

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Aluminium

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy dalam tahun 1809 sebagai suatu unsur dan pertama kali direduksi sebagai logam oleh H . C. Oersted, tahun 1825. Secara industri tahun 1886, Paul Heroult di Perancis dan C . M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dari alumina dengan cara elektrolisis dari garam yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult Hall 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* [4].

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Sebagai tambahan terhadap, kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan 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. 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 [4].

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) [5]. 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 [5]. 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 $2,7 \text{ g/cm}^3$ [4].

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 [6].

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 disoldier (titik leburnya lebih dari 2000°C) [6]. Sifat mekanik dan fisik aluminium dapat dilihat pada **Tabel 2.1** dan **2.2** berikut :

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik Aluminium [4]

| Sifat-Sifat | Kemurnian Aluminium (%) | |
|---|---------------------------------|--------------------------------|
| | 99,996 | >99,0 |
| Massa jenis (20°C) | 2,6968 | 2,71 |
| Titik cair | 660,2 | 653-657 |
| Panas jenis (cal/g . $^\circ \text{C}$) (100°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 | <i>fcc</i> , <i>a</i> =4,013 kX | <i>fcc</i> , <i>a</i> =4,04 Kx |

Tabel 2.2 Sifat-sifat mekanik Aluminium [4]

| Sifat-sifat | Kemurnian Aluminium (%) | | | |
|---|-------------------------|------------------|--------|------|
| | 99,996 | | >99.0 | |
| | Dianil | 75% dirol dingin | Dianil | H18 |
| Kekuatan tarik (kg/mm ²) | 4,9 | 11,6 | 9,3 | 16,9 |
| Kekutan mulur (0,2%) (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 penampangannya. 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% [4].

2.1.2 Paduan Aluminium

Memadukan aluminium dengan unsur lainnya merupakan salah satu cara untuk memperbaiki sifat aluminium tersebut. Paduan adalah kombinasi dua atau lebih jenis logam, kombinasi ini dapat merupakan campuran dari dua struktur kristalin. Paduan dapat disebut juga sebagai larutan padat dalam logam. Larutan padat mudah terbentuk bila pelarut dan atom yang larut memiliki ukuran yang sama dan struktur elektron yang serupa. Larutan dalam logam utama tersebut memiliki batas kelarutan maksimum. Paduan yang masih dalam batas kelarutan disebut dengan paduan logam fasa tunggal. Sedangkan paduan yang melebihi batas kelarutan disebut dengan fasa ganda. Peningkatan kekuatan dan kekerasan logam paduan disebabkan oleh adanya

atom-atom yang larut yang menghambat pergerakan dislokasi dalam kristal sewaktu deformasi plastik [7]. Secara garis besar paduan aluminium dibedakan menjadi dua jenis yaitu paduan aluminium tempa dan aluminium cor. Untuk lebih jelasnya pengelompokan paduan aluminium ditunjukkan pada **Tabel 2.3** berikut:

Tabel 2.3 Kelompok Paduan Aluminium [8]

| <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:

1. 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) [8].
2. 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 [8].

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. Sedangkan 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 [8].

Sifat-sifat umum pada paduan aluminium adalah:

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

Jenis paduan ini mempunyai kandungan minimal aluminium 99,0% dengan besi dan silikon menjadi kotoran utama (elemen paduan). 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* [8].

2. Paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Elemen paduan utama pada seri ini adalah tembaga, tetapi magnesium dan sejumlah kecil elemen lain juga ditambahkan sebagian besar 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 konstruksi keling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang seperti duralumin (2017) dan super duralumin (2024) [8].

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

Manganese 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 [8].

4. 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 [8].

5. 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 [8].

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

Elemen paduan seri 6xxx adalah magnesium dan silicon. 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 [8].

7. 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 konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan daya tahan korosi yang lebih baik daripada paduan dasar Al-Zn [8].

2.1 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 (Fe_2O_3) yang dikotori oleh pasir (SiO_2) sekitar 10 %, serta sedikit senyawa sulfur, fosfor, aluminium, dan mangan [2].

Besi merupakan logam yang paling banyak dan paling beragam penggunaannya. Hal itu karena beberapa hal, diantaranya [2]:

1. Kelimpahan besi di kulit bumi cukup besar.
2. Pengolahannya relatif mudah dan murah
3. Besi mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan dan mudah dimodifikasi.

