

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Alumunium

Logam murni atau paduan tanpa besi dikenal sebagai logam non-ferrous. Tembaga dan paduannya, nikel dan paduannya, seng dan paduannya, magnesium dan paduannya, serta aluminium dan paduannya ialah beberapa contohnya. Logam non-ferrous meliputi, misalnya, duralumin (Al-Cu-Mg), hidronalium (Al-Mg), monel (Ni-Cr-Mn), nimonik (Ni-Cr), kuningan (Cu-Zn), perunggu (Cu-Sn), dan silumin (Al-Si). Karena kualitasnya yang unik—seperti ketahanan terhadap korosi, bobot yang ringan, dan kualitas mekanis yang lebih baik—logam-logam ini digunakan dalam berbagai aplikasi industri.

Menurut Surdia dan Saito (2000: 129), aluminium ialah logam ringan yang memiliki ketahanan korosi yang baik serta kemampuan menghantarkan listrik yang tinggi, di samping sifat-sifat unggul lainnya yang dimiliki oleh logam. Guna meningkatkan kekuatan mekaniknya, aluminium dapat dipadu dengan logam-logam seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan unsur lainnya. Penggunaan satu atau lebih dari unsur-unsur tersebut bersama-sama dapat memberikan sifat mekanik yang lebih baik. Material ini sangat serbaguna, digunakan tidak hanya untuk peralatan rumah tangga, tetapi juga dalam berbagai aplikasi industri seperti material pesawat terbang, mobil, kapal laut, komponen otomotif, bahan konstruksi bangunan, dan banyak lagi.

Sir Humphrey Davy menemukan unsur aluminium pertama pada tahun 1809, dan H.C. Oersted melakukan reduksi pertama pada logam tersebut pada tahun 1825.

Dengan mengelektrolisis alumina yang dilarutkan dalam garam, Paul Heroult di Prancis dan C.M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah mensintesis aluminium untuk pertama kalinya di industri pada tahun 1886. Aluminium masih diproduksi menggunakan metode Heroult-Hall hingga saat ini.

Logam yang paling umum di kerak Bumi ialah aluminium. Aluminium, suatu unsur kimia dengan nomor atom 13 dan berat atom 26,98 gram per mol, terdapat dalam golongan IIIA Tabel Periodik Unsur (PSU). Isotop normal aluminium ialah Al-27, tetapi isomernya, Al-26, memiliki waktu paruh 100.000 tahun dan dapat melepaskan cahaya saat meluruh.

Aluminium ialah logam ringan yang memiliki ketahanan korosi, konduktivitas listrik, dan sifat-sifat unggul lainnya yang khas dari logam. Guna meningkatkan kekuatannya, unsur padamu seperti tembaga, magnesium, silikon, mangan, seng, dan nikel sering ditambahkan ke dalam paduan aluminium. Unsur-unsur ini dapat ditambahkan secara terpisah atau secara bersamaan, yang juga memberikan manfaat tambahan seperti ketahanan korosi, ketahanan aus, dan koefisien pemuaian yang rendah. Material ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, termasuk dalam pembuatan pesawat terbang, komponen otomotif, kapal laut, konstruksi, peralatan rumah tangga, dan lain-lain. Aluminium memiliki sifat mekanik dan fisik yang cukup baik dibandingkan dengan logam non-ferro lainnya. Sifat-sifat ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti komposisi bahan dan perlakuan yang diterapkan pada aluminium.

A. Sifat Aluminium

Kerak bumi mengandung aluminium, yang menyusun antara 8,07% dan 8,23% dari total massa padat kerak bumi. Sekitar 30 juta ton aluminium diproduksi setiap tahunnya di seluruh dunia dalam bentuk bauksit dan mineral lainnya. Aluminium seringkali mencapai kemurnian 99,85% berat dalam bentuk cair; elektrolisis menurunkannya menjadi 99,99%.

Karakteristik fisik logam ditentukan oleh kondisinya setelah suatu peristiwa fisik, klaim Kuncoro (2013: 9). Titik leleh dan titik didih suatu material dapat disimpulkan dari karakteristik fisik ini. Kemampuan logam guna menahan beban baik beban statis maupun dinamis atau beban yang berfluktuasi dalam berbagai kondisi, pada suhu tinggi dan di bawah titik beku, dikenal sebagai karakteristik mekanisnya. Elastisitas, kekuatan, duktilitas, kekerasan, kerapuhan, ketahanan aus, batas mulur, dan kuat tekan ialah beberapa karakteristik mekanis logam. Tabel di bawah ini menunjukkan karakteristik mekanis dan fisiknya:

