

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Rudi (2011) meneliti pengaruh temperatur dan waktu peleburan pengecoran tuang terhadap struktur mikro paduan Al-21%Mg. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa Semakin tinggi temperatur peleburan akan meningkatkan kehalusan struktur butir α -Al dan fasa eutektoid β -Al₃Mg₂. Semakin lama waktu peleburan akan menurunkan kehalusan struktur butir α -Al dan fasa eutektoid β -Al₃Mg₂.

Wicaksono (2012) meneliti tentang pengaruh dimensi scrap terhadap porositas dan efisiensi pengecoran pada ingot hasil coran duralumin. Hasil penelitiannya menunjukkan persentase porositas dengan dimensi scrap Cu sebesar 0.6 % mengalami peningkatan hingga mencapai 3 % pada spesimen dengan dimensi scrap 15 mm.

Reza (2011) dalam penelitiannya tentang porositas *duralumin* pada pengecoran sistem vakum dengan variasi kadar Cu dan Variasi ketebalan dari produk. Hasil penelitian menunjukkan produk yang paling minim porositas rata-ratanya adalah produk dengan kadar Cu paling sedikit dan dengan ketebalan maksimal (Al-2,5% Cu ketebalan 15 mm) dengan kadar porositas rata-ratanya sebesar 8,47%.

Wahyono, dkk., (2010) dalam penelitiannya tentang penentuan kuantitas porositas pada pengecoran *duralumin*. Pada penelitian ini ingot aluminium murni (99,5%Al) dan tembaga murni (98,5% Cu) dilebur secara bersamaan didalam tungku *reverbatory* dengan variasi Cu yaitu 0, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5 % . Setelah *duralumin melt* tercampur homogen kemudian dituang kedalam cetakan permanen (300°C). Selanjutnya hasil coran *duralumin* dipisahkan atas 3 kelompok yaitu kelompok uji *optical emission spectrometry* (OES), kelompok uji *hot isostatic pressed* (HIP), dan kelompok uji *Piknometry*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Tembaga sebagai unsur paduan dalam *duralumin* berpengaruh pada kenaikan densitas massa hasil pengecoran. Kandungan tembaga dari 0%Cu sampai 4,5%Cu pada pengecoran *duralumin* menambah jumlah porositas dari 5,9% sampai 16,2% basis perhitungan ROM dan 14,4% sampai 27,4% basis perhitungan proses HIP.

2.2 Aluminium

Aluminium adalah logam yang ringan dengan berat jenis 2.7 gram/cm^3 setelah Magnesium (1.7 gram/cm^3) dan Berilium (1.85 gram/cm^3) atau sekitar $1/3$ dari berat jenis besi maupun tembaga. Konduktivitas listriknya 60 % lebih besar dari tembaga sehingga juga digunakan untuk peralatan listrik. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas, memiliki sifat pantul sinar yang baik sehingga digunakan pula pada komponen mesin, alat penukar panas, cermin pantul, komponen industri kimia dll.

Aluminium merupakan logam yang reaktif sehingga mudah teroksidasi dengan oksigen membentuk lapisan aluminium oksida, alumina (Al_2O_3) dan membuatnya tahan korosi yang baik. Namun bila kadar Fe, Cu dan Ni ditambahkan akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar aluminanya menurun. Penambahan Mg, Mn tidak mempengaruhi sifat tahan korosinya.

Aluminium bersifat ulet, mudah dimesin dan dibentuk dengan kekuatan tarik untuk aluminium murni sekitar $4-5 \text{ kg/mm}^2$. Bila diproses penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai $\pm 15 \text{ kg/mm}^2$. Sifat-sifat fisik dari aluminium biasa dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

Sifat-Sifat	Aluminium Murni
Bentuk	Padat (<i>solid</i>)
Massa jenis	2.699 gr/cm^3 (<i>Solid</i>) 2.357 gr/cm^3 (973 K) (<i>Liquid</i>)
Titik lebur	$660.5 \text{ }^\circ\text{C}$
Titik didih	$2494 \text{ }^\circ\text{C}$
Kalor peleburan	397 J/g
Kalor penguapan	$1.08 \times 10^4 \text{ J/g}$
Konduktivitas termal	2.37 W/cm. K
Modoulus Elastisitas	70.5 (GPa)

Sumber: ASM 1984

Terdapat 5 unsur paduan komersil (berdasarkan tingkat kelarutan padat maksimum unsur paduan) yaitu seng, magnesium, tembaga, silicon dan mangan. Dalam

pemaduan unsur-unsur tersebut terdapat batasan kadar karena jika berlebih maka akan mengganggu sifat utama dari aluminium itu sendiri.

Tata nama aluminium tuang menggunakan sistem 4 digit. Terdapat 9 klasifikasi aluminium tuang berdasarkan jenis paduannya, dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2 Sistem Penamaan Aluminium Tuang

Seri	Unsur paduan
1xx.x	Aluminium murni ($\geq 99\%$)
2xx.x	Tembaga (Cu)
3xx.x	Silicon + Tembaga/Magnesium
4xx.x	Silicon (Si)
5xx.x	Magnesium (Mg)
7xx.x	Seng (Zn)
8xx.x	Timah (Sn)
9xx.x	Unsur lain

Sumber : ASM Specialty Handbook 1993

Digit pertama mengidentifikasi grup paduan, digit kedua dan ketiga mengidentifikasi paduan aluminium atau kemurnian dari aluminium tersebut, sedangkan digit terakhir yang dipisahkan oleh titik mengidentifikasi bentuk dari produk, ingot atau coran.

2.3 Tembaga

Tembaga merupakan logam yang berwarna kuning kemerah-merahan, mudah ditempa dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Tembaga juga merupakan penghantar panas yang baik. Tabel 2.3 berikut ini menunjukkan sifat fisika dari tembaga :

Tabel 2.3 Sifat Fisik Tembaga

Sifat-sifat	Tembaga Murni (Cu)
Bentuk	Padat
Massa jenis	8.96 g/cm ³
Titik lebur	1357.77 K (1084.62 °C, 1984.32 °F)
Titik didih	2835 K (2562 °C, 4643 °F)
Kalor peleburan	13.26 kJ/mol
Kalor penguapan	300.4 kJ/mol
Konduktivitas termal	391(W m ⁻¹ K ⁻¹)
Modulus Elastisita	117 (GPa)

Sumber: Li M. and Zinkle S.J. (2012)

2.4 Aluminium-Tembaga (Al-Cu)

Paduan aluminium tembaga (Al-Cu) merupakan aluminium seri 2xx.x dengan kandungan unsur dominan Cu . Paduan ini memiliki karakteristik material yang ringan, *strenght-to-weight ratio* yang tinggi, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas listrik yang baik, ketangguhan dan ketahanan fatik yang sangat tinggi dan mampu diberi perlakuan

