

BAB II

DASAR TEORI

2.1 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). Di dalam udara bebas aluminium mudah teroksidasi membentuk lapisan tipis oksida (Al_2O_3) yang tahan terhadap korosi. Aluminium juga bersifat *amfoter* yang mampu bereaksi dengan larutan asam maupun basa. Struktur kristal aluminium adalah struktur kristal FCC, sehingga aluminium tetap ulet meskipun pada temperatur yang sangat rendah.

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik dan sifat – sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam [2]. Aluminium (Al) mempunyai massa atom 27 (hanya ada satu isotop natural), nomor atom 13, densitas $2,7 \text{ g/cm}^3$, titik lebur $660 \text{ }^\circ\text{C}$ ($1220 \text{ }^\circ\text{F}$). Aluminium adalah logam berwarna putih silver. Memiliki potensi redoks $-1,66 \text{ V}$, bilangan oksidasi $+3$, dan jari-jari atom yang kecil yaitu 57 pm untuk stabilitas dari senyawa aluminium. Berat jenisnya hanya $2,7 \text{ g/cm}^3$ sehingga walaupun kekuatannya rendah tetapi *strength to weight rasionya* masih lebih tinggi daripada baja, sehingga banyak digunakan pada konstruksi yang menuntut sifat ringan seperti alat-alat transportasi terutama pesawat terbang.

Aluminium mempunyai sifat-sifat yang sangat baik antara lain : ringan, tahan korosi, penghantar panas dan listrik yang baik. Sifat tahan korosi pada aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan *oksid* aluminium pada permukaan aluminium. Lapisan *oksid* ini melekat pada permukaan dengan kuat dan rapat serta sangat stabil (tidak bereaksi dengan lingkungannya) sehingga melindungi bagian yang lebih dalam. Adanya lapisan *oksid* ini disatu pihak menyebabkan tahan korosi tetapi di lain pihak menyebabkan aluminium menjadi sukar dilas dan disolder (titik leburnya lebih dari 2000°C).

Aluminium komersial selalu mengandung beberapa *impurity* (0,8%), biasanya besi, silicon, tembaga dan lain-lain. Adanya *impurity* ini bisa menurunkan sifat hantar listrik dan sifat tahan korosi (walaupun tidak begitu besar) tetapi juga akan menaikkan kekuatannya hampir dua kali lipat dari aluminium murni. Kekuatan dan kekerasan aluminium memang tidak terlalu tinggi, tetapi dapat diperbaiki dengan pemaduan dan *heat treatment*.

Kelemahan dari segi teknik adalah sifat elastisitasnya yang sangat rendah, hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemaduan maupun dengan *heat treatment*. Sifat lain yang menguntungkan pada aluminium adalah sangat mudah difabrikasi. Dapat dituang dengan cara penuangan apapun, dapat *deforming* dengan berbagai cara seperti *rolling, stamping, drawing, forging, ekstruding* dan lain-lain menjadi bentuk yang cukup rumit sekalipun [3].

2.2 Aluminium Murni

Al didapat dalam keadaan cair dengan elektrolisa, umumnya mencapai kemurnian 99,85 % berat. Kemurnian Al dapat ditingkatkan menjadi 99,99% dengan mengelektrolisa kembali.

Tabel 2.1 Sifat-sifat fisik Aluminium [4].

Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (20 ⁰ C)	2,6968	2,71
Titik Cair	660.2	653-657
Panas Jenis (cal/g. ⁰ C) (100 ⁰ C)	0,2226	0,2297
Tahanan Listrik (%)	64,94	59
Hantaran Listrik koefisien Temperature (⁰ C)	0,00429	0,0115
Koefisien Pemuai (20 – 100 ⁰ C)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶
Jenis Kristal, Konstanta Kisi	<i>fcc</i> , a = 4,013 kX	<i>fcc</i> , a = 4,04 kX

Catatan: *fcc* ; face centered cubic = kubus berpusat muka

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 penampangnya. Oleh karena itu dapat dipergunakan untuk kabel tenaga dan dalam berbagai bentuk umpamanya sebagai lembaran tipis (*foil*). Dalam hal ini dipergunakan Al dengan kemurnian 99,0%. Untuk reflektor yang memerlukan reflektifitas yang tinggi juga untuk kondensor elektronik dipergunakan aluminium dengan kemurnian 99,99% [4].