Karakteristik dari sifat fisik dan sifat mekanik aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1. Sifat fisik dari alumunium

Sifat Alumunium	Keterangan
Wujud	Padat
Massa Jenis	2,70 gram/cm ³
Titik Lebur	660,32 °C
Titik Didih	2792 K, 2519 °C, 4566 °F
Konduktivitas Panas (20 °C-400 °C)	238 W/m.K
Tahanan Listrik	2.69.10 KΩ m
Modulus Young	70 Gpa
Modulus Geser	26 Gpa
Kekerasan Skala Vickers	167 Mpa
Kekerasan Skala Brinnel	15-150 HB

Tabel 2.2. Alumunium dan Paduannya JIS H4000 ~ H4180

Jenis	Sifat Mekanis				Aplikasi
	Perla- kuan	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Luluh (MPa)	Elongasi (%)	
1050	O	75	30	39	Tangki, wadah, bahan arsitektur
	H18	160	145	7	
1100	O	90	35	35	Tangki, bahan arsitektur, pendingin
	H18	165	150	5	
2024	O	185	75	20	Pesawat terbang, sepeda motor.
	T4	470	325	20	
3003	O	110	40	30	Peralatan sehari-hari, bahan arsitektur, wadah
	H18	200	185	4	
5052	O	195	90	27	Kapal laut, gerbong kereta, bahan arsitektur
	H38	290	255	7	
6063	O	90	50	32	Bingkai jendela, bahan arsitektur
	T6	240	215	12	
7075	O	230	105	17	Pesawat terbang, peralatan olahraga
	T6	570	505	11	
7N01	T6	430	355	15	Gerbong kereta, material konstruksi las

B. Paduan Alumunium

Aluminium murni cenderung terlalu lunak dan memiliki kekuatan serta kekerasan yang rendah, sehingga belum dapat dimanfaatkan secara

optimal dalam dunia teknik. Oleh karena itu, proses pemaduan dilakukan guna memperbaiki sifat-sifat tersebut. Namun, dalam beberapa kasus, pemaduan dapat mengurangi ketahanan korosi dan keuletan aluminium. Unsur-unsur yang biasa digunakan sebagai paduan aluminium meliputi tembaga, silikon, magnesium, mangan, nikel, dan lainnya, yang dapat mengubah sifat material tersebut. Paduan aluminium (Al) diklasifikasikan menurut berbagai standar yang ditetapkan oleh berbagai negara. Salah satu sistem klasifikasi yang paling dikenal dan dianggap lengkap ialah standar Aluminium Association (AA) di Amerika Serikat, yang berasal dari standar sebelumnya yang dikembangkan oleh Alcoa (Aluminium Company of America).

Beberapa faktor yang mempengaruhi sifat paduan aluminium antara lain ialah unsur-unsur berikut:

1) Silikon (Si)

Unsur Si dalam paduan aluminium mempunyai pengaruh positif:

- a) Mempermudah proses pengecoran
- b) Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- c) Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran
- d) Menurunkan penyusutan dalam hasil cor

Pengaruh negatif yang ditimbulkan unsur Si berupa

- a) Penurunan keuletan bahan terhadap beban kejut dan
- b) Hasil cor akan rapuh jika kandungan silikon terlalu tinggi

2) Tembaga (Cu)

Pengaruh baik yang dapat ditimbulkan oleh unsur Cu dalam paduan aluminium akan:

- a) Meningkatkan kekerasan bahan
- b) Memperbaiki kekuatan tarik
- c) Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin

Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan oleh unsur Cu akan:

- a) Menurunkan daya tahan terhadap korosi
- b) Mengurangi keuletan bahan dan
- c) Menurunkan kemampuan dibentuk dan dirol

3) Unsur Magnesium (Mg)

Magnesium memberikan pengaruh baik yaitu:

- a) Mempermudah proses penuangan
- b) Meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin
- c) Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- d) Meningkatkan kekuatan mekanis
- e) Menghaluskan butiran kristal secara efektif
- f) Meningkatkan ketahanan beban kejut/impak

Pengaruh buruk yang ditimbulkan oleh unsur Mg:

- a) Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil pengecoran

4) Unsur Besi (Fe)

Pengaruh baik yang dapat ditimbulkan oleh unsur Fe ialah:

- a) Mencegah terjadinya penempelan logam cair pada cetakan selama proses penuangan.

Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan unsur paduan ini ialah:

- a) Penurunan sifat mekanis
- b) Penurunan kekuatan tarik
- c) Timbulnya bintik keras pada hasil coran
- d) Peningkatan cacat porositas

2.2. Pengecoran (Casting)

Casting atau pengecoran ialah proses manufaktur yang melibatkan penuangan logam cair ke dalam cetakan yang memiliki rongga berbentuk sesuai dengan produk yang diinginkan. Salah satu paduan yang sering digunakan dalam proses ini ialah paduan aluminium-tembaga (Al-Cu), karena memiliki kombinasi sifat mekanis yang baik, termasuk kekuatan dan kekerasan yang tinggi.

