

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 LATAR BELAKANG**

Akhir-akhir ini, material banyak sekali digunakan untuk perindustrian. Material ini yang dikenal sempurna, dari segi kekuatan, kekakuan, dan kepadatan. Bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan yang merupakan bahan gabungan secara makro. Oleh karena itu, bahan komposit dapat didefinisikan sebagai suatu sistem material yang tersusun dari campuran atau kombinasi dua atau lebih unsur-unsur utamanya yang secara makro berbeda di dalam bentuk dan atau komposisi material pada dasarnya tidak dapat dipisahkan.

Aluminium matrik dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Aluminium yang dikenal sebagai logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik yang baik digunakan sebagai matriks sedangkan serbuk besi berfungsi sebagai penguat. Penggunaan serbuk besi sebagai penguat untuk menghasilkan aluminium komposit dengan sifat mekanik yang baik dengan biaya murah yang dapat bersaing dengan komposit sejenis lainnya. Perubahan fasa untuk menambah kekuatan dari sifat mekanis dari logam yang digunakan dalam komposit tersebut salah satu caranya yaitu dengan melakukan perlakuan panas. Perlakuan panas pada logam dapat mengubah struktur mikro dari logam sehingga akan berpengaruh terhadap sifat mekanisnya. Dengan perlakuan panas dapat membentuk sifat logam sesuai dengan penggunaan dari logam tersebut.

Penelitian yang akan dilakukan merupakan pembahasan tentang perlakuan panas pada hasil pengecoran aluminium yang ditambahkan serbuk besi dengan fraksi massa 5%, 10% dan 15%. Pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian kekerasan dan pengujian mikrofografi.

### **1.2 ALASAN PEMILIHAN JUDUL**

Metode komposit Al-Fe sangat dekat hubungannya dengan kualitas suatu produk, mengingat banyak sekali komposit aluminium-serbuk besi yang diaplikasikan pada

industri otomotif. Saat ini aluminium merupakan bahan *non-ferrous* yang paling banyak digunakan di dunia, karena memiliki beberapa keunggulan. Namun aluminium memiliki kekuatan dan kekerasan yang rendah sehingga membatasi penggunaannya dalam dunia *engineering*. Oleh karena itu penulis ingin meneliti metode pengerasan komposit aluminium sehingga didapat nilai kekerasan yang baik. Selain itu temperatur penuangan pada proses pengecoran juga perlu dipertimbangkan karena erat hubungannya dengan kualitas dari produk.

### 1.3 TUJUAN

Tujuan yang ingin diperoleh penulis dengan mengajukan judul Tugas Akhir seperti tersebut di atas adalah sebagai berikut:

- a. Mengetahui perbandingan nilai kekerasan dan struktur mikro pada material komposit Al-Fe berdasarkan variasi waktu penahanan setelah melalui proses perlakuan panas.
- b. Mengetahui pengaruh proses perlakuan panas berdasarkan fraksi massa serbuk Fe 5%, 10%, dan 15% terhadap uji kekerasan dan struktur mikro.

### 1.4 BATASAN MASALAH

Untuk mampu menghasilkan kapabilitas penelitian yang baik, maka lingkup pembahasan penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian dilakukan dengan menggunakan material aluminium.
- b. Unsur yang ditambahkan adalah Fe yang divariasikan adalah 5%, 10% dan 15%.
- c. Perlakuan panas yang dilakukan adalah *age hardening* dengan *artificial aging* pada temperatur 180 °C dengan variasi waktu 1 jam, 2 jam dan 4 jam.
- d. Variasi temperatur dan waktu penahanan pada proses *aging* menggunakan *Furnace Hoffman Chamber Type K*.
- e. Temperatur penuangan pada setiap proses pengecoran dijaga konstan pada 700 °C.
- f. Pengujian yang dilakukan pada spesimen adalah pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi pada setiap variasi waktu penahanan pada proses *aging*.

## 1.5 METODE PENELITIAN

Adapun langkah-langkah yang penulis lakukan dalam membuat Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

### a. Studi Pustaka

Adapun studi pustaka ini diperoleh dari beberapa literatur, baik berupa buku-buku perpustakaan, jurnal-jurnal yang diperoleh dari internet, serta laporan Tugas Akhir yang berkaitan dengan tugas sarjana ini.

### b. Persiapan spesimen uji

Pada tahapan ini kegiatan yang dilakukan adalah

- a) Persiapan bahan dan alat.
- b) Persiapan serbuk besi sebagai bahan penguat pada saat proses *stir casting* dengan prosentase 5%, 10% dan 15%.
- c) Proses pengecoran dengan suhu penuangan 700 °C.

### c. Pengujian

Pada proses pengujian kegiatan yang dilakukan pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi.

### d. Pengolahan dan analisa data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengolahan data dengan metode statistik yang sesuai. Data yang telah diolah direpresentasikan dalam bentuk tabel dan grafik.

### e. Bimbingan

Bertujuan untuk mendapatkan tambahan pengetahuan dan masukan dari dosen pembimbing serta koreksi terhadap kesalahan-kesalahan yang terjadi dalam pembuatan tugas akhir dan penyusunan laporan.

## f. SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

## BAB II DASAR TEORI

Meliputi teori-teori dasar yang berkaitan dengan penelitian yang mengemukakan penjelasan mengenai aluminium, sifat-sifat aluminium, paduan aluminium, besi, sifat-sifat besi, komposit, aluminium matrix komposit, metode pembuatan aluminium *matrix* komposit yaitu *metode solid state processing* dan *liquid state processing*, *stir casting*, aplikasi aluminium matrix komposit dan pengujian material.

## BAB III PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN

Berisi tentang diagram alir penelitian, prosedur pelaksanaan penelitian, peralatan yang digunakan, spesimen uji dan bahan pereaksi, prosedur peleburan, proses *stir casting*, proses penuangan, dan proses pendinginan material, pengujian kekerasan.

## BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang data-data yang diperoleh selama penelitian serta pembahasan mengenai hasil penelitian dan pengaruh komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi pada temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  dengan prosentase serbuk besi sebanyak 5%, 10% dan 15%, dengan diberi perlakuan panas dengan variasi waktu penahanan (*holding time*) analisa data kekerasan spesimen uji dan analisa data struktur mikro spesimen uji.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan dalam penelitian yang telah dilakukan serta saran yang mungkin dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Aluminium**

Aluminium pertama kali ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809. Aluminium merupakan salah satu unsur yang pertama kali direduksi sebagai logam pada tahun tahun 1825 oleh Hans Christian Orsted. Pada tahun 1886 secara industri telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah urutan yang kedua setelah besi dan baja, yang tertinggi di antara logam *non ferro* [18].

Aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dsb, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian rendah dsb. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dsb [18].

##### **2.1.1 Sifat-sifat Aluminium**

Aluminium adalah logam yang ringan dan cukup penting dalam kehidupan manusia. Aluminium merupakan unsur kimia golongan IIIA dalam sistim periodik unsur, dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol (sma) [7]. Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Keuletan yang tinggi dari aluminium menyebabkan logam tersebut mudah dibentuk atau mempunyai sifat mampu bentuk yang baik [7]. Aluminium memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Aluminium memiliki karakteristik sebagai logam ringan dengan densitas  $2,7 \text{ g/cm}^3$  [18].

Selain sifat-sifat tersebut aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik dan bila dipadu dengan logam lain bisa mendapatkan sifat-sifat yang tidak bisa ditemui pada logam lain. Adapun sifat-sifat dari aluminium antara lain : ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium [21].

Lapisan oksida ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan oksida ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disolder (titik leburnya lebih dari  $2000^{\circ}\text{C}$ ) [21].

Sifat mekanik dan fisik aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan 2.2 berikut :

**Tabel 2.1** Sifat-sifat fisik Aluminium [18]

Sifat-Sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
	99,996	99,0
Massa jenis ( $20^{\circ}\text{C}$ )	2,6968	2,71
Titik cair	660,2	653-657
Panas jenis ( $\text{cal/g} \cdot ^{\circ}\text{C}$ ) ( $100^{\circ}\text{C}$ )	0,2226	0,229
Tahanan listrik (%)	64,94	59
Hantaran listrik koefisien temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	0,00429	0,0115
Koefisien pemuaian ( $20 - 100^{\circ}\text{C}$ )	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	$\text{fcc}, a=4,013 \text{ kX}$	$\text{fcc}, a=4,04 \text{ kX}$

**Tabel 2.2** Sifat-sifat mekanik Aluminium [18]

Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)			
	99,996		99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik ( $\text{kg/mm}^2$ )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekutan mulur (0,2%) ( $\text{kg/mm}^2$ )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell	17	27	23	44

Tabel 2.1 menunjukkan sifat-sifat fisik Al dan Tabel 2.2 menunjukkan sifat-sifat mekaniknya. Ketahanan korosi berubah menurut kemurnian, pada umumnya untuk kemurnian 99,0% atau di atasnya dapat dipergunakan di udara tahan dalam bertahun-tahun. Hantaran listrik Al, kira-kira 65% dari hantaran listrik tembaga, tetapi masa jenisnya kira-kira sepertiganya sehingga memungkinkan untuk memperluas penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel tenaga dan dalam berbagai bentuk umpamanya sebagai lembaran tipis (*foil*). Dalam hal ini dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk reflektor yang memerlukan reflektifitas yang tinggi juga untuk kondensor elektronik dipergunakan aluminium dengan kemurnian 99,99% [18].

### 2.1.2 Paduan Aluminium

Umumnya semua jenis logam memiliki kegunaan yang sempit pada kondisi murni, karena memiliki sifat yang tunggal. Oleh karena itu dengan menambahkan elemen lain pada suatu material akan merubah sifat fisik maupun mekanik dari suatu material sehingga material tersebut lebih dapat diaplikasikan diberbagai keadaan, begitu juga dengan aluminium. Misalnya penambahan unsur tembaga pada aluminium akan meningkatkan kekerasan, namun mengurangi ketahanan terhadap korosi. Terdapat 15 unsur yang dapat dipadukan dengan aluminium, dan semuanya dapat merubah sifat fisik maupun mekanik dari aluminium [12,20].

Larutan dalam logam utama memiliki batas kelarutan maksimum. Apabila larutan melebihi daya larut maksimum maka akan membentuk fasa lain. Paduan yang masih dalam batas kelarutan disebut dengan paduan logam fasa tunggal. Sedangkan paduan yang melebihi batas kelarutan disebut dengan paduan fasa ganda. Peningkatan kekuatan dan kekerasan logam paduan disebabkan oleh adanya atom-atom yang larut yang menghambat pergerakan dislokasi dalam kristal sewaktu deformasi plastik [20].

Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu paduan tempa (*wrought alloy*) dan paduan cor (*cast alloy*). Untuk lebih jelasnya pengelompokan paduan aluminium ditunjukkan pada tabel 2.3 berikut [20]:

**Tabel 2.3** Kelompok Paduan Aluminium [12]

<i>Designation</i>	<i>Wrought</i>	<i>Cast</i>
<i>Aluminium, 99.00% minimum and greater</i>	1xxx	1xx.x
<i>Aluminium alloy grouped by major alloying elements:</i>		
<i>Copper</i>	2xxx	2xx.x
<i>Manganesee</i>	3xxx	-
<i>Silicon, with added copper and/or magnesium</i>	-	3xx.x
<i>Silicon</i>	4xxx	4xx.x
<i>Magnesium</i>	5xxx	5xx.x
<i>Magnesium and silicon</i>	6xxx	-
<i>Zinc</i>	7xxx	7xx.x
<i>Tin</i>	-	8xx.x
<i>Other element</i>	8xxx	9xx.x
<i>Unused series</i>	9xxx	6xx.x

Menurut *Aluminium Association (AA)* sistem di Amerika, penamaan paduan aluminium:

a. Paduan cor (*casting alloys*) digunakan sistem penamaan empat angka. Angka pertama menunjukkan kandungan utama paduannya. Dua angka selanjutnya menunjukkan penandaan dari paduannya. Angka terakhir yang di pisahkan dengan tanda desimal merupakan bentuk dari hasil pengecoran, misalnya *casting* (0) atau *ingot* (1,2) [12].

b. Paduan tempa (*wrought alloys*) menggunakan sistem penamaan empat angka juga tetapi penamaannya berbeda dengan penamaan pada paduan jenis cor. Angka pertama menyatakan kelompok paduan atau kandungan elemen spesifik paduan, angka kedua menunjukkan perlakuan dari paduan asli atau batas kemurnian. Sedangkan dua angka terakhir menunjukkan paduan aluminium atau kemurnian aluminium [12].

Dari dua kelompok paduan aluminium diatas dikelompokkan lagi menjadi dua kelompok, yaitu: tidak dapat diperlaku-panaskan dan dapat diperlaku-panaskan. Untuk paduan aluminium jenis cor yang dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 2xx.x, 3xx.x, 7xx.x, dan 8xx.x, yang tidak dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 1xx.x, 4xx.x, dan 5xx.x. Sedang aluminium jenis tempa yang tidak dapat diperlaku-panaskan meliputi seri 1xxx, 3xxx, 4xxx, dan 5xxx, yang dapat diperlaku-panaskan adalah seri 2xxx, 6xxx, 7xxx, dan 8xxx [12].

Sifat-sifat umum pada paduan aluminium adalah:

a. Jenis Al-murni teknik (seri 1xxx)

Elemen paduan utama seri ini adalah besi dan silicon. Jenis paduan ini mempunyai kandungan aluminium 99,0%. Aluminium dalam seri ini memiliki kekuatan yang rendah tapi memiliki sifat tahan korosi, konduksi panas dan konduksi listrik yang baik juga memiliki sifat mampu las dan mampu potong yang bagus. Aluminium seri ini banyak digunakan untuk *sheet metal work* [12].

b. Paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Elemen paduan utama pada seri ini adalah *copper*, tetapi magnesium dan sejumlah kecil elemen lain juga ditambahkan untuk kebanyakan paduan jenis ini. Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan, sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada kontruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam kontruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) dan super duralumin (2024) [12].

c. Paduan jenis Al-Mn (seri 3xxx)

*Manganesee* merupakan elemen paduan utama seri ini. Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, sehingga penaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada proses pembuatannya. Bila dibandingkan

dengan jenis aluminium murni, paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal ketahanan terhadap korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya, sedangkan dalam hal kekuatannya, jenis paduan ini jauh lebih unggul [12].

d. Paduan jenis Al-Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat-sifatnya, maka paduan jenis Al-Si banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor atau tempa [12].

e. Paduan jenis Al-Mg (seri 5xxx)

*Magnesium* merupakan paduan utama dari komposisi sekitar 5%. Jenis ini mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya. Paduan ini juga digunakan untuk sheet metal work, biasanya digunakan untuk komponen bus, truk, dan untuk aplikasi kelautan [12].

f. Paduan jenis Al-Mg-Si (seri 6xxx)

Elemen paduan seri 6xxx adalah magnesium dan silikon. Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu potong dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul. Paduan jenis ini banyak digunakan untuk tujuan struktur rangka [12].

g. Paduan jenis Al-Zn (seri 7xxx)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 504 Mpa, sehingga paduan ini dinamakan juga *ultra duralumin* yang sering digunakan untuk struktur rangka pesawat. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang menguntungkan. Akhir-akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam

kontruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik daripada paduan dasar Al-Zn [12].

## 2.2 Besi

Besi adalah logam transisi yang paling banyak dipakai karena relatif melimpah di alam dan mudah diolah. Besi murni tidak begitu kuat, tetapi bila dicampur dengan logam lain dan karbon didapat baja yang sangat keras. Bijih besi biasanya mengandung hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang dikotori oleh pasir ( $\text{SiO}_2$ ) sekitar 10%, serta sedikit senyawa sulfur, fosfor, aluminium, dan mangan [1].

Besi adalah logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal itu karena beberapa hal, diantaranya [1]:

- a. Kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar.
- b. Pengolahannya relatif mudah dan murah
- c. Besi mempunyai sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi.

### 2.2.1 Sifat Besi

Secara garis besar mempunyai dua sifat yaitu sifat fisika dan sifat kimia, untuk lebih jelasnya bisa kita lihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.4** Sifat Fisika Besi [1]

<b>Fase</b>	<b>Padat</b>
Masa jenis (sekitar suhu kamar)	7,86 g/cm <sup>3</sup>
Masa jenis cair pada titik lebur	6,98 g/cm <sup>3</sup>
Titik lebur	1811 K (1538 °C, 2800 °F)
Titik didih	3134 K (2861 °C, 5182 °F)
Kalor peleburan	3134 K
Kalor penguapan	340 kJ/mol
Kapasitas kalor	(25 °C) 25,10 J/(mol.K)

**Tabel 2.5** Ciri-Ciri Atom Besi [1]

<b>Ciri-ciri atom</b>	
Struktur kristal	Kubus pusat badan
Bilangan oksida	2, 3, 4, 6 (oksida amfoter)
Elektronegativitas	1,83 (skala pauling)
Energi ionisasi	pertama: 762,5 kJ/mol ke-2: 1561,9 kJ/mol Ke-3: 2957 kJ/mol
Jari-jari atom	140 pm
Jari-jari atom (terhitung)	156 pm
Jari-jari kovalen	125 pm

**Tabel 2.6** Sifat Kimia Besi [1]

<b>Keterangan Umum Unsur</b>	
Nama, Lambang, Nomor atom	Besi, Fe, 26
Deret kimia	Logam transisi
Golongan, Periode, Blok	8, 4, d
Penampilan	Metalik mengkilap keabu-abuan
Masa atom	55,845 g/mol
Konfigurasi elektron	$3d^6 4s^2$
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8, 14, 2

- a. Mempunyai daya hantar listrik dan panas yang baik. Karena memiliki ikatan ganda dan ikatan kovalen logam.
- b. Besi murni cukup reaktif. Dalam udara lembab cepat teroksidasi membentuk besi (III) oksida hidrat.

**Tabel 2.7** Sifat Lain-lain Besi [1]

Sifat-sifat magnetik	Feromagnetik
Resistivitas listrik	(20 °C) 96,1 nΩ.m
Konduktivitas termal	(300 K) 80,4 W/(m.K)
Ekspansi termal	(25 °C) 11,8 μm/(m.K)
Kecepatan suara	5120 m/s
Modulus Young	211 Gpa
Modulus geser	82 Gpa
Skala kekerasan <i>Mohs</i>	4,0
Kekerasan <i>Vickers</i>	608 Mpa
Kekerasan <i>Brinell</i>	490 Mpa

### 2.3 Komposit

Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan [14]. Definisi lain menyatakan bahwa bahan komposit mempunyai ciri- ciri yang berbeda dan komposisi untuk menghasilkan suatu bahan yang mempunyai sifat dan ciri tertentu yang berbeda dari sifat dan ciri kontituen asalnya [7]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bahan komposit adalah suatu jenis bahan baru hasil rekayasa yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing-masing bahan berbeda satu sama lainnya baik itu sifat kimia maupun fisika dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut (bahan komposit). Jika perpaduan ini bersifat mikroskopis maka disebut sebagai *alloy* (paduan). Komposit berbeda dengan paduan, untuk menghindari kesalahan dalam pengertiannya, oleh Van Vlack dijelaskan bahwa *alloy* (paduan) adalah kombinasi antara dua buah bahan atau lebih dimana bahan- bahan tersebut terjadi peleburan [23] sedangkan komposit adalah kombinasi terekayasa dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat- sifat seperti yang di inginkan dengan cara kombinasi sistematis pada kandungan- kandungan yang berbeda tersebut [23].

Komposit dapat digolongkan berdasarkan jenis matriks dan bentuk penguatnya [14].

- a. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks [14]
  - a) *Metal Matrix Composites* (MMCs), yaitu komposit yang memiliki matrik berupa logam.
  - b) *Ceramic Matrix Composites* (CMCs), yaitu komposit dengan matrik dari bahan keramik.
  - c) *Polymer Matrix Composites* (PMCs), yaitu jenis komposit dengan matrik dari bahan polimer.
- b. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat / *reinforcement* [14]
  - a) *Fibrous composites*.
  - b) *Particulate composites*.
  - c) *Laminate composites*.

### 2.3.1 Aluminium – *Metal Matrix Composites* / A-MMCs

Campuran dari aluminium yang digunakan dalam aplikasi memberikan keuntungan karena kombinasinya yang sangat kuat, densitas yang rendah, ketahanan, mampu mesin, ketersediaan serta harga yang sangat menarik dibandingkan material lainnya. Semua ini dapat dikembangkan dengan menggunakan *aluminium matrix composites*. *Aluminium matrix composites* menawarkan keuntungan yang spesifik bila dibandingkan dengan aluminium yang tanpa penguat, *polymer matrix composites* dan *ceramic matrix composites* walaupun tetap memiliki kekurangan tertentu. Kelebihan dan kekurangan dari *aluminium matrix composites* dapat dilihat pada Tabel 2.8 [9].

**Tabel 2.8** Kelebihan dan Kekurangan *Aluminium Matrix Composites* [9]

<i>Advantage</i>	<i>Disadvantage</i>
<i>Compared to Un-Reinforced Aluminium Alloys:</i>	
<i>Higher specific strength</i>	<i>Lower toughness and ductility</i>
<i>Higher specific stiffness</i>	<i>More complicated and expensive production method</i>
<i>Improved high temperature</i>	

*Creep resistance*

*Improved wear resistance*

***Compared to Polymer Matrix Composite:***

*Higher transverse strength*

*Less developed technology*

*Higher toughness*

*Smaller data base of properties*

*Better damage tolerance*

*Higher cost*

*Improved environmental resistance*

*Higher thermal and electrical conductivity*

*Higher temperature capability*

***Compared to Ceramic Matrix Composites:***

*Higher toughness and ductility*

*Inferior high temperature capability*

*Ease of fabrication*

*Lower cost*

*Aluminium matrix composites* bisa diklasifikasikan kedalam beberapa tipe yang berbeda menurut penguat dan campuran yang dimilikinya. Klasifikasi ini dapat dilihat pada Tabel 2.9.

**Tabel 2.9** *Aluminium reinforcement* [9]

<i>Non Metallic</i>	<i>Metallic</i>
<i>Alumina</i>	<i>Beryllium</i>
<i>Boron</i>	<i>Niobium</i>
<i>Boron carbide</i>	<i>Stainless steel</i>
<i>Graphite</i>	
<i>Nickel Aluminide</i>	
<i>Silica</i>	
<i>Silicon carbide</i>	

*Titanium boride*

*Titanium carbide*

*Zircon*

*Zircinia*

*Zirconium carbide*

*Aluminium matrix composites* dapat dibedakan menurut geometri penguatnya [9]:

- a. *Continuous fibre reinforced composites* dengan *monofilament* (memiliki diameter >100  $\mu\text{m}$ ) atau dengan *tows of fibres* (diameter >20  $\mu\text{m}$ ).

