

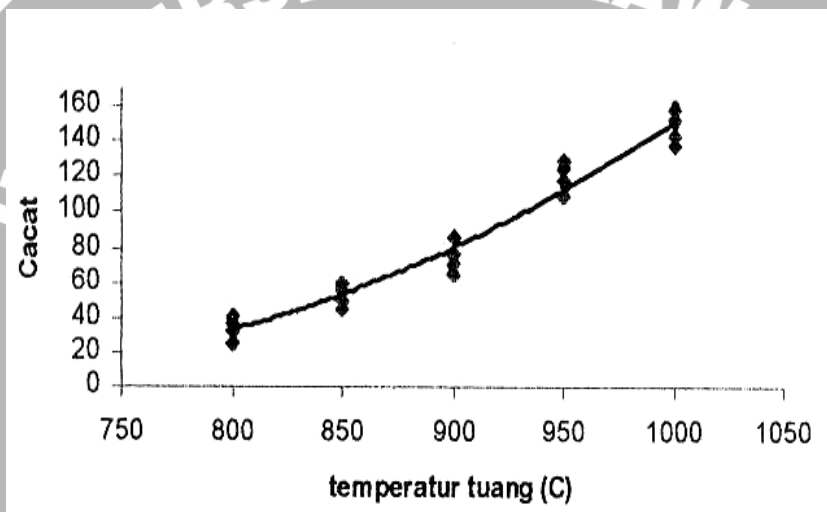
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Setiawan (2000), Pengaruh Temperatur Penuangan Aluminium Paduan Terhadap Cacat Permukaan Pada Proses Pengecoran Sentrifugal Vertikal.

Penelitian ini menggunakan Aluminium paduan dengan standar AA (Aluminium Assosiation) nomor 443 dengan komposisi 93,75% Al, 5,25% Cu, 2,0% Fe. Diketahui bahwa dengan bertambahnya temperatur penuangan jumlah cacat permukaan hasil coran cenderung bertambah. Dikarenakan kelarutan gas hidrogen semakin meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan.



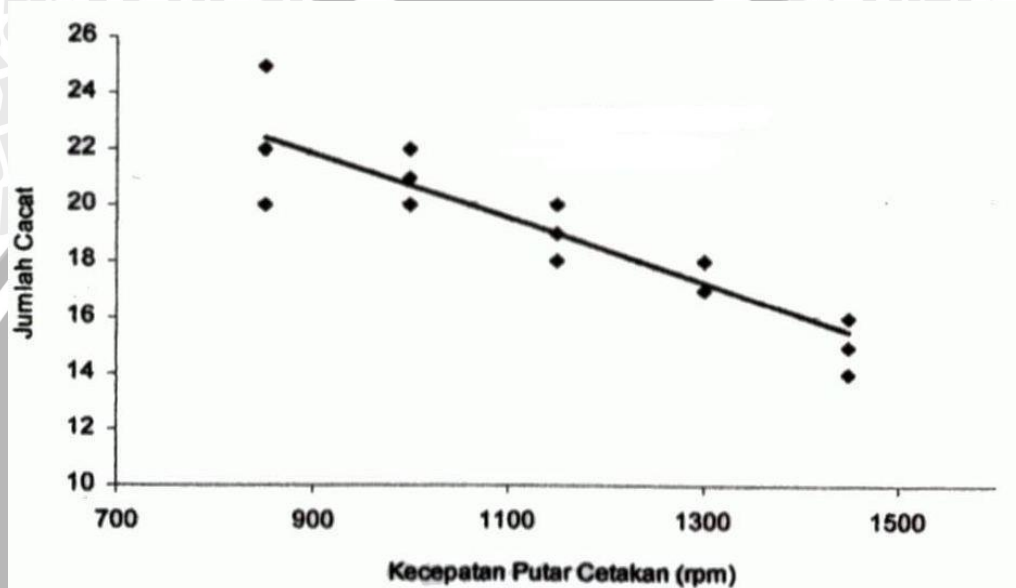
Gambar 2.1 Grafik Hubungan Temperatur Penuangan terhadap Cacat *Pinholes*

Sumber : Setiawan, 2000 : 43

Berdasarkan hasil grafik pembahasan penelitian ini dengan menggunakan temperatur penuangan 800°C didapatkan jumlah cacat permukaan paling sedikit. Hal ini dikarenakan pada temperatur penuangan 800°C kelarutan gasnya paling sedikit dibandingkan pada temperatur penuangan di atasnya, terutama gas hidrogen yang menyebabkan cacat lubang jarum.