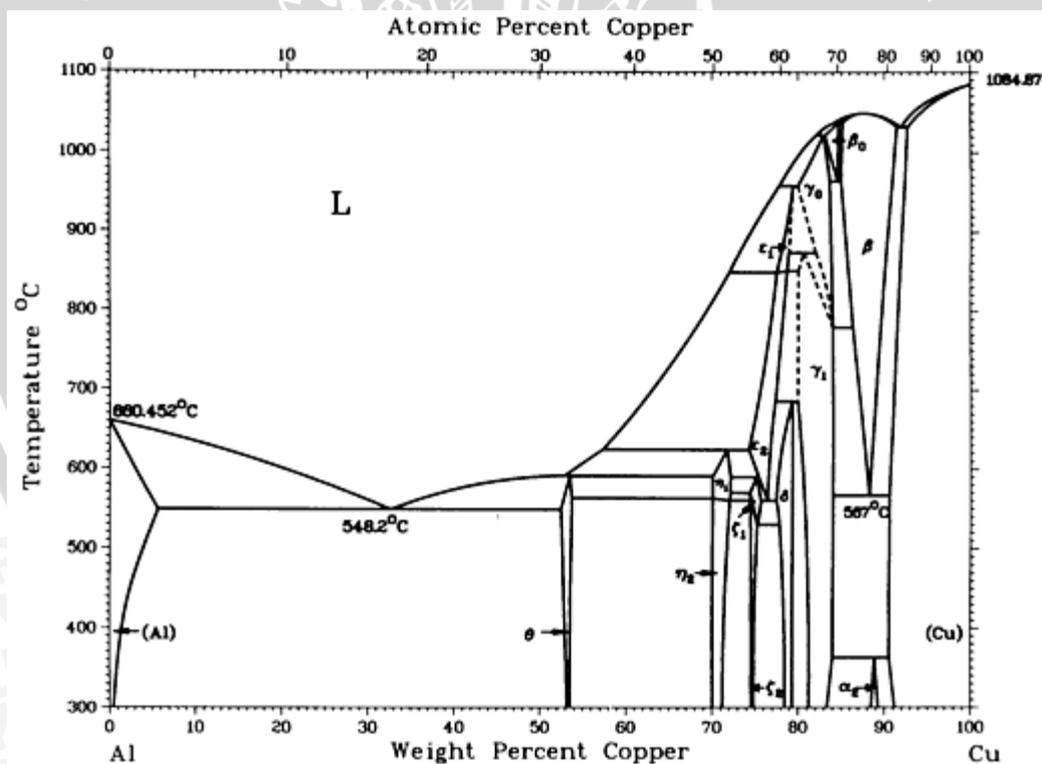
panas. Namun kekurangan dari paduan ini adalah memiliki sifat mampu cor (*Castability*) yang kurang baik. Berikut sifat fisik dari Al-Cu yang ditunjukkan oleh Tabel 2.4 :

Tabel 2.4 Sifat Fisik Al-Cu

Commercial <i>Duralumin</i> alloys (Al-Cu)	Massa jenis (g/cm ³)	Approximate melting point range (°C)	Thermal conductivity at 25° C (cal/cm s°C)
222.0	2.962	520-625	0.32
224.0	2.824	550-645	0.28
238.0	2.938	510-600	0.25
240.0	2.768	515-605	0.23
242.0	2.823	530-635	0.40

Sumber : ASM Specialty Handbook 1993

Didalam paduan Al, tembaga ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan, namun jumlahnya dibatasi agar tidak mengurangi sifat mampu tuangnya, diatas batas kelarutannya tembaga akan bersenyawa dengan aluminium membentuk endapan CuAl_2 (fasa β) yang bersifat keras dan rapuh, sifat yang tidak menguntungkan ini dapat diperbaiki dengan perlakuan panas, sehingga fasa tersebut akan berubah menjadi fasa α yang bersifat lebih liat dan tidak rapuh, hal ini disebabkan endapan CuAl_2 akan terbentuk kembali dengan sifat yang lebih homogen dan merata. Makin tinggi kadar tembaga, makin banyak fasa yang terbentuk, sehingga kekerasan dan kekuatan paduan akan meningkat (setelah proses perlakuan panas), umumnya 2 - 5% Cu di tambahkan untuk mendapatkan sifat optimal baik untuk kekuatannya maupun keliatannya. Sifat lain yang akan meningkat dengan adanya tembaga di dalam paduan Al-Cu ialah sifat ketahanan korosi dan sifat ketahanan ausnya. Paduan yang mengandung Cu mempunyai ketahanan korosi yang tinggi. Paduan dalam sistem ini terutama dipakai sebagai bahan pesawat terbang. Gambar 2.1 ini menunjukkan gambar diagram fase dari paduan Al-Cu.



Gambar 2.1 Al-Cu phase diagram

Sumber: ASM Handbook Vol.3 (J.L. Murray, 1985)

2.5 Pengecoran logam

Pengecoran (*casting*) merupakan proses penuangan logam cair dengan gaya gravitasi atau gaya lain ke dalam suatu cetakan, kemudian dibiarkan membeku, sehingga terbentuk logam padat sesuai dengan bentuk cetakannya. Teknik pengecoran logam sudah banyak digunakan dikalangan industri-industri saat ini. Pengecoran logam tidak hanya digunakan untuk membuat produk dengan komposisi logam murni, namun juga digunakan untuk membuat logam paduan untuk meningkatkan karakteristik dari logam tersebut.

Teknik pengecoran logam memiliki beberapa keuntungan dari teknik pembentukan logam yang lain. Keuntungan pembentukan dengan pengecoran yaitu : dapat mencetak bentuk kompleks, baik bentuk bagian luar maupun bentuk bagian dalam; beberapa proses dapat membuat bagian (*part*) dalam bentuk jaringan; dapat mencetak produk yang sangat besar, lebih berat dari 100 ton; dapat digunakan untuk berbagai macam logam; beberapa metode pencetakan sangat sesuai untuk keperluan produksi massal. Selain itu teknik pengecoran logam juga memiliki beberapa kerugian. Setiap metode pengecoran memiliki kelemahan sendiri-sendiri, tetapi secara umum dapat disebutkan sebagai berikut : keterbatasan sifat mekanik; sering terjadi porositas; dimensi benda cetak kurang akurat; permukaan benda cetak kurang halus; bahaya pada saat penuangan logam panas.

Dalam operasi pengecoran, logam harus dipanaskan sampai temperatur tertentu di atas titik leburnya dan kemudian dituangkan ke dalam rongga cetakan hingga menjadi beku. Logam dipanaskan di dalam tungku peleburan hingga mencapai temperatur lebur yang cukup untuk penuangan.

