

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Samsudi Raharjo (2011) dalam penelitiannya yang berjudul “*Analisa Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC 12*” didapat hasil bahwa proses *remelting* yang dilakukan menyebabkan perubahan komposisi material aluminium *Silicon* pada temperatur tuang 700°C dan menyebabkan penambahan angka porositas pada aluminium.

Soejono Tjitro (2007) dalam penelitiannya yang berjudul “*Pengaruh Kontrol Penuangan terhadap Pembuatan Silinder Pejal Aluminium Paduan Hasil Proses Direct Chill Casting*” didapatkan hasil bahwa Kontrol penuangan berpengaruh terhadap kekasaran produk DCC. Nilai kekasaran produk DCC dengan waktu buka tutup lebih pendek lebih kecil dibandingkan dengan waktu buka tutup lebih panjang.

Kuriyama (2012) dalam penelitiannya yang berjudul “*Optimization of Pouring Velocity for Aluminium Gravity Casting*”, menjelaskan tentang kecepatan penuangan hasil coran aluminium pada proses pengecoran. Hasil yang disampaikan menunjukkan bahwa penuangan logam cair dengan mengontrol dan optimasi perhitungan waktu, dapat mengurangi terjadinya cacat produk seperti lubang (porositas) dan lubang pin di pengecoran gravitasi aluminium.

Terashima dan Yano (2009) dalam penelitiannya yang berjudul “*Supervisory control of automatic pouring machine*” menjelaskan tentang system kontrol pengawasan untuk proses penuangan otomatis logam cair yang mereplikasi keterampilan ahli penuang. Hasil yang disampaikan bahwa dapat meningkatkan produktivitas pabrik, keselamatan pekerja, dan kualitas produk.

Paranjape dan Chaubal (2010) dalam penelitiannya “*Automatic Pouring Systems Boosts Output at Mahindra Hinoday Ind*” menjelaskan tentang system penuangan secara otomatis pada proses pengecoran. Hasil yang disampaikan menunjukkan bahwa peningkatan produksi, kualitas pengecoran yang lebih tinggi, meningkatkan keamanan, mengurangi biaya tenaga kerja dan cepat.

## 2.2 Aluminium dan Paduannya

Aluminium adalah logam yang paling banyak terdapat di kerak bumi, dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium merupakan material logam *non ferrous* yang ringan dengan densitas 2.7 gram/cm<sup>3</sup>. Selain itu juga memiliki sifat penghantar panas dan memiliki sifat pantul sinar yang baik.

Tabel 2.1. Sifat fisik aluminium murni.

Sifat – Sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa Jenis (20 °C)	2,6989	2,71
Titik Cair (°C)	660,2	653 – 657
Panas Jenis (cal/g°C) (100 °C)	0,2226	0,2297
Hantaran Listrik	64,94	59 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien	0,00429	0,0115
Temperatur (°C)		
Koefisien Pemuai (20–100 °C)	23,86 X 10 <sup>-6</sup>	23,5 X 10 <sup>-6</sup>
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4,013 Kx	FCC, a = 4,04 kX

Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

Alumunium merupakan logam ringan dengan titik lebur 660 °C. Bauksit adalah salah satu sumber alumunium. Bauksit dapat diolah dengan proses bayer untuk mendapatkan alumina yang selanjutnya diolah kembali untuk mendapatkan alumunium. Adapun sifat-sifat umum aluminium antara lain sebagai berikut:

1. *High strength to weight ratio*, dengan rasio berat yang relatif kecil namun memiliki kekuatann yang besar
2. Tahan terhadap korosi, sifat ini terbentuk karena adanya lapisan pasif Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, sehingga aluminium terlindung dari *corrosive agent*.
3. Mudah dibentuk dan memiliki mampu mesin yang baik, dengan adanya sifat ini yang menyebabkan aluminium aplikatif untuk berbagai jenis komponen mesin.
4. Konduktor panas yang baik

5. Dapat diproses ulang, kemampuan aluminium untuk didaur ulang dapat mengurangi biaya pembuatan, khususnya saat proses peleburan karena tidak dibutuhkan energi yang terlalu tinggi saat melebur aluminium daur ulang

Standarisasi aluminium digunakan untuk menggolongkan logam aluminium paduan berdasarkan komposisi kimia, penetapan standarisasi logam dengan proses pengecoran aluminium menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) mempergunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Adapun cara-cara yang ditentukan ASTM dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan sebagai berikut :

- |                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 1. Aluminium murni              | 1xx.x |
| 2. <i>Copper</i>                | 2xx.x |
| 3. <i>Manganase</i>             | 3xx.x |
| 4. <i>Silicon</i>               | 4xx.x |
| 5. Magnesium                    | 5xx.x |
| 6. Magnesium dan <i>silicon</i> | 6xx.x |
| 7. <i>Zincum</i>                | 7xx.x |
| 8. Elemen – elemen yang lain    | 8xx.x |

Keterangan kode:

1. Angka pertama menunjukkan jenis – jenis unsur paduan yang terdapat pada logam aluminium.
2. Angka kedua menunjukkan sifat khusus misalnya : angka kedua menunjukkan bilangan nol (0) maka tidak memerlukan perhatian khusus dan jika angka kedua menunjukkan angka satu (1) sampai dengan sembilan (9) memerlukan perhatian khusus.
3. Dua angka terakhir tidak mempunyai pengertian, tetapi hanya menunjukkan modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

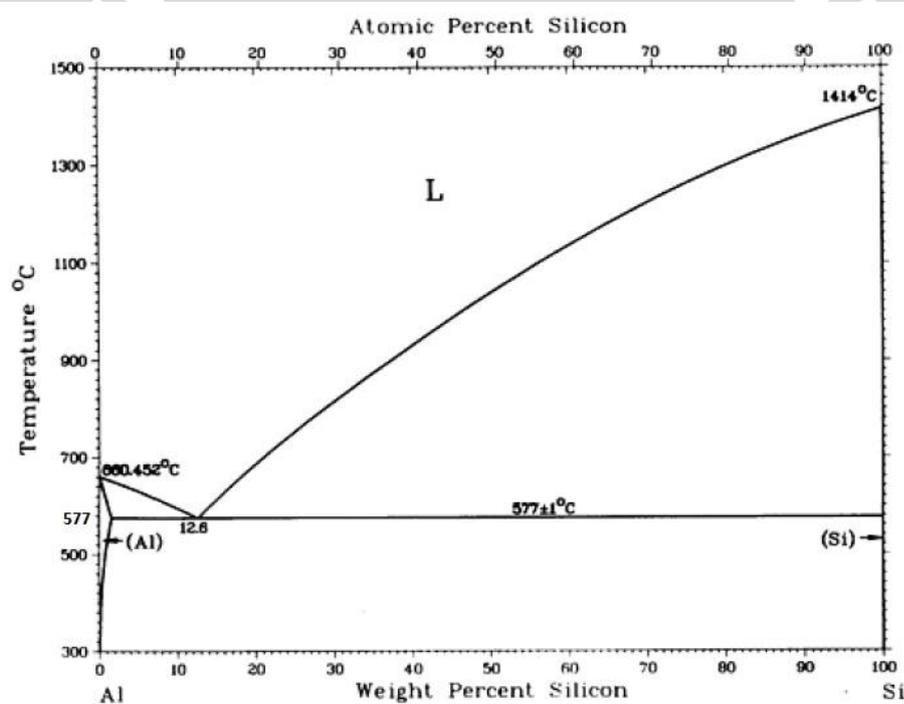
Contoh pembacaan:

