

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Hasil teknologi dengan kualitas yang baik tentunya membutuhkan pengolahan bahan teknik dengan kombinasi yang sempurna sehingga dapat menciptakan material baru yang mempunyai kualitas tingkat tinggi. Akhir-akhir ini perkembangan material banyak menjadi sorotan di dunia industri, khususnya untuk *material advance*, misalnya komposit aluminium atau paduan super lainnya. Banyak sekali pengaplikasian aluminium dalam pembuatan bahan konstruksi umum dan alat-alat permesinan ataupun peralatan-peralatan lain dalam pabrik yang pemilihan bahannya belum sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan, misalnya diperlukan sifat yang kuat, keras, ringan, dan tahan pada temperatur tinggi pada pemakaiannya. Sehingga banyak dikembangkan material-material komposit atau paduan super lainnya untuk menjawab permasalahan tersebut.

Di dalam penelitian ini akan ditekankan pembuatan material komposit logam yang berbasis aluminium dengan serbuk besi sebagai penguatnya dengan alasan banyak terdapat di alam dan mudah diolah, juga untuk menekan biaya produksi [14]. Bahan komposit logam ini nantinya merupakan alternatif untuk pengganti material lain. Aluminium merupakan material yang banyak digunakan pada berbagai komponen mesin terutama dalam bentuk paduan karena berbagai keunggulan sifatnya dibanding material lain. Beberapa keunggulannya adalah tahan korosi, ringan, konduktifitas listrik baik, konduktifitas panas baik dan sifat dekoratif [10]. Material tersebut harus memiliki persyaratan yang memadai seperti biaya lebih murah, ringan namun memiliki kualitas yang baik / unggul. Dengan berkembangnya teknologi material persyaratan tersebut mampu dipenuhi oleh material komposit yaitu *Aluminium-Metal Matrix Composites (AMCs)*. *AMCs* memiliki densitas yang lebih rendah, tahan korosi, kekuatan dan elastisitas lebih baik sehingga sifat mekanik yang diinginkan dapat diatur tergantung dari kombinasi matrik, penguat dan *interface*. Keunggulan inilah yang menjadi fokus perhatian utama para peneliti untuk menjadikan *AMCs* sebagai bahan pengganti material konvensional [19].

Berawal dari pengertian komposit tersebut, maka komposit *Al/Fe* diharapkan dapat menggabungkan sifat terbaik dari matriks aluminium (*Al*) sebagai material yang ringan, keuletan, serta ketahanan korosi tinggi dengan penguat serbuk besi (*Fe*) yang memiliki kekerasan tinggi (*hard*), kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) tinggi. Pengaruh meningkatnya fraksi volume dapat meningkatkan keausan, densitas, kekerasan dan kekuatan material. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini akan menganalisa kekerasan dan kekuatan *bending* komposit *Al/Fe* yang dibuat dengan proses pengecoran *stir casting*, dengan parameter fraksi massa *Fe*, temperatur tuang, dan waktu yang telah ditentukan [10].

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh temperatur tuang terhadap distribusi serbuk besi pada komposit aluminium diperkuat serbuk besi dengan parameter temperatur penuangan 700 °C, 725 °C, dan 750 °C dengan fraksi berat serbuk besi 5%, 10%, dan 15%, kecepatan pengaduk konstan 250 rpm dan waktu pengadukan 5 menit. Penelitian ini meliputi uji kekerasan pada sisi bagian atas, tengah, dan bawah pada tiap batang spesimen dan uji lentur (*bending*) pada tiap batang spesimen.

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh penulis dengan mengajukan judul tugas akhir seperti tersebut di atas adalah sebagai berikut:

1. Meneliti pengaruh fraksi berat serbuk penguat dan temperatur tuang terhadap kekerasan komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi.
2. Meneliti pengaruh fraksi berat serbuk penguat dan temperatur tuang terhadap kekuatan lentur (*bending*) komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi.

## 1.4 Batasan Masalah

Agar tujuan yang diinginkan dapat dicapai dengan maksimal, maka lingkup pembahasan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang diuji adalah komposit aluminium yang diperkuat dengan serbuk besi menggunakan proses *stir casting*.
2. Komposisi bahan menggunakan serbuk besi dengan fraksi berat dan temperatur tuang (*Al/Fe* 5% - 700 °C, *Al/Fe* 5% - 725 °C, *Al/Fe* 5% - 750 °C), (*Al/Fe* 10% - 700 °C, *Al/Fe* 10% - 725 °C, *Al/Fe* 10% - 750 °C), dan (*Al/Fe* 15% - 700 °C, *Al/Fe* 15% - 725 °C, *Al/Fe* 15% - 750 °C) dengan kecepatan pengaduk konstan 250 rpm dan waktu pengadukan 5 menit.
3. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan *Rockwell* pada sisi bagian atas, tengah, dan bawah pada tiap batang spesimen (Standar ASTM E 18 – 00) dan uji lentur (*bending*) tiga-titik pada tiap batang spesimen (Standar ASTM C1161 - 94).

### 1.5 Metode Penelitian

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

#### 1. 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 akhir ini.

#### 2. Penyiapan Spesimen Uji

Penyiapan aluminium batangan untuk, serbuk besi sebagai bahan penguat dengan fraksi massa 5%, 10% dan 15%, dan proses pencampuran aluminium dengan penguat serbuk besi dilakukan melalui proses *stir casting* dengan variasi temperatur tuang 700° C, 725° C dan 750° C dengan waktu pengadukan sekitar 5 menit dan kecepatan 250 rpm.

#### 3. Metode Eksperimen

Merupakan metode yang digunakan pada saat proses penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam penyusunan tugas akhir. Proses ini meliputi pengujian kekerasan *Rockwell* dengan menggunakan alat *Rockwell hardness tester model HR-150A* dan pengujian *bending* menggunakan *bending Torsie's Universal Testing Machine*

#### 4. 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, grafik, dan foto.

#### 5. Bimbingan dan Konsultasi

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

### 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk kemudahan penyusunan tugas akhir ini, maka penulisan laporan dapat dibagi menjadi 5 bab yaitu sebagai berikut: Bab I pendahuluan berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II dasar teori berisi tentang landasan teori yang berisi penjelasan mengenai aluminium, besi, komposit, aluminium-*metal matrix composites* serta pengujian material. Bab III pengumpulan dan pengolahan data penelitian berisi tentang diagram alir penelitian, peralatan yang digunakan, persiapan bahan, pembuatan spesimen, dan proses pengujian spesimen yaitu pengujian kekerasan *Rockwell* dan pengujian *bending* tiga-titik. Bab IV hasil dan pembahasan berisi tentang pembahasan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan dan pengaruh komposit aluminium yang diperkuat serbuk besi dengan variasi temperatur tuang  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $725^{\circ}\text{C}$  dan  $750^{\circ}\text{C}$  dan fraksi massa *Fe* 5%, 10% dan 15%, serta analisa data uji kekerasan dan uji *bending* untuk mengetahui sifat mekanik komposit *Al/Fe*. Bab V kesimpulan dan saran berisi tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil analisa pada bab-bab sebelumnya dan diakhiri dengan daftar pustaka dan lampiran.

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 Aluminium

Pada tahun 1884 aluminium masih menjadi barang yang sangat langka dan berharga, saat itu aluminium seberat 6 pon berbentuk setengah lingkaran diletakkan di bagian puncak *Monument of Washington* di Amerika dan hingga saat ini masih bertahan. Namun 100 tahun kemudian sampai sekarang aluminium menjadi barang yang paling banyak digunakan didunia setelah besi. Saat ini semua paduan aluminium masih terus diteliti oleh banyak industri di dunia dengan mencampurkan unsur lain seperti tembaga (*Cu*), besi (*Fe*), magnesium (*Mg*), mangan (*Mn*), dan lain sebagainya sehingga membentuk paduan yang baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Saat ini aluminium menjadi logam kedua yang sering digunakan setelah besi dalam berbagai industri di dunia [18]. **Gambar 2.1** menunjukkan contoh aluminium murni.



**Gambar 2.1** Aluminium Murni [17]

Aluminium murni 100% tidak memiliki kandungan unsur apapun selain aluminium itu sendiri, namun aluminium murni yang dijual di pasaran tidak pernah mengandung 100% aluminium, melainkan selalu ada pengotor yang terkandung di dalamnya. Pengotor yang mungkin berada di dalam aluminium murni biasanya adalah gelembung gas di dalam yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pegecoran yang tidak sempurna, material cetakan akibat kualitas

cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat kualitas bahan baku yang tidak baik (misalnya pada proses daur ulang aluminium). Umumnya, aluminium murni yang dijual dipasaran adalah aluminium murni 99%, misalnya aluminium foil [18].

### 2.1.1 Sifat-Sifat Aluminium

Perlu diketahui aluminium merupakan logam yang paling banyak terkandung di kerak bumi. Aluminium terdapat di kerak bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi, dengan produksi tahunan dunia sekitar 30 juta ton pertahun dalam bentuk bauksit dan bebatuan lain. Saat ini aluminium berkembang luas dalam banyak aplikasi industri seperti industri otomotif, rumah tangga, maupun elektrik, karena beberapa sifat dari aluminium itu sendiri, yaitu [18] :

#### 1. Ringan

Aluminium memiliki sifat ringan, bahkan lebih ringan dari magnesium dengan densitas sekitar 1/3 dari densitas besi. Kekuatan dari paduan aluminium dapat mendekati dari kekuatan baja karbon dengan kekuatan tarik 700 Mpa (100 ksi). Kombinasi ringan dengan kekuatan yang cukup baik membuat aluminium sering diaplikasikan pada kendaraan bermotor, pesawat terbang, alat-alat konstruksi seperti tangga, maupun pada roket.

#### 2. Mudah dalam pembentukannya

Aluminium merupakan salah satu logam yang mudah untuk dibentuk dan mudah dalam fabrikasi seperti *forging*, *bending*, *rolling*, *casting*, *drawing*, dan *machining*. Struktur kristal yang dimiliki aluminium adalah struktur kristal *FCC (Face Centered Cubic)*, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah. Bahan aluminium mudah dibentuk menjadi bentuk yang kompleks dan tipis sekalipun, seperti bingkai jendela, lembaran aluminium foil, rel, gording, dan lain sebagainya.

#### 3. Tahan terhadap korosi

Aluminium tahan terhadap korosi karena fenomena pasivasi. Pasivasi adalah pembentukan lapisan pelindung akibat reaksi logam terhadap komponen udara sehingga lapisan tersebut melindungi lapisan dalam logam dari korosi. Hal

tersebut dapat terjadi karena permukaan aluminium mampu membentuk lapisan alumina ( $Al_2O_3$ ) bila bereaksi dengan oksigen.

4. Konduktifitas panas tinggi

Konduktifitas panas aluminium tiga kali lebih besar dari besi, maupun dalam pendinginan dan pemanasan. Sehingga aplikasi banyak digunakan pada radiator mobil, koil pada evaporator, alat penukar kalor, alat-alat masak, maupun komponen mesin.

5. Konduktifitas listrik tinggi

Konduktifitas listrik dari aluminium dua kali lebih besar dari pada tembaga dengan perbandingan berat yang sama. Sehingga sangat cocok digunakan dalam kabel transmisi listrik.

6. Tangguh pada temperatur rendah

Aluminium tidak menjadi getas pada temperatur rendah hingga  $-100\text{ }^\circ\text{C}$ , bahkan menjadi lebih keras dan ketangguhan meningkat. Sehingga aluminium dapat digunakan pada material bejana yang beroperasi pada temperatur rendah.