2.2.1 Sifat Besi

Secara garis besar mempunyai dua sifat yaitu sifat fisika dan sifat kimia, dapat dilihat pada **Tabel 2.4** dan **2.5** berikut:

Tabel 2.4 Sifat Fisik Besi [2]

| Fase | Padat |
|----------------------------------|---------------------------|
| Masa jenis (sekitar suhu kamar) | 7,86 g/cm ³ |
| Masa jenis cair pada titik lebur | 6,98 g/cm ³ |
| 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 [2]

| Keterangan Umum Unsur | |
|----------------------------|---------------------------------|
| 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 |

Sifat-sifat besi diantaranya adalah

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

Selain sifat-sifat di atas besi juga memiliki sifat lainnya yang ditunjukkan pada **Tabel 2.7** berikut:

Tabel 2.7 Sifat Lain-lain Besi [2]

| | |
|----------------------|-----------------------|
| 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 Vickers | 608 Mpa |
| Kekerasan Brinell | 490 Mpa |

2.3 Komposit

Komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan [1]. 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 [5]. 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 di mana bahan-bahan tersebut terjadi peleburan [7]. Komposit adalah kombinasi terekayasa dari dua atau lebih bahan yang mempunyai sifat-sifat

seperti yang diinginkan dengan cara kombinasi sistematis pada kandungan-kandungan yang berbeda tersebut [7].

Komposit dapat digolongkan berdasarkan jenis matriks dan bentuk penguatnya [1].

a. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Matriks [1]

1. *Metal Matrix Composites* (MMCs), yaitu komposit yang memiliki matriks berupa logam.
2. *Ceramic Matrix Composites* (CMCs), yaitu komposit dengan matriks dari bahan keramik.
3. *Polymer Matrix Composites* (PMCs), yaitu jenis komposit dengan matriks dari bahan polimer.

b. Klasifikasi Komposit Berdasarkan Penguat / *reinforcement* [1]

1. *Fibrous composites*.
2. *Particulate composites*.
3. *Laminate composites*.

2.2.1 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 Creep resistance</i> | |
| <i>Improved wear resistance</i> | |
| <i>Compared to Polymer Matrix Composite:</i> | |
| <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> | |
| <i>Compared to Ceramic Matrix Composites:</i> | |
| <i>Higher toughness and ductility</i> | <i>Inferior high temperature capability</i> |
| <i>Ease of fabrication</i> | |
| <i>Lower cost</i> | |

Aluminium matrix composites bisa diklasifikasikan ke dalam 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> | |
| <i>Titanium boride</i> | |
| <i>Titanium carbide</i> | |
| <i>Zircon</i> | |
| <i>Zircinia</i> | |
| <i>Zirconium carbide</i> | |

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

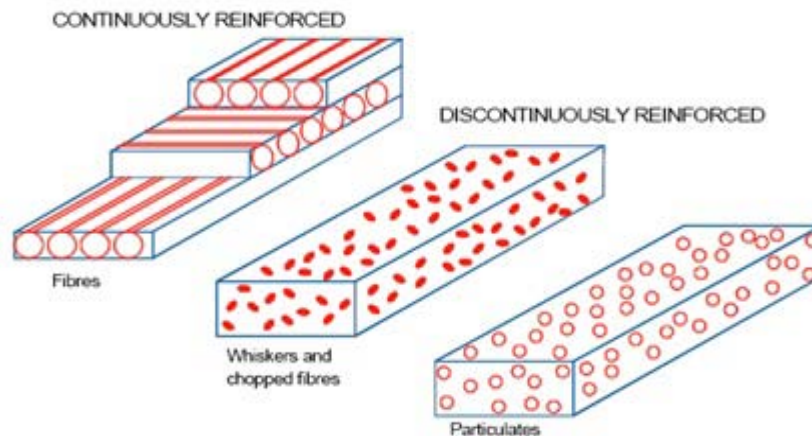
1. *Continuous fibre reinforced composites* dengan *monofilament* (memiliki diameter $>100 \mu\text{m}$) atau dengan *tows of fibres* (diameter $>20 \mu\text{m}$).
2. *Discontinuous reinforced composite* dengan *short fibre*, *whisker* atau *particulates*.

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

1. Meningkatkan kekakuan dan kekuatan.
2. Mengurangi keausan dan keretakan.
3. Bersifat *anisotropic*
4. Meningkatkan kekuatan lelah dalam arah fiber.
5. 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, 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 *Aluminium Matrix Composites* dibandingkan dengan logam-logam lain yang tanpa penguat [10]:

1. Memiliki kekuatan yang lebih besar.
2. Meningkatkan kekakuan.
3. Mengurangi densitas.
4. Sifatnya meningkat pada temperatur yang tinggi.
5. Mengontrol koefisien peningkatan arus panas.
6. *Management* arus panas.
7. Meningkatkan dan menyesuaikan performansi listrik.
8. Meningkatkan resistensi keausan dan goresan/abrasi.
9. Sangat banyak mengontrol (khususnya pada aplikasi yang berlawanan).
10. Meningkatkan kemampuan lembab / *damping*.

Aluminium Matrix Composites dapat diklasifikasikan menjadi empat tipe berdasarkan penguatnya, yaitu [10]:

1. *Particle-reinforced* AMCs (PAMCs).
2. *Whisker-or short fibre-reinforced* AMCs (SFAMCs).
3. *Continuous fibre-reinforced* AMCs (CFAMCs).
4. *Mono filament-reinforced* AMCs (MFAMCs).