Energi panas yang dibutuhkan adalah jumlah dari :

- (1) panas untuk mencapai titik lebur (logam masih dalam keadaan padat),
- (2) panas untuk merubah dari padat menjadi cair,
- (3) panas untuk mencapai temperatur penuangan yang diinginkan.

Energi panas dapat ditunjukkan dengan persamaan (M. P. Groover, 2002) berikut ini :

$$H = \rho V \{ C_s (T_m - T_o) + H_f + C_l (T_p - T_m) \} \quad (2-1)$$

dimana :

- H = jumlah panas yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur penguapan (J)
- C_s = *weight specific heat* untuk logam padat (J/g °C)
- T_m = temperatur lebur logam (°C)
- T_o = temperatur awal, biasanya temperatur ruang; (°C)
- H_f = panas fusi/lebur; (J/g)
- C_l = *weight specific heat* untuk logam cair; (J/g °C)
- T_p = temperatur penguapan; (°C)
- V = volume logam yang dipanaskan; (cm³)
- ρ = densitas logam; (g/cm³)

2.6 Proses Peleburan Logam

Peleburan logam adalah proses melelehkan logam pada temperatur tertentu dengan menggunakan energi panas yang dihasilkan oleh tungku. Tungku adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk melelehkan logam untuk pembuatan bagian mesin (*casting*) atau untuk memanaskan bahan serta mengubah bentuknya (misalnya rolling/penggulungan, penempaan) atau merubah sifat-sifatnya (perlakuan panas). Tungku yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam antara lain ada lima jenis yaitu; Tungku jenis kupola, tungku pengapian langsung, tungku krusibel, tungku busur listrik, dan tungku induksi.

Peleburan logam merupakan aspek terpenting dalam operasi-operasi pengecoran karena berpengaruh langsung pada kualitas produk cor. Pada proses peleburan, mula-mula muatan yang terdiri dari logam, unsur-unsur paduan dan material lainnya seperti *fluks* dan unsur pembentuk terak dimasukkan kedalam tungku. *Fluks* adalah senyawa *inorganic* yang dapat “membersihkan” logam cair dengan menghilangkan gas –gas yang ikut terlarut dan juga unsur-unsur pengotor (*impurities*). *Fluks* memiliki beberapa kegunaan yang tergantung pada logam yang dicairkan, seperti pada paduan aluminium terdapat *cover fluxes* (yang menghalangi oksidasi dipermukaan aluminium cair), *cleaning fluxes*, *drossing fluxes*, *refining fluxes*, dan *wall cleaning fluxe*. Dalam proses peleburan logam ini harus diperhatikan titik lebur logam itu sendiri, karena nantinya akan berpengaruh terhadap efisiensi pemanasan yang diberikan dan hasil pengecoran.

Dampak yang ditimbulkan pada pengecoran, bila peleburan logam tidak ditangani dengan baik:

- a. Sifat fisis, mekanik, dan sifat lain tidak sesuai dengan standar yang kita inginkan sehingga hasil coran tidak sempurna.
- b. Sifat mampu bentuk dari hasil coran tidak memenuhi standar.
- c. Benda coran yang di dihasilkan bisa rusak
- d. Hasil akhir yang dihasilkan akan mengalami cacat.
- e. Dampak lain yang di timbulakan apabila proses peleburan logam tidak sesuai, adalah waktu yang terbuang, uang yang telah dikeluarkan, logam yang telah di lebur, pola yang sudah di buat dan lain lain.
- f. Apabila proses peleburan tidak efisien maka pada logam yang telah cair masih ada yang berbentuk padat dan tidak melebur.

2.6.1 Peleburan Aluminium dan Paduannya

Aluminium murni dan paduan aluminium dapat dicairkan dengan berbagai cara. Tungku *coreless*, *channel induction*, *crusible*, *open-heart reveratory furnaces* yang memakai sumber panas dari gas atau bahan bakar minyak, dan *tungku electric resistance* serta *electric radiation* adalah jenis-jenis tungku yang biasa digunakan.

Salah satu jenis tungku peleburan logam yang banyak digunakan yaitu, *Sealed crucible furnace* . Dengan kerangka yang terbuat dari baja yang dilas, bagian atas ditutup lembaran baja yang dilapisi dengan bata tahan api, bagian lining terbuat dari bata tahan api setebal 3-4 in. Tungku *crusible* biasanya digunakan untuk peleburan logam *non ferrous*, seperti aluminium, seng, tembaga dan timah. Pada tungku peleburan ini, *crusible* biasanya terbuat dari tanah liat atau grafit yang diletakan didalam ruang pembakaran.

Crusible yang terbuat dari besi cor atau baja digunakan dengan tujuan untuk menyediakan panas yang cukup bagi logam sehingga temperatur logam cair konstan. *Crusible* jenis ini mempunyai konduktivitas panas dan kekuatan mekanik yang baik. Tetapi *crusible* yang terbuat dari besi cor atau baja mempunyai kelemahan, yaitu unsur Fe dapat larut kedalam logam aluminium cair. Untuk menanggulangi hal ini tungku harus sering dibersihkan dan dilapisi dengan *refractory wash*. Pada Tabel 2.5 dibawah ditunjukkan titik cair dan tperatur penuangan dari paduan aluminium.

Tabel 2.5 Titik cair dan temperatur penuangan dari paduan aluminium

PADUAN DAN KOMPOSISI	TEMP.MULAI CAIR (° C)	TEMP.AKHIR CAIR (° C)	TEMP. PENUANGAN
Al-4.5Cu	521	644	700-780
Al-4Cu-3Si	521	627	700-780
Al-4.5Cu-5Si	521	613	700-780
Al-12Si	574	582	670-750
Al-9.5Si-0.5Mg	557	596	670-740
Al-3.5Cu-8.5Si	538	593	700-780
Al-7Si-0.3Mg	557	613	700-780
Al-4Cu-1.5Mg-2Ni	532	635	700-760
Al-3.8Mg	599	641	700-760
Al-10Mg	499	604	700-760
Al-12Si-0.8Cu-1.7Mg-2.5Ni	538	566	670-740
Al-9Si-3.5Cu-0.8Mg-0.8Ni	520	582	670-740

Sumber : Tata Surdia, Teknik Pengecoran Logam

2.6.2 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan

Secara umum telah diketahui bahwa atom dalam bentuk gas akan bersatu atau masuk kedalam logam cair. Ketika dua atom bersatu membentuk suatu molekul, molekul gas tersebut akan keluar, tapi bisa juga gas tersebut terperangkap didalam logam cair membentuk gelembung. Didalam peleburan aluminium, hanya sedikit hidrogen yang diserap dari atmosfer. Sumber utama hidrogen didalam Al adalah uap air, uap panas, atau hasil dari reaksi kimia sebagai berikut :



