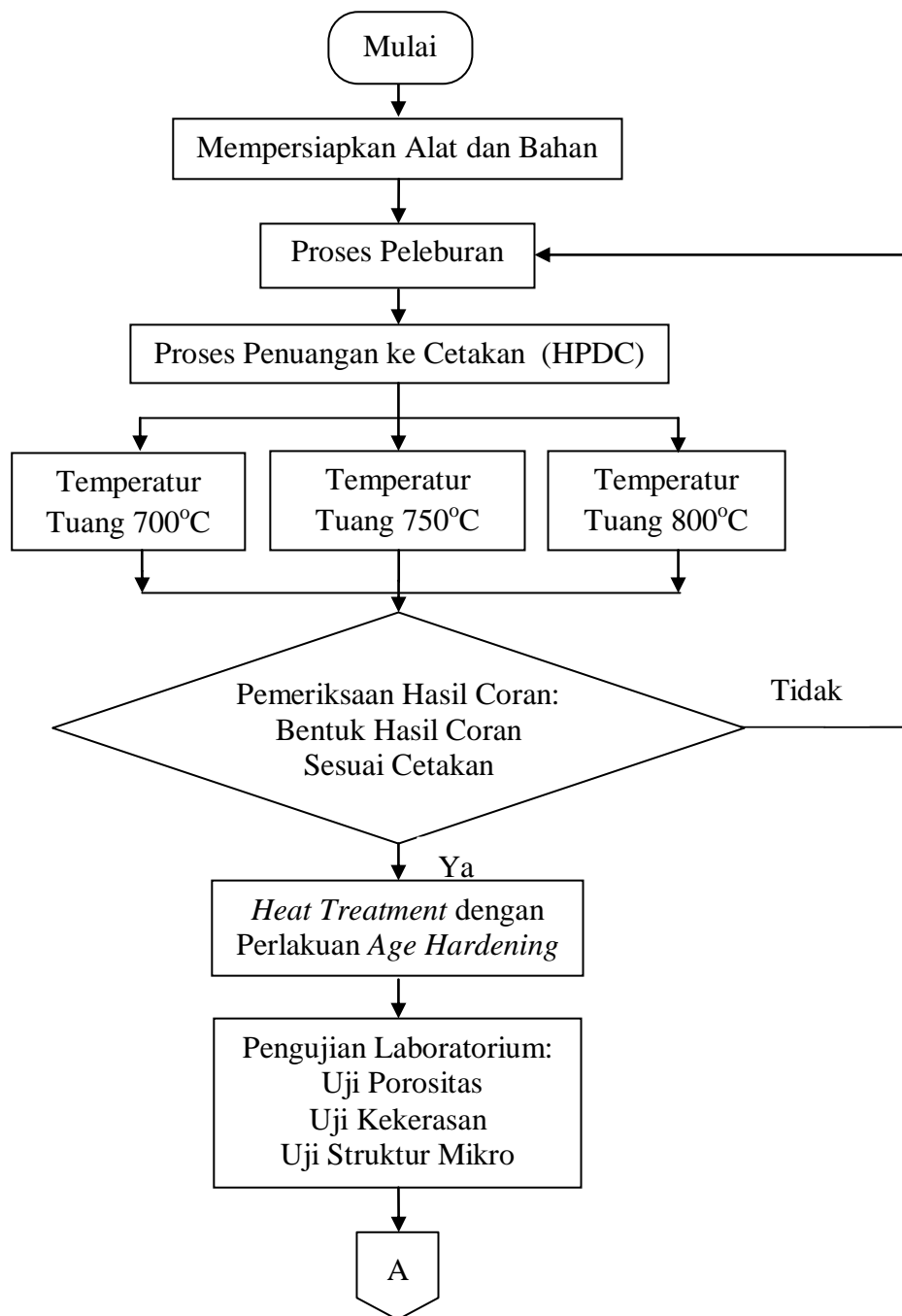
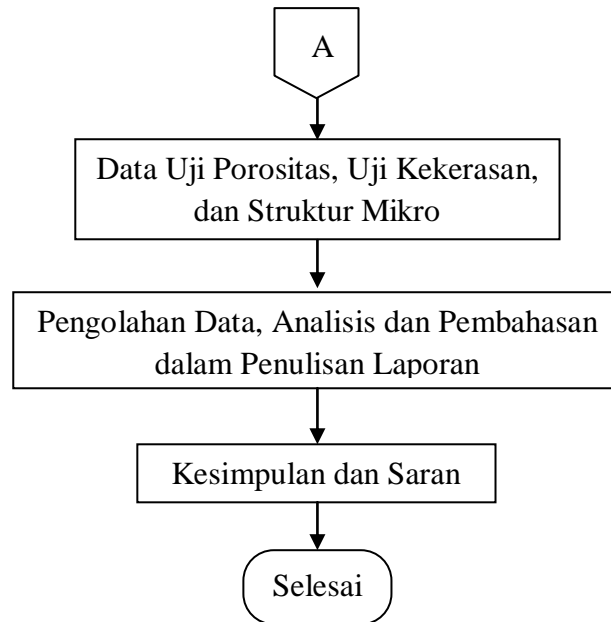