Keistimewaan-keistimewaan yang menonjol dari masing-masing *aluminium matrix composites* tersebut adalah sebagai berikut [10]:

1. *Particle Reinforced Aluminium Matrix Composites*

Komposit ini umumnya mengandung materi penguat dari keramik dengan rasio kurang dari 5. Penguat keramik biasanya menggunakan (Al_2O_3 atau SiC atau 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 *isotopic* alami dan dapat diberlakukan untuk pembuatan sekunder lain yang mencakup tekanan, bergulung/*forging* dan tempaan. **Gambar 2.2.** (a) menunjukkan struktur mikro dari PAMCs dengan materi berupa 40% volume partikel SiC.

2. *Short Fibre and Whisker-Reinforced Aluminium Matrix Composites*

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*. Pada **Gambar 2.2.** (b) menunjukkan struktur mikro

dari SAMCs dengan materi penguat berupa *short fibre*. 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 Aluminium Matrix Composites*

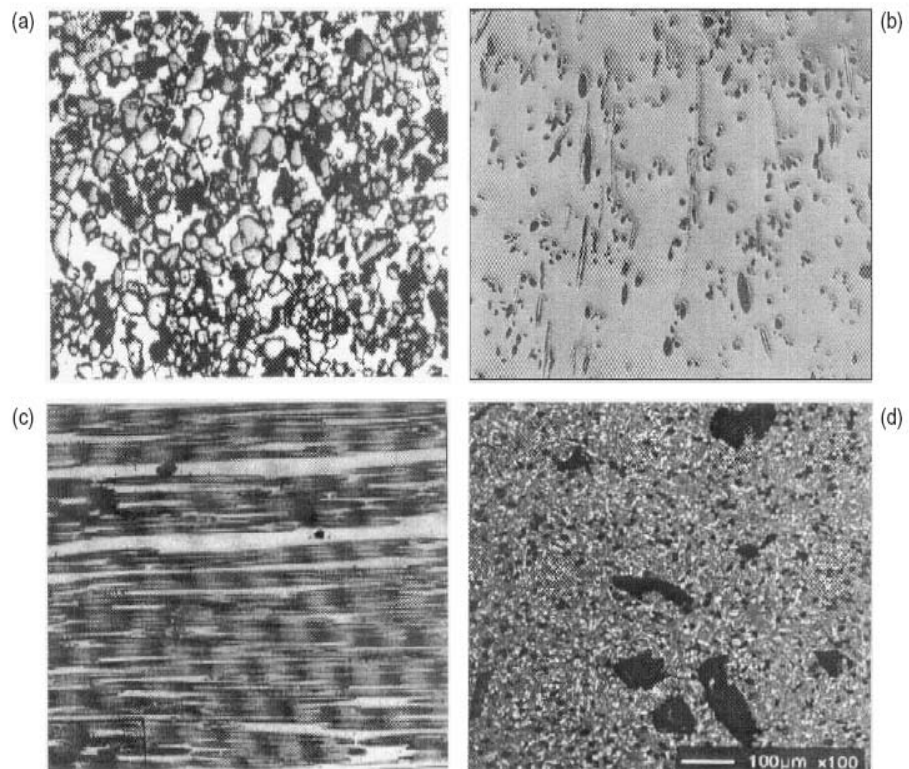
Komposit ini menggunakan penguat yang terbuat dari serat yang kontinyu (alumina, SiC atau karbon) dengan diameter kurang dari 20 μm . AMCs yang memiliki *volume fraction* lebih dari 40% dihasilkan oleh teknik *squeeze infiltration*. *Continuous fibre-reinforced matrix composite* mempunyai materi penguat 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. Struktur mikro dari AMCs dengan penguat fiber alumina yang kontinyu ditunjukkan pada **Gambar 2.2.** (c)

4. *Mono Filament Reinforced Aluminium Matrix Composites*

Mono filament memiliki diameter antara 100 sampai 150 μm . *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 pengekgangan 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 AMC*s adalah komposit dari *carbon fibre* dan partikel alumina yang digunakan pada aplikasi kapal silindris [10].



Gambar 2.2 Microstructures of (a) aluminium matrix composite having high volume fraction of SiC particle reinforcement (40 vol%), (b) short fibre-reinforced aluminium matrix composite, (c) continuous fibre-reinforced aluminium matrix composite, (d) hybrid composite containing 10% SiC and 4% graphite particles [10].

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* [11].