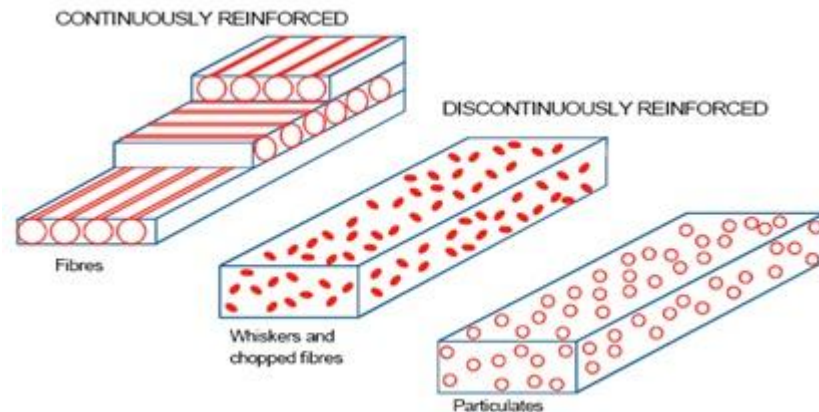
*Continuous fibre reinforced composite* memiliki ciri-ciri [9]:

- a) Meningkatkan kekakuan dan kekuatan.
- b) Mengurangi keausan dan keretakan.
- c) Bersifat *anisotropic*
- d) Meningkatkan kekuatan lelah dalam arah fiber.
- e) Memiliki harga dan biaya yang tinggi dan teknik manufaktur yang kompleks.

- b. *Discontinuous reinforced composite* dengan *short fibre*, *whisker* atau *particulates*.

*Discontinuous reinforced composite* akan meningkat pada saat kekuatan tidak menjadi sasaran utama, melainkan yang diharapkan adalah peningkatan kekakuan, resistensi keausan yang lebih baik, pemuaian panas yang terkontrol, dapat digunakan pada temperatur yang lebih tinggi [9].

Perbedaan antara *continuous fibre reinforced composite* dengan *monofilament* dan *discontinuous reinforced composite* dengan *short fibre*, *whisker* atau *particulated* ditunjukkan pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Jenis Aluminium *Matrix Composites* [9].

Keuntungan utama dari AMCs dibandingkan dengan logam-logam lain yang tanpa penguat [17]:

- a) Memiliki kekuatan yang lebih besar.
- b) Meningkatkan kekakuan.
- c) Mengurangi densitas.
- d) Sifatnya meningkat pada temperatur yang tinggi.
- e) Mengontrol koefisien peningkatan arus panas.
- f) Meningkatkan dan menyesuaikan performansi listrik.
- g) Meningkatkan resistensi keausan dan goresan/abrasi.
- h) Sangat banyak mengontrol (khususnya pada aplikasi yang berlawanan).
- i) Meningkatkan kemampuan lembab/*damping*.

AMCs dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe berdasarkan penguatnya, yaitu [18]:

- a) *Particle-reinforced* AMCs (PAMCs).
- b) *Whisker-or short fibre-reinforced* AMCs (SFAMCs).
- c) *Continuous fibre-reinforced* AMCs (CFAMCs).
- d) *Mono filament-reinforced* AMCs (MFAMCs).

## 2.4 Fabrikasi Komposit Al/Fe

Secara garis besar metode pembuatan A-MMCs dibagi menjadi 2 (dua) bagian utama yaitu *solid-state* dan *liquid-state process* [8].

### 2.4.1 *Solid State Processing* / Metalurgi Serbuk

Proses solid state bisa dilakukan dengan salah satu cara yaitu dengan metalurgi serbuk. Metalurgi serbuk merupakan suatu proses pembuatan serbuk dan benda jadi dari serbuk logam atau paduan logam dengan ukuran serbuk tertentu tanpa melalui proses peleburan [15]. Tahapan dari proses metalurgi serbuk secara umum dibagi menjadi 3 (tiga) bagian, yaitu pencampuran serbuk matriks dan penguat (*mixing*), penekanan, dan pemanasan (*sintering*) pada suhu tinggi [22]. Teknik pembuatan dengan metalurgi serbuk memiliki kelebihan dibanding proses lainnya, diantaranya adalah diperoleh distribusi partikel penguat lebih merata dan sifat mekanik yang lebih baik, produk lebih beraneka ragam dan temperatur proses lebih rendah. Sedangkan kekurangan dari proses metalurgi serbuk dibandingkan teknik pengecoran adalah biaya relatif lebih mahal, ukuran benda yang dibuat terbatas dan dihasilkan produk dengan porositas lebih tinggi [19]. Oleh karena itu pembuatan komposit Al/Fe banyak dikembangkan dengan teknik pengecoran (*liquid-state*).

### 2.4.2 *Liquid State Processing*

*Metal matrix composite* dapat diproses dengan memasukkan atau menggabungkan matriks penguat logam cair. Ada beberapa keuntungan untuk menggunakan rute fasa cair dalam pengolahan. Termasuk dalam bentuk (ketika dibandingkan dengan proses keadaan padat seperti ekstrusi atau ikatan difusi), yang lebih cepat tingkat pengolahannya, dan suhu relatif rendah terkait dengan pencairan logam, seperti Al dan Mg [8]. Cairan yang paling umum digunakan dalam fasa teknik pengolahan dapat dibagi menjadi empat kategori [8]:

- a. *Casting or liquid infiltration*: ini melibatkan infiltrasi berserat atau partikulat preform oleh metal cair. Dalam kasus pengenalan langsung dari serat pendek atau partikel ke dalam campuran cair, terdiri dari cairan metal dan partikel keramik atau serat pendek, sering diaduk untuk mendapatkan

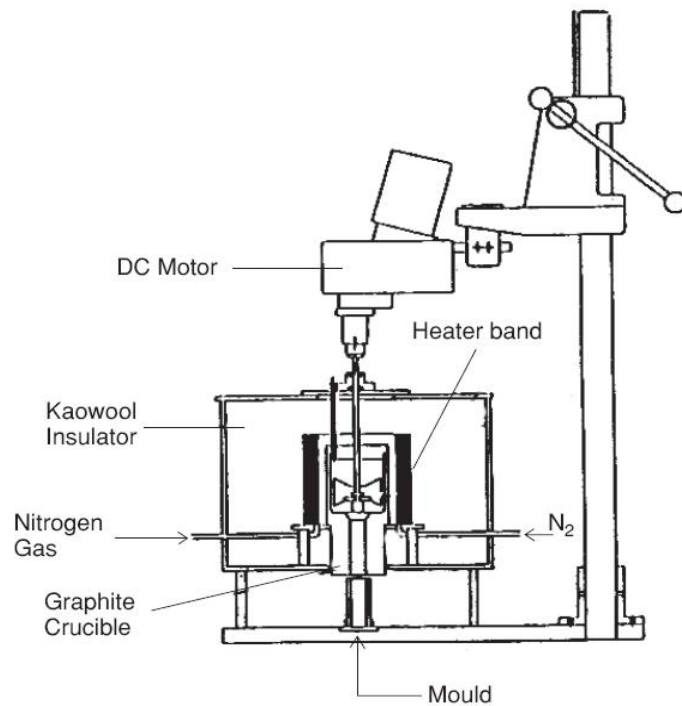
distribusi partikel yang homogen. Dalam pengecoran sentrifugal, gradien dalam penguatan diperoleh partikel pemuatan. Hal ini bisa sangat menguntungkan dari perspektif mesin atau kinerja.

- b. *Squeeze casting atau pressure infiltration*: Metode ini meliputi tekanan-dibantu infiltrasi cairan dari berserat atau membentuk sebelumnya partikulat. Proses ini sangat cocok untuk komponen berbentuk kompleks, penguatan selektif atau lokal, dan di mana kecepatan produksi kritis.
- c. *Spray co-deposition*: Dalam proses ini logam cair atau dikabutkan disemprotkan injektor sementara partikel mengenai partikel keramik yang disemprot aliran untuk menghasilkan pasir campuran partikel komposit. Partikel komposit tersebut kemudian dikonsolidasikan menggunakan teknik lain yang cocok, seperti penekanan-panas, ekstrusi, penempaan, dll.
- d. *In situ processes* : Dalam hal ini, fase penguatan terbentuk baik oleh reaksi selama sintesis atau dengan pembekuan terkendali paduan eutektik.

Dalam percobaan ini yang digunakan adalah proses *stir casting*.

#### **2.4.2.1 Fabrikasi Komposit Al/Fe Dengan *Stir Casting***

Proses *Stir casting* adalah proses pengecoran dengan cara menambahkan suatu logam murni (biasanya aluminium) dengan sebuah komposit dengan cara melebur logam murni tersebut kemudian logam murni yang sudah mencair tersebut diaduk secara terus menerus hingga terbentuk sebuah pusran, kemudian komposit (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusran yang telah terbentuk itu [13]. Skema dari proses *stir casting* dilihat pada gambar 2.2.

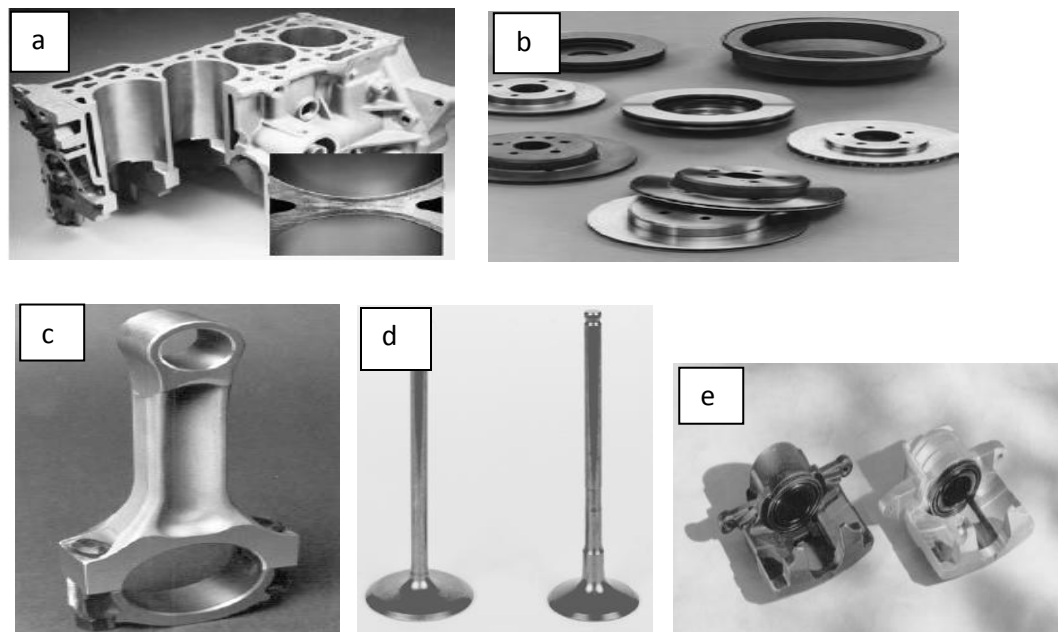


**Gambar 2.2** Skema dapur peleburan *stir casting* [10]

Keuntungan dari proses *stir casting* adalah mampu menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh logam cair. Bahan yang tidak dibasahi tersebut terdistribusi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel penguat terperangkap dalam logam cair. Metode pembuatan ini merupakan metode yang paling sederhana, relatif lebih murah dan tidak memerlukan peralatan tambahan. Namun proses *stir casting* ini kadangkala mengalami kendala yaitu distribusi partikel yang kurang homogen. Ketidakhomogenan mikrostruktur disebabkan oleh penggumpalan partikel penguat (*clustering*) dan pengendapan selama pembekuan berlangsung akibat perbedaan densitas matrik dan penguat, terutama pada fraksi volume partikel tinggi. Secara umum fraksi volume penguat hingga 30% dan ukuran partikel 5-100  $\mu\text{m}$  dapat disatukan kedalam logam cair dengan metode *stir casting*. Teknik dan peralatan proses A-MMCs sama dengan proses peleburan untuk paduan aluminium. Peleburan untuk bahan monolitik seperti dapur induksi, *electric-resistance* dan *burner* bisa juga digunakan untuk peleburan komposit MMC [13].