1. ASTM 2017 artinya Adalah paduan aluminium – *cupper* tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Cu
2. ASTM 5056 artinya Adalah paduan aluminium – magnesium tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Mg
3. ASTM 1030 artinya Adalah aluminium murni tanpa perhatian khusus, dengan kadar aluminium sebesar 99,30%

4. ASTM 1230 artinya Adalah aluminium murni dengan perhatian khusus dengan kadar aluminium sebesar 99,30

### 2.3 Aluminium silicon (Al-Si)

Aluminium dengan Silikon sebagai unsur paduan utama merupakan paduan Aluminium tuang yang paling penting. Hal ini dikarenakan paduan Al-Si memiliki fluiditas tinggi oleh adanya volume yang besar dari Al-Si eutektik. Kelebihan lainnya dari paduan Aluminium Silikon ini yaitu memiliki ketahanan korosi yang tinggi, sifat mampu las yang baik serta memiliki koefisien ekspansi termal rendah karena adanya Silikon. Akan tetapi, kehadiran partikel Silikon ini yang keras dalam mikrostrukturnya, membuat paduan Aluminium Silikon ini susah dalam proses permesinannya.



Gambar 2.1 Diagram Fasa Al-Si  
Sumber : ASM Handbook (Vol. 3-2004)

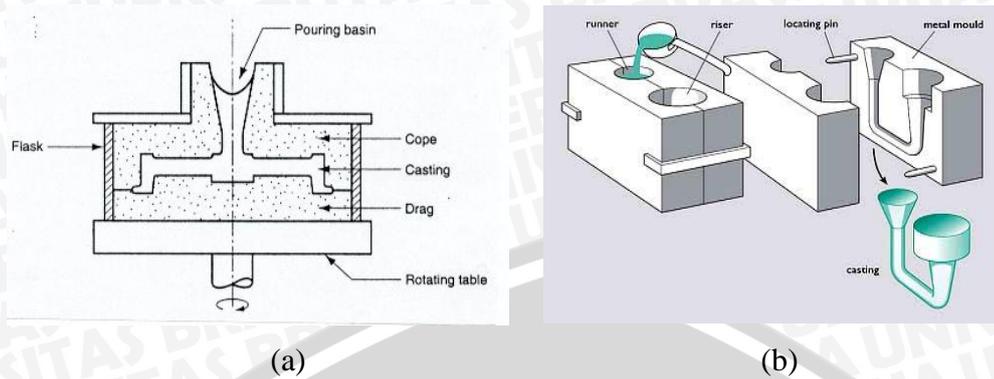
Gambar dapat dijadikan sebagai acuan atau landasan untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran paduan Al-Si. Kandungan silikon pada diagram fasa Al-Si ini terdiri dari 3 macam, yaitu:

- a. *Hipoeutectic* yaitu apabila terdapat kandungan *silicon*  $< 12,6\%$  dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur *ferrite (alpha)* kaya aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan.
- b. *Eutectic* yaitu apabila kandungan *silicon* yang terkandung didalamnya sekitar  $12,6\%$  pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke padat). Komposisi paduan eutektik merupakan komposisi yang paling umum digunakan sebagai paduan tuang karena pada komposisi ini paduan memiliki temperatur eutektik yang rendah yaitu sekitar  $577^{\circ}\text{C}$ . Oleh karena temperature eutektik yang rendah maka temperatur tuang dari paduan eutektik aluminium silikon juga menjadi rendah. Temperatur tuang yang rendah dari paduan eutektik aluminium-silikon akan menghasilkan karakteristik mampu cor (*castability*) yang baik seperti porositas dan *shrinkage* yang minimum.
- c. *Hypereutectic* yaitu apabila komposisi *silicon* lebih dari  $12,6\%$  sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Pada kondisi ini, aluminium paduan memiliki beberapa karakteristik, yaitu ketahanan aus meningkat, ekspansi termal yang rendah, dan memiliki ketahanan retak panas yang baik.

## 2.4 Pengecoran Logam

Pengecoran (*casting*) adalah 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. Proses pengecoran logam mencakup beberapa elemen kerja di dalamnya yaitu desain dan perencanaan, pola, cetakan, inti, peleburan sampai finishing dan produk siap dipakai.

Berdasarkan metodenya, proses pengecoran dibedakan menjadi dua macam, yaitu *Traditional casting* dan *Non-traditional/contemporary casting*. Perbedaan keduanya yaitu pada proses dan hasil jadi coran yang dihasilkan. Proses pengecoran dengan gaya gravitasi, cacat produk yang dihasilkan relatif banyak dan waktu yang digunakan pada proses finising juga banyak



Gambar 2.2 Macam bentuk cetakan (a) cetakan tidak permanen, (b) cetakan permanen  
Sumber: M. P. Groover (2002)

Ada beberapa jenis cetakan dalam proses pengecoran logam yaitu :

1. Cetakan tidak permanen (*expendable mold*); hanya dapat digunakan satu kali saja. Contohnya : cetakan pasir (*sand casting*), cetakan kulit (*shell mold casting*), cetakan presisi (*precision casting*).
2. Cetakan permanen (*permanent mold*); dapat digunakan berulang-ulang (biasanya dibuat dari logam). Contoh : *gravity permanent mold casting*, *pressure die casting*, *centrifugal die casting*.

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.

#### 2.4.1 Penuangan Logam

Proses penuangan logam merupakan salah satu bagian penting dalam proses pengecoran. Dalam penuangan dapat mempengaruhi kualitas produk yang dihasilkan. Perlakuan saat penuangan juga dapat mempengaruhi hasil dari coran. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas produk saat penuangan, diantaranya sebagai berikut:

### 1. Temperatur penuangan (*Pouring Temperature*)

Temperatur penuangan dapat berpengaruh dengan sifat mekanik dari logam yang dicor. Dengan semakin tinggi nya temperatur penuangan maka struktur butir pada logam akan semakin kecil yang menjadikan logam memiliki kekerasan yang tinggi tetapi rapuh. Proses penuangan pada pengecoran dilakukan pada suhu superheating yang bermaksud untuk mencegah solidifikasi dini dan menjaga fluiditas dari logam cair yang dapat menurunkan kualitas coran

### 2. Kecepatan Penuangan (*Pouring Velocity*)

Proses penuangan dengan kecepatan aliran logam yang tinggi juga merupakan salah satu penyebab yang dapat menurunkan kualitas dari produk cor. Dengan kecepatan aliran yang tinggi menyebabkan terbentuknya aliran yang turbulen yang dapat meningkatkan penyerapan hidrogen diudara dan berdampak dengan meningkatnya cacat porositas pada coran. Dengan meningkatnya porositas maka sifat mekanis dari logam padua akan menurun. Untuk didapat kecepatan dan lama waktu penuangan yang sesuai dilakukan dengan penurunan dari persamaan berikut:

$$R = b \sqrt{W} \text{ kg/s} \quad (2-1)$$

Tabel 2.2 Nilai konstanta perhitungan kecepatan

Wall thickness, mm	below 6 mm	6-12 mm	above 12 mm
Constant, b	0.99	0.87	0.47

### 3. Lama Waktu Penuangan (*Pouring Time*)

Lama waktu penuangan juga berpengaruh dari kualitas hasil pengecoran. *Pouring time* berhubungan dengan *pouring velocity*. Dengan *pouring velocity* yang rendah maka akan membutuhkan waktu yang lama yang dapat berpotensi terjadinya solidifikasi dini pada logam cair. Namun dengan *pouring velocity* yang tinggi waktu yang dibutuhkan untuk mengisi cetakan akan singkat. Dengan singkatnya waktu dalam pengisian rongga cetakan juga berpengaruh dalam hasil pengecoran yaitu mengakibatkan peningkatan cacat porositas yang terbentuk.