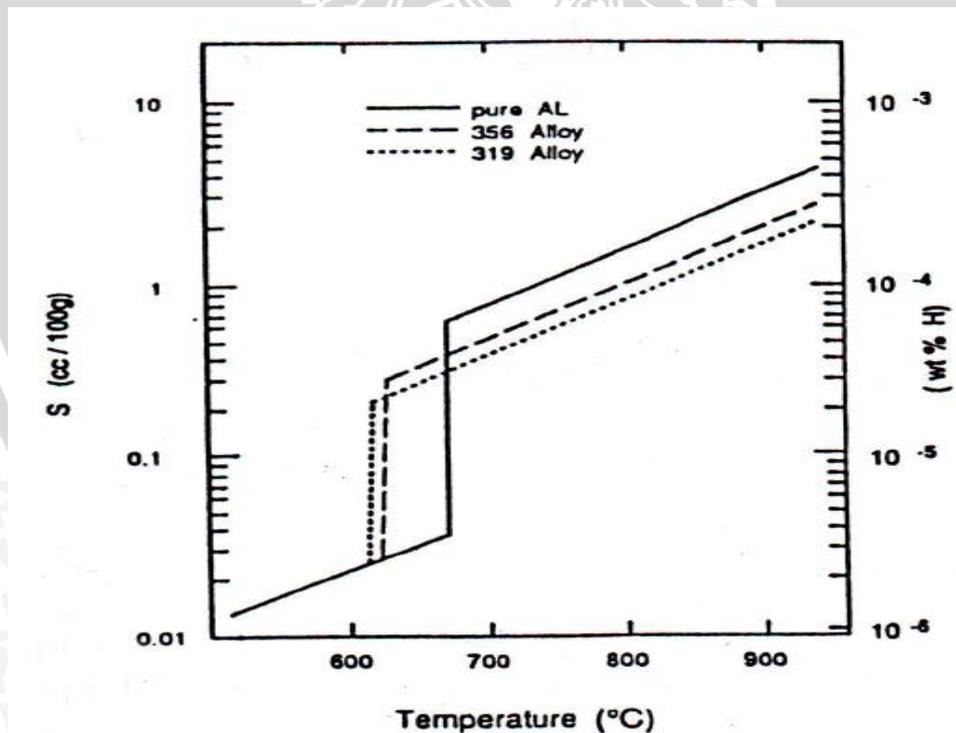
Temperatur logam cair juga menentukan jumlah hidrogen yang diserap. Ketika temperatur naik volume hidrogen yang larut kedalam logam cair akan semakin besar seperti yang terlihat pada Tabel 2.6 dibawah ini

Tabel 2.6 Hubungan Temperatur dan Daya Larut Hidrogen

TEMPERATUR		HYDROGEN SOLUBYLITY (cc/100gms)
°C	°F	
0	32	0.0000001
400	752	0.005
600-solid	1220	0.036
660-liquid	1220	0.69
700	1292	0.92
750	1382	1.23
800	1472	1.67
850	1562	2.15

Sumber : Tata Surdia, Teknik Pengecoran Logam

Grafik di bawah ini memperlihatkan betapa cepatnya kandungan hidrogen naik ketika temperatur aluminium cair naik. Paduan yang mengandung hidrogen $\pm 0,01\text{cm}^3/100$ gram relatif bebas dari porositas. Gambar 2.2 menunjukkan pengaruh kelarutan hidrogen dalam aluminium.



Gambar 2.2 Pengaruh temperatur terhadap Kelarutan hidrogen dalam aluminium
Sumber : Tata Surdia, Teknik Pengecoran Logam

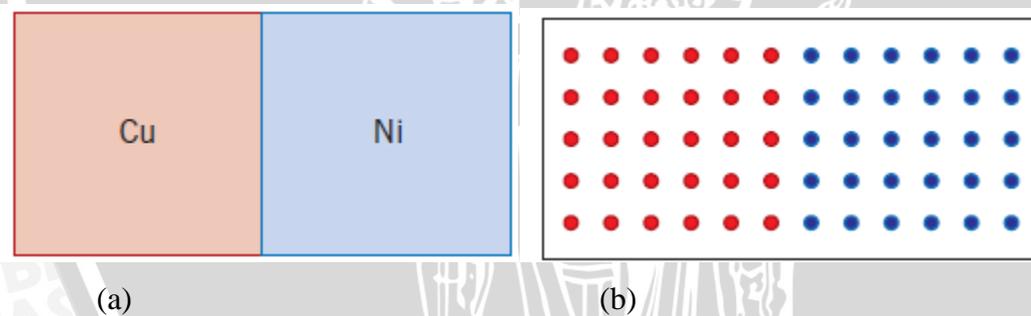
Ketika temperatur logam cair turun, gas hidrogen akan terdesak keluar dengan cepat dan ini menyebabkan terjadinya pinhole atau porositas. Penambahan unsur paduan

dalam logam Alumunium, dapat merubah kelarutan gas Hidrogen. Beberapa unsur paduan yang dapat menurunkan kelarutan gas Hidrogen, diantara: Si, Zn, Cu, dan Mn. Sedangkan unsur paduan lainnya yang dapat menaikkan kelarutan gas Hidrogen, diantaranya: Mg, Fe, Ni, dan Li. Dari faktor tersebut diatas maka penambahan unsur paduan merupakan hal penting dalam proses pengecoran, khususnya pada cairan logam Alumunium paduan.

2.7 Difusi

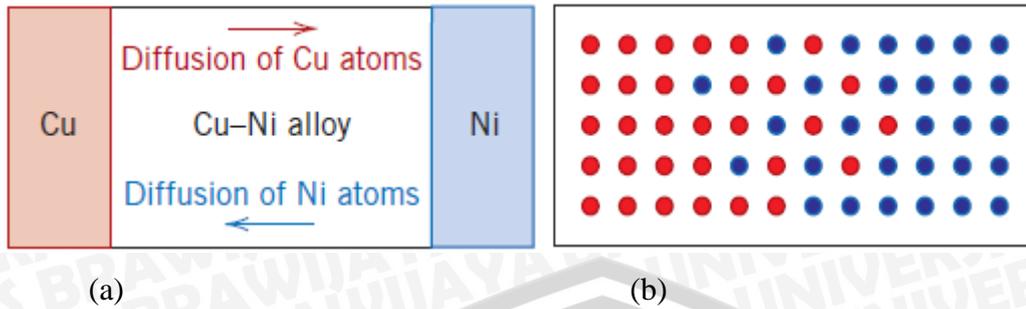
Pada proses dan reaksi pembentukan material banyak diantaranya bergantung pada transfer masa pembentuk material tersebut. Bentuk material yang dipengaruhi bisa berwujud zat padat yang spesifik, cair, gas, maupun fase zat padat yang lain. Transfer massa tersebut membutuhkan proses yang disebut difusi, yaitu fenomena transportasi material yang disebabkan oleh gerak atom.