### 2.4.3 Aplikasi Aluminium – *Metal Matrix Composites*

Pada tahun 2004, lebih dari 3,5 juta Kg bahan AMCs telah digunakan pada berbagai industri transportasi, penerbangan, elektronik, otomotif, dan olah raga. Di beberapa negara baik asia maupun eropa, AMCs telah digunakan secara komersial pada komponen mesin seperti piston, connecting rod, brake system (*brake rotor* dan *brake drum*), *cylinder liner* dan *valves*. Gambar 2.5 memperlihatkan beberapa aplikasi material komposit dalam industri.

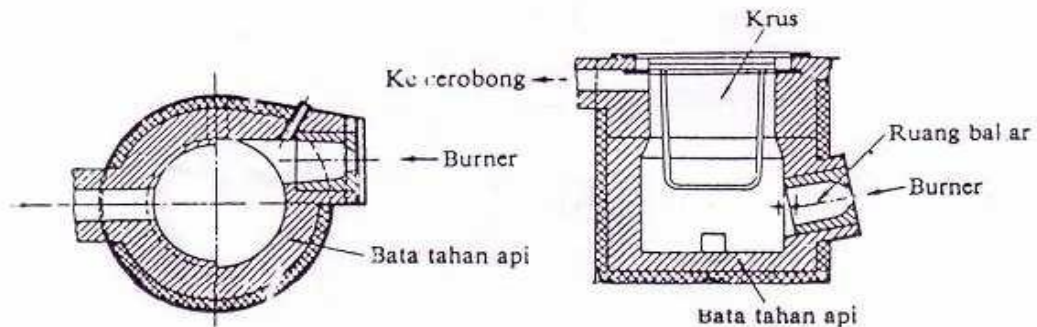


**Gambar 2.3** Aplikasi komposit dalam industri (a) *Cylinder liner* (b) *Brake motor* (c) *Connecting rod* (d) *valves* (e) *calliper* [13]

Karakteristik yang harus dimiliki komponen tersebut dapat dipenuhi oleh AMCs, terutama sifat temperatur tinggi, aus, dan *coefisien thermal expansion* rendah. Sebagai contoh pada komponen sistem pengereman seperti brake rotor dan brake drum, memerlukan sifat aus dan konduktivitas panas tinggi. Dengan menggunakan bahan AMCs persyaratan tersebut dapat dipenuhi dan dapat mengurangi berat komponen hingga 50-60% dibanding bahan besi tuang. Keuntungan lain dari AMCs untuk *brake rotor* adalah mengurangi *brake noise* dan keausan serta menghasilkan gesekan yang lebih seragam [13].

## 2.5 Dapur Peleburan Al-Fe

Dalam peleburan Al dengan penambahan Fe serta paduan *non ferrous* lainnya digunakan dapur krusibel dan *reverberatory* disamping penggunaan dapur listrik. Dapur krusibel ini biasanya digunakan dalam skala kecil sedang untuk skala besar digunakan dapur *reverberatory* [19].



**Gambar 2.4** Dapur *krusibel* tipe *tiling* untuk peleburan *non-ferrous* [20]

*Krusibel* yang ada dalam dapur berbentuk pot yang terbuat dari lempung api dicampur dengan grafit. Terdapat tiga macam *krusibel* menurut jenis bahan bakar : gas, minyak dan kokas. *Krusibel* dengan bahan bakar kokas jarang digunakan karena kurang efisien. Hasil pembakaran bahan bakar akan memanaskan dinding *krusibel* yang kemudian akan mengalirkannya ke logam yang akan dilebur. Dengan demikian api pembakaran tidak langsung kontak dengan logam [19].

## 2.6 Perlakuan Panas

Di dalam pemilihan bahan logam paduan aluminium yang akan digunakan untuk proses permesinan, sering dijumpai bahan yang mempunyai sifat-sifat yang kurang sesuai dengan harapan, misalnya kekerasannya, kekuatannya, keuletannya dan sebagainya. Sehingga perlu suatu perlakuan (*treatment*) yang dapat menghasilkan logam paduan aluminium dengan sifat-sifat yang sesuai dengan harapan. Jenis perlakuan yang biasa digunakan untuk mendapatkan sifat-sifat logam yang sesuai dengan kebutuhan adalah perlakuan panas (*heat treatment*). Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan [5]. Perlakuan panas pada

umumnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu pelunakan (*softening*) dan pengerasan (*hardening*). Perlakuan panas pada setiap logam pun berbeda, khususnya pada logam besi (*ferrous*) dan nonbesi (*nonferrous*) [2].

Pengerasan pada aluminium menerapkan prinsip presipitat, dimana presipitat pengeras pada paduan aluminium mulai muncul apabila paduan mengalami penuaan. Beberapa logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik dengan cara ini. *Precipitation hardening* sering disebut dengan penuaan keras (*age hardening*) karena partikel presipitat pada paduan tumbuh seiring dengan bertambahnya waktu. Pengerasan pada logam paduan aluminium berbeda dengan pengerasan yang berlangsung pada baja. Pada baja pengerasan terjadi karena pengaruh atom karbon yang terperangkap pada atom-atom besi sehingga dapat menghambat pergerakan dislokasi pada logam [7].

Pada aluminium paduan, unsur yang dapat membentuk presipitat yang dapat menimbulkan sifat keras adalah unsur tembaga (*Cu*), mangan (*Mn*), timah (*Sn*) dan magnesium (*Mg*) dan unsur lainnya yang memiliki daerah padat terlarut sehingga dapat membentuk satu fasa tunggal.

Pada pengerasan paduan aluminium dengan cara *age hardening* sangat erat hubungannya dengan waktu penahanan temperatur pada saat penuaan. Efek dari penuaan akan mengalami kenaikan pada titik tertentu dan akan mengalami penurunan setelah titik maksimum atau disebut *overaging*. Sehingga dalam melakukan pengerasan pada aluminium memerlukan metode yang tepat sehingga menghasilkan kekerasan yang optimum [7].

### **2.6.1 Perlakuan Panas Pelarutan**

Tahap pertama dalam proses *precipitation hardening* yaitu *solid solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solid solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 505 °C-560 °C dan dilakukan penahanan atau *holding time* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja. Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa paduan, menjadi satu fasa

larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen [7].

Pada paduan cor aluminium perlakuan *solution treatment* sangat penting, sebab laju pendinginan pada proses pengecoran tidaklah sama, mengingat pada bagian tepi dari benda kerja pasti memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Selain dapat menghomogenkan sel satuan paduan menjadi sama, *solution treatment* juga dapat mengurangi porositas yang terjadi pada proses pengecoran, sebab gelembung udara yang terperangkap dalam butir akan tertutup dengan perpindahan unsur lain dari daerah yang tidak homogen.

Syarat paduan dapat dilakukan *solution treatment* adalah pada diagram fasa dari paduan itu sendiri terdapat daerah dimana paduan dapat membentuk fasa yang tunggal. Proses *solid solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam Gambar 2.10 dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur  $T_0$ . Pada temperatur  $T_0$  fasa logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran  $\alpha$  dalam larutan padat. Pada temperatur  $T_0$  tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen [3,7].

Nilai kekerasan pada paduan akan cenderung menurun setelah proses *solution treatment*, sebab butiran yang tersusun pada paduan telah homogen dan cenderung sama. Oleh karena itu tidak ada gaya yang menghambat pergerakan dislokasi pada material. Keadaan tersebut berbeda ketika paduan aluminium telah mengalami penuaan, munculnya partikel kecil dari presipitat yang mengisi diantara butiran dapat menghambat pergerakan dislokasi, sehingga kekerasan dapat meningkat.

### 2.6.2 Pendinginan Cepat

*Quenching* merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Dalam proses *age hardening* logam yang di*quenching* adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam yang memiliki tingkat kekerasan yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium.

Pendinginan dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (505 °C) ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah unsur paduan yang terdapat pada larutan padat homogen yang telah terbentuk pada *solid solution heat treatment* tidak membentuk fasa baru ( $\theta$ ).

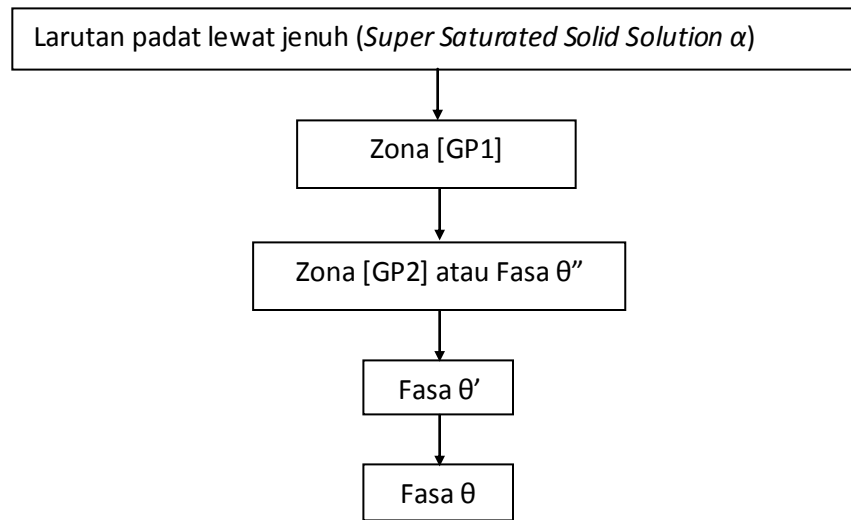
Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang, sehingga unsur-unsur presipitat pada paduan aluminium akan mudah membentuk fasa baru. Karena bersifat tidak stabil setelah proses *quenching*, secara alami paduan akan membentuk presipitat dari unsur paduan (*Cu, Mg, Sn*, dll) yang akan terus tumbuh hingga membentuk fasa baru ( $\theta$ ) dan akhirnya akan seimbang (sesuai pada kandungan awal). Pertumbuhan presipitat tersebut seiring bertambahnya waktu dan temperatur [3,20].

### 2.6.3 Penuaan

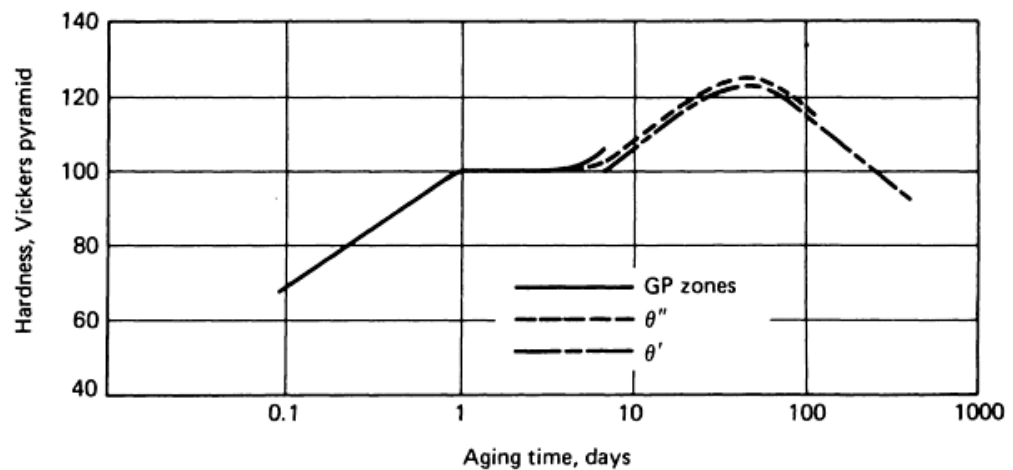
Setelah *solid solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *precipitation hardening* adalah *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*).

