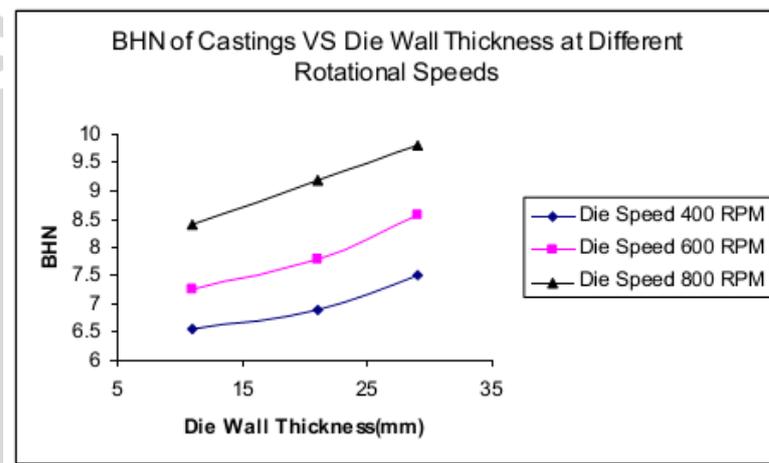


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Kecepatan putar cetakan merupakan salah satu variabel penting dalam pengecoran sentrifugal. Laju pendinginan logam cair dalam cetakan sangat bergantung pada mekanisme transfer panas dari logam cair menuju cetakan yang berputar. Dalam pengecoran sentrifugal, gaya sentrifugal akan menekan logam cair menuju dinding cetakan sehingga dapat menyebabkan pendinginan (solidifikasi) yang cepat pada logam cair. **Madhusudan** (2010) melakukan penelitian mengenai masalah kecepatan putar dan ketebalan cetakan pada pengecoran sentrifugal. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin tebal dinding cetakan yang digunakan pada kecepatan yang semakin tinggi, maka kekerasan yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.1



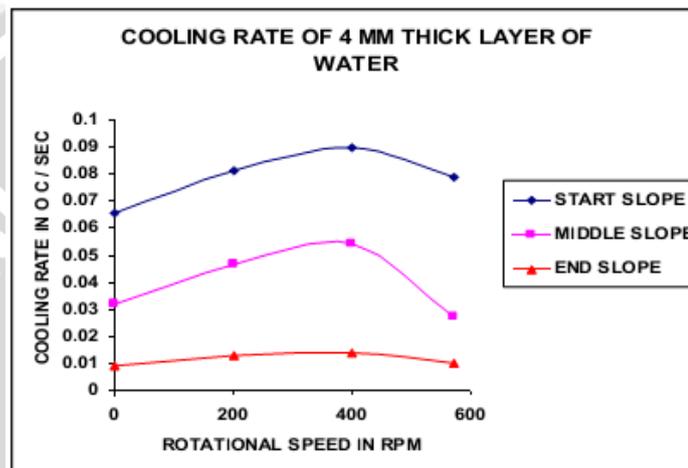
Gambar 2.1 Grafik Hubungan Antara Ketebalan Dinding Cetakan Dengan Kekerasan Pada Kecepatan Putar Cetakan Proses Pengecoran Sentrifugal

Sumber : Madhusudan, *Effect Of Mould Wall Thickness On Rate Of Solidification Of Centrifugal Casting*, 2010

Dari sini dapat diketahui bahwa semakin tebal dinding cetakan dan semakin tinggi putaran yang didapatkan, maka kecepatan pendinginan akan meningkat seiring pertambahan kecepatan putar dan ketebalan cetakan yang digunakan.

Dari penelitian **Madhusudhan** (2010), “*experimental study on rate of solidification of centrifugal casting*”, dengan menggunakan variasi kecepatan putar *centrifugal casting* 200 rpm, 400 rpm, 600 rpm dan 800 rpm membuktikan bahwa kecepatan putar dari cetakan berperan penting dalam tingkat pendinginan (pembekuan)

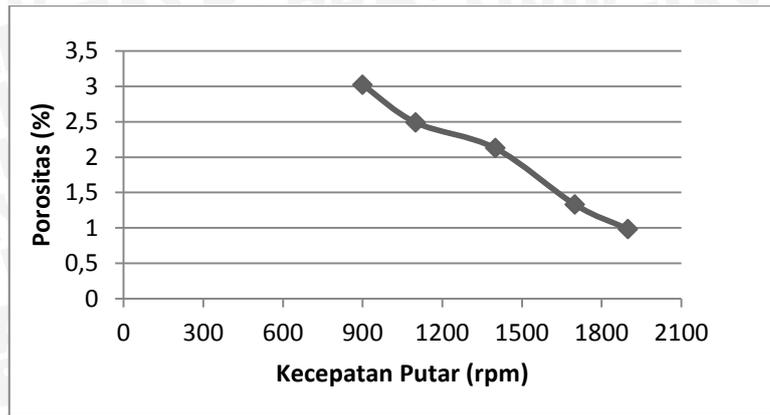
dari pengecoran. Pada kecepatan sedang (di bawah kecepatan optimal), aliran logam akan turbulenta, maka laju pendinginan menjadi lebih cepat. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa semakin tinggi kecepatan rotasi, maka gaya sentrifugal juga meningkat, yang membuat konveksi kuat di logam cair, pada kecepatan putar di atas kecepatan optimal, laju pendinginan logam lebih lambat karena pergerakan relatif diabaikan antara silinder berputar dan cairan logam. Karena pada tahap ini, cairan membentuk lapisan konsentris seragam ke profil cetakan. Hasil ini sangat membantu untuk mengkorelasikan proses pengecoran. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Grafik Pengaruh Kecepatan Rotasi Dengan Kecepatan Pendinginan

