masuk ke aplikasi Dimas Elite.
3. Menghidupkan mesin uji struktur mikro.
4. Meletakkan spesimen pada meja kerja.
5. Mengatur posisi meja kerja.
6. Mengatur converter sesuai pembesaran yang diinginkan.

7. Memfokuskan gambar struktur mikro menggunakan tuas pengatur fokus.
8. Apabila gambar sudah fokus, klik snap pada layar monitor untuk pengambilan gambar struktur mikro.
9. Menyimpan gambar sesuai file yang diinginkan.

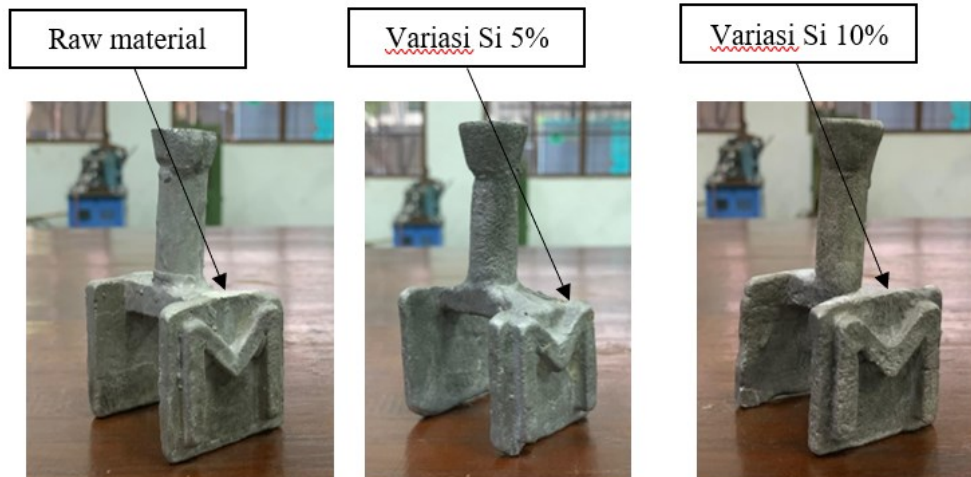
#### **2.1.6 Proses Pengujian Kekerasan**

1. Menyiapkan benda kerja yang sudah rata kedua permukaannya dan sudah dipoles dengan autosol.
2. Menghidupkan alat uji vickers dan monitor.
3. Menerangkan lampu pada pengaturan di kontrol panel.
4. Mengatur skala beban sesuai yang diinginkan.
5. Memasang benda kerja pada landasan.
6. Spesimen di naik turun dengan memutar handle hingga terlihat struktur mikronya.
7. Menekan tombol start dan tunggu hingga 30 detik.
8. Mengukur diameter 1 dan diameter 2 lalu catat nilai HV nya.

### **3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **3.1 Hasil dan Analisa Pengamatan Produk Cor**

Pengamatan ini dilakukan untuk menilai bentuk produk coran sesuai dengan cetakan desain pola yang telah dibuat. Pohon pola diberikan lapisan dari *ceramic slurry*, yang terbuat dari campuran *gypsum* dan serbuk alumina yang dicampur dengan air, serta proses pembekuan aluminium, sangat mempengaruhi hasil akhir produk. Jika cetakan dibuat dengan baik dan proses pembekuan bisa dilakukan secara maksimal, produk coran yang dihasilkan akan memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Sebaliknya, produk yang tidak sesuai spesifikasi akan dikembalikan ke tungku untuk dilebur ulang. Berikut Gambar 2. Hasil Produk Pengecoran.



Gambar 2. Hasil Produk Cor an

Hasil pengamatan dari proses pengecoran dengan metode *investment casting* menunjukkan bahwa metode ini sangat efektif untuk menghasilkan produk dengan kualitas tinggi dan toleransi dimensi yang ketat. Meskipun terdapat beberapa pori kecil juga cacat cor an kualitas keseluruhan tetap memuaskan dan sesuai dengan standar industri. Disarankan untuk terus memantau dan mengoptimalkan parameter proses agar kualitas coran tetap terjaga agar dapat digunakan secara maksimal.

### 3.2 Hasil dan Analisa Pengujian Penyusutan

Pengujian penyusutan untuk mengetahui tingkat penyusutan yang terjadi pada material coran serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Pengujian penyusutan dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran langsung pada spesimen coran. Spesimen yang telah dicetak kemudian didinginkan dan diukur dimensinya untuk mengetahui perubahan ukuran yang telah terjadi.

Berikut perhitungan pemuaian panjang terhadap penyusutan:

$$L_t = L_o (1 - \alpha \cdot \Delta T) \quad (1)$$

$$L_t = L_o - \alpha \cdot L_o \cdot \Delta T$$

$$L_t - L_o = -\alpha \cdot L_o \cdot \Delta T$$

$$\Delta L = L_o \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (2)$$

Dimana:

$L_t$  = Panjang Akhir (mm)

$L_o$  = Panjang Mula Mula (m)

$\Delta L$  = Perubahan Panjang (m)

$\alpha$  = Koefisien Muai Panjang ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  = Perubahan Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Berikut perhitungan pemuaian luas terhadap penyusutan:

$$A_t = A_o (1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (3)$$

$$A_t = A_o - \beta \cdot \Delta T$$

$$A_t - A_o = - \beta \cdot L_o \cdot \Delta T$$

$$\Delta A = A_o \cdot \beta \cdot \Delta T \quad (4)$$

Dimana:

$A_t$  = Luas Akhir ( $\text{m}^2$ )

$A_o$  = Luas Mula Mula ( $\text{m}^2$ )

$\Delta A$  = Perubahan luas ( $\text{m}^2$ )

$\beta$  = Koefisien Muai Luas ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  = Perubahan Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Berikut perhitungan pemuaian volume terhadap penyusutan

$$V_t = V_o (1 - \gamma \cdot \Delta T) \quad (5)$$

$$V_t = V_o - \gamma \cdot L_o \cdot \Delta T$$

$$V_t - V_o = - \gamma \cdot L_o \cdot \Delta T$$

$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad (6)$$

Dimana:

$V$  = Volume Akhir ( $\text{m}^3$ )

$V_o$  = Volume Mula Mula ( $\text{m}^3$ )

$\Delta V$  = Perubahan Volume ( $\text{m}^3$ )

