

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Penelitian Sebelumnya

Sri Harmanto (2014) dalam penelitiannya "*Pengaruh temperatur penuangan terhadap porositas pada cetakan logam dengan bahan aluminium bekas*" didapatkan hasil bahwa dari variasi temperatur penuangan 650°C, 675°C, 700°C, 725°C dan 750°C produk cor yang memiliki porositas paling tinggi adalah pada temperatur penuangan 750°C yaitu sebesar 2,6484% dan yang memiliki porositas paling rendah adalah pada temperatur penuangan 650°C yaitu sebesar 0,8796%

El-Sayed (2011) dalam penelitiannya "*Effect of holding time before solidification on double-oxide film defect and mechanical properties of aluminium alloys*" menyatakan bahwa pada aluminium dan aluminium paduan yang di holding pada 10 menit dan 20 menit, kandungan hidrogen terlarut pada spesimen dengan waktu holding 10 menit lebih sedikit dibandingkan pada spesimen dengan waktu holding 20 menit.

Ahmad R. (2013) dalam penelitiannya yang berjudul "*Effect of pouring temperature on microstructure properties of Al-Si LM6 alloy sand casting*" menyatakan bahwa dari variasi temperatur penuangan 630, 660, 690, 720°C didapatkan hasil semakin tinggi suhu penuangan maka porositas yang terjadi semakin lebar dan dalam yang diamati dengan *scanning electron microscope*.

Paranjape, Vice President - Operations, Mahindra Hinoday Industries Ltd.; dan P .D. Chaubal, Product Manager, Inductotherm India Pvt. Ltd (2010) dalam penelitiannya "*Automatic Pouring Systems Boosts Output at Mahindra Hinoday Ind*" menjelaskan tentang sistem penuangan secara otomatis pada proses pengecoran. Hasil yang didapat yaitu bahwa *Automatic Pouring System* berdampak pada peningkatan kapasitas produksi, peningkatan kualitas produk pengecoran, peningkatan keamanan, mengurangi biaya tenaga kerja dan cepat.

### 2.2. Aluminium

Aluminium merupakan logam yang penggunaannya menempati urutan kedua setelah logam baja, dan di urutan pertama untuk logam non ferro (Abdillah, 2010). Aluminium bisa diperoleh dari pemrosesan bijih dari alam yang akan menghasilkan aluminium yang disebut aluminium primer dan dari proses daur ulang yang

menghasilkan aluminium yang disebut aluminium sekunder. Bauksit merupakan sumber bijih aluminium, banyak terdapat di Bintan dan Kalimantan. Bauksit diolah dengan proses Bayer untuk memperoleh alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) yang selanjutnya diolah kembali dengan proses Hall-Heroult untuk mendapatkan aluminium. Untuk menghasilkan 500 Kg aluminium primer dengan proses Bayer dan Hall-Heroult, diperlukan 550Kg bauksit, 450 Kg NaOH, 31,5 ton  $\text{H}_2\text{O}$  dan 7,5 ton uap. Bauksit juga dapat diolah dengan proses elektrolisa, untuk menghasilkan 1 Kg aluminium diperlukan 4Kg Bauksit, 0,6 Kg karbon dan kriolit. Tetapi dalam produksi secara massal proses yang digunakan adalah proses Bayer dilanjutkan dengan proses Hall – Herault (Shakhashiri,2008)

Aluminium sekunder dapat di produksi dengan bahan baku komponen-komponen yang sudah habis masa pakainya. Dibandingkan dengan produksi aluminium primer, produksi aluminium sekunder memiliki keuntungan hanya memerlukan 5% energi dibandingkan dengan produksi aluminium primer .

Dalam dunia industri, aluminium menjadi salah satu logam yang luas penggunaannya. Aluminium banyak digunakan pada sektor utama industri seperti transportasi, konstruksi, listrik, alat rumah tangga, kemasan dan berbagai peralatan mekanis. Dalam penggunaannya, aluminium yang banyak digunakan adalah aluminium paduan. Hal ini dikarenakan aluminium paduan dapat memiliki sifat – sifat yang lebih baik dari aluminium murni. Unsur yang umum dipadukan dengan aluminium antara lain: *Silicon* (Si), tembaga (Cu), mangan (Mn), magnesium (Mg) dan seng (Zn)

### 2.2.1. Sifat Aluminium

Aluminium paduan merupakan logam yang jumlah penggunaannya terbanyak kedua setelah baja (Abdillah, 2010). Hal ini dikarenakan aluminium sendiri sebagai material logam memiliki sifat – sifat unggul antara lain: massa jenis yang relatif ringan ( $2,7 \text{ gram/cm}^3$ ) apabila dibandingkan dengan baja, ketahanan terhadap korosi yang baik karena memiliki lapisan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , kemampuan untuk di kuatkan dengan memadukannya dengan unsur lain atau dengan perlakuan panas, serta mudah untuk di daur ulang karena memiliki suhu cair yang relatif rendah yaitu  $660^\circ\text{C}$  (Carter, 1991). Selain itu aluminium juga memiliki sifat penghantar panas yang baik sehingga banyak digunakan untuk aplikasi yang memerlukan penyaluran panas yang baik.