Sumber : Madhusudhan, *Experimental Study On Rate Of Solidification Of Centrifugal Casting*, 2010

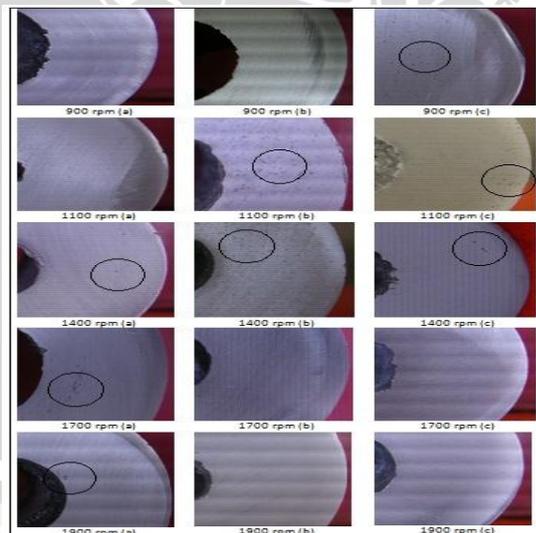
Dari penelitian **Debi** (2011), yang menggunakan variasi putaran 900rpm; 1100rpm; 1400rpm; 1700rpm dan 1900rpm menunjukkan bahwa kecepatan putar cetakan yang digunakan mempengaruhi jumlah prosentase porositas. Hasil dari penelitian tersebut dapat membantu korelasi proses pengecoran sentrifugal. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3 Grafik Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Porositas Sebelum Permesinan Hasil Pengecoran Sentrifugal

Sumber : Debi, Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Distribusi Cacat Porositas Pada *Pulley Al-Si-Mg Alloy* Produk *Centrifugal Casting*, 2011

Semakin tinggi kecepatan putar cetakan yang digunakan akan menghasilkan porositas dengan prosentase yang sedikit. Dengan putaran 900 rpm menghasilkan porositas sebesar 3%. Dengan putaran yang lebih tinggi, contohnya dengan putaran 1100 rpm, akan dihasilkan porositas pada hasil coran sebesar 2,5%. Begitu pula dengan kecepatan putaran yang lebih tinggi, maka akan menghasilkan produk coran dengan prosentase porositas yang semakin sedikit.



Gambar 2.4 Foto Makro Porositas Perbagian Hasil Coran Pada Masing-masing Kecepatan (a) Depan, (b) Tengah, (c) Belakang Yang Nampak Pada Lingkaran Hitam

Sumber : Debi, Pengaruh Kecepatan Putar Terhadap Distribusi Cacat Porositas Pada *Pulley Al-Si-Mg Alloy* Produk *Centrifugal Casting*, 2011

2.2 Pengecoran Logam

Pengecoran logam merupakan teknik membuat produk dengan beberapa tahapan diantaranya adanya peleburan logam, adanya penuangan logam cair kedalam cetakan, adanya pembekuan logam didalam cetakan, pembongkaran cetakan dan analisa produk hasil pengecoran. Manusia mulai mengetahui pengecoran logam sejak mengetahui pencairan logam dan pembuatan cetakan. Sejarah pengecoran logam dimulai kira-kira tahun 2000 SM dan dalam zaman cina kuno semasa YIN, kira-kira 1000 sampai 1500 SM. Teknik pengecoran Mesopotamia diteruskan juga ke Eropa 1400 sampai 1500 SM. Barang-barang seperti mata baja dan mata tombak dibuat di Spanyol, Swiss, Jerman, Australia, Norwegia, Denmark, Swedia, Inggris dan Perancis. Sedangkan teknik pengecoran India dan Cina diteruskan ke Jepang dan Asia Tenggara, sehingga di Jepang banyak patung Budha yang dibuat antara 600 – 800 SM.

Prinsip dasar pengecoran logam adalah mencairkan logam dalam dapur kemudian menuangkan logam cair tersebut kedalam sebuah cetakan, yang mana cetakan tersebut memiliki kemampuan untuk tahan terhadap temperatur tinggi dengan bentuk rongga cetakan (*cavity*) sesuai bentuk logam yang di buat, kemudian dibiarkan dingin sehingga membeku. Dalam melakukan pengecoran logam terdapat beberapa urutan kegiatan yang harus dilakukan diantaranya membuat cetakan, pencairan logam, pembersihan logam, dan pemeriksaan hasil coran, ada beberapa keuntungan dari proses pengecoran dibanding proses pembentukan logam lainnya, antara lain :

- Dapat membuat bentuk yang kompleks, baik di bagian luar maupun bagian dalam, sehingga banyak proses yang dapat diminimalisir.
- Dapat digunakan untuk produksi massal.
- Dapat membuat benda dengan ukuran yang sangat besar dan berat.
- Beberapa sifat mekanik yang lebih baik bisa diperoleh dengan proses pengecoran.
- Sangat ekonomis.

Secara umum proses pengecoran dikelompokkan berdasarkan cetakkannya menjadi dua yaitu:

- *Expandable mold casting*. adalah pengecoran dengan cetakan yang harus dibuat setiap akan melakukan proses pengecoran. Bahan cetakan

umumnya adalah pasir, gips, keramik, dan material sejenis yang dicampur dengan bahan pengikat.