7. Tidak beracun

Aluminium tidak memiliki sifat racun pada tubuh manusia, sehingga sering digunakan dalam industri makanan seperti kaleng makanan dan minuman, serta pipa-pipa penyalur pada industri makanan dan minuman.

8. Mudah didaur ulang (*recyclability*)

Aluminium mudah untuk didaur ulang, bahkan 30% produksi aluminium di Amerika berasal dari aluminium yang didaur ulang. Pembentukan kembali aluminium dari material bekas hanya membutuhkan 5% energi dari pemisahan aluminium dari bauksit.

Diantara kelebihan aluminium juga memiliki beberapa kekurangan yaitu kekuatan dan kekerasan yang rendah bila dibanding dengan logam lain seperti besi dan baja. Sifat-sifat fisik aluminium dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** Sifat Fisik Aluminium [5]

<i>Element</i>	<i>Symbol</i>	<i>Atomic weight</i>	<i>Melting point (°C)</i>	<i>Boiling Point (°C)</i>	<i>Latent heat of Fusion</i>		<i>Mean specific heat 0-100°C</i>	
					<i>(kJ/kg)</i>	<i>(cal/g)</i>	<i>(kJ/kg.K)</i>	<i>(cal/g°C)</i>
Aluminium	Al	26,97	660,4	2520	386,8	92,4	0,917	0,219

<i>Thermal Conductivity (W/m.K)</i>	<i>Resistivity (μohm.cm at 20°C)</i>	<i>Vol. Change on melting (%)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Coeff. Of Expansion (x10<sup>-6</sup>/K)</i>	<i>Brinell Hardness no.</i>
238	2,67	6,6	2,70	23,5	17

### 2.1.2 Aluminium dan Paduannya

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 [24, 18].

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

Paduan aluminium dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu paduan tempa (*wrought alloy*) dan paduan cor (*cast alloy*). Keduanya memiliki jenis-jenis yang berbeda dengan disimbolkan kode yang telah distandarisasi oleh ANSI H35.1 *alloy and temper designations for aluminum* [18].

### a) Paduan Tempa (*Wrought Alloy*)

Pada paduan tempa menggunakan sistem penamaan empat angka. Angka pertama menyatakan kandungan unsur paduan utama. Angka kedua menotasikan modifikasi dari paduan, sebagai contoh paduan aluminium seri 6463 merupakan modifikasi dari 6063 dengan sedikit perbedaan unsur paduan lain seperti besi, mangan, dan crom [24, 18].

#### 1. Seri 1xxx (*pure Al*)

Merupakan aluminium murni yang mengandung 99% aluminium dan 1% pengotor. Memiliki konduktifitas panas dan listrik yang sangat baik, serta memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi. Aluminium seri ini memiliki kekuatan yang rendah. Dua digit terakhir dari nomor paduan menotasikan dua desimal dari presentasi kandungan aluminium. Contohnya aluminium seri 1060, berarti memiliki kandungan 99,60% aluminium.

#### 2. Seri 2xxx (*Al-Cu*)

Kandungan unsur utama pada seri ini adalah tembaga, tetapi magnesium dan sejumlah kecil elemen lain juga ditambahkan pada paduan ini. Penambahan tembaga meningkatkan kekerasan tetapi menurunkan ketahanan terhadap korosi. Paduan seri 2024 (*super duralimin*) merupakan paduan yang paling terkenal dan sering dipakai pada badan pesawat terbang. Penambahan tembaga mengurangi mampu las dari aluminium. 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.

#### 3. Seri 3xxx (*Al-Mn*)

*Manganese* merupakan elemen paduan utama pada seri ini. *Mn* dapat mengeraskan sebesar 20% dari aluminium murni, meningkatkan ketahanan korosi dan mampu potong yang baik. Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, sehingga kenaikan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin pada proses pembuatannya. Aluminium seri ini sering digunakan pada produk-produk arsitektur seperti *slides bar*, rangka atap, dan lain sebagainya.

#### 4. Seri 4xxx (*Al-Si*)

Silikon sebagai kandungan utama paduan dapat menurunkan titik lebur pada pengelasan dan pelapisan. Silikon juga meningkatkan mampu alir aluminium pada proses pengecoran. Konsentrasi silikon lebih tinggi dari 15%, tingkat kerapuhan logam akan meningkat secara drastis akibat terbentuknya kristal granula silika. Paduan *Al-Si* termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan.

#### 5. Seri 5xxx (*Al-Mg*)

Penambahan unsur magnesium akan meningkatkan kekuatan, ketahanan terhadap korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu las yang baik. Seri ini banyak diaplikasikan pada industri perkapalan. penambahan magnesium hingga 15,35% dapat menurunkan titik lebur logam paduan yang cukup drastis, dari 660 °C hingga 450 °C. Keberadaan magnesium juga menjadikan logam paduan dapat bekerja dengan baik pada temperatur yang sangat rendah, dimana kebanyakan logam akan mengalami kegagalan pada temperatur tersebut.

#### 6. Seri 6xxx (*Al-Mg-Si*)

Elemen paduan untuk 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 dan biasanya diproduksi dalam bentuk ekstrusi, lembaran, atau pelat.

#### 7. Seri 7xxx (*Al-Zn*)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Seri ini terdapat dua jenis paduan, paduan *Al-Zn-Mg* (7005) dan paduan *Al-Zn-Mg-Cu* (7075 dan 7178). Pada seri ini terdapat paduan yang terkenal dengan kekuatannya hingga 580 MPa yaitu seri 7178 atau sering disebut *ultra duralumin* yang digunakan untuk struktur rangka pesawat dan komponen struktural. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu las dan daya tahannya terhadap korosi kurang baik.

### 8. Seri 8xxx (*Al-Fe-Ni*)

Besi dan nikel merupakan unsur utama pada paduan ini. Kandungan besi dan nikel dapat meningkatkan kekuatan tarik dan mengurangi sedikit konduktivitas listrik.

Pada **Tabel 2.2** menjelaskan tentang karakteristik pada aluminium paduan tempa (*wrought*) untuk beberapa seri yang telah dijelaskan sebelumnya.

**Table 2.2** Kelompok Paduan Al Tempa (*Wrought Alloys*) [18]

Series Number	Primary Alloying Element	Relative Corrosion Resistance	Relative Strength	Heat Treatment
1xxx	None	Excellent	Fair	Non-heat-treatable
2xxx	Copper	Fair	Excellent	Heat treatable
3xxx	Manganese	Good	Fair	Non-heat-treatable
4xxx	Silicon	—	—	Non-heat-treatable
5xxx	Magnesium	Good	Good	Non-heat-treatable
6xxx	Magnesium and silicon	Good	Good	Heat-treatable
7xxx	Zinc	Fair	Excellent	Heat-treatable

#### b) Paduan Cor (*Cast Alloy*)

Pada aluminium paduan cor memiliki lebih banyak variasi unsur paduan dibanding dengan aluminium paduan tempa. Hal tersebut disebabkan pada paduan cor memiliki struktur mikro yang lebih homogen dibanding paduan tempa. Paduan cor biasanya memiliki kandungan silikon yang lebih tinggi untuk meningkatkan fluiditas pada saat pengecoran.

Aluminium paduan cor juga menggunakan kode penomoran dengan 4 digit, seperti paduan tempa. Namun pada paduan cor memiliki 1 digit desimal pada akhir penomoran. Digit pertama menunjukkan kandungan unsur utama pada paduan. Digit ke 2 dan ke 3 menunjukkan level kemurnian dari dari paduannya. Sedangkan angka terakhir yang dipisahkan dengan tanda desimal merupakan bentuk hasil pengecorannya, misalnya *casting* (0) atau ingot (1, 2) [18].

1. Seri 1xx.x (*pure Al*)

Seri ini mengandung aluminium murni dengan kadar minimum 99% aluminium.

2. Seri 2xx.x (*Al-Cu*)

Kandungan paduan utama pada seri ini adalah tembaga, penambahan *Cu* menghasilkan paduan cor yang bersifat keras. Paduan seri ini sering digunakan pada peralatan mesin, pesawat terbang, dan beberapa komponen mesin. Paduan 203.0 memiliki kekuatan yang paling tinggi pada temperatur tinggi dan cocok digunakan pada daerah operasi 200 °C.

3. Seri 3xx.x (*Al-Si-Cu-Mg*)

Paduan seri ini mengandung unsur paduan utama silikon dengan tembaga atau dengan magnesium, atau keduanya. Seri ini memiliki fluiditas yang baik, dan kekerasan yang tinggi. Jenis paduan ini paling banyak digunakan di seluruh industri di dunia. Contohnya adalah paduan AA356.0 merupakan paduan yang sangat populer dan banyak digunakan diberbagai aplikasi. Kandungan silicon yang tinggi juga meningkatkan keausan material, sering digunakan pada blok mesin dan piston kendaraan.

4. Seri 4xx.x (*Al-Si*)

Silikon sebagai kandungan utama paduan memiliki sifat mampu alir yang sangat baik pada paduan cor. Sering digunakan pada proses pengecoran dengan bentuk geometri benda kerja yang rumit. Unsur silikon juga menambah ketahanan terhadap korosi. Paduan cor seri 444.0 memiliki kekuatan yang sedang dengan keuletan yang tinggi.

5. Seri 5xx.x (*Al-Mg*)

Penambahan unsur magnesium (*Mg*) akan meningkatkan ketahanan terhadap korosi, terutama terhadap air laut. Memiliki sifat *machinability* yang baik, namun sulit dalam proses pengecoran karena menurunkan fluiditas. Aplikasi banyak digunakan untuk bahan material pada kapal-kapal laut, serta industri perkapalan.

6. Seri 6xx.x

Paduan jenis ini tidak digunakan.

### 7. Seri 7xx.x (Al-Zn)

Unsur paduan utama adalah seng (Zn), sulit untuk dicor karena fluiditas rendah, sehingga dalam proses *finishing* perlu proses pemesinan yang lebih banyak dibanding seri lain. Jenis seri ini memiliki keseimbangan antara kekuatan dengan ketahanan terhadap korosi, namun tidak dapat beroperasi pada temperatur tinggi.

### 8. Seri 8xx.x (Al-Sn)

Seri ini mengandung paling banyak 6% timah dan sangat baik digunakan untuk material *bearing*. Paduan jenis ini juga baik digunakan pada *rolling mill bearing*, *connecting rod*, dan *crankcase bearing* pada mesin diesel.

### 9. Seri 9xx.x

Paduan jenis ini tidak digunakan.

**Tabel 2.3** berikut ini menjelaskan karakteristik dari paduan aluminium cor yang telah dijelaskan sebelumnya serta penggunaannya dalam dunia industri.