Fenomena difusi ini bisa diperlihatkan pada *diffusion couple* – pasangan difusi, yaitu suatu material yang terbentuk dari perpaduan 2 logam yang berbeda. Pada gambar 2.3 di bawah adalah contoh *diffusion couple* untuk tembaga dan nikel yang berada pada suhu ruangan.



Gambar 2.3 (a) Pasangan difusi tembaga-nikel sebelum penambahan suhu tinggi
(b) Skema atom Cu (lingkaran merah) dan atom Ni (lingkaran biru)
Sumber: Johnson, 2004

Pasangan difusi ini kemudian dipanaskan pada suhu tinggi namun masih di bawah suhu leleh kedua metal tersebut) kemudian didinginkan pada suhu ruang. Perubahan secara kimiawi akan terjadi pada logam tersebut, dimana dua logam tembaga dan nikel murni akan dipisahkan oleh daerah pencampuran seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.4.



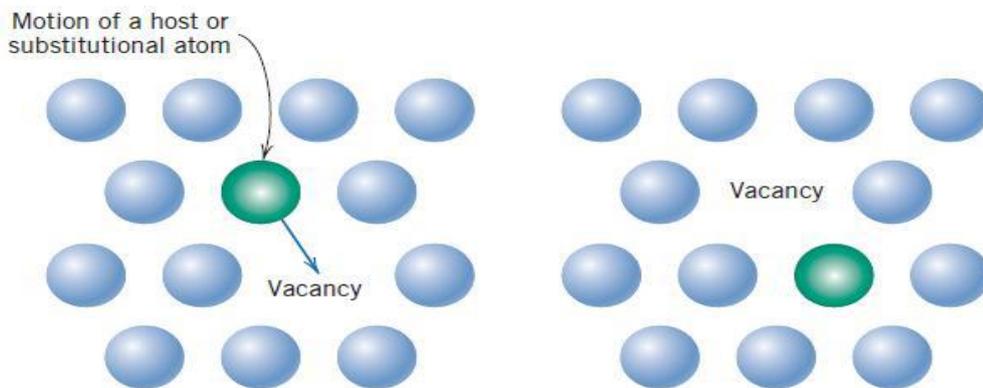
Gambar 2.4 (a) Pasangan difusi tembaga-nikel setelah diberi suhu tinggi akan membentuk daerah pencampuran (b) Skema atom Cu (lingkaran merah) dan Ni (lingkaran biru)

Sumber: Johnson, 2004

Difusi, secara perspektif atomik adalah migrasi suatu atom dari lattice satu ke lattice yang lain. Pada kenyataannya atom zat padat berada pada keadaan yang tetap dan konstan tidak berubah, maka sebuah atom untuk dapat berpindah harus memenuhi syarat : (1) harus ada celah kosong di antara atom (2) atom harus mempunyai energi yang cukup untuk memutuskan ikatan atom.

a. Difusi *vacansy*/kosong

Mekanisme difusi kosong memerlukan kekosongan struktur atom dalam prosesnya, sehingga atom terdekatnya dapat berpindah ke daerah kosong tersebut. Kekosongan dalam struktur atom dapat terjadi pada suatu material logam yang dipanaskan. Karena pada difusi jenis ini, atom dan daerah kosongnya berpindah posisi, difusi atom ini dapat dikatakan sebagai pergerakan dari daerah kosong itu sendiri. Mekanisme difusi *vacansy* dapat ditunjukkan pada gambar 2.5 dibawah ini:

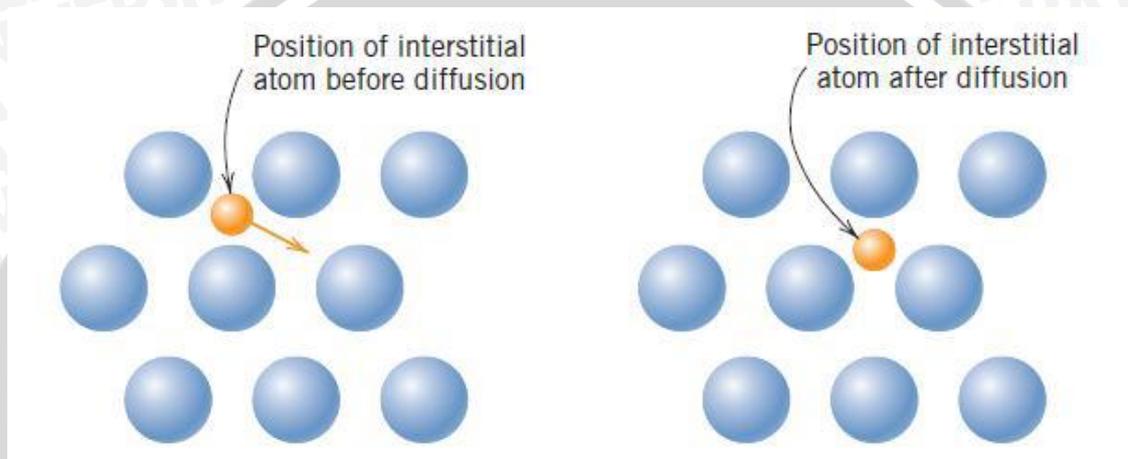


Gambar 2.5 Proses Difusi *Vacansy*/kosong

Sumber :Johnson, 2004

b. Difusi *Interstitial*

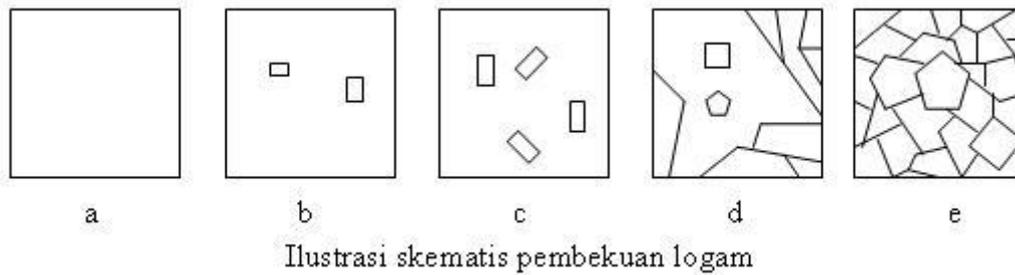
Jenis kedua dari difusi zat padat adalah difusi interstisial, difusi jenis ini merupakan migrasi dari sebuah posisi interstisial atom ke tetangganya yang kosong. Mekanisme ini dapat terjadi pada sebuah senyawa yang tidak murni, contohnya adalah senyawa yang mengandung hidrogen, carbon, nitrogen, dan oksigen. Dimana atom-atom ini mempunyai ukuran yang tidak sama dengan atom lain dalam ikatannya, sehingga atom tersebut dapat terselip ke posisi interstisial. Mekanisme difusi *interstitial* dapat ditunjukkan pada gambar 2.6 dibawah ini