- *Permanent mold casting* adalah pengecoran dengan cetakan tetap, bahan cetakan umumnya terbuat dari baja atau logam tahan panas yang lain. Berdasarkan metode pengecorannya, maka proses pengecoran dapat dibagi antara lain menjadi:

1. *Pressure Diecasting*

Proses ini sangat cocok untuk produksi massal *part-part* dengan ukuran yang kecil. Berat dari *part-part* tersebut bisa mencapai 5 kg. Terdapat 2 macam proses yaitu :

- *High Pressure Diecasting*

Proses ini dilakukan dengan cara memasukkan logam cair ke dalam cetakan dengan tekanan dibawah tekanan atmosfer. Kombinasi pemasukan logam yang cepat dan pembekuan yang cepat dalam tekanan yang tinggi akan menghasilkan produk yang padat dan memiliki permukaan yang halus, sehingga sifat mekaniknya menjadi lebih baik.

- *Low Pressure Diecasting*

Pada proses ini logam cair dimasukkan ke dalam cetakan pada tekanan mencapai 170 kPa. Pembuatan plat tipis lebih baik dengan proses ini daripada dengan *permanent mould casting*.

2. *Permanent Mould Casting*

Proses ini cocok untuk produksi massal dan biasanya cetakannya lebih besar daripada *pressure diecasting*, dengan berat *part* maksimum sekitar 10 kg.

Peralatannya lebih murah daripada *pressure diecasting*. Intinya dapat menggunakan pola yang kompleks. Proses ini menggunakan gaya gravitasi untuk menuangkan logam cair sehingga kecepatan penuangannya relatif rendah. Cetakan dari logam akan mempercepat pembekuan. Coran yang dihasilkan mempunyai sifat mekanik yang cukup baik. *Permanent mould diecasting* bisa menggunakan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekaniknya. Untuk sifat mekanik yang maksimal, pemanasan hingga fase cair-padat, dilanjutkan dengan *quenching*, dan penuaan (*aging*) baik secara alami maupun buatan.

3. *Sand Casting* (cetakan pasir)

Cetakannya dibuat dengan cara memadatkan pasir di atas pola. Sehingga ketika pola diangkat akan terbentuk rongga cetakan. Logam cair di tuang ke dalam cetakan, dan setelah membeku cetakannya dapat dihancurkan. Proses ini serbaguna dan biayanya

murah serta dapat menggunakan berbagai jenis paduan. Proses ini akurasi dimensinya buruk dan permukaan corannya cenderung kasar. Keuntungannya ada pada fleksibilitas dari jumlah coran, yaitu bisa sedikit atau banyak.

4. *Shell Mould Casting*

Cetakannya dibuat dari campuran resin dengan pasir dengan ketebalan 10-20 mm. Permukaan hasil corannya lebih halus dan dimensinya lebih tepat dari pada dengan cetakan pasir. Peralatannya relatif mahal dan polanya tidak bisa terlalu kompleks.

5. *Plaster Casting*

Pada proses ini cetakan dibuat dari gips. Adonan gips dituang di sekitar pola, dibakar, kemudian pola diambil dari cetakan. Cetakan bisa dipakai lagi dan memungkinkan coran dibuat dengan detail yang cukup akurat. Permukaan coran yang dihasilkan cukup baik. Walaupun biaya peralatan murah tetapi biaya operasinya tinggi.

6. *Investment Casting*

Proses ini menggunakan cetakan dari bahan *refractory* yang dibentuk pada pola dari lilin atau bahan *thermoplastic*. Adonan *refractory* dituangkan di sekitar pola, kemudian dikeringkan dan pola dikeluarkan dengan cara dicairkan. Logam kemudian dituang ke dalam cetakan yang terbakar. Produk yang dihasilkan hampir tidak membutuhkan proses permesinan lagi. Dapat menghasilkan dinding yang tipis, akurasi dimensi yang baik, dengan permukaan hasil coran yang halus digunakan untuk membuat komponen *engineering* yang presisi.

7. *Centrifugal Casting* (Pengecoran Sentrifugal)

Pengecoran sentrifugal suatu metode pengecoran logam dengan cara penuangan logam ke dalam cetakan yang berputar dengan kecepatan tertentu, sumbu putar posisi horizontal, vertikal atau dengan kemiringan yang sesuai. Cetakan dapat dibuat dari baja, gips, dan besi cor. Ada keterbatasan pada bentuk dan ukuran dari coran yang mungkin dihasilkan pada pengecoran ini dan biayanya tinggi.

2.3 Pengecoran Sentrifugal

Proses pengecoran sentrifugal dilakukan dengan cara menuangkan logam cair kedalam cetakan yang berputar. Di bawah 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 coran yang berbentuk simetris (B.H.Amstead.1979:118). Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

Dengan adanya pengaruh gaya sentrifugal maka benda coran akan mengalami pembekuan dan memadat. Pemadatan akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Adanya penekanan menyebabkan logam cair seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa, sehingga titik luluh dari benda kerja semakin meningkat. Pada pengecoran sentrifugal logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal atau vertical, sesuai dengan penerapan hukum II Newton, gaya sentrifugal pada benda yang berputar adalah sebanding dengan radius putar dan kuadrat dari kecepatan putarnya (Zemansky, 1985 : 135). Hal ini dapat dilihat dalam persamaan (2-1) di bawah ini.