**Tabel 2.3** Kelompok Paduan Al Cor (*Casting Alloys*) [24]

<b>Group</b>	<b>Major Alloying Addition(s)</b>	<b>General Characteristics, Typical Uses</b>
1yy.x	Unalloyed Al of 99.00% purity or higher, yy digits designate purity level	Highest conductivity and ductility, low strength; conductor bars for electric motors
2xx.x	Cu (extra low Fe)	Heat treatable, high strength, mediocre corrosion resistance; pistons, cylinder heads, valve bodies, gears
3xx.x	Si, with added Cu and/or Mg	The most widely used casting alloys, good castability, heat treatable, higher strength than 4xx.x; machine tool parts, aircraft wheels, pistons, transmission casings.
4xx.x	Si	General purpose casting alloys, best castability, non-heat-treatable, good corrosion resistance; intricate castings with thin sections, housings, frames, engine parts
5xx.x	Mg	Medium strength, non-heat-treatable, good corrosion resistance; marine components, food-processing vessels, architectural trim
6xx.x	(unused series)	
7xx.x	Zn	Natural aging alloys, capable of producing good surface finish and good corrosion resistance, more difficult to cast
8xx.x	Sn	
9xx.x	Other element(s)	Specialty alloys; bearings and bushings

## 2.2 Besi

Untuk pengujian kali ini menggunakan serbuk besi sebagai tambahan penguatnya, yang nanti akan ditambahkan ke dalam komposit aluminium saat proses *stir casting* berlangsung. Besi memiliki simbol (*Fe*) dan merupakan logam berwarna putih keperakan, liat dan dapat dibentuk. Besi (*Fe*) adalah logam yang dihasilkan dari bijih besi, dan jarang dijumpai dalam keadaan bebas, untuk mendapatkan unsur besi, campuran lain harus dipisahkan melalui penguraian kimia. Besi digunakan dalam proses produksi besi baja, yang bukan hanya unsur besi saja tetapi dalam bentuk *alloy* (campuran beberapa logam dan bukan logam). Besi adalah logam yang memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia di bumi disamping karena kelimpahannya yang cukup banyak di alam, besi relatif murah, mudah didapat, sangat berguna dan merupakan logam yang sangat penting. pemanfaatan logam besi sangatlah luas bila dibandingkan dengan pemanfaatan dari logam-logam yang lain [12].

### 2.2.1 Sifat-Sifat Besi

Logam murni besi sangat reaktif secara kimiawi dan mudah terkorosi, khususnya di udara yang lembab atau ketika terdapat peningkatan suhu. Memiliki 4 bentuk *allotroik ferit*, yakni alfa, beta, gamma dan omega dengan suhu transisi 700, 928, dan 1530 °C. Bentuk alfa bersifat magnetik, tapi ketika berubah menjadi beta, sifat magnetnya menghilang meski pola geometris molekul tidak berubah. Salah satu kelemahan besi adalah mudah mengalami korosi. Korosi menimbulkan banyak kerugian karena mengurangi umur pakai berbagai barang atau bangunan yang menggunakan besi [12].

Secara garis besar besi mempunyai dua sifat yaitu sifat fisika dan sifat kimia, untuk lebih jelasnya bisa kita lihat pada **tabel 2.4**, **tabel 2.5**, dan **tabel 2.6** berikut.

**Tabel 2.4** Sifat Fisika Besi [14]

Fase	Padat
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** Sifat Kimia Besi [14]

<b>Keterangan Umum Unsur</b>	
Nama, Lambang, Nomor atom	Besi, <i>Fe</i> , 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 <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
Jumlah elektron tiap kulit	2, 8, 14, 2

**Tabel 2.6** Sifat Lain-Lain Besi [14]

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 Mohs	4,0
Kekerasan <i>Vickers</i>	608 Mpa
Kekerasan <i>Brinell</i>	490 Mpa

### 2.3 Komposit

Material komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua atau lebih bahan yang berbeda, tetapi memiliki ikatan antar keduanya. Komposit digunakan tidak hanya untuk sifat struktural benda, tetapi juga untuk listrik, termal, tribologi, dan aplikasi di lingkungan. Material komposit yang dihasilkan memiliki keseimbangan sifat struktural yang lebih unggul dibanding bahan utamanya [2].

Kebanyakan komposit terdiri dari dua material material penguat disebut *filler* dan material matriks. Material *filler* memberikan kekakuan dan kekuatan, sedangkan material matriksnya menahan material bersama dan membantu perpindahan beban pada penguatan yang terputus [10].

Komposit matrik logam dapat dibuat dengan metoda pengecoran ataupun dengan metoda metalurgi serbuk. Namun untuk metode pengecoran mempunyai kendala yaitu sulit membuat komposit homogen, karena partikel penguat biasanya mengendap atau mengapung yang disebabkan beda berat jenis. Sedangkan dengan metode metalurgi serbuk dapat dilakukan dengan mencampurkan serbuk matrik logam dan penguat hingga diperoleh campuran yang homogen. Campuran tersebut kemudian dikompaksi dengan tekanan tertentu dan kemudian disinter dengan

temperatur tertentu sehingga akan diperoleh penggabungan partikel serbuk dan penguat. Tujuan dibentuknya komposit salah satunya adalah memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu [10].

Berikut ini adalah tujuan dari dibentuknya komposit, yaitu sebagai berikut [13]:

1. Memperbaiki sifat mekanik dan/atau sifat spesifik tertentu.
2. Mempermudah design yang sulit pada manufaktur.
3. Keleluasaan dalam bentuk/design yang dapat menghemat biaya.
4. Menjadikan bahan lebih ringan.

Berdasarkan bahan matriks yang digunakan, maka komposit dapat diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu [20] :

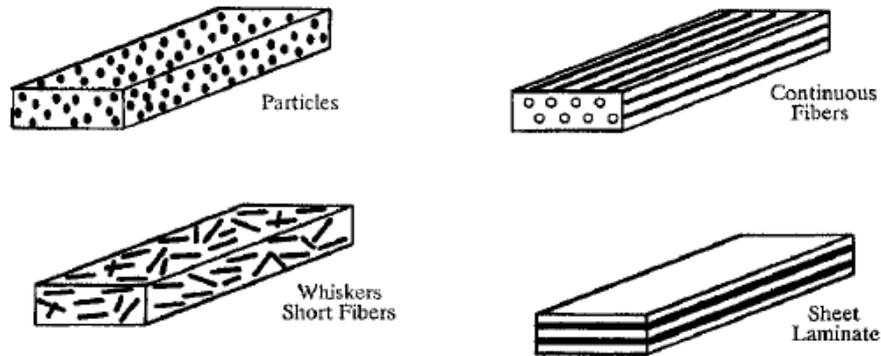
- a. Komposit matriks logam (*Metal Matrix Composite / MMCs*), yaitu mempunyai matriks dari logam (aluminium, magnesium, besi, kobalt, tembaga) dan keramik tersebar (oksida, karbida) .
- b. Komposit matriks polimer (*Polimer Matrix Composite / PMCs*), yaitu jenis komposit dengan matrik dari bahan polimer, termoplastik (*PVC, nylon, polysterene*) dan kaca tertanam, karbon, baja atau serat *kevlar*.
- c. Komposit matriks keramik (*Ceramics Matrix Composite / CMCs*), yaitu komposit dengan matrik dari bahan keramik.

Sedangkan berdasarkan jenis penguatnya / *reinforcement*, maka material komposit dapat dijelaskan sebagai berikut [20] :

- a. *Particulate composite*, yaitu komposit dengan penguat berupa partikel/serbuk yang tersebar pada semua luasan dan segala arah dari komposit
- b. *Fibrous composite*, yaitu komposit yang hanya terdiri dari satu lamina atau satu lapis dan berpenguat *fiber*. *Fiber* yang digunakan untuk menguatkan matriks dapat pendek, panjang, atau kontinyu. Berdasarkan jenis seratnya dibedakan atas:
  - Serat kontinyu : Dengan orientasi serat yang bermacam-macam antara lain arah serat satu arah (unidireksional), dua arah (biaksial), tiga arah (triaksial).
  - Serat diskontinyu : Serat menyebar dengan acak sehingga sifat mekaniknya tidak terlalu baik jika dibandingkan dengan serat kontinyu.
- c. *Laminate composite*, yaitu komposit yang berlapis-lapis, paling sedikit terdiri dari dua lapis yang digabung menjadi satu, dimana setiap lapisan pembentuk memiliki

karakteristik sifat tersendiri.

**Gambar 2.2** menunjukkan contoh komposit berdasarkan jenis penguatnya (*reinforcement*).



**Gambar 2.2** Berbagai Jenis Komposit Berdasar Penguatnya [8]

### 2.3.1 Kelebihan dan Kekurangan Komposit

Bahan komposit mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan logam murni. Kelebihan tersebut pada umumnya dapat dilihat dari sifat mekanik dan fisik, serta biaya yaitu [13]:

#### a) Sifat-sifat mekanik dan fisik

1. Bahan komposit mempunyai densitas yang lebih rendah dibanding dengan logam tanpa penguat. Hal ini memberikan alasan yang penting dalam penggunaannya karena komposit mempunyai kekuatan dan kekakuan spesifik yang lebih tinggi dari logam tanpa penguat. Bahan komposit yang dihasilkan akan mempunyai kerut yang lebih rendah dari logam. Pengurangan berat dalam komposit merupakan satu aspek yang penting dalam industri pembuatan seperti otomotif dan pesawat luar angkasa. Hal ini karena berhubungan dengan penghematan bahan bakar.
2. Dalam industri pesawat luar angkasa terdapat kecenderungan untuk mengganti komponen yang terbuat dari logam tanpa penguat dengan komposit karena komposit mempunyai ketahanan yang baik terhadap *fatigue*, terutama komposit yang menggunakan penguat serat karbon.
3. Kelemahan logam tanpa penguat adalah tingkat pengikisan yang tinggi seiring lamanya waktu penggunaan terutama produk yang dibuat untuk kebutuhan sehari-hari. Kecendrungan komponen logam tanpa penguat mudah untuk

mengalami pengikisan menyebabkan biaya produksi yang tinggi. Bahan komposit dibuat supaya tahan terhadap pengikisan atau keausan.

4. Bahan komposit mempunyai kelebihan dari segi *versatility* (berdaya guna) yaitu produk yang mempunyai gabungan sifat-sifat yang menarik yang dapat dihasilkan dengan mengubah sesuai jenis matriks dan penguat yang digunakan. Contoh dengan menggabungkan lebih dari satu penguat dengan matriks untuk menghasilkan komposit hibrid.
  5. Massa jenis rendah (ringan).
  6. Lebih kuat dan lebih ringan.
  7. Perbandingan kekuatan dan berat yang menguntungkan.
  8. Lebih kuat, ulet, dan tidak getas.
  9. Koefisien pemuaian yang rendah.
  10. Tahan terhadap cuaca.
  11. Tahan terhadap korosi.
  12. Mudah diproses (dibentuk).
  13. Lebih mudah dibanding metal.
- b) Faktor biaya juga mempunyai peranan yang sangat penting dalam membantu perkembangan industri komposit. Biaya yang berkaitan erat dengan penghasilan suatu produk yang seharusnya memperhitungkan beberapa aspek seperti biaya bahan mentah, pemrosesan, tenaga, dan sebagainya

Ada beberapa kekurangan yang dimiliki oleh material komposit ini, antara lain:

1. Tidak tahan terhadap beban shock (kejut) dan crash (tabrak) dibandingkan dengan metal.
2. Kurang elastis.
3. Lebih sulit dibentuk secara plastis.

#### **2.4 Aluminium-Metal Matrix Composites / AMCs**

Keuntungan utama dari *Aluminium Matrix Composites* dibandingkan dengan logam-logam lain yang tanpa penguat [23] :

- 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. *Management* arus panas.
- g. Meningkatkan dan menyesuaikan performansi listrik.
- h. Meningkatkan resistensi keausan dan goresan/abrasi.
- i. Sangat banyak mengontrol (khususnya pada aplikasi yang berlawanan).
- j. Meningkatkan kemampuan lembab / *damping*.

*Aluminium matrix composites* memberikan 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 2.7**.