Penuaan alami (*natural Aging*) adalah penuaan pada paduan aluminium yang terjadi secara alami pada temperatur ruang atau dapat dikatakan pertumbuhan presipitat  $\theta$  akan berjalan secara alami. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Sedangkan penuaan buatan (*artificial aging*) merupakan suatu metode untuk mempercepat pertumbuhan fasa presipitat  $\theta$  pada temperatur tertentu [3].

Temperatur *artificial aging* yaitu pada temperatur antara 100 °C-200 °C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur pada paduan. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan. Urutan perubahan fasa dalam proses *artificial aging* adalah sebagai berikut [3]:



**Gambar 2.5.** Tahap perubahan fasa pada proses *aging* [20]



**Gambar 2.6.** Hubungan nilai kekerasan dengan waktu terhadap fasa yang terbentuk [20]

Gambar 2.5 dan 2.6 menjelaskan tentang perubahan fasa yang terbentuk pada proses presipitasi dimana fasa berawal dari *super saturated solid solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru ( $\theta$ ) seiring bertambahnya waktu, baik dilakukan secara natural atau dipercepat (*artificial*). Pengerasan diawali pada fasa *GP zone* yang selanjutnya akan membentuk fasa yang setimbang ( $\theta$ ). Pada fasa setimbang, nilai kekerasan akan sama keadaannya awalnya (tidak di keraskan), oleh karena itu proses *aging* dilakukan secara

tepat sehingga paduan berada pada fasa  $\theta$ , dimana fasa  $\theta$  merupakan fasa yang memiliki kekerasan yang paling tinggi [3,7].

Berikut ini merupakan karakteristik dari setiap fasa yang terbentuk pada proses *aging*:

a. Larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution  $\alpha$* )

Setelah paduan aluminium melawati tahap *solid solution heat treatment* dan *quenching* maka akan didapatkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution  $\alpha$* ) pada temperatur kamar. Kondisi merupakan kondisi yang tidak stabil, atau dengan kata lain fasa baru akan mudah terbentuk karena pengaruh temperatur dan waktu penahanan. Setelah pendinginan cepat atau *quenching*, maka logam paduan aluminium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya, sebab fasa yang terbentuk adalah fasa aluminium  $\alpha$  dimana tidak ada fasa lain didalamnya [3].

b. Zona *GP 1*

Zona *GP1* adalah zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau *aging* yang rendah dan dibentuk oleh *segregasi* atom paduan dalam larutan padat lewat jenuh atau *super saturated solid solution*. Zona *GP1* akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100 °C atau mulai temperatur ruang hingga temperatur 100 °C dan Zona *GP1* tidak akan terbentuk pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi. Terbentuknya Zona *GP1* akan mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan aluminium. Jika *artificial aging* ditetapkan pada temperatur 100 °C, maka tahap perubahan fasa hanya sampai terbentuknya zona *GP1* saja. Proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh (*super saturated solid solution  $\alpha$* ) sampai terbentuknya zona *GP1* biasa disebut dengan pengerasan tahap pertama [3].

c. Zona *GP2* atau fasa  $\theta''$

Setelah temperatur *artificial aging* melewati 100 °C ke atas, maka akan mulai muncul fasa  $\theta''$  atau zona *GP2*. Pada temperatur 130 °C akan terbentuk zona *GP2* dan apabila waktu penahanan *artificial aging* terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal. Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika

sampai terbentuknya zona *GP2* dan terbentuknya fasa yang halus (*precipitate  $\theta''$* ), karena setelah melewati zona *GP2* maka paduan akan kembali menjadi lunak kembali karena mencapai keseimbangan fasa ( $\theta$ ). Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa  $\theta''$  atau zona *GP2*, maka disebut dengan pengerasan tahap kedua [3,7].

d. Fasa  $\theta'$

Kalau paduan alumunium dinaikan temperatur *aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperturnya tetap, maka akan terbentuk presipitat dengan struktur temperatur yang teratur yang berbeda dengan fasa  $\theta$ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa  $\theta'$ . Terbentuknya fasa  $\theta'$  ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan alumunium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa  $\theta'$  ini berjalan sangat lambat [3,7].

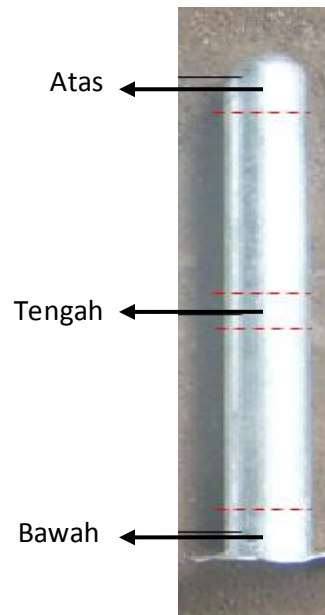
e. Fasa  $\theta$

Apabila temperatur dinaikan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa  $\theta'$  berubah menjadi fasa  $\theta$ . Jika fasa  $\theta$  terbentuk maka akan menyebabkan paduan alumunium kembali menjadi kondisi setimbang antar paduannya (lunak).

Oleh karena itu waktu penahanan dalam *artificial aging* merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa paduan alumunium. Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati.

## 2.7 Pengujian Material

Pengambilan sampel uji dilakukan pada bagian atas, tengah dan bawah.



**Gambar 2.7** Pengambilan Sampel Uji Pada Bagian Atas, Tengah dan Bawah.

### 2.7.1 Kekerasan (*Hardness*)

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical of properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material merupakan ketahanan material terhadap gaya penekanan atau deformasi dari material lain yang lebih keras. Yang menjadi prinsip dalam suatu uji kekerasan adalah terletak pada permukaan material pada saat permukaan material tersebut diberi perlakuan penekanan sesuai dengan parameter (diameter, beban, dan waktu). Berdasarkan mekanisme penekanan yang dilakukan pada saat proses pengujian, metode pengujian kekerasan dalam menentukan kekerasan suatu material [16]:

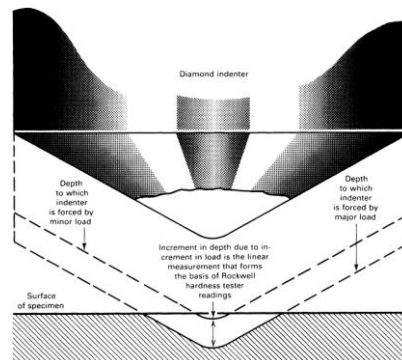
#### 2.7.1.1 Pengujian Kekerasan *Rockwell (HR)*

Uji kekerasan *Rockwell* distandarisasikan pada *ASTM E 18* dan beberapa standar lainnya. Pengujian kekerasan *Rockwell* berbeda dari pengujian *Brinell* dimana kekerasan *Rockwell* didasarkan pada perbedaan kedalaman penetrasi indentor dengan aplikasi beban yang berbeda (minor dan mayor). Awalnya beban minor dikenakan pada spesimen, dan *dial indikator* disetting nol. Kemudian beban mayor diberikan pada spesimen dengan jangka waktu tertentu, hal tersebut akan menyebabkan kedalaman

penetrasi bertambah dari acuan yang telah disetting nol pada beban minor. Setelah beban mayor dihilangkan maka spesimen akan kembali terkena beban minor. Nilai kekerasan *Rockwell* dihitung dari perubahan jarak bekas penetrasi pada spesimen ketika terkena beban minor dan beban mayor. Seluruh prosedur tersebut hanya membutuhkan waktu 5-10 detik saja [4].

Penetrator yang digunakan pada pengujian *Rockwell* bermacam-macam tergantung dari skala yang akan dipakai dan jenis material yang akan diuji. Terdapat penetrator intan dan bola baja dengan variasi diameter yang berbeda.

Pemberian beban minor akan meningkatkan akurasi pada setiap tipe pengujian, karena beban minor dapat menghilangkan efek *backlash* pada pengukuran, dan dapat menembus sedikit kekasaran permukaan pada material uji. Prinsip dasar penerapan beban minor dan mayor pada pengujian *Rockwell* dapat dilihat pada Gambar 2.7 berikut ini.



**Gambar 2.8** Prinsip pengukuran pengujian *Rockwell*, prinsip yang sama juga diterapkan untuk penetrator bola baja [4]

*Rockwell* dibagi menjadi dua, yaitu *Rockwell Superficial* dan *Rockwell*. *Rockwell Superficial* digunakan untuk material uji yang tipis dan kecil. Pada metode ini beban mayor dan minor pun lebih kecil dari biasanya. Namun keduanya memiliki prinsip kerja yang sama. Pada *Rockwell* beban minor sebesar 10 kgf dan beban mayor sebesar 60, 100, dan 150 kgf. Sedangkan pada *Rockwell superficial* beban minor sebesar 5 kgf dan beban mayor sebesar 15 kgf, 30 kgf dan 45 kgf.

Penetrator kedua alat sama yaitu dengan penetrator intan dengan bentuk kerucut, dan bola baja dengan ukuran 1/16, 1/8, ¼, ½ inch. Penetrator intan diperuntukkan material keras seperti baja karbon tinggi, *carbide*, dan lain sebagainya. Sedangkan bola baja digunakan untuk material lunak seperti besi yang di lunakkan, aluminium, tembaga, dan lain sebagainya.

Nilai kekerasan *Rockwell* dikelompokkan menjadi beberapa jenis, sehingga pada *Rockwell* memiliki skala yang berbeda untuk setiap spesimen yang diuji. Misalnya saja 64.0 *HRB* artinya nilai kekerasan pada material uji sebesar 64 untuk skala *Rockwell* B. berikut ini merupakan tabel skala *Rockwell* beserta penggunaan indentor pada material tertentu [4].