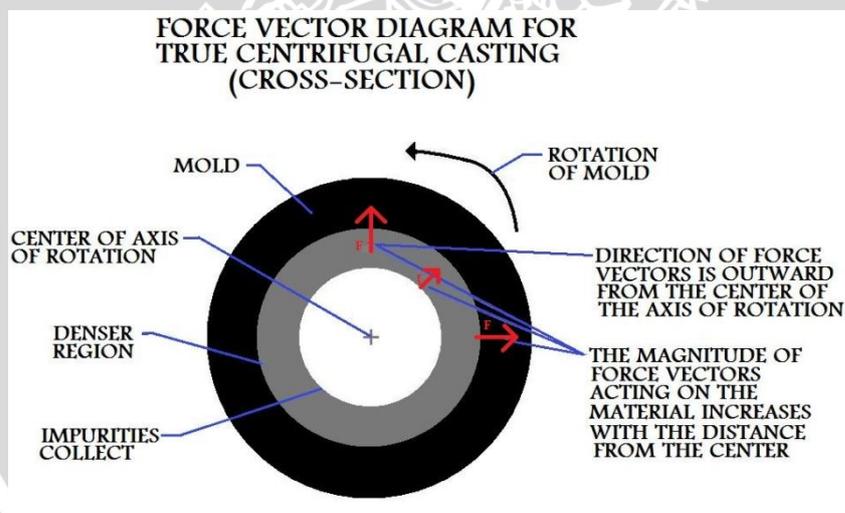
$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r \quad (2-1)$$

dengan : F_c = Gaya Sentrifugal (N)

m = massa (kg)

ω = kecepatan sudut (rad/s)

r = radius (m)



Gambar 2.5 Diagram gaya vektor untuk pengecoran sentrifugal horizontal

Sumber: http://thelibraryofmanufacturing.com/true_centrifugal_casting.html

2.3.1 Aplikasi dari Pengecoran Sentrifugal

Contoh komponen yang diproduksi dengan pengecoran sentrifugal terdapat dalam table 2.1.

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	Copper alloys
		Piston rings	
		Cylinder liners	Cast Iron
		Paper making rollers	Copper alloys
		Gas turbine rings	Heat resisting steel
	&		Nicel 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, 2001 : 643

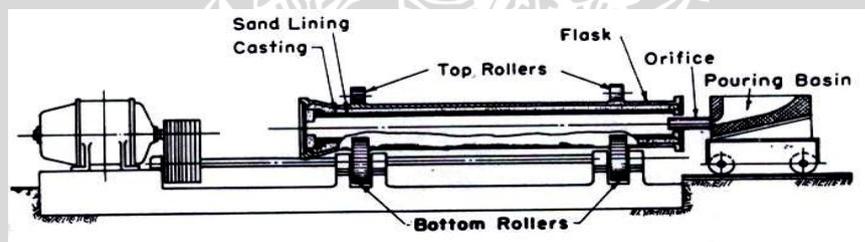
Penggunaan metode pengecoran sentrifugal cukup efektif, mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 30 ton lebih. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang lebih tipis.

Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode (*P.L Jain, 1979:122*) antara lain :

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

2.3.2 Pengecoran Sentrifugal Sejati

Pada pengecoran sentrifugal sejati, metode ini digunakan untuk membuat pipa, lapisan (*liner*) mesin dan objek simetris lainnya. Cetakan diputar mengitari sumbu horizontal atau vertikal, dan logam cair dituangkan kedalam salah satu ujungnya. Akibat adanya gaya sentrifugal, logam cair terlempar keluar dan tertekan pada permukaan cetakan sehingga terbentuk rongga silindris. Besar putaran yang digunakan bervariasi antara 600 sampai 3000 rpm (*Jain, 1979 : 51*). Pengecoran sentrifugal ditunjukkan pada gambar 2.1 dibawah ini.

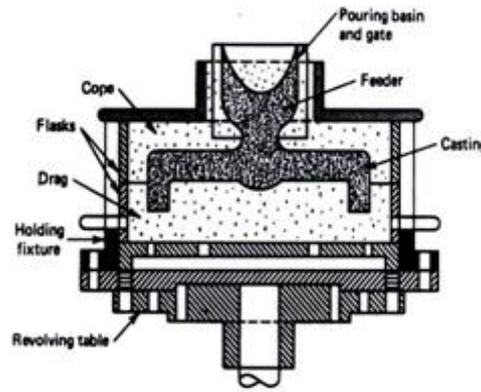


Gambar 2.6 Pengecoran Sentrifugal Horizontal

Sumber : De Garmo, 1997 : 408

2.3.3 Pengecoran Semi-sentrifugal

Pada proses pengecoran semisentrifugal cetakan di isi 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, diperlihatkan pada gambar 2.2

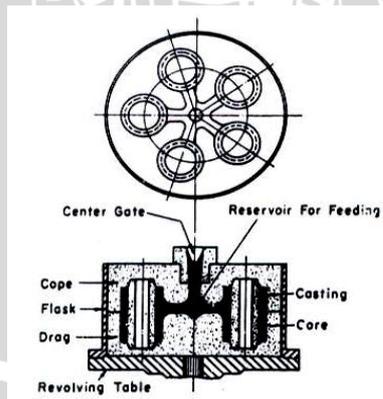


Gambar 2.7 Pengecoran Semisentrifugal

Sumber: De Garmo, 1997 : 410

2.3.4 Sentrifuging

Untuk proses sentrifuging, logam cair dituangkan dibagian 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 2.3 dengan sekali tuang dihasilkan 5 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 2.8 Sentrifuging

Sumber : De Garmo, 1997 : 411

2.4 Aluminium

2.4.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari biji aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan aluminium murni dilakukan proses pemurnian pada bauksit yang menghasilkan oksida aluminium atau alumina. Kemudian alumina ini dielektrosa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium adalah logam terpenting dari logam nonferro. Penggunaan aluminium adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia, T.1999 : 129). Keutamaan aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifatnya yang unik dan menarik, yaitu mudah untuk pengerjaan lanjutan, beratnya ringan, ketahanan korosi yang baik, konduktivitas listrik dan panas yang baik. (De Germa.1998 : 157).