Dalam proses penuangan juga terbagi beberapa cara yaitu penuangan pengecoran secara langsung maupun konvensional yang membutuhkan ladle sebagai perantara penuangan logam cair ke cetakan. Penuangan secara langsung (*Direct Pouring System*) dapat mengurangi kelemahan yang ditimbulkan dari penuangan secara

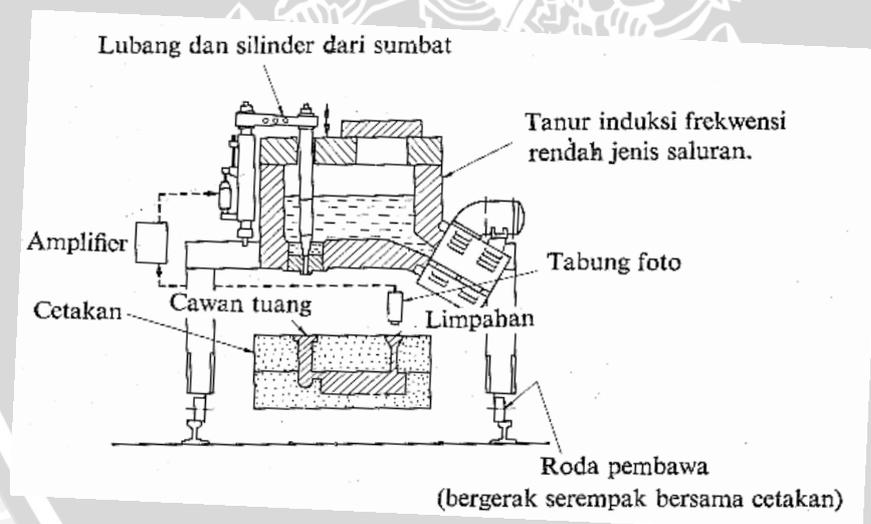
konvensional. Dengan *Direct Pouring System* mengurangi terjadinya kontak dengan udara sekitar yang dapat menyebabkan cacat porositas pada benda hasil cor.

### 2.5 Automatic Pouring System

*Automatic Pouring System (APS)* adalah sistem penuangan logam cair dari tungku peleburan ke cetakan yang dikerjakan secara otomatis (tidak menggunakan ladle yang dikerjakan oleh manusia) yang telah banyak dilakukan untuk pengecoran cetak, dan pengecoran dengan cetakan logam bagi logam-logam yang titik cairnya rendah, tetapi tidak banyak dipergunakan untuk besi cor mengingat titik cairnya yang tinggi. Empat cara dalam penuangan otomatis yaitu:

#### 1. Jenis Sumbat

Pada jenis ini tanur induksi frekuensi rendah dipergunakan sebagai ladle penuang. Pada dasar ladle terdapat sumbat yang dapat diajalkan secara hidrolis. Seluruh tanur bergerak serempak bersama dengan gerak aliran cetakan diatas yang sejajar dengan rel pembuat cetaan. Seperti pada gambar 2.3 berikut ini.

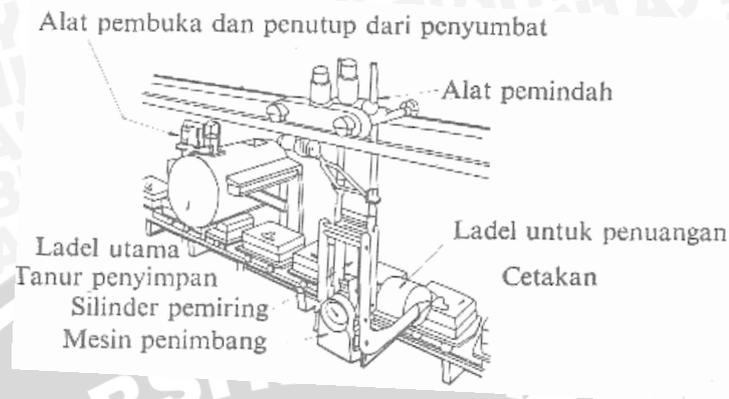


Gambar 2.3 Jenis sumbat dari peralatan penuangan otomatis  
Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

#### 2. Jenis Ladle Yang Dapat Miring

Ladle yang biasanya dijalankan dengan tangan, pada jenis ini dirubah menjadi mesin penuang otomatis. Dalam hal ini termasuk ladle jenis tunggal dan jenis gabungan yang menggabungkan satu tanur penyimpan dengan beberapa ladle. Pada gambar 2.4 Menunjukkan ladle jenis tersebut. Penuangan dilakukan secara otomatis dengan

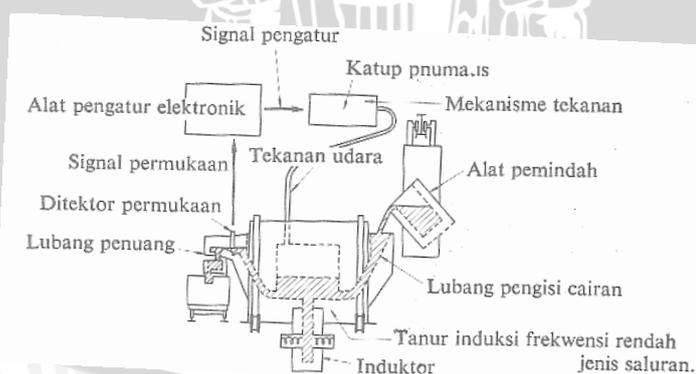
memiringkan ladle, mengikuti gerak dari cetakan. Untuk mengisi ladle, ladle bergerak mendekati tanur penyimpanan yang mempunyai penyumbat.



Gambar 2.4 Peralatan penuangan otomatis jenis ladle yang dapat dimiringkan  
Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

### 3. Jenis Tekanan

Pada jenis peralatan ini, logam cair dalam tanur penyimpanan dituangkan melalui lubang penuang dengan perantaran tekanan udara. Pada gambar 2.5 menunjukkan salah satu dari mesin jenis ini yang mempunyai tanur induksi frekuensi rendah jenis saluran dimana termasuk saluran pemberi, saluran penuang dan mekanisme penekan. Dalam gambar tersebut diperlihatkan penuangan dimana sedang menerima cairan dari alat pembawa otomatis.

