

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Mbuya *et al.* (2010) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa paduan *recycling* dapat di gunakan kembali untuk menghasilkan produk yang sama tanpa mengalami degradasi yang signifikan.

Raharjo dkk (2011) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa hasil dari penelitian ADC 12 dengan kekerasan menurun dari 95,4 HRB menjadi 71,8 HRB dan porositas dari 5,77 % menjadi 34,97 % dengan temperatur penguangan 700°C. Maka Remelting akan menurunkan kekerasan dan menambah tingkat porositas material tersebut.

Wahyono Suprpto (2011) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa bertambahnya kevakuman menyebabkan porositas berkurang. dari 1 kg/cm<sup>2</sup> sampai 0,263 kg/cm<sup>2</sup> menyebabkan hidrogen larut turun dari 0,32cm<sup>3</sup>/100g sampai 0,04 cm<sup>3</sup>/100g akibatnya porositas turun (22,22% menjadi 15,61%).

#### 2.2 Aluminium

Kebutuhan aluminium Indonesia saat ini meningkat baik untuk ekspor atau impor karena permintaan industri hilir aluminium, pada tahun 2012 tercatat kebutuhan aluminium Indonesia mencapai 300.000 ton naik 20% dari tahun lalu. Jumlah ini sesuai dengan rata-rata permintaan aluminium pertahun, pada tahun 2015 mengacu pada data Aplindo kebutuhan aluminium mencapai 800.000 ton. Jika kebutuhan pada tahun 2015 naik 10% sampai 15% maka kebutuhan aluminium untuk tahun depan diprediksi mencapai 880.000 ton sampai 884.000 ton.

Aluminium merupakan logam yang paling banyak terdapat di bumi dan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Aluminium terdapat di bumi sebanyak kira-kira 8,07% hingga 8,23% dari seluruh massa padat dari kerak bumi. Dalam kehidupan sehari-hari aluminium dapat diolah menjadi berbagai macam produk dengan biaya yang lebih ekonomis. Sifat fleksibilitas dari aluminium inilah yang membuat paling banyak digunakan setelah baja. Hal ini berasal dari bauksit mineral. Bauksit dikonversi menjadi aluminium oksida (alumina) melalui Proses Bayer. Alumina tersebut kemudian dikonversi ke logam aluminium dengan menggunakan sel-sel elektrolit dan Proses Hall-Heroult.

Aluminium dapat didaur ulang tanpa kehilangan kualitas, dengan proses daur ulang dapat menghemat 95% dari energi yang dibutuhkan untuk memproduksi aluminium baru. Kelemahan aluminium dari sudut pandang rekayasa yaitu modulus elastisitas yang rendah, sekitar sepertiga dari baja. Modulus elastisitas tidak bisa secara signifikan diubah oleh paduan atau perlakuan panas, biasanya diperlukan untuk memberikan kekakuan dan kekuatan tekuk seperti tulang rusuk atau lipatan (DeGarmo, 2008 : 145)

Aluminium yang dijual di pasaran tidak mengandung 100% aluminium, karena selalu terdapat pengotor yang terkandung di dalamnya. Penyebab adanya pengotor di dalam aluminium adalah gelembung gas yang masuk akibat proses peleburan dan pendinginan/pegecoran yang tidak sempurna, kualitas material cetakan yang tidak baik, atau pengotor lainnya akibat dari bahan baku material yang tidak berkualitas.

### **2.2.1 Karakteristik Aluminium**

Aluminium merupakan material reaktif yang mudah teroksidasi dengan oksigen, jika teroksidasi dengan oksigen akan membentuk lapisan aluminium oksida, alumina ( $Al_2O_3$ ) dan membuatnya tahan korosi dengan baik. Namun jika kita menambahkan Fe, Cu dan Ni akan menurunkan sifat tahan korosi karena kadar aluminanya menurun. Lain halnya jika kita menambahkan Mg dan Mn misalnya, penambahan Mg dan Mn tidak akan mempengaruhi sifat tahan korosinya.

Aluminium mempunyai konduktivitas termal yang sangat baik, konduktivitas termal paduan aluminiumnya sekitar 50% sampai 60%. Keuntungan aluminium memiliki konduktivitas termal yang sangat baik yaitu menguntungkan dalam penukaran panas, evaporator, peralatan listrik untuk pemanas dan otomotif (ASM Handbook vol. 2 , 2004 : 18). Aluminium mempunyai sifat ulet, mudah dibentuk dan mudah dikerjakan dengan mesin, kekuatan tarik aluminium murni sekitar 4~5 kgf/mm<sup>2</sup>. Bila diproses dengan penguatan regangan seperti dirol dingin kekuatan bisa mencapai  $\pm 15$  kgf/mm<sup>2</sup>. Secara umum sifat fisik aluminium dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat fisik Aluminium Murni.

Sifat – Sifat	Kemurnian Al (%)	
Massa Jenis (20 °C)	99,996	>99,0
	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)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis Kristal, konstanta kisi	FCC, a = 4,013 Kx	FCC, a = 4,04 kX

Sumber : Surdia dan Chijiwa, 1975

Untuk membuat sifat mekanik aluminium yang kita inginkan, sifat mekanik dapat dipengaruhi oleh komposisi kimianya dan jenis perlakuan yang dilakukan (*heat treatment*). Untuk mengetahui jenis perlakuan yang diberikan ditambahkan huruf dibelakang angka kode paduannya. Untuk huruf yang biasa digunakan adalah F untuk *as fabricated*, O untuk *annealed, recrystallized*, H untuk *strain hardened*, W untuk *solution heat treated* atau T untuk *thermally treated*.

### 2.2.2 Unsur Paduan Aluminium

Aluminium akan memiliki sifat mekanik yang berbeda-beda jika kita menambahkan unsur paduan hingga konsentrasi tertentu, contoh paduan aluminium seperti besi, chromium, magnesium, manganese, silikon, tembaga, dan zinc masing-masing memberikan pengaruh yang berbeda-beda

1. Besi (Fe) digunakan untuk memperbaiki ketahanan *hot tearing* dan mengurangi kecenderungan *die sticking* atau *soldering* dalam cetakan logam, memperbaiki keuletan dan mampu dimesin.
2. Chromium (Cr) digunakan untuk menekan pertumbuhan butir, hal ini terjadi karena fasa  $Cr_7Al$  mempunyai kelarutan yang rendah dan Cr memperbaiki ketahanan korosi dalam paduan aluminium.
3. Magnesium (Mg) digunakan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan dalam paduan Al-Si.

4. Manganese (Mn) dalam paduan aluminium dianggap sebagai pengotor dan keberadaannya dikontrol sekecil mungkin. Apabila berkombinasi dengan *ferro* membentuk fasa *insoluble*.
5. Silikon (Si) digunakan untuk meningkatkan karakteristik pengecoran dengan memperbaiki fluiditas, ketahanan *hot tearing* dan *feeding*. Jumlah maksimum Si dalam proses pengecoran tergantung pada kebutuhannya, untuk solidifikasi lambat (*sand* dan *investment*) sekitar 5-7%Si, untuk cetakan permanen sekitar 7-9%Si, dan untuk *die casting* sekitar 8-12%. Penambahan silikon ke dalam aluminium menghasilkan kumpulan *eutectic* yaitu pertumbuhan secara bersamaan dua fasa atau lebih dari kondisi *melt* yang kemungkinan menghasilkan morfologi berbeda. Berbentuk *lamellar* apabila fraksi volume tiap fasa hampir sama atau *interface* pada bagian minornya berupa plat, dan akan berbentuk serat (*fibrous*) apabila fase yang ada fraksi volumenya kecil.
6. Tembaga (Cu) digunakan untuk memperbaiki kekuatan dan kekerasan dalam paduan *heat treatable*, tetapi unsur ini akan menurunkan ketahanan korosi, *hot tearing*, dan *castability*.
7. *Zinc* (Zn) digunakan untuk memberikan pengaruh yang baik pada *age hardening*.

### 2.2.3 Penggolongan Paduan Aluminium

Penetapan standarisasi logam aluminium menurut *American Standart Testing Materials* (ASTM) menggunakan angka dalam menetapkan penggolongan aluminium paduan. Berikut adalah cara penggolongan aluminium berdasarkan paduannya:

Tabel 2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tempa

Unsur Paduan Utama	No. Seri
Aluminium, 99 % dan lebih besar	1xxx
Copper	2xxx
Manganese	3xxx
Silicon	4xxx
Magnesium	5xxx
Magnesium dan Silicon	6xxx
Zinc	7xxx
Unsur lain	8xxx

Sumber: (DeGarmo, 2008 : 147)

Cara pembacaan:

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 :

ASTM 2017 artinya Adalah paduan aluminium – copper tanpa perhatian khusus dan mengalami modifikasi dari paduan Al – Cu.

Berikut paduan aluminium tuang menurut *Aluminum Association of America* (AA) yang dirancang dalam 9 seri, yaitu

Tabel 2.3 Sistem Penamaan Aluminium Tuang

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	Jarang digunakan
7xx.x	Paduan aluminium – seng
8xx.x	Paduan aluminium – timah
9xx.x	Belum digunakan

Sumber : ASM Handbook Vol. 2. 2004

Digit pertama mengidentifikasi grup paduan, digit kedua dan ketiga mengidentifikasi paduan aluminium atau kemurnian dari aluminium tersebut. Digit terakhir dipisahkan oleh titik desimal, menunjukkan bentuk produk (pegecoran atau ingot).

### 2.3 Silikon

Silikon adalah polimer nonorganik yang bervariasi dari cairan, gel, karet, hingga sejenis plastik keras. Beberapa karakteristik silikon yaitu: tak berbau, tak berwarna, kedap air, serta tak rusak akibat bahan kimia dan proses oksidasi, tahan dalam suhu tinggi, serta tidak dapat menghantarkan listrik.

Silikon mempunyai fungsi sebagai komponen batu silikat dan unsur murninya sangat jarang ditemukan di alam. Oleh karena itu, silikon dihasilkan dengan mereduksi kuarsa dan pasir dengan karbon berkualitas tinggi dengan menggunakan alat tungku listrik dengan menggunakan elektroda karbon.

#### 2.4 Paduan Aluminium Silikon (Al-Si)

Aluminium sering dipakai sebagai paduan karena dengan penambahan unsur-unsur lain akan dapat memperbaiki sifat-sifat mekanisnya. Contoh unsur-unsur paduan adalah tembaga, *silicon*, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium.

Al-Si merupakan paduan yang ditemukan oleh A.Pacz pada tahun 1921. Paduan Al-Si yang telah diberi perlakuan panas dinamakan silumin. Sifat-sifat silumin dapat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit perbaikan oleh unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15% - 0,4% Mn dan 0,5% Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan (*solution heat treatment*), *quenching*, dan *aging* dinamakan silumin  $\gamma$ , dan yang hanya mendapat perlakuan *aging* saja dinamakan silumin  $\beta$ . Paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk torak motor (Surdia, 1992). Kelebihan dari unsur silikon (Si) dalam paduan aluminium yaitu :

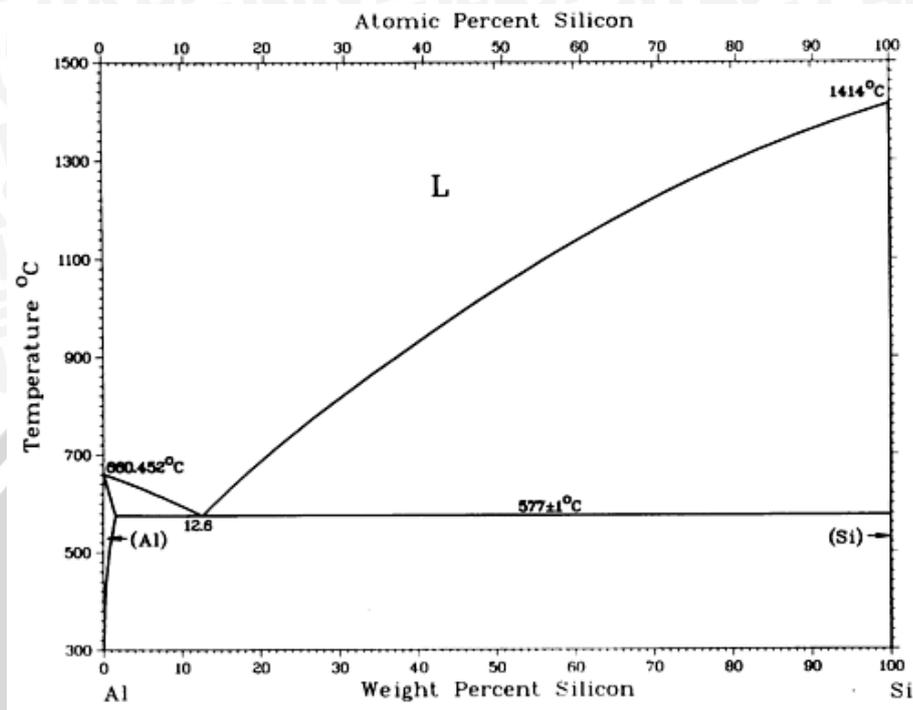
- Sangat baik kecairannya
- Meningkatkan sifat mampu alir (*Hight Fluidity*).
- Penghantar arus listrik dan panas yang baik
- Ringan dan sifat koefisien pemuaian kecil
- Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran
- Mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik
- Tahan terhadap *hot tear* (perpatahan pada metal *casting* pada saat solidifikasi karena adanya kontraksi yang merintang)
- Menurunkan penyusutan dalam hasil cor

Kelemahan dari unsur silikon (Si) berupa:

- Penurunan sifat keuletan bahan terhadap beban kejut jika kandungan silikon terlalu tinggi

Banyak paduan paling populer mengandung cukup silikon untuk menghasilkan reaksi eutektik, yang ditandai dengan titik leleh rendah dan kekuatan yang tinggi. Silicon mampu meningkatkan fluiditas logam, sehingga lebih mudah untuk

menghasilkan bentuk yang kompleks atau bagian yang tipis, tapi silikon yang tinggi juga menghasilkan bahan abrasif, dan sulit untuk dipotong (DeGarmo, 2008 : 150).



Gambar 2.1 Diagram Fasa Al-Si  
Sumber : ASM Handbook Vol. 3. 2004 : 321

Kandungan silikon pada diagram fasa Al-Si ini terdiri dari 3 macam, yaitu:

- Hipoeutectic*, adalah kondisi dimana kandungan *silicon* kurang dari 12,6% (kaya aluminium) dengan struktur akhir yang terbentuk adalah struktur ferrite.
- Eutectic*, adalah kondisi dimana kandungan *silicon* didalam paduan Al-Si sekitar 12,6%.
- Hypereutectic*, adalah kondisi dimana kandungan *silicon* lebih dari 12,6% (kaya *silicon*). Karakteristik dari kondisi ini adalah ketahanan aus meningkat, ekspansi termal rendah, dan ketahanan retak panas yang baik.

## 2.5 Pengecoran logam

Pengecoran logam adalah proses dimana logam dibentuk dengan mencairkan logam di dalam tungku peleburan kemudian logam cair tersebut dituangkan ke dalam cetakan, logam cair yang telah dituangkan dibiarkan membeku (solidifikasi) sehingga logam cair tersebut memadat sesuai dengan bentuk cetakan.

Proses pengecoran logam memiliki kelebihan dibandingkan dengan proses pembentukan yang lain. Kelebihannya antara lain (Heine, 1990 : 1) :

1. Dapat digunakan untuk produksi massal
2. Dengan proses ini kita dapat memperoleh sifat-sifat yang diinginkan
3. Untuk berbagai macam logam
4. Konstruksi dapat lebih sederhana
5. Ukuran bervariasi, baik besar maupun kecil

### 2.5.1. Proses-proses Pengecoran Logam

Teknik pengecoran merupakan salah satu cabang dari teknik produksi untuk menghasilkan produk, pengecoran juga dapat digunakan untuk produksi massal dengan tingkat ketelitian yang baik dan biaya produksi yang ekonomis dalam memproduksi benda-benda coran. Proses pengecoran dibedakan menjadi dua macam, yaitu *Traditional casting* dan *Non-traditional/contemporary casting*.

a. Teknik Tradisional :

1. *Sand-Mold Casting*.
2. *Dry-Sand Casting*.
3. *Full-Mold Casting*.
4. *Shell-Mold Casting*.
5. *Vacuum-Mold Casting*.
6. *Cement-Mold Casting*.

b. Sedangkan teknik *non-traditional* terbagi atas :

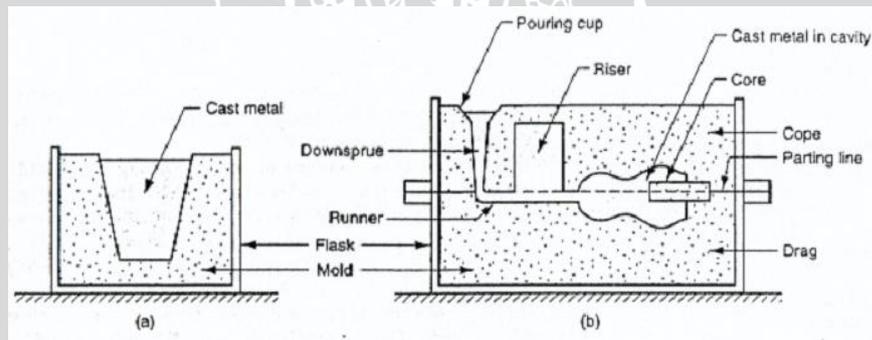
1. *Centrifugal Casting*.
2. *High-Pressure Die Casting*.
3. *Low- Pressure Die Casting*.
4. *Injection-Mold Casting*.
5. *Squeeze casting*.
6. *Investment Casting*.
7. *Blow-mold casting*.

Perbedaan dari teknik tradisional dan *non-traditional* yaitu pada proses dan hasil coran yang dihasilkan. Proses pengecoran dengan cetakan pasir (teknik tradisional) yang dipengaruhi gaya gravitasi masih banyak digunakan di industri-industri manufaktur yang berskala kecil karena biaya yang digunakan relatif rendah dibandingkan metode lainnya. Produk yang dihasilkan dengan menggunakan cetakan

pasir memiliki cacat yang relatif banyak dan menggunakan proses finishing yang memakan waktu lama. Sedangkan pada proses pengecoran *non-tradisional* dimana proses sudah digerakan dengan mesin-mesin yang terkontrol oleh program, hasil coran tidak perlu adanya proses finishing kerana tingkat kepresisian hasil coran sudah baik dengan adanya gaya tekan yang diberikan. Waktu proses produksi yang digunakan pun juga singkat.

Proses pengecoran logam memiliki beberapa tahap yaitu sebagai berikut :

- (1) Pembuatan cetakan;
- (2) Persiapan dan peleburan logam;
- (3) Penuangan logam cair ke dalam cetakan :
  - a) untuk cetakan terbuka (lihat gambar 2.2.a) logam cair hanya dituang hingga memenuhi rongga yang terbuka,
  - b) untuk cetakan tertutup (lihat gambar 2.2.b) logam cair dituang hingga memenuhi sistem saluran masuk.



Gambar 2.2 Dua macam bentuk cetakan (a) cetakan terbuka, (b) cetakan tertutup  
Sumber: M. P. Groover, 2002

- (4) Setelah dingin benda cor dilepaskan dari cetakannya;
- (5) Untuk beberapa metode pengecoran diperlukan proses pengerjaan lanjut :
  - memotong logam yang berlebihan,
  - membersihkan permukaan,
  - memeriksa produk cor,
  - memperbaiki sifat mekanik dengan perlakuan panas (*heat treatment*),
  - menyesuaikan ukuran dengan proses pemesinan.

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*.

Saat mengecor logam harus dipanaskan sampai temperatur tertentu di atas titik leburnya dan kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan dibiarkan beku. Logam dipanaskan di dalam tungku peleburan hingga mencapai temperatur lebur yang cukup untuk penuangan.

## 2.6 Proses Peleburan Logam

Peleburan logam adalah proses mencairkan logam yang fasa awalnya padat menjadi fasa cair. Menurut DeGarmo (2008:264) “proses peleburan harus mampu menyediakan bahan cair pada suhu yang tepat, dalam jumlah yang diinginkan dengan hasil yang berkualitas dan biaya yang masuk akal.”

Untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan karena oksidasi lebih baik logam dipotong kecil-kecil kemudian dipanaskan, jika logam sudah mulai mencair, *fluks* harus ditaburkan untuk mengurangi oksidasi dan absorpsi gas (*fluxing*) dan dilakukan pengambilan gas yang berada dalam larutan logam (*degassing*). Selama pencairan, permukaan harus ditutup fluks dan cairan diaduk pada jangka waktu tertentu untuk mencegah segregasi (Surdia dan Chijiwa, 1991:171).

Proses *covering flux* ini dilakukan dengan memberikan campuran dari garam NaCl dan KCl. Penggunaan fluks kering 1 % sampai 3 % dapat mengurangi gas dan mencegah gelembung udara serta lubang jarum, disamping itu juga memperbaiki sifat-sifat mekaniknya (Surdia dan Chijiwa, 1991 : 171). Setelah mencapai temperatur yang diinginkan, paduan aluminium cair diambil dari dalam tungku dan dituangkan ke dalam cetakan.

### 2.6.1 Peleburan Aluminium dan Silikon

Proses peleburan dilakukan untuk mendapatkan logam cair dengan menggunakan suatu tungku peleburan, dimana jenis tungku yang digunakan harus disesuaikan dengan bahan baku yang akan dilebur. Tungku peleburan jenis krusibel dan

tungku listrik menjadi wadah untuk melebur paduan aluminium dan paduan ringan lainnya.

Tungku krusibel mempunyai konstruksi paling sederhana, fleksibel dan serba guna untuk untuk peleburan skala kecil dan sedang. Bahan bakar tungku krusibel dapat berupa minyak, induksi listrik frekuensi rendah, dan juga dapat dioperasikan menggunakan bahan bakar gas. Sehingga besar kecilnya energi yang dibutuhkan saat proses peleburan sangat diperhatikan.

Penentuan temperatur dan waktu peleburan harus diperhatikan dalam peleburan aluminium dan paduannya, 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. Berikut ini adalah contoh dari beberapa titik cair dan temperatur dari paduan aluminium seperti tabel 2.4 berikut ini

Tabel 2.4 Titik Cair dan Temperatur dari Paduan Aluminium

<b>Paduan dan Komposisi</b>	<b>Temperatur Mulai cair (°C)</b>	<b>Temperatur Akhir cair (°C)</b>	<b>Temperatur Penuangan (°C)</b>
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, 1991 : 237

### 2.6.2 Kelarutan Gas pada Cairan Aluminium dan Paduan

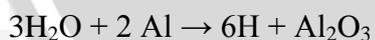
Menurut Wahyono dkk (2010) mengatakan bahwa “pada kondisi cair aluminium termasuk logam yang mudah menyerap gas hidrogen dari sekelilingnya (udara lembab, *grease* dan *oil*, kandungan air tungku, dan lain-lain).”

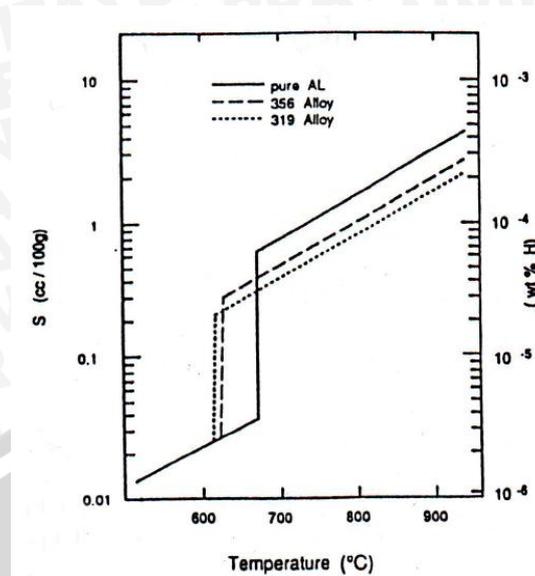
Gas-gas hidrogen, oksigen, dan nitrogen sering terlarut dalam pengecoran aluminium dan paduannya karena mengalami fenomena difusi. Variasi kelarutan gas-gas tersebut secara langsung dipengaruhi oleh temperatur dan akar kuadrat tekanan dalam *liquidus* dan *solidus*. Cacat aluminium bertambah dengan meningkatnya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

Hidrogen merupakan satu-satunya gas yang dapat timbul dalam penuangan aluminium dan paduannya. Kelarutan hidrogen secara signifikan lebih tinggi dalam aluminium cair dibandingkan saat memadat. Beberapa sumber potensial timbulnya hidrogen pada aluminium antara lain:

- Terjadinya asap hasil pembakaran pada waktu proses peleburan.
- Reaksi antara aluminium cair dengan cetakan
- Udara dalam tungku (*furnace*) menggunakan bahan bakar terkadang menimbulkan gas hidrogen yang disebabkan oleh reaksi pembakaran bahan bakar yang kurang sempurna.

Gas hidrogen menyebabkan porositas dalam benda cetak paduan aluminium dan memberikan pengaruh buruk pada kekuatan serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Pada 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 :





Gambar 2.3 Pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium  
Sumber: Budiyo, 2010

Beberapa unsur paduan dalam logam Aluminium yang dapat menurunkan kelarutan gas Hidrogen yaitu Si, Zn, Cu, dan Mn. Sedangkan unsur paduan lainnya yang dapat menaikkan kelarutan gas Hidrogen yaitu Mg, Fe, Ni, dan Li.

## 2.7 Difusi

Difusi merupakan peristiwa mengalirnya suatu zat yang memiliki konsentrasi zat tinggi menuju konsentrasi rendah. Proses difusi ini akan terus terjadi sampai seluruh zat tercampur secara merata. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan difusi adalah:

- Ukuran partikel, semakin kecil ukurannya semakin cepat bergerak partikelnya sehingga kecepatan difusi tinggi
- waktu, semakin lama waktu pengadukan partikel-partikel akan semakin tercampur merata.
- suhu, semakin tinggi suhu partikel akan mendapatkan energy untuk bergerak dengan lebih cepat

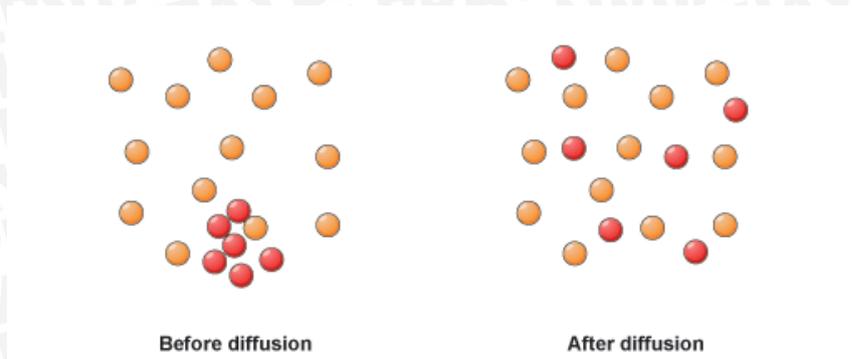
Hubungan antara waktu *holding* dengan difusi yaitu semakin lama waktu *holding* maka hidrogen yang berdifusi akan semakin menyatu sesuai dengan rumus  $L = \sqrt{4Dt}$

Dimana :

L = panjang difusi

D = Coefisien difusi

T = Waktu



Gambar 2.4 Proses difusi  
Sumber : bbc (2015)

## 2.8 Proses Penuangan Logam Cair

Penuangan logam cair merupakan proses dimana logam yang telah dilebur dari tungku kemudian dituang ke dalam rongga cetakan. Dalam penuangan harus dilakukan dengan cepat, waktu penuangan yang cocok perlu ditentukan dengan mempertimbangkan berat, tebal coran, dan sifat cetakan (Soleh, 2008). Teknik menuang juga harus dilakukan dengan tepat. Apabila ketentuan tersebut diabaikan, dapat mengakibatkan kegagalan dalam pengecoran, hasil pengecoran mengalami cacat (*defect*), kecelakaan kerja, serta merugikan dalam aspek ekonomi maupun energi. Proses penuangan berhasil jika cairan logam mengalir ke dalam seluruh bagian rongga cetakan sebelum membeku.

### 2.8.1 Fluiditas

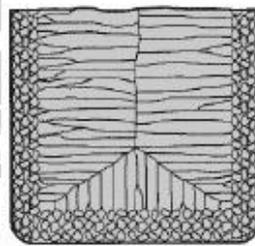
Fluiditas dalam pengecoran merupakan kemampuan logam cair untuk mengisi ruang-ruang dalam rongga cetak. Fluiditas lebih dikenal dengan sifat mampu alir dari suatu zat (logam cair) untuk mengalir dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini berhubungan dengan viskositas zat cair, semakin tinggi viskositas maka sifat mampu alirnya menurun. Beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas logam cair yaitu temperatur penuangan dan komposisi unsur.

Temperatur penuangan secara teoritis harus sama atau diatas garis *liquidus*, jika temperature lebih rendah kemungkinan besara akan terjadi pembekuan logam cair terlebih dahulu sehingga logam cair tidak menempati rongga cetakan yang seharusnya. Sedangkan saat temperature penuangan terlalu tinggi pasir pada dinding cetakan mudah lepas saat logam cair mengalir melalui dinding cetakan sehingga permukaan coran menjadi kasar. Komposisi unsur

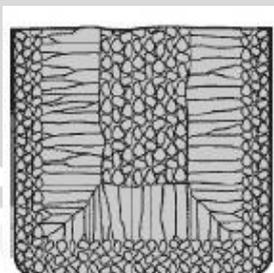
## 2.9 Solidifikasi

*Solidification* (pembekuan) merupakan proses perubahan bentuk cair logam kembali ke bentuk padat. Proses *solidification* memiliki perbedaan antara jenis logam murni (*pure metal*) dan logam paduan (*alloy*). Logam murni memiliki suhu pembekuan yang konstan. Sedangkan suhu pembekuan logam paduan tidak konstan atau berupa taksiran. Taksiran suhu pembekuan logam paduan ini tergantung pada sistem paduan dan komposisi paduan. Hal ini karena masing-masing unsur logam memiliki sifat yang berbeda. Tahap yang dilalui dari suhu penuangan hingga mencapai suhu ruang yaitu, pendinginan cairan logam atau *liquid cooling (liquid)*, pembekuan atau *freezing (liquid + solid)*, dan pendinginan logam padat atau *solid cooling (solid)*. Pembekuan dan pendinginan logam disebabkan oleh aksi pendinginan dinding cetakan, sehingga cairan logam membentuk cangkang padat.

Laju pembekuan dan pendinginan logam ini berawal dari luar logam menuju tengah logam. Oleh karena itu, semakin tebal suatu coran maka semakin lama coran tersebut padat dan dingin. Selain itu kecepatan pendinginan suatu coran juga dipengaruhi oleh sifat termal dari logam coran tersebut untuk memindahkan panas ke cetakan. Pada proses *solidification* juga terjadi pembentukan struktur butir maupun serat (*grain structure*).



Gambar 2.5 Struktur Logam Tuang Murni  
Sumber : Mikell P.Groover,2002.



Gambar 2.6 Struktur Logam Tuang Paduan  
Sumber : Mikell P.Groover,2002.

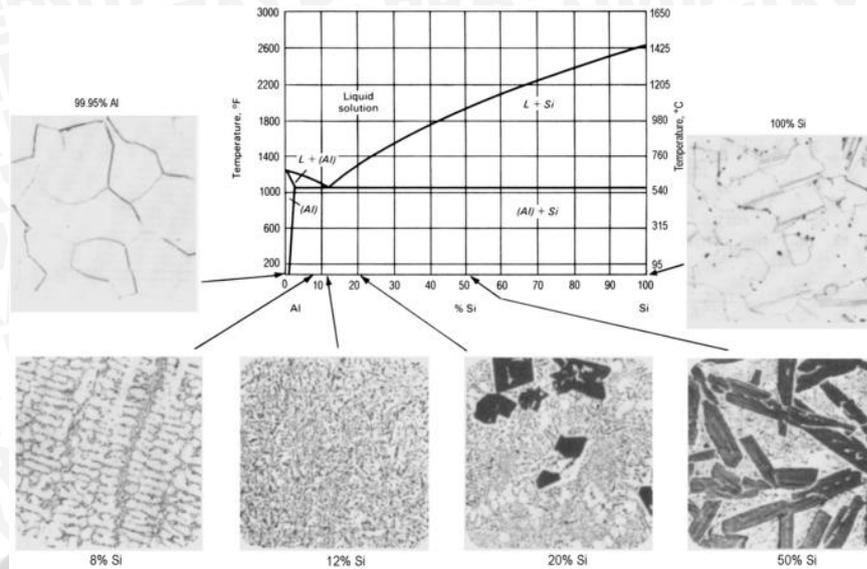
Gambar 2.5 dan 2.6 diatas menunjukkan *grain structure* dari logam murni dan logam paduan. Struktur dari logam hasil penuangan memiliki kulit atau cangkang yang terbentuk karena pendinginan cepat. Hal ini karena dinding cetakan berada pada suhu ruang atau lebih dingin daripada suhu logam cair. Pendinginan cepat pada kulit coran ini menghasilkan struktur yang halus dan terlihat acak. Proses pendinginan berlanjut dan membentuk serat (*grain*) yang berkembang menuju bagian tengah dari coran. Arah pembentukan serat ini berlawanan dengan arah perpindahan panas. Arah perpindahan panas (*heat transfer*) dari dalam menuju ke luar atau cetakan, sedangkan arah pembentukan serat dari sisi paling tepi coran menuju ke dalam coran. Pembentukan *grain* ke dalam terlihat seperti duri atau tulang dari logam padat. Struktur yang terdapat pada logam murni (gambar 2.5) membentuk cabang pada tengah-tengah logam dan disebut *columnar grains*.

Sedangkan *grain structure* pada logam paduan (gambar 2.6) terbentuk secara terpisah. Hal ini terjadi karena komposisi logam paduan yang tidak seimbang. Komposisi yang tidak seimbang tersebut dinyatakan dalam hasil akhir pengecoran berupa pemisahan (*segregation*) elemen. Pemisahan yang terjadi pada logam paduan dapat disebut sebagai *ingot segregation*.

## 2.10 Strukturmikro Paduan Al-Si

Salah satu cara untuk mengetahui struktur kristal dalam coran sehingga kita dapat mengetahui sifat fisis dari coran adalah dengan melakukan pengamatan strukturmikro. Pengamatan ini dilakukan dengan bantuan alat pembesar seperti lope dan mikroskop optik. Proses untuk mendapatkan strukturmikro, terlebih dahulu spesimen harus diratakan dan dihaluskan terlebih dulu dengan mesin, misalnya dikikir, digerinda, diasah dan dipoles.

Rudi Siswanto (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa pengasahan dan pemolesan harus berarah saling tegak lurus dengan bahan poles oksida chrom. Bila permukaan sudah mengkilap cermin disapukan bahan etsa yang dapat melarutkan dengan cepat bagian-bagian tertentu dari bahan benda uji atau akan memberi warna tertentu. Sebagai bahan etsa dapat dipergunakan antara lain : baja ( $\text{HNO}_3 = 15 \text{ cc}$  , alkohol = 100 cc), Cu ( $\text{CrO}_3 = 50 \text{ cc}$ ,  $\text{HCl} = 2 \text{ tetes}$ ), Al ( $\text{HF} = 10 \text{ cc}$ ,  $\text{HCl} = 15 \text{ cc}$ , Air = 90 cc), paduan Al ( NaOH). Dari pernyataan tersebut, dapat dikatakan bahwa pengamatan struktur mikro dari paduan Al-Si menggunakan NaOH sebagai bahan etsa.

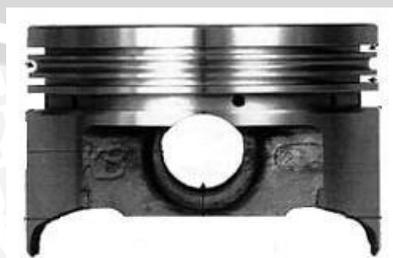


Gambar 2.7 Strukturmikro paduan Al-Si  
 Sumber : ASM Handbook Vol. 3. 2004

Pada gambar 2.7 diatas dapat dilihat struktur mikro pada komposisi hipoeutektoid (<12% Si), hipereutektoid (>12% Si), dan satu yang mendekati komposisi eutektik pada 12%. 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.

**2.11 Recycling Piston Aluminium**

Piston merupakan aluminium paduan yang memiliki sifat tahan tekanan dan temperatur tinggi, tahan korosi, koefisien pemuaian rendah, dan memiliki kekuatan yang tinggi. Sifat-sifat tersebut dibutuhkan pada material pembentuk piston karena piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Untuk mendapatkan sifat-sifat tersebut, pabrik memilih Al-Si sebagai material paduannya.



Gambar 2.8 Piston  
 Sumber : Fuad (2010)



Piston dibuat dari bahan-bahan yang berkualitas agar hasilnya sesuai dengan sifat-sifat mekanik yang harus dimiliki sebuah piston. Oleh karena itu, ketika piston didaur ulang untuk menjadi produk aluminium paduan dengan bentuk yang berbeda, diharapkan tetap memiliki sifat mekanik yang bagus dengan biaya produksi yang murah.

## **2.12 Pengujian Porositas**

### **2.12.1 Porositas Pada Pengecoran Logam**

Porositas terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair saat dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada hasil coran dapat menurunkan kualitas hasil coran. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan logam adalah gas hidrogen. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan, serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Menurut Firdaus (2002) bahwa faktor-faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain ialah :

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

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

### 2.12.2 Jenis - Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Dalam pengecoran aluminium terdapat dua jenis porositas gas hidrogen, yaitu porositas *interdendritic* dan porositas ukuran mikro. Porositas *interdendritic* terjadi karena kandungan gas hidrogennya cukup tinggi selanjutnya hidrogen tersebut dilepas saat solidifikasi dan menghasilkan tekanan kelarutan diatas tekanan atmosfer. Sedangkan porositas ukuran mikro terjadi bila kelarutan gas hidrogennya rendah dan membentuk *void* yang terkarakterisasi sebagai *subcritical*.

### 2.12.3 Pengujian Porositas

Untuk mencari prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran dibandingkan 2 buah densitas, yaitu :

#### ➤ True Density

*True density* atau densitas teoritis merupakan kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volume sebenarnya ( $\text{gr/cm}^3$ ). persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

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

dengan :

$\rho_{th}$	= True Density ( $\text{gr/cm}^3$ ).
$\rho_{Al}, \rho_{Si}, \rho_{Fe}, etc$	= Densitas unsur ( $\text{gr/cm}^3$ ).
%Al, %Si, etc	= Prosentase berat unsur (%).

#### ➤ Apparent Density

*Apparent density* atau densitas sampel adalah berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam materia yang di uji ( $\text{gr/cm}^3$ ). Standar ASTM B311-93 sebagaimana beikut:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-3)$$

dengan:

$\rho_s$	= Apparent Density ( $\text{gr/cm}^3$ ).
----------	--

- $\rho_w$  = Densitas air ( gr/cm<sup>3</sup>).  
 $W_s$  = Berat sampel di luar air (gr)  
 $W_b$  = Berat keranjang di dalam air (gr)  
 $W_{sb}$  = Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)

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

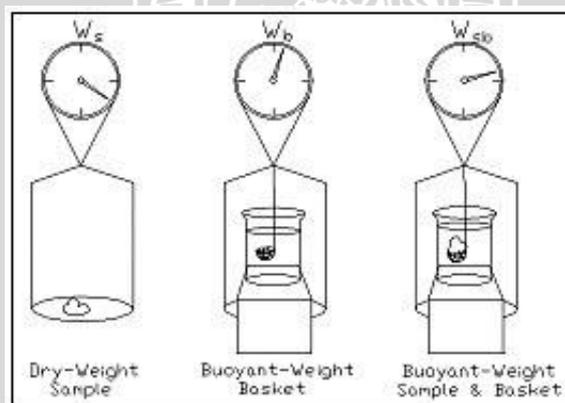
$$\% P = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}} \right) \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan:

- $\%P$  = Prosentasi porositas (%)  
 $\rho_s$  = *Apparent Density* ( gr/cm<sup>3</sup>).  
 $\rho_{th}$  = *True Density* ( gr/cm<sup>3</sup>)

#### 2.12.4 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah 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.



Gambar 2.9 Skema Piknometri  
 Sumber: Taylor, 2000

Tiga pengukuran berat yang diukur 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 2.9, 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.

### 2.13 Tungku Vakum

Pengecoran menggunakan sistem vakum bertujuan untuk mengurangi cacat coran (porositas) yang disebabkan oleh gas hidrogen yang terperangkap dalam spesimen khususnya pada pengecoran paduan aluminium. Gas hidrogen yang terperangkap disedot keluar sehingga meminimalisir terjadinya porositas gas saat solidifikasi.



Gambar 2.10 Tungku Vakum  
Sumber: Laboratorium  $\alpha \beta \gamma$

### 2.14 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka maka dapat diambil hipotesa bahwa pengaruh waktu *holding* proses *recycling* piston pada tungku vakum memiliki porositas lebih sedikit, karena semakin lama waktu *holding* maka hidrogen yang terlarut ketika peleburan akan berkurang.