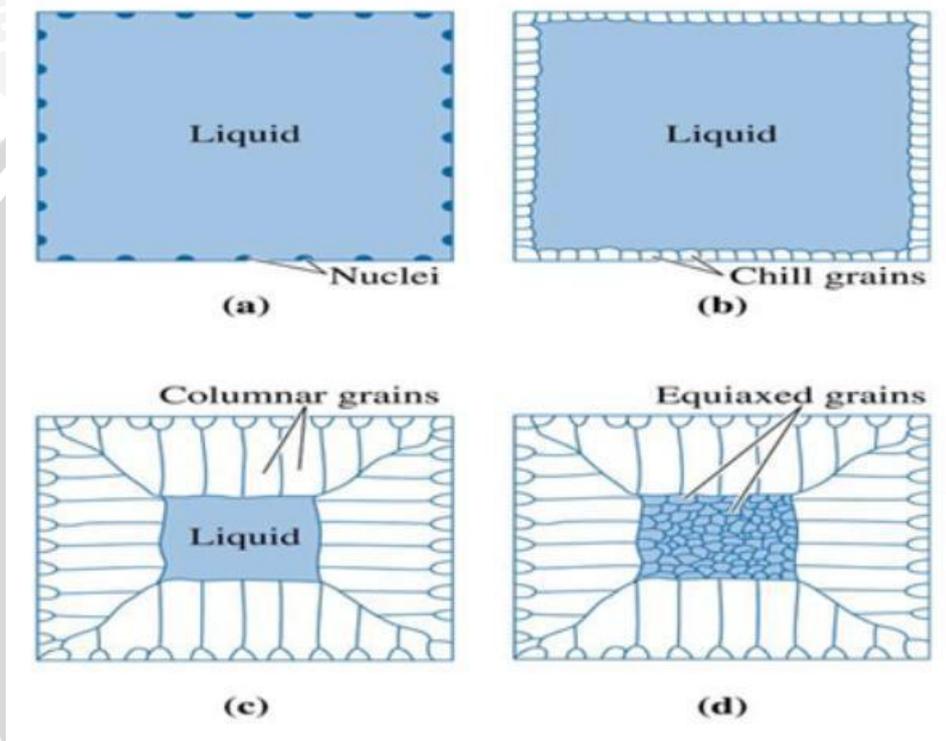
Gambar 2.6 Proses Difusi Interstisial
Sumber :Johnson, 2004

2.8 Solidifikasi

Proses pembekuan logam cair dimulai dari bagian logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan, yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku. Selama proses pembekuan berlangsung, inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah ke bagian dalam coran dan butir-butir kristal tersebut berbentuk panjang-panjang seperti kolom. Struktur ini muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, terbentuklah arah pembekuan yang disebut dendritik. Proses pembekuan logam cair diilustrasikan sebagaimana pada gambar 2.7 dan gambar 2.8 berikut :



Gambar 2.7 Proses pembekuan logam cair
 Sumber :Tata Surdia, Teknik Pengecoran Logam



Gambar 2.8 Pembekuan logam coran dalam cetakan
 Sumber : The science and material engineerig (2010:345)

Permukaan logam hasil coran yang halus merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang sempit, sedangkan permukaan logam hasil cor yang kasar merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar. Cetakan logam akan menghasilkan hasil coran dengan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan cetakan pasir. Aluminium murni membeku pada temperatur tetap, tetapi panas pembekuan yang dibebaskan pada waktu membeku begitu besar sehingga permukaan bagian dalam menjadi kasar apabila dicor pada cetakan pasir, sedangkan pada baja karbon dengan kadar karbon rendah mempunyai daerah beku yang sempit.

2.9 Porositas

Porositas merupakan masalah yang sering dijumpai pada proses pengecoran. Porosita ini merupakan sejenis cacat yang dapat merugikan karena akan mengurangi kekuatan mekanis dari benda hasil coran tersebut, terlebih lagi dapat menyebabkan terjadinya retak pada benda hasil coran tersebut. Terdapat dua jenis porositas menurut penyebab terjadinya yaitu :

2. Porositas karena gas
3. Porositas karena penyusutan

Porositas gas terjadi karena terperangkapnya gas didalam benda hasil coran tersebut pada waktu terjadinya solidifikasi dari fase cair menjadi fase solid (padat). Hal ini terjadi karena perbedaan kelarutan gas yang sangat tinggi pada fasa cair dan fasa solid, sehingga pada saat solidifikasi akan terjadi nukleasi dari gas yang akan keluar dari dalam logam. Sedangkan porositas karena penyusutan terjadi akibat penyusutan volume yang daat diakibatkan oleh perbedaan ketebalan benda cor yang terlalu besa, sedangkan bagian yang tebal tidak dapat dialiri logam cair secara utuh, saluran masuk dan penambah yang kurang banyak atau terlalu kecil, saluran masuk dan penambah yang salah peletakannya.

2.9.1 Porositas Gas

Terdapat tiga sumber gas yang dapat menyebabkan terjadinya porositas pada produk coran, yaitu :

- Udara yang terhisap masuk bersama logam cair pada waktu proses penuangan (*pouring*)
- Gas/udara yang larut didalam logam cair pada saat proses peleburan
- Gas atau uap yang timbul akibat terjadinya kontak antara logam cair dengan dinding cetakan.

Porositas karena gas yang mempunyai bentuk bulat sering disebut sebagai *blowholes* sedangkan porositas karena gas dengan bentuk memanjang disebut sebagai *warmholes*. Bentuk *warmholes* yang memanjang disebabkan karena gelembung tersebut terhambat oleh lapisan fase cair-padat yang sedang bergerak membentuk padatan. Fasa cair-padat tersebut akan terdesak oleh tekanan dari gelembung sehingga bentuk gelembungnya akan memanjang. Porositas karena gas mempunyai permukaan pori bagian dalam yang halus.

2.9.2 Porositas Penyusutan

Porositas yang disebabkan oleh penyusutan memiliki bentuk yang tidak beraturan, dan permukaan bagian dalam dari cacat tersebut agak kasar. Hal ini dikarenakan cacat porositas jenis ini terjadi akibat logam cair terjebak diantar struktur dendrit. Biasanya cacat porositas terjadi pada bagian tengah produk coran terutama bagian yang dekat dengan riser atau bagian sambungan. Karena bagian tersebut merupakan bagian yang terakhir membeku (*hot spot*).