**BAB III**  
**METODE PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**

Pada penelitian ini langkah-langkah pengujian mengacu pada diagram alir pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.

Keterangan diagram alir pada Gambar 3.1:

1. Mempersiapkan Alat dan Bahan

Persiapan yang diperlukan antara lain, memotong ADC12 batangan supaya dapat masuk ke dalam kowi, menimbang potongan ADC12 sesuai dengan massa yang dibutuhkan, menyambung tungku, tabung gas LPG dan selang krusibel, menyiapkan alat HPDC, kowi, pengaduk, *thermocouple* dan display.

2. Proses Peleburan

Proses pengecoran dilakukan di kampus Teknik Mesin UNDIP menggunakan tungku krusibel dengan bahan bakar LPG.

3. Proses Penuangan ke Cetakan (HPDC)

Proses penuangan dilakukan pada 3 variasi temperatur yang berbeda yaitu  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $750^{\circ}\text{C}$ , dan  $800^{\circ}\text{C}$ .

4. Pemeriksaan Hasil Coran

Spesimen hasil pengecoran diteliti apakah layak untuk diuji atau tidak. Kelayakan hasil coran ini dilihat dari kesempurnaan produk hasil coran sesuai dengan bentuk cetakan.

### 5. *Heat Treatment* dengan Perlakuan *Age Hardening*

Spesimen diberi perlakuan panas dengan *solution treatment* dengan temperatur 490°C selama 15 menit kemudian dilakukan *quenching* menggunakan air. Setelah itu spesimen diberi perlakuan *artificial aging* dengan temperatur 150°C selama 4 jam [14].

### 6. Pengujian Laboratorium

Pengujian Laboratorium dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dari spesimen uji. Pengujian Laboratorium ini meliputi:

- a. Uji porositas dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Hal ini bertujuan untuk mengetahui massa spesimen uji pada keadaan kering dan keadaan basah di dalam air sehingga dapat dihitung massa jenis spesimen uji dan juga besarnya porositas yang terjadi pada spesimen uji tersebut.
- b. Uji kekerasan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dari masing-masing spesimen uji dengan menggunakan *Rockwell Hardness Tester* (Skala HRB).
- c. Uji struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Hal ini bertujuan untuk melihat struktur mikro pada spesimen uji.

### 7. Pengolahan Data, Analisis, dan Pembahasan

Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi, dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk grafik, dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.

### 8. Kesimpulan dan Saran

Menarik kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisis dan memberi saran untuk lanjutan dari penelitian ini.

## 3.2 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

### 1. Gergaji Mesin

Gergaji mesin digunakan untuk memotong ADC12 batangan menjadi bentuk yang lebih kecil sehingga ADC12 dapat dimasukkan ke dalam kowi. Bentuk gergaji mesin dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Gergaji Mesin.

Gergaji mesin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.

## 2. Tungku Krusibel dan *Burner*

Tungku yang digunakan untuk melebur aluminium serbuk besi adalah dapur krusibel dengan tipe dapur tetap dengan skala Laboratorium dengan menggunakan bahan bakar LPG. Kontruksi dapur pada dasarnya terdiri atas krusibel sebagai tempat peleburan logam yang terletak di tengah-tengah dapur, sedangkan untuk dapur terbuat dari bahan tahan api yang sekaligus sebagai penyekat panas (isolator panas). Tungku ini mempunyai kapasitas maksimal 2kg dan *burner* dipasang pada tungku sebagai penghubung tungku ke tabung gas. Bentuk tungku krusibel dapat dilihat pada Gambar 3.3 (a) sedangkan bentuk *burner* dapat dilihat pada Gambar 3.3 (b).