2.3 Tembaga (Cu)

Tembaga dan nikel merupakan unsur pembentuk grafit dan cenderung untuk menjaga coran kelabu dan bebas dari *chill*. Biasanya digunakan dalam jumlah berkisar dari 0,3% sampai 1,5%. Tembaga adalah suatu logam yang berwarna kemerah-merahan dengan berat jenis 8,65 gr/cm³ (sedikit lebih tinggi dari baja sekitar 7,8 gr/cm³), titik lebur 1070⁰C sampai 1093⁰C memiliki kekuatan tarik 200 N/mm² sampai 300 N/mm². Tembaga sering digunakan dalam industri karena memiliki sifat-sifat yang menguntungkan antara lain, sifat penghantaran listrik dan panas yang baik, memiliki keuletan yang tinggi (mudah dibentuk), serta memiliki sifat tahan korosi yang baik.

Penambahan tembaga sebagai unsur paduan pada besi cor kelabu merupakan unsur penstabil grafit atau unsur pembentuk grafit dan mengurangi kecenderungan terbentuknya *chill*. Selain itu tembaga merupakan unsur penstabil perlit yang lebih kuat dari pada nikel sehingga kekuatan tarik besi cor kelabu akan naik sekitar 8% sampai 10% tiap penambahan 1% tembaga, kekuatan lelah (*fatigue strength*) juga akan mengalami peningkatan disebabkan kekuatan lelah berbanding lurus dengan kekuatan tariknya. Hal ini dapat didekatkan pada kekuatan tariknya [4].

Tembaga secara khusus bernilai untuk mengurangi sensitivitas bagian, seperti menghasilkan besi kuat dan padat pada pusat bagian yang tipis. Tembaga juga dapat meningkatkan kedalaman *hardenability* dengan meningkatkan kedalaman pengerasan untuk suatu kecepatan *quench* sebagai hasil efeknya terhadap laju transformasi pada titik perubahan γ dan α .

Tembaga mampu menaikkan kekerasan dasar sekitar 10 sampai 20 Brinell untuk penambahan tiap 1% dengan pembentukan larutan padat yang lebih keras daripada besi tanpa paduan, dengan menjaga kestabilan perlit dan juga memperhalus ukuran perlit. Tembaga tidak membentuk karbida bebas dimana efeknya terhadap ketahanan aus tidak berbeda jauh dari efeknya dalam menekan pembentukan ferrit bebas, resiko untuk pembentukan besi karbida dengan *machinability* rendah dapat dikurangi. Tembaga memiliki batas kelarutan pada besi cor sekitar 3,0 yang mengandung 96% dan 4% besi. Tembaga menurunkan kandungan karbon dari besi karbon eutektik sekitar 0,075% tiap tembaga.

Tembaga menurunkan temperatur pembekuan besi dari besi cor sekitar 2°C untuk tiap 1% tambahan, sedangkan nilai penggrafitan tembaga sekitar 0,2% sampai 0,35% dari silikon. Penambahan tembaga pada besi cor kelabu juga memperbaiki sifat ketahanan terhadap korosi atau karat [4].

Penambahan tembaga pada besi cor kelabu juga memperbaiki sifat kekerasan (*hardenability*) disebabkan struktur perlit pada besi cor kelabu diperhalus, dan penambahan sedikit unsur tembaga ke dalam larutan padat dari besi akan menghasilkan besi tuang yang tahan terhadap korosi atmosfer (*atmospheric corrosion*) [4].

2.4 Fly Ash

Fly ash merupakan limbah dari pembakaran batubara. seiring dengan meningkatnya penggunaan batubara sebagai bahan bakar di dalam dunia industri, maka *fly ash* yang dihasilkan dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem. Diharapkan pemanfaatan *fly ash* ini menjadi suatu solusi penyelesaian masalah lingkungan yang ditimbulkan dan dapat meningkatkan nilai ekonomi dari dari *fly ash* tersebut.

Beberapa tahun terakhir ini banyak dikembangkan aluminium *fly ash* sebagai komposit matriks logam. Aluminium yang dikenal sebagai logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik yang baik digunakan sebagai matriks sedangkan *fly ash* berfungsi sebagai penguat. Penggunaan *fly ash* ternyata dapat menghasilkan aluminium komposit dengan sifat mekanik yang baik dengan biaya murah yang dapat bersaing dengan komposit sejenis lainnya. Densitas *fly ash* antara $1,3 \text{ g/cm}^3$ dan $4,8 \text{ g/cm}^3$, besar densitas tersebut tergantung dari unsur kimia dan porositas yang terjadi di dalamnya. Tabel 2.3 menunjukkan densitas dari kandungan *fly ash* [5].