2.4.1 *Solid State Processing* / Metalurgi Serbuk

Proses kondisi padat 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 [9]. 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 [12]. 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 [9]. 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 [11]. Cairan yang paling umum digunakan dalam fasa teknik pengolahan dapat dibagi menjadi empat kategori [11]:

1. *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

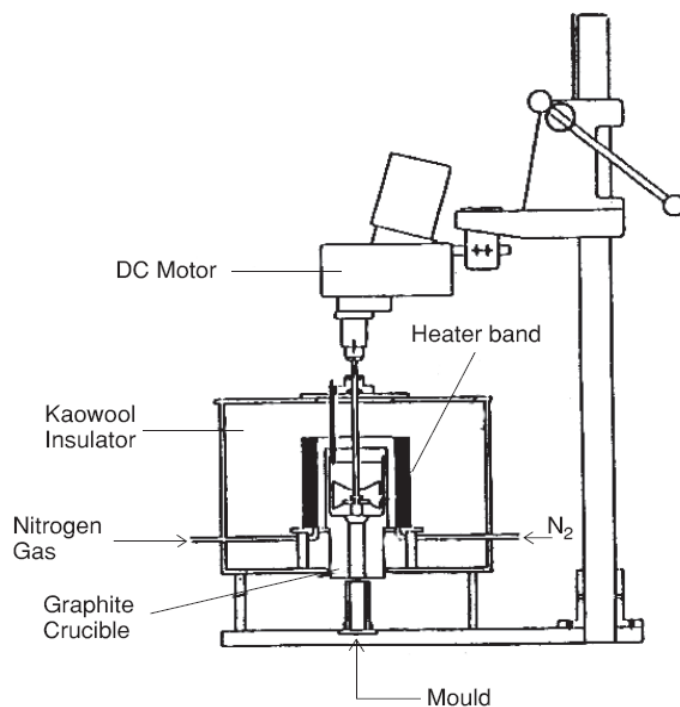
metal dan partikel keramik atau serat pendek, sering diaduk untuk mendapatkan distribusi partikel yang homogen. Dalam pengecoran sentrifugal, gradien dalam penguatan diperoleh partikel pemuatan. Hal ini bisa sangat menguntungkan dari perspektif mesin atau kinerja.

2. *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.
3. *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.
4. *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-aduk secara terus-menerus hingga terbentuk sebuah pusaran, kemudian komposit (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusaran yang telah terbentuk itu [3]. Skema dari proses *stir casting* ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

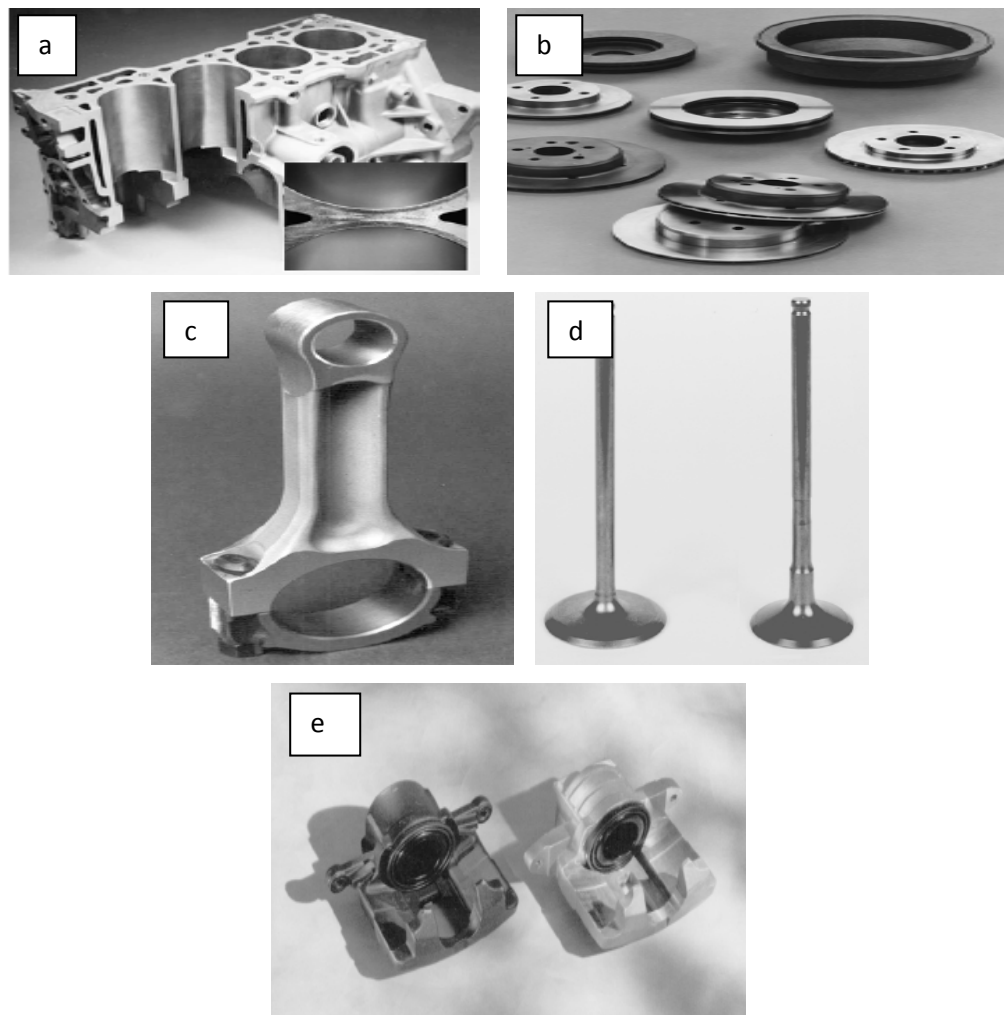


Gambar 2.3 Skema Dapur Peleburan *Stir Casting* [13]

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. 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 μm 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 [3].