**Tabel 2.7** Kelebihan dan Kekurangan *Aluminium Matrix Composites / AMCs* [9]

<i>Advantage</i>	<i>Disadvantage</i>
<b><i>Compared to Un-Reinforced Aluminium Alloys:</i></b>	
<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 creep resistance</i>	
<i>Improved wear resistance</i>	
<b><i>Compared to Polymer Matrix Composite:</i></b>	
<i>Higher transverse strength</i>	<i>Less developed technology</i>
<i>Higher toughness</i>	<i>Smaller data base of properties</i>
<i>Better damage tolerance</i>	<i>Higher cost</i>
<i>Improved environmental resistance</i>	
<i>Higher thermal and electrical conductivity</i>	
<i>Higher temperature capability</i>	
<b><i>Compared to Ceramic Matrix Composites:</i></b>	
<i>Higher toughness and ductility</i>	<i>Inferior high temperature capability</i>
<i>Ease of fabrication</i>	
<i>Lower cost</i>	

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

1. *Continuous fibre reinforced composites* dengan *monofilament* (memiliki diameter  $>100 \mu\text{m}$ ) atau dengan *tows of fibres* (diameter  $>20 \mu\text{m}$ ).
2. *Discontinuous reinforced composite* dengan *short fibre, whisker* atau *particulates*.

*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.

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

*Aluminium Matrix Composites* dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe berdasarkan penguatnya, yaitu [23] :

1. *Particle reinforced AMCs (PAMCs)*.
2. *Short whisker or short fibre reinforced AMCs (SFAMCs)*.
3. *Continuous fibre reinforced AMCs (CFAMCs)*.
4. *Monofilament reinforced AMCs (MFAMCs)*.

Beberapa keistimewaan yang menonjol dari masing-masing *aluminium matrix composites* tersebut adalah sebagai berikut [23] :

1. *Particle reinforced AMCs (PAMCs)*.

Komposit ini umumnya mengandung materi penguat dari keramik dengan rasio kurang dari 5. Penguat keramik biasanya menggunakan ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  atau  $\text{SiC}$  atau  $\text{TiB}_2$ ) dengan volume kurang dari 30% pada saat digunakan untuk aplikasi ketahanan keausan dan struktural. Secara umum, *PAMCs* dapat diperoleh baik melalui proses *solid state (PM Processing)* atau *liquid state (stir casting, infiltration and in-situ)*.

*PAMCs* lebih murah bila dibandingkan dengan *CFAMCs*. Walaupun sifat mekanis dari *PAMCs* lebih rendah dibandingkan jenis *AMCs* yang lain namun masih lebih baik bila dibandingkan dengan aluminium murni atau campuran aluminium tanpa penguat. Komposit ini adalah *isotropic* alami dan dapat diberlakukan untuk pembuatan sekunder lain yang mencakup tekanan, bergulung / *forging* dan tempaan.

2. *Short whisker or short fibre reinforced AMCs (SFAMCs)*.

Komposit jenis ini memiliki materi penguat dengan rasio lebih besar dari 5, tetapi tidak kontinyu. Penguat serat pendek alumina *AMCs* merupakan *aluminium matrix composites* yang pertama dan yang paling populer digunakan untuk piston, penguat jenis ini diperoleh dengan *squeeze infiltration*. Komposit penguat *whisker* dihasilkan oleh *PM processing* dan *infiltration route*. Penguat *whisker* mempunyai sifat mekanis yang lebih kuat dibandingkan dengan komposit penguat serbuk atau *short fibre*. Namun belakangan, penggunaan *AMCs* menurun dikarenakan efeknya yang mempengaruhi kesehatan.

3. *Continuous fibre reinforced AMCs (CFAMCs)*.

Komposit ini menggunakan penguat yang terbuat dari serat yang kontinyu (alumina, *SiC* atau karbon) dengan diameter kurang dari 20  $\mu\text{m}$ . *AMCs* yang memiliki *volume fraction* lebih dari 40% dihasilkan oleh teknik *squeeze infiltration*. *Continuous fibre reinforced AMCs* mempunyai materi penguat yang dapat disusun satu arah maupun saling tegak lurus. Untuk *CFAMCs* yang posisi materi penguatnya hanya satu arah kekuatan tariknya akan tinggi jika mengalami gaya tarik yang searah dengan susunan materi penguatnya.

4. *Mono filament reinforced AMCs (MFAMCs)*.

*Mono filament* memiliki diameter antara 100 sampai 150  $\mu\text{m}$ . *Mono filament* biasanya diproduksi dengan proses *chemical vapour deposition (CVD)* dengan menggunakan penguat *SiC* atau *B* dalam sebuah inti dari fiber karbon atau kawat *W*. Fleksibilitas *bending* dari *mono filament* lebih rendah bila dibandingkan dengan *multi filament*. *Mono filament* memperkuat *AMCs* yang diproduksi dengan teknik *diffusion bonding* namun ini terbatas hanya pada *super plastic* yang membentuk *AMCs*. Pada *CFAMCs* dan *MFAMCs*, penguatnya adalah unsur *load-*

*bearing* yang utama dan peran *aluminium matrix* adalah untuk mengikat penguat tersebut dan memindahkan serta mendistribusikan beban. *Matrix* adalah unsur pokok utama dari *load-bearing* pada partikel dan *whiskers* yang memperkuat *AMCs*. Fungsi dari penguat adalah untuk memperkuat dan memperkeras paduan tersebut dengan cara mencegah perubahan bentuk oleh pengeangan mekanis.

Selain dari keempat jenis *aluminium matrix composites* diatas terdapat satu jenis lagi yang masih dalam tahap pengembangan, yaitu jenis *hybrid composites*. *Hybrid composites* merupakan komposit yang memiliki lebih dari satu jenis penguat. Contohnya adalah komposit partikel dan *whisker*, atau komposit partikel dan *fibre*, atau komposit antara penguat keras dan penguat lunak. Salah satu contoh aplikasi dari *hybrid AMCs* adalah komposit dari *carbon fibre* dan partikel alumina yang digunakan pada aplikasi kapal silindris.

#### **2.4.1 Proses Pembuatan *AMCs***

Proses pembentukan komposit dengan matriks aluminium pada skala industri diklasifikasikan dalam 2 (dua) kelompok utama yaitu: proses keadaan padat (*solid state processes*) dan proses keadaan cair (*liquid state processes*) [23].

##### a) Proses keadaan padat (*solid state processes*)

1. *Powder blending and consolidation (PM processing)*: Memadukan serbuk paduan aluminium dengan partikel keramik serat pendek adalah teknik serbaguna untuk produksi *AMCs*. Blending dapat dilakukan kering atau dalam suspensi cair. Blending biasanya diikuti oleh pemadatan dingin, pengalengan, degassing dan suhu tahap konsolidasi tinggi seperti isostatik panas menekan (HIP) atau ekstrusi.
2. *Diffusion bonding: Mono filament diperkuat AMCs* terutama dihasilkan oleh ikatan difusi (foil-serat-foil) rute atau oleh penguapan lapisan yang relatif tebal dari aluminium pada permukaan serat. 6061 *Al-boron* komposit serat telah diproduksi oleh ikatan difusi melalui proses foil-serat-foil. Namun, proses ini lebih sering digunakan untuk menghasilkan *Ti* komposit berbasis serat diperkuat. Proses ini rumit dan memperoleh serat fraksi volume tinggi dan

distribusi serat homogen sulit. Proses ini tidak cocok untuk menghasilkan bentuk yang kompleks dan komponen.

3. *Physical vapour deposition*: Proses ini melibatkan bagian kontinu serat melalui daerah tekanan parsial tinggi dari logam untuk disimpan, di mana kondensasi terjadi sehingga menghasilkan lapisan yang relatif tebal di serat.

b) Proses keadaan cair (*liquid state processes*)

1. *Stir casting*: Hal ini melibatkan penggabungan partikel keramik menjadi satu dengan aluminium cair dan memungkinkan campuran untuk memperkuat. Di sini, hal yang penting adalah untuk menciptakan pembasahan yang baik antara penguatan partikulat dan lelehan aluminium paduan cair. Teknik paling sederhana dan paling komersial digunakan dikenal sebagai teknik *vortex* atau teknik aduk pengecoran. Teknik pusran melibatkan partikel keramik yang diperlakukan ke dalam pusran aluminium cair yang dihasilkan oleh impeller berputar. Lloyd (1999) menyatakan bahwa teknik *vortex* pencampuran untuk partikel keramik tersebar kedalam aluminium komposit matriks pada awalnya dikembangkan oleh Surappa & Rohatgi (1981) di Indian Institute of Science. Selanjutnya oleh perusahaan aluminium lebih disempurnakan dan dimodifikasi proses yang saat ini digunakan untuk memproduksi berbagai *AMCs* pada skala komersial.
2. *Infiltration process*: Paduan aluminium cair disuntikkan / menyusup ke celah pori-pori dalam bentuk serat kontinu / serat pendek atau partikel untuk menghasilkan *AMCs*. Tergantung dari sifat penguatan dan fraksi volume yang dapat disusupi, dengan atau tanpa penerapan tekanan atau vakum. *AMCs* memiliki penguatan fraksi volume berkisar antara 10 sampai 70% dapat diproduksi dengan menggunakan berbagai teknik infiltrasi. Beberapa tingkat porositas dan variasi lokal dalam fraksi volume penguat dalam proses pembuatan *AMCs* dapat dilihat dengan teknik infiltrasi. Proses ini banyak digunakan untuk menghasilkan komposit matriks aluminium yang memiliki partikel / serat pendek / serat terus menerus sebagai penguat

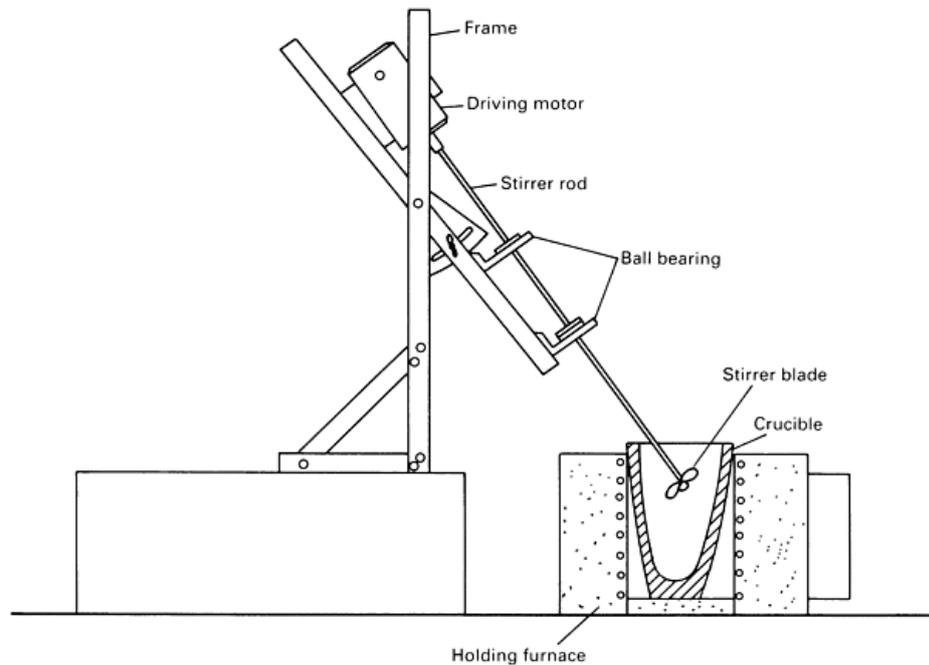
3. *Spray deposition*: Teknik semprot deposisi terbagi dalam dua kelas yang berbeda, tergantung apakah aliran tetesan dihasilkan dari mandi cair (proses *osprey*) atau dengan cara makan terus menerus logam dingin ke zona injeksi panas yang cepat (proses *thermal spray*). Proses semprot telah banyak dieksplorasi untuk produksi *AMCs* dengan menyuntikkan partikel keramik / serat pendek. *AMCs* diproduksi dengan cara ini untuk menunjukkan distribusi homogen dari partikel keramik.
4. *In-situ processing (reactive processing)*: Ada beberapa proses yang berbeda yang masuk ke dalam kategori ini termasuk cair gas, cair padat, reaksi garam cair dan campuran. Dalam proses penguatan refraktori dibuat dalam matriks paduan aluminium. Salah satu contoh adalah oksidasi arah dari aluminium juga dikenal sebagai proses *Dimox*.