(a)



(b)

Gambar 3.3. (a) Tungku Krusibel dan (b) *Burner*.

Tungku krusibel seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 (a) dan *burner* pada Gambar 3.3 (b) adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.

### 3. Kowi

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur, mencampur, dan menuang coran. Kowi terbuat dari baja dan diberi tangkai untuk memudahkan proses penuangan ke dalam cetakan. Kowi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.4. Kowi.

### 4. *Blower*

*Blower* digunakan untuk menyuplai udara masuk ke dalam *burner* sehingga nyala api dari LPG menjadi lebih panas. *Blower* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.5. *Blower*.

## 5. Mesin HPDC

Mesin HPDC digunakan untuk mengepres ADC12 masuk ke dalam cetakan. Alat pres ini menggunakan sistem dongkrak hidrolis dengan kemampuan penekanan hingga 9 MPa. Mesin HPDC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.6 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.6. Mesin HPDC.

## 6. *Permanent Mold*/Cetakan Coran

Cetakan coran yang digunakan adalah jenis *permanent mold* yang terbuat dari baja ST 37. *Permanent mold* dibuat berdasarkan jenis pola cetakan logam yaitu bentuk sepatu rem seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. Cetakan Sepatu Rem.

*Permanent mold* pada Gambar 3.7 dibuat melalui proses CNC di Laboratorium Proses Produksi Politeknik Negeri Semarang. *Permanent mold* terdiri dari dua buah plat besi tuang yang kemudian akan disatukan untuk setiap jenis pola cetakan logamnya.

#### 7. *Furnace Chamber*

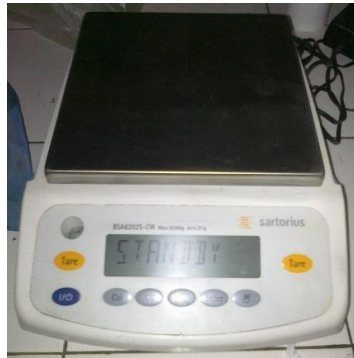
*Furnace chamber* digunakan untuk *heat treatment* pada spesimen hasil HPDC. *Furnace chamber* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 yaitu dengan merek Hofmann Type K dengan temperatur pemanasan maksimum 900<sup>0</sup>C. *Furnace Chamber* yang digunakan adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.8. *Furnace Chamber*.

#### 8. Timbangan Digital

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital. Timbangan ini digunakan untuk mengukur massa dari ADC12 sebelum digunakan dalam proses pengecoran dan mengukur massa kering dan massa basah spesimen uji. Timbangan digital seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.9. Timbangan Digital.

### 9. Gergaji Tangan

Digunakan untuk memotong spesimen hasil HPDC dalam beberapa bagian sesuai dengan yang dibutuhkan agar dapat dilakukan pengujian. Gergaji tangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.10 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.10. Gergaji Tangan.

### 10. *Thermocouple* dan *Display*

*Thermocouple* digunakan untuk mengukur temperatur lebur dan temperatur tuang dari ADC12. *Thermocouple* yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.11 (a) adalah tipe K dengan temperatur pengukuran maksimal 1200°C. *Display* digunakan untuk menampilkan nilai pengukuran temperatur. *Thermocouple* pada Gambar 3.11 (a) dan *display* pada Gambar 3.11 (b) adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.





(a)



(b)

Gambar 3.11. (a) *Thermocouple* dan (b) *Display*.

### 11. Mesin Amplas dan Poles

Mesin amplas dan poles digunakan untuk proses pembuatan spesimen untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro. Proses pengamplasan menggunakan kertas amplas dengan kekasaran 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1500, dan 2000. Spesimen yang telah rata pada kedua permukaannya kemudian dilakukan pemolesan menggunakan kain beludru yang diberi autosol agar pada proses etsa permukaan spesimen sudah rata dan mengkilap. Mesin amplas pada Gambar 3.12 (a) dan mesin poles pada Gambar 3.12 (b) adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



(a)



(b)

Gambar 3.12. (a) Mesin Amplas dan (b) Mesin Poles.

### 12. *Rockwell Hardness Tester*

*Rockwell Hardness Tester* digunakan untuk melakukan uji kekerasan menggunakan metode *Rockwell* pada spesimen uji. *Rockwell Hardness Tester* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.13. *Rockwell Hardness Tester*.