2.4.2 Sifat-sifat Aluminium

Aluminium mempunyai beberapa sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Sifat-sifat fisik aluminium

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

Sumber: T.Surdia dan S.Saito, 1999:134

Sifat-sifat aluminium meliputi :

1. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas aluminium rendah, jadi harus dipertimbangkan pada saat bahan tersebut dikerjakan dingin karena adanya *springback* pada saat beban pembentukan dihilangkan. Keburukan yang paling serius dari segi teknik adalah sifat elastisitas aluminium sangat rendah hampir tidak dapat diperbaiki baik dengan pemanduan maupun dengan *heat treatment*.

2. Kekuatan *Creep*

Kekuatan creep aluminium biasanya dibatasi penggunaannya hanya pada temperatur yang rendah. Sebagai contoh untuk campuran jenis 20185-T61 memiliki kekuatan luluh 48000 psi pada temperatur ruang, namun hanya akan memiliki kekuatan luluh 17000 psi pada temperatur 250° C. Kekuatan luluh beberapa campuran yang lain menunjukkan penurunan yang serupa pada temperatur yang sama.

3. Ketahanan korosi

Sifat tahan korosi aluminium diperoleh karena terbentuknya lapisan oksida aluminium pada permukaan aluminium. lapisan oksida ini melekat pada permukaan yang kuat dan rapat serta sangat stabil. Paduan aluminium tahan terhadap serangan konsentrasi asam nitrit, asam organik, dan asam sulfur. Ketahanan korosi aluminium juga menunjukkan ketahanan yang bagus.

4. Ketahanan aus

Ketahanan aus dari aluminium sangat jelek, hal ini dapat diperkirakan dari harga batas luluh dan kekerasan yang sangat rendah. Sifat ini dapat diperbaiki dengan aluminium dengan logam lainnya seperti Cu.

2.4.3 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 alirnya serta 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". Magnesium juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan

unsur magnesium digunakan untuk meningkatkan daya tahan aluminium dan meningkatkan sifat mampu bentuk serta mampu mesin aluminium tanpa menurunkan keuletannya.

➤ Ferrous (Fe)

Ferrous adalah sebuah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki simbol Fe dan nomor atom 26. Fe merupakan logam transisi dan bersifat *ferromagnetic* (<http://id.wikipedia.org/besi>). Penambahan Fe dimaksudkan untuk mengurangi penyusutan, tetapi apabila kandungan Fe terlalu besar akan menyebabkan struktur butiran yang kasar. Hal ini dapat diperbaiki dengan menambahkan sejumlah Mn dan C dalam prosentase kecil.

➤ Mangan (Mn)

Mangan adalah unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Mn dan nomor atom 25. Penambahan Mn akan meningkatkan ketahanan karat aluminium dan apabila dipadu dengan Mg akan memperbaiki kekuatannya

➤ Zinc (Zn)

Seng (atau zinc) adalah unsur kimia dengan simbol kimia Zn, nomor atom 30, dan massa atom relatif 65,39. Umumnya ditambahkan dengan tembaga dalam prosentase yang kecil. Dengan penambahan ini akan meningkatkan sifat-sifat mekanis tanpa perlakuan panas serta memperbaiki sifat mampu mesin.

➤ Cooper (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa latin *Cuprum* merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang lambat sekali. Tembaga juga bersifat *paramagnetic*. Penambahan Cu akan memperbaiki sifat mampu mesin aluminium paduan. Selain itu dengan atau tanpa paduan lainnya akan meningkatkan kekuatan, dan kekerasan.

2.4.4 Penggolongan Paduan Aluminium

Paduan Al diklasifikasikan dalam berbagai standar oleh negara didunia. saat ini klasifikasi yang terkenal adalah *standart aluminium association* di Amerika (AA) yang berdasar pada Alcoa (Aluminium Company of America).

Paduan aluminium berdasar pemuaduannya dibagi menjadi dua yaitu :

1. Paduan aluminium tempa (*Wrought alloy*)

Dibuat dengan jalan *rolling*, *forming* (paduan tempa), *drawing*, *forging*, dan *press working*. Berupa barang setengah jadi misalnya batang, plat, dll. Paduan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan komposisi kimianya.

Tabel 2.3 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 silicon (Mg2Si)
7xxx(7070-7079)	70S-79S	Zinc (Zn)

Sumber : Surdia, T. 1999 : 134

2. Paduan aluminium cor (*Casting- Aluminium Alloy*)

Dibuat berdasarkan pengecoran (paduan tuang). Paduan ini merupakan paduan yang kompleks dari Al dengan Cu, Ni, Fe, Si, dan unsur lainnya.