Paduan Al-Cu banyak digunakan dalam industri karena sifat mekanisnya yang unggul. Penambahan tembaga ke dalam aluminium meningkatkan kekerasan dan kekuatan material melalui pembentukan fasa intermetalik yang keras. Selain itu, paduan ini juga memiliki ketahanan korosi yang baik serta kemampuan mesin yang optimal.

Aluminium ialah salah satu logam non-ferro yang memiliki sifat ringan dan tahan korosi. Aluminium sering digunakan sebagai campuran dalam berbagai paduan logam tanpa menghilangkan sifat ringannya. Sifat mekanis dan kemampuan coranya dapat ditingkatkan dengan menambahkan unsur-unsur lain seperti tembaga, silikon, magnesium, mangan, dan nikel, yang berperan dalam mengubah karakteristik paduan aluminium.

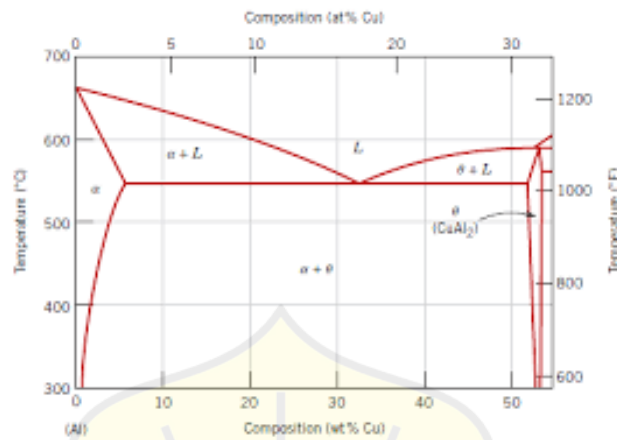
Penggunaan aluminium mengalami perkembangan pesat, terutama dalam industri penerbangan, otomotif, serta manufaktur. Berbagai inovasi telah dilakukan sehingga berhasil menciptakan paduan aluminium baru dengan sifat dan karakteristik yang beragam.

Tabel 2.3. Sifat fisik dari aluminium murni

Sifat-sifat	Kemurnian Aluminium(%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis(20°C)	2,6968	2,71
Titik lebur	660,2	653-657
Panas jenis (cal/g ° C)	0,2226	0,2297
Tahanan listrik(%)	64,94	59
Hantaran listrik koefesien temperatur (/°C)	0,00429	0,0115
Koefesien pemuaian (20 – 100°)	23,86x10 ⁻⁶	23,5x10 ⁻⁶

Kehadiran unsur tembaga (Cu) dalam paduan aluminium berpengaruh terhadap tingkat kekerasannya. Saat dipanaskan hingga mencapai suhu solvus (padat terlarut), atom tembaga akan berdifusi ke dalam sel satuan aluminium, membentuk satu fasa yang dikenal sebagai aluminium- α . Jika proses pendinginan dilakukan dengan cepat, unsur tembaga tidak memiliki cukup waktu guna membentuk fasa baru (β), sehingga tetap berada dalam sel satuan aluminium. Kondisi ini disebut sebagai super saturated solid solution α , yaitu fasa yang tidak stabil. Dari keadaan tersebut, nantinya akan terbentuk presipitat. Gambar 2.1. berikut ialah diagram fasa Al-Cu dimana terdapat garis solvus yang membatasi

terbentuknya fasa tunggal (α) pada paduan sehingga dapat meningkatkan kekerasan.



Gambar 2.1. Diagram Fasa Al-Cu

Secara umum, material komposit ialah gabungan dari dua atau lebih jenis material yang berbeda. Dengan kata lain, komposit ialah bahan yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pada skala makroskopis guna menciptakan material baru yang lebih bermanfaat. Perbedaan utama antara komposit dan paduan terletak pada metode penggabungannya. Komposit disusun secara makroskopis, sehingga serat maupun matriksnya masih dapat terlihat (seperti pada komposit serat), sedangkan paduan terbentuk secara mikroskopis sehingga unsur-unsur penyusunnya tidak lagi terlihat secara kasat mata.