2.6 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 2.4** memperlihatkan beberapa aplikasi material komposit dalam industri.

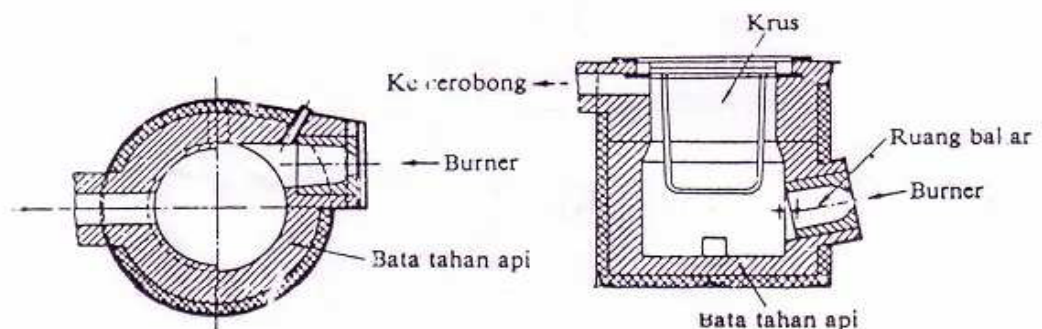


Gambar 2.4 Aplikasi Komposit dalam Industri (a) *Cylinder liner* (b) *Brake motor* (c) *Connecting rod* (d) *valves* (e) *calliper* [3]

Karakteristik yang harus dimiliki komponen tersebut dapat dipenuhi oleh AMCs, terutama sifat tahan temperatur tinggi, tahan aus, dan *coefisien thermal expansion* rendah. Sebagai contoh pada komponen sistem pengereman seperti *brake rotor* dan *brake drum*, memerlukan sifat tahan 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 [3].

2.7 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* ditunjukkan pada **Gambar 2.5**. [14].

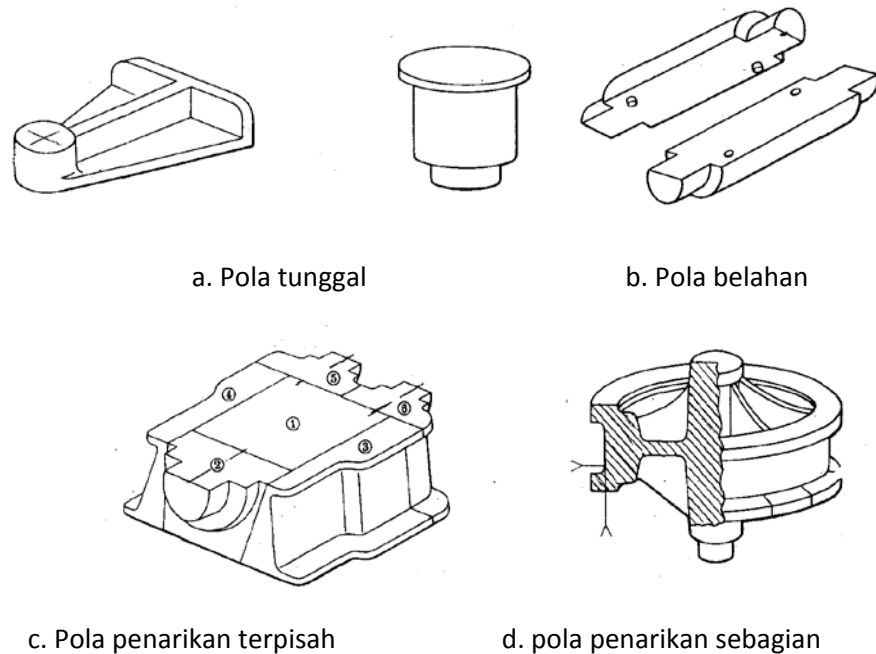


Gambar 2.5 Dapur Krusibel Tipe Tiling untuk Peleburan *Non-Ferrous* [14]

2.8 Pembuatan Pola

Pola adalah bagian yang sangat penting dalam proses pengecoran logam. Pola yang dipergunakan untuk pembuatan cetakan benda coran, dapat digolongkan menjadi pola logam dan pola kayu (termasuk pola plastik). Pola logam dipergunakan agar dapat menjaga ketelitian ukuran benda coran, terutama dalam masa produksi, sehingga unsur pola bisa lebih lama dan produktivitasnya lebih tinggi. Pola kayu dibuat dari kayu, murah, cepat dibuatnya dan mudah diolahnya dibandingkan dengan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai

untuk cetakan pasir. Sekarang sering di pakai pola kayu yang permukaannya diperkuat dengan lapisan plastik yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**. [14].