$\gamma$  = Koefisien Muai Volume ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta T$  = Perubahan Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

Berikut rumus pengujian penyusutan

$$S = \frac{(V_{\text{Pola}} - V_{\text{Produk}})}{V_{\text{Pola}}} \times 100\% \quad (7)$$

Dimana:

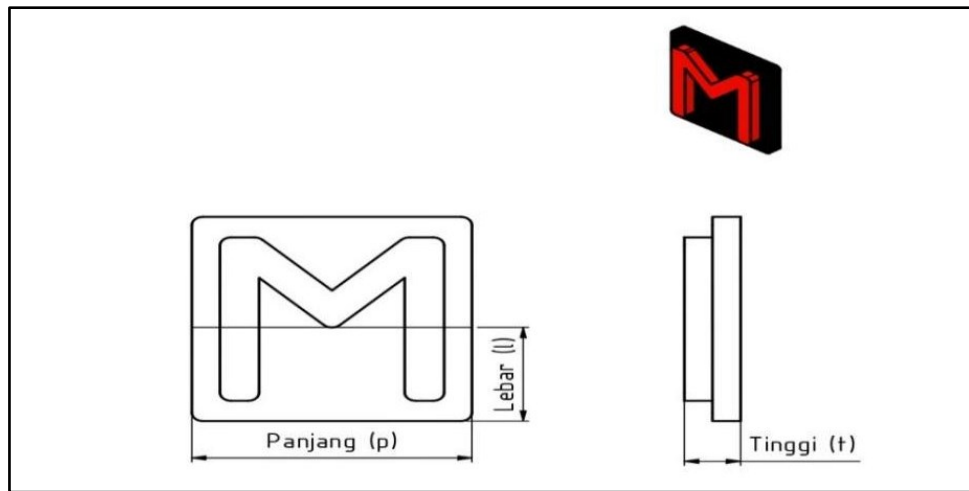
$S$  = Persentase Penyusutan (%)

$V_{\text{pola}}$  = Volume Cetakan Lilin ( $\text{cm}^3$ )

$V_{\text{Produk}}$  = Volume Benda Produk ( $\text{cm}^3$ )



Berikut Gambar 3. Sampel Pengujian Penyusutan

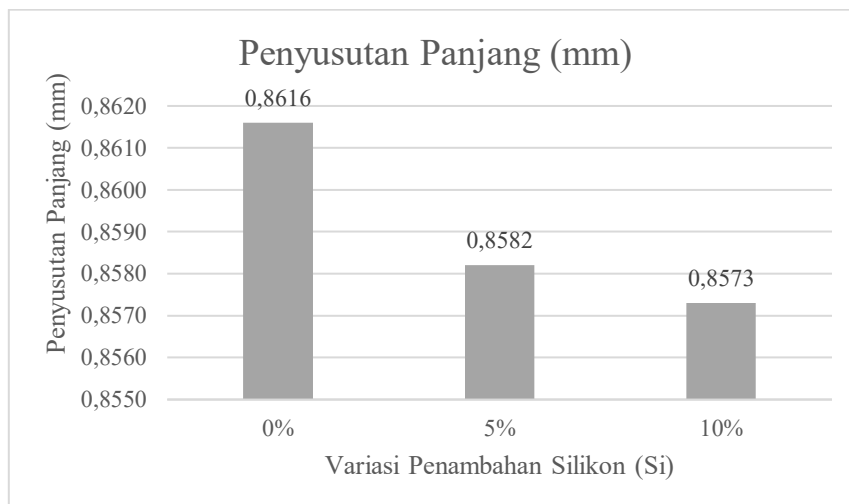


Gambar 3. Sampel Pengujian Penyusutan

Tabel 1. Hasil Pengujian Penyusutan

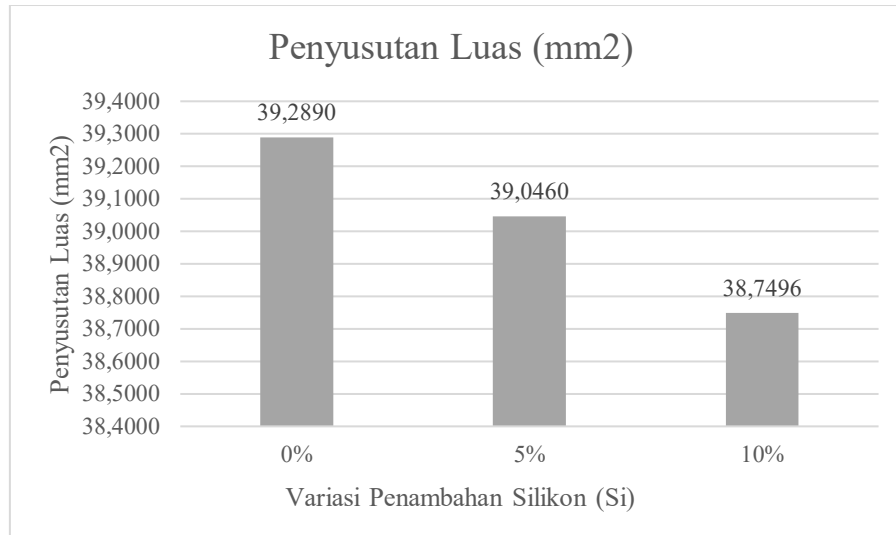
| Variasi<br>Penambahan<br>Silikon (Si) | Dimensi Pola |          |          | Dimensi Produk |          |          | Penyusutan      | Penyusutan                 | Penyusutan                   |
|---------------------------------------|--------------|----------|----------|----------------|----------|----------|-----------------|----------------------------|------------------------------|
|                                       | <i>p</i>     | <i>l</i> | <i>t</i> | <i>p</i>       | <i>l</i> | <i>t</i> | Panjang<br>(mm) | Luas<br>(mm <sup>2</sup> ) | Volume<br>(mm <sup>3</sup> ) |
| 0%                                    | 50,00        | 22,80    | 11,70    | 49,20          | 22,70    | 11,60    | 0,8616          | 39,2890                    | 689,5212                     |
| 5%                                    | 49,80        | 22,75    | 11,58    | 49,00          | 22,60    | 11,55    | 0,8582          | 39,0460                    | 678,2288                     |
| 10%                                   | 49,75        | 22,60    | 11,54    | 48,95          | 22,50    | 11,52    | 0,8573          | 38,7496                    | 670,7555                     |