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
Magnesium dan Silikon	6xx.x
Seng	7xx.x
Elemen lain	8xx.x

Sumber : De Garmo, 1997 : 176

2.4.5 Aluminium Paduan

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

1. Paduan Al-Cu

Jenis paduan Al-Cu adalah jenis yang dapat dilaku panas. Dengan melalui pengerasan endapan/penyepuhan sifat mekanis paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak tetapi daya tahan korosinya lebih rendah bila dibandingkan jenis paduan lainnya (R.W. Heine, 1976:294). *Copper* adalah salah satu unsur paduan penting yang digunakan pada Al karena dengan paduan ini akan membentuk *solid-solution strengthening* dan dengan *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan kekuatannya dengan membentuk *precipitate*. Kelarutan maksimal Cu didalam Al adalah pada kandungan 5,65 % Cu dengan temperatur berkisar 550 °C. Kelarutan Cu akan turun sesuai dengan penurunan temperatur. Pada temperatur ruang batas kelarutan Cu didalam Al adalah kurang dari 0,1 %.

2. Paduan Al-Zn

Paduan ini lebih banyak mengandung Aluminium dan merupakan paduan yang memiliki ketahanan korosi yang baik. Dalam penggunaannya biasa di aplikasikan untuk konstruksi tempat duduk pesawat terbang, perkantoran dan konstruksi lainnya yang membutuhkan perbandingan antara ketahanan korosi dan berat yang tidak terlalu besar. Titik lebur dari aluminium paduan Al-Zn 476-657 °C (<file:///G:/Matweb%20al-zn/datasheet.aspx%20casting%207000.htm>).

3. Paduan Al-Mn

Mn merupakan unsur yang meperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosinya dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan korosi. Jumlah paduan yang terkandung dalam paduan ini adalah 25,3% (Surdia Tata, 1986 :136).

4. Paduan Al-Si

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

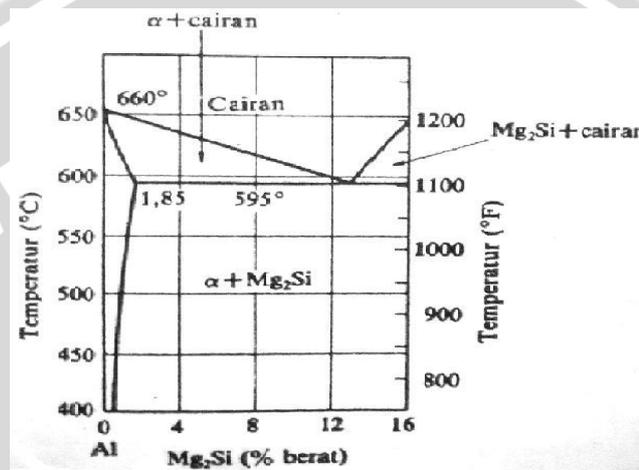
5. Paduan Al-Mg

Paduan Al-Mg mempunyai ketahanan korosi yang sangat baik. Biasanya disebut *hidronalium* dan dikenal sebagai paduan yang tahan korosi. Cu dan Fe sangat

berbahaya bagi ketahanan korosi, sehingga diperlukan perhatian khusus terhadap unsur pengotor tersebut.

6. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si merupakan jenis paduan aluminium seri 6xxx, sebagai paduan praktis dapat diperoleh paduan 6053, 6063 dan 6061. Paduan dalam system ini mempunyai kekuatan yang kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, sangat liat, sangat baik untuk ekstrusi, dan sangat baik pula untuk diperkuat dengan perlakuan panas setelah pengerjaan.



Gambar 2.9 Diagram Fasa Paduan Al-Mg₂Si

Sumber : Tata Surdia, Pengetahuan Bahan Teknik (2005:139)

2.5 Pembekuan Logam

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.

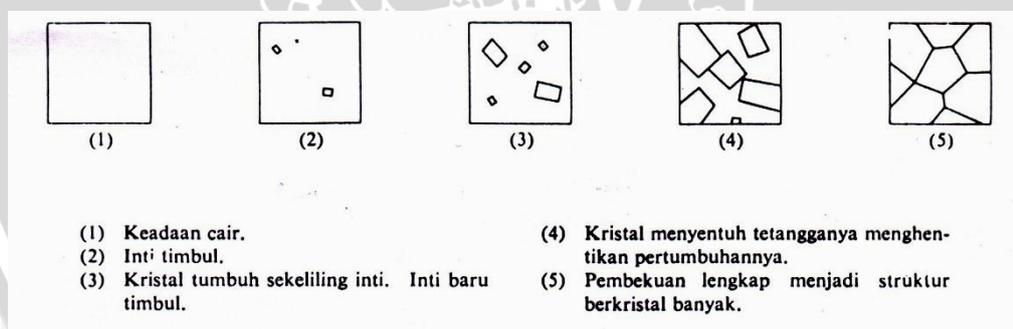
Atom logam pada kondisi cair berada dalam posisi tidak teratur. Ketika mulai membeku, atom-atom mulai menyusun diri dalam suatu struktur ruang. Atom yang mula-mula menyusun diri adalah atom yang lebih dahulu stabil. Susunan awal atom disebut inti dan proses pembentukan inti disebut pengintian (*crystallization*). Misalnya, logam dengan kristal FCC, maka untuk membentuk inti diperlukan 12 atom. Setelah terbentuk inti, atom-atom lain disekitarnya akan mengikuti inti tersebut, sehingga seolah-olah inti berkembang dan memiliki cabang-cabang yang disebut *dendrite*.