Komposit dibentuk dari dua jenis material yang berbeda, yaitu

1. Penguat (reinforcement)

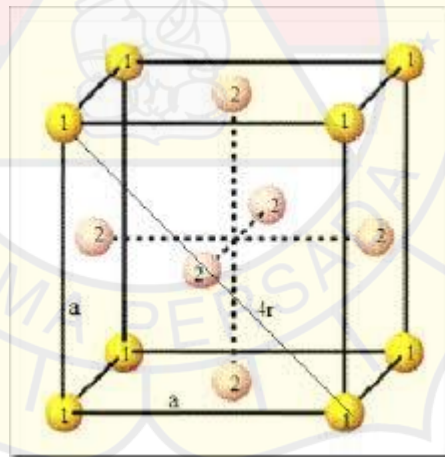
Penguat atau reinforcement mempunyai sifat kurang ductile tetapi lebih rigid serta lebih kuat.

2. Matriks

Matriks ialah fasa dalam komposit yang mempunyai bagian atau fraksi volume terbesar (dominan). Matriks mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a) Mentransfer tegangan serat
- b) Membentuk ikatan koheren, permukaan matrik/serat
- c) Tetap stabil setelah proses manufaktur
- d) Melindungi serat

Aluminium memiliki struktur kristal *Face Centered Cubic* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, dengan bilangan koordinasi sebesar 12 dan terdapat empat atom dalam satu unit selnya. Awalnya, transformasi alotropik pada suhu 870°C dan 350°C diusulkan guna menjelaskan adanya diskontinuitas dalam perubahan sifat material. Namun, penelitian lebih lanjut terhadap logam dengan kemurnian lebih tinggi menunjukkan bahwa dalam kondisi tekanan normal, mulai dari suhu 4°C hingga titik leburnya, tidak terjadi transformasi alotropik (Leighou, 1953).



Gambar 2.2 Struktur kristal FCC

ada ASM Handbook Volume 2 (1990) dijelaskan sifat-sifat Aluminium sebagai berikut:

1. Sifat termal
 - a) Termptatur leleh : 660,4°C
 - b) Temperatur didih : 2494°C

c) Pemuaian termal

Tabel 2.4. Koefisien pemuaian termal alumunium (ASM Handbook Volume2, 1990)

Rentang Temperatur, °C	Koefesien Rata-rata, $\mu\text{m}/\text{m.k}$
-200 hingga 20	18,0
-150 hingga 20	19,9
-100 hingga 20	21,0
-50 hingga 20	21,8
20 hingga 100	23,6
20 hingga 200	24,5
20 hingga 300	25,5
20 hingga 400	26,4
20 hingga 500	27,4

2.3. Mekanisme Penguatan Logam

Penguatan pada material logam terjadi akibat pergerakan dislokasi yang memengaruhi sifat mekaniknya. Kemampuan suatu logam guna mengalami deformasi plastis bergantung pada seberapa mudah dislokasi dapat bergerak. Dengan membatasi pergerakan dislokasi, kekuatan mekanik logam dapat ditingkatkan, karena lebih banyak energi mekanik yang dibutuhkan guna menciptakan deformasi plastis. Sebaliknya, jika tidak ada hambatan terhadap pergerakan dislokasi, logam akan lebih mudah mengalami deformasi. Secara umum, terdapat empat mekanisme utama dalam penguatan material logam, yaitu pengerasan regang, penguatan larutan padat, penguatan presipitasi, dan penghalusan batas butir.

2.4. Paduan Al-Cu

Aluminium ialah salah satu logam non-ferrous yang paling banyak digunakan dalam berbagai bidang, baik untuk komponen teknis maupun non-teknis. Material ini memiliki beberapa keunggulan, seperti bobot yang ringan dan ketahanan terhadap korosi akibat lapisan pasif yang memperlambat oksidasi. Namun, aluminium murni memiliki kekuatan dan sifat mekanik yang relatif rendah, sehingga perlu dikombinasikan dengan unsur lain guna meningkatkan performanya. Salah satu paduan yang umum digunakan ialah paduan Al-Cu, yang terdiri dari aluminium (Al) sebagai unsur utama dan tembaga (Cu) sebagai elemen penguat utama. Paduan ini memiliki peran penting dalam berbagai industri, termasuk otomotif, dirgantara, elektronik, dan konstruksi.

Penambahan tembaga pada paduan aluminium meningkatkan kekuatan dan kekerasan baik melalui peleburan atau perlakuan panas. Aluminium dengan penambahan tembaga 4-6% dapat meningkatkan kekuatannya selama perlakuan panas. Di sisi lain, penambahan tembaga pada paduan aluminium mengurangi ketahanan terhadap korosi, kekuatan putus panas, mengurangi daya tahan material dan mengurangi kemampuan pengecoran paduan sehingga material ini sering kali hampir dilupakan oleh para peneliti .