Tabel 2.3 Densitas dari beberapa kandungan *fly ash* [5].

Unsur	Densitas
SiO ₂	2,65
Al ₂ O ₃	3,4 – 3,6
CaO	3,3 – 3,4
Fe ₂ O ₃	5,3 – 5,4
Al ₆ Si ₂ O ₁₃	2,8 – 3,0
Fe ₃ O ₄	5,1 – 5,2
Coal	0,64 – 0,93

Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ternyata *fly ash* ini mempunyai sifat fisik dan kimia yang berguna dalam material konstruksi dan industri. Aluminium yang merupakan salah satu material yang banyak digunakan sebagai matriks sedangkan pemanfaatan *fly ash* berfungsi sebagai partikel penguat (*reinforcement*) dalam *metal matrix composite (MMC)* [5].

Fly ash digolongkan menjadi dua macam menurut jenis batubara yang digunakan, yaitu tipe C dan F. *Fly ash* tipe C berasal dari hasil pembakaran batubara jenis *lignite* atau *sub-bituminous* sedangkan *fly ash* tipe F dihasilkan dari *anthracite* atau *bituminous*. Selain itu, klasifikasi *fly ash* dapat diketahui dari persentase komposisi kimia yang terkandung didalamnya. Tabel 2.4 berikut menunjukkan komposisi kimia yang dibutuhkan untuk membedakan *fly ash* tipe F dan C [5].

Tabel 2.4 Komposisi Pembeda *fly ash* tipe F dan tipe C [5].

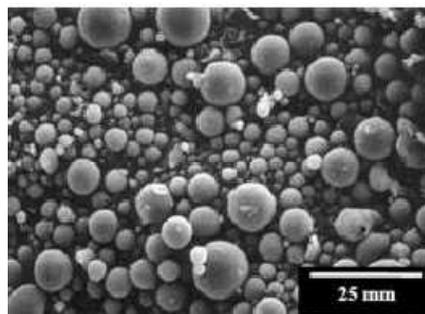
Parameter	Class F	Class C
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, min. wt.%	70	70
SO_3 , max. wt.%	5	5
LOI, max. wt.%	6	6
Moisture content, max. wt.%	3	5

Untuk mendapatkan manfaat dari *fly ash*, terlebih dahulu kita harus mengetahui karakteristik atau sifat-sifat yang terkandung di dalamnya. Karakteristik *fly ash* ini meliputi : Sifat fisik dan kimia [5].

2.4.1. Sifat Fisik

a. Bentuk Partikel

Bentuk partikel dan sifat permukaan berbagai macam *fly ash* diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*. Gambar menunjukkan mikrografi dari partikel *fly ash*.



Gambar 2.1 Partikel *fly ash* [5].

Penggambaran *SEM* menunjukkan bahwa partikel *fly ash* tampak lebih berat dan terang dibandingkan dengan partikel karbon yang juga banyak terdapat dalam *fly ash*. Semakin kecil partikel *fly ash* maka bentuknya semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang besar.

b. *Fineness*

Fineness atau tingkat kehalusan partikel *fly ash* dapat didefinisikan sebagai *specific surface area* dengan menggunakan *blaine air permeability method*. Hal ini telah dilakukan oleh Joshi et al dalam menentukan sifat fisik 14 jenis *fly ash* yang terdapat di Kanada seperti pada Tabel 2.5 [5].

Tabel 2.5 Sifat fisik *fly ash* Kanada [5].

Coal Type	Source	Overall Apparent Specific Gravity	% Retained on 45 mm Sieve	Specific Surface Area (m ² /g)
Sub-bituminous	Alberta	2.19	32.0	0.42
Sub-bituminous	Alberta	1.92	26.0	0.46
Sub-bituminous	Alberta	1.91	22.0	0.43
Sub-bituminous	Alberta	2.03	9.8	0.59
Lignite	Saskatchewan	2.54	2.8	0.50
Sub-bituminous	Saskatchewan	2.15	20.4	0.22
Lignite	Saskatchewan	2.37	44.8	0.17
Lignite	Saskatchewan	2.39	26.6	0.22
Bituminous	Ontario	2.46	24.0	0.28
Bituminous	Ontario	2.31	27.0	0.25
Bituminous	New Brunswick	2.94	21.4	0.31
Bituminous	New Brunswick	2.87	26.4	0.18
Bituminous	Nova Scotia	2.53	28.2	0.36
Sub-bituminous	Nova Scotia	2.44	34.4	0.38