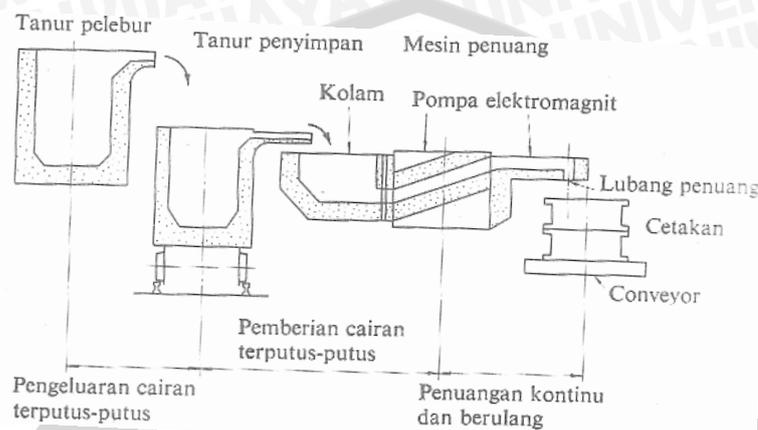


Gambar 2.5 Peralatan penuangan otomatis jenis tekanan  
Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

### 4. Jenis Pompa Elektromagnet

Pompa *electromagnet* adalah pompa yang memberikan gaya dorong pada cairan logam yang timbul dari aksi *electromagnet* antara lapangan magnet yang bergerak dan

arus induksi pada cairan. Cairan diangkat melalui saluran gradien angka dan dituangkan melalui lubang penuangan. Mesin penuang terdiri dari cawan tuang, sebuah pompa elektromagnetis dan saluran pengeluaran. Pada gambar 2.6 Menunjukkan aliran dari logam.



Gambar 2.6 Aliran dari cairan logam pada alat penuangan jenis pompa elektromagnet. Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

## 2.6 Peleburan Aluminium Silicon

Peleburan logam adalah proses mecairkan logam pada temperatur tertentu dengan menggunakan energi panas yang di hasilkan oleh tungku peleburan. Peleburan logam merupakan aspek terpenting dalam operasi-operasi pengecoran karena berpengaruh langsung pada kualitas produk cor.

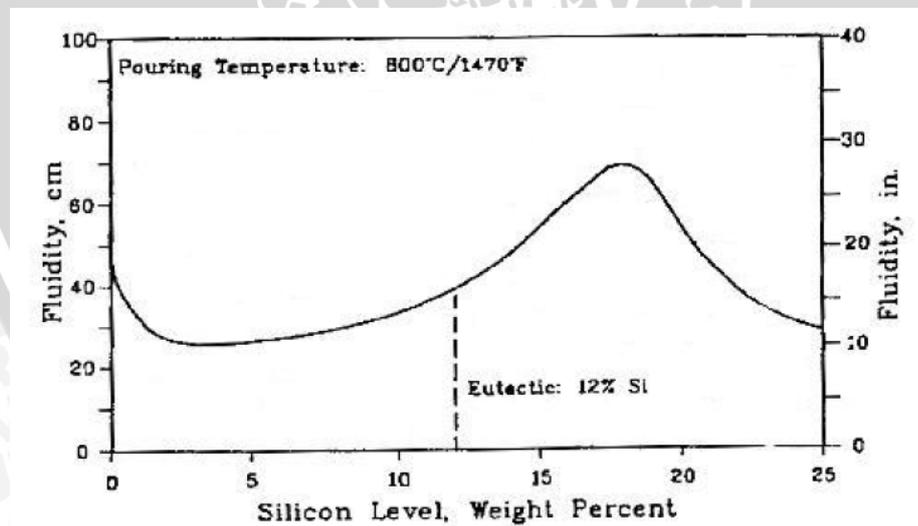
*Fluks* adalah senyawa *inorganic* yang dapat “membersihkan” logam cair dengan menghilangkan gas-gas yang ikut terlarut dan juga unsur-unsur pengotor (*impurities*). Penggunaan *fluks* kering 1% sampai 3% dapat mengurangi gas dan mencegah gelembung udara serta lubang jarum, disamping itu juga memperbaiki sifat-sifat mekanisnya. Aspek yang penting dalam peleburan aluminium dan paduannya adalah penentuan temperatur peleburan serta waktu peleburan itu sendiri. Karena temperatur dan waktu peleburan sangat mempengaruhi kualitas produk hasil peleburan, khususnya untuk paduan Al-Si dimana keduanya memiliki titik lebur yang jauh berbeda yaitu Al 660 °C dan Si 1414 °C, namun pada paduan Al-Si memiliki titik lebur 577°C. Berikut ini adalah contoh dari beberapa titik cair dan temperatur dari paduan aluminium seperti tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Titik Cair dan Temperatur dari Paduan Aluminium

Paduan dan Komposisi	Temperatur Mulai cair (°C)	Temperatur Akhir cair (°C)	Temperatur Penuangan (°C)
Al – 4.5 Cu	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 :Surdia dan Chijiwa (1975 : 237)

## 2.7 Fluiditas



Gambar 2.7 Grafik fluiditas Al-Si

Sumber : *fluidity of aluminium foundry alloys* (100:2005)

Secara umum Fluiditas adalah kondisi logam cair yang mampu membuat logam cair mengalir melalui jalur cetakan dan mengisi semua celah cetakan. Fluiditas yang rendah mengarah pada cacat dan kegagalan pengecoran produk. Fluiditas tidak dapat

diukur dari sifat fisik individual (berbeda dengan densitas /viskositas) sehingga pengujian empiris dilakukan untuk mengukur semua karakteristik dan fluiditas logam cair dalam pengecoran dan pengukuran logam. Perhitungan nilai fluiditas juga dapat dihitung sesuai dengan persamaan berikut.

$$L_f = \frac{V \cdot k_m \cdot S^2}{16} \text{ to } \frac{V \cdot k_m \cdot S^2}{64} \quad (2.2)$$

Dengan:

$L_f$  : Nilai Fluiditas

$v$  : Kecepatan aliran

$k_m$ : konstanta fluiditas

$S$  : tebal karakteristik

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai fluiditas pada dasarnya terdiri dari intrinsik cairan dan kondisi *casting*. Intrinsik cairan terdiri atas viskositas, tegangan permukaan, karakteristik dari permukaan lapisan oksida pada permukaan, kandungan inklusi, dan komposisi material, sedangkan kondisi *casting* terdiri dari faktor cetakan, desain cetakan, karakteristik dari permukaan cetakan, material cetakan, laju penuangan, dan pengukuran fisik dinamika fluida dari sistem. Tetapi diantara faktor itu pengaruh fluiditas pada umumnya dipengaruhi oleh komposisi dan temperatur.

#### 1. Viskositas

Viskositas adalah sebuah ukuran gaya yang diperlukan untuk memindahkan sebuah permukaan dari unit luasan. Pada saat logam cair mengalir pada sebuah saluran tertutup, viskositas akan menentukan alirannya, mana *drag* atau hambatan yang timbulkan dinding saluran tertransmisi ke logam cair. Sehingga mempengaruhi kecepatan aliran logam pada cetakan. Jadi semakin tinggi viskositas maka fluiditasnya menurun, dan sebaliknya jika viskositas rendah maka fluiditasnya meningkat.

#### 2. Temperatur

*Temperature* penuangan logam cair adalah faktor yang paling dominan dalam mempengaruhi fluiditas, sedangkan fluiditas dari logam paduan berhubungan dengan superheat semakin tinggi temperatur peleburan fluiditas cairan akan semakin tinggi.