#### 2.4.2 Proses Pembuatan *AMCs* diperkuat *Fe* dengan *Stir Casting*

Proses *stir casting* merupakan salah satu proses pembuatan komposit dalam kondisi cair yang paling sederhana. Prinsip dari proses *stir casting* adalah penyatuan partikel penguat ke dalam logam cair dengan pengadukan secara mekanik di atas garis *liquidus*, lalu dituangkan ke dalam cetakan [19]. Skema dari proses *stir casting* dilihat pada **Gambar 2.3**.

Keuntungan dari penggunaan *stir casting* antara lain:

1. Proses ini mampu menggabungkan partikel penguat ke dalam logam cair dikarenakan adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel padatan terperangkap dalam logam cair.
2. Dengan adanya proses pengadukan pada suhu di atas temperatur cair maka udara yang terperangkap memungkinkan untuk naik ke atas permukaan logam cair sehingga cacat yang diakibatkan oleh terperangkapnya udara dalam logam cair dapat dihindari.
3. Proses *stir casting* menghasilkan produk yang hasilnya relatif lebih baik dibandingkan hasil *casting* yang lainnya karena pencampuran logam dapat lebih homogen.



**Gambar 2.3** Skema *Stir Casting* [1]

Keuntungan dari proses ini 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 beberapa kendala diantaranya adalah distribusi partikel yang kurang homogen dan *wettability* aluminium terhadap beberapa jenis keramik termasuk  $Al_2O_3$  yang kurang baik. Ketidak homogenan 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  $\mu m$  dapat disatukan kedalam logam cair dengan metode *stir casting* [19].

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pengecoran komposit, yaitu sebagai berikut [19] :

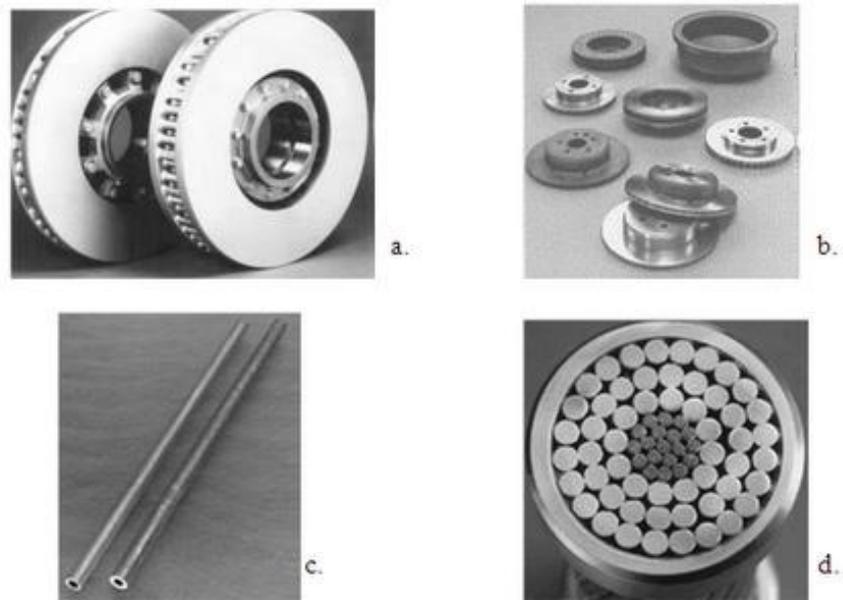
1. Temperatur logam cair harus dikontrol dengan baik untuk mencegah *overheating* dan pembentukan *aluminum carbide*.

2. Penambahan partikel ke dalam logam cair, semakin banyak partikel yang ditambahkan, menyebabkan peningkatan viskositas, yang perlu diperhatikan sifat mampu alir dalam tahap penuangan.
3. Logam cair harus diaduk secara perlahan selama *casting* untuk menjaga distribusi partikel penguat tersebar merata. Partikel penguat tidak melebur dan larut dalam matrik *Al* dan karena berat jenis partikel penguat lebih besar dibanding matrik *Al*, maka partikel penguat cenderung mengendap dibawah.
4. Turbulensi selama *casting* harus dihindari untuk mencegah terperangkapnya gas.

Untuk mendistribusikan partikel penguat secara merata dalam matrik *Al* maka dilakukan proses pengadukan dengan parameter tertentu. Proses pengadukan itu sendiri dilakukan secara perlahan untuk mencegah terjadinya aliran *vortex* pada permukaan logam cair dan memecah lapisan permukaan karena dapat mengakibatkan masuknya *dross* atau kotoran kedalam logam cair. Pengadukan secara mekanik menggunakan *impeler* akan menghasilkan sifat mekanik optimum jika dilakukan secara terus menerus. Berbagai jenis dan bentuk serta posisi *impeller* dicoba dan digunakan untuk mendapatkan hasil *stir casting* yang optimum. Parameter proses pengadukan dan *casting* lain seperti kecepatan pengadukan, perbandingan diameter *impeller* dengan krusibel, perbandingan kedalaman *impeller* terhadap krusibel juga sangat mempengaruhi kualitas *casting* terutama porositas dan homogenitas partikel.

### 2.4.3 Aplikasi AMCs

Pada tahun 2004, lebih dari 3,5 juta Kg bahan *AMCs* telah digunakan pada berbagai industri terutama industri transportasi, penerbangan, elektronik, otomotif dan olah raga. Penggunaan *AMCs* tersebut dari tahun ke tahun akan terus meningkat cepat dengan laju pertumbuhan pertahun mencapai 6%. Di beberapa negara baik asia maupun eropa, *AMCs* telah banyak digunakan secara komersial pada komponen mesin seperti *piston*, *connecting rod*, *brake system (brake rotor dan brake drum)*, *cylinder liner* dan *valves* [19]. **Gambar 2.4** memperlihatkan beberapa aplikasi material komposit dalam industri.



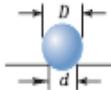
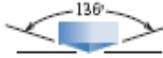
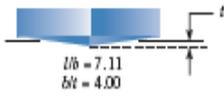
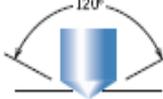
**Gambar 2.4** Beberapa Aplikasi Industri AMCs: (a) *Brake Rotor* Untuk Kereta Kecepatan Tinggi, (b) *Automotive Braking Systems*, (c) *Automotive Pushrods*, dan (d) *Cores* Untuk Kawat Listrik HV [11].

Karakteristik yang harus dimiliki komponen tersebut dapat dipenuhi oleh AMCs, terutama sifat tahan temperatur tinggi, tahan aus dan *coefisien thermal expansion* rendah.

## 2.5 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan merupakan pengujian yang mengukur ketahanan suatu material terhadap adanya deformasi plastis pada satu titik tertentu. Pengujian kekerasan adalah sederhana, sehingga banyak dilakukan dalam pemilihan bahan. Ada beberapa macam alat pengujian kekerasan yang dipergunakan sesuai dengan: bahan, kekerasan, ukuran dan lain-lain. Cara-cara pengujian kekerasan adalah sebagai berikut [6], ditunjukkan pada **Tabel 2.8**.

**Tabel 2.8.** Teknik Pengujian Kekerasan [6].

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number <sup>a</sup>
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 142P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	Diamond cone: 1/16, 1/8, 1/4 in. diameter steel spheres			60 kg } Rockwell 100 kg } 150 kg } 15 kg } Superficial Rockwell 30 kg } 45 kg }	

<sup>a</sup> For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D, d, d<sub>1</sub>, and l are all in mm.

Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.

### 2.5.1 Uji Kekerasan Rockwell

Pengujian *Rockwell* merupakan pengujian kekerasan yang paling banyak digunakan karena sederhana dalam penggunaannya dan tidak memerlukan keahlian khusus. Indenter yang digunakan meliputi indenter berbentuk bola serta bola baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter (1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in) dan juga indenter intan kerucut untuk material yang lebih keras.

Kekerasan ini diukur dengan alat pengujian kekerrasan *Rockwell*, dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan (kekerasan makro dengan metode *Rockwell* skala A) kemudian diketahui keseragaman sifat mekanik *tes bar*. Hal ini dilakukan karena *tes bar* yang dibuat cukup banyak. Bola baja keras atau kerucut intan ditekan ke permukaan yang diukur, kemudian dalamnya penekanan diukur. Kekerasan *Rockwell* adalah harga yang didapat dari pengukuran dalamnya penekanan, ditunjukkan oleh indikator jarum yang terpasang pada alat tersebut [6]. **Tabel 2.9** berikut ini menunjukkan macam-macam skala dan standar Rockwell.

**Tabel 2.9** Skala Kekerasan *Rockwell* [6]

Skala Simbol	Indenter	Beban Mayor (kg)
A	Diamond	60
B	1/16 in. ball	100
C	Diamond	150
D	Diamond	100
E	1/8 in. ball	100
F	1/16 in. ball	60
G	1/16 in. ball	150
H	1/8 in. Ball	60
K	1/8 in. Ball	150

## 2.6 Uji *Bending*

Pengujian *bending* merupakan salah satu pengujian yang mudah dilakukan, dan sering kali dilakukan material yang getas yang mempunyai sifat elastis linear.

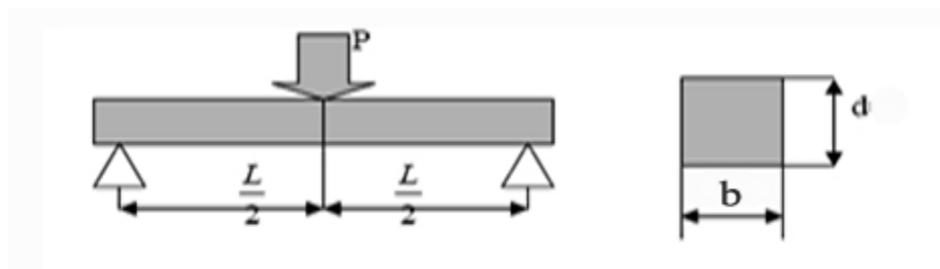
Terdapat dua macam tipe pengujian *bending*, *pengujian bending* tiga titik dan pengujian *bending* empat titik [7].

### 2.6.1 Uji *Bending* Tiga-Titik

Konfigurasi uji *bending* tiga-titik dimana serat penyusun komposit tegak lurus dengan panjang spesimen disebut uji *bending* melintang (*transverse bend test*). Terdapat dua kemungkinan penyusunan serat, yaitu dengan serat sejajar dengan panjang spesimen dan serat melintang terhadap panjang spesimen. Pada salah satu

konfigurasi tersebut, akan terjadi perpatahan pada bagian luar permukaan spesimen yang berada pada tegangan *tensile* maksimal [8].