Untuk *fly ash* dari Kanada ini, besarnya *specific surface area* antara 0,17 - 0,59 m²/g. Perbedaan yang terjadi dikarenakan adanya perbedaan distribusi ukuran butir, banyaknya *spongy minerallic particless* di dalam *fly ash*.

c. *Specific Grafity*

Secara umum besarnya *specific grafity* dari *fly ash* antara 1,91 – 2,94 [5].

d. *Pozzolanic Activity*

Pozzolanic activity merupakan kemampuan komponen silika dan alumina dari *fly ash* untuk bereaksi dengan *calcium hydroxide* jika ditambahkan air untuk menghasilkan *highly cementitious water insoluble products*. *Pozzolanic activity* ini dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti *fineness*, unsur yang tak berbentuk (*amorphous matter*), komposisi kimia dan mineral serta karbon yang tidak terbakar atau *LOI (Loss on Ignition)* dari *fly ash* [5].

e. Warna

Fly ash tipe C berwarna lebih terang (putih) bila dibandingkan tipe F yang lebih gelap (abu-abu). Hal ini dikarenakan jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam *fly ash* tipe C lebih banyak daripada tipe F. Untuk nilai *LOI (Loss on ignition)*, *fly ash* tipe C memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan tipe F. *LOI* merupakan nilai besarnya jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam *fly ash*. *LOI* ini digunakan sebagai indikator yang dapat menunjukkan apakah suatu *fly ash* itu cocok digunakan sebagai pengganti *cement* di dalam *concrete* [5].

Aluminium *fly ash* merupakan salah satu contoh dari *metal matrix composite (MMC)*, dimana aluminium sebagai matriks dan *fly ash* sebagai partikel penguatnya. Penggunaan *fly ash* dalam komposit aluminium ini memberikan banyak keuntungan, yaitu mengurangi limbah padat pada *power plant*, sehingga memberikan nilai tambah bagi *fly ash*. Selain itu *fly ash* dapat meningkatkan sifat material dengan biaya yang rendah, seperti berkurangnya densitas dan koefisien ekspansi, meningkatnya kekerasan dan keatahanan aus dari matriks aluminium yang digunakan. Penghematan energi dalam proses manufaktur juga dapat dicapai karena pengurangan penggunaan aluminium yang digantikan dengan *fly ash* [5].

2.5 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 [2].

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. 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 fasa ganda. Peningkatan kekuatan dan kekerasan logam paduan disebabkan oleh adanya atom-atom yang larut yang menghambat pergerakan dislokasi dalam kristal sewaktu deformasi plastis [2].

Secara garis besar paduan aluminium dibedakan menjadi dua jenis yaitu paduan aluminium tempa dan aluminium cor. Untuk lebih jelasnya pengelompokan paduan aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.6 [6].

Tabel 2.6 Kelompok Paduan Aluminium [6].

<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>		
<i>Manganesee</i>	2xxx	2xx.x
<i>Silicon, with added copper and/or magnesium</i>	3xxx	-
<i>Silicon</i>	-	3xx.x
<i>Magnesium</i>	4xxx	4xx.x
<i>Magnesium and silicon</i>	5xxx	5xx.x
<i>Zinc</i>	6xxx	-
<i>Tin</i>	7xxx	7xx.x
<i>Other element</i>	-	8xx.x
<i>Unused series</i>	8xxx	9xx.x
	9xxx	6xx.x

Menurut *Aluminium Association System* di Amerika, penamaan aluminium :

- a. Paduan jenis cor 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 pengecoranl, misalnya *casting* (0) atau *ingot* (1,2).
- b. Paduan tempa 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.

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

Sifat-sifat umum pada paduan aluminium adalah:

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

Elemen paduan utama seri ini adalah besi dan silicon. Jenis paduan ini mempunyai kandungan aluminium 99,0%. Aliminium 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 [6].

2. Paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Elemen paduan utama pada seri ini adalah *copper*, tetapi magnesium dan sejumlah kecil elemen lain juga ditambahkan untuk kebanyakan paduan jenis ini. Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat di *heat treatment*.