Paduan ini biasa digunakan untuk penempaan berat, perakitan gerbong pesawat dan badan truk namun masih memiliki kualitas hasil coran yang kurang baik, karena hasil coran masih banyak mengandung porositas dan strukturnya terdiri dari struktur dendritik akibatnya, sifat mekanik produk tidak sepenuhnya memadai. Maka dari itu hingga saat ini tantangan dalam peningkatan sifat-sifat ini

berfokus pada meningkatkan kekuatan, kekerasan, dan ketahanan terhadap korosi tanpa mengorbankan sifat ringan dan kemudahan pemrosesan.

2.5. Pengecoran Logam

Proses industri yang dikenal sebagai pengecoran logam ialah melelehkan logam dalam tungku, kemudian menuangkannya ke dalam lubang cetakan dan membiarkannya mengeras. Dibandingkan dengan metode produksi lainnya, pengecoran logam ialah prosedur yang praktis dan relatif mudah. Grafik di bawah ini mengilustrasikan beberapa langkah yang membentuk proses pengecoran logam secara umum.



Gambar 2.3 Alur proses pengecoran logam

Dari Gambar 2.3 proses pengecoran logam terdiri dari beberapa tahapan yang perlu dilakukan yaitu :

A. *Molding*

Proses *molding* ialah proses yang dilakukan sebelum proses pengecoran logam. Proses *molding* terdiri dari perencanaan seperti pembuatan pola, pembuatan inti, dan sistem saluran masuk. Perencanaan ini terdiri atas pembuatan desain dan rancangan dari pola, inti, dan sistem saluran masuk yang mengacu pada desain benda kerja yang telah dibuat sebelumnya guna

membuat cetakan. Setelah itu dapat menentukan bahan dari cetakan tersebut (*expandable mold* atau *permanent mold*).

B. *Mold*

Cetakan yang akan digunakan untuk proses pengecoran ialah produk akhir dari proses pencetakan. Tergantung pada jenis pengecoran yang dipilih, cetakan dibuat dari material tertentu. Cetakan tersedia dalam dua jenis: cetakan sekali pakai dan cetakan permanen. Cetakan yang dapat dikembangkan ialah cetakan pengecoran logam yang harus didaur ulang karena hanya dapat digunakan sekali selama proses pengecoran. Cetakan permanen ialah cetakan yang dapat digunakan berulang kali, berbeda dengan cetakan sekali pakai. Material seperti besi cor, baja, kuningan, grafit, dan paduan dengan suhu leleh yang lebih tinggi daripada material yang digunakan umumnya digunakan dalam cetakan untuk jenis pengecoran ini.

C. *Pouring*

Tergantung pada materialnya, logam cair dituangkan ke dalam cetakan pada suhu penuangan tertentu setelah dua komponen utama—cetakan dan logam cair—disiapkan. Karena hal ini dapat mengubah fluiditas logam cair dan mengakibatkan pendinginan dini (*cold shut*), kecepatan penuangan juga harus diperhitungkan.

D. *Casting*

Logam cair yang dituangkan kemudian dibiarkan selama beberapa saat hingga terjadi solidifikasi. Selanjutnya, dilakukan pemisahan hasil coran (*casting*) dari cetakannya.

E. *Heat Treatment*

Di sini, prosedur perlakuan panas bersifat opsional; hanya dilakukan bila diperlukan. Tujuan dari perlakuan panas ini ialah guna menghasilkan kualitas mekanis yang dibutuhkan, yang sebelumnya tidak dapat dicapai melalui proses pengecoran.

F. *Cleaning & Finishing*

Setelah itu, produk cor dibersihkan dan dipoles guna meningkatkan kualitasnya dan memastikannya mencerminkan desain aslinya dengan sempurna. Jika diperlukan, perlakuan panas lebih lanjut juga dapat dilakukan.

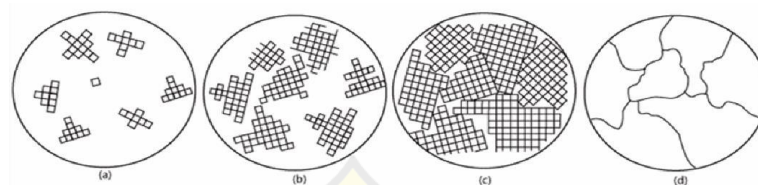
G. *Inspection*

Tahap terakhir ialah fase inspeksi, yang meliputi pengukuran, pencarian cacat coran, dan tugas-tugas lainnya. Prosedur ini digunakan guna menilai kualitas produk cor dan memastikan kesesuaiannya untuk digunakan.