Berikut Gambar 4. Histogram Pengujian Penyusutan Panjang



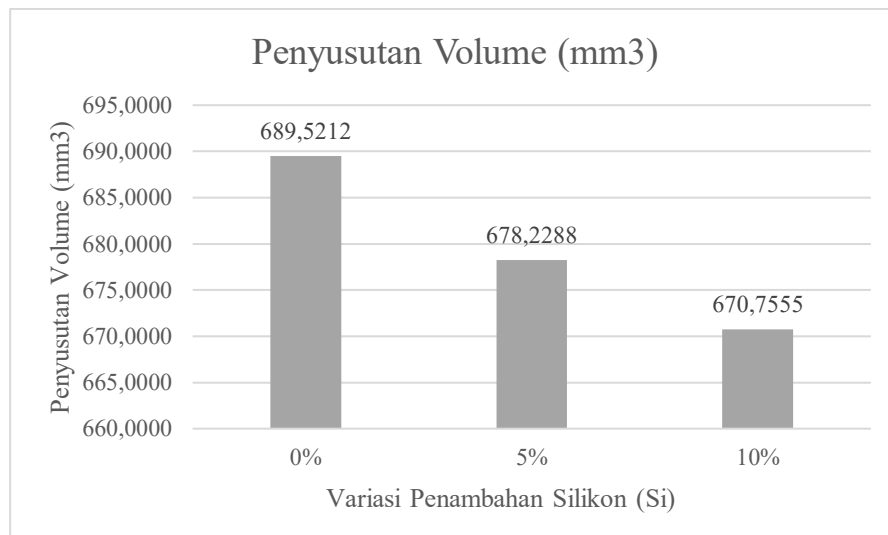
Gambar 4. Histogram Pengujian Penyusutan Panjang

Berikut Gambar 5. Histogram Pengujian Penyusutan Luas



Gambar 5. Histogram Pengujian Penyusutan Luas

Berikut Gambar 6. Histogram Pengujian Penyusutan Volume

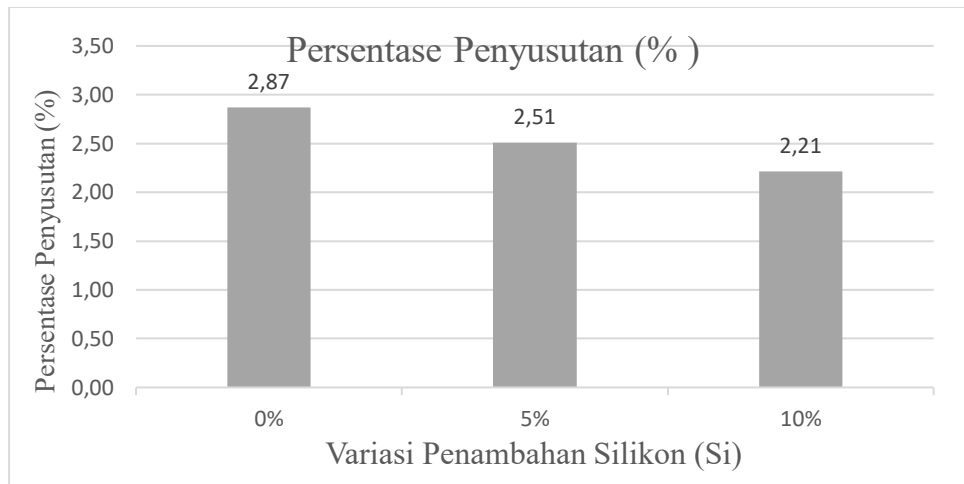


Gambar 6. Histogram Pengujian Penyusutan Volume

Tabel 2. Hasil Pengujian Presentase Penyusutan

| Variasi<br>Penambahan<br>Silikon (Si) | Dimensi Pola |          |          | Dimensi Produk |          |          | Penyusutan<br>Panjang<br>(mm) | Penyusutan<br>Luas (mm <sup>2</sup> ) | Penyusutan<br>Volume<br>(mm <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------------|--------------|----------|----------|----------------|----------|----------|-------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                       | <i>p</i>     | <i>l</i> | <i>t</i> | <i>p</i>       | <i>l</i> | <i>t</i> |                               |                                       |                                            |
| 0%                                    | 50,00        | 22,80    | 11,70    | 49,20          | 22,70    | 11,60    | 13338,00                      | 12955,344                             | 2,87                                       |
| 5%                                    | 49,80        | 22,75    | 11,58    | 49,00          | 22,60    | 11,55    | 13119,56                      | 12790,47                              | 2,51                                       |
| 10%                                   | 49,75        | 22,60    | 11,54    | 48,95          | 22,50    | 11,52    | 12975,00                      | 12687,84                              | 2,21                                       |

Berikut Gambar 7. Histogram Pengujian Penyusutan



Gambar 7. Histogram Pengujian Penyusutan

Setelah dilakukan perhitungan penyusutan panjang secara teori dengan menghitung panjang dari produk dihasilkan nilai pada raw material tanpa penambahan Si memiliki nilai paling tinggi diantara variasi yang lainnya sebesar 0,8616 mm, pada variasi penambahan Si 5% memiliki nilai sebesar 0,8582 mm, dan variasi penambahan Si 10% memiliki nilai sebesar 0,8573 mm. Pada perhitungan penyusutan luas pada produk setelah dicor dihasilkan nilai pada raw material tanpa penambahan Si memiliki nilai paling tinggi sebesar 39,2890 mm, pada variasi penambahan Si 5% memiliki nilai sebesar 39,0460 mm, dan variasi penambahan Si 10% memiliki nilai sebesar 38,7496 mm. Pada perhitungan penyusutan volume pada produk setelah dicor dihasilkan nilai pada raw material tanpa penambahan Si memiliki nilai paling tinggi sebesar 689,5212 mm, pada variasi penambahan Si 5% memiliki nilai sebesar 678,2288 mm, dan variasi penambahan Si 10% memiliki nilai sebesar 670,7555 mm. Dari hasil perhitungan penyusutan panjang, luas, dan volume diketahui bahwa nilai penyusutan paling rendah pada variasi penambahan silikon (Si) 10% pada 400 gram Aluminium, sehingga semakin banyak penambahan silikon (Si) pada Aluminium maka nilai penyusutan semakin kecil.