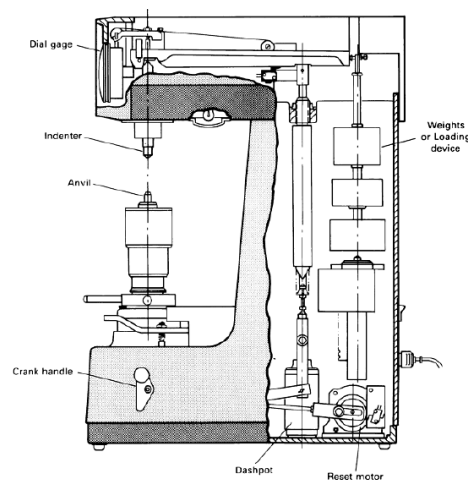
**Table 2.10** Skala Kekerasan *Rockwell* [4]

Skala	Indentor	F0 (kg)	F1 (kg)	F (kg)	E	Jenis material uji
A	Intan	10	50	60	100	Material yang sangat keras seperti tungsten karbida
B	1/16" bola besi	10	90	100	130	Baja karbon sedang, baja karbon rendah.
C	Intan	10	140	150	100	Baja paduan
D	Intan	10	90	100	100	Kuningan anil, tembaga
E	1/8" bola besi	10	90	100	130	Tembaga berilium, perunggu fosfor,dll.
F	1/16" bola besi	10	50	60	130	Lembaran alumunium
G	1/16" bola besi	10	140	150	130	Paduan alumunium, besi cor
H	1/8" bola besi	10	50	60	130	Pelat alumunium, timah

K	1/8" bola besi	10	140	150	130	Besi cor, paduan aluminium
---	-------------------	----	-----	-----	-----	-------------------------------

Di bawah ini adalah beberapa tindakan yang harus diperhatikan sebelum melakukan uji kekerasan pada berbagai material:

- Spesimen uji harus bebas dari lubang, sisik, lemak, atau bekas pemesinan. Perbedaan 1 *HRC* selama pengujian menunjukkan perbedaan 0.002 mm kedalaman penetrasi. Sehingga permukaan harus benar-benar halus.
- Setiap mesin penguji kekerasan mempunyai satu set balok uji standar, dan harus selalu digunakan dan penting untuk mengindikasikan apakah mesin berada dalam kalibrasi atau tidak.
- Jarak antara pusat indenter dengan tepi spesimen paling tidak 2 kali diameter indenter, dan jarak antar indentasi paling tidak 4 kali diameter indentasi
- Koreksi harus dibuat untuk permukaan spesimen yang tidak datar (*curvature*), karena dapat memberikan hasil pembacaan yang salah.
- Untuk permukaan yang bentuk kurvanya telah diketahui, seperti permukaan silinder, maka tabel *Rockwell* dapat digunakan untuk mengkonversi hasil pembacaan menjadi akurat. Jika diameter dari bentuk kurva itu meningkat, maka koreksinya akan menurun. Untuk diameter di atas 25 mm, maka koreksinya akan sia-sia.



**Gambar 2.9** Skema *Rockwell* [4]

## 2.7.2 MIKROGRAFI

Pengujian Mikrografi merupakan suatu pengujian untuk mendapatkan sifat dan karakteristik suatu material (baja). Pengujian mikrografi ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan tebal lapisan nitrit yang terbentuk akibat pendifusian unsur nitrogen pada spesimen uji, dimana hasil dari pengujian struktur mikro ini digunakan untuk mendukung hasil dari pengujian kekerasan Rockwell. Pengujian mikrografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik OLYPUS BX41M untuk menghasilkan gambaran pencitraan struktur kristal dari sebuah logam atau baja

Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro, material uji (baja) harus melalui beberapa proses persiapan yang harus dilakukan yakni:

a. Pemotongan (*Sectioning*)

Proses pemotongan material merupakan suatu proses untuk mendapatkan material uji dengan cara mengurangi dimensi awal material uji menjadi dimensi yang lebih kecil. Pemotongan material uji ini bertujuan untuk mempermudah pengamatan struktur mikro material uji pada alat scanning. Proses pemotongan material uji dapat dilakukan dengan cara pematahan, penggergajian, pengguntingan, dan lain-lain [16].

b. Pembangkaian (*Mounting*)

Proses pembangkaian sering digunakan untuk material uji yang mempunyai dimensi yang lebih kecil. Dalam pemilihan media pembangkaian haruslah sesuai dengan jenis material yang akan digunakan. Pembangkaian haruslah memiliki kekerasan yang cukup dan tahan terhadap distorsi fisik akibat panas yang dihasilkan pada saat proses pengamplasan. Proses pembangkaian ini bertujuan untuk mempermudah pengamplasan dan pemolesan [5].

c. Pengamplasan (*Grinding*)

Pengamplasan bertujuan untuk meratakan permukaan material uji setelah proses pemotongan material uji. Proses pengamplasan dibedakan atas pengamplasan kasar

dan pengamplasan sedang. Pengamplasan kasar dilakukan sampai permukaan material uji benar-benar rata, sedangkan pengamplasan sedang dilakukan untuk mendapatkan permukaan material uji yang lebih halus. Pada saat melakukan proses pengamplasan material uji harus diberi cairan pendingin guna menghindari terjadinya overheating akibat panas yang ditimbulkan pada saat proses pengamplasan [21].

d. Pemolesan (*Polishing*)

Proses pemolesan bertujuan untuk menghasilkan permukaan material uji yang benar-benar rata dan sangat halus pemukaannya hingga tampak mengkilap tanpa ada goresan sedikitpun pada material uji. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan serat kain yang diolesi larutan autosol metal polish [16].

e. Pengetsaan (*Etching*)

Pengetsaan bertujuan untuk memperlihatkan struktur mikro dari material uji dengan menggunakan mikroskop. Material uji yang akan di etsa harus bebas dari perubahan struktur akibat deformasi serta dipoles secara teliti dan merata pada seluruh permukaan material uji yang akan diuji struktur mikronya [16].

Setelah semua proses persiapan dilakukan, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik dengan pembesaran yang telah ditentukan. dari hasil pengamatan mikroskopis akan diperoleh informasi dan analisa data tentang struktur mikro yang terbentuk, kedalaman difusi dan distribusi fasa yang terbentuk pada material uji.

### BAB III

#### PENGUMPULAN DATA DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN

##### 3.1 Peralatan dan Bahan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

a. *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. Konstruksi 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 2 kg dan *burner* dipasang pada tungku sebagai penghubung tungku ke tabung gas.



(a)

(b)

**Gambar 3.1** (a) *Tungku Krusibel* dan (b) *Burner*

b. *Kowi*

*Kowi* digunakan sebagai tempat melebur, mencampur serta menuangkan coran ke dalam cetakan. Material *kowi* harus memiliki titik lebur yang jauh lebih tinggi dari logam yang akan dicairkan (aluminium). *Kowi* terbuat dari silinder baja dan diberi tangkai untuk memudahkan proses penuangan ke dalam cetakan.



**Gambar 3.2** *Kowi*

c. Alat Pres

Digunakan untuk mengepres aluminium yang dicampur serbuk besi setelah dituang ke dalam cetakan. Alat pres ini menggunakan sistem dongkrak hidrolis dengan kekuatan maksimal 2 ton.



**Gambar 3.3** Alat Pres

d. Pengaduk (*Stir Cast*)

Digunakan untuk mencampur aluminium-tembaga dengan serbuk besi sekaligus untuk membuang kerak yang terdapat pada aluminium cair. Cawan tuang digunakan untuk memudahkan pada saat penuangan logam cair ke dalam cetakan.



**Gambar 3.4** Pengaduk (*Stir Cast*)

e. *Permanent mold* / cetakan coran

Cetakan coran yang digunakan adalah jenis *permanent mold* yang terbuat dari baja perkakas yang merupakan salah satu jenis baja karbon medium. *Permanent mold* dibuat berdasarkan jenis pola cetakan logam yaitu bentuk silinder. Ukuran dimensi pola cetakan yaitu :

Pola silinder, Diameter ( $\emptyset$ ) = 21 mm.

Panjang = 200 mm.



**Gambar 3.5** Cetakan Logam Silinder

Sedangkan jarak pola permukaan cetakan seragam yaitu 30 mm, tetapi dikurangi tinggi besi yang di gunakan untuk mengepres setelah penuangan 30 mm menjadi panjang total spesimen yaitu : 170 mm. *Permanent mold* di buat dengan melakukan proses *machining* dari dua buah plat baja yang kemudian akan disatukan untuk setiap jenis pola cetakan logamnya.

f. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital. Timbangan ini digunakan untuk mengukur masa dari aluminium, serbuk besi yang digunakan dalam proses pengecoran.



**Gambar 3.6** Timbangan Digital

g. Gergaji tangan

Digunakan untuk memotong Aluminium dalam beberapa bagian sesuai dengan yang dibutuhkan. Agar aluminium batangan cepat melebur dalam kowi, maka gergaji tangan digunakan untuk memperkecil ukuran aluminium.



**Gambar 3.7** Gergaji Tangan

h. *Sieving* (ayakan)

Digunakan untuk mendapatkan ukuran serbuk yang seragam. Ukuran *sieve* yang digunakan adalah *mesh* 350.



**Gambar 3.8** Mesh 350

i. Termokopel dan *display*

Digunakan untuk mengukur suhu lebur aluminium, suhu pencampuran, dan suhu tuang dari paduan aluminium serbuk besi. Termokopel yang digunakan adalah tipe K dengan temperatur pengukuran maksimal 1200 °C.



(a)



(b)

**Gambar 3.9** (a) Thermokopel dan (b) *Display*

j. *Furnace chamber*

*Solution treatment* dilakukan didalam tungku pembakaran *Hofmann Furnace Chamber Tipe-K*, yang dapat beroperasi hingga temperatur 900 °C dengan waktu penahanan 9999 menit.



**Gambar 3.10** *Furnace chamber Hofmann Type-K*

k. Tang Penjepit dan Wadah untuk spesimen



**(a)**



**(b)**

**Gambar 3.11** (a) Tang Penjepit (b) Wadah spesimen

Tang penjepit digunakan untuk mengangkat wadah dari dalam *furnace chamber* setelah proses perlakuan panas selesai dilakukan.

l. Media *quenching*

Pendinginan cepat yang dilakukan setelah proses *solution treatment* menggunakan media pendinginan air yang diletakkan didalam wadah.



**Gambar 3.12** Panci dan air sebagai media pendingin

m. *Rockwell Hardness Tester type 150-A*

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode *Rockwell* skala B, dengan *penetrator* bola baja (*steel ball*), beban minor 10 kgf, dan beban mayor 100 kgf.



**Gambar 3.13** *Rockwell Hardness Tester type 150-A*

n. Mesin amplas dan poles

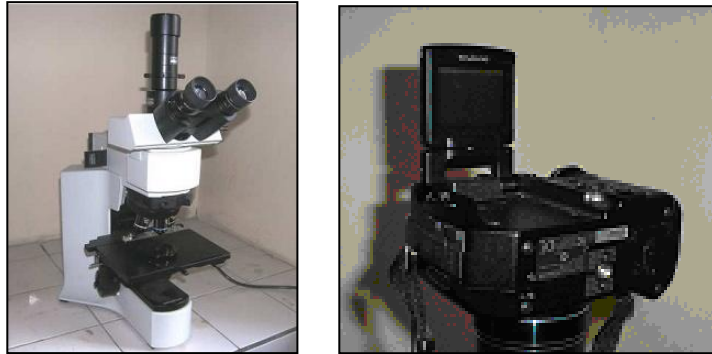
Mesin ini digunakan untuk proses *grinding* dan *polishing* spesimen untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro.



**Gambar 3.14** Mesin amplas dan poles

o. Mikroskop optik dan kamera

Untuk melihat struktur mikro digunakan mikroskop optik, sedangkan pengambilan gambar dilakukan dengan bantuan kamera digital. Mikroskop optik dapat melihat struktur mikro hingga perbesaran 100x pada lensa obyektifnya.



**Gambar 3.15** Mikroskop optik dan kamera digital

p. Alat bantu lainnya

Alat bantu lain yang digunakan selama proses penelitian ini adalah :

- a. Amplas 220, 400, 600, 800, 1000, dan 1200
- b. Obeng.
- c. Kunci pas.
- d. Sarung tangan tahan api.
- e. Amplas.
- f. Penumbuk.
- g. Air.
- h. Autosol.
- i. Gergaji.