Dengan 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) [6].

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

Manganese merupakan elemen paduan utama seri ini. Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan, sehingga kenaikan 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 [6].

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 [6].

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 [6].

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

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

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 [6].

2.6 Komposit

Menurut Matthews dkk (1993), komposit adalah suatu material yang terbentuk dari dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana kombinasi sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya berbeda. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik ini yang berbeda dari material pembentuknya. Krosch dkk telah menyatakan bahwa komposit adalah bahan yang terbentuk apabila dua atau lebih komponen yang berlainan digabungkan. Rosato dan Di Matitia juga menyatakan bahwa plastik dan bahan-bahan penguat yang biasanya dalam bentuk serat, dimana ada serat pendek, panjang, anyaman pabrik atau lainnya.

Selain itu ada juga yang menyatakan bahwa bahan komposit adalah kombinasi bahan tambah yang berbentuk serat, butiran seperti pengisi serbuk logam, serat kaca, karbon, *aramid (kevlar)*, keramik dan serat logam dalam julat panjang yang berbeda-beda didalam *matrix*. Menurut Agarwal dan Broutman, 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. Bahan komposit adalah bahan yang heterogen yang terdiri dari fasa tersebar dan fasa berterusan, fasa tersebar selalu terdiri dari serat atau bahan pengukuh sedangkan yang berterusannya terdiri dari matriks.

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 (1994) menjelaskan

bahwa *alloy* (paduan) adalah kombinasi antara dua buah bahan atau lebih dimana bahan- bahan tersebut terjadi peleburan sedangkan 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. Komposit dapat digolongkan berdasarkan jenis matriks dan bentuk penguatnya [5].

2.7 Pembuatan Aluminium *Fly Ash*

Pembuatan aluminium *fly ash* ini dibedakan menjadi tiga cara yaitu *stir casting*, *powder metallurgy* dan *pressure infiltration* [4]. Berikut adalah penjelasan dari secara umum dari ketiga cara tersebut.

a. *Stir Casting*

Metode *stir casting* merupakan proses utama dalam produksi material komposit, dimana material penguat disatukan bersama logam cair dengan cara diaduk (*stirring*). Untuk menghasilkan kualitas komposit yang baik, proses *stirring* harus berlangsung kontinyu untuk mempertahankan partikel penguat tetap terdispersi merata dalam logam cair (matriks). Dalam proses ini, campuran dilebur dan temperturnya dikontrol dengan menggunakan *thermocontroller*, lalu dimasukkan *fly ash*. Temperatur dari campuran harus dikontrol dibawah suhu kritis untuk menghindari pembentukan senyawa lain yang dapat mengakibatkan fluiditas yang buruk pada cairan.

Adanya *vortex* pada saat proses pengadukan menyebabkan partikel *fly ash* yang ringan terdispersi merata dalam matriks sampai campuran tersebut dipindah kedalam cawan tuang dan dituang kedalam cetakan permanen [4].

b. *Powder Metallurgy*

Powder Metallurgy merupakan suatu proses yang melibatkan penguatan *powder* dari logam dan bahan penguat pada temperatur yang tinggi dengan cara penekanan tempa (*forging press*). Setelah dikeringkan pada temperatur 110°C, aluminium dan serbuk *fly ash* dicampur dengan menggunakan *rotary drum*, kemudian variasi persentase jumlah *fly ash* yaitu 5% sampai 10% berat dimasukkan ke dalam *rotary drum*. Setelah itu sampel dari aluminium *fly ash* dipadatkan dengan tekanan yang berbeda yaitu antara 138 MPa sampai 414 MPa dengan menggunakan mesin *unaxial*

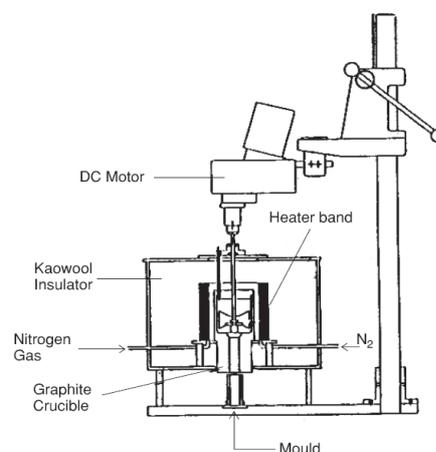
hydraulic press. Aluminium *fly ash* yang telah dipadatkan, dimasukkan ke dalam pipa silika yang transparan dan di *sinter* pada suhu 625°C dan 645°C selama 2,5 jam dan 6 jam pada kedua temperatur tersebut [4].