Pada Gambar 7. dapat diketahui bahwa penambahan Si 0% dan 5% mm memiliki nilai persentase penyusutan lebih besar yaitu 2,87 % dan 2.51 % dan penyusutan terendah pada penambahan Si sebesar 2,21%. Hal ini disebabkan pengaruh silikon (Si) dapat meningkatkan fluiditas Aluminium cair, sehingga memudahkan pengecoran bentuk kompleks dengan lebih sedikit porositas.

### 3.3 Hasil dan Analisa Pengujian Densitas

Pada Pengujian Densitas dilakukan dengan cara mengukur volume spesimen menggunakan gelas ukur dan menimbang berat spesimen menggunakan timbangan digital untuk mengetahui massa dari specimen. Lalu dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (8)$$

Dimana:

$$\rho = \text{Density} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$$

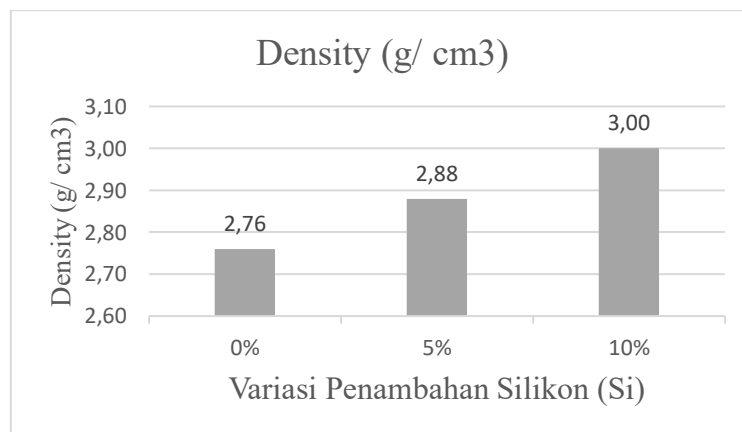
m = Massa (g)

V = Volume (m<sup>3</sup>)

Tabel 3. Hasil Pengujian Densitas

| Variasi Spesimen | Massa (gr) | Volume (cm <sup>3</sup> ) | Densitas (g/ cm <sup>3</sup> ) |
|------------------|------------|---------------------------|--------------------------------|
| Si: 0%           | 2,76       | 1                         | 2,76                           |
| Si: 5%           | 2,88       | 1                         | 2,88                           |
| Si: 10%          | 3          | 1                         | 3                              |

Berikut Gambar 8. Histogram Analisa Pengaruh Silikon Terhadap Densitas



Gambar 8. Histogram Analisa Pengaruh Silikon Terhadap Densitas

Pada hasil pengujian densitas terdapat hasil nilai pada spesimen 1 variasi penambahan serbuk silikon (Si) 0% sebesar 2,72 g/cm<sup>3</sup>, pada spesimen 2 variasi penambahan serbuk silikon (Si) 5% sebesar 2,85 g/cm<sup>3</sup>, variasi penambahan serbuk silikon (Si) 10% sebesar 2,92 g/cm<sup>3</sup>. Berdasarkan data diatas, penambahan serbuk silikon (Si) dapat meningkatkan densitas dari spesimen. Hasil diatas menunjukkan bahwa

dari spesimen 1, spesimen 2, dan spesimen 3 pada variasi 0% mendapatkan hasil 2,72 g/cm<sup>3</sup> sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi 0% memiliki porositas yang lebih tinggi sedangkan pada variasi 10% mendapatkan hasil 2,92 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.4 Hasil dan Analisa Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur-unsur paduan yang terdapat dalam spesimen uji. Pengujian komposisi kimia dilakukan menggunakan alat uji Spectrometer dengan standar ASTM E 415-08. Hasil uji komposisi kimia dengan variasi percampuran Aluminium dan Silikon (Si) 0%, 5%, dan 10%. diperlihatkan pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Komposisi Kimia

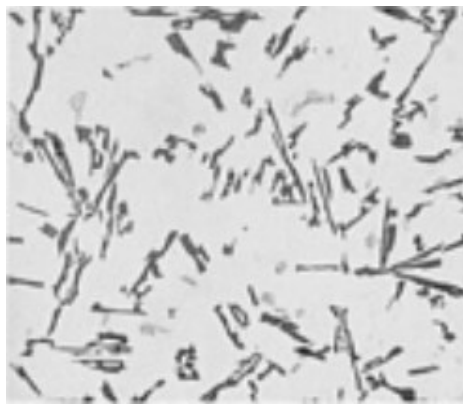
| No | Unsur     | Penambahan 0% Si    | Penambahan 5% Si    | Penambahan 10% Si   |
|----|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1  | <b>Si</b> | <b><u>0,735</u></b> | <b><u>2,690</u></b> | <b><u>5,170</u></b> |
| 2  | Fe        | 0,755               | 0,713               | 1,313               |
| 3  | Cu        | 0,287               | 0,305               | 0,275               |
| 4  | Mn        | 0,028               | 0,044               | 0,067               |
| 5  | Mg        | 0,777               | 0,614               | 0,602               |
| 6  | Cr        | 0,079               | 0,051               | 0,116               |
| 7  | Ni        | 0,0068              | 0,0086              | 0,016               |
| 8  | Zn        | 0,063               | 0,065               | 0,82                |
| 9  | Ti        | 0,039               | 0,015               | 0,021               |
| 10 | Pb        | <0,0050             | <0,0050             | <0,0050             |
| 11 | Sn        | <0,0050             | <0,0050             | <0,0050             |
| 12 | V         | 0,0047              | 0,0054              | 0,0073              |
| 13 | Sr        | 0,0024              | <0,0020             | <0,0020             |
| 14 | Zr        | <0,0020             | <0,0020             | <0,0020             |
| 15 | Cd        | <0,0050             | <0,0050             | <0,0050             |
| 16 | Co        | <0,0030             | <0,0030             | <0,0030             |
| 17 | B         | 0,0028              | 0,0033              | 0,0049              |
| 18 | Ag        | <0,0010             | <0,0010             | <0,0010             |
| 19 | Bi        | <0,0060             | <0,0060             | <0,0060             |
| 20 | Ca        | 0,0060              | 0,0038              | 0,0040              |
| 21 | Li        | <0,300              | <0,300              | <0,300              |
| 22 | Al        | 97,18               | 95,47               | 92,31               |

Hasil pengujian menunjukkan pada spesimen 1 dengan tidak ada penambahan unsur silikon (Si) pada 400gram Aluminium, pada spesimen 2 dengan penambahan unsur silikon (Si) 20gram pada 400gram Aluminium mengandung komposisi unsur silikon (Si) sebesar 2,690%, dan pada spesimen 3 dengan penambahan unsur silikon (Si) 40gram pada 400gram Aluminium mengandung komposisi unsur silikon (Si) sebesar 5,170%.