Terdapat dua jenis porositas penyusutan, yaitu :

1. Penyusutan luar

Porositas penyusutan jenis ini memberikan lubang/pori pada permukaan produk coran. Al ini dikarenakan gagalnya logam cair membeku secara serentak pada daerah tuangan yang memiliki ketebalan berbeda. Sehingga perlu dilakukan kontrol temperatur peleburan, sebaiknya dilakukan penambahan temperatur diatas temperatur lebur. Diharapkan dengan diberikannya panas tambahan maka akan meningkatkan mampu alir dari logam cair yang dilebur sehingga mampu mengisi seluruh bagian dari cetakan. Selain itu riser harus berfungsi dengan baik untuk mengkompensasi penyusutan.

2. Penyusutan dalam

Porositas penyusutan dalam terjadi akibat terjebaknya logam cair diantara kristal dendrit sehingga ketika logam cair ini membeku maka akan terjadi penyusutan. Penyebaran/distribusi dari porositas produk coran dapat berbeda-beda tergantung dari penambahan temperatur gradien yang berbeda-beda. Temperatur gradien yang besar akan menyebabkan porositas yang menyebar.

2.10 Densitas

Densitas (simbol: ρ – Greek : *rho*) adalah sebuah ukuran massa per volum. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volum totalnya. Nilai kepadatan suatu material dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2-2)$$

Dengan

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm³)

m = massa total benda (gr)

V = volume total benda (cm³)

Untuk mencari prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan dua buah densitas yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True Density*

Kepadatan dari suatu benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya.

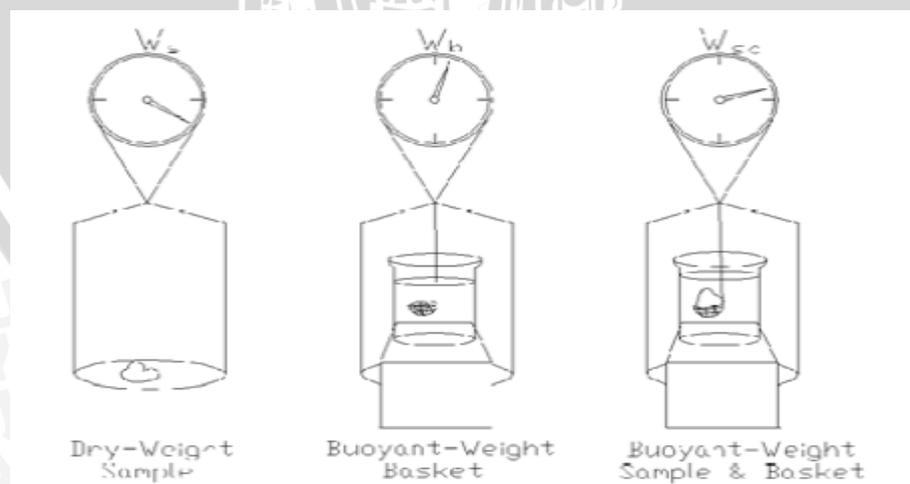
Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya (gr/cm³).

- *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material uji (gr/cm³).

2.10.1 Pengujian Densitas dengan Metode Pikhometri

Pikhometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.9 berikut ini:



Gambar 2.9 Skema Uji Densitas dengan Metode Pikhometri

Sumber : Taylor, et al, 2000

Tiga pengukuran berat yang digunakan adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar diatas , pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

Untuk memperoleh nilai *True Density* dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \frac{\%Al}{\rho_{Al}} + \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} + \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} + etc \right\}} \quad (2-3)$$

Dengan :

ρ_{th} = True Density (gr/cm³).

$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$ = Densitas unsur (gr/cm³).

$\%Al, \%Cu, \%Fe, etc$ = Prosentase berat unsur (%)

Sedangkan untuk perhitungan Apparent Density menggunakan persamaan sesuai standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-4)$$

Dengan :

ρ_s = Apparent Density (gr/cm³).

ρ_w = Densitas air (gr/cm³).

W_s = Berat sampel di udara (gr)

W_{sb} = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

2.10.2 Perhitungan Porositas

Perhitungan prosentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel atau apparent density dengan densitas teoritis atau true density (Taylor, 2000), yaitu:

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \quad (2-5)$$

Dengan :

$\%P$ = Prosentasi porositas (%)

ρ_s = Apparent Density (gr/cm³).

ρ_{th} = True Density (gr/cm³).

2.11 Pengaruh Struktur Mikro Terhadap Sifat Mekanis Paduan Aluminium Casting

Sifat mekanis dari paduan aluminium tuang ditentukan oleh struktur mikronya . semakin baik struktur mikronya, maka semakin baik pula sifat-sifat mekanisnya. Struktur mikro dari paduan aluminium tuang dipengaruhi oleh komposisi, kecepatan pembekuan dan perlakuan panasnya. Sedangkan bagian-bagian dari struktur mikro yang mempengaruhi sifat mekanis aluminium tuang adalah :

1. Inklusi, ukuran, bentuk dan pendistribusian fasa intermetalik
2. Ukuran dan bentuk butir serta *dendrit arm spacing* (DAS)

2.11.1 Inklusi dan Fasa Intermetalik

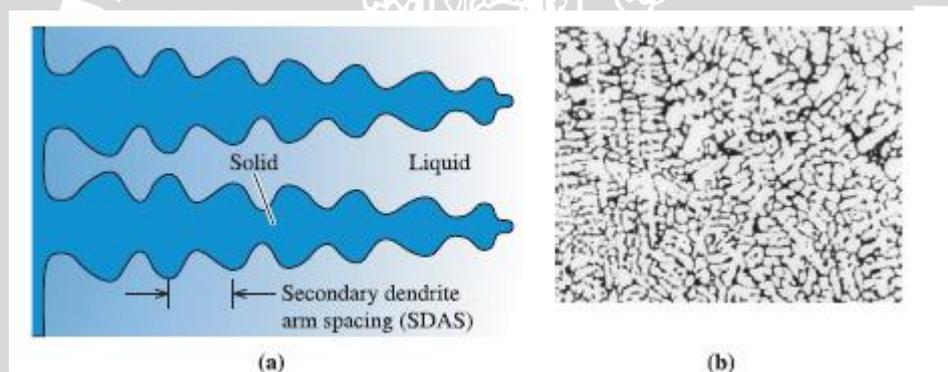
Inklusi adalah pengotor yang tidak diinginkan terdapat dalam paduan aluminium tuang. Umumnya, inklusi yang terdapat pada cairan aluminium adalah oksida (Al₂O₃, MgO), karbida (Al₃C₄, TiC). Keberadaan inklusi dapat menimbulkan masalah terhadap sifat-sifat paduan aluminium tuang seperti menyulitkan proses *machining*, mengurangi kekuatan dan ketahanan terhadap *fatigue* hingga meningkatkan porositas dan meningkatkan korosi.