### 13. Mikroskop Optik dan Kamera

Mikroskop optik digunakan untuk mengamati struktur mikro dari spesimen. Kamera digunakan untuk mengambil foto setelah mendapatkan gambar yang diinginkan menggunakan kamera. Mikroskop set yang digunakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 dengan merek Olympus BX41M adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



(a)



(b)

Gambar 3.14. (a) Mikroskop Optik dan (b) Kamera.

#### 14. Vernier Caliper

*Vernier caliper* digunakan sebagai alat bantu untuk mengetahui kerataan spesimen uji kekerasan dan struktur mikro. *Vernier caliper* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.15 yaitu merek Mitutoyo dengan ketelitian 0,05 mm. *Vernier caliper* pada Gambar 3.15 adalah milik Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP.



Gambar 3.15. *Vernier Caliper*.

### 3.3 Persiapan Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah material ADC12 batangan. Pada Gambar 3.16 terlihat bahwa ADC12 batangan telah dipotong agar mempercepat proses peleburan dan mempermudah untuk menimbang sesuai dengan massa yang diinginkan. ADC12 batangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.16 dibeli dari PT. Pinjaya Logam, Mojokerto, Jawa Timur.



Gambar 3.16. ADC12 Batangan.

### 3.4 Proses Pembuatan Spesimen

Langkah-langkah dilakukan selama proses pengecoran yaitu:

#### 1. Proses Pemotongan

Sebelum dilakukan pengecoran aluminium dipotong kurang lebih 5 cm, kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pengecoran kurang lebih sebesar 300 gram. Proses pemotongan ADC12 batangan ditunjukkan pada Gambar 3.17, sedangkan proses penimbangan ADC12 yang telah dipotong ditunjukkan pada Gambar 3.18.



Gambar 3.17. Proses Pemotongan ADC12 Batangan.



Gambar 3.18. Penimbangan Potongan ADC12.

#### 2. Proses Peleburan

Pada proses peleburan ADC12 hal yang dilakukan yaitu mempersiapkan aluminium yang sudah ditimbang sesuai massa yang dibutuhkan kemudian

dimasukkan ke dalam kowi. *Burner* pada tungku dinyalakan dengan cara membuka katup pada selang *burner* yang sudah terhubung dengan tabung gas LPG kemudian menggunakan korek api untuk menyalakan *burner*. Kemudian menyalakan blower dan mengarahkan selang blower agar hembusan udara dari blower masuk ke dalam *burner*. Setelah api pada *burner* menyala dengan baik, kowi diletakkan di atas *burner* dan kowi ditutup dengan potongan keramik lantai untuk meminimalisir kalor keluar dari *burner* sehingga waktu peleburan menjadi lebih singkat. Proses peleburan ADC12 ditunjukkan pada Gambar 3.19.



Gambar 3.19. Proses Peleburan Menggunakan Tungku Krusibel.

### 3. Proses Penuangan ke Cetakan

Sebelum penuangan, memeriksa temperatur aluminium yang telah meleleh dengan menggunakan *thermocouple* yang dicelupkan ke dalam kowi. Temperatur penuangan dibuat 3 (tiga) variasi yaitu  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $750^{\circ}\text{C}$ , dan  $800^{\circ}\text{C}$ . Proses penuangan dilakukan dengan cepat dan berhati-hati untuk menghindari terjadi pembekuan setelah kowi diangkat dari tungku. Kemudian mendorong tuas penekan pada mesin HPDC ke depan untuk memberikan penekanan pada aluminium cair sehingga aluminium cair masuk ke seluruh bagian cetakan. Kendala pada saat proses penuangan yaitu aluminium cepat sekali membeku. Pengukuran temperatur aluminium cair ditunjukkan pada Gambar 3.20 sedangkan proses penuangan aluminium cair ke dalam mesin HPDC ditunjukkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.20. Pengukuran Temperatur Penuangan.



Gambar 3.21. Proses Penuangan ke Cetakan HPDC.

#### 4. Proses Pendinginan

Setelah dituang di dalam cetakan tunggu sampai 5 menit baru setelah itu cetakan dibuka, biarkan hasil coran dingin secara sendirinya. Kemudian mengeluarkan hasil pengecoran dari cetakan. Hasil pengecoran ADC12 berbentuk sepatu rem ditunjukkan pada gambar 3.22.



Gambar 3.22. Spesimen Hasil Pengecoran.