Pada proses pengintian akan timbul banyak inti sehingga banyak pula muncul *dendrite*, yang masing-masing memiliki arah atau orientasi yang berbeda-beda. Dendrit akan berkembang lebih besar sehingga nantinya akan menyinggung *dendrite-dendrite*

lain 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 atom-atom dari butir lain (yang kurang stabil) akan mengikuti orientasi butir tersebut. Apabila keadaan ini berlangsung terus maka pada akhirnya akan terdapat satu butir saja. Jika logam didinginkan dengan lambat, maka *dendrite* 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.

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 dari pada bagian dalam, sehingga inti atom 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 akhirnya memadat seluruhnya. Ilustrasi pembekuan logam dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut :



Gambar 2.10 Ilustrasi Skematis Dari Pembekuan Logam
 Sumber: Surdia, 1980 : 14

Umumnya terdapat tiga daerah yang terjadi pada pembekuan logam coran, antara lain :

- 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

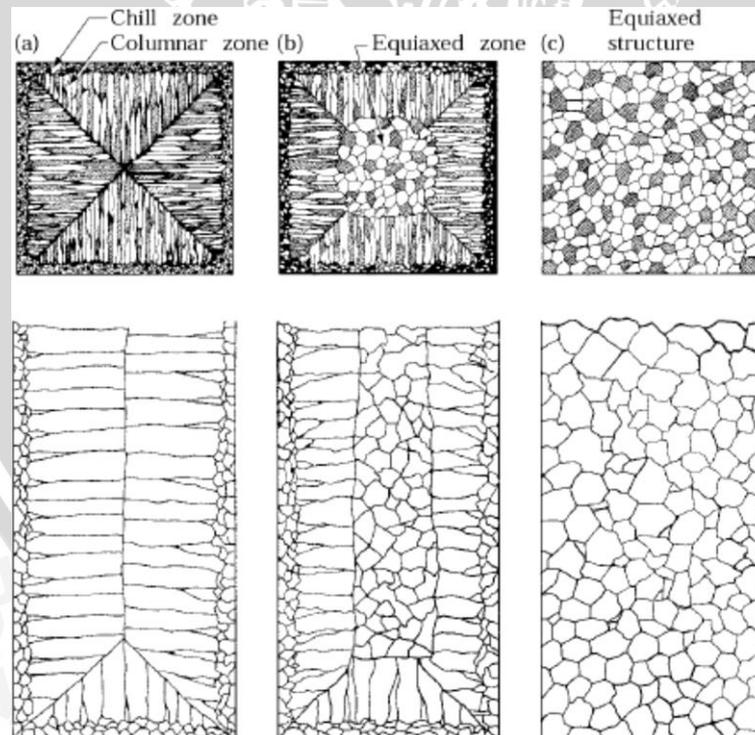
kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan dan apabila suhu penuangan yang cukup tinggi dimana cairan yang berada ditengah-tengah coran tetap diatas temperatur leburnya sehingga dapat menyebabkan kristal yang dekat dengan daerah tersebut mencair lagi meninggalkan dinding cetakan. Hanya kristal yang berada pada dinding cetakan yang tumbuh menjadi chill zone.

- *Columnar zone*

Columnar zone merupakan 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 kolomnar dengan cairan dapat berbentuk selular maupun selular dendritik.

- *Equiaxed zone*

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



Gambar 2.11 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*

Sumber: Kalpakjian, 1990 : 279

2.6 Porositas

2.6.1 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.
- Tekanan udara yang berlebih.
- Temperatur cetakan.
- 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.

2.6.2 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 kecil. Ukuran khas 5-10 μm untuk pori-pori di dalam butir *equiaxed*. Ukuran ini sangat kecil bahkan pori-pori kadang-kadang sulit untuk dideteksi.

2.6.3 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:

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

dengan:

$\%P$ = Prosentase porositas (%)

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

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

2.6.4 Densitas

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

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2-3)$$

dengan :

ρ = kepadatan sebuah benda (gr/cm^3)

m = massa total benda (gr)

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

$$\rho_{th} = \frac{100}{\{(\%Al/\rho_{Al})+(\%Cu/\rho_{Cu})+(\%Fe/\rho_{Fe})+etc.\}} \quad (2-4)$$

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:

$$\rho_s = \rho_w \frac{W_s}{W_s - (W_{sb} - W_b)} \quad (2-5)$$

dengan:

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

ρ_w = Densitas air (gr/cm^3).

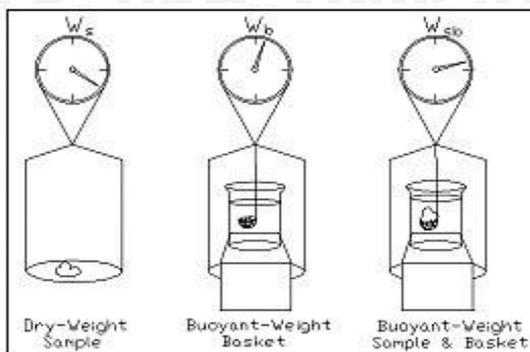
W_s = Berat sampel di luar air (gr)

W_b = Berat keranjang di dalam air (gr)

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

2.6.4.2 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 2.9



Gambar 2.12 Skema Piknometri

Sumber: Taylor, 2000

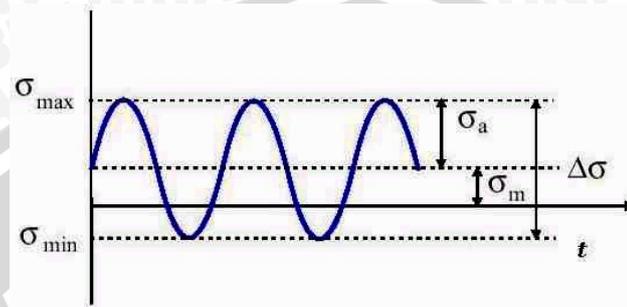
Tiga pengukuran berat yang dibuat adalah W_s = pengukuran berat kering (dry weight), W_{sb} = pengukuran berat apung keranjang dan sampel, dan W_b = pengukuran berat apung keranjang. Pada gambar 2.9, pengukuran berat apung dibuat dengan menggantungkan sampel menggunakan suatu keranjang kawat dalam sebuah bejana berisi cairan yang disangga oleh sebuah penyeimbang yang menggunakan kawat penggantung.