### 3. Komposisi

Komposisi dari logam cair juga merupakan parameter yang mempengaruhi fluiditas. Fluiditas tinggi umumnya terdapat pada logam cair murni komposisi kimia logam merupakan faktor besar yang mempengaruhi fluiditas. Setiap unsur paduan memiliki karakteristik yang berbeda-beda diantaranya *silicon* yang dapat meningkatkan nilai fluiditas dari aluminium. Selain itu unsur besi dapat meningkatkan keuletan dari aluminium tetapi dapat menurunkan nilai fluiditas dari material tersebut (ASM Handbook Volume 15,1988).

### 4. Inklusi

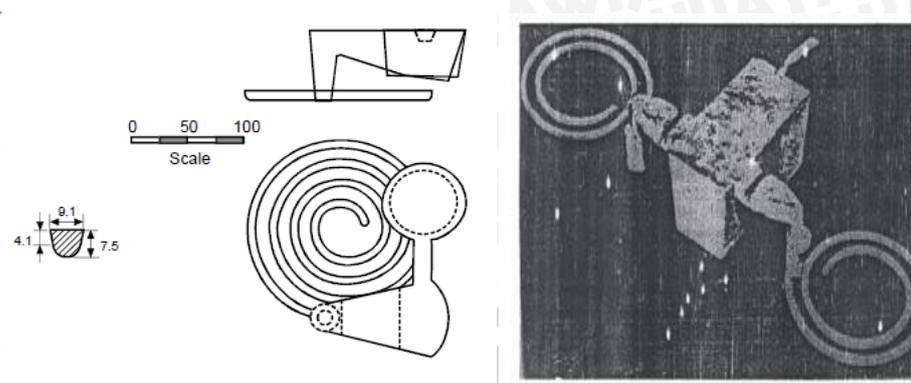
Disamping komposisi dasar paduan, karakteristik komposisi lain juga mempengaruhi sifat mampu alir atau fluiditas, yaitu inklusi pada logam cair. Inklusi tersebut, yang berada dalam bentuk partikel tersuspensi tidak larut (*suspended insoluble nonmetallic particle*), yang mana akan menurunkan fluiditas aluminium cair secara signifikan. Ada beberapa macam bentuk inklusi yang mungkin terdapat pada paduan aluminium cair diantaranya yaitu: oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ), intermetalik ( $\text{MnAl}_3$ ,  $\text{FeAl}_3$ ), dan inklusi dari refraktori (oksida dan/atau karbida besi, silikon, aluminium). Diantara inklusi itu inklusi oksida yang paling memungkinkan terjadi.

Cara pengujian Fluiditas dilakukan dengan berbagai metode diantaranya pengujian spiral dan Vakum:

#### 1. Pengujian spiral

Pengujian dengan menggunakan cetakan spiral merupakan jenis pengujian fluiditas yang paling lama digunakan. Pengujian fluiditas dengan cetakan spiral ini dilakukan dengan cara menuangkan logam cair ke alat uji fluiditas kemudian setelah logam membeku, panjang sampel yang berbentuk spiral (yang menyerupai bentuk cetakannya) diukur dengan menggunakan tali kabel kemudian panjang tali kabel diukur dengan penggaris. Semakin panjang spiral yang diperoleh maka nilai fluiditas semakin baik, dan sebaliknya jika spiral yang diperoleh pendek.

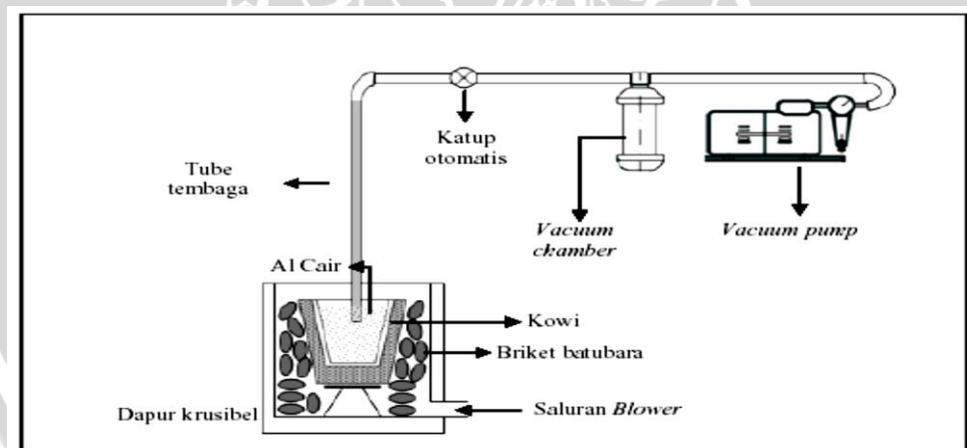
Uji fluiditas cetakan spiral masih memiliki kelemahan yaitu masalah dalam memperoleh standar kondisi aliran logam cair yang sesungguhnya. Namun, masalah ini telah diatasi melalui berbagai desain sistem aliran untuk mengatur tekanan alir dan peralatan penuangan dengan kecepatan konstan untuk memastikan bahwa logam cair yang dituangkan memiliki kecepatan seragam.



Gambar 2.8 : Pengujian spiral  
 Sumber : Peter Beeley (1978 :100)

### 2. Pengujian Vacum

Logam cair di hisap melalui sebuah tabung logam seperti baja tahan karat, tembaga atau *quartz* menggunakan pompa vakum. Suhu untuk mengamati nilai fluiditas ditentukan pada suhu 640, 660, 680, dan 700°C. Pada masing-masing suhu yang telah ditentukan tersebut aluminium cair di hisap oleh alat pengujian fluiditas vakum dengan tekanan  $\pm 27 \text{ kPa}$  melalui tabung tembaga.



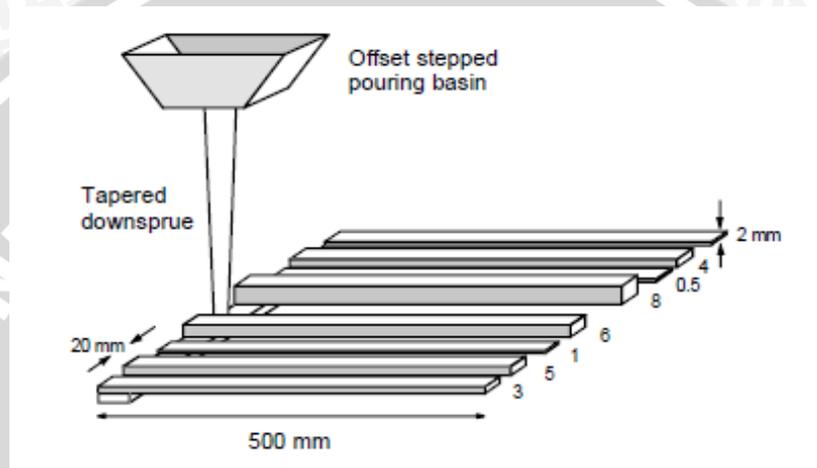
Gambar 2.9 : Pengujian *vacum*  
 Sumber : Peter Beeley (1978 :112)

### 3. Fluidity Test Piece

*Fluidity test piece* merupakan salah satu jenis pengujian fluiditas yang banyak digunakan saat ini yang dikembangkan oleh Universitas Birmingham, UK. Melalui pengujian ini pada temperatur tertentu, data yang didapat tidak hanya Panjang fluiditas melainkan juga seberapa tipis ketebalan yang akan dapat dilalui oleh logam cair melalui proses penuangan. Dengan demikian, melalui analisis data yang didapat

dari *fluidity test piece* diketahui ketebalan yang mungkin dapat diisi oleh logam cair. Dalam hal ini, semakin tipis ketebalan yang terisi maka nilai fluiditas suatu material semakin baik.