2.6. Mekanisme Solidifikasi Pada Pengecoran Logam

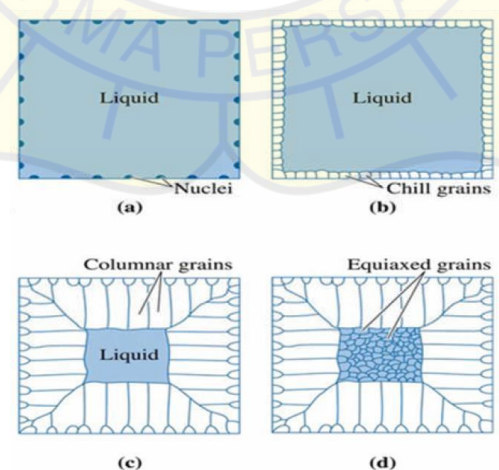
Mekanisme pembekuan logam cair pada proses pengecoran logam diawali dengan tumbuhnya inti-inti kristal (nukleasi). Setelah inti-inti kristal tersebut muncul lalu kristal-kristal akan tumbuh dari inti tersebut diikuti dengan inti baru yang muncul pada saat yang sama. Ketika logam cair menjadi beku sepenuhnya maka kristal-kristal yang telah tumbuh akan membentuk susunan kelompok-kelompok kristal yang dibatasi oleh batas butir. Laju nukleasi dan pertumbuhan menentukan ukuran butiran kristal. Kumpulan butiran kristal besar akan terbentuk jika laju pertumbuhan melebihi laju nukleasi, dan kumpulan butiran kristal halus akan terbentuk jika laju nukleasi melebihi laju

pertumbuhan. Gambar 2.6, yang menjelaskan strategi pembentukan logam, menunjukkan proses-proses berikut: Batas butiran mulai terbentuk, inti mulai terbentuk, butiran mulai tumbuh, butiran mulai bertumbukan, dan (c) butiran mulai tumbuh.



Gambar 2.4 Skema Pembentukan Logam

Panas dari logam cair awalnya diserap oleh permukaan cetakan, sehingga proses pematatan dalam pengecoran logam biasanya dimulai di sana. Berbeda dengan logam cair yang tidak bersentuhan langsung dengan cetakan, logam cair yang bersentuhan langsung akan memadat terlebih dahulu. Akibatnya, inti kristal mengembang ke dalam menuju cetakan. Butiran kristal akan berkembang menjadi formasi kolom yang panjang saat mengembang dari inti awal di dalam cetakan. Gambar 2.7 menunjukkan metode pematatan secara lebih rinci.



Gambar 2.5 (a) nukleasi dimulai, (b) pembentukan *chill zone*, (c) pembentukan *columnar*, dan (d) pembentukan daerah *equiaxed*

Gambar 2.5 menjelaskan tentang mekanisme solidifikasi pada proses pembekuan logam. Dari Gambar 2.5, kita dapat melihat bentuk mikrostruktur yang dihasilkan selama proses pembekuan berlangsung, antara lain : .

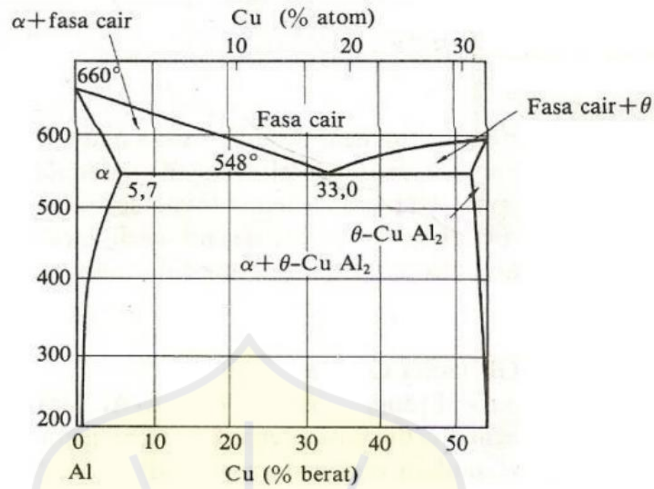
1. Bergantung pada perbedaan suhu antara cetakan dan logam cair, zona dingin ialah area pendinginan cepat yang seringkali menghasilkan struktur berbutir halus.
2. Zona kolom: area perluasan dingin yang diatur oleh laju perpindahan panas sebagai akibat dari ekspansi zona dingin yang berkelanjutan.
3. Zona ekuaksis: struktur yang tersusun secara acak di mana pendinginan konstitusional lebih lanjut bermanfaat bagi nukleasi kristal baru karena perbedaan suhu yang kecil antara padatan dan cairan.