## 5. Proses Pemotongan Spesimen

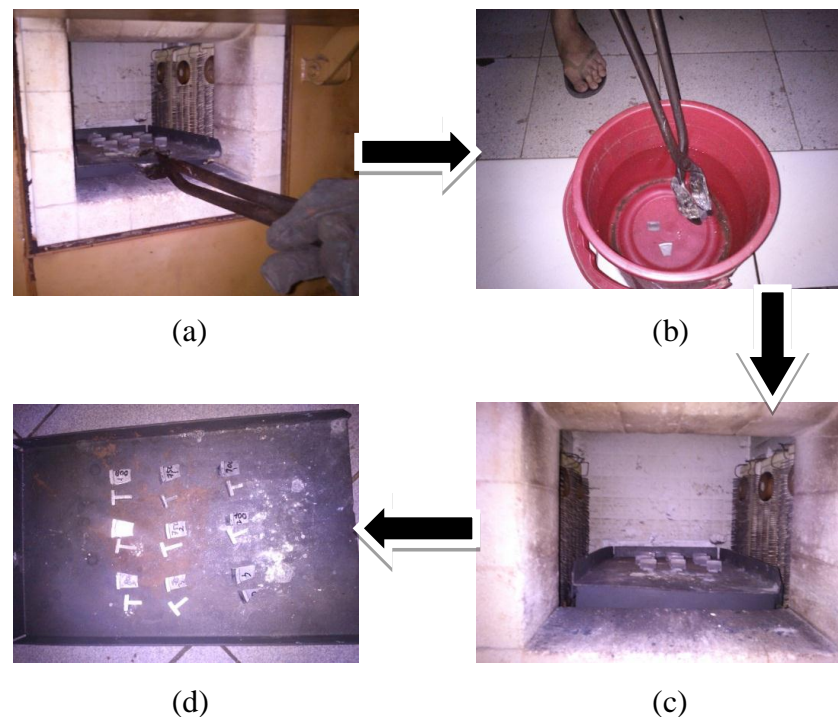
Pemotongan spesimen dilakukan menggunakan gergaji tangan. Spesimen dipotong menjadi bagian-bagian yang lebih kecil agar spesimen dapat dikarakterisasikan. Proses pemotongan spesimen ditunjukkan pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23. Proses Pemotongan Spesimen.

## 6. Proses *Heat Treatment* pada Spesimen

Spesimen hasil HPDC diberi perlakuan panas (*heat treatment*) dengan metode *age hardening*. Pertama, spesimen dipanaskan menggunakan *Furnace Chamber* dengan temperatur  $490^{\circ}\text{C}$  dengan waktu penahanan selama 15 menit seperti ditunjukkan pada Gambar 3.24 (a). Kemudian spesimen dikeluarkan dari *Furnace Chamber* lalu dilakukan *quenching* menggunakan air seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24 (b). Spesimen dipanaskan kembali menggunakan *Furnace Chamber* dengan temperatur  $150^{\circ}\text{C}$  dengan suhu penahanan selama 4 jam seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24 (c) kemudian spesimen didinginkan pada suhu kamar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.24 (d).



Gambar 3.24. (a) Proses *Solution Heat Treatment*, (b) Proses *Quenching*, (c) Proses *Age Hardening*, dan (d) Proses Pendinginan.

### 3.5 Pengujian Spesimen

#### 3.5.1 Pengujian Porositas

Untuk mengetahui nilai porositas, maka pertama kali dilakukan pengujian densitas. Alat uji densitas yang digunakan adalah timbangan digital. Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengujian densitas adalah sebagai berikut:

1. Memotong aluminium pada sisi bagian atas, tengah, dan bawah.
2. Mengkalibrasi timbangan digital supaya tepat dititik nol.
3. Memasukkan sampel kering meliputi bagian atas, tengah, dan bawah.
4. Mengulangi penimbangan sampai tiga kali setiap bagian untuk diambil massa rata-rata.
5. Mencatat angka yang ditunjukkan timbangan digital.
6. Memasukkan sampel kering ke dalam air meliputi bagian atas, tengah, bawah .
7. Mengulangi penimbangan di dalam air sampai tiga kali setiap bagian untuk diambil massa rata-rata.



8. Mencatat angka yang ditunjukkan timbangan digital.

Setelah mendapatkan data massa sampel kering dan massa sampel basah, sehingga dapat menghitung densitas spesimen uji. Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa ( $m$ ) dengan volume benda ( $V$ ). Pengukuran densitas yang materialnya berbentuk padatan atau *bulk* digunakan metode Archimedes. Untuk menghitung nilai densitas aktual digunakan Persamaan (3.1) sedangkan untuk menghitung nilai densitas teoritis digunakan Persamaan (3.2) [15].