c. Pressure Infiltration

Pressure infiltration adalah suatu proses dimana tekanan hidrostatik diberikan pada permukaan cairan matriks sehingga tetap cair, kemudian dibentuk di dalam cetakan. Proses ini diawali dengan mencampurkan *cenosphere* dan *precipitator ash* dengan menggunakan *Mono Aluminium Phosphate (MAP)*. Kemudian hasilnya dituang ke dalam cetakan dan dibiarkan kering pada suhu 204°C selama 24 jam, yang kemudian dipanaskan kembali pada suhu 815°C selama 5 jam. Lalu hasil campuran tersebut dituangkan ke dalam cetakan yang bertemperatur 840°C dan diberikan tekanan sebesar 10 Mpa sampai 17 MPa pada bagian permukaan campuran logam cair selama 10 menit [4].

2.8 Pembuatan Komposit Al-Cu-FA 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 pusran, kemudian komposit (berupa serbuk) tersebut dicampurkan sedikit demi sedikit melalui tepi dari pusran yang telah terbentuk itu [4]. Skema dari proses *stir casting* dilihat pada Gambar 2.2.



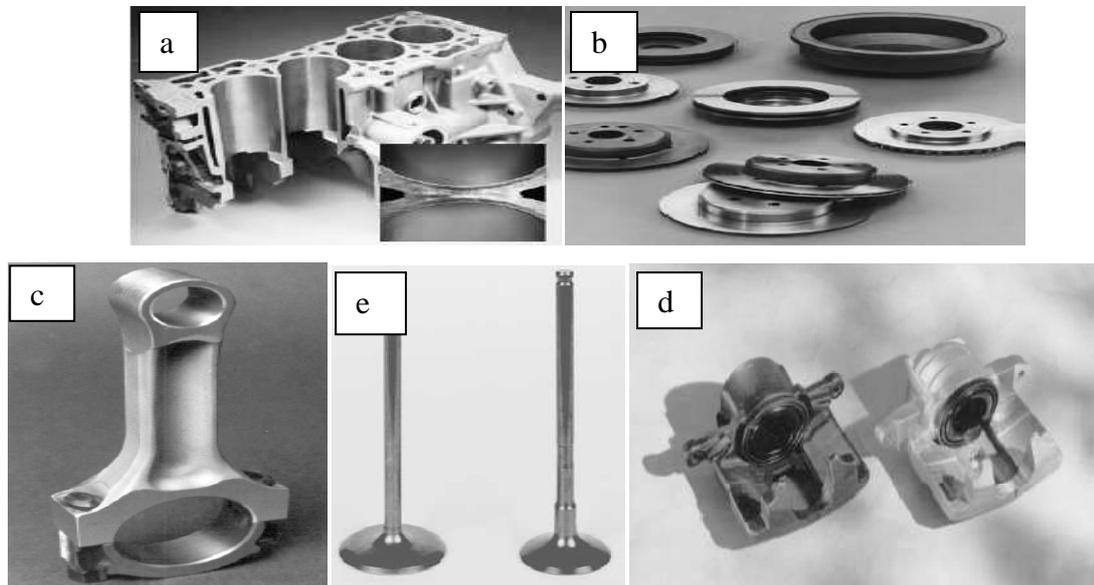
Gambar 2.2 Skema dapur peleburan *stir casting* [4].

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 [4].

2.9 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 2.2. memperlihatkan beberapa aplikasi material komposit dalam industri [4].

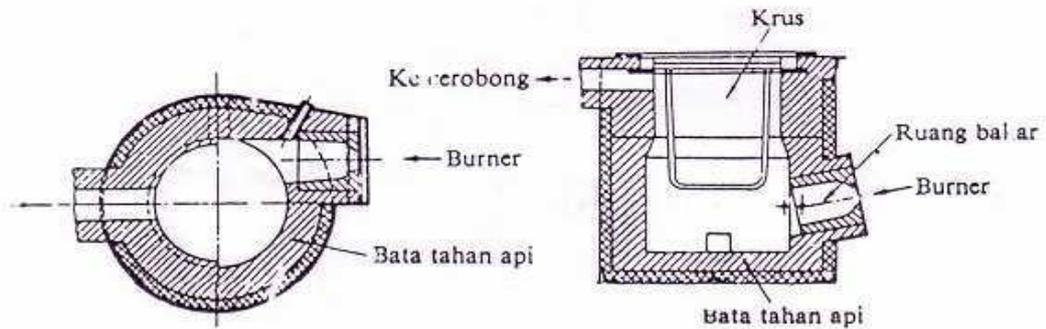


Gambar 2.3 Aplikasi komposit dalam industri (a) *Cylinder liner* (b) *Brake motor* (c) *Connecting rod* (d) *valves* (e) *calliper* [4].