Berdasarkan tabel diatas variasi penambahan unsur silikon (Si) sebanyak 0%, 5%, dan 10% pada 400gram Aluminium mengalami peningkatan kandungan silikon (Si) sesuai dengan persentase penambahan variasi silikon (Si).

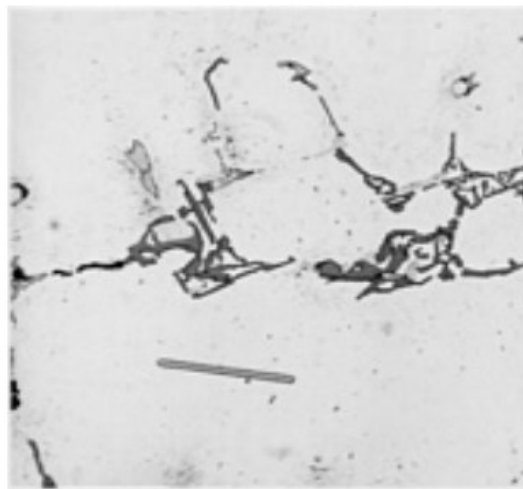
### 3.5 Hasil dan Analisa Pengujian Struktur Mikro

Pengujian Struktur Mikro dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin UMS, bertujuan untuk mengetahui permukaan material dengan variasi penambahan serbuk silikon (Si) 0%, 5%, dan 10% pada 400gram Aluminium. Menggunakan alat mikroskop optik dengan pembesaran 200x. Berdasarkan acuan dari *ASM Handbook Vol.9* pada gambar dibawah.



Gambar 9. Struktur Mikro Paduan Aluminium  
(ASM Handbook Vol.9,1992)

Struktur terdiri dari jaringan partikel silikon (abu-abu tua, bersudut) dalam eutektik aluminium-silikon interdendritik yang terpisah dan partikel fase  $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$  (abu-abu muda, seperti aksara)



Gambar 10. Struktur Mikro Paduan Aluminium  
(ASM Handbook Vol.9,1992)

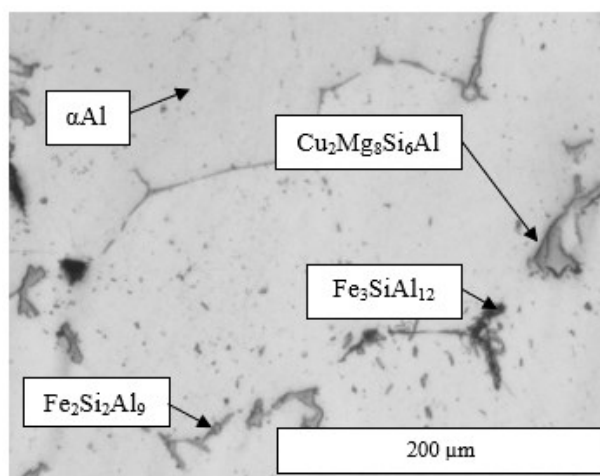
Struktur terdiri dari jaringan interdendritik silikon eutektik (abu-abu tua, tajam),  $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$  (skrip abu-abu muda),  $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9$  (bilah abu-abu sedang), dan  $\text{Mg}_2\text{Si}$  (hitam, di sebelah kiri)



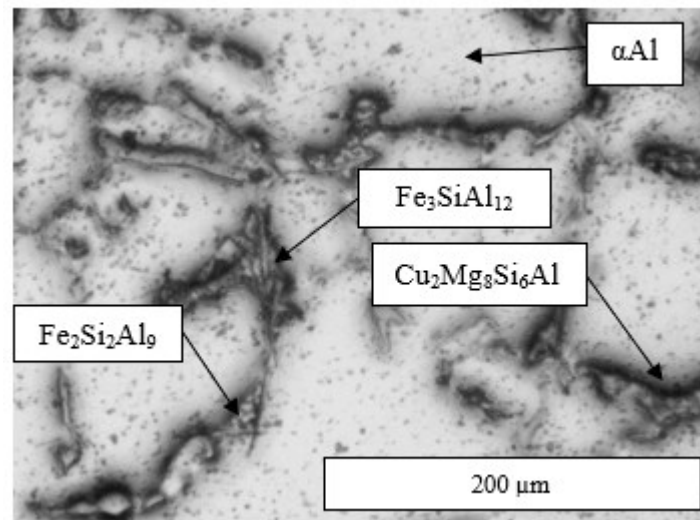
Gambar 11. Struktur Mikro Paduan Aluminium  
(ASM Handbook Vol.9,1992)

Struktur terdiri dari jaringan interdendritik silikon (abu-abu tua),  $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$  (tulisan abu-abu sedang), dan  $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9$  (jarum abu-abu muda).

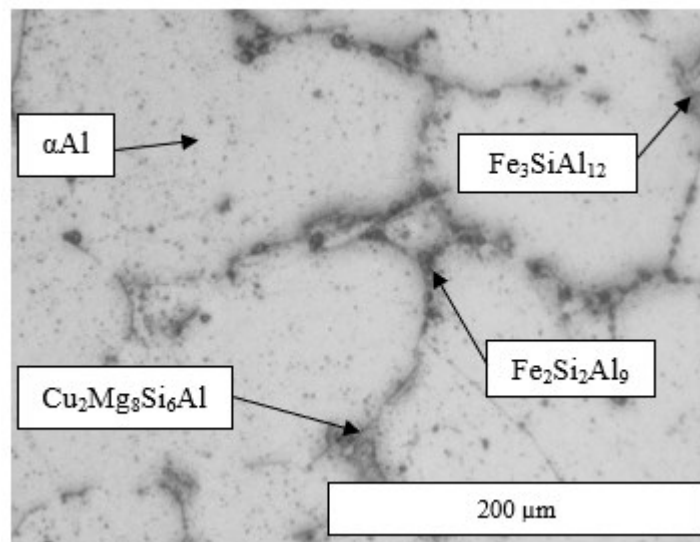
Berdasarkan hasil pengamatan pada pengujian struktur mikro pada variasi penambahan silikon (Si) 0%, 5%, dan 10% didapatkan hasil struktur mikro pada gambar sebagai berikut:



Gambar 12. Struktur Mikro Raw Material Alumunium



Gambar 13. Struktur Mikro Aluminium Penambahan Si 5%



Gambar 14. Struktur Mikro Aluminium Penambahan Si 10%

Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro menunjukkan bahwa ada perbedaan struktur yang terjadi pada setiap hasil cor masing – masing variasi ketinggian saluran turun. Menggunakan acuan dari *ASM Handbook* Vol. 9 dapat disimpulkan bahwa pada tiap variasi memiliki unsur yang saling mengikat seperti Si-Mg-Al yang terdiri jaringan berbentuk bintang – bintang dan berwarna abu-abu yang menyebar merata,  $\text{Fe}_3\text{SiAl}_{12}$  yang berbentuk tulisan dengan warna abu-abu sedang.  $\text{Fe}_2\text{Si}_2\text{Al}_9$  yang berbentuk jarum dengan warna abu – abu muda.  $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$  yang berbentuk seperti skrip/aksara yang berwarna abu-abu muda.



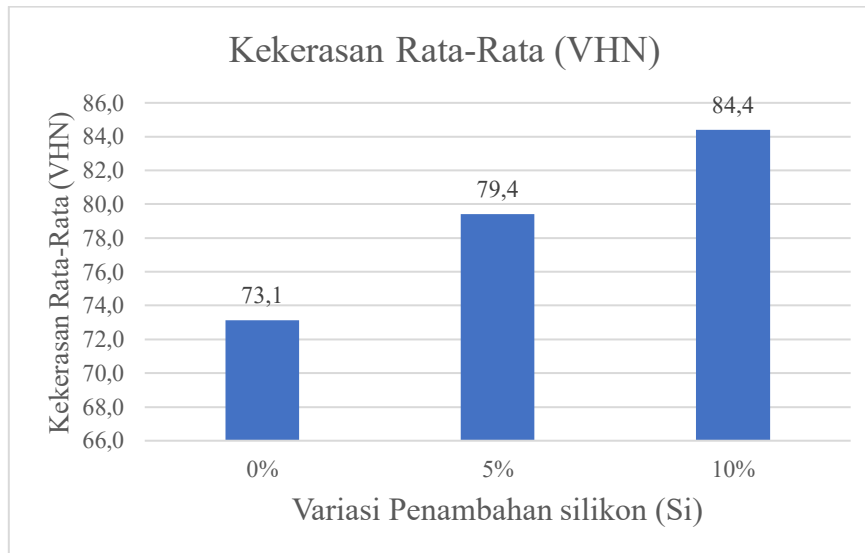
### 3.6 Hasil dan Analisa Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan ini menggunakan alat Micro Vickers (VHN) bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan pada setiap titik yang diuji pada spesimen hasil proses pengecoran. Variasi penambahan serbuk Silikon (Si) sebesar 0%, 5%, dan 10% terhadap 400gram Aluminium. Metode ini mengikuti standar ISO 6507, ASTM E384, dan melibatkan penerapan tekanan pada permukaan material yang diuji dengan beban 100 gf.

Tabel 5. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

| Variasi Spesimen | Titik Uji   | D1    | D2    | Kekerasan (VHN) | Kekerasan Rata-rata (VHN) |
|------------------|-------------|-------|-------|-----------------|---------------------------|
| Si: 0%           | Titik Uji 1 | 50.99 | 50.76 | 71.7            | 73.1                      |
|                  | Titik Uji 2 | 51.31 | 49.26 | 73.3            |                           |
|                  | Titik Uji 3 | 49.56 | 50.23 | 74.4            |                           |
| Si: 5%           | Titik Uji 1 | 47.62 | 48.22 | 80.7            | 79.4                      |
|                  | Titik Uji 2 | 48.54 | 48.26 | 79.1            |                           |
|                  | Titik Uji 3 | 48.71 | 48.50 | 78.4            |                           |
| Si: 10%          | Titik Uji 1 | 46.19 | 47.92 | 83.7            | 84.4                      |
|                  | Titik Uji 2 | 46.43 | 47.92 | 83.7            |                           |
|                  | Titik Uji 3 | 47.13 | 45.78 | 85.9            |                           |

Berikut Gambar 15. Histogram Analisa Pengaruh Silikon Terhadap Kekerasan



Gambar 15. Histogram Analisa Pengaruh Silikon Terhadap Kekerasan

Berdasarkan hasil Histogram diatas dapat dilihat jika kandungan komposisi silikon (Si) mempengaruhi kekerasan terhadap Aluminium. Aluminium dengan 0% berat silikon (Si) dari tiga titik pengujian kekerasan Micro Vickers memiliki kekerasan rata rata 73,1 VHN besi cor kelabu dengan 5% berat silikon (Si) dari tiga titik pengujian kekerasan

memiliki kekerasan rata rata 79,4 VHN, dan Aluminium dengan 10% Berat silikon (Si) dari tiga pengujian kekerasan memiliki kekerasan rata rata 84,4 VHN.