**1. Densitas aktual:**

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_{H_2O} \dots \dots \dots (3.1)$$

**2. Densitas teoritis (total):**

$$\rho_{th} = \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{Si} \cdot V_{Si} \dots \dots \dots (3.2)$$

dimana:

- $\rho_m$  = densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)
- $m_s$  = massa sampel kering (gram)
- $m_g$  = massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
- $\rho_{H_2O}$  = massa jenis air = 1 gram/cm<sup>3</sup>
- $\rho_{th}$  = densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{Al}$  = densitas Al (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{Fe}$  = densitas Fe (gram/cm<sup>3</sup>)
- $V_{Al}$  = fraksi volume Al
- $V_{Si}$  = fraksi volume Si

Setelah didapatkan densitas spesimen uji, maka dapat dihitung porositas dari spesimen uji. Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah massa ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari massa total zat padat itu sendiri dan dapat dinyatakan dengan Persamaan (3.3) [15].

$$\begin{aligned}
 \text{Porosity} &= \frac{m_u}{m_{th}} \dots\dots\dots(3.3) \\
 &= \frac{m_{th} - m_m}{m_{th}} \\
 &= 1 - \frac{m_m}{m_{th}} \\
 &= 1 - \frac{\rho_m \cdot V_m}{\rho_{th} V_{th}}
 \end{aligned}$$

dimana:

- $m_u$  = massa rongga pori (gram)
- $m_m$  = massa aktual (gram)
- $m_{th}$  = massa teoritis (gram)
- $V_m$  = volume aktual (cm<sup>3</sup>)
- $V_{th}$  = volume teoritis (cm<sup>3</sup>)

Karena tidak terjadi perubahan volume, maka  $V_m = V_{th}$

Sehingga persamaannya menjadi:

$$\text{Porosity} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}} \dots\dots\dots(3.4)$$

dimana:

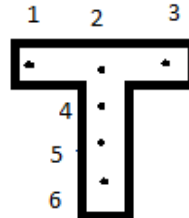
- $\rho_m$  = densitas aktual (gram/cm<sup>3</sup>)
- $\rho_{th}$  = densitas teoritis (total) (gram/cm<sup>3</sup>)

Dengan diketahuinya densitas aktual dan densitas teoritis menggunakan Persamaan (3.2), maka porositas spesimen uji dapat ditentukan dengan Persamaan (3.4).

### 3.5.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP. Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Rockwell* dengan skala B (HRB). Indentor yang digunakan yaitu *steel ball 1/16"*.

Pengujian dilakukan dengan menguji kekerasan spesimen uji pada 6 titik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.25. Pengujian kekerasan pada spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 3.26.



Gambar 3.25. Titik Pengujian Kekerasan.



Gambar 3.26. Pengujian Kekerasan.

### 3.5.3 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin UNDIP dengan menggunakan alat Mikroskop OLYMPUS BX41M. Pengujian struktur mikro dilakukan setelah spesimen uji mengalami proses *polishing* dengan menggunakan kain beludru dan autosol hingga permukaan spesimen uji mengkilap tanpa ada goresan. Proses *polishing* ditunjukkan pada Gambar 3.27. Setelah dilakukan *polishing*, kemudian dilakukan *etching* untuk memberi pewarnaan pada permukaan spesimen uji sehingga batas butir dari spesimen uji akan terlihat lebih jelas. *Etching* dilakukan dengan menggunakan larutan Keller's yaitu 2,5 ml  $\text{HNO}_3$  + 1 ml HF + 1,5 ml HCl + 95 ml aquades. Spesimen uji dicelupkan ke dalam larutan Keller's selama 1 menit, kemudian dibilas menggunakan air hangat dan dibiarkan selama 12 jam. Proses *etching*

ditunjukkan pada Gambar 3.28. Setelah proses *etching* dilakukan pemotretan menggunakan kamera yang terhubung dengan mikroskop optik dengan perbesaran 1000X. Proses pemotretan ditunjukkan pada Gambar 3.29.



Gambar 3.27. Proses *Polishing*.



Gambar 3.28. Pemberian Etsa pada Spesimen Uji.



Gambar 3.29. Pengujian Struktur Mikro.