2.7. Pengaruh Temperatur Penuangan dan Cetakan

2.7.1. Temperatur Penuangan

Suhu cairan sebelum dituangkan ke dalam cetakan dikenal sebagai suhu tuang. Suhu cetakan, di sisi lain, ialah suhu cetakan sebelum dan sesudah pemanasan, sebelum logam cair masuk. Meskipun struktur mikro memengaruhi nilai kekerasan, suhu tuang dapat memengaruhi pembentukan atau hasil struktur mikro (Siswanto, 2017). Nilai kekerasan akan menurun pada suhu tuang yang tinggi karena laju pendinginan yang lambat, yang menghasilkan struktur mikro eutektik silikon yang lebih lunak, lebih banyak, dan lebih tipis. (Chambali dkk, 2013) Karena pemadatan struktur mikro yang lebih padat, tekanan yang lebih tinggi akan menghasilkan tekanan yang lebih keras dan hasil pengecoran yang lebih keras; di sisi lain, tekanan yang lebih rendah akan menghasilkan tekanan yang lebih rendah karena struktur mikro kurang padat, sehingga menghasilkan kekerasan yang lebih rendah (Slamet dkk., 2018). Struktur silikon dapat dihaluskan dan nilai kekerasan

pegecoran dapat ditingkatkan dengan memberikan tekanan langsung selama proses pemadatan (Respati dkk, 2010).



Gambar 2.6. Diagram Fasa Al-Cu

Kelarutan tembaga dalam aluminium mencapai maksimum 5,65% pada suhu 1018°F, dan kemudian menurun menjadi 0,45% pada suhu 572°F. Pengerasan usia ialah salah satu metode perlakuan panas untuk paduan dengan kadar tembaga 2,5–5%. Perlakuan kelarutan ini melibatkan pemanasan paduan dalam wilayah fase tunggal, kappa (K), dan kemudian pendinginan cepat. Fase theta (Θ) ialah fase antara paduan dengan komposisi yang mirip dengan senyawa CuAl₂. Paduan akan menjadi lebih kuat akibat presipitasi pada fase (Θ) yang disebabkan oleh penuaan lebih lanjut, baik alami maupun buatan. Sejumlah kecil silikon, besi, magnesium, mangan, dan seng mungkin terdapat dalam paduan ini (Slamet, 2016).

Suhu penuangan logam Al-Cu mempengaruhi kecepatan solidifikasi dan struktur mikro hasil akhir. Suhu yang lebih tinggi cenderung menghasilkan butiran yang lebih besar dan struktur dendritik yang lebih kasar, yang dapat mempengaruhi kekerasan material. Oleh karena itu, Penting guna memilih suhu penuangan yang tepat guna mencapai struktur mikro yang diinginkan, yang pada gilirannya akan mempengaruhi sifat mekanik, termasuk kekerasan material.

2.7.2 Temperatur Cetakan

Cetakan dalam proses pengecoran tidak hanya memberikan bentuk geometri akhir produk, tetapi juga mempengaruhi laju pendinginan logam cair. Tidak hanya

itu, material cetakan dan konduktivitas panasnya juga berpengaruh langsung terhadap laju pendinginan. Cetakan dengan konduktivitas panas yang tinggi dapat mempercepat proses pendinginan, menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan kekerasan yang lebih tinggi.

Proses pembekuan logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan yang pertama ialah pelepasan panas logam cair dari cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan menjadi dingin hingga mencapai titik beku. Selama pembekuan, inti kristal tumbuh. Bagian dalam pengecoran mendingin lebih lambat dibandingkan bagian luar, sehingga kristal tumbuh dari inti aslinya menuju bagian dalam pengecoran dan kristal membentuk kolom panjang seperti pilar. Struktur ini terlihat jelas ketika terjadi gradien suhu yang besar pada permukaan coran yang besar. Akibat perbedaan kecepatan pembekuan, terjadi arah pembekuan yang disebut dendritik. Coran dengan permukaan halus dihasilkan dari logam dengan zona beku sempit, sedangkan permukaan kasar dari logam cor dihasilkan dari logam dengan zona beku lebar. Cetakan logam menghasilkan coran dengan permukaan lebih halus dibandingkan cetakan pasir.

2.8. Metode Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada paduan Aluminium-Tembaga (Al-Cu) dapat dilakukan menggunakan beberapa metode. Berikut ialah beberapa metode yang umum digunakan:

1. Uji Kekerasan Brinell (HB):

- Digunakan guna mengukur kekerasan bahan yang relatif lunak hingga sedang.

- Bola baja atau karbida dengan diameter tertentu ditekan pada permukaan material dengan beban tertentu.
- Diameter jejak lekukan yang dihasilkan diukur, dan nilai kekerasan Brinell dihitung dari ukuran jejak dan beban yang diterapkan.