2.7 Fatigue

Fatigue (kelelahan) pada logam dapat diartikan sebagai patahnya logam akibat pembebanan berulang dalam sejumlah siklus. Menurut ASTM (*American Society of Testing Material*), *fatigue* didefinisikan sebagai proses perubahan yang progresif pada struktur secara permanen di lokasi tertentu atau terlokalisir yang disebabkan oleh siklus beban berulang (*stress* atau *strain*), dengan akumulasi dari perubahan ini akan mengakibatkan retak (*crack*) ataupun patah (*fracture*). Proses terjadinya kelelahan melalui tiga kejadian, yaitu :

1. Naiknya tegangan pada daerah retak yang dapat menimbulkan adanya konsentrasi tegangan yang kemudian akan terjadi bentuk plastis. Kemudian terjadi retak mikro pada daerah tersebut.
2. Retak mikro akan berkembang dan jika pembebanan berulang diteruskan, retak akan merambat.
3. Setelah retak merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang sisa yang belum retak dan akhirnya terjadi *final fracture*.

Kekuatan lelah suatu logam mempengaruhi umur lelah dari suatu logam dan untuk memperkirakannya ada beberapa faktor yang diperhitungkan salah satunya adalah pembebanan. Parameter pembebanan yang berpengaruh terhadap kelelahan logam adalah tegangan rata-rata, σ_m dan tegangan amplitudo, σ_a serta frekwensi pembebanan seperti yang ditunjukkan pada siklus tegangan dan waktu pada gambar 2.10 berikut ini:



Gambar 2.13 Siklus Hubungan Tegangan Dan Waktu

Sumber : Abrianto, 2007: 12

Tegangan amplitudo:

$$S_a = \sigma_a = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / 2 \quad (\text{Abrianto; 2007: 12}) \quad (2-6)$$

Tegangan rata-rata:

$$S_m = \sigma_m = (\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2 \quad (\text{Abrianto, 2007: 12}) \quad (2-7)$$

Rasio tegangan:

$$R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} \quad (\text{Abrianto, 2007: 12}) \quad (2-8)$$

Besarnya tegangan rata-rata yang bekerja akan menentukan terhadap besarnya tegangan amplitudo yang diijinkan untuk mencapai suatu umur lelah tertentu. Bila tegangan rata-rata sama dengan 0 atau rasio tegangan sama dengan -1, maka besarnya tegangan amplitudo yang diijinkan adalah nilai batas lelahnya (S_e). Dengan demikian jika tegangan rata-ratanya semakin besar maka tegangan amplitudonya harus diturunkan. Perbandingan dari tegangan amplitudo terhadap tegangan rata-rata disebut rasio amplitudo ($A=S_a/S_m$), sehingga hubungan antara nilai R dan A yaitu sebagai berikut:

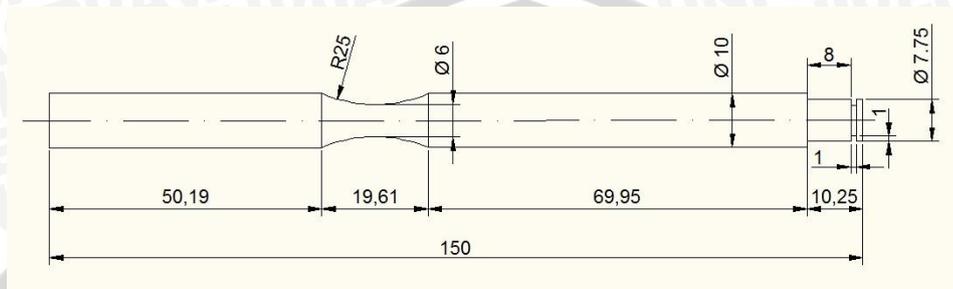
jika $R = -1$, maka $A = \infty$ (kondisi fully reversed)

jika $R = 0$, maka $A = 1$ (kondisi zero to maximum)

jika $R = \infty$, maka $A = -1$ (kondisi zero to minimum)

2.7.1 Bentuk dan Ukuran Benda Uji

Benda uji yang digunakan pada umumnya mempunyai penampang lingkaran atau segi empat dengan ujung lebih tebal sebagai tempat penjepitan agar patahan yang terjadi berkurang pada bagian ini dan bagian yang terpengaruh oleh pembebanan bagian tengah diberi ukuran khusus. Untuk benda uji spesimen kekuatan lelah telah diatur pada ASTM E606-92, ASTM E466 dan ASM sebagai berikut



Gambar 2.14 Bentuk Dan Ukuran Standar Spesimen Uji Umur Lelah
Sumber : ASM Handbook Volume 8 ,2000

2.8 Hipotesa

Semakin kecil dimensi saluran cetakan yang digunakan maka porositas hasil coran akan mengalami penurunan sedangkan umur lelahnya akan mengalami kenaikan.