*Fluidity test piece* ini mengacu pada tegangan permukaan, yang mana setiap material memiliki tekanan permukaan yang berbeda-beda. Tegangan permukaan akan memberikan efek yang cukup besar pada pengisian rongga cetakan yang relatif tipis.



Gambar 2.10 : *Fluidity test piece*  
Sumber : Campbell J (1994:03)

### 2.7.1 Hidrodinamika Logam Cair

Hidrodinamika logam cair adalah pergerakan aliran logam cair. Pergerakan logam cair tersebut bergerak setelah meleburnya semua material aluminium *silicon* dan menghailkan paduan yang diinginkan. Setelah paduan tersebut tercampur dengan sempurna, maka dilakukan ke tahap penuangan dari tungku ke cetakan yang sudah disediakan. Hal ini bisa mengakibatkan dampak buruk terhadap hasil coran. Porositas merupakan cacat hasil coran yang sering dihasilkan pada proses pengecoran.

Faktor kecepatan saat proses penuangan menjadi salah satu faktor yang penting untuk menghasilkan hasil coran yang baik. Cepat atau lambatnya saat proses penuangan mempengaruhi hasil coran. Hal ini dikarenakan jika logam cair terlalu lama saat penuangan, maka bisa menyebabkan banyaknya logam cair yang teroksidasi dan hasil coran yang kurang maksimal karena banyak udara yang terperangkap dan menyebabkan porositas didalamnya.

Kecepatan dapat mengakibatkan cacat pada produk pengecoran yang dipengaruhi oleh aliran logam diantaranya cacat porositas. Cacat porositas yang terjadi dikarenakan pada aliran yang turbulen menyebabkan banyaknya gas yang jebak pada aliran yang turbulen hingga logam solidifikasi. Kriteria porositas karena aliran ditentukan oleh Bilangan Reynolds. Turbulensi yang terjadi pada saat menuangkan logam *melt* dapat mempercepat laju penyerapan gas hidrogen dari atmosfer yang mengandung uap air (lembab). Pada fluida konvensional (air) bilangan  $Re < 2100$  jenis aliran laminar,  $Re \approx 2100-4000$  jenis aliran transisi, dan  $Re > 4000$  jenis aliran turbulen. Menurut Teng kecepatan alir logam cair mengisi rongga cetakan yang tinggi menyebabkan gas dan udara terperangkap dalam proses solidifikasi. Aliran turbulen ini menyebabkan gas terperangkap pada *casting product* yang mana bilangan  $Re > 10000$ , akibatnya terjadi porositas gas. Bilangan Reynold dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$R = \frac{Vl\rho}{\mu} = \frac{Vl}{\nu} \quad (\text{Streeter, 1985:176}) \quad (2-3)$$

dengan:

R : *reynold number*

V : kecepatan aliran (m/s)

l : panjang karakteristik (m)

$\rho$  : kerapatan ( $\text{kg/m}^3$ )

$\mu$  : viskositas dinamik ( $\text{kg/(m}\cdot\text{s)}$ )

$\nu$  : viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Dari persamaan 2-3 diketahui bahwa besar Bilangan Reynold juga dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka bilangan Reynold akan semakin tinggi pula. Dengan semakin tingginya nilai bilangan Reynold maka aliran cenderung memiliki aliran yang turbulen.

## 2.8 Kelarutan Gas

Pada proses pengecoran aluminium dan paduannya sering kali gas-gas *hydrogen*, oksigen, dan nitrogen terlarut karena fenomena difusi. Variasi kelarutan gas-gas tersebut secara langsung dipengaruhi oleh temperatur. Cacat aluminium bertambah dengan meningkatnya kelarutan gas dalam *liquidus* dari peleburan sampai solidifikasi. Control dalam kondisi lebur dan perlakuan lebur dapat mengurangi tingkat kelarutan gas. (Wahyono, 2012)

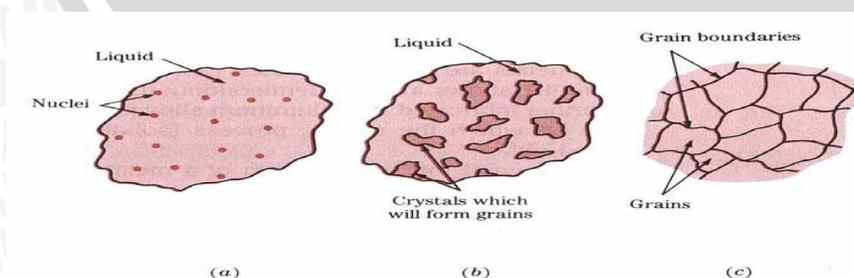


## 2.9 Solidifikasi

Solidifikasi (pembekuan) adalah perubahan transformasi logam cair ke bentuk padatnya. Pembekuan logam merupakan salah satu tahapan yang penting dalam proses pengecoran. Dalam proses solidifikasi laju pendinginan berpengaruh terhadap pembentukan struktur butir dan dapat mempengaruhi sifat mekanik dari logam.

Seluruh logam saat proses pembekuan membentuk kristal, susunan teratur (*ordered*) dan atom-atom berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Saat akan mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Susunan awal atom dikenal dengan sebutan inti atom dan proses pembentukan inti atom disebut pengintian (*crystallization*). Setelah terbentuk inti atom, atom-atom lainnya yang terdapat disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti atom berkembang dan memiliki cabang-cabang yang dikenal dengan sebutan *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti atom sehingga banyak pula muncul *dendrite*, masing-masing mempunyai arah atau orientasi yang berbeda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite* lain yang berkembang. Permukaan yang bersinggungan ini dikenal dengan sebutan batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir dikenal dengan sebutan butir. Jika keadaan memungkinkan, misalkan energi yang tersedia cukup besar, satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam artian atom-atom dari butir lain yang kurang stabil akan mengikuti arah butir tersebut. Jika keadaan ini berlangsung terus-menerus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan secara lambat, maka *dendrite* mempunyai waktu yang cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butiran-butiran yang besar. Sebaliknya, jika pendinginan logam secara cepat maka akan menimbulkan butiran-butiran yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.



Gambar 2.12: Sistem pembentukan butir  
Sumber: Peter Beeley (1978 : 83)

Daerah pembekuan logam:

### 1. *Chill zone*

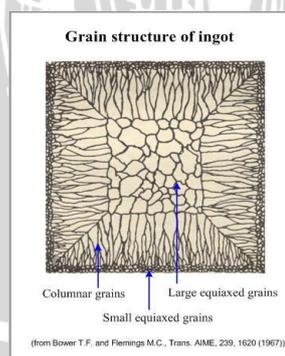
Selama proses penuangan logam cair ke dalam cetakan, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat di bawah temperatur *liquidus*. Akibatnya pada dinding cetakan tersebut timbul banyak inti padat dan selanjutnya tumbuh ke arah cairan logam.