Gambar 2.6 Macam-Macam Pola [14]

Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambar perencanaan menjadi gambar untuk pengecoaran. Dalam hal ini dipertimbangkan bagaimana membuat coran yang baik, bagaimana menurunkan biaya pembuatan cetakan, bagaimana membuat pola yang mudah, bagaimana menstabilkan inti-inti, dan bagaimana cara mempermudah pembongkaran cetakan, kemudian menetapkan arah *kup* dan *drag*, posisi permukaan pisah, bagian yang dibuat oleh cetakan utama dan bagian yang dibuat oleh inti. Selanjutnya menetapkan tambahan penyusutan, tambahan untuk penyelesaian dengan mesin, kemiringan pola dan seterusnya, dan dibuat gambar untuk pengecoran yang kemudian diserahkan kepada pembuat pola [12].

2.6.1 Bahan-Bahan Untuk Pola

Bahan-bahan yang dipakai untuk pola ialah kayu, resin, dan logam. Dalam hal khusus dipakai plaster atau lilin.

2.6.1.1 Kayu

Kayu yang dipakai untuk pola adalah kayu saru, kayu aras, kayu pinus, kayu magoni, kayu jati, dan lain-lain. Pemilihan kayu menurut macam dan ukuran pola, jumlah produksi, dan lamanya dipakai. Kayu yang kadar airnya lebih dari 14% tidak dapat dipakai karena akan terjadi pelentingan yang disebabkan perubahan kadar air dalam kayu. Kadang-kadang suhu udara luar harus diperhitungkan, dan ini tergantung pada daerah dimana pola dipakai [14].

2.6.1.2 Resin Sintesis

Dari berbagai macam resin, hanya resin epoksi yang banyak dipakai. Ia mempunyai sifat: penyusutan yang kecil pada waktu mengeras, tahan aus yang tinggi, memberikan pengaruh yang lebih baik dengan menambah pengencer, zat pmlatis atau zat penggemuk menurut penggunaannya. Sebagai contoh, kekerasan meningkat dengan mencampurkan serbuk besi atau aluminium kedalamnya. Ketahanan bentur akan meningkat dengan menumpukkan serat gelas dalam bentuk lapisan [14].

Resin polistirena (polistirena berbusa) dipakai sebagai bahan untuk pola yang dibuang setelah dipakai dalam cara pembuatan cetakan yang lengkap. Pola dibuat dengan menambahkan zat pembuat busa pada polistirena untuk membuat berbutir, bentuk dan membuat busa. Resin ini mudah dikerjakan, tetapi tidak dapat menahan penggunaan yang berulang-ulang sebagai pola [14].

Resin epoksi dipakai untuk coran yang kecil-kecil dari suatu masa produksi. Terutama sangat memudahkan bahwa rangkapnya dapat diperoleh dari pola kayu atau plester.

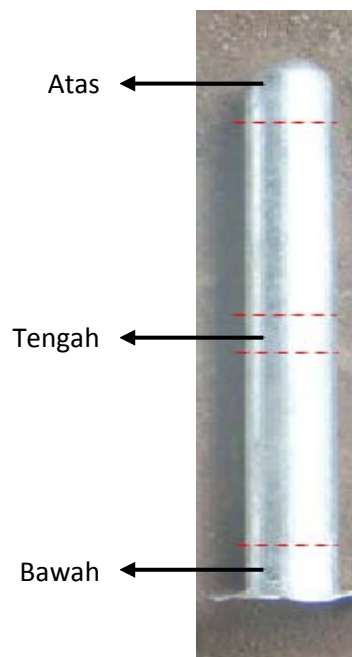
2.6 Bahan Untuk Pola Logam

Bahan yang lazim dipakai untuk pola logam adalah besi cor. Biasanya dipakai besi cor kelabu karena sangat tahan aus, tahan panas (untuk pembuatan cetakan kulit) dan tidak mahal. Kadang-kadang besi cor liat dipakai agar lebih kuat. Paduan tembaga juga biasa dipakai untuk pola cetakan kulit agar dapat memanaskan bagian cetakan yang tebal secara merata. Aluminium adalah ringan dan mudah diolah,

sehingga sering dipakai untuk pelat pola untuk mesin pembuat cetakan. Baja khusus dipakai untuk pena atau pegas sebagai bagian dari pola yang memerlukan keuletan [14].