Aluminium merupakan material yang reaktif, mudah teroksidasi apabila terjadi kontak dengan oksigen atau air dan membentuk lapisan tipis  $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada permukaannya, lapisan, inilah yang membuat aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik.

Aluminium tergolong logam *non ferrous* dan memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Secara garis besar sifat fisik dari aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Aluminium

Sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99
Massa jenis @ 20°C (g/cm <sup>3</sup> )	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 temperatur (1/°C)	0,00429	0,0115
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	FCC, a=4,04

Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

Selain mempunyai keunggulan pada sifat fisiknya, aluminium juga memiliki keunggulan pada sifat mekaniknya. Sifat mekanik aluminium murni dapat dipengaruhi oleh kadar kemurnian dan perlakuan yang diberikan. Jenis perlakuan bisa diketahui dari kode huruf yang berada di belakang kode paduan, yaitu: F untuk keadaan *as cast*, O untuk *annealing*, H untuk *strain hardening*, W untuk *solution heat treated*, dan T untuk *thermally treated*. Berikut adalah sifat mekanik aluminium secara umum.

Tabel 2.2 Sifat Mekanik Aluminium

Sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99	
	Dianil	75% diroll dingin	Dianil	H18
Kekuatan tarik (Kg/mm <sup>2</sup> )	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan mulur (0,2%) (Kg/mm <sup>2</sup> )	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan brinell (BHN)	17	27	23	44

Sumber : Surdia dan Chijiwa (1975)

Dalam aplikasi di dunia teknik, sifat mekanik sangatlah penting karena merupakan respon material terhadap gaya yang diberikan dan akan menjadi dasar dari pertimbangan dalam pemilihan bahan untuk produk. Pengujian terhadap kekuatan mekanik diperlukan untuk menghindari terjadinya kegagalan. Pada aluminium, selain sifat mekanik dapat ditingkatkan dengan perlakuan yang diberikan, sifat mekanik juga dapat di tingkatkan dengan memadukan aluminium dengan unsur lain. Secara umum kekuatan tarik dan kekerasan pada aluminium paduan lebih tinggi dari aluminium murni.

### 2.2.2. Penamaan Aluminium

Paduan aluminium dapat digolongkan berdasarkan unsur – unsur yang dipadukan. Penamaan paduan aluminium ada dua jenis, yaitu untuk paduan aluminium tempa dan untuk paduan aluminium tuang (cor). Berdasarkan ASTM (*American Standart Testing Materials*) penggolongan / penamaan aluminium paduan untuk penempatan berdasar pada unsur yang dikandungnya adalah sebagai berikut:

- a. 1xxx : Aluminium murni (kandungan aluminium sebesar 99%)
- b. 2xxx : *Copper* (Tembaga)
- c. 3xxx : *Manganes* (Mangan)
- d. 4xxx : *Silicon*
- e. 5xxx : *Magnesium*
- f. 6xxx : *Magnesium* dan *silicon*
- g. 7xxx : *Zinc* (Seng)
- h. 8xxx : Elemen – elemen lain

Digit pertama menunjukkan unsur paduan yang dikandung. Digit kedua menandakan paduan tersebut perlu perhatian khusus atau tidak, dapat bernilai mulai dari 0, 1, hingga 9. Apabila bernilai 0 artinya paduan tersebut tidak memerlukan perhatian khusus, apabila bernilai 1 sampai 9 maka paduan tersebut memerlukan perhatian khusus. Dua digit terakhir menunjukkan kode modifikasi dari paduan dalam perdagangan.

Untuk penamaan / penggolongan paduan aluminium tuang (cor) berdasarkan *Aluminium Association* (AA) adalah sebagai berikut:

Tabel 2.3 Penamaan Aluminium Tuang Berdasarkan *Aluminium Association*

No. Seri	Komposisi Paduan
1xx.x	Aluminium murni
2xx.x	Paduan aluminium – tembaga
3xx.x	Paduan aluminium – silicon – magnesium
4xx.x	Paduan aluminium – silicon
5xx.x	Paduan aluminium – magnesium
6xx.x	Tidak digunakan
7xx.x	Paduan aluminium – seng
8xx.x	Paduan aluminium – timah
9xx.x	Paduan aluminium – elemen lainnya

Sumber : ASM Handbook Vol. 2 (2004:488)

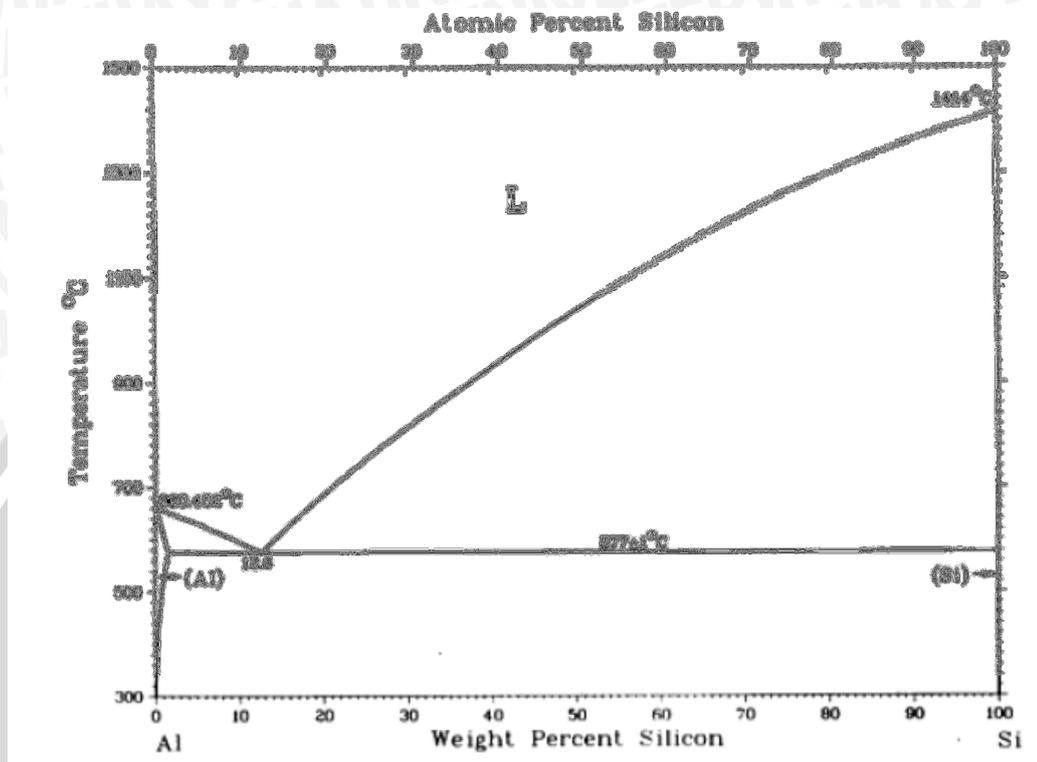
Cara penamaan untuk paduan aluminium tuang dibagi menjadi 2, yaitu penamaan untuk aluminium murni (1xx.x) dan aluminium paduan (2xx.x sampai 9xx.x). Untuk aluminium murni (1xx.x) digit kedua dan ketiga menunjukkan dua angka dibelakang koma dari prosentase kadar aluminium (prosentase kadar aluminium minimal 99,00%). Misalnya pada kadar aluminium 99,40% maka penamaan menjadi : 140.x .Sedangkan digit ke empat dalam penamaan tersebut adalah menunjukkan bentuk paduan, bernilai 0 untuk produk coran dan bernilai 1 untuk ingot.

Untuk aluminium paduan (2xx.x sampai 9xx.x) digit kedua dan ketiga menunjukkan variasi paduan dalam masing-masing kelompok. Dan untuk digit terakhir menunjukkan bentuk dari paduan, bernilai : 0 untuk produk coran, 1 untuk ingot standar, dan 2 untuk ingot dengan *range* komposisi yang lebih sempit dari ingot standar.

### 2.3. Paduan Aluminium – Silicon (Al-Si)

Penambahan unsur silikon pada aluminium akan sangat memperbaiki fluiditas, ketahanan terhadap cacat *hot tear*, penurunan *specific gravity* dan koefisien pemuaian (*coefficient of thermal expansion*) (Rooy,1992). Apabila *specific gravity* turun, maka densitasnya turun dan membuat fluiditas dari paduan Al-Si ini meningkat, sehingga dapat dikatakan bahwa paduan Al-Si memiliki sifat kemampuan cor yang baik.

Dalam sistem paduan, diagram fase merupakan pedoman umum dalam menganalisa perubahan fase pada kadar komposisi dan suhu tertentu. Diagram fase dari paduan Al-Si ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut



Gambar 2.1 Diagram fase paduan Al-Si  
Sumber : ASM Handbook Vol. 3 (1992:321)

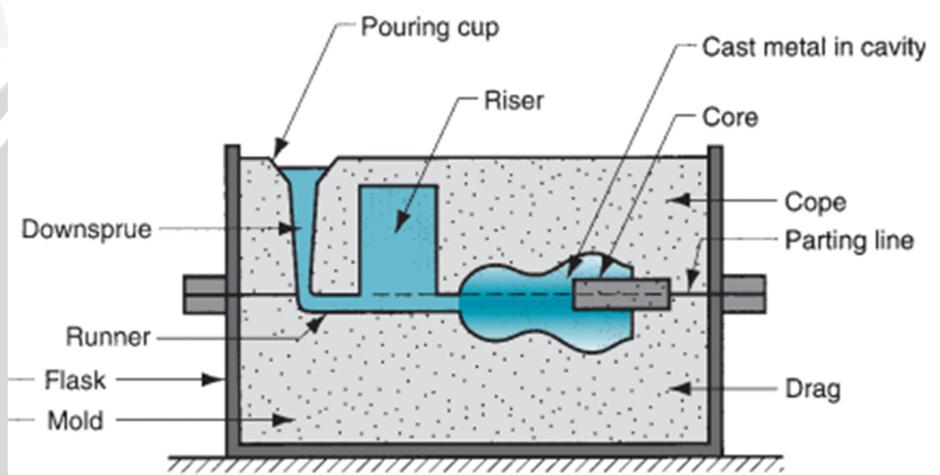
Dari diagram fase tersebut paduan Al-Si dapat digolongkan menjadi 3 macam yaitu:

1. *Hipoeutectic*, yaitu paduan Al-Si dengan kadar silikon kurang dari 12,6%
2. *Eutectic*, kadar silikon dalam paduan adalah sekitar 12,6%
3. *Hypereutectic*, yaitu paduan Al-Si yang memiliki kadar silikon lebih dari 12,6% (kaya akan silikon)

#### 2.4. Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan proses manufaktur dengan rangkaian proses melebur logam, menuang ke cetakan dan mendinginkan sehingga didapat bentuk akhir sesuai dengan cetakan. Kelebihan dari pengecoran sebagai proses pembentukan salah satunya adalah bisa diterapkan untuk semua logam yang bisa dicairkan dan bisa untuk membuat bentuk yang rumit (Groover,2010)

Berdasarkan jenis cetakan, proses pengecoran dibagi menjadi dua, yaitu pengecoran dengan cetakan *expandable* (*expandable mold casting*) dan pengecoran dengan cetakan permanen (*permanent mold casting*). Perbedaan dari kedua jenis pengecoran tersebut adalah pada cetakannya, pada cetakan *expandable* pada proses pengambilan hasil coran cetakan harus dirusak dalam kata lain cetakan hanya sekali pakai, salah satu contohnya adalah cetakan pasir (*sand casting*). Sedangkan pada cetakan permanen cetakan dapat digunakan berkali-kali contohnya antara lain *pressure die casting*, *centrifugal die casting*.



Gambar 2.2 Cetakan pasir  
Sumber : Groover (2010:208)

#### 2.4.1. Peleburan Logam

Proses peleburan merupakan proses memanaskan logam hingga menjadi cair. Suhu peleburan mengacu pada masing – masing suhu cair (*melting point*) unsur, apabila menggunakan logam murni atau garis *liquidus* apabila paduan logam. Untuk menentukan suhu cair suatu paduan logam digunakan diagram fasa dari paduan itu sendiri, dimana kita harus mengetahui kadar / prosentase dari masing-masing unsur dalam paduan terlebih dahulu.

#### 2.4.2. Suhu Holding

*Holding* merupakan bagian dari proses peleburan, yang mana suhu logam cair dijaga konstan. Pada proses *holding* terdapat dua istilah yaitu: suhu *holding* dan waktu *holding*. Suhu *holding* adalah suhu penahanan (konstan) logam dalam keadaan cair.

Sedangkan waktu *holding* adalah lama waktu dilakukannya proses penahanan pada suhu *holding* yang konstan.

#### 2.4.3. Suhu Penuangan

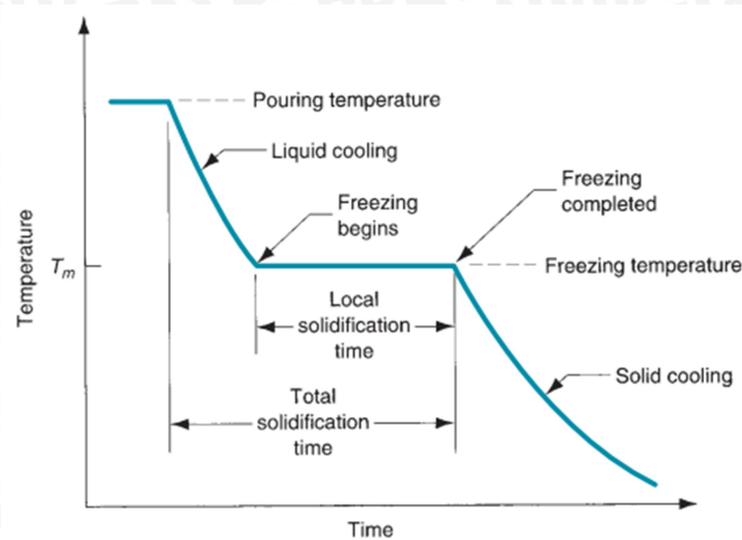
Suhu penuangan merupakan suhu dari logam cair pada saat dituang ke cetakan. Dalam pengecoran logam, selisih dari suhu penuangan dengan suhu dimana pembekuan dimulai (suhu cair pada logam murni atau suhu *liquidus* pada paduan) memegang peran penting.

Dalam prakteknya suhu penuangan dibuat diatas temperatur cairnya dengan tujuan agar pada saat dituang ke cetakan, logam cair tidak langsung membeku dan menyumbat aliran logam cair dalam saluran cetakan, karena mengingat bahwa pada saat logam cair menyentuh cetakan proses pendinginan logam cair dimulai. Dalam kata lain agar tidak terjadi pembekuan dini yang akan menyumbat aliran logam cair dalam saluran cetakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Ahmad. R (2013) pada paduan Al-Si LM6, dari variasi temperatur penuangan 630, 660, 690, dan 720°C diperoleh porositas yang paling kecil adalah pada suhu 630 °C dan paling besar adalah pada 720 °C . Pada pengecoran dengan tungku *direct pouring* suhu *holding* dan suhu penuangan dapat dibuat sama karena rute logam cair dari tungku ke cetakan lebih pendek daripada pengecoran yang menggunakan *ladle*.

#### 2.4.4. Solidifikasi

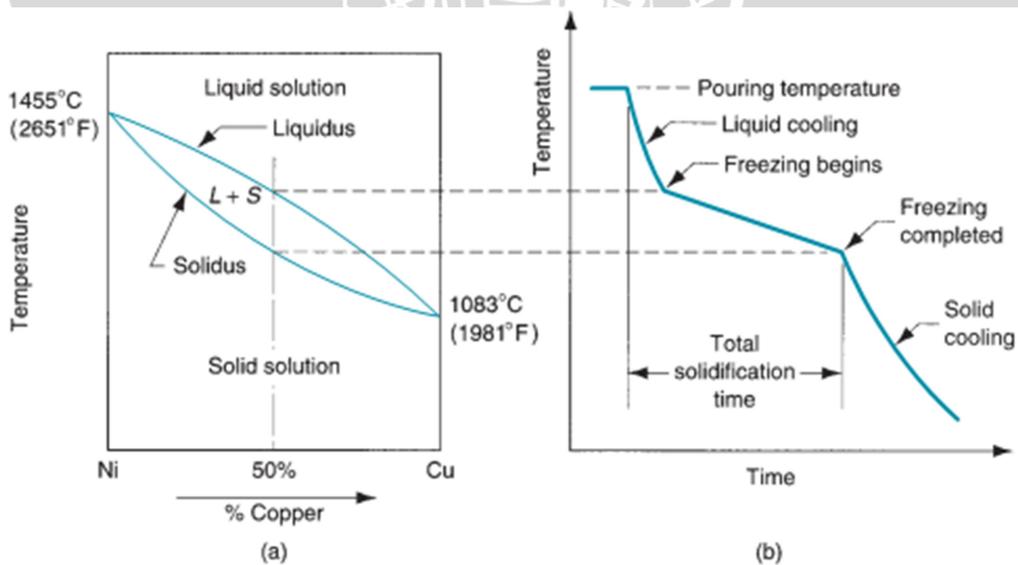
Solidifikasi merupakan proses perubahan dari logam cair menjadi logam padat yang disebabkan karena pendinginan. Dalam pengecoran logam, solidifikasi dimulai ketika logam cair dituang ke dalam cetakan. Perbedaan suhu antara logam cair dengan suhu cetakan yang mana suhu logam cair lebih tinggi akan menyebabkan perpindahan panas dari logam cair menuju cetakan sehingga logam cair mengalami pendinginan dan solidifikasi. Proses solidifikasi berbeda antara logam murni dengan logam paduan.

Pada logam murni, proses solidifikasi terjadi pada suhu konstan yaitu pada *freezing point* yang mana sama dengan titik lebur nya (*melting point*) pada gambar 2.3 adalah  $T_m$ . Waktu total solidifikasi (*total solidification time*) dimulai pada saat logam cair menyentuh cetakan hingga logam menjadi padat. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk perubahan wujud fase dari cair menjadi padat disebut *local solidification time*



Gambar 2.3 Kurva pembekuan logam murni  
 Sumber : Groover (2010:214)

Pada logam paduan perubahan fase logam dari cair menjadi padat tidak terjadi pada suhu yang konstan, jadi dalam perubahan fase dari cair menjadi padat terjadi perubahan suhu. Batas perubahan suhu tersebut tergantung dari logam yang dipadukan dan prosentase kadar masing – masing unsur dalam paduan. Gambar 2.4 (a) merupakan diagram fasa dari paduan tembaga – nikel (Cu-Ni) dengan prosentase Cu 50% dan Ni 50%, sedangkan gambar 2.4(b) merupakan kurva pembekuan dari paduan 50% Cu dan 50% Ni. Perubahan fase dimulai dari titik *freezing begin* hingga titik *freezing completed* dimana suhu pada kedua titik tersebut merupakan titik pertemuan antara garis prosentase kadar paduan dengan garis *liquidus* dan *solidus* pada diagram fasa



Gambar 2.4 Hubungan antara (a) diagram fasa paduan Cu-Ni dengan (b) kurva pembekuan dari paduan 50% Cu – 50% Ni  
 Sumber : Groover (2010:214)

#### 2.4.5. *Automatic pouring system (APS)*

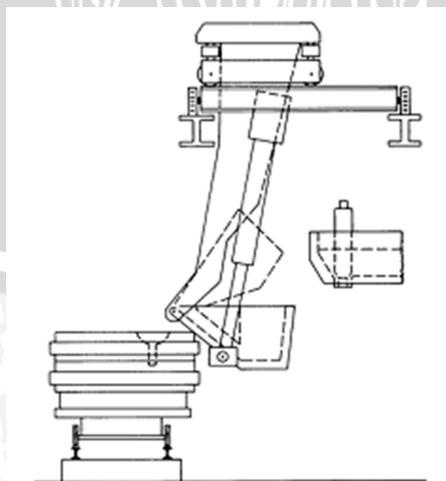
*Automatic Pouring System (APS)* adalah sistem penuangan logam cair dari tungku peleburan ke cetakan yang dilakukan secara otomatis (tidak menggunakan *ladle* yang dikerjakan oleh manusia). Keuntungan dari *Automatic Pouring System* antara lain:

1. Meningkatkan efisiensi pengecoran. Logam yang terbuang karena tumpah, kelebihan volume pada saat penuangan, serta penggunaan cawan tuang (*pouring basin*) yang besar bisa diminimalisir. Penggunaan *pouring basin* yang besar pada penuangan manual bertujuan untuk menstabilkan laju aliran logam cair, sedangkan pada *automatic pouring system* aliran logam cair lebih stabil dibandingkan pada penuangan manual.
2. Lingkungan kerja lebih bersih, karena logam yang tercecer pada saat penuangan semakin sedikit.
3. Peningkatan keamanan kerja, pekerja tidak kontak langsung dengan penuangan logam cair sehingga terhindar dari bahaya kemungkinan percikan logam cair, serta beban pekerja lebih ringan.

Terdapat dua metode penuangan otomatis, yaitu

- a. Penuangan dengan *ladle* mekanis (*mechanized ladle pouring*)

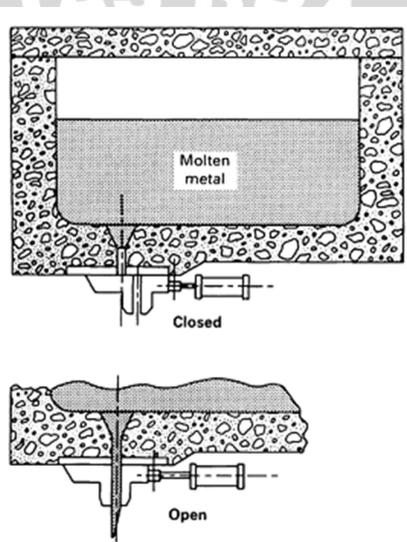
Digunakan untuk memindah logam cair yang sudah diukur jumlahnya dari dapur peleburan ke cetakan menggunakan *ladle*. Penuangan *ladle* dilakukan secara mekanis. Kapasitas *ladle* biasanya hanya untuk satu cetakan saja, jadi satu cetakan satu kali penuangan *ladle*. Keuntungan dari sistem ini adalah dapat dilakukan penambahan unsur lain sebelum penuangan.



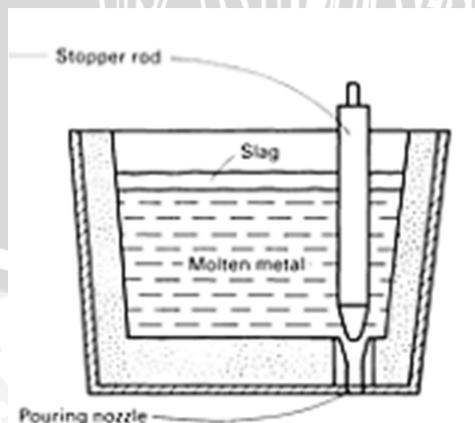
Gambar 2.5 Skema *mechanized ladle pouring*  
Sumber : ASM Handbook vol 15 casting (1992:1087)

b. Penuangan langsung (*direct bottom-pour*)

Metode penuangan *direct bottom-pour* / *direct pouring* ini menggunakan katup geser atau batang penyumbat untuk proses penuangannya. Katup geser keunggulannya lebih rapat penutupan katupnya, tetapi lebih mahal dan umur pakai yang lebih pendek dibandingkan dengan sistem batang penyumbat. Sistem batang penyumbat keunggulannya lebih bisa mengontrol laju penuangan karena antara batang dan lubang membentuk *nozzle* dan lebih murah daripada sistem katup geser. Karena alasan tersebut, dalam industri pengecoran lebih umum dipakai sistem batang penyumbat.



Gambar 2.6 *Direct bottom-pour* dengan sistem katup geser  
Sumber : ASM Handbook vol 15 casting (1992:1090)



Gambar 2.7 *Direct bottom-pour* dengan sistem katup batang penyumbat  
Sumber : ASM Handbook vol 15 casting (1992: 1085)

## 2.5. Difusi

Difusi adalah peristiwa berpindahnya suatu zat dari lingkungan yang berkonsentrasi tinggi menuju ke lingkungan yang konsentrasinya rendah. Untuk berpindah tempat, suatu atom memerlukan energi yang disebut energi aktivasi. Didalam proses pengecoran aluminium dan aluminium paduan peristiwa difusi dapat ditemui pada hidrogen dalam aluminium cair, dimana hidrogen tersebut adalah hasil sampingan dari reaksi terbentuknya lapisan  $Al_2O_3$  yang terjadi berdasarkan persamaan reaksi kimia (2-2). Hidrogen yang terlarut di dalam aluminium cair adalah dalam bentuk monoatomik.

Berdasarkan hukum *Fick's*, pada kondisi dimana tidak ada perubahan konsentrasi selama periode waktu tertentu maka aliran atom (fluks) merupakan perkalian antara koefisien difusi dengan konsentrasi gradien, yang dituliskan kedalam persamaan sebagai berikut:

$$J = -D \frac{dc}{dx} \quad (\text{Vlack, 1970}) \quad (2-1)$$

Dengan

$J$  = fluks atau aliran atom ( $\text{atom}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ )

$D$  = difusivitas atau koefisien difusi ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

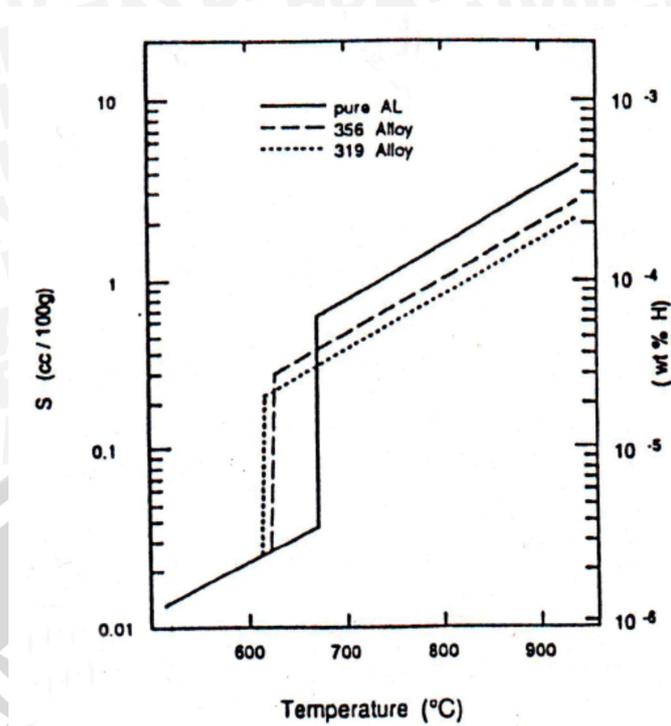
$\frac{dc}{dx}$  = gradien konsentrasi ( $\text{atom}/\text{m}^3 \cdot 1/\text{atm}$ )

## 2.6. Kelarutan Gas Dalam Paduan Al-Si

Hidrogen merupakan gas yang kelarutannya paling besar dalam aluminium dan paduan aluminium. Semakin banyak hidrogen yang terlarut dalam aluminium cair maka akan menyebabkan semakin banyak porositas yang terjadi. Kelarutannya dipengaruhi oleh suhu dari aluminium itu sendiri. Semakin tinggi suhu, maka kelarutan hidrogen semakin besar. Dalam keadaan cair kelarutan gas hidrogen dalam aluminium jauh lebih tinggi daripada dalam keadaan padat, hal ini dapat dilihat pada gambar 2.8.

Pada saat cair, aluminium sangat mudah bereaksi dengan uap air ( $H_2O$ ) yang dikandung udara atmosfer untuk membentuk lapisan pasif  $Al_2O_3$  dan menghasilkan gas hidrogen yang terbentuk sesuai dengan persamaan reaksi:





Gambar 2.8 Kelarutan hidrogen dalam aluminium  
Sumber : Abrianto (2010)

## 2.7. Daur Ulang Paduan Aluminium – Silicon (Al-Si)

Daur ulang aluminium dan paduannya memiliki keuntungan dari sisi lingkungan dan biaya produksi. Energi yang dibutuhkan untuk produksi aluminium daur ulang (*secondary production*) adalah 10-20MJ/Kg. Sedangkan untuk produksi aluminium dari bauksit (*primary production*) adalah 186 MJ/Kg. Rentang perbedaan kebutuhan energi antara *primary production* dan *secondary production* untuk aluminium merupakan rentang yang paling besar apabila dibandingkan dengan logam lainnya (Gaustad, 2011). Karena itu mendaur ulang aluminium dan paduannya dapat menekan biaya produksi.

### 2.7.1. Piston Sebagai Bahan Daur Ulang

Penggunaan aluminium tuang sebagian besar adalah pada sektor transportasi, digunakan sebagai bahan pembuat blok mesin, *cylinder head*, piston, velg, dan komponen suspensi (Lumley,2011:6). Dalam dunia otomotif piston merupakan komponen utama yang ada di setiap kendaraan bermotor yang berhubungan langsung dengan pembakaran bahan bakar. Piston memiliki umur pakai sehingga setiap kendaraan bermotor berpotensi menghasilkan sampah berupa piston.

Piston dituntut memiliki sifat tahan suhu pembakaran di ruang bakar, koefisien pemuaian rendah, ringan, tahan gesekan, memiliki fluiditas yang baik pada saat proses

pengecoran serta memiliki kekuatan kelelahan (*fatigue*) yang tinggi. Untuk memperoleh sifat – sifat tersebut industri otomotif memilih paduan Al-Si sebagai bahannya. Piston dibuat dari bahan yang berkualitas agar memiliki sifat – sifat yang diinginkan. Oleh karena itu piston merupakan sumber bahan untuk daur ulang paduan Al-Si yang bagus.

## 2.8. Massa Jenis

Dalam dunia teknik densitas massa / massa jenis ( $\rho$ ) adalah berat per satuan volum. Satuan yang umum adalah ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) atau ( $\text{lb}/\text{in}^3$ ). Massa jenis termasuk sifat fisik dari material. Massa jenis dari suatu material ditentukan dari nomor atom, jari-jari atom dan jenis kisi. Massa jenis material juga dapat di bandingkan dengan densitas dari air murni yang mana angka hasil perbandingan tersebut dikenal dengan istilah *specific gravity* dan tidak memiliki satuan. Didalam pemilihan material untuk konstruksi dikenal istilah kekuatan tarik spesifik (*strength-to-weight ratio*) yang mana nilainya adalah perbandingan kekuatan tarik dengan densitasnya.

Massa jenis juga digunakan pada perhitungan porositas. Terdapat dua jenis massa jenis pada perhitungan porositas yaitu

- a. *True density* disebut juga massa jenis teoritis, yaitu massa jenis material tanpa ada porositas didalamnya. Dihitung berdasarkan prosentase kadar unsur-unsur penyusunnya. Persamaanya menurut ASTM E 252-84 yaitu

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left\{ \left( \frac{\%Al}{\rho_{Al}} \right) + \left( \frac{\%Cu}{\rho_{Cu}} \right) + \left( \frac{\%Fe}{\rho_{Fe}} \right) + \text{etc.} \right\}} \quad (\text{ASTM E 252-84}) \quad (2-3)$$

keterangan :

$\rho_{th}$  = Massa jenis teoritis atau *True Density* ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\rho_{Al}$ ,  $\rho_{Cu}$ ,  $\rho_{Fe}$ , etc = Massa jenis masing – masing unsur ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\%Al$ ,  $\%Cu$ , etc = Prosentase massa masing – masing unsur (%)

- b. *Apparent density* adalah massa jenis material dengan memperhitungkan cacat yang terdapat pada material yang akan diuji ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ). Menurut ASTM B311-93 persamaanya adalah :

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (\text{ASTM B 311-93}) \quad (2-4)$$

keterangan :

$\rho_s$  = Massa jenis sampel atau *Apparent Density* ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$\rho_w$  = Massa jenis air ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$W_s$  = Berat sampel di udara (g)

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

$W_b$  = Berat keranjang di dalam air (g)

## 2.9. Porositas

Didalam pengecoran aluminium dan paduannya, porositas dapat terjadi karena gas hidrogen yang terjebak pada logam cair baik pada saat proses peleburan maupun pada saat dituang kedalam cetakan dan gas tersebut terjebak hingga logam beku menjadi wujud padat. Gas yang menyebabkan terjadinya porositas dalam paduan aluminium adalah hidrogen. Gas hidrogen tersebut adalah hasil sampingan dari reaksi pembentukan lapisan  $Al_2O_3$  pada permukaan aluminium cair dan terlarut pada aluminium pada saat aluminium berwujud cair, hal ini dikarenakan kelarutan gas hidrogen pada aluminium dan paduannya sangat tinggi pada saat keadaan cair dibandingkan dengan pada saat padat. Porositas pada produk cor paduan aluminium dapat menurunkan sifat mekanis (ASM Handbook Vol 15, 1992). Selain itu porositas juga menurunkan kesempurnaan geometri dari produk coran serta dapat mempengaruhi massa jenis, karena porositas berwujud gelembung udara di dalam produk coran.

Cacat porositas dapat diminimalisir dengan cara mengurangi gas hidrogen yang terlarut pada saat paduan aluminium berwujud cair. Antara lain dengan menjaga suhu *holding* agar tidak terlalu tinggi dan menjaga aliran logam cair tidak turbulen pada saat penuangan logam cair ke cetakan. Nilai porositas dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) 100\% \quad (\text{Taylor, 2000}) (2-5)$$

Keterangan :

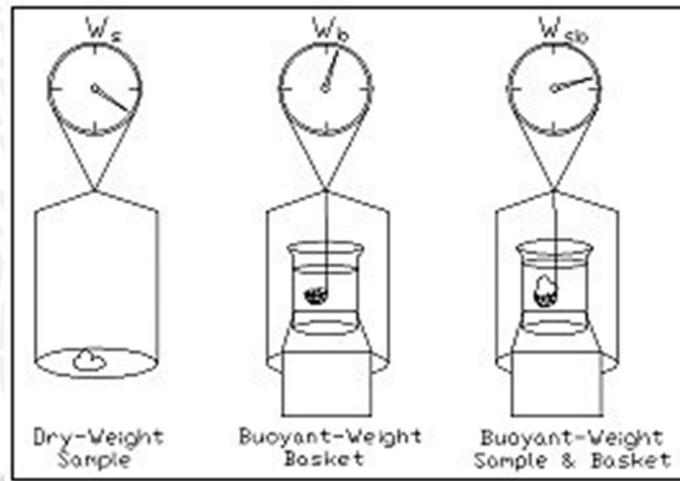
P = Porositas (%)

$\rho_s$  = Massa jenis sampel atau *Apparent Density* (  $g/cm^3$  )

$\rho_{th}$  = Massa jenis teoritis atau *True Density* (  $g/cm^3$  )

## 2.10. Pikhometri

Pikhometri adalah pengujian massa jenis dengan cara membandingkan massa sampel di udara dengan massa sampel di dalam air. Hasil dari pengujian ini akan diolah sesuai pada persamaan *aparent density* dan di dapat nilai dari *apparent density*



Gambar 2.9 Skema Piknometri  
Sumber : Taylor (2000)

Sesuai yang di tunjukkan pada gambar 2.9 diatas pengujian piknometri dilakukan dengan melakukan tiga pengukuran berat, yaitu:

$W_s$  = pengukuran berat keranjang (*dry weight*)

$W_{sb}$  = pengukuran berat apung keranjang dan sampel

$W_b$  = pengukuran berat apung keranjang.

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

### 2.11 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesa bahwa pada pengecoran ulang (*recycling*) paduan Al-Si dengan bahan piston menggunakan tungku listrik *direct pouring*, dengan semakin tingginya suhu *holding* akan menurunkan massa jenis dan akan menaikkan porositas.