Material komposit mempunyai sifat tekan lebih baik dibanding tarik, pada perlakuan uji *bending* spesimen, bagian atas spesimen terjadi proses tekan dan bagian bawah terjadi proses tarik sehingga kegagalan yang terjadi akibat uji *bending* yaitu mengalami patah bagian bawah karena tidak mampu menahan tegangan tarik. Dimensi balok dapat kita lihat pada **Gambar 2.5** berikut ini [3] :



**Gambar 2.5** Penampang Uji *Bending* [3].

Persamaan untuk menghitung kekuatan dari balok untuk pengujian *bending* tiga titik ini adalah sebagai berikut [3] :

$$S = \frac{3 PL}{4 b d^2} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

S = Tegangan Lentur (MPa)

P = Beban / *Load* (N)

L = Panjang Span / *Support Span* (mm)

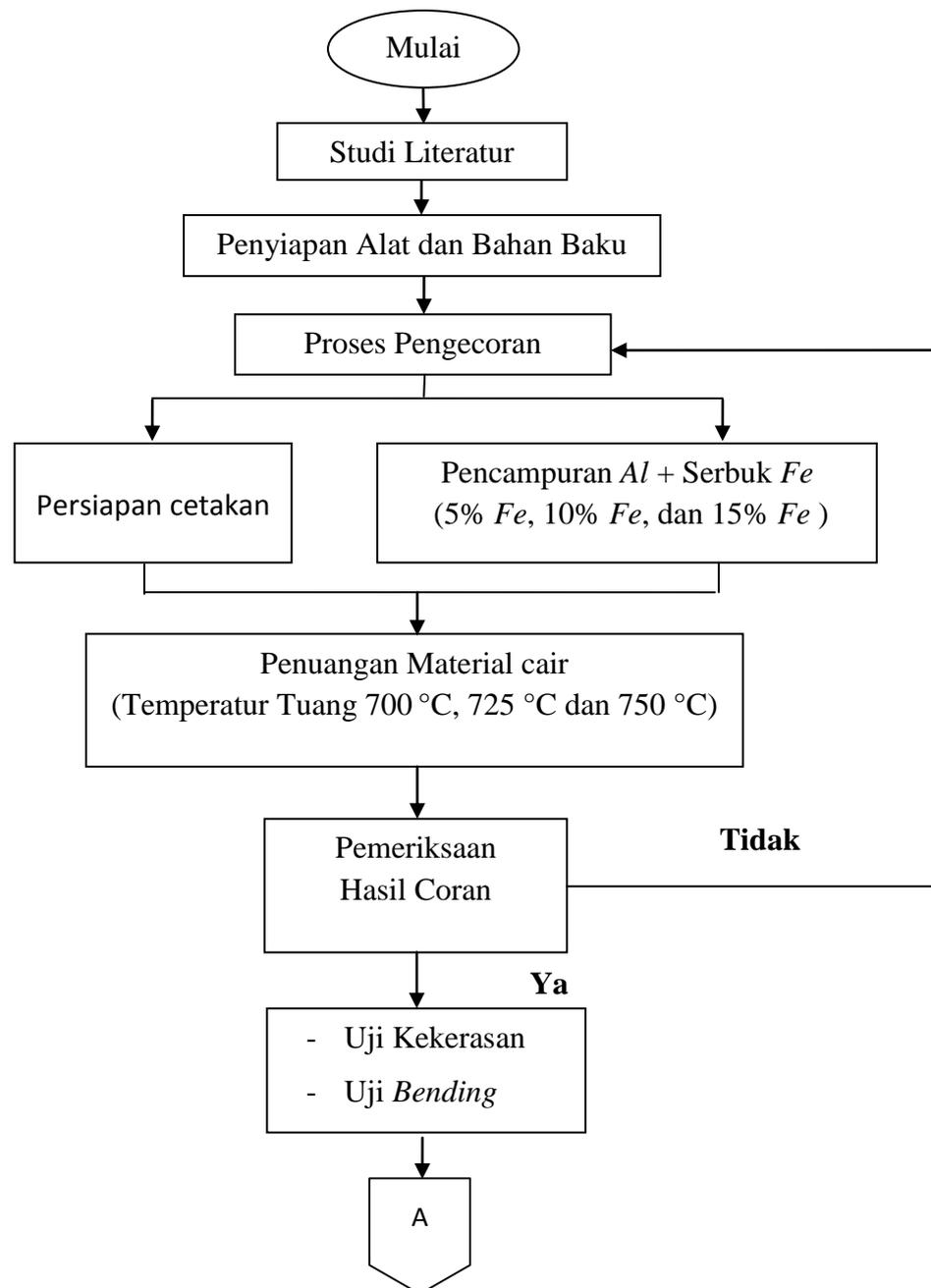
b = Lebar / *Width* (mm)

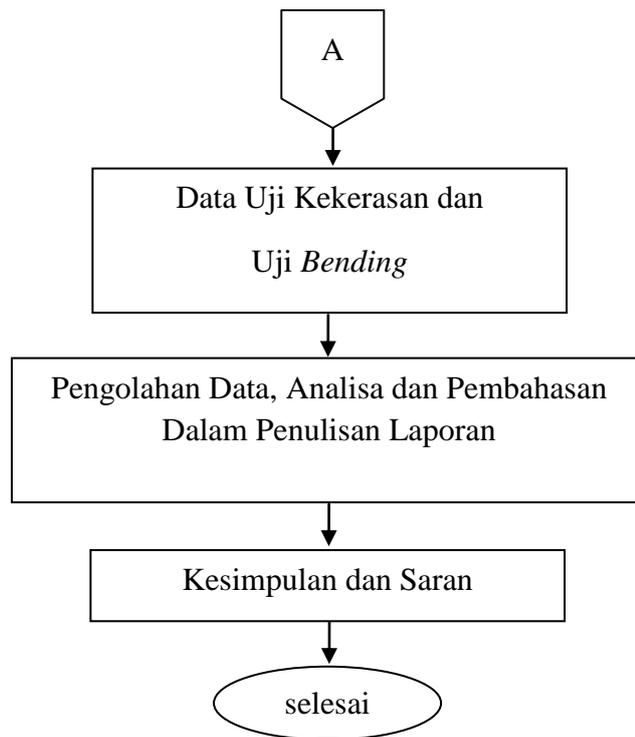
d = Tebal/ *Depth* (mm)

**BAB III**  
**PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA PENELITIAN**

**3.1 Diagram Alir Penelitian**

Pada penelitian ini langkah-langkah pengujian ditunjukkan pada **Gambar 3.1** dibawah ini.





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

Keterangan :

1. Studi Literatur

Mencari referensi tentang alat *stir casting* yang akan digunakan dalam pengujian.

2. Penyiapan Alat dan Bahan Baku

Persiapan yang diperlukan antara lain, minimbang aluminium yang telah dipotong dan serbuk besi yang telah di *mesh* sesuai dengan massa yang dibutuhkan, memasang tungku krusibel dengan selang yang dihubungkan, dengan LPG dan *blower* serta menyiapkan kowi, pengaduk, dan cetakan.

3. Proses Pengecoran

Proses pengecoran dilakukan di kampus Teknik Mesin UNDIP menggunakan tungku krusibel dengan berbahan bakar LPG dan *blower* sebagai pemasok oksigen dalam pembakaran.

#### 4. Persiapan Cetakan

Selama proses pengecoran berlangsung disiapkan cetakan terlebih dahulu dengan cara dipanasi dan nanti setelah siap tinggal dituang kedalam cetakan.

#### 5. Pencampuran Aluminium Ditambah Serbuk Besi

Mencampurkan serbuk besi pada saat proses *stir casting* untuk memperkuat aluminium dengan fraksi massa 5% *Fe*, 10% *Fe*, dan 15% *Fe*.

#### 6. Penuangan Material cair

Aluminium cair yang sudah diperkuat serbuk besi dituang kedalam cetakan, dengan temperatur tuang 700 °C, 725 °C, dan 750 °C.

#### 7. Pemeriksaan Hasil Coran

Spesimen hasil pengecoran diteliti apakah layak untuk diuji atau tidak. Kelayakan hasil coran ini dilihat dari porositas dan cacat.

#### 8. Pengujian Spesimen

Pengujian dilakukan di laboratorium untuk melihat pencampuran serbuk besi pada komposit aluminium pada spesimen uji. Pengujian laboratorium ini meliputi:

- a. Uji kekerasan yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), identasi atau penetrasi.
- b. Uji *bending* yang bertujuan untuk mengetahui kemampuan bahan seberapa besar tegangan lentur terhadap beban yang diberikan.

#### 9. 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, dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.

#### 10. Kesimpulan dan Saran

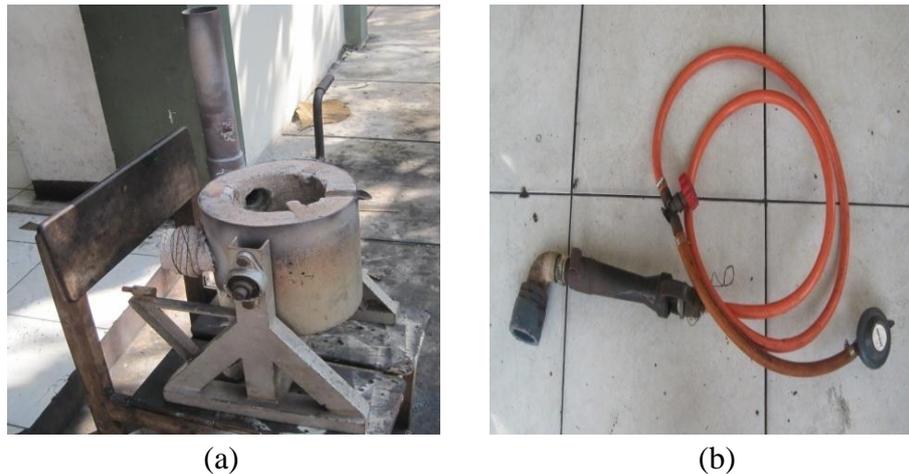
Menarik kesimpulan dari hasil pengolahan data dan analisa dan memberi saran untuk lanjutan dari penelitian ini.

### 3.2 Peralatan 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 yang berbahan bakar LPG. Kontruksi dapur pada dasarnya terdiri 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 ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** (a) Tungku Krusibel dan (b) *Burner*.

b. *Blower*

*Blower* digunakan untuk menyuplai oksigen untuk mengoptimalkan proses pembakaran. *Blower* ini juga digunakan untuk mendorong gas bahan bakar (LPG) agar terpusat masuk ke dalam tungku pembakaran, ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3** *Blower*

c. Kowi

Kowi digunakan sebagai tempat untuk melebur, mencampur, dan menuang hasil coran. Kowi terbuat dari baja dan diberi tangkai untuk memudahkan proses penuangan ke dalam cetakan ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4** Kowi

d. 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 ditunjukkan pada **Gambar 3.5**.



**Gambar 3.5** Alat Pres

e. Pengaduk (*stir cast*)

Digunakan untuk mencampur aluminium dengan serbuk besi sekaligus untuk membuang kerak yang terdapat pada aluminium cair. Pengaduknya terbuat

dari *stainless steel* yang diberi *blade* pada ujungnya ditunjukkan pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6** Pengaduk (*stir cast*)

f. *Permanent Mold* / Cetakan Coran

Cetakan coran yang digunakan adalah jenis *permanent mold* yang terbuat dari besi ditunjukkan pada **Gambar 3.7**. *Permanent mold* dibuat berdasarkan jenis pola cetakan logam yaitu bentuk silinder. Ukuran dimensi pola cetakan yaitu :

Pola silinder, Diameter ( $\emptyset$ ) = 25 mm

Panjang = 200 mm



**Gambar 3.7** 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* dibuat

dengan dua plat besi yang dibor kemudian disatukan untuk setiap jenis pola cetakan logamnya.

g. Timbangan

Timbangan yang digunakan adalah timbangan digital. Timbangan ini untuk mengukur massa dari aluminium dan serbuk besi yang digunakan dalam proses pengecoran ditunjukkan pada **Gambar 3.8**.