2.7 Pengujian Material

Pengambilan sampel uji dilakukan pada bagian atas, tengah dan bawah ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



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

2.7.1 Pengujian Densitas

Densitas merupakan besaran fisis yaitu perbandingan massa (m) dengan volume benda (V). Pengukuran densitas yang materialnya berbentuk padatan atau *bulk* digunakan metode Archimedes. Untuk menghitung nilai densitas aktual dan teoritis digunakan persamaan [15]:

1. Densitas aktual:

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_{H_2O} \dots \dots \dots (2.1)$$

2. Densitas teoritis:

$$\rho_{th} = \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{Fe} \cdot V_{Fe} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

- ρ_m : densitas aktual (gram/cm³)
- m_s : massa sampel kering (gram)
- m_g : massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
- ρ_{H_2O} : massa jenis air = 1 gram/cm³
- ρ_{th} : densitas teoritis (gram/cm³)
- ρ_{Al} : densitas Al (gram/cm³)
- ρ_{Fe} : densitas Fe (gram/cm³)
- V_{Al} : fraksi massa Al (gram)
- V_{Fe} : fraksi massa Fe (gram)

2.7.2 Pengujian Porositas

Porositas dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah volume ruang kosong (rongga pori) yang dimiliki oleh zat padat terhadap jumlah dari volume zat padat itu sendiri. Porositas suatu bahan pada umumnya dinyatakan sebagai porositas terbuka atau *apparent porosity*, dan dapat dinyatakan dengan persamaan [15]:

$$Porosity = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana:

- ρ_m : densitas aktual (gram/cm³)
- ρ_{th} : densitas teoritis (gram/cm³)

Dengan diketahuinya densitas aktual dan densitas teoritis menggunakan rumus (2.1) dan (2.2), maka porositas material dapat ditentukan dengan persamaan (2.3).

2.7.3 Konduktivitas Termal

Perpindahan panas merupakan transmisi energi dari suatu daerah ke daerah lainnya sebagai akibat dari perbedaan temperatur diantara kedua daerah tersebut. Aliran energi dalam bentuk panas diatur tidak hanya oleh satu hukum fisika, tetapi oleh kombinasi dari berbagai hukum fisika. Perpindahan panas secara konduksi

yaitu perpindahan panas dimana panas mengalir di dalam suatu benda (padat, cair, atau gas) yang bersinggungan secara langsung dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur lebih rendah akibat adanya gradien temperatur pada benda tersebut. Laju dan perpindahan panas tidak dapat diukur secara langsung tetapi hal tersebut dapat diamati dengan cara melakukan pengukuran temperatur yang merupakan parameter dari laju aliran panas [16].

Perpindahan panas konduksi dapat terjadi satu, dua dan tiga dimensi. Konduksi satu dimensi terjadi jika suatu sistem dimana suhu dan aliran panas hanya fungsi dari satu koordinat saja. Sedangkan untuk konduksi dua dan tiga dimensi, suhu merupakan fungsi dari dua atau bahkan mungkin tiga koordinat. Jika kita tinjau dari proses aliran perpindahan panas terdapat dua proses yaitu kondisi tetap (*steady state*) dan kondisi *transient* atau tak tetap (*unsteady*). Kondisi *steady* yaitu jika laju aliran panas dalam suatu *system* tidak berubah dengan waktu atau bila laju tersebut konstan maka suhu dititik manapun tidak berubah dan kecepatan *fluks* masuk panas pada titik manapun dari *system* harus tepat sama dengan *fluks* keluar dan tidak dapat terjadi perubahan energi dalam. Aliran panas dalam suatu *system transient* jika suhu diberbagai titik dari suatu *system* tersebut berubah dengan waktu ditunjukkan pada **Tabel 2.10**. [16].

Tabel 2.10 Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0° C [17]

| Konduktivitas termal (k) | | |
|---------------------------------|-----------------|------------------------|
| Bahan | W/m · °C | Btu/h · ft · °F |
| Logam | | |
| Perak (murni) | 410 | 237 |
| Tembaga (murni) | 385 | 223 |
| Aluminium (murni) | 202 | 117 |
| Nikel (murni) | 93 | 54 |
| Besi (murni) | 73 | 42 |
| Baja karbon, 1 % C | 43 | 25 |
| Timbal (murni) | 35 | 20,3 |
| Baja krom-nikel | 16,3 | 9,4 |

(18 % Cr, 8 % Ni)

Bukan Logam

| | | |
|------------------------|-----------|---------|
| Kuarsa (sejajar bambu) | 41,6 | 24 |
| Magnesit | 4,15 | 2,4 |
| Marmar | 2,08-2,94 | 1,2-1,7 |
| Batu pasir | 1,83 | 1,06 |
| Kaca, jendela | 0,78 | 0,45 |
| Kayu maple atau ek | 0,17 | 0,096 |
| Serbuk gergaji | 0,059 | 0,034 |
| Wol kaca | 0,038 | 0,022 |

Zat Cair

| | | |
|---|-------|-------|
| Air raksa | 8,21 | 4,74 |
| Air | 0,556 | 0,327 |
| Amonia | 0,540 | 0,312 |
| Minyak lumas, SAE 50 | 0,147 | 0,085 |
| Freon 12, CCl ₂ F ₂ | 0,073 | 0,04 |

Gas

| | | |
|-----------------|--------|--------|
| Hidrogen | 0,175 | 0,101 |
| Helium | 0,141 | 0,081 |
| Udara | 0,024 | 0,0139 |
| Uap air (jenuh) | 0,0206 | 0,0119 |
| Karbon dioksida | 0,0146 | 0,0084 |

A. Hukum Dasar Konduktivitas Termal

Jika pada suatu benda terdapat gradien temperatur, maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian bersuhu tinggi ke bagian bersuhu rendah. Kalau energi berpindah secara konduksi maka perpindahan energi tersebut berbanding dengan gradien suhu normal [16].