### 3.2 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang dipakai adalah :

- a. Aluminium

Gambar dibawah terlihat bahwa struktur mikro aluminium yang akan digunakan untuk pengujian stir casting melalui prose age hardening. Untuk mempermudah

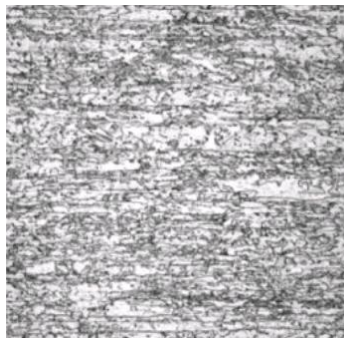
pegecoran aluminium telah dipotong agar mempercepat proses peleburan dan mempermudah untuk menimbang sesuai dengan masa yang diinginkan.



Gambar 3.16 Struktur Mikro Aluminium

b. Serbuk Besi

Gambar di bawah memperlihatkan struktur mikro besi yang telah dikumpulkan dalam bentuk geram dari hasil pembubutan. Geram yang dihasilkan dibuat kecil dan tipis dengan cara ditumbuk setelah itu diayak menggunakan mesh 350 agar dapat tercampur dengan paduan karena titik lebur besi lebih tinggi dari aluminium.



Gambar 3.17 Struktur Mikro Serbuk Besi

### 3.3 Proses Pembuatan Spesimen

Langkah – langkah dilakukan selama proses pengecoran yaitu:

- a. Proses Penimbangan
  - a) Penimbangan aluminium

Sebelum dicor aluminium dipotong kurang lebih 15 cm, kemudian ditimbang sesuai kebutuhan pengecoran. Paduan aluminium serbuk besi yang dibuat yaitu aluminium dengan presentase Fe 5%, 10%, dan 15%. Sehingga perhitungan adalah sebagai berikut:

Berat total coran yang diinginkan untuk sekali pengecoran adalah 1000 gr. Dengan massa aluminium adalah 1000 gr. Asumsi kerak yang terjadi saat pengecoran adalah 30%. Kebutuhan aluminium + kerak =  $1000 \text{ gr} + 30\% \times 1000 \text{ gr} = 1300 \text{ gr}$

Massa aluminium yang akan digunakan

I.  $95\% \times 1300 \text{ gr} = 1235 \text{ gr}$

II.  $90\% \times 1300 \text{ gr} = 1170 \text{ gr}$

III.  $85\% \times 1300 \text{ gr} = 1105 \text{ gr}$

b) Penimbangan serbuk besi

Berat serbuk besi I yaitu  $5\% \times \text{berat total aluminium} = 5\% \times 1000 \text{ gr} = 50 \text{ gr}$

Berat serbuk besi II yaitu  $10\% \times \text{berat total aluminium} = 10\% \times 1000 \text{ gr} = 100 \text{ gr}$

Berat serbuk besi III yaitu  $15\% \times \text{berat total aluminium} = 15\% \times 1000 \text{ gr} = 150 \text{ gr}$

b. Proses Peleburan

Aluminium yang sudah ditimbang sesuai masa di atas dimasukkan ke dalam kowi, dan kowi dimasukkan ke dalam tungku krusibel. *Burner* pada tungku dinyalakan dan kowi ditutup.

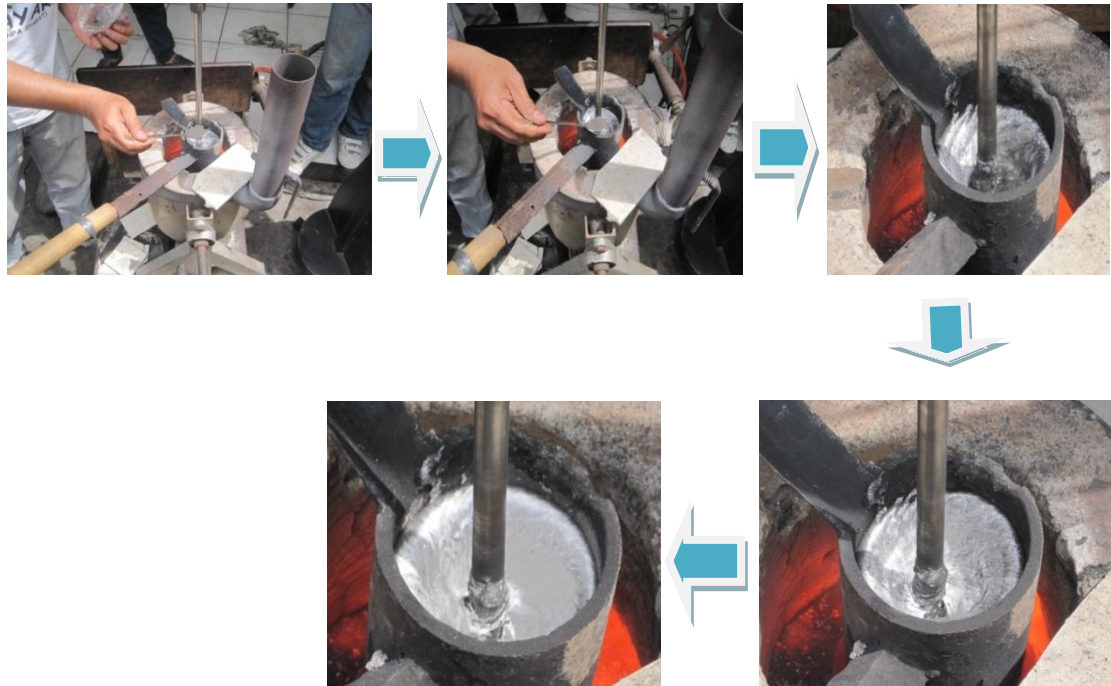


**Gambar 3.18** Proses peleburan menggunakan tungku *krusibel*.

c. Pengadukan (*Stir Cast*)

Setelah Aluminium mencair pada suhu  $660 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , hidupkan pengaduk untuk mencampurkan serbuk besi kedalam aluminium yang sudah mencair, tuang secara perlahan serbuk Fe ditepian pusran sesuai dengan prosentase serbuk Fe yang

ditimbang selama 5 menit pengadukan, agar serbuk Fe nya benar tercampur dan tidak banyak yang mengendap. Setelah itu siap untuk dituang ke dalam cetakan.



**Gambar 3.19** Proses *Stir Casting* Al dengan Fe

d. Penuangan dan Pengepresan

Sebelum penuangan cetakan dipanaskan sampai suhu tertentu. Temperatur penuangan yang digunakan adalah 700 °C. Proses penuangan dilakukan dengan cepat dan berhati-hati untuk menghindari terjadi pembekuan setelah kowi diangkat dari tungku, setelah dituang ke dalam cetakan dipres menggunakan alat pres dengan maksud untuk meminimalisir porositas. Tetapi pada saat pengepresan menemui kendala yaitu aluminium cepat sekali membeku.



**Gambar 3.20** Proses Penuangan dan Pengepresan

e. Pendinginan

Setelah dituang di dalam cetakan tunggu sampai 30 menit baru setelah itu cetakan di buka, biarkan hasil coran dingin secara sendirinya.



**Gambar 3.21** Spesimen Hasil Pengecoran

f. Pemotongan Spesimen

Dilakukan pemotongan spesimen menjadi 3 di bagian atas, tengah dan bawah setiap spesimen paduan Al-Fe dengan prosentase berat 5%, 10%, dan 15% Fe untuk pengujian perlakuan panas dengan temperature 180 °C dan waktu penahanan yang berbeda. Kemudian spesimen tersebut akan dilanjutkan pada pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi. Berikut ini merupakan hasil potongan spesimen.



**Gambar 3.22** Spesimen Hasil Pemotongan

**Tabel 3.1** Pembagian *spesimen* berdasarkan temperatur dan waktu penahanan

Spesimen		keterangan
Al-Cu-5%FA	Atas	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
	Tengah	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
	Bawah	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam

Al-Cu- 10%FA	Atas	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
	Tengah	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
	Bawah	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
Al-Cu- 15%FA	Atas	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
	Tengah	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam
	Bawah	Temperatur <i>aging</i> 180 °C waktu penahanan 1 jam,2 jam,4 jam

Tabel 3.1 di atas menjelaskan pembagian *specimen*. Setiap potongan spesimen diperlakukan pemanasan aging pada temperatur 180 °C dan holding time 1 jam, 2 jam dan 4 jam.

### 3.4 Pengujian Spesimen

#### 3.4.1 Pengujian Perlakuan Panas

Prose perlakuan panas secara keseluruhan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin universitas diponegoro. Proses ini terdiri dari tiga tahap, tahap pertama merupakan proses homogenisasi paduan, dengan menahan spesimen pada temperatur *solution treatment* menggunakan tungku *Hofmann Furnace Chamber* tipe K.

Kemudian dilanjutkan proses quenching untuk mendapatkan kondisi *super saturated solid solution  $\alpha$*  yang bersifat tidak stabil. Dan proses terakhir adalah *artificial aging* yang dilakukan dengan cara menahan kembali spesimen pada temperatur dan waktu penahanan yang bervariasi sesuai dengan tujuan penelitian. Berikut ini merupakan langkah-langkah pada pengujian perlakuan panas.

- a. Meletakkan spesimen yang akan diuji pada ruang pembakaran *Hofmann furnace chamber*, kemudian menutupnya dengan rapat.

- b. Menghidupkan mesin, kemudian melakukan pengaturan program pada *furnace* dengan mengatur temperatur pembakaran sebesar 520 °C dan waktu penahanan selama 60 menit (1 jam).
- c. Menekan tombol penguncian program, kemudian menjalankan program.
- d. Mempersiapkan media *quenching* sebelum membuka *furnace*.
- e. Setelah program selesai, segera mengambil spesimen dalam tunggu untuk dicelupkan kedalam air, proses pendinginan cepat terjadi disini.
- f. Setelah 5 menit, ambil specimen dan siap untuk dilakukan proses *artificial aging* pada *furnace* dengan temperatur 180 °C, serta variasi waktu penahanan 1 jam, 2 jam, dan 4 jam.
- g. Spesimen yang telah melalui proses *artificial aging* kemudian akan diuji kekerasan dan uji mikrografi.

#### 3.4.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Metode yang digunakan dalam pengujian kekerasan ini adalah dengan metode lekukan dengan menggunakan alat *Rockwell Hardness Tester Model HR 150-A*. Skala yang digunakan dalam pengujian ini adalah skala B (HRB). Beban minor pada pengujian ini sebesar 10 kgf sedang untuk beban mayor adalah 100 kgf. Penetrator yang digunakan adalah jenis bola baja (*steel ball*). Berikut ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan selama proses pengujian kekerasan.

- a. Menyiapkan alat dan spesimen uji.



**Gambar 3.23** Spesimen pengujian kekerasan

- b. Membersihkan permukaan spesimen, kemudian mengamplas permukaannya dengan mesin amplas untuk menghasilkan permukaan yang rata dan sejajar. Proses pengamplasan dilakukan dalam kondisi basah yaitu dengan dialiri air untuk mengurangi panas yang terjadi akibat gesekan permukaan amplas dan spesimen.
- c. Setelah permukaan spesimen rata dan sejajar, kemudian menentukan letak titik-titik pada permukaan spesimen yang akan diuji. Untuk pengujiannya diambil 5 titik pada permukaan spesimen, lalu spesimen diletakkan pada *anvil* mesin *Rockwell*.
- d. Spesimen diberi beban minor dengan cara memutar *handwheel* hingga jarum kecil pada dial indikator menunjukkan pada titik merah. Nilai beban minor yang diberikannya adalah 10 kgf.
- e. Mengatur posisi nol pada dial indikator dengan mengatur jarum besar berada di posisi huruf B/C serta mengatur pemberian beban mayor sebesar 100 kgf
- f. Menjalankan mesin *Rockwell* dengan menarik tuas *loading* maka tuas *unloading* akan bergerak. Hal ini menunjukkan bahwa pada tahapan ini, spesimen terkena beban mayor sebesar 100 kgf.
- g. Setelah tuas *unloading* berhenti bergerak, tunggu kurang lebih 1 menit, agar pembebanan yang diberikan merata.
- h. Setelah 1 menit, mengembalikan tuas *unloading* pada posisi semula.
- i. Mencatat hasil dari skala dial indikator (skala HRB) yang menunjukkan nilai kekerasan pada spesimen tersebut.
- j. Melakukan langkah kerja sebanyak 7 titik yang berbeda.