2. Uji Kekerasan Vickers (HV):

- Cocok untuk bahan keras dan lunak.
- Piramida intan dengan sudut tertentu ditekan pada permukaan material dengan beban tertentu.
- Panjang diagonal lekukan yang dihasilkan diukur, dan nilai kekerasan Vickers dihitung dari panjang diagonal dan beban yang diterapkan.

3. Uji Kekerasan Rockwell (HR):

- Terdapat beberapa skala (misalnya HRA, HRB, HRC) yang digunakan guna mengukur kekerasan berbagai jenis bahan.
- Sebuah bola baja atau intan ditekan pada permukaan material dengan dua tahap beban.
- Kedalaman jejak yang dihasilkan diukur, dan nilai kekerasan Rockwell dihitung dari kedalaman tersebut.

4. Uji Kekerasan Knoop (HK):

- Digunakan untuk material yang sangat keras dan untuk pengujian mikrokekerasan.
- Intan berbentuk piramida asimetris ditekan pada permukaan material dengan beban tertentu.
- Panjang lekukan diukur, dan nilai kekerasan Knoop dihitung dari panjang lekukan dan beban yang diterapkan.

5. Uji Kekerasan Mikro Vickers:

- Serupa dengan uji Vickers, tetapi digunakan guna mengukur kekerasan pada skala mikroskopik.
- Cocok guna menguji kekerasan lapisan tipis, butir individu dalam material, atau area kecil lainnya.

Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, serta aplikasi khusus tergantung pada sifat material yang diuji dan tujuan pengujian. Pilihan metode juga tergantung pada standar yang digunakan, seperti ASTM atau ISO, yang mengatur prosedur pengujian kekerasan.

2.9. Mikro Struktur

Mikrostruktur paduan aluminium hasil coran ditentukan oleh beberapa faktor, termasuk komposisi kimia, teknik pengecoran, laju pendinginan, serta perlakuan panas setelah pengecoran. Komponen utama dalam mikrostruktur paduan aluminium meliputi:

1. Fasa α -Aluminium (Fasa Primer)
 - Fasa α ialah fase utama dalam kebanyakan paduan aluminium.
 - Kristal aluminium murni ini membentuk dendrit selama proses solidifikasi.
2. Fasa Eutektoid dan Eutektik
 - Bergantung pada unsur paduan seperti silikon (Si), tembaga (Cu), dan magnesium (Mg), paduan dapat membentuk fasa eutektik seperti Al-Si, Al-Cu, atau Al-Mg-Si.
 - Fasa eutektik umumnya berbentuk lamelar atau globular yang berkontribusi pada ketahanan aus dan kekuatan mekanik.
3. Presipitat dan Intermetalik

- Fasa intermetalik seperti Mg_2Si , Al_2Cu , atau Fe-rich phase sering ditemukan dalam paduan aluminium cor.
- Presipitat ini berperan penting dalam memperkuat material melalui mekanisme penguatan presipitasi.

2.9.1. Pengaruh Proses Pengecoran terhadap Mikrostruktur

Proses pengecoran sangat mempengaruhi mikrostruktur akhir paduan aluminium. Beberapa faktor utama yang berperan meliputi:

1. Laju Pendinginan

- Laju pendinginan yang cepat menghasilkan butir-butir yang lebih halus dan struktur eutektik yang lebih seragam.
- Pendinginan lambat cenderung membentuk dendrit kasar dan segregasi komposisi yang tinggi.

2. Pengaruh Modifikasi dan Grain Refinement

- Elemen seperti strontium (Sr) atau natrium (Na) sering digunakan guna memodifikasi struktur eutektik Al-Si agar lebih halus dan meningkatkan sifat mekanik.
- Penambahan TiB_2 atau Al-Ti digunakan guna memperhalus butir dan meningkatkan ketangguhan paduan.

3. Porositas dan Retak Panas

- Mikrostruktur hasil cor sering mengalami cacat seperti porositas gas dan shrinkage, yang mempengaruhi ketahanan mekanik dan keuletan material.

- Retak panas terjadi akibat tegangan termal selama solidifikasi, yang dapat diminimalkan dengan kontrol suhu dan desain cetakan yang tepat.

2.10. Hiposkripsi Penelitian

Hiposkripsi dalam penelitian mengenai analisis pengaruh temperatur penuangan dan cetakan pada proses casting terhadap tingkat kekerasan material paduan Al-Cu ialah Kombinasi tertentu dari temperatur penuangan dan jenis cetakan akan menghasilkan kekerasan material paduan Al-Cu yang optimal.