**Gambar 3.8** Timbangan Digital

h. Gergaji Tangan

Digunakan untuk memotong aluminium batangan dalam beberapa bagian sesuai dengan yang dibutuhkan. Gergaji digunakan untuk memperkecil ukuran aluminium agar aluminium batangan cepat melebur dalam kowi ditunjukkan pada **Gambar 3.9**.



**Gambar 3.9** Gergaji Tangan

i. *Sieving* (ayakan)

Digunakan untuk mendapatkan ukuran serbuk yang seragam. Ukuran *sieve* yang digunakan adalah *mesh 350* ditunjukkan pada **Gambar 3.10**.



**Gambar 3.10** Mesh 350

j. *Thermocouple* dan *Display*

Digunakan untuk mengukur suhu lebur aluminium, suhu pencampuran, dan suhu tuang dari paduan aluminium serbuk besi. *Thermocouple* yang digunakan adalah tipe K dengan temperatur pengukuran maksimal 1200 °C. ditunjukkan pada **Gambar 3.11**.



**Gambar 3.11** *Thermocouple* dan *Display*

k. Mesin Amplas dan Poles

Fungsi mesin amplas dan poles adalah untuk mengamplas dan memoles permukaan yang kasar pada spesimen benda uji. Spesimen ini harus diratakan dan halus agar memudahkan dalam proses pengujian kekerasan ditunjukkan pada **Gambar 3.12**.



**Gambar 3.12** Mesin Amplas dan Poles

l. Jangka Sorong

Digunakan sebagai alat bantu untuk mengukur dalam pembuatan spesimen uji kekerasan dan uji *bending*. Jangka sorong yang digunakan yaitu jangka sorong mitutoyo dengan ketelitian 0,05 mm ditunjukkan pada **Gambar 3.13**.



**Gambar 3.13** Jangka Sorong

m. Alat Uji Kekerasan *Rockwell*

Menggunakan *Rockwell hardness tester* dengan model HR-150A dengan tujuan untuk menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda penguji (identor) yang ditekan terhadap permukaan spesimen uji ditunjukkan pada **Gambar 3.14**.



**Gambar 3.14** *Rockwell Hardness Tester Model HR-150A*

n. Alat Uji *Bending* Tiga-Titik

Menggunakan mesin uji *bending* bernama *Torsee's Universal Testing Machine* dengan tujuan untuk mengetahui beban maksimum yang dapat diterima spesimen saat mengalami pembengkokan. Pengujian yang dilakukan dengan metode uji *bending* tiga-titik ditunjukkan pada **Gambar 3.15**.



**Gambar 3.15** *Bending Torsee's Universal Testing Machine*

o. Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lain yang digunakan selama proses penelitian ini adalah :

1. Tang penjepit
2. Obeng

3. Kunci pas
4. Sarung tangan tahan api
5. Amplas
6. Penumbuk
7. Kikir
8. Ragum

### 3.3 Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang dipakai adalah:

#### 1. Aluminium Batangan

Aluminium yang digunakan adalah limbah dari bekas bangunan, hal ini sekaligus bertujuan untuk mendaur ulang sumber daya alam. Gambar di bawah terlihat bahwa aluminium batangan telah dipotong agar mempercepat proses peleburan dan mempermudah untuk menimbang sesuai dengan massa yang diinginkan, ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.



**Gambar 3.16** Aluminium

#### 2. Serbuk Besi

Gambar di bawah memperlihatkan 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, ditunjukkan pada **Gambar 3.17**.



**Gambar 3.17** Serbuk Besi

### 3.4 Proses Pembuatan Spesimen dengan Variasi Komposisi Serbuk Besi

Langkah – langkah dilakukan selama proses pengecoran yaitu:

#### 1. 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 fraksi massa Fe 5%, 10%, 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:

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

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

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

##### 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  $10\% \times \text{berat total aluminium} = 10\% \times 1000 \text{ gr}$   
 $= 100 \text{ gr}$ .

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

## 2. Proses Peleburan

Aluminium yang sudah ditimbang sesuai massa di atas dimasukkan ke dalam kowi, dan kowi dimasukkan ke dalam tungku krusibel. *Burner* pada tungku dinyalakan dan kowi ditutup, ditunjukkan pada **Gambar 3.18**.



**Gambar 3.18** Proses Peleburan Menggunakan Tungku Krusibel

## 3. Pengadukan (*Stir Cast*)

Setelah aluminium mencair pada suhu  $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hidupkan pengaduk untuk mencampurkan serbuk besi kedalam aluminium yang sudah mencair. Kecepatan pengaduk yang digunakan sekitar 250 rpm. Tuang serbuk besi sesuai dengan ukuran secara perlahan-lahan kedalam cairan aluminium. Pengadukan dilakukan selama 5 menit, agar serbuk besinya benar-benar tercampur dan tidak banyak yang mengendap. Setelah itu siap untuk dituang ke dalam cetakan, ditunjukkan pada **Gambar 3.19**.



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

#### 4. Penuangan dan Pengepresan

Sebelum penuangan, cetakan dipanaskan terlebih dahulu sampai suhu tertentu sehingga nantinya akan didapat laju pendinginan yang berbeda. Temperatur penuangan dibuat tiga variasi yaitu 700 °C, 725 °C, dan 750 °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, ditunjukkan pada **Gambar 3.20**.



**Gambar 3.20** Proses Penuangan dan Pengepresan

#### 5. Pendinginan

Setelah dituang di dalam cetakan tunggu sampai sekitar 30 menit untuk menurunkan suhu, baru setelah itu cetakan dibuka. Biarkan hasil coran dingin sesuai suhu ruangan, ditunjukkan pada **Gambar 3.21**.



**Gambar 3.21** Spesimen Hasil Pengecoran

### 3.5 Proses Pengujian Spesimen

#### 3.5.1 Pengujian Kekerasan Metode *Rockwell*

Pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro Semarang. Dalam penelitian ini, pengujian kekerasan dilakukan di tujuh titik pengujian yang dipilih secara vertikal dari sisi tepi permukaan spesimen. Alat uji kekerasan *Rockwell* ini menggunakan penekan / indentor berbentuk intan kerucut dengan sudut  $120^{\circ}$ , dengan pembebanan yang digunakan dalam pengujian sebesar 100 kg. Dari hasil pengujian data kekerasan *Rockwell*, diperoleh hasil pengujian kedalam bentuk bentuk HRB. **Gambar 3.22** menunjukkan contoh spesimen uji kekerasan.



**Gambar 3.22** Spesimen Uji Kekerasan

Dalam pengujian kekerasan digunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Material uji
2. Gergaji
3. Kikir
4. Kertas amplas no. 400, 600, 800, 1000, dan 1500
5. Meja *polisihing*
6. Jangka sorong
7. Alat uji *Rockwell Hardness Tester Model HR 150-A*
8. *Stopwacth*

Adapun prosedur pengujian kekerasan metode *Rockwell* sebagai berikut :

- a) Membersihkan dan mengamplas permukaan spesimen yang telah dipotong menjadi 3 bagian yaitu atas, tengah, dan bawah sehingga kedua permukaan rata dan sejajar.
- b) Mengkalibrasi alat uji kekerasan *Rockwell Hardness Tester model HR-150A*.

- c) Memasang benda uji pada kedudukannya (*anvil*) lalu putar *handwheel* searah jarum jam hingga spesimen menyentuh penetrator.
- d) Pasang benda uji pada kedudukannya (*anvil*) lalu kencangkan dengan memutar *handwheel* searah jarum jam hingga spesimen menyentuh penetrator dan jarum kecil pada dial indikator menuju titik merah.
- e) Mengatur dial indikator sehingga jarum besar berada di posisi garis C atau B tekan hendel pembebanan untuk pengetesan pembebanan utama. Pada saat itu jarum besar akan berputar *counter clockwise*.
- f) Tunggu setelah 60 detik, ketika jarum besar berhenti, tekan *handle* pelepas beban untuk menghilangkan pengetesan pembebanan utama. (tekan *handle* pembebanan dan pelepas beban secara perlahan dan hati-hati).
- g) Lakukan pembacaan pada indikator. Untuk pengujian dengan *diamond penetrator* yaitu HRB baca pada bagian dalam indikator (garis berwarna hitam), putar *handwheel* untuk menurunkan sampel.
- h) Melakukan pengujian di 7 titik (7 kali pengukuran) untuk masing-masing benda uji dengan jarak pengujian 3 mm antar titik lubang hasil pengujian.

### 3.5.2 Pengujian *Bending* Tiga-Titik

Pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium S-1 Bahan Teknik Mesin, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Uji *bending* dapat dilakukan pada benda yang dapat mengalami deformasi plastis dan deformasi elastis. Pengujian dilakukan dengan memberikan pembebanan pada spesimen hingga patah. **Gambar 3.23** menunjukkan contoh spesimen uji *bending*.



**Gambar 3.23** Spesimen Uji *Bending*

Dalam pengujian *bending* digunakan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Material uji
2. Gergaji

3. Kikir
4. Jangka sorong
5. Mesin uji *bending*

Pengujian spesimen dilakukan secara bertahap sesuai dengan variabel komposisi dan temperatur tuang yang telah ditentukan. Pemasangan spesimen diletakkan pada dua tumpuan rol yang terpasang pada alat uji seperti pada **Gambar 3.24**.



**Gambar 3.24** Pemasangan Spesimen pada Alat Uji *Bending*

Adapun prosedur pengujian adalah sebagai berikut :

- a) Mengukur dimensi spesimen meliputi: panjang, lebar, dan tebal. Dengan panjang 45 mm, lebar 4 mm, dan tebal 3 mm.
- b) Pemberian label pada setiap spesimen yang telah diukur untuk menghindari kesalahan pembacaan.
- c) Menghidupkan mesin untuk uji lentur.
- d) Pemasangan spesimen uji pada tumpuan dengan tepat dan pastikan indenter tepat di tengah-tengah kedua tumpuan.
- e) Jarak antar tumpuan 40 mm.
- f) Pencatatan besarnya Tegangan lentur yang terjadi pada spesimen, setiap penambahan beban sampai terjadi kegagalan.
- g) Setelah mendapatkan data hasil pengujian dilanjutkan dengan perhitungan karakteristik kekuatan lentur.

- [17] <http://www.webelements.com/aluminium/pictures.html> (juli 2012)
- [18] James K. Wessel, 2004, *Handbook of Advanced Materials*, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey
- [19] Kartaman, M., 2010, *Fabrikasi Komposit Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coated dengan Metode Stir Casting dan Karakterisasinya*, Depok: Universitas Indonesia.
- [20] Kumar, D., Sarangi, S., 2009, *Fabrication and Characterisation of Aluminium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method*, Rourkela: Department of Metallurgical and Materials Engineering National Institute of Technology.
- [21] Kumar, S Theerthan, J.Ananda. 2008, *Production and Characterisation of Aluminium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method*, Departement of Metallurgical and Materials Enginerig National Institute of Technology, Rourkela.
- [22] Subarmono dan Santoyo Suryo, 2006, **Aluminium Metal Matrix dan Komposit dengan Penguat Abu Terbang**, Jurnal Mesin Industri.
- [23] Surappa, M K., 2003, *Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities*, India: Department of Metallurgy, Indian Institute of Science.
- [24] Totten, George. E, 1999, *Handbook Of Aluminium, Volume 1* , Marcel Dekker, New York, Bassel.