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

q = laju perpindahan kalor (Btu/h atau W)

A = luas bidang tempat berlangsungnya perpindahan kalor
(ft² atau m²)

$\frac{\partial T}{\partial x}$ = gradien atau landaian suhu (*Temperatur gradient*)

dalam arah perpindahan kalor (°F/ft atau °C/m)

k = konduktivitas termal (Btu/h.ft.°F atau W/m.°C)

Sedangkan tanda negatif merupakan tanda bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu [16].

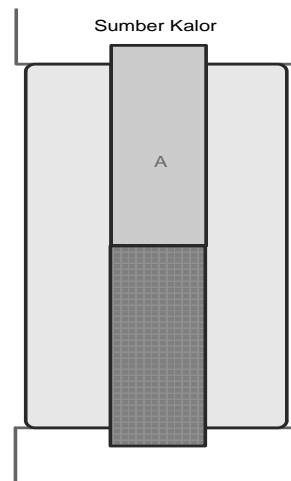
B. Persamaan Konduksi Panas pada Keadaan *Steady*-Satu Dimensi

Distribusi temperatur dalam sistem satu dimensi hanya dinyatakan dengan satu variabel saja, x pada bidang datar dan r pada bentuk silindris dan bola. Pendekatan pada bentuk silindris satu dimensi terjadi bila panjang aksialnya sangat besar dibandingkan dengan jari-jarinya, selain itu pendekatan juga dapat dilakukan jika kondisi akhir pada bentuk silindris menghasilkan gradien temperatur yang seragam dalam arah r , ϕ , dan z , hal ini dapat diperoleh kalau kedua ujung yaitu bagian atas dan bawah dari suatu silinder diisolasi sempurna.

1. Silinder (Pada Struktur Komposit Satu Dimensi)

Suatu metode yang sangat sederhana untuk pengukuran konduktivitas termal logam ialah seperti yang digambarkan pada (gambar 2.8). Sebuah batang logam A yang konduktivitas termalnya diketahui, dihubungkan dengan batang logam B yang konduktivitas termalnya akan diukur. Sebuah sumber kalor (*heat Source*) dan chamber kalor (*heat sink*) dihubungkan dengan ujung batang gabungan itu, dan rakitan itu dibalut dengan bahan isolasi untuk membuat kehilangan kalor ke lingkungan minimum dan menjaga agar aliran kalor melalui batangan itu bersifat satu dimensi.

Pada kedua bahan yang diketahui dan yang tidak diketahui, ditempelkan atau ditanamkan termokopel. Jika *gradient* suhu melalui bahan-bahan yang diketahui diukur, aliran kalor akan dapat ditentukan yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8.**[16].



Gambar 2.8 Skema Alat untuk Pengujian Konduktivitas Termal [20]. Aliran kalor ini selanjutnya digunakan untuk menghitung konduktivitas termal bahan yang tak diketahui [16]:

$$q = -k_A A \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_A = -k_B A \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_B \dots\dots\dots(2.5)$$

2.7.4 Mikrografi

Pengujian Mikrografi merupakan suatu pengujian untuk memperoleh gambar yang menunjukkan struktur mikro sebuah logam atau paduan [18]. Pengujian mikrografi ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan tebal lapisan pencampuran serbuk besi yang tercampur akibat proses *stir casting* pada spesimen uji, dimana hasil dari pengujian struktur mikro ini digunakan untuk mendukung hasil dari pengujian kekerasan Rockwell type B. Pengujian mikrografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik OLYPUS BX41M untuk menghasilkan gambaran pencitraan struktur kristal dari sebuah logam atau paduan.

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

1. 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 [18].

2. Pembedakan (*mounting*)

Proses pembedakan sering digunakan untuk material uji yang mempunyai dimensi yang lebih kecil. Dalam pemilihan media pembedakan haruslah sesuai dengan jenis material yang akan digunakan. Pembedakan haruslah memiliki kekarasan yang cukup dan tahan terhadap distorsi fisik akibat panas yang dihasilkan pada saat proses pengamplasan. Proses pembedakan ini bertujuan untuk mempermudah pengamplasan dan pemolesan [18].

3. 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 [18].

4. Pemolesan (*polishing*)

Proses pemolesan bertujuan untuk menghasilkan permukaan material uji yang benar-benar rata dan sangat halus permukaannya hingga tampak mengkilap tanpa ada goresan sedikitpun pada material uji. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan serat kain yang diolesi larutan autosol metal polish [18].

5. Pengetsaan (*etching*)

Etsa adalah mereaksikan 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 aluminium larutan etsa yang digunakan adalah terdiri dari 25 ml HNO_3 , 5 ml HF, 75 ml HCl, 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 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 [18].

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.