Salah satu faktor yang mempengaruhi ukuran, bentuk dan distribusi fase intermetalik adalah kecepatan pembekuan. Pembekuan dengan kecepatan lambat akan menghasilkan bentuk fase intermetalik yang kasar dan terjadinya konsentrasi fase pada kedua batas butir. Sebaliknya dengan kecepatan pembekuan yang cepat akan menghasilkan partikel yang lebih halus dan terdispersi merata

2.11.2 Dendrite Arm Spacing

Mekanisme pembekuan dendrite dapat dijelaskan dengan teori pembekuan. Teori ini menyatakan bahwa selama proses pembekuan, dimana terjadi perubahan fasa cair menjadi padat, logam akan terkristalisasi sehingga atom-atom menyusun diri mereka

sendiri dalam keteraturannya. Proses kristalisasi ini dimulai dari proses pengintian (nuklei). Biasanya struktur yang terbentuk pada proses pengecoran logam adalah kolumnar dan *equiaxed*. Struktur kolumnar adalah struktur butir hasil pengecoran logam cair dimana berbentuk memanjang dengan arah yang sama sebagai hasil dari proses pembekuan. Struktur ini biasanya terjadi pada bagian yang bersentuhan dengan dinding cetakan. Sedangkan struktur *equiaxed* adalah suatu struktur butir hasil pengecoran dimana sering ditemukan pada bagian tengah, dimana daerah ini mempunyai arah butir yang berbeda satu dengan yang lainnya. Hal ini dikarenakan bahwa proses pembentukan nuklei terjadi secara menyebar. Mekanisme pembentukan struktur kolumnar dan *equiaxed* dapat dilihat pada Gambar 2.8. Tak selamanya proses kristalisasi menghasilkan kolumnar ataupun *equiaxed*. Tak jarang bentuk dendrit ditemukan pada hasil pengecoran. dendrit merupakan suatu struktur khas pada hasil pengecoran dimana berbentuk seperti pohon cemara yang tumbuh dalam keadaan *undercooled*.

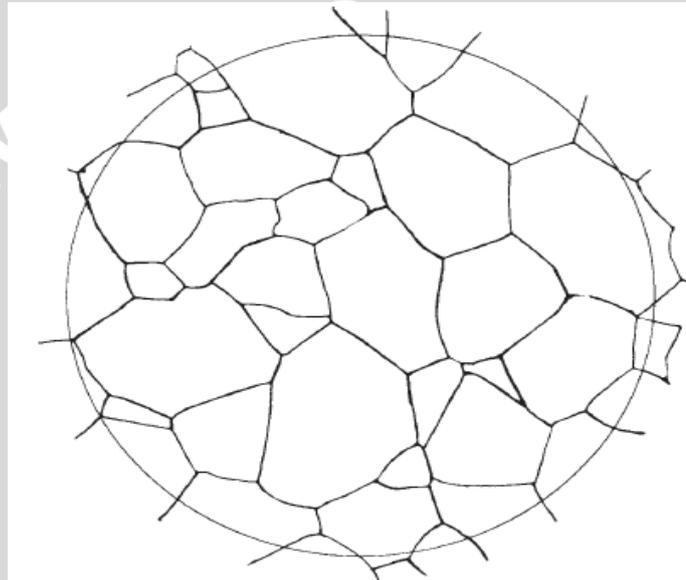


Gambar 2.10 (a) *Secondary DAS*. (b) Dendrit pada aluminium paduan pembesaran 50x
 Sumber : ASM Handbook, Vol. 9, *Metallography and Microstructure* (1985), ASM International, Materials Park, OH 44073-0002

Deandrite arm spacing DAS sangat dipengaruhi oleh kecepatan proses pembekuan logam cair. DAS juga mempengaruhi sifat mekanis suatu logam aduan terkait dengan struktur mikronya. Semakin besar nilai DAS maka akan semakin kasar struktur mikro paduan tersebut dan mengakibatkan menurunnya sifat mekanis. Sebaliknya nilai DAS yang lebih kecil mengindikasikan bahwa paduan tersebut mempunyai struktur mikro yang halus dan akan meningkatkan sifat mekanis paduan tersebut.

2.12 Perhitungan Diameter Butir

Ada beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengukur diameter butir dari struktur mikro suatu material salah satunya adalah metode Planimetri yang dikembangkan oleh Jeffries. Dimana metode ini cukup sederhana untuk menentukan jumlah butir persatuan luas pada bagian bidang yang dapat dihubungkan pada standar ukuran butir ASTM E 112 seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.11 . Metode planimetri ini melibatkan jumlah butir yang terdapat dalam suatu area tertentu yang dinotasikan dengan N_A . Secara skematis proses perhitungan menggunakan metode ini adalah sebagai berikut:



Gambar 2.11 Perhitungan Butiran Dengan Metode Planimetri
Sumber : ASTM E112

Jumlah butir bagian dalam lingkaran (N_{inside}) ditambah setengah jumlah butir yang bersinggungan ($N_{intercepted}$) dengan lingkaran dikalikan oleh pengali Jeffries (f).

$$N_A = f \left(N_{inside} + \frac{1}{2} N_{intercepted} \right) \quad (2-6)$$

Dimana:

N_A : Jumlah butir dalam area (butir/mm²)

N_{inside} : jumlah butir bagian dalam lingkaran

$N_{intercept}$: jumlah butir yang bersinggungan dengan lingkaran

f : faktor pengali Jeffries

Kemudian untuk menentukan ukuran diameter butir digunakan persamaan ASTM E-112

$$G = \{3.322 (\log NA) - 2.954\} \quad (2-7)$$

Dengan :

G : ASTM *grain size number*

Tabel 2.6 Pengali Jeffries

Pembesaran	Pengali Jeffries(f) untuk menentukan butiran/mm ²
10	0.02
25	0.125
50	0.5
75	1.125
100	2
150	4.5
200	8
500	50
1000	200

Sumber : ASTM E 112-96, 2000

2.13 Hipotesis

Waktu peleburan berpengaruh terhadap persentase porositas hasil pengecoran, dimana semakin lama waktu peleburan maka porositas yang dihasilkan akan semakin besar. Tapi dilain hal ukuran butir yang dihasilkan akan semakin halus seiring bertambahnya waktu peleburan.