### 3.4.3 Pengujian Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Peralatan pengujian adalah mikroskop *Olympus U-MSSP4*. Berikut ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan selama proses pengujian mikrofografi.

#### a. Pemotongan (*Sectioning*)

Spesimen pertama kali harus dipotong untuk mengurangi ukuran agar sesuai dengan kebutuhan.

#### b. Pemegangan (*mounting*)

Pemegangan dilakukan untuk memudahkan dalam proses pengamplasan dan pemolesan. Ini biasanya dilakukan jika spesimen mempunyai bentuk yang tidak beraturan dan mempunyai ukuran yang kecil sehingga sulit untuk diproses selanjutnya. Pemingkaiian spesimen ini menggunakan resin.

c. Pengamplasan (*grinding*)

Pengamplasan bertujuan untuk meratakan dan mengurangi goresan pada permukaan dengan menggunakan *abrrasive papper*. Proses pengamplasan biasanya dilakukan beberapa tahap yaitu dimulai dengan menggunakan amplas yang paling kasar sampai yang paling halus. Amplas yang digunakan dalam proses ini yaitu mesh 220, 400, 800, 1000, 1500, dan 2000. Pengamplasan dilakukan dengan mesin amplas dan dalam kondisi basah yaitu dengan dialiri air untuk mengurangi panas yang terjadi akibat gesekan permukaan amplas dan spesimen.

d. Pemolesan (*polishing*)

Pemolesan bertujuan untuk menghilangkan goresan sisa pengamplasan yang terdapat pada permukaan spesimen. Pemolesan dilakukan dengan kain beludru dan maxam. Pemolesan dilakukan dengan mesin poles dan dialiri air agar kotoran hasil pengikisan permukaan spesimen hilang. Pemolesan dilakukan sampai permukaan spesimen yang akan dilihat struktur mikronya benar-benar bersih dan tidak terdapat goresan. Hal ini dilakukan agar struktur yang tampak nantinya tidak terhalang oleh adanya goresan.

e. Etsa (*etching*)

Etsa adalah mereaksikan permukaan spesimen dengan larutan kimia. Tujuan proses etsa ini adalah untuk mengkorosikan permukaan spesimen dan memberikan efek warna agar struktur mikro dapat terlihat pada mikroskop. Untuk material alumunium larutan etsa yang digunakan adalah terdiri dari 75 ml  $HCl$ , 25 ml  $HNO_3$ , 5 ml  $HF$ , dan 25 ml  $H_2O$ . Proses etsa yaitu dengan mencelupkan permukaan spesimen yang sudah dipoles ke dalam larutan selama beberapa detik setelah itu bilas dengan air dan kemudian dikeringkan. Karena larutan yang

digunakan mengandung *HF* maka spesimen minimal harus didiamkan selama 24 jam agar spesimen benar-benar bersih dari *HF*. Hal ini dilakukan karena sifat *HF* yang dapat merusak lensa pada mikroskop.

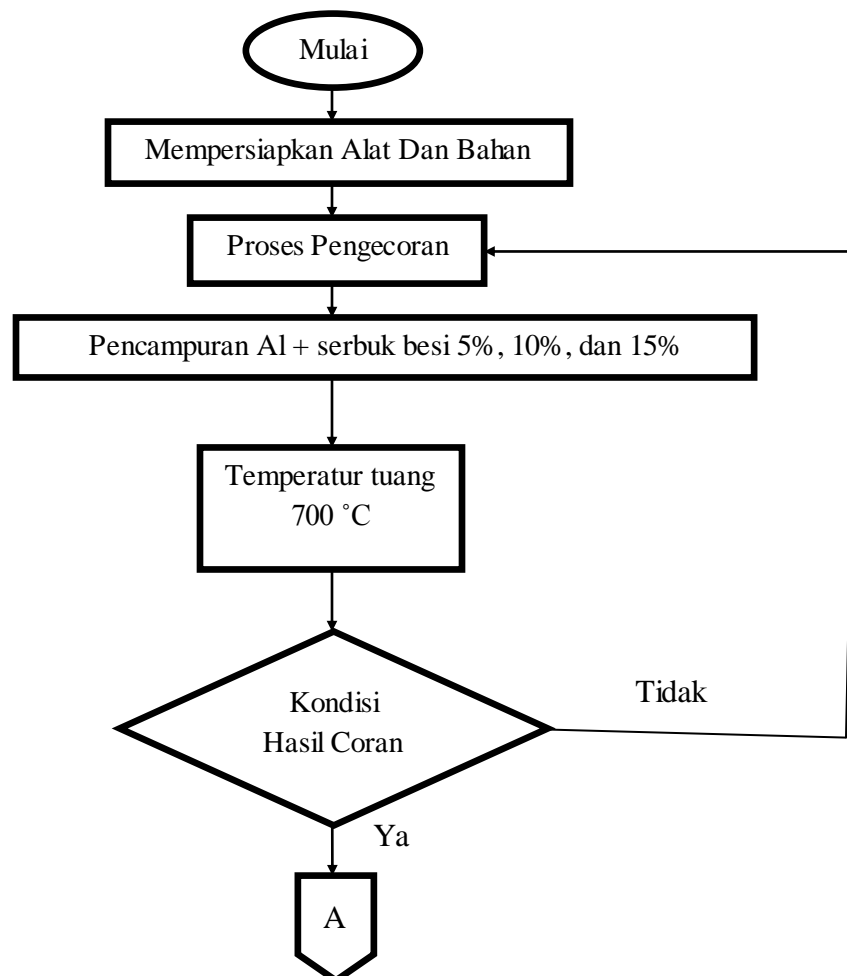
f. Foto

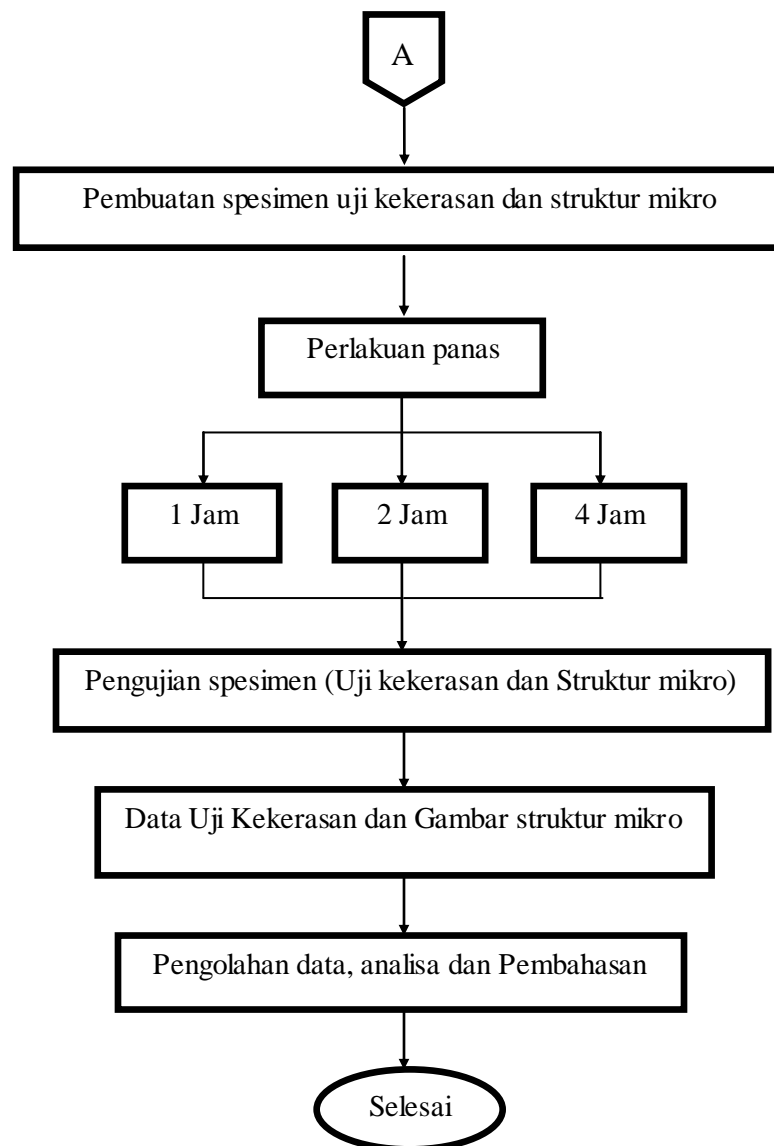
Mengamati spesimen uji sesudah dietsa dengan mikroskop optik untuk mengetahui struktur mikro yang terjadi dalam paduan aluminium seri 3xx.x dan mengambil gambar struktur mikro dengan menggunakan kamera.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini mengacu pada diagram alir sebagai berikut:

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini mengacu pada diagram alir sebagai berikut:





**Gambar 3.24** Diagram alir penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan dari diagram alir pada Gambar 3.1 di atas:

a. Mempersiapkan Alat Dan Bahan

Persiapan yang diperlukan antara lain, minimbang aluminium dan serbuk besi sesuai dengan masa yang dibutuhkan, menyambung tungku dengan tabung gas LPG dengan selang krusibel, menyiapkan cetakan, kowi, pengaduk dan cawan tuang.

b. Proses Pengecoran

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

c. Pencampuran Aluminium Ditambah Serbuk Besi

Mencampurkan 5, 10, dan 15 (%) serbuk Fe pada saat proses stir casting untuk memperkuat aluminium.

d. Temperatur Tuang

Untuk mengetahui perbedaan pencampuran antara aluminium dengan serbuk besi pada saat di tuang pada cetakan.

e. Kondisi Hasil Coran

Pada tahap ini pemeriksaan kondisi hasil pengecoran diteliti apakah layak untuk diuji atau tidak. Kelayakan hasil coran ini dilihat dari porositas dan cacat.

f. Pembuatan Spesimen Untuk Uji Kekerasan dan Uji Mikrografi

Pemotongan spesimen yang lebih kecil dilakukan untuk memudahkan dalam pengujian, pemotongan dilakukan menggunakan mesin gergaji potong.

g. Perlakuan panas

Proses perlakuan panas dilakukan dengan metode pemanasan Al-Fe yang dipanaskan dengan pengaturan temperatur pemanasan 520 °C dengan waktu penahanan 1 jam (quenching).

h. Melakukan pengujian kekerasan dan pengujian mikrografi

Pengujian nilai kekerasan dilakukan pada tiap spesimen yang telah *aging* dengan temperature 180 °C dan waktu penahanan yang berbeda, serta melihat struktur mikro pada spesimen yang memiliki kekerasan yang meningkat.

i. Pengolahan data, analisa dan pembahasan

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

j. Kesimpulan dan Saran

Mengambil kesimpulan dari hasil penelitian serta membandingkan dengan literatur yang telah dipelajari untuk dapat menjawab tujuan dari penelitian.