**LAMPIRAN**

## LAMPIRAN

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 5% dengan temperatur tuang 700 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	42	0.127551	41.5	19.61224	42	18.98469
0,6	43	0.413265	39.5	41.32653	43	28.69898
0,9	43	0.413265	45	0.862245	40	5.556122
1,2	39	11.27041	41.5	19.61224	28	92.98469
1,5	43	0.413265	54	65.14796	27.5	102.8776
1,8	43	0.413265	50	16.57653	40	5.556122
2,1	43.5	1.306122	50	16.57653	43	28.69898
	$\overline{HRB} = 42.35714$	$\Sigma = 2,05102$	$\overline{HRB} = 45.92857$	$\Sigma = 25.67347$	$\overline{HRB} = 37.64286$	$\Sigma = 40.47959$

ATAS

TENGAH

Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{2,05102}{7-1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 2.068553$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.584668$$

BAWAH

Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 2.597422$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 10% dengan temperatur tuang 700 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	50.5	1.653061	48.5	33.47449	46.5	158.0408
0,6	50	0.617347	45	5.22449	39.5	383.0408
0,9	48	1.47449	38.5	17.7602	86	725.148
1,2	49.5	0.081633	34.5	67.47449	83	572.5765
1,5	47	4.903061	40.5	4.903061	86.5	752.3265
1,8	48.5	0.510204	47	18.36735	30.5	816.3265
2,1	51	3.188776	45	5.22449	41.5	308.7551
	$\overline{HRB} = 49.21429$	$\Sigma = 1.77551$	$\overline{HRB} = 42.71429$	$\Sigma = 21.77551$	$\overline{HRB} = 59.0714$ 3	$\Sigma = 530.8878$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.584668$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 1.90506$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 9.40645$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 15% dengan temperatur tuang 700 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	39	28.69898	42	0.127551	45	27.18878
0,6	45.5	1.306122	44.5	4.591837	39	0.617347
0,9	44.5	0.020408	33.5	78.44898	43	10.33163
1,2	51	44.12755	43	0.413265	20	391.4745
1,5	39	28.69898	47.5	26.44898	42.5	7.367347
1,8	46	2.69898	43	0.413265	43	10.33163
2,1	45.5	1.306122	43	0.413265	46	38.61735
	$\overline{HRB} = 44.35714$	$\Sigma = 15.26531$	$\overline{HRB} = 42.35714$	$\Sigma = 15.83673$	$\overline{HRB} = 39.78571$	$\Sigma = 69.41837$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 1.59506$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 1.62464$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 3.40143$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 5% dengan temperatur tuang 725 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	42.5	9	43	7.367347	45	0.326531
0,6	39	0.25	43	7.367347	43	2.040816
0,9	41.5	4	41	0.510204	44	0.183673
1,2	36	12.25	37	10.79592	47	6.612245
1,5	37	6.25	40	0.081633	42	5.897959
1,8	38.5	1	40	0.081633	44	0.183673
2,1	42	6.25	38	5.22449	46	2.469388
	$\overline{HRB} = 39.5$	$\Sigma = 5.571429$	$\overline{HRB} = 40.28571$	$\Sigma = 4.489796$	$\overline{HRB} = 44.42857$	$\Sigma = 2.530612$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.963624$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.865043$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.649437$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell (HRB)* Al/Fe berdasarkan variasi Fe 10% dengan temperatur tuang 725 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	45	2.938776	45	4	48	0.617347
0,6	45	2.938776	44	1	48	0.617347
0,9	45	2.938776	43.5	0.25	49	3.188776
1,2	47	0.081633	35	64	45	4.903061
1,5	44.5	4.903061	43	0	45.5	2.938776
1,8	45.5	1.47449	45.5	6.25	46	1.47449
2,1	55	68.65306	45	4	49	3.188776
	$\overline{HRB} = 46.71429$	$\Sigma = 11.9898$	$\overline{HRB} = 43$	$\Sigma = 11.35714$	$\overline{HRB} = 47.21429$	$\Sigma = 2.418367$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 1.413612$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 1.375811$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.634871$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell (HRB) Al/Fe* berdasarkan variasi *Fe 15%* dengan temperatur tuang  $725^{\circ}\text{C}$**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	44	18.36735	31	42.25	35	39.5102
0,6	39	0.510204	31.5	36	26.5	218.6173
0,9	45	27.93878	24	182.25	36.5	22.90306
1,2	42	5.22449	90	2756.25	27	204.0816
1,5	26	188.0816	31.5	36	90	2373.082
1,8	39	0.510204	33.5	16	37.5	14.33163
2,1	43	10.79592	21	272.25	36.5	22.90306
	$\overline{HRB} = 39.71429$	$\Sigma = 35.91837$	$\overline{HRB} = 37.5$	$\Sigma = 477.2857$	$\overline{HRB} = 41.2857$ 1	$\Sigma = 413.6327$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 2.446711$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 8.918947$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 8.302938$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 5% dengan temperatur tuang 750 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	48.5	9.433673	55	34.30612	49	0.510204
0,6	45.5	0.005102	52	8.163265	49	0.510204
0,9	41	19.61224	51	3.44898	48.5	0.045918
1,2	39	41.32653	55	34.30612	50	2.938776
1,5	48	6.612245	55	34.30612	48	0.081633
1,8	47	2.469388	38	124.1633	47	1.653061
2,1	49	12.7551	38	124.1633	46.5	3.188776
	$\overline{HRB} = 45.42857$	$\Sigma = 13.17347$	$\overline{HRB} = 49.14286$	$\Sigma = 51.83673$	$\overline{HRB} = 48.2857$ 1	$\Sigma = 1.27551$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 1.481748$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 2.939295$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.461069$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 10% dengan temperatur tuang 750 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	44	0.045918	52.5	3.188776	47	12.7551
0,6	46	3.188776	48.5	4.903061	48	20.89796
0,9	44	0.045918	49.5	1.47449	43	0.183673
1,2	42	4.903061	50.5	0.045918	32.5	119.4337
1,5	43	1.47449	50.5	0.045918	44.5	1.147959
1,8	43	1.47449	52	1.653061	41	5.897959
2,1	47.5	10.79592	51.5	0.617347	48	20.89796
	$\overline{HRB} = 44.21429$	$\Sigma = 3.132653$	$\overline{HRB} = 50.71429$	$\Sigma = 1.704082$	$\overline{HRB} = 43.42857$	$\Sigma = 25.88776$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.722571$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 0.532929$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 2.077168$$

**Tabel nilai kekerasan *Rockwell* (HRB) Al/Fe berdasarkan variasi Fe 15% dengan temperatur tuang 750 °C**

Jarak pengukuran (cm)	Atas (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Tengah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$	Bawah (HRB)	$(HRB - \overline{HRB})^2$
0,3	48	147.449	38	51.02041	57.5	17.16327
0,6	49	124.1633	37	66.30612	44.5	78.44898
0,9	57	9.877551	48.5	11.27041	55.5	4.591837
1,2	52.5	58.41327	41	17.16327	52	1.841837
1,5	76.5	267.5561	42.5	6.984694	46	54.12755
1,8	51.5	74.69898	50.5	28.69898	72	347.5561
2,1	86.5	694.699	58.5	178.4133	46	54.12755
	$\overline{HRB} = 60.14286$	$\Sigma = 196.6939$	$\overline{HRB} = 45.14286$	$\Sigma = 51.40816$	$\overline{HRB} = 53.35714$	$\Sigma = 79.69388$

ATAS - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 5.725584$$

TENGAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 2.927119$$

BAWAH - Standar Deviasi Skala *Rockwell* ( $\delta$  HRB)

$$\delta \text{ HRB} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (HRB - \overline{HRB})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ HRB} = 3.644491$$

Jarak pengukuran kekerasan spesimen diukur mulai dari sisi tepi permukaan spesimen

**Tabel pengujian *bending* Al/Fe temperatur tuang 700°C**

no.	Perlakuan	d tebal (mm)	b lebar (mm)	L pjg (mm)	P (N)	S (MPa)
1	Fe 5%	3,0	4,0	45	218,7	205,03
2	Fe 10%	3,0	4,0	45	96,1	90,09
3	Fe 15%	3,0	4,0	45	180,6	169,31

	P (N)	$(P - \bar{P})^2$	S (MPa)	$(S - \bar{S})^2$
Fe 5%	218.7	2869.388	205.03	2522.048
Fe 10%	96.1	4765.601	90.09	4188.678
Fe 15%	180.6	239.2178	169.31	210.25
	$\bar{P} =$ 165.1333	$\Sigma = 2624.736$	$\bar{S} =$ 154.81	$\Sigma = 2306.992$

Standar Deviasi Skala Tegangan Lentur - S ( $\delta$  MPa)

$$\delta \text{ MPa} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (S - \bar{S})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ MPa} = \left[ \frac{2306.992}{3 - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ MPa} = 33.96316$$

**Tabel pengujian *bending* Al/Fe temperatur tuang 725°C**

no.	Perlakuan	d tebal (mm)	b lebar (mm)	L pjg (mm)	P (N)	S (MPa)
1	Fe 5%	3,0	4,0	45	269.8	252.94
2	Fe 10%	3,0	4,0	45	158.6	148.69
3	Fe 15%	3,0	4,0	45	37.24	34.1

	P (N)	$(P - \bar{P})^2$	S (MPa)	$(S - \bar{S})^2$
Fe 5%	269.8	13130,1	252.94	11598,57
Fe 10%	158.6	11.46951	148.69	11.87951
Fe 15%	37.24	13917.71	34.1	12352.84
	$\bar{P} =$ 155.2133	$\Sigma = 9019.76$	$\bar{S} =$ 145.2433	$\Sigma = 7987.764$

Standar Deviasi Skala Tegangan Lentur - S ( $\delta$  MPa)

$$\delta \text{ MPa} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (S - \bar{S})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ MPa} = \left[ \frac{7987.764}{3 - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ MPa} = 63.19717$$

**Tabel pengujian *bending* Al/Fe temperatur tuang 750°C**

no.	Perlakuan	d tebal (mm)	b lebar (mm)	L pjg (mm)	P (N)	S (MPa)
1	Fe 5%	3,0	4,0	45	217	203.44
2	Fe 10%	3,0	4,0	45	160.4	150.38
3	Fe 15%	3,0	4,0	45	162.2	152.06

	P (N)	$(P - \bar{P})^2$	S (MPa)	$(S - \bar{S})^2$
Fe 5%	217	1378.884	203.44	1211.968
Fe 10%	160.4	378.9511	150.38	332.9408
Fe 15%	162.2	312.1111	152.06	274.4544
	$\bar{P} = 179.8667$	$\Sigma = 689.9822$	$\bar{S} = 168.6267$	$\Sigma = 606.4545$

Standar Deviasi Skala Tegangan Lentur - S ( $\delta$  MPa)

$$\delta \text{ MPa} = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (S - \bar{S})^2}{n - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ MPa} = \left[ \frac{606.4545}{3 - 1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\delta \text{ MPa} = 17,41342$$

$$S = \frac{3 PL}{4 b d^2}$$

Dimana :

S = Tegangan Lentur (MPa)

P = Beban / *Load* (N)

L = Panjang Span / *Support Span* (mm)

b = Lebar / *Width* (mm)

d = Tebal/ *Depth* (mm)