Karakteristik yang harus dimiliki komponen tersebut dapat dipenuhi oleh AMCs, terutama sifat tahan temperatur tinggi, tahan aus, dan koefisien 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 [4].

2.10 Dapur Peleburan Al-Cu-FA

Dalam peleburan Al-Cu dengan penambahan FA 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* [7].

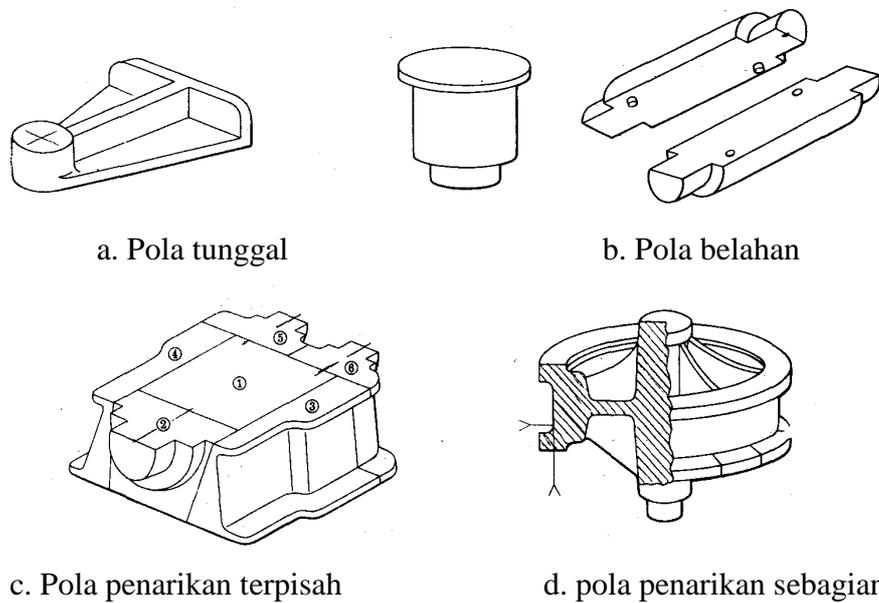


Gambar 2.4 Dapur *krusibel* tipe tiling untuk peleburan *non-ferrous* [7].

Krusibel yang ada dalam dapur berbentuk pot yang terbuat dari lempung api dicampur dengan grafit. Terdapat tiga macam *krusibel* menurut jenis bahan bakar : gas, minyak dan kokas. *Krusibel* dengan bahan bakar kokas jarang digunakan karena kurang efisien. Hasil pembakaran bahan bakar akan memanaskan dinding *krusibel* yang kemudian akan mengalirkannya ke logam yang akan dilebur. Sehingga api pembakaran tidak langsung kontak dengan logam. [7].

2.11 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 [7].



Gambar 2.5 Macam-macam pola [7].

Hal pertama yang harus dilakukan pada pembuatan pola adalah mengubah gambar perencanaan menjadi gambar untuk pengecoran. 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.

2.12 Bahan-Bahan Untuk Pola

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

➤ 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 [7].

➤ 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 pemlatis 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.

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. Resin epoksi dipakai untuk coran yang kecil-kecil dari suatu masa produksi. Terutama sangat memudahkan bahwa rangkapnya dapat diperoleh dari pola kayu atau plester [7].

➤ Bahan Untuk Pola Logam

Bahan yang lazim dipakai untuk pola logam adalah besi cor. Biasanya dipakai besi cor kelabu karena sangat tahan aus, 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 [7].

2.13 Pengujian Material

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

2.13.1 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 [4].

