

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

**S.R. Chang, J.M. Kim dan C.P. Hong, 2001. Departement of Metallurgical Engineering, Yonsei University, Korea.** *Numerical Simulation of Microstructure Evolution of Al Alloys in Centrifugal Casting.* Dalam penelitiannya menyatakan bahwa *solidification structure*, yang berpengaruh pada sifat mekaniknya dipengaruhi oleh kecepatan putar cetakan, dimensi cetakan, temperatur *preheating* cetakan, temperatur penuangan logam, dan komposisi dari logam.

*Cylinder Liners in Aluminium Matrix Composite by Centrifugal Casting*, penelitian yang dilakukan oleh **Bonollo, F., Moret, A., Gallo, S., Mus, C. (2004)** menyebutkan bahwa *gradient* temperatur (temperatur aluminium – temperatur cetakan) yang rendah maka waktu pembekuan akan semakin lama. Temperatur cetakan yang terlalu rendah menyebabkan Aluminium tidak memiliki cukup waktu untuk terdistribusi secara merata pada saat pembekuan sehingga akan menimbulkan ketebalan yang tidak merata dan menyebabkan porositas.

**Yim, C. D. & You, B. S. (2006)**, melakukan penelitian tentang *Effects of Melt Temperature and Mold Preheating Temperature on The Fluidity of Ca Containing AZ31 Alloys*. Dari penelitian ini disimpulkan bahwa fluiditas coran dipengaruhi oleh temperatur penuangan dan temperatur pemanasan awal cetakan. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan awal cetakan maka fluiditas logam coran semakin meningkat.

#### 2.2 Pengecoran Sentrifugal

Proses pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar, karena pengaruh gaya sentrifugal benda coran akan padat, permukaan halus dan struktur logam yang dihasilkan mempunyai struktur fisik yang unggul. Umumnya cara ini cocok untuk benda cor yang simetris (Amstead, B.H, 1979 : 118).

Pengecoran sentrifugal biasanya digunakan untuk produktivitas yang tinggi, penggunaan ruangan yang kecil, pengecoran masa produksi dengan ketelitian dan kualitas yang baik, dan ekonomis. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis. Produk yang dihasilkan dari Pengecoran sentrifugal

cukup luas penggunaannya diantaranya pada pembuatan pipa air, *tubes*, *cylinder sleeves*, *cylinder liner*, cincin torak, rumah metal bantalan luncur, *rools*, komponen- komponen pompa, *gear blanks* dan lain-lain (Chaplin, 1976 : 317). Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

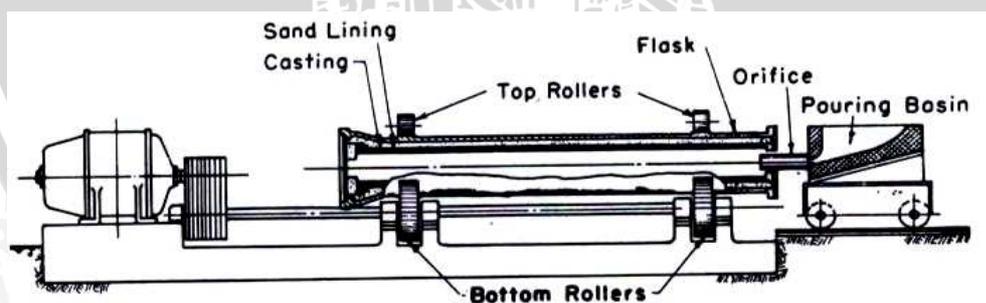
Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode, antara lain :

1. Pengecoran sentrifugal sejati
2. Pengecoran semisentrifugal
3. *Sentrifuging*

### 2.2.1 Pengecoran Sentrifugal Sejati

Cara pengecoran sentrifugal sejati ini digunakan untuk membuat pipa, lapisan (linier) mesin dan objek simetris lainnya. Cetakan diputar mengelilingi sumbu horisontal atau vertikal, dan logam cair dituangkan ke dalam salah satu ujungnya. Akibat adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar ke luar dan tertekan pada permukaan cetakan sehingga terbentuk rongga silindris. Besar putaran yang dikenakan bervariasi antara 600 – 3000 rpm (Jain, 1979 : 51).

Pengecoran sentrifugal dengan sumbu horisontal metodenya mirip dengan proses pembuatan pipa. Alat proses pengecoran sentrifugal horisontal dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.

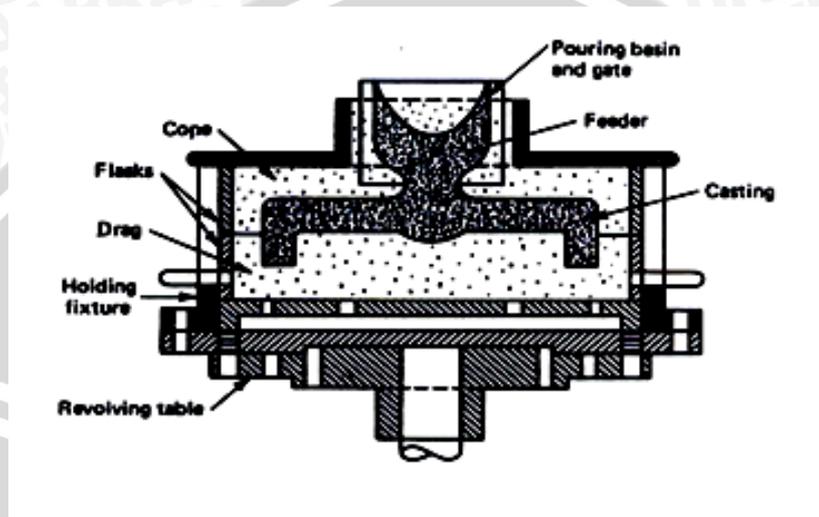


Gambar 2.1 Pengecoran Sentrifugal Horizontal  
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

### 2.2.2 Pengecoran Semisentrifugal

Pada proses ini cetakan diisi penuh dan berputar pada sumbu vertikal. Bila diperlukan dapat digunakan penambah atau inti. Bagian tengah dari cetakan biasanya padat, akan tetapi karena tekanan ditengah kurang, strukturnya kurang padat dan

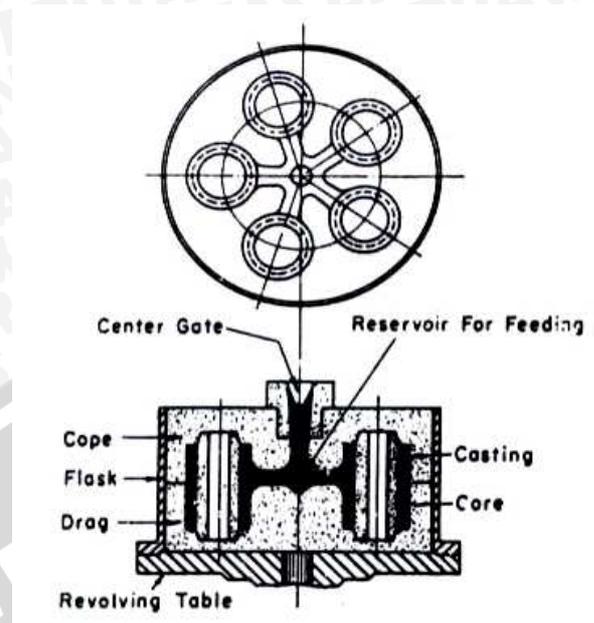
mungkin mengandung inklusi atau gelembung udara. Cara ini dapat dimanfaatkan untuk membuat benda dengan lubang ditengah seperti roda. Bagian tengah nantinya diselesaikan dengan pemesinan. Kecepatan putar lebih kecil dari kecepatan putar pada pengecoran cetakan susun, dapat menghasilkan lima roda dengan cara pengecoran semisentrifugal. Alat proses pengecoran semisentrifugal dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2 Pengecoran Semisentrifugal  
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

### 2.2.3 Sentrifuging

Logam cair dituangkan di bagian tengah cetakan. Di sekelilingnya terdapat beberapa rongga cetakan yang dihubungkan secara radial dengan bagian tengah. Gaya sentrifugal yang bekerja pada logam cair ketika cetakan berputar menghasilkan benda cor yang padat. Seperti terlihat pada Gambar 2.3, dengan sekali tuang dihasilkan lima benda cor sekaligus. Bagian dalam cor tidak teratur bentuknya, oleh karena itu diperlukan inti pasir kering. Metode *sentrifuging* dapat digunakan baik bentuk simetris maupun bentuk tidak tertentu. Cara ini banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi untuk membuat rahang emas. Gambar 2.3 di bawah ini adalah gambar alat proses pengecoran *sentrifuging*.



Gambar 2.3 *Sentrifuging*  
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

### 2.3 Aluminium

Aluminium merupakan salah satu logam yang memiliki banyak sekali keunggulan. Aluminium sangat ringan, beratnya hanya 1/3 baja, tembaga atau kuningan. Memiliki kekuatan yang baik, bahkan beberapa aluminium paduan kekuatannya melebihi baja. Aluminium memiliki ketahanan terhadap korosi yang sangat baik, mampu melawan pengaruh korosi dari elemen-elemen di atmosfer, air (termasuk air garam), oli dan bahan kimia lainnya. Memiliki konduktivitas thermal yang tinggi, konduktivitas listrik dan panas yang baik. Aluminium tidak bersifat magnet, tidak beracun sehingga aman digunakan untuk peralatan dan industri makanan. Aluminium memiliki tampilan yang sangat menarik, berkilau atau mengkilap dan merupakan logam yang sangat melimpah di bumi ini (Sivarajan, 1987: 215)

Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Sifat-sifat Fisik Aluminium.

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,99	>99,99
Massa jenis (Kg / dm <sup>3</sup> ) (20 <sup>0</sup> C)	2,6989	2,71
Titik cair ( <sup>0</sup> C)	660,2	653 – 657
Panas jenis (Cal/g. <sup>0</sup> C) (100 <sup>0</sup> C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,91	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (/ <sup>0</sup> C)	0,00429	0,0115
Koefisien pemuai (M / <sup>0</sup> C) (20-100 <sup>0</sup> C)	23,86×10 <sup>6</sup>	23,5×10 <sup>6</sup>
Jenis kristal, Konstanta kisi	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 134

### 2.3.1 Klasifikasi Paduan Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Adanya penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya akan meningkatkan kekuatan mekanik Aluminium (Surdia dan Saito, 1999). Paduan Aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu :

#### 1. Paduan Aluminium Tempa (*Aluminium Wrought Alloy*)

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *forming* untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat. Klasifikasi paduan aluminium tempa ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai berikut di bawah ini.

Tabel 2.2 Klasifikasi Paduan Aluminium Tempa

Standart AA (seri xxxx)	Standart Alcoa Terdahulu	Keterangan
1xxx(1001)	1S	Al murni 99.5% atau lebih
2xxx(1100)	2S	Al murni 99.0% atau lebih
2xxx(2010-2029)	10S-29S	Copper (Cu)
3xxx(3003-3009)	3S-9S	Manganese (Mn)
4xxx(4030-4039)	30S-39S	Silicon (Si)
5xxx(5050-5086)	50S-86S	Magnesium (Mg)
6xxx(6061-6069)	61S-69S	Magnesium dan silikon (Mg <sub>2</sub> Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 134

Paduan yang dapat diperlaku-panaskan adalah paduan di mana kekuatannya dapat diperbaiki dengan pengerasan dan penemperan, sedangkan paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan kekuatannya hanya dapat diperbaiki dengan pengerjaan dingin (Wirjosumarto, 1987 : 133). Tabel 2.3 di bawah ini menunjukkan klasifikasi paduan aluminium berdasarkan perlakuan panasnya.

Tabel 2.3 Klasifikasi Paduan Aluminium Berdasarkan Perlakuan Panas

Jenis Paduan	Keterangan
Aluminium Murni (seri 1xxx)	Tidak dapat diperlaku-panaskan
Al-Cu (seri 2xxx)	Dapat diperlaku-panaskan
Al-Mn (seri 3xxx)	Tidak dapat diperlaku-panaskan
Al-Si (seri 4xxx)	Tidak dapat diperlaku-panaskan
Al-Mg (seri 5xxx)	Tidak dapat diperlaku-panaskan
Al-Mg-Si (seri 6xxx)	Dapat diperlaku-panaskan
Al-Zn (seri 7xxx)	Dapat diperlaku-panaskan

Sumber : Wiryosumarto, 1987 : 114

## 2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminium Casting Alloy*)

Pada paduan ini, bentuk benda yang diinginkan diperoleh dari logam cair yang dituang pada cetakan dengan bentuk yang diinginkan dan dibiarkan membeku, sehingga didapatkan produk yang mendekati bentuk aslinya untuk kemudian *finishing*. Klasifikasi paduan aluminium coran ditunjukkan pada Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Klasifikasi Paduan Aluminium Coran

Unsur Utama paduan	Seri
Aluminium, 99% atau lebih	1xx.x
Tembaga	2xx.x
Silikon dengan Cu dan/atau Mg	3xx.x
Silikon	4xx.x
Magnesium	5xx.x
Seng	6xx.x
Tin	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : De Garmo, 1988 : 159

### 2.3.2 Pengaruh Unsur-Unsur Paduan

Unsur-unsur pemuat aluminium antara lain :

- Silikon (Si)

Silikon adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Si dan nomor atom 14. Merupakan unsur terbanyak kedua di bumi. Silikon mampu meningkatkan sifat mampu cor. Dalam hal ini yang mampu diperbaiki adalah cara mengurangi penyusutan coran sampai 1,5 kali Aluminium murni, mengurangi penyerapan gas dalam pengecoran dan meningkatkan mampu

alirnya. Selain itu dapat meningkatkan ketahanan korosi. Namun, silikon mempunyai pengaruh buruk yaitu menurunkan sifat mampu mesinnya.

- **Magnesium (Mg)**

Magnesium adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Mg dan nomor atom 12 serta berat atom 24,31. Magnesium adalah elemen terbanyak kedelapan yang membentuk 2% berat kulit bumi, serta merupakan unsur terlarut ketiga terbanyak pada air laut. Logam alkali tanah ini terutama digunakan sebagai zat campuran (*alloy*) untuk membuat campuran Aluminium-Magnesium yang sering disebut "magnalium" atau "magnelium". Penambahan unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan ketahanan korosi Aluminium. Apabila dipadukan dengan silikon maka daya tahannya akan meningkat, selain itu Mg juga akan meningkatkan sifat mampu bentuk dan mampu mesin Aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

### **2.3.3 Aluminium paduan (Al-Mg-Si)**

Aluminium paduan (Al-Mg-Si) mempunyai sifat mampu las, mampu mesin dan mampu bentuk serta mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik (Jacobs, 1997 : 293). Akan tetapi paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk mampu bentuk pada temperatur biasa dan sebagai tambahan dapat diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan. Sebagai paduan coran, paduan ini mudah dibentuk. Memberikan sifat penuangan, kekuatan, dan ketahanan korosi yang baik.

### **2.3.4 Spark Spectrometer**

*Spark spectrometer* adalah suatu alat uji komposisi kimia, yaitu untuk mengetahui kandungan unsur dari suatu material. Prinsip kerja dari alat tersebut adalah dengan mengukur dan menafsirkan radiasi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan atau diserap oleh materi. Radiasi gelombang elektromagnetik diuraikan menjadi berbagai panjang gelombang yang disebut spektra yang dapat diterjemahkan sebagai karakter sifat unsur dan kemudian diukur intensitasnya yang merupakan jumlah (kadar) dari unsur tersebut.

Spektrum radiasi gelombang elektromagnetik berasal dari atom atau molekul yang mengalami perubahan pada keadaan susunan elektron yang mengelilingi inti atau

biasa disebut eksitasi. Apabila atom suatu unsur ditempatkan dalam suatu sumber energi kalor (sumber pengeksitasi), maka elektron di orbital paling luar atom tersebut yang tadinya dalam keadaan dasar atau '*ground state*' akan tereksitasi ke tingkat-tingkat energi elektron yang lebih tinggi. Karena keadaan tereksitasi itu merupakan keadaan yang sangat tidak stabil maka elektron yang tereksitasi itu secepatnya akan kembali ke tingkat energi semula yaitu kekeadaan dasarnya (*ground state*). Pada waktu atom yang tereksitasi itu kembali ke tingkat energi lebih rendah yang semula, maka kelebihan energi yang dimilikinya sewaktu masih dalam keadaan tereksitasi akan 'dibuang' keluar berupa 'emisi sinar' dengan panjang gelombang yang karakteristik bagi unsur yang bersangkutan.

Sumber pengeksitasi yang dipakai pada alat ini adalah bunga api listrik yang disebut "*Spark*". Yang dimaksud dengan bunga api listrik atau awan muatan listrik (*electrical discharge*) adalah loncatan muatan listrik antara ujung batang elektroda dan sampel dimana ujung elektroda dan sampel tidak saling bersentuhan dan apabila antara keduanya diberikan tegangan listrik yang tinggi, maka akan terjadi loncatan muatan elektron dan akan menimbulkan tahanan sehingga hal ini akan menimbulkan kalor yang sangat tinggi. Loncatan bunga api listrik ini mampu memberikan energi kalor yang sangat tinggi yang mampu mengeksitasikan elektron di orbital paling luar dari atom tersebut ke tingkat energi atom yang lebih tinggi.

## **2.4 Pembekuan Logam**

### **2.4.1 Proses Pembekuan Logam**

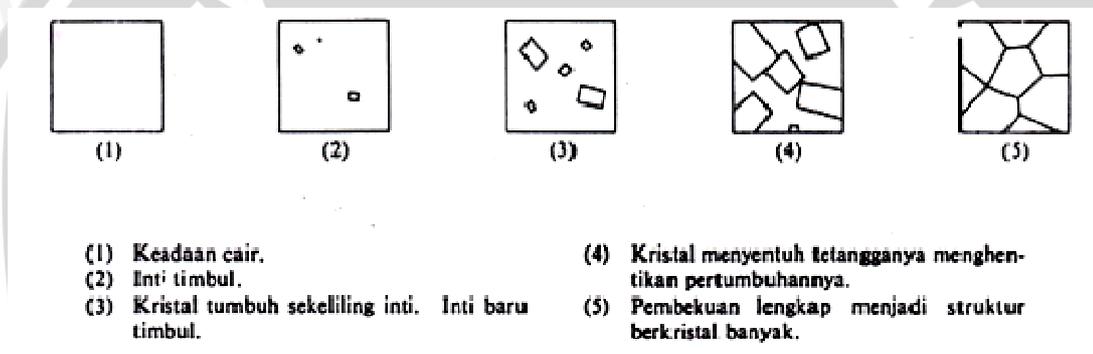
Semua logam pada proses pembekuan membentuk kristal, yaitu susunan teratur atom-atom yang berulang (*repetitive*) dalam suatu ruang. Proses ini dapat dijelaskan sebagai berikut.

Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, di mana terjadi *gradient* temperatur yang tinggi, sehingga temperatur bagian luar logam cair lebih rendah daripada bagian dalam, sehingga inti kristal mulai terbentuk dari bagian yang dekat dengan cetakan, lalu berkembang ke bagian dalam, dari bentuk kecil lalu membesar sepanjang arah logam cair. Inti tersebut kemudian membentuk butir sepanjang luasan logam cair dan berbentuk kolom-kolom, dan pada akhirnya memadat seluruhnya.

Secara detail pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul dendrit, yang masing-masing memiliki arah/orientasi yang berbeda-beda.

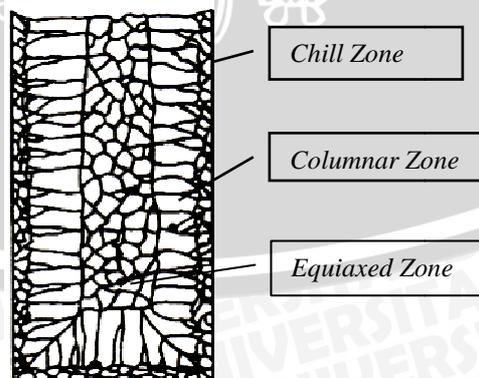
Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung dendrit - dendrit lain (tetangganya) yang juga berkembang. Permukaan singgung ini disebut batas butir (*grain boundary*), sedangkan kristal yang dibatasi oleh batas butir disebut butir. Jika keadaan memungkinkan (misalnya energi yang tersedia cukup besar), satu butir dapat terus berkembang melintasi batas butir, dalam arti bahwa inti-inti dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut. Ilustrasi skematis dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.4 (Surdia dan Saito, 1999)

Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan dengan lambat, maka dendrit memiliki waktu cukup untuk tumbuh, sehingga akan terbentuk butir-butir yang besar. Sebaliknya, pendinginan logam secara cepat akan menimbulkan butir-butir yang kecil. Perbedaan ukuran butir menyebabkan perbedaan sifat mekanik.



Gambar 2.4 Ilustrasi Skematis dari Pembekuan Logam  
 Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 14

Umumnya ada tiga daerah yang bisa ditemui pada pembekuan logam coran, seperti terlihat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*  
 Sumber : Kalpakjian, 1990 : 279

### Daerah Pembekuan Cepat (*Chill Zone*)

a. Daerah ini berada paling luar yang mana lebih dipengaruhi oleh heat removal. Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan *melt* pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan. Dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada tengah – tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi *chill zone*.

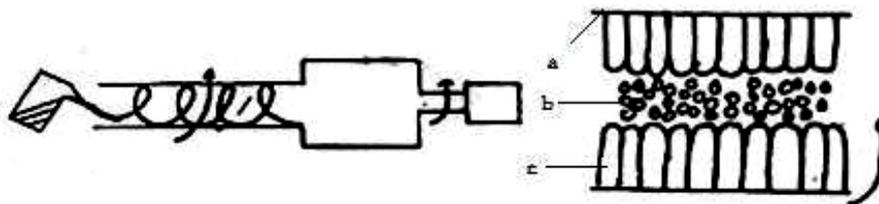
### b. *Columnar Zone*

*Columnar zone* merupakan struktur yang tumbuh setelah gradien suhu pada dinding cetakan turun dan kristal pada *chill zone* tumbuh secara dendritik dengan arah yang tegak lurus dengan dinding cetakan. Batas permukaan antara struktur *columnar* dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.

### c. *Equiaxed Zone*

Struktur ini terdiri dari butiran yang bersumbu sama yang arah acak. Asal dari butiran ini adalah mencairnya kembali lengan dendrit. Bila suhu di sekitar masih tinggi, setelah cabang dendrit tersebut terlepas dari induknya dan tumbuh menjadi dendrit yang baru.

Pada pengecoran sentrifugal terjadi struktur campuran yang disebut sebagai *mixed* struktur yang merupakan kombinasi antara struktur *columnar* dan *equiaxed*. Pengaruh rotasi akibat cetakan diputar baik dengan cara *centrifugal casting* menyebabkan terjadinya struktur *columnar* pada bagian dasar dan struktur *equiaxed* pada bagian tengah. (Rusli, 1995 : 82). Seperti terlihat pada Gambar 2.6

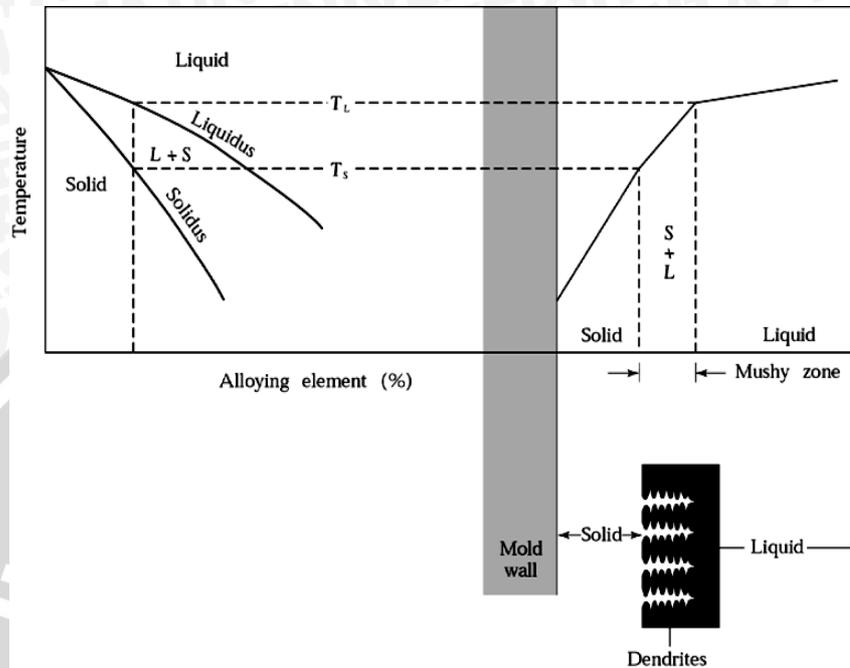


Gambar 2.6 Struktur Yang Dihasilkan Dengan Centrifugal Casting a). *Chill zone*  
b). *Equiaxed zone* c). *Columnar zone*

Sumber : Rusli, 1995 : 82

## 2.4.2 Pembekuan Logam Paduan

Logam paduan membeku pada range temperatur, bukan pada titik temperatur tertentu.



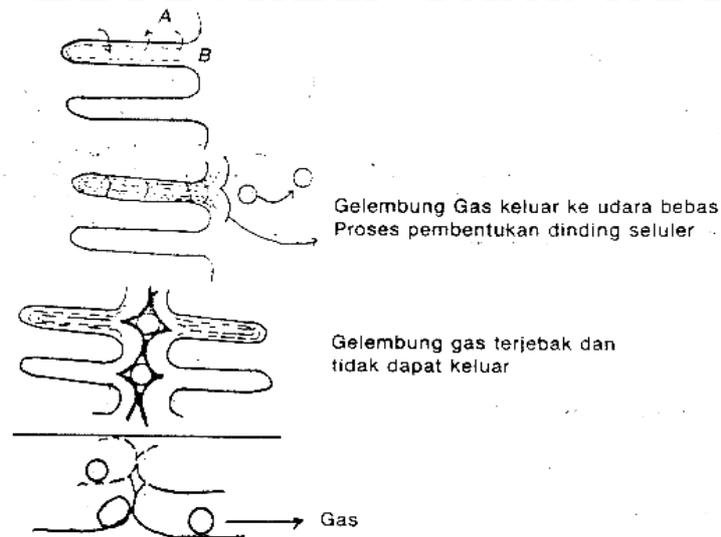
Gambar 2.7 Skematis Pendinginan dan Distribusi Temperatur Logam Paduan  
Sumber : Kalpakjian S, 1990 : 280

Pembekuan dimulai ketika temperatur turun dibawah fasa liquid dan selesai ketika mencapai fasa solid. Pada range temperatur ini logam dalam keadaan pasta (Kalpakjian, 1990 : 280). Ilustrasi skematis dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.7 di atas.

## 2.5 Kelarutan Gas Pada Logam Coran

### 2.5.1 Keseimbangan Fase Gas dan Metal

Konsentrasi gas akan bertambah seiring dengan kenaikan temperatur sampai pada temperatur tertentu dimana konsentrasi gas tidak dapat meningkat. Gelembung gas terbentuk pada antar permukaan padatan dan cairan. Formasi dari pembentukan gelembung gas sangat signifikan pada proses solidifikasi, khususnya pada tempat-tempat seperti dinding sel pada proses solidifikasi selular antara cabang-cabang dendrit (pada proses solidifikasi dendritik), demikian pula pada batas butir. Nukleasi gelembung gas terjadi selama proses solidifikasi, dimana kecepatan transfer gas secara difusi tidak secepat kecepatan penolakan gas pada batas antara permukaan padatan dan cairan (Rusli, 1995 : 62). Gambar 2.8 menunjukkan proses terjadinya gelembung gas pada solidifikasi seluler.



Gambar 2.8 Proses Terjadinya Gelembung Gas Pada Solidifikasi Seluler  
Sumber : Rusli, 1995 : 62

### 2.5.2 Kelarutan Gas Pada Logam Cair

Gas-gas seperti hidrogen, oksigen, nitrogen dan elemen-elemen seperti karbon, dan sulfur cenderung untuk larut dalam logam cair. Kerugian dari banyaknya gas-gas yang terlarut akan menimbulkan kerusakan coran dalam bentuk rongga udara (*blowholes*), lubang jarum (*pinholes*), atau porositas mikro (Jain, 1979 : 183). Gas hidrogen adalah salah satu gas yang larut dalam semua logam dan dapat menyebabkan kerusakan yang fatal dalam banyak logam paduan. Gas-gas yang diabsorpsi oleh logam cair dapat berasal dari berbagai sumber, diantaranya :

1. Dari atmosfer (saat cairan dalam dapur atau saat penuangan).
2. Dari material logam yang kotor dan basah, banyak mengandung minyak.
3. Dari cetakan yang masih basah.

Usaha untuk membebaskan logam cair dari pelarut gas saat masuk ke dalam cetakan adalah dengan operasi yang dinamakan *degassing* (menghilangkan gas). Ada tiga metode yang umumnya dilakukan dalam proses *degassing* adalah (Jain, 1979 : 184):

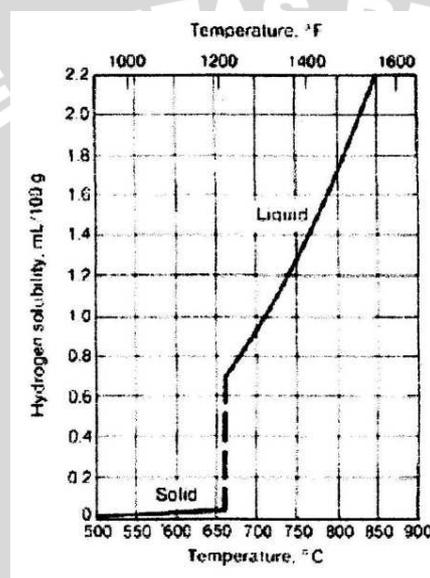
1. Pembilasan logam cair dengan mengalirkan logam murni seperti argon, dan nitrogen. Hal ini umumnya dilakukan logam paduan.
2. Menggunakan *degasser* padat yang menghasilkan suatu gas yang bereaksi kimia dengan gas-gas pelarut, misalnya CO yang menghasilkan gas panas karbon, bertindak sebagai gas murni untuk pembilasan hidrogen dari logam cair.
3. *Degassing* hampa udara, dimana logam cair di dalam dapat kemudian dipindah

ke dalam sebuah ruang kedap udara.

Reaksi yang terjadi antara uap air dengan logam cair pada aluminium adalah sebagai berikut:



Reaksi inilah yang dapat menyebabkan terjadinya cacat porositas pada logam coran. Pembakaran udara yang mengandung  $\text{H}_2\text{O}$  menyebabkan terjadinya oksidasi dan penyerapan hidrogen dalam logam coran. Kelarutan hidrogen meningkat seiring dengan meningkatnya tekanan parsial dari hidrogen diatas titik cair (Heine, 1976 : 269). Seperti terlihat pada gambar 2.9 di bawah ini.



Gambar 2.9 Kelarutan Hidrogen dalam Al pada tekanan 1 Atm  
Sumber : ASM Handbook, 1998: 1635

## 2.6 Pengujian Porositas

### 2.6.1 Porositas

Porositas secara umum adalah proporsi dari volum tidak padat dengan total volum dari material, dan digambarkan oleh perbandingan ([www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)) :

$$\phi = \frac{V_v}{V_T} \quad (2-1)$$

dengan :

$V_v$  = volum tidak padat (pori-pori dan cairan)

$V_T$  = total volum dari material, termasuk bagian padat dan tidak padat

$\Phi, n$  = porositas

Porositas adalah suatu pecahan antara 0 dan 1, secara khusus berkisar antara kurang dari 0,01 untuk granit padat lebih dari 0,5 untuk tanah gemuk bahan bakar dan tanah liat, walaupun mungkin juga diwakili di dalam terminology persen dengan perkalian pecahan dengan 100%.

### 2.6.2 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas pada produk cor dapat menurunkan kualitas benda tuang. 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 benda tuang tersebut. Penyebabnya antara lain kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas 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.
- Teknik dan kondisi peleburan
- Teknik atau cara pengeluaran gas dari logam cair
- Temperatur logam cair
- Uap air dalam udara
- Permeabilitas cetakan
- Uap air yang terkandung dalam cetakan
- Sumber-sumber gas yang terkandung dalam 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. Banyaknya porositas yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tidak saja tergantung dengan banyaknya kandungan gas hidrogen yang terabsorpsi oleh logam tetapi tergantung juga pada kecepatan pembekuan logam dalam cetakan. Makin rendah kecepatan pembekuan kemungkinan terjadi porositas akan lebih besar (Firdaus : 2002).

### 2.6.3 Jenis – Jenis Porositas Pada Pengecoran Logam

Ada dua sumber utama dari porositas dalam logam cor. Pertama, porositas rongga (cavity porosity) adalah dalam kaitanya dengan penuangan yang tidak tepat. Kedua, porositas mikro (microporosity) adalah hasil dari mushy mode solidifikasi dalam beberapa paduan (Verhoeven, 1975: 298).

- Cavity Porosity (Porositas rongga)

Porositas rongga diakibatkan oleh penuangan tidak tepat dan mungkin saja dihilangkan oleh desain riser yang tepat

- Microporosity (Porositas Mikro)

Porositas mikro adalah suatu hasil yang tidak bisa dipisahkan dari sifat pembekuan dari struktur dendritik, dan mungkin saja menyajikan hal yang sama dengan desain riser yang sesuai.

Dua jenis karakteristik porositas mikro yang pertama porositas mikro yang disebarkan dengan seragam ke seluruh bagian, disebut dengan porositas mikro tersebar (dispersed microporosity). Di dalam jenis yang kedua yang disebarkan dalam lapisan-lapisan pertemuan bagian, disebut dengan porositas mikro lapisan (layer microporosity). Dikarenakan pori-pori ini dimulai dari lokasi interdendritik mungkin diharapkan menjadi sungguh kecil. Ukuran khas 5-10  $\mu\text{m}$  untuk pori-pori di dalam butir equiaxed. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

### 2.6.4 Densitas

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

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

dengan :

P = kepadatan sebuah benda ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

m = massa total benda (gr)

V = volum benda ( $\text{cm}^3$ )

#### 2.6.4.1 Macam Densitas

Di dalam pengukuran prosentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan dua buah densitas yaitu *True density* dan *Apparent Density*.

- True Density

Kepadatan dari sebuah benda padat tanpa porositas yang terdapat di dalamnya. Didefinisikan sebagai perbandingan massanya terhadap volum sebenarnya ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

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

dengan :

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

$\rho_{Ab}, \rho_{Cu}, \rho_{Fe}, etc$  = Densitas unsur ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

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

- Apparent Density

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (void) yang terdapat dalam materia yang di uji ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

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

dengan:

$\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

$\rho_w$  = Densitas air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

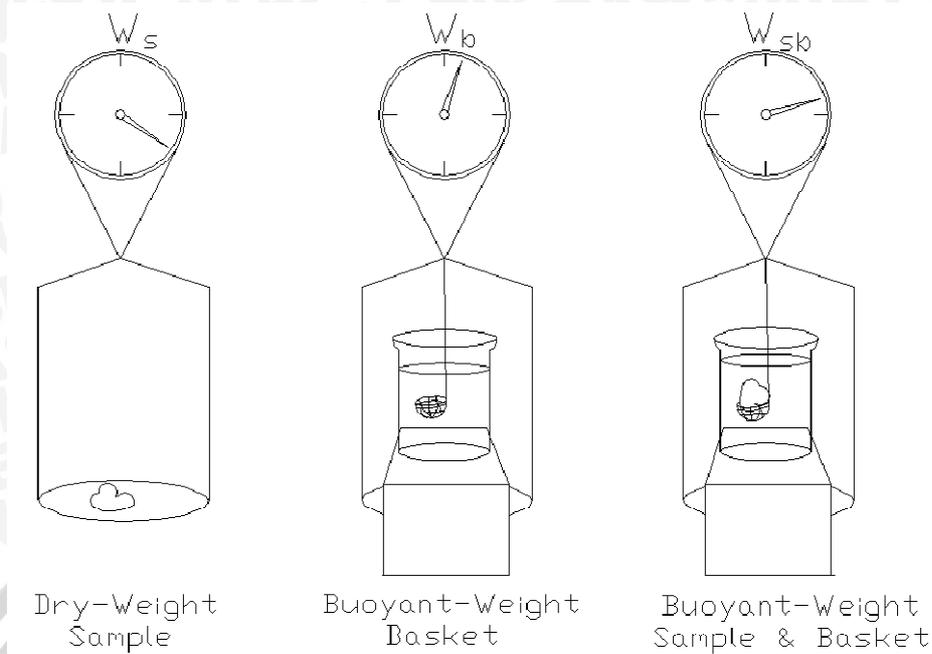
$W_s$  = Berat sampel di udara (gr)

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

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

#### 2.6.4.2 Pengukuran Densitas Menggunakan Metode Piknometri

Piknometri adalah sebuah proses membandingkan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Jika densitas dari cairan diketahui, densitas dari padatan dapat dihitung. Proses dapat digambarkan secara skematik dalam gambar 2.10.



Gambar 2.10 : Skema Piknometri

Sumber: Taylor, et al, 2000

Tiga pengukuran berat yang dibuat 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 2.10, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantung sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

### 2.6.5 Perhitungan Porositas

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

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

dengan:

$\%P$  = Prosentasi porositas (%)

$\rho_s$  = Densitas sampel atau *Apparent Density* ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ).

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

## 2.7 Pengujian Kekuatan Tarik

### 2.7.1 Kekuatan Tarik

Kekuatan tarik didefinisikan sebagai kekuatan maksimum yang dapat ditahan material sebelum putus. Bila suatu benda diberi beban dinamis atau beban yang bertambah seiring waktu, maka terjadi pertambahan pajang pada penampang melintang benda tersebut. Sifat mekanik dapat diketahui dengan melakukan uji tegangan-regangan atau uji tarik dengan rumusan (George E. Dieter, 1996 :277) :

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{A_0} \quad (2-6)$$

dengan :

$\sigma_B$  = kekuatan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$P_{max}$  = beban tarik maksimum (N)

$A_0$  = luas penampang awal (mm<sup>2</sup>)

Sedangkan regangan dapat diartikan sebagai perpanjangan tiap satuan panjang

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (2-7)$$

dengan :

$\varepsilon$  = regangan (%)

$l$  = panjang akhir (mm)

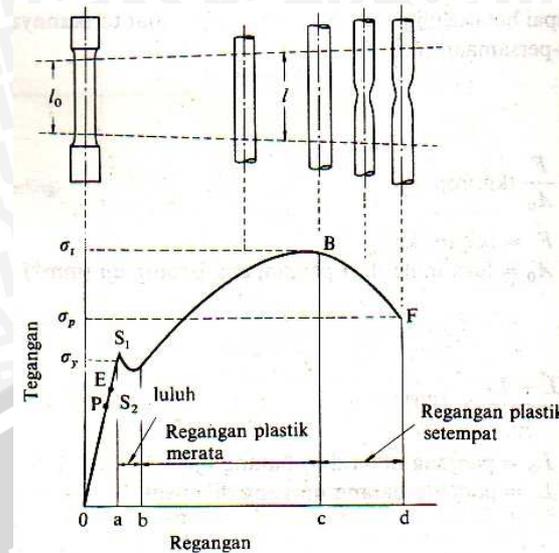
$l_0$  = panjang awal (mm)

Benda uji yang digunakan mempunyai penampang lingkaran atau segi empat dengan ujung lebih tebal sebagai tempat penjepitan benda uji. Hal ini dimaksudkan agar patahan yang terjadi berkurang pada bagian ini dan bagian yang terpengaruh oleh pembebanan diberi ukuran khusus (*gauge length*).

### 2.7.2 Hubungan Tegangan Regangan

Hubungan tegangan regangan dapat diketahui dari diagram tegangan regangan yang didasarkan dari data yang diperoleh dalam pengujian tarik. Pada pengujian tersebut benda uji diberi beban tarik yang sesumbu yang bertambah besar secara kontinyu dan dilakukan juga pengamatan pertambahan panjang.

Hubungan antara tegangan dan regangan untuk batang uji dapat dilihat pada gambar 2. 11



Gambar 2.11 Kurva Tegangan-Regangan  
Sumber : Wiryosumarto; 2004: 182

Titik-titik di atas menunjukkan sifat-sifat dari bahan uji yang selanjutnya dapat dijadikan referensi untuk penggunaan benda uji tersebut, yang dalam hal ini:

- Titik P menunjukkan batas dimana hukum hooke masih berlaku dan disebut batas proporsi yang merupakan titik keseimbangan antara tegangan dan regangan.
- Titik E menunjukkan batas dimana bila beban diturunkan ke nol lagi tidak terjadi perpanjangan tetap pada batang uji dan disebut batas elastis. Titik E sukar ditentukan dengan tepat karena itu biasanya batas elastis dengan perpanjangan tetap sebesar 0,005% sampai 0,01%.
- Titik  $S_1$  disebut titik luluh atas dan titik  $S_2$  disebut titik luluh bawah, yang merupakan titik dimana tempat terjadi penambahan regangan tanpa penambahan beban.
- Titik B merupakan titik tempat tegangan tertinggi yang dapat dicapai oleh bahan tersebut yang biasa dikenal dengan titik ultimate.
- Titik F merupakan titik tempat bahan tersebut patah.

## 2.8 Pemanasan Awal Cetakan

Pemanasan awal (preheating) cetakan pada proses pengecoran sentrifugal adalah dengan memberikan panas pada cetakan hingga temperatur tertentu sebelum dilakukan proses penuangan logam cair pada cetakan yang berputar. Dengan pemberian panas

awal pada cetakan tersebut, maka gradient temperatur antara temperatur logam cair dengan temperatur cetakan akan berkurang, sehingga proses pembekuan berlangsung lebih lambat. Hal ini menyebabkan butiran aluminium mempunyai cukup waktu untuk tumbuh dan tersebar secara merata dan homogen. (Bonollo, 2003). Selain itu dengan diberikanya pemanasan awal maka fluiditas logam coran semakin meningkat. (Yim & You, 2006)

## 2.9 Hipotesis

Semakin tinggi temperatur pemanasan awal (*preheating*) cetakan, maka proses pembekuan logam berlangsung lebih lambat sehingga akan berpengaruh terhadap kekuatan tarik dan porositas.