#### **4. PENUTUP**

##### **4.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian penelitian dan analisa yang telah dilakukan, bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian penyusutan bahwa penambahan silikon (Si) 10% memiliki nilai penyusutan yang paling kecil sebesar 2,21 %, sedangkan penambahan silikon (Si) 5% sebesar 2,51 % dan nilai penyusutan paling besar dengan terdapat pada raw material tanpa penambahan silikon (Si) sebesar 2,87 %. Hal ini, disebabkan pengaruh silikon (Si) dapat meningkatkan aliran logam cair, sehingga memudahkan pengecoran bentuk kompleks dengan lebih sedikit porositas.
2. Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa porositas rendah terletak pada variasi 10% silikon (Si) pada 400gram Aluminium dengan hasil 2,92 g/cm<sup>3</sup>. Untuk campuran silikon (Si) 0% dan 5% pada 400gram Aluminium memiliki hasil 2,72 g/cm<sup>3</sup> dan 2,85 g/cm<sup>3</sup> maka dapat disimpulkan Silikon (Si) mempengaruhi nilai densitas Aluminium. Hal ini, disebabkan nilai massa silikon (Si) lebih besar dari Aluminium.
3. Hasil pengujian komposisi kimia pada raw material 400gram Aluminium mengandung silikon (Si) sebesar 0,735%, sedangkan hasil penambahan silikon (Si) 20gram dan 40gram kedalam 400gram Aluminium menunjukkan kadar kandungan silikon (Si) sebesar 2,690% dan 5,170%.
4. Hasil pengujian struktur mikro terdapat unsur paduan Al-Mg-Si pada masing – masing variasi penambahan silikon (Si) yang berperan dalam meningkatkan kekuatan material Aluminium. pada tiap variasi memiliki unsur yang saling mengikat seperti Si-Mg-Al yang terdiri jaringan berbentuk bintik – bintik dan berwarna abu-abu yang menyebar merata, Fe<sub>3</sub>SiAl<sub>12</sub> yang berbentuk tulisan dengan warna abu-abu sedang. Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>Al<sub>19</sub> yang berbentuk jarum dengan warna abu – abu muda. Cu<sub>2</sub>Mg<sub>8</sub>Si<sub>6</sub>Al<sub>5</sub> yang berbentuk seperti skrip/aksara yang berwarna abu-abu muda.
5. Hasil pengujian kekerasan dari variasi penambahan silikon (Si) 0%, 5%, dan 10% dalam 400gram Aluminium mengalami kenaikan tingkat kekerasannya. Dilakukan

pengujian menggunakan metode Micro Vickers pada 3 titik pengujian dengan beban penekanan sebesar 100 gf. Hasil rata rata pada Aluminium dengan variasi 0% berat silikon (Si) sebesar 73,1 VHN, rata rata kekerasan pada Aluminium dengan variasi 5% berat silikon (Si) sebesar 79,4 VHN dan rata rata kekerasan pada Aluminium dengan variasi 10% berat silikon (Si) sebesar 84,4 VHN.

#### 4.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian ini, antara lain:

1. Sebelum melakukan proses pengecoran dengan metode investment casting sebaiknya mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan serta memastikan desain produk yang akan dibuat agar mempermudah dan mempercepat pada saat proses pengecoran.
2. Sebelum melakukan proses pengecoran dengan metode investment casting sebaiknya mempelajari mengenai suhu pengecoran, penuangan cairan logam dan pendinginan setelah dituangkan logam cair agar mengurangi resiko kegagalan produk.
3. Diperlukan penelitian lebih lanjut pada saat proses *ceramik slurry* pada pola lilin agar mendapatkan hasil yang maksimal dan efisiensi waktu.
4. Untuk dikembangkan lebih lanjut dapat dilakukan proses perlakuan panas pada penelitian selanjutnya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, W., Rudianto, H., & Haryadi, D. (2018). Pengaruh Komposisi Cu Terhadap Sifat Mekanik Dan Stuktur Mikro Dari Pengecoran Al-Si. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 23(2), 146–154.
- Apriliyanto, P., & Mahendra, A. (2014). Analisis Variabel Proses Produk Pengecoran Logam Menggunakan Cetakan Sand Casting. *Jurnal Teknik Mesin*, 02(02), 70–78.
- ASTM INTERNASIONAL. (2005). *Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*. In *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 01).
- Avner Sidney., H. (1974). *Introduction to Physical Metallurgy*. In *McGraw Hill Book Company, Tokyo*.
- Bashoruddin, M., & Nasution, A. H. (2022). Pengaruh Kuat Arus Pada Kekuatan Tarik

- Aluminium 6061 Dengan Pengelasan Tungsten Inert Gas ( TIG ). Jurnal Piston, 7(1), 20–28.
- Bayuseno, A. P., & Chamdani, N. A. (2011). Adc 12 Sebagai Material Sepatu Rem Menggunakan Pengecoran High Pressure Die Casting Dengan Variasi Temperatur Penuangan. Jurnal Teknik Mesin, 13(1), 17–23. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/rotasi%0AADC>
- Bhirawa, W. T. (2013). Proses Pengecoran Logam Dengan Menggunakan Sand Casting. Jurnal Teknik Industri, 4(1), 31–41. <https://doi.org/10.35968/jtin.v4i1.826>
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2003). *Characteristics, Application, and Processing of Polymers. In Materials Science and Engineering - An Introduction.*
- Deivandra, Bhakti, G., Dwi Haryadi, G., & Umardani, Y. (2013). Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanis Hasil Las Titik Dan Brazing Untuk Industri Rumahan. Jurnal Teknik Mesin S-1, 1(2), 1–8.
- Dendi Santika, A. M., Siregar., C. A., Siregar, Arya., R., N. (2022). Uji Eksperimental Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Produk Foot Step Berbahan Limbah Alumunium Hasil Pengecoran Cetakan Pasir Silika Berpengikat Bentonit. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi, 5(1), 56–64.
- Fajar Rizki Saputra, Budi Harjanto, N. S. (2020). Pengaruh Variasi Penambahan Kadar Air Dengan Bahan Pengikat Bentonit Terhadap Karakteristik Pasir Cetak Dan Cacat Porositas Hasil Pengecoran Logam Paduan Al-Si. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin, 02(4), 291–300.
- Fikri Fahrizal Manurung & Mahadi. (2022). Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Awal Cetakan Horizontal Centrifugal Casting Pada Pengecoran Al-Si Terhadap Sifat Mekanik Dan Cacat Coran. Jurnal Dinamis, 10(2), 46–52.
- Fox, R.W., Pritchard, P.J. and McDonald, A.T. (2011) *Introduction to Fluid Mechanics.* Wiley.
- Hafid. (2012). Penelitian Bahan Substitusi Import Untuk Pembuatan Cetakan Keramik Pada Teknologi Proses Investment Casting. Balai Besar Logam Mesin (MIDC) – KEMENPERIN
- Halliday, D., Resnick, R. and Walker, J. (2014) *Fundamentals of Physics.* Wiley.
- Hardi Sudjana. (2007). Teknik Pengecoran. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah

- Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional.
- Ikhsan, M., Sudarsono, S. and Endriatno, N. (2021) ‘Karakteristik Tegangan dan Regangan Tarik Pada Komposit CFRP Yang Berlubang’, *Enthalpy : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 6(3), p. 100. Available at: <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v6i3.20975>.
- John Campbell. (2011). *Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design*. In Elsevier Ltd. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/c2014-0-01548-1>
- Jonoadji, N., Kurniawan, A., & Siahaan, I. H. (2023). Pemanfaatan Mesin Vacuum Casting Semi Otomatis untuk Kebutuhan Pembuatan Produk Perhiasan. *Jurnal Teknik Mesin*, 20(1), 24–30. <https://doi.org/10.9744/jtm.20.1.24-30>
- Joska, L., Fojt, J., Hradilova, M., Hnilica, F., & Cvrcek, L. (1992). ASM Vol 9: Metallography and Microstructures. In *ASM Internasional* (Vol. 9). ASM Internasional. <https://doi.org/10.1088/1748-6041/5/5/054108>
- Khairunnisa, S., Amelza, R., Azizah Lubis, N., & Darma Putri, M. (2023). Kajian Spectrometer Menggunakan Sensor Cahaya TCS3200. *GRAVITASI Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains*, 06 (01), 13–19.
- Kusuma, N. G., & Sidharta, I. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Dimensi Cil dalam ( Internal Chill ) terhadap Cacat Penyusutan ( Shrinkage ) pada Pengecoran Aluminium 6061. *Jurnal Teknik Pomits*, 3(2), 271–275.
- Magdalena, F. K., & Arif, I., S. (2017). Studi Uji Kekerasan Rockwell Superficial VS Micro Vickers. *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, 2(2), 85–89.
- Majanasastra, R. B. S. (2016). Analisis Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Hasil Proses Hydroforming Pada Material Tembaga ( Cu ) C84800 dan Aluminium Al 6063. *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, 4(2), 15–30.
- Malik, I., Effendi, S., & Yunus, M. (2021). Identifikasi Penyusutan Hasil Coran Aluminium Paduan. *Jurnal Teknika*.
- Malisy, S. (2018). Pengaruh Kecepatan Putaran Roll terhadap Nilai Kekuatan Uji Tarik dari Penggabungan 2 Pelat A1100 dan A6061 pada Proses Hot Roll Bonding. Universitas Brawijaya.
- Masy’ari., Prasetyo, D, A., Karyadi, E. (2021). Pembuatan Prototipe Aluminium Cylinder Head Engine Dengan Metode Rapid Prototyping Dan Investment Casting.

- Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro. TURBO Vol. 10 No. 1. 2021
- Muttakin, A, M., & Sunyoto, H. (2020). Pengaruh Temperatur Tuang Dan Penambahan Silikon Terhadap Kekerasan, Cacat Coran Dan Struktur Mikro Hasil Pengecoran. Jurnal Kompetensi Teknik Vol. 12, No.1
- Pranata, R., & Widayat, W. (2020). Pengaruh Kadar Silikon Terhadap Karakteristik Material Aluminium Sekrap Hasil Remelting. Jurnal Inovasi Mesin.
- Respati, S. M. B. (2008). Macam-Macam Mikroskop Dan Cara Penggunaan. Momentum, 4(2), 42–44.
- Reza Azizul Nasa A, H. (2013). Pengukuran Dimensi Komponen Artificial Hip Joint Hasil Investment Casting Menggunakan Material Aisi 316L. Media Mesin: Majalah Teknik Mesin, 22(1), 22–30.
- Ridwan Abdullah Sani. (2019). Karakteristik Material. Bumi Aksara.
- Rochman, R., Hariyati, P., & Purbo, C. (2024). Karakterisasi Sifat Mekanik Dan Pembentukan Fasa Presipitat Pada Aluminium Alloy 2024 – T 81 AKIBAT PERLAKUAN PENUAAN. MEKANIKA, 8(2), 165–171.
- Rundman, K. B. (2000). Metal Casting (*Reference Book for MY4130*).
- Rusydi Zain, M., & Kurniawan Nasution, F. A. (2022). Pengaruh Penambahan Unsur Silikon (Si) Pada Aluminium (Al) Terhadap Kekuatan Impak Material Campuran Al-Si. Buletin Utama Teknik, 17(3), 253–256.
- Slamet, S., Setiawan, A, I., & Winarso, R. (2023). Karakterisasi Sifat Mekanis Paduan Aluminium Dari Daur Ulang Velg Untuk Produk Truck Skateboard Melalui Metode Investment Casting. Jurnal Crankshaft. Vol. 6 No. 2 (2023)
- Sugeng, U. M., & Fato, A. (2020). Analisa Mekanis Baja Pada Bahan Spcc-Hd Dengan Proses Deep Drawing Dalam Pembuatan Drum. Presisi, 22(2), 75–81.
- Sujatno, A., Salam, R., Bandriyana, B., & Dimiyati, A. (2017). Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium. Jurnal Forum Nuklir, 9(1), 44. <https://doi.org/10.17146/jfn.2015.9.1.3563>
- Supriyono. (2017). Material Teknik. Muhammadiyah University Press.
- Surdia, Tata, Shinroku, S. (1999). Pengetahuan Bahan Teknik. In Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Susilowati, S.E. and Permana, S. (2020) ‘Pengaruh Bentuk Sprue Well Pada Gating System Terhadap Aliran Fluida Logam Dan Nilai Kekerasan Pada Pengecoran

- Aluminium Daur Ulang Menggunakan Sand Casting', *Jurnal Kajian Teknik Mesin*, 5(2), pp. 104–115. Available at: <https://doi.org/10.52447/jktm.v5i2.4186>.
- Tata Surdia & Chijiiwa Kenji. (1996). Teknik Pengecoran Logam. Pradnya Paramita.
- Tjitro, S. (2001). Pengaruh Bentuk Riser Terhadap Cacat Penyusutan Produk Cor Aluminium Cetakan Pasir. Dosen Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Mesin, 3(2), 41–46. <http://puslit.petra.ac.id/journals/mechanical/41>
- Triadi, M. T., & Ambo, S. N. (2021). Aplikasi Perhitungan Komposisi Material Pengecoran Logam (Casting) Berbasis Android. *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi Dan Komputer*, 12(1), 24–30. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/index>
- Wafir Dini Fauzan. (2019). Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Age Hardening Pada Aluminium Paduan 6061 Terhadap Sifat Kekerasan, Struktur Mikro Dan Laju Korosi Dalam Larutan Hcl 1m (Issue September). Institut Teknologi Surabaya.
- Young, H. and D.Freedman, R.A. (2012) *University Physics with Modern Physics*. Pearson.