1. Densitas aktual:

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

2. Densitas teoritis:

$$\rho_{th} = \rho_{Al} \cdot V_{Al} + \rho_{FA} \cdot V_{FA} + \rho_{Cu} \cdot V_{Cu} \quad (2.2)$$

dimana:

ρ_m	: densitas aktual (gram/cm ³)
m_s	: massa sampel kering (gram)
m_g	: massa sampel yang digantung di dalam air (gram)
ρ_{H_2O}	: massa jenis air = 1 gram/cm ³
ρ_{th}	: densitas teoritis (gram/cm ³)
ρ_{Al}	: densitas Al (gram/cm ³)
ρ_{Cu}	: densitas Cu (gram/cm ³)
ρ_{FA}	: densitas FA (gram/cm ³)
V_{Al}	: fraksi massa Al (gram)
V_{Cu}	: fraksi massa Cu (gram)
V_{FA}	: fraksi massa FA (gram)

2.13.2 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 [4].

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

dimana:

ρ_m : densitas aktual (gram/cm³)

ρ_{th} : densitas teoritis (gram/cm³)

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

2.13.3 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 [8].

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 [8].

Tabel 2.7. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0°C [8].

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 (18 % Cr, 8 % Ni)	16,3	9,4
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	0,042
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.

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

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)

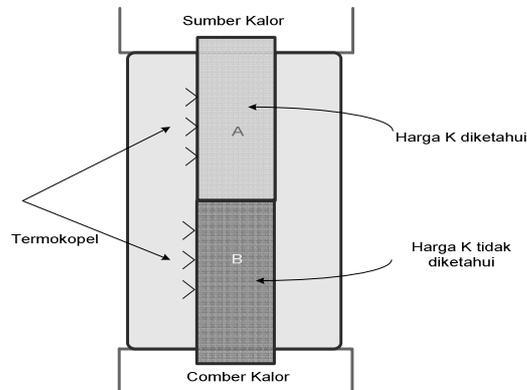
Sedangkan tanda negatif merupakan tanda bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala suhu [8].

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 [8].

Suatu metode yang sangat sederhana untuk pengukuran konduktivitas termal logam ialah seperti yang digambarkan pada (gambar 2.5). 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 kedua ujung batang, dan rakitan itu dibalut dengan bahan isolasi untuk membuat kehilangan kalor ke lingkungan minimum dan menjaga agar aliran kalor melalui batang 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 [8].



Gambar 2.6 Skema Alat untuk Pengujian Konduktivitas Termal [8].

Aliran kalor ini selanjutnya digunakan untuk menghitung konduktivitas termal bahan yang tak diketahui. Jadi: $q = -k_A A \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_A = -k_B A \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_B$ (2.5)

2.13.4 Mikrografi

Pengujian mikrografi ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dan tebal lapisan pencampuran serbuk *fly ash* 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 OLYMPUS BX41M untuk menghasilkan gambaran pencitraan struktur kristal dari sebuah logam atau paduan. Sebelum melakukan pengamatan struktur mikro, material uji (spesimen) 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 menjadi dimensi yang diinginkan. 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 [9].

2. Pembungkaiian (*Mounting*)

Proses pembungkaiian sering digunakan untuk material uji yang mempunyai dimensi yang lebih kecil. Dalam pemilihan media pembungkaiian haruslah sesuai dengan jenis material yang akan digunakan. Pembungkaiian haruslah memiliki kekarasan yang cukup dan tahan terhadap distorsi fisik akibat panas yang dihasilkan pada saat proses pengamplasan. Proses pembungkaiian ini bertujuan untuk mempermudah pengamplasan dan pemolesan [9].

3. Pengamplasan (*Grinding*)

Pengamplasan bertujuan untuk meratakan permukaan material uji setelah proses pemotongan material uji. Proses pengamplasan dibedakan atas pengamplasan kasar dan pengamplasan sedang. Pada saat melakukan proses pengamplasan material uji harus diberi cairan pendingin guna menghindari terjadinya overheating akibat panas yang ditimbulkan pada saat proses pengamplasan [9].

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 [9].

5. Pengetsaaan (*Etching*)

Pengetsaaan bertujuan untuk memperlihatkan struktur mikro dari material uji dengan menggunakan mikroskop. Material uji yang akan di etsa harus bebas dari perubahan struktur akibat deformasi serta dipoles secara teliti dan merata pada seluruh permukaan material uji yang akan diuji struktur mikronya, dengan menggunakan larutan HNO_3 , HF, HCl, dan aquades [9].

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 [9].