### 2. *Columnar zone*

Sesaat setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan menurun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah perpindahan panas. Kristal-kristal tersebut tumbuh memanjang berlawanan dengan arah perpindahan panas (panas bergerak dari cairan logam ke arah dinding cetakan yang bertemperatur lebih rendah) yang disebut dengan *dendrite*. setiap kristal *dendrite* mengandung banyak lengan-lengan *dendrite* sekunder dan tersier akan timbul dari lengan *dendrite* primer. Daerah yang terbentuk antara ujung *dendrite* dan titik dimana sisa cairan terakhir akan membeku disebut sebagai *mushy zone* atau *pasty zone*.

### 3. *Equiaxed zone*

Daerah ini terjadi dari butir-butir *equiaxed* yang tumbuh secara acak di tengah-tengah *ingot*. Pada daerah ini perbedaan temperatur yang ada tidak menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir memanjang.

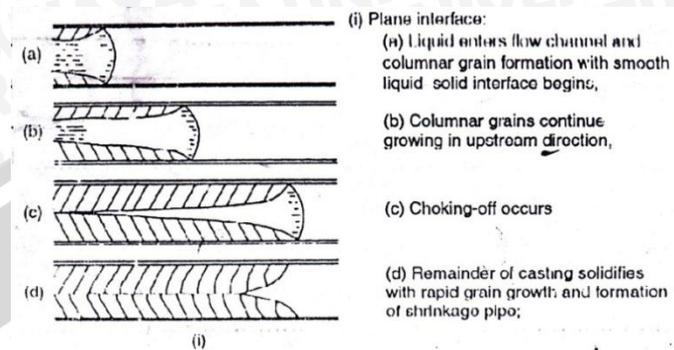


Gambar 2.13 : *Chill, columnar* dan *equiaxed zone*  
 Sumber : Bower T.F and Flemings M.C (1967 : 239)

Perbedaan perilaku dari berbagai paduan dapat disebabkan oleh karakteristik mode pembekuannya. Berikut ditunjukkan berbagai macam mode pembekuan

### 1. Pembekuan *plane interface*

Pada metode ini, pembekuan pada logam cair yang seragam terjadi dengan baik dan butiran besar. Serta ikatan antar butir besar menjadikan logam kuat, seperti pada gambar berikut.

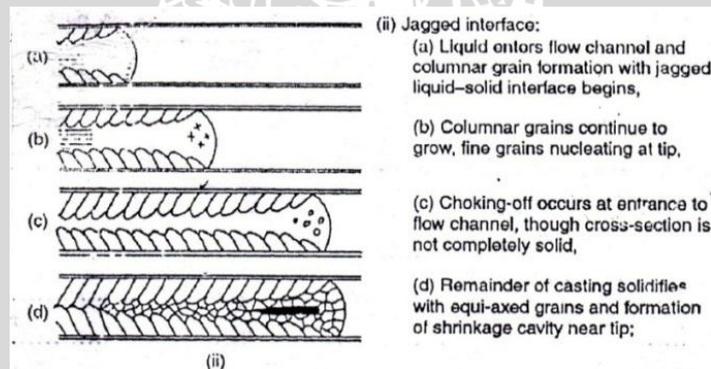


Gambar 2.14 : Plane interfase mode

Sumber : Peter Beeley (1978 : 21)

### 2. *Jagged interface*

Pada metode ini paduan yang membeku menjadi 2 jenis, ada kristal dan butir besar. Sehingga memiliki kekuatan bagus di pinggir dan keras serta rapuh di bagian dalam. dapat dilihat pada gambar berikut.

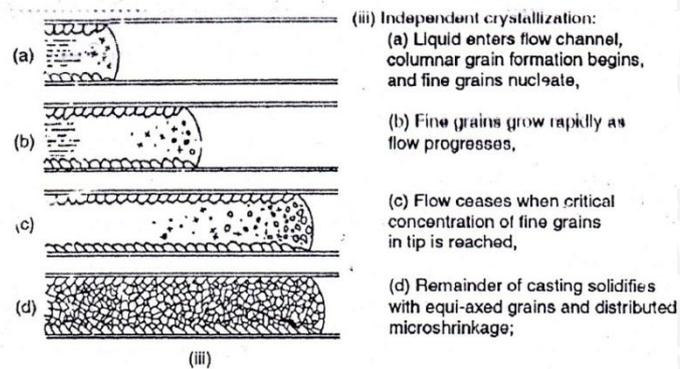


Gambar 2.15 : *jagged interface mode*

Sumber : Peter Beeley (1978 : 21)

### 3. *Independent crystalisation*

Pada pembekuan ini. Menghasilkan butir kristal yang banyak serta merata. Sehingga hasilnya akan memiliki banyak ikatan, namun rapuh dan bersifat keras, seperti pada gambar berikut.

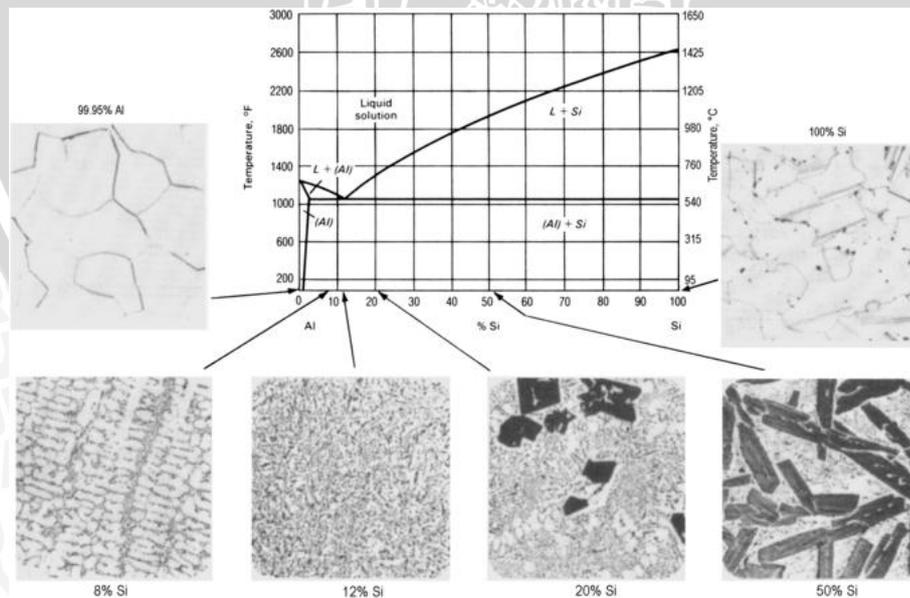


Gambar 2.16 : Independent crystallisation mode

Sumber : Peter Beeley (1978 : 22)

### 2.9.1 Struktur Mikro Paduan Al-Si

Pengamatan struktur mikro adalah salah satu cara untuk mengetahui struktur kristal dalam coran sehingga kita dapat mengetahui sifat fisis dari coran tersebut. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan bantuan alat pembesar, misalnya lope dan mikroskop optik. Mikroskop dengan pembesaran yang cukup dapat dilihat susunannya dan dapat ditentukan secara fotografis. Benda uji harus diratakan dan dihaluskan terlebih dulu dengan mesin, misalnya dikikir, digerinda, diasah dan dipoles.



Gambar 2.17 : Strukturmikro paduan Al-Si

Sumber : ASM Handbook (Vol. 3: 2004)



Pada gambar 2.17 diatas dapat dilihat struktur mikro pada komposisi *hypoeutectic* (<12% Si), *hypereutectic* (>12% Si), dan satu yang mendekati komposisi eutektik pada 12%. Dari gambar tersebut yang berwarna putih adalah aluminium, sedangkan yang berwarna gelap adalah *silicon*. Semakin sedikit kadar Si pada paduan tersebut maka gambar dari mikrostrukturnya akan didominasi oleh warna putih, begitu juga sebaliknya apabila Si semakin banyak, maka warna hitam pada foto mikrostrukturnya akan semakin banyak.

### 2.9.2 Fasa Intermetalik Pada Paduan Aluminium Silikon

Besi merupakan pengotor paling umum yang ada pada paduan Aluminium. Kelarutan besi pada keadaan padat sangat rendah (~0,05% pada 600 °C, bahkan lebih rendah lagi pada temperatur ruang). Dengan demikian, kadar besi yang melebihi jumlah ~0,05% akan tampak sebagai fasa kedua intermetalik dalam kombinasi dengan Al dan elemen lainnya, dan fasa ini bersifat merusak terhadap sifat properti dari Al. Fasa intermetalik berlaku sebagai *stress concentration* sehingga material bersifat rapuh. Sumber keberadaan besi pada proses pengecoran berasal dari peralatan peleburan dan dari remelt scrap. Keberadaan besi tidak dapat dihilangkan dari aluminium, tetapi efek merusaknya dapat dikurangi dengan metode netralisasi atau modifikasi.

Besi dan silikon merupakan unsur yang paling umum ditemukan dalam paduan aluminium karena kelarutannya yang rendah selama pembekuan. Fe akan membentuk senyawa intermetalik yang kompleks dengan silikon, mangan dan juga krom. Selama proses pengecoran dari paduan aluminium, sejumlah besar dari fasa intermetalik dapat mengendap bergantung dari kondisi dari pembekuan dan paduan kimianya. Pada paduan aluminium-silikon yang mempunyai kadar Fe yang tinggi akan menghasilkan fasa intermetalik  $\beta$ -AlFeSi sebagai fasa yang dominan. Semakin tinggi kadar Fe akan meningkatkan panjang dari bentuk pelat intermetalik  $\beta$ -AlFeSi. Persentase dari fasa  $\beta$ -AlFeSi akan meningkat secara drastis dengan meningkatnya kadar Fe, semakin tinggi kadar Si maka akan semakin banyak terbentuk  $\beta$ -AlFeSi.

### 2.10 Porositas

Porositas dapat terjadi karena gas yang terjebak pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas produk cor. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas *hydrogen* dalam benda cetak paduan aluminium

akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari produk cor tersebut. Penyebabnya antara lain kurang memperhatikan gas yang teransorbsi dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

- Unsur-unsur gas atau sumber gas yang terkandung dalam paduan.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- Teknik dan kondisi peleburan.
- Temperatur logam cair.
- Permeabilitas cetakan.
- Bentuk saluran penuangan ataupun kecepatan penuangan

Pada proses penuangan, hidrogen yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuan karena kelarutannya pada fase cair lebih tinggi dari pada fase padat. Gas dikeluarkan dari larutan akan terperangkap pada struktur padat. Gas tersebut bernuklasi pada cairan selama pembekuan dan diantara fase padat-cair.

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

$$\% P = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan :

%P = Prosentase porositas

$\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* ( gr/cm<sup>3</sup>).

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis atau *True Density* ( gr/cm<sup>3</sup>).

### 2.10.1 Densitas

Densitas (simbol:  $\rho$  – Greek: rho) adalah sebuah ukuran massa per volume. Rata-rata kepadatan dari suatu obyek yang sama massa totalnya dibagi oleh volume totalnya.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-5)$$

dengan :

$\rho$  = Densitas (gr/cm<sup>3</sup>)

$m$  = massa total benda (gr)

$V$  = volume benda (cm<sup>3</sup>)

Dalam perhitungan porositas menggunakan perbandingan antara dua macam densitas, yaitu *True Density* dan *Apparent Density*.

- *True density*

*True Density* adalah kepadatan pada benda tanpa adanya porositas didalamnya. Dapat didefinisikan sebagai perbandingan massa terhadap volume sebenarnya ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Persamaanya menurut ASTM E 252-84 yaitu

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + \text{etc.} \right\}} \quad (2-6)$$

dengan :

$\rho_{th}$	= Densitas teoritis atau <i>True Density</i> ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
$\rho_{Al}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, \text{etc}$	= Densitas unsur ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
%Al, %Cu, etc	= Prosentase berat unsur (%).

- *Apparent density*

Adalah berat setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat pada material yang akan diuji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Menurut ASTM B311-93 rumusnya adalah :

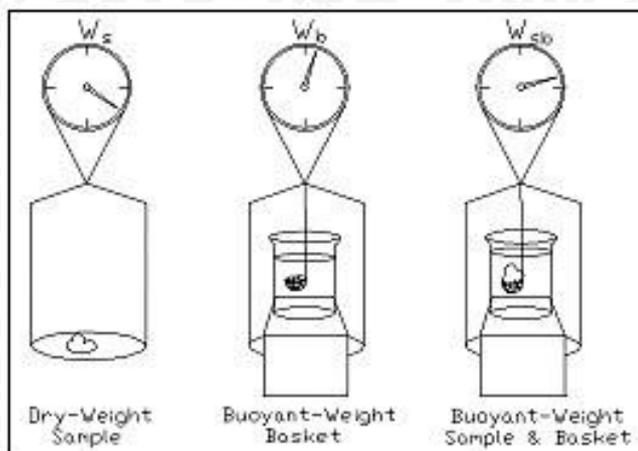
$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-7)$$

dengan :

$\rho_s$	= Densitas sampel atau <i>Apparent Density</i> ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
$\rho_w$	= Densitas air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).
$W_s$	= Berat sampel di luar air (gr)
$W_b$	= Berat keranjang di dalam air (gr)
$W_{sb}$	= Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

### 2.10.2 Pengujian Pikhometri

Pikhometri adalah sebuah proses pengujian berat jenis dengan cara membandingkan berat sampel di udara dengan berat sampel di dalam air. Dari pengujian ini akan diolah sesuai pada persamaan 2-7 dan di dapat nilai dari *Apparent Density*



Gambar 2.18 : Skema Piknometri  
 Sumber : Taylor (2000)

Sesuai yang di tunjukkan pada gambar 2.18 diatas pengujian piknometri dilakukan dengan melakukan tiga pengukuran berat, yaitu:

- $W_s$  = pengukuran berat keranjang (*dry weight*)
- $W_{sb}$  = pengukuran berat apung dan keranjang dan sampel
- $W_b$  = pengukuran berat apung keranjang.

Pengukuran berat di lakukan dengan menggunakan timbangan yang di hubungkan pada suatu keranjang guna memudahkan dalam menempatkan sampel dan memanfaatkan bejana yang berisi air guna mengetahui berat sampel pada keranjang dalam air

### 2.11 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesa bahwa pada pengecoran ulang (*recycling*) paduan Al-Si dengan melakukan kontrol lama waktu penuangan (*Pouring Time*) menggunakan sistem penuangan *Direct Pouring System* saat pengecoran, akan terjadi perubahan komposisi material dan didapat hasil coran yang baik dengan persentase porositas yang kecil dengan nilai fluiditas yang baik.