

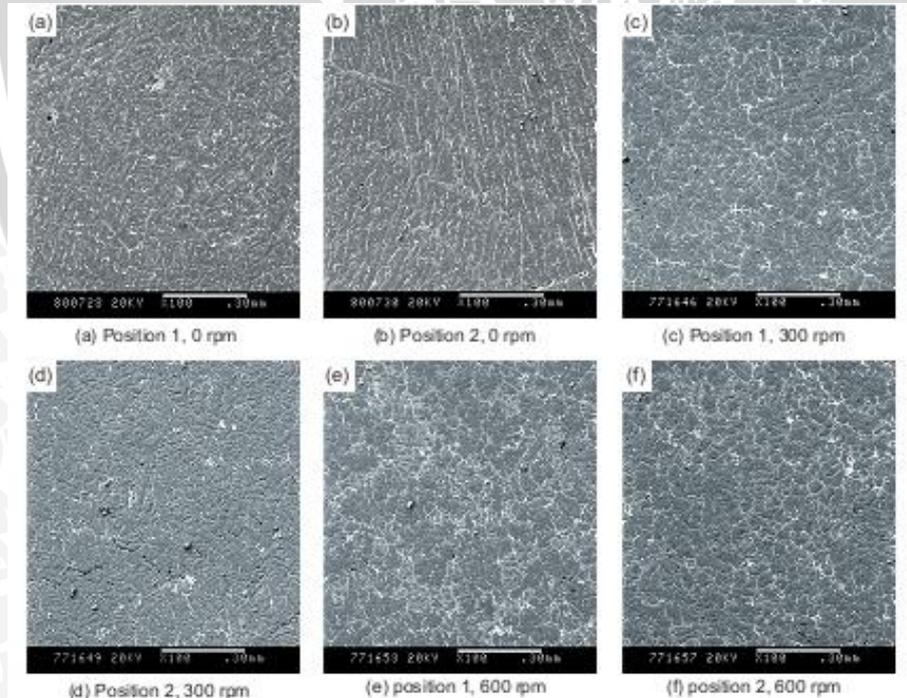
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Tjitro Soejono, et al.(2004) dengan memakai variasi kecepatan putar cetakan 150 rpm, 180 rpm, dan 200 rpm bahwa semakin tinggi kecepatan putar cetakan maka akan dihasilkan angka kekerasan yang semakin tinggi, yang mana orientasi pertumbuhan butir terutama pada bagian dalam mengalami pembelokan arah sesuai dengan arah putaran mesin sentrifugal dan deformasi butir yang terjadi pada bagian dalam menyebabkan meningkatnya angka kekerasan.

Li Bangsheng (2010) meneliti pengaruh kecepatan putar cetakan terhadap struktur mikro paduan aluminium Al-Mg-Si hasil pengecoran sentrifugal dimana semakin tinggi kecepatan putar maka struktur mikro yang didapatkan lebih besar dikarenakan ukuran butiran paduan Al-Mg-Si perlahan mengalami penurunan secara bertahap diakibatkan fase yang mengandung Al-Mg-Si diendapkan pada fase , kemudian struktur mikro meningkat menuju manosegresi Si yang lebih tinggi.



Gambar 2.1 Mikrostruktur pada aluminium paduan Al-Mg-Si
Sumber: Bi Xiaoqin and Ni Feng. Microstructure and defects of ZA27 alloy by centrifugal casting. *Special Casting and Nonferrous Alloys*, 1999, 14-16.

2.2 Pengecoran logam

Prinsip dasar pengecoran logam yaitu mencairkan logam kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, dimana cetakan tersebut memiliki sebuah ruang atau *cavity* yang mempunyai bentuk sesuai dengan logam yang akan dibuat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku. Dalam pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya adalah membuat cetakan, pencairan logam, penuangan logam, pembersihan hasil coran dan pemeriksaan hasil coran.

Secara umum proses pengecoran dikelompokkan berdasarkan cetakannya menjadi dua yaitu:

- *Expandable Mold Casting*
- *Permanent Mold Casting*

Expandable Mold Casting adalah cetakan yang mana hanya bisa digunakan pada sekali pengecoran saja. Kelemahan cetakan pasir yaitu pada saat penuangan logam cair, sistem insulasi yang alami dari pasir mencegah proses pembekuan terarah (*directional solidification*). Oleh karena itu pembekuan logam dari dinding cetakan dan dari bagian dalam silinder terjadi secara bersamaan. Hal ini dapat menimbulkan 'bunga karang' dan kepadatan yang rendah pada bagian tengah produk coran. Bahan yang biasanya digunakan adalah pasir, keramik, dan material lain yang dicampur dengan bahan pengikat lainnya.

Permanent Mold Casting adalah cetakan tetap yang secara umum terbuat dari material seperti baja, tembaga dan grafit. Pelapisan cetakan juga penting dalam mengatur laju pembekuan dari beberapa material coran. Pelapisan dengan menggunakan keramik sudah banyak diterapkan

2.3 Pengecoran sentrifugal

Pengecoran sentrifugal adalah suatu proses pengecoran yang mana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga didapatkan gaya sentrifugal akibat pemutaran cetakan hingga logam cair tersebut mengisi cetakan hingga membeku (Surdia, 1986: 3). Pengecoran sentrifugal cocok digunakan untuk produk coran yang bersilinder. Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

Dengan adanya pengaruh gaya sentrifugal ini benda coran akan mengalami pemadatan dan membeku. Pemadatan ini akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Pada pengecoran

sentrifugal logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal maupun vertikal. Pada pengecoran sentrifugal gaya sentrifugal pada logam cair yang berputar adalah sebanding dengan radius putar dan kuadrat dari kecepatan putarnya (Zemansky, 1985: 135),

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

dengan:

F_c = Gaya sentrifugal (N)

m = Massa benda cor (kg)

r = Radius cetakan (m)

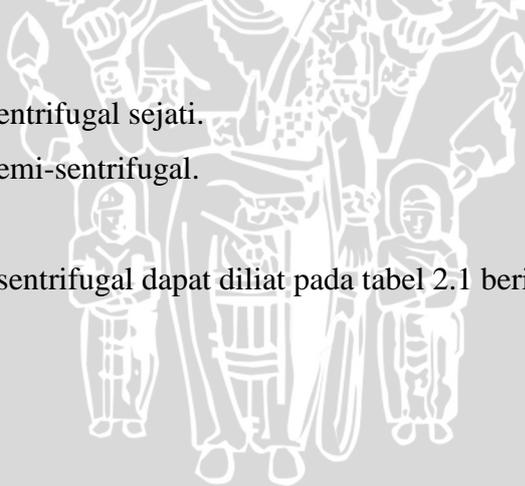
ω = Kecepatan putar (rad/s)

2.4 Aplikasi pengecoran sentrifugal

Penggunaan metode pengecoran sentrifugal cukup efektif, mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 30 ton lebih. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis. Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode (Jain, P.L 1979:122) antara lain :

1. Pengecoran Sentrifugal sejati.
2. Pengecoran Semi-sentrifugal.
3. Sentrifuging

Aplikasi pengecoran sentrifugal dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :



Tabel. 2.1. Aplikasi dari berbagai metode pengecoran sentrifugal.

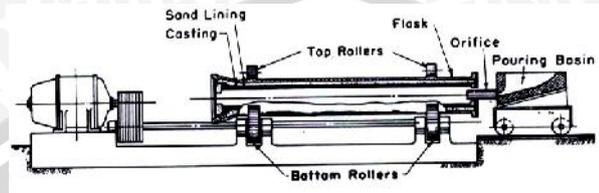
I. True (a) as-cast	Pipes for water, gas and sewage	Cast iron
	Tubing for reformers	
	Radiant tubes	Heat Resisting Steel
	Rainwater pipes	Cast Iron
	(b) machine from pots	Bearing bushes
	Piston rings	
	Cylinder liners	Cast Iron
	Paper making rollers	Copper alloys
	Gas turbine rings	Heat resisting steel & nickel base alloys
	Runout rollers	Carbon steel
II. Semi-Centrifugal	Nozzel Boxes	Heat resisting steel
	Gears & gear blanks	Copper alloys, steel
	Pulleys	Steel
III. Pressure	Hinges	
	Brackets	Steel
	Dental Casting	Co Cr alloys
	Jewellery	

Sumber : Beeley, 1972 : 510

2.4.1 Pengecoran Sentrifugal Sejati

Secara umum pengecoran sentrifugal sejati digunakan untuk membuat pipa, dan objek simetris lainnya. Prinsip kerjanya dengan cara cetakan diputar mengelilingi sumbu horizontal atau vertikal, dan logam cair dituangkan ke dalamnya. Akibat adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar ke arah luar dan tertekan pada permukaan cetakan bagian dalam sehingga terbentuk rongga silindris. Besar putaran yang digunakan bervariasi antara 600 – 3000 rpm (Jain, P.L 1979: 51).

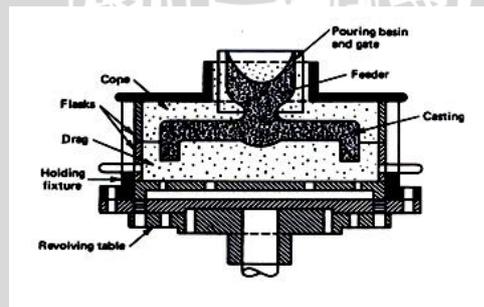
Pengecoran sentrifugal dengan sumbu horizontal metodenya mirip dengan proses pembuatan pipa. Diameter dalam merupakan silinder sempurna yang memerlukan permesinan sedikit saja. Proses pengecoran sentrifugal horizontal dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini:



Gambar 2.2 Pengecoran Sentrifugal Horizontal
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

2.4.2 Pengecoran Semi-sentrifugal

Pada proses pengecoran semisentrifugal cetakan diisi penuh dan berputar pada sumbu vertikal. Bila diperlukan dapat digunakan penambah atau inti. Saat logam cair dituang maka logam cair tersebut akan terdorong oleh gaya sentrifugal sehingga dihasilkan benda coran yang mempunyai kepadatan tinggi dibagian luar namun bagian tengahnya kurang. Cara ini dapat dimanfaatkan untuk membuat benda dengan lubang ditengah seperti roda. Bagian tengah nantinya diselesaikan dengan pemesinan. Proses pengecoran semisentrifugal dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah ini:

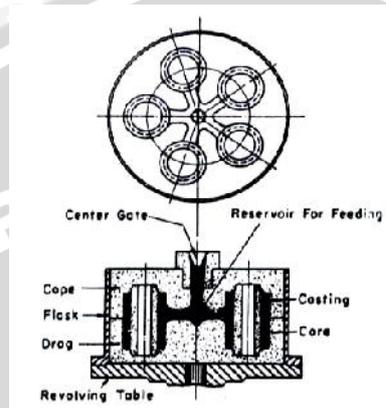


Gambar 2.3 Pengecoran Semisentrifugal
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

2.4.3 Sentrifuging

Centrifuging adalah proses dimana dapat digunakan untuk membuat beberapa benda hasil coran sekaligus, cetakan dibuat dengan beberapa rongga cetakan untuk masing-masing benda coran. 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. Pada gambar 2.4, dengan sekali tuang dihasilkan lima benda cor sekaligus. Metode *centrifuging* dapat digunakan baik bentuk simetris maupun bentuk tidak tertentu. Cara ini banyak digunakan dalam bidang kedokteran gigi untuk membuat rahang emas.



Gambar 2.4 *Centrifuging*
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

2.5 Aluminium dan Paduannya

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy tahun 1809 sebagai unsur, pertama kali direduksi sebagai logam oleh H.C Oerted tahun 1825, dan secara industry tahun 1886 oleh Paul Heroult dari Perancis dan C.M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh aluminium dan alumina dengan cara elektolisa dari garamnya yang terfusi. Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi, daya hantar listrik (60% Cu) dan sifat-sifat baik lainnya dari logam.

Aluminium dan paduannya termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi dan tahan terhadap karat (Wirjosumarto, 2000). Paduan aluminium dapat digolongkan menjadi dua kelompok utama, yaitu:

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

Paduan ini dibuat untuk dikerjakan dengan proses *rolling*, *extruding*, *drawing*, *forming*, *forging* dan sebagainya untuk menghasilkan bentuk yang diinginkan seperti pelat, lembaran atau kawat.

2. Paduan Aluminium Cor (*Aluminum 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 di-*finishing*.

2.5.1 Sifat-sifat Aluminium Paduan

Logam aluminium dapat dengan mudah dipadukan dengan logam lain. Paduan aluminium yang penting antara lain:

1. Paduan Al-Cu (seri 2xx.x)

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat diperlakukan panas. Dengan melalui pengerasan endapan atau penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan lainnya.

2. Paduan Al-Cu-Mg (seri 3xx.x)

Paduan ini mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dan merupakan paduan yang memiliki kekuatan yang tinggi. Dalam penggunaannya biasa dipakai konstruksi pesawat terbang dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara kekuatan dan berat yang cukup besar.

3. Paduan Al-Si (seri 4xx.x)

Paduan Al-Si adalah paduan yang sangat baik kecairannya dan memiliki permukaan coran yang sangat baik tanpa kegetasan. Sebagai tambahan, Si memiliki ketahanan korosi yang baik, koefisien muai yang kecil, penghantar panas yang baik, dan ringan.

4. Paduan Al-Mg (seri 5xx.x)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlakukan panas, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut dan sifat mampu lasnya yang baik.

5. Paduan Al-Mg-Si (seri 6xx.x)

Jenis ini termasuk paduan yang dapat diperlakukan panas, dan mempunyai sifat mampu potong, daya tahan korosi yang baik, serta sifat mampu lasnya baik.

6. Paduan Al-Zn (seri 7xx.x)

Jenis ini termasuk jenis paduan yang memiliki kekuatan tertinggi di antara paduan lainnya. Dapat diperlakukan panas dan daya tahan korosinya lebih baik apabila ditambah dengan unsur paduan. Penggunaan paduan ini yang paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara.

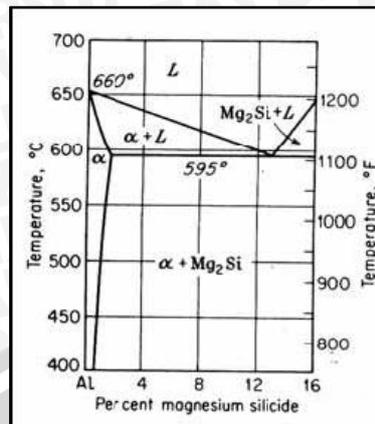
Tabel 2.2 Kekuatan Tarik Aluminium Paduan

Alloy	Batas kekuatan tarik (UTS), MPA	Densitas (), Kg/m ³	Kekuatan Spesifik (UTS/), m ² /s ²
Al murni (99.9999% Al) Al(4N)	78	2699	0.03
Al-7% Si, T6	210	2685	0.09
Al-5% Si-2% Cu, T6	310	2690	0.12
Al-9% Si, T6	240	2650	0.10
Al-20% Si, T6	200	2650	0,08
Besi	1.9	7650	0.00024
Besi tuang abu-abu	380	7100	0.05
Besi tuang lentur	900	7200	0.13
Besi tuang <i>austempered ductile</i>	12000	7200	0.17
Baja karbon tuang	650	7850	0.08
baja <i>stainless</i> tuang	880	7850	0.11

sumber: www.digilib.its.ac.id

2.5.2 Paduan Al-Mg-Si

Paduan Aluminium-Magnesium-Silikon termasuk dalam jenis yang dapat diperlakukan dan mempunyai sifat mampu potong, mampu las dan tahan korosi yang cukup (Wiryosumarto, 2000). Jika Magnesium dan Silikon dipadukan bersama Aluminium, maka akan terbentuk Magnesium Silikat (Mg_2Si), kebanyakan paduan Aluminium mengandung Si, sehingga penambahan Magnesium diperlukan untuk memperoleh efek penguatan dari Mg_2Si . Tetapi sifat paduan ini akan menjadi getas, sehingga untuk mengurangi hal tersebut, penambahan dibatasi antara 0,03% -0,1% (Hiene, 1995:320). Diagram fase Magnesium-Silikon pada paduan Aluminium ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Diagram Fase Magnesium-Silikon pada paduan Aluminium

Sumber: Hiene, 1995

Pada diagram terlihat bahwa kelarutan Mg_2Si semakin menurun terhadap kelarutan Aluminium yakni dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Kelarutan Mg_2Si dalam Aluminium/ fasa terjadi sampai 16% pada $595^\circ C$. Selain itu, titik cair terendah untuk mencairkan Al-Mg-Si pada temperatur $595^\circ C$ dengan komposisi 13% Mg_2Si dan 87% Al. Beberapa sifat yang dimiliki paduan Al-Mg-Si ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Sifat Aluminium Paduan Al-Mg-Si

Sifat	Nilai
Density	2.71 g/cm ³
Melting Point	660°C
Modulus of Elasticity	67 Gpa
Electrical Resistivity	0.035 x 10 ⁻⁸ Ω .m
Thermal Conductivity	180 W/m.K
Coefficient of Friction	0.36

Sumber: aalco, 2007

2.6 Sifat-sifat Logam Cair

2.6.1 Perbedaan antara logam cair dan air

Logam cair berbeda dari air dalam beberapa hal. Pertama, kecairan logam sangat tergantung pada temperatur. Logam cair akan cair pada temperatur yang tinggi, sedangkan pada temperatur yang rendah berbeda dengan air, terutama pada keadaan dimana terdapat inti-inti kristal.



Kedua, berat jenis logam cair lebih besar dari pada berat jenis air. Berat jenis air adalah 1 kg/l sedangkan besi cor 6,8 sampai 7 kg/l, paduan Aluminium 2,2 sampai 2,3 kg/l dan paduan timah 6,6 sampai 6,8 kg/l. Oleh sebab itu dalam segi alirannya juga akan sangat berbeda, aliran logam mempunyai kelembaman dan gaya tumbuk yang lebih besar dari pada air.

Ketiga, air menyebabkan permukaan dinding cetakan basah, sedangkan logam cair tidak. Oleh karena itu ketika logam cair mengalir di atas permukaan cetakan pasir maka logam cair tidak akan meresap ke dalam pasir asalkan jarak antara partikel-partikel pasir cukup kecil.

2.6.2 Kekentalan Logam Cair

Kekentalan logam cair tergantung pada temperatur dimana pada temperatur tinggi kekentalan logam cair menjadi rendah sebaliknya pada temperatur rendah kekentalan logam cairnya menjadi tinggi. Proses pengentalan logam cair akan semakin bertambah cepat jika logam cair didinginkan, pada saat logam cair terbentuk inti-inti kristal. Juga dapat dikatakan kekentalan logam cair akan bertambah sebanding dengan penambahan inti kristal. Koefisien kekentalan logam cair dapat dilihat pada tabel 2.4 dibawah ini :

Tabel 2.4 Koefisien Kekentalan dan Tegangan Permukaan dari Logam

Bahan	Titik cair (°C)	Berat jenis (g/cm ³)	Koefisien kekentalan (g/cm · detik)	Koefisien kekentalan kinematik (cm ² /detik)	Tegangan permukaan (dine/cm)	Tegangan permukaan berat jenis (cm ³ /detik ²)
Air	0	0,9982(20°C)	0,010046(20°C)	0,010064	72(20°C)	72
Air raksa	-38,9	13,56 (20)	0,01547 (20)	0,00114	465(20)	34,5
Tin	232	5,52 (232)	0,01100 (250)	0,00199	540(247)	97,8
Timbal	327	10,55 (440)	0,01650 (400)	0,00156	450(330)	42,6
Seng	420	6,21 (420)	0,03160 (420)	0,00508	750(500)	120
Aluminium	660	2,35 (760)	0,0055 (760)	0,00234	520(750)	220
Tembaga	1.083	7,84 (1.200)	0,0310 (1.200)	0,00395	581(1.200)	74
Besi	1.537	7,13 (1.600)	0,000 (1.600)	0,00560	970(1.600)	136
Besi cor	1.170	6,9 (1.300)	0,016 (1.300)	0,0023	1.150(1.300)	167

Sumber : Surdia, 1999 : 12

2.6.3 Fluiditas

Fluiditas aliran yang lebih dikenal dengan sifat mampu alir adalah kemampuan dari suatu zat (dalam hal ini logam cair) untuk mengalir (berpindah tempat) dan mengisi cetakan sebelum membeku. Sifat ini erat kaitannya dengan kekentalan zat cair itu, semakin tinggi kekentalannya maka sifat mampu alirannya menurun. Tersapat beberapa factor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperature penuangan,

komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan kualitas dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini, komposisi logam juga mempengaruhi fluiditas, terutama menyangkut mekanisme pembekuan (solidifikasi) logam cair. Fluiditas yang baik terdapat pada logam yang membeku pada temperatur konstan, contohnya pada logam mulia. Saat solidifikasi terjadi pada range temperatur tertentu (terutama pada logam) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan *heat of fusion* (kalor laten), yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencairkan seluruhnya. Tinggi kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair.

2.7 Kecepatan Putar Cetakan

Kecepatan putar cetakan pada proses pengecoran merupakan banyaknya putaran yang dilakukan cetakan tiap satuan waktu. Kecepatan putar cetakan ini berkaitan langsung dengan proses solidifikasi dari logam cair ketika logam cair dituangkan kedalam cetakan. Hal ini dikarenakan kecepatan putar berhubungan dengan gaya sentrifugal, dari persamaan (2-1) dapat diketahui bahwa kecepatan putar berbanding lurus dengan gaya sentrifugal, semakin besar kecepatan putar maka gaya sentrifugal juga semakin besar. Adanya gaya sentrifugal dimana arahnya meninggalkan pusat putaran akan menekan logam cair ke dinding cetakan sehingga didapatkan struktur coran yang rapat dan padat. Selain itu menyebabkan terjadinya struktur *columnar* pada bagian dasar dan struktur *equaxed* pada bagian tengah serta mengakibatkan putusnya cabang dendrit yang berfungsi sebagai *grain refiner*, begitu juga akibat *solute enrichment*. Putusnya cabang dendrit adalah akibat dari *viscous force* (Rusli, 1995: 81).

Adanya kecepatan putar maka logam cair akan lebih cepat menumbuk cetakan, maka akan didapatkan struktur coran yang lebih rapat dan padat serta waktu untuk proses solidifikasi lebih lama sehingga struktur butiran lebih homogen.

2.8 Pengujian Porositas

2.8.1 Porositas Pada Pengecoran Logam

Porositas dapat terjadi karena terjebaknya gelembung-gelembung gas pada logam cair ketika dituangkan kedalam cetakan (Budinski, 1996 : 460). Porositas adalah suatu cacat (void) pada produk cor yang dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu

penyebab terjadinya porositas pada penuangan paduan aluminium adalah gas hidrogen. Gas hidrogen ini dapat terbentuk karena logam cair saat proses pengecoran dimulai dapat beroksidasi dengan karbonmonoksida dan karbondioksida. Penyebab lainnya adalah kontrol yang kurang sempurna terhadap absorpsi gas oleh paduan, pengeluaran gas dari logam karena interaksi antara gas dengan logam selama peleburan dan penuangan.

Faktor penting yang berhubungan dengan pembentukan porositas gas antara lain:

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

Pada saat proses penuangan, gas yang larut selama peleburan akan tertinggal setelah proses pembekuannya, karena kelarutan fasa cair lebih tinggi dari pada fasa padat. Gas yang dikeluarkan akan membentuk inti kristal pada struktur mikro pada cairan selama pembekuan dan diantara fasa padat-cair. Banyaknya porositas yang terjadi tidak saja karena gas hidrogen tetapi juga bergantung pada kecepatan pembekuan logam dalam cetakan. Makin rendah kecepatan pembekuan maka porositas yang terjadi akan lebih besar (Firdaus : 2002)

2.8.2 Perhitungan Porositas

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

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

dengan:

$\%P$ = Prosentase porositas (%)

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm³).

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm³).

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 (gr/cm^3). persamaan yang ada pada standar ASTM E252-84 yaitu:

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

dengan:

ρ_{th} = Densitas teoritis atau *True Density* (gr/cm^3).

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

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

➤ *Apparent Density*

Berat setiap unit volum material termasuk cacat (*void*) yang terdapat dalam material yang diuji (gr/cm^3). Standar ASTM B311-93 sebagaimana berikut:

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

dengan:

ρ_s = Densitas sampel atau *Apparent Density* (gr/cm^3).

ρ_w = Densitas air (gr/cm^3).

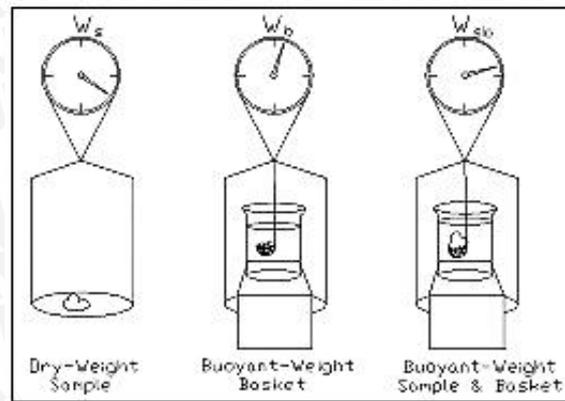
W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

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

2.8.3 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 2.6



Gambar 2.6 Skema Piknometri
Sumber: Taylor, 2000

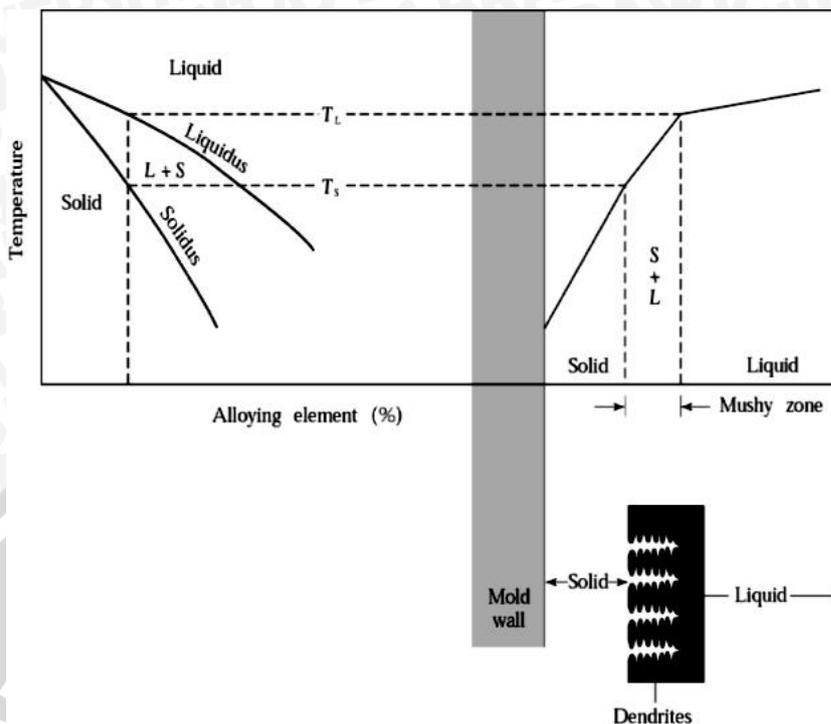
Tiga pengukuran berat yang dibuat adalah W_s = pengukuran berat kering (*dry weight*), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.6, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.9 Bahan Coran

Pada industri pengecoran logam dikenal berbagai macam bahan yang digunakan sebagai bahan pengecoran logam sebagai bahan pengecoran logam. Macam-macam bahan tersebut antara lain besi cor, baja cor, paduan tembaga, paduan aluminium, dan lain-lain (Surdia, 1986 : 4).

2.10 Pembekuan Logam

Logam paduan membeku pada *range* temperatur, bukan pada titik temperatur tertentu. Pembekuan dimulai ketika temperatur turun dibawah liquiditas dan selesai ketika mencapai solidus. Pada *range* temperatur ini logam dalam keadaan pasta (Kalpakjian. S, 1990: 280). Ilustrasi skematis dari proses ini ditunjukkan pada Gambar 2.7 dibawah ini.



Gambar 2.7 Skematis pendinginan dan distribusi temperatur logam paduan
 Sumber : Kalpakjian S, 1990 : 280

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

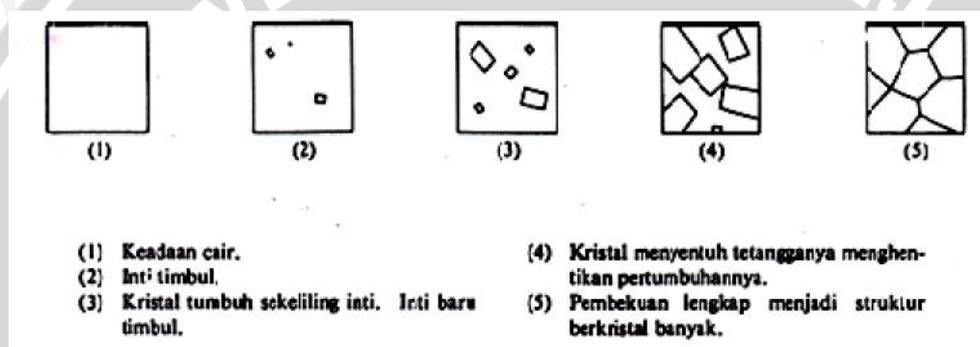
Dalam pembekuan logam cair, pada permulaannya tumbuh inti-inti kristal. Kemudian kristal-kristal tumbuh disekeliling inti tersebut, dan lain-lain yang baru timbul pada saat yang sama. Akhirnya seluruhnya ditutupi oleh butir-butir kristal sampai logam cair habis. Hal yang mengakibatkan bahwa seluruh logam menjadi susunan kelompok butir-butir kristal dan batas-batasnya yang terjadi diantaranya disebut butir.

Pada saat kristal yang satu bertemu dengan kristal lainnya yang sedang tumbuh, pertumbuhan kedua kristal tersebut terhenti dan permukaan singgungnya disebut batas butir.

Besar butir tergantung pada laju pendinginan dan proses pengerjaan panass atau pengerjaan dingin sewaktu logam dibentuk. Logam dengan butiran yang halus umumnya memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih baik dibandingkan dengan logam yang butirannya lebih kasar. Hal ini disebabkan karena pada proses deformasi, logam dengan butiran lebih halus mempunyai hambatan slip yang lebih besar. Logam dengan butir yang kasar lebih mudah permesinannya, lebih mudah dikeraskan melalui perlakuan panas dan

memiliki daya hantar listrik dan panas yang lebih baik. Logam berbutir kasar akan mengeras secara merata, sedangkan yang berbutir halus tidak mudah retak sewaktu dicelup (didinginkan dengan tiba-tiba).

Pada proses pengecoran, solidifikasi terjadi saat logam cair bersentuhan dengan cetakan, dimana terjadi gradien 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 kebagian 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. Proses terjadinya pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.8 berikut ini :



Gambar 2.8 Ilustrasi skematis dari pembekuan logam
 Sumber : Surdia, 1999 : 14

Secara umum ada tiga daerah yang bisa ditemui pada pembekuan logam coran, antara lain:

a. Daerah Pembekuan Cepat (*Chill Zone*)

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*.

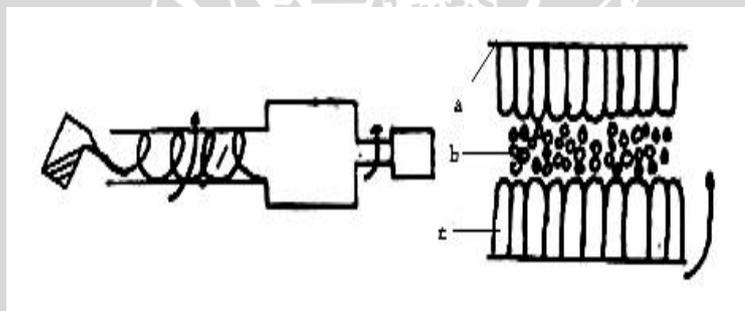
b. *Columnar Zone*

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 kolumnar 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 disekitar 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 bagaian tengah. (Rusli, 1995: 82). Daerah terjadinya pembekuan logam dapat dilihat dibawah ini.



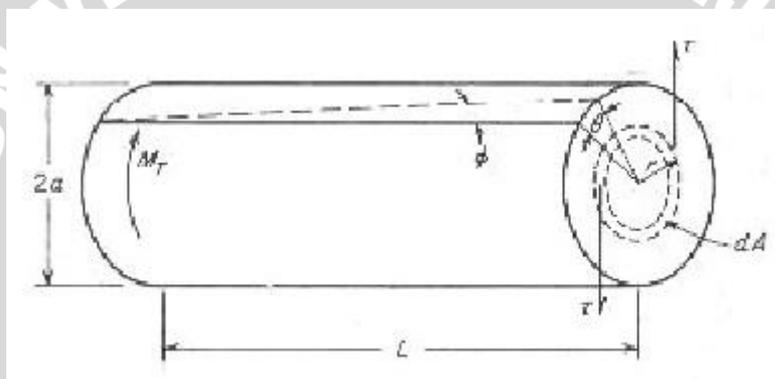
Gambar 2.9 Struktur yang dihasilkan dengan *Centrifugal Casting* a). *Chill zone*
b). *Equiaxed zone* c). *Columnar zone*

Sumber : Rusli, 1995 : 82

2.11 Kekuatan Puntir

Pengujian puntir merupakan jenis pengujian yang lebih spesifik dibandingkan pengujian-pengujian lainnya (tarik, kekerasan dan impak). Walaupun karakteristik mekanis material telah dapat diketahui dari hasil uji tariknya, pengujian puntir mampu memberikan informasi penting mengenai modulus dalam arah geser (shear), kekuatan luluh puntir dan modulus pemuluran (rupture). Pengujian ini umumnya dilakukan pada komponen-komponen hasil fabrikasi seperti poros, as roda, dan sebagainya.

Prinsip pengujian puntir yaitu benda uji puntir umumnya memiliki penampang lintang silinder, karena bentuk ini mewakili geometri paling sederhana dalam perhitungan tegangan yang terjadi pada material. Dalam batas elastik tegangan geser bervariasi secara linear dari nol di bagian pusat lingkaran hingga mencapai maksimum pada permukaan terluar benda uji. Pengujian dilakukan dengan mencengkam salah satu ujung benda uji silinder pada grip pemegang (chuck), sementara ujung lainnya diberikan pembebanan melalui kepala beban. Deformasi diukur dengan alat pengukur sudut puntir (twisting) yang dinamakan troptometer. Penentuan deformasi didasarkan atas perpindahan sudut (angular displacement) dari suatu titik yang berada dekat ujung benda uji terhadap posisi suatu titik dengan elemen longitudinal yang sama di ujung lainnya. Gambar 2.10 menunjukkan ilustrasi deformasi pada benda uji puntir :



Gambar 2.10 Pengujian puntir pada benda uji silinder pejal
Sumber : Dieter, 1988

Momen luar yang ditimbulkan pada salah ujung benda uji mendapat tahanan dari tegangan geser material. Tegangan tersebut bernilai nol pada pusat benda uji dan meningkat secara linier dengan penambahan jarak terhadap titik pusat. Kondisi kesetimbangan antara momen pemuntir luar dan momen reaksi dari material menghasilkan:

$$M_T = \int_{r=0}^{r=a} \tau r dA = \frac{\tau}{r} \int_0^a r^2 dA$$

(Dieter, 1988) (2-4)

dengan $r^2 dA$ adalah momen inersia polar dari benda uji dan biasa dinotasikan dengan J . Sehingga

$$M_T = \frac{\tau J}{r}$$

(Dieter, 1988) (2-5)

dan

$$\tau = \frac{M_T r}{J}$$

(Dieter, 1988) (2-6)

Dimana τ adalah tegangan geser (N/mm²), M_T momen puntir (N-mm), r jarak radial dari pusat (mm) dan J momen inersia polar yang tergantung geometris benda (mm⁴).

Untuk benda uji silinder pejal dimana $J = D^4/32$ maka tegangan maksimum yang terjadi pada permukaan adalah:

$$\tau_{\max} = \frac{M_T D/2}{\pi D^4/32} = \frac{16M_T}{\pi D^3}$$

(Dieter, 1988) (2-7)

Sementara benda uji silinder tubular $J = \pi/32(D_o^4 - D_i^4)$ dengan D_o diameter luar dan D_i diameter dalam, tegangan geser maksimum adalah:

$$\tau_{\max} = \frac{16 M_T D_o}{\pi (D_o^4 - D_i^4)}$$

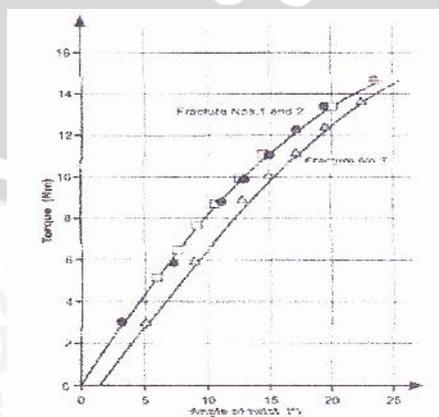
(Dieter, 1988) (2-8)

Besarnya regangan geser ditentukan oleh sudut puntiran (dalam satuan radian):

$$\gamma = \tan \theta = \frac{r\theta}{L}$$

(Dieter, 1988) (2-9)

dimana L adalah panjang benda uji pada gambar 2.10. Pada saat pengujian maka pengukuran yang dilakukan adalah momen puntir M_T dan sudut puntir untuk memperoleh diagram seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.11 berikut:



Gambar 2.11 Diagram momen puntir-sudut puntir
Sumber: Dieter, 1988

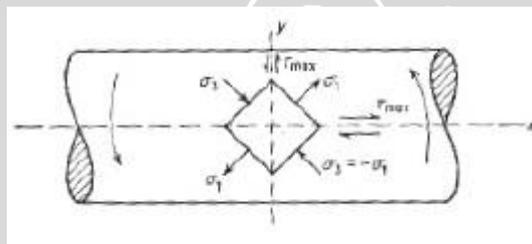
Pada daerah elastis, sebagaimana halnya hukum Hooke pada uji tarik, maka tegangan geser dapat dianggap proporsional dengan regangan gesernya. Konstanta proporsionalitas dalam hal ini adalah modulus kekakuan/elastisitas dalam geseran, G menghasilkan persamaan:

$$\tau = G\gamma \quad (\text{Dieter, 1988}) \quad (2.10)$$

Substitusi persamaan (2.6) dan (2.9) ke persamaan menghasilkan persamaan untuk modulus geser sebagai fungsi dari geometri benda uji, momen puntir dan sudut puntir:

$$G = \frac{MTL}{J\theta}$$

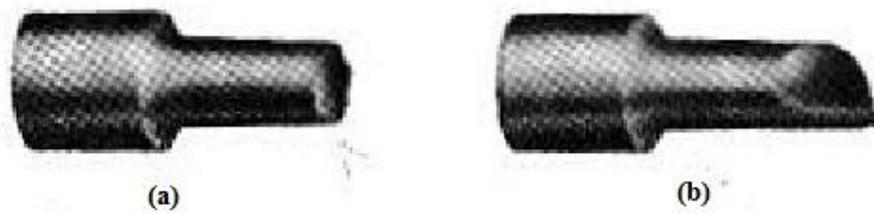
Keadaan tegangan internal yang terjadi pada suatu titik pada permukaan benda uji puntir pejal ditunjukkan oleh Gambar 2.12 berikut:



Gambar 2.12 Keadaan tegangan pada benda uji silinder pejal yang mengalami momen puntir
Sumber: Dieter, 1988

Tegangan geser maksimum yang terjadi pada dua bidang yang saling tegak lurus, tegak lurus terhadap sumbu longitudinal yy dan sejajar dengan sumbu longitudinal xx . Tegangan utama σ_1 dan σ_2 menghasilkan sudut 45° terhadap sumbu longitudinal dan setara nilainya dengan tegangan-tegangan geser. σ_1 adalah tegangan tarik sementara σ_2 tegangan tekan. Tegangan intermediat σ_3 adalah nol. Keadaan tegangan inilah yang dapat dipakai untuk menjelaskan bentuk perpatahan pada benda uji ulet dang etas.

Logam ulet akan mengalami kegagalan karena mekanisme geser yang terjadi sepanjang salah satu bidang tegangan geser maksimum. Umumnya bidang perpatahan tegak lurus terhadap sumbu longitudinal. Lihat Gambar 2.13.a.



Gambar 2.13. Jenis kegagalan Material dalam pembebanan puntir:
(a) Kegagalan ulet akibat mode geser dan (b) kegagalan getas akibat mode tarik
Sumber: Dieter, 1988

Material getas akan mengalami kegagalan dalam pembebanan puntir sepanjang bidang yang tegak lurus terhadap arah tegangan tarik maksimum. Karena bidang ini memotong sudut antara dua bidang tegangan geser dan membentuk sudut 45° terhadap arah-arah longitudinal dan transversal, maka perpatahan akan berbentuk heliks, seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.13.b. Bandingkan dengan kondisi tegangan dan perpatahan pada material ulet atau getas bila dikenakan pembebanan tarik atau tekan.

Pengujian puntir memiliki kelebihan daripada pengujian tarik dalam segala hal pengukuran dasar mengenai plastisitas material. Pengujian puntir mampu menghasilkan secara langsung kurva tegangan geser-regangan geser, yaitu melalui persamaan (2.7) dan (2.10). Nilai tegangan geser yang mampu diperoleh dalam uji puntir tanpa komplikasi terjadinya penciutan (neckling) dalam penarikan ataupun penggembungan (barreling) karena efek gesekan dalam penekanan (Yuwono, 2009).

Umumnya nilai torsi yang terjadi berbanding lurus dengan nilai sudut torsi dengan demikian semakin tinggi nilai torsi maka semakin besar pula sudutnya. Kekuatan torsi adalah jumlah maksimum dari tegangan torsi sebuah benda/logam sebelum benda tersebut rusak oleh momen puntir yang terjadi (Azom, 2006).

2.12 Hipotesa

Semakin tinggi kecepatan putar maka gaya sentrifugal yang terjadi semakin besar sehingga logam cair akan lebih cepat menumbuk cetakan dan didapat struktur coran yang lebih rapat dan padat serta waktu proses untuk solidifikasi lebih cepat sehingga struktur butiran semakin kecil sehingga kekuatan puntir meningkat dan cacat porositas akan semakin berkurang karena gas yang terjebak di dalam cetakan akan terdorong keluar melalui lubang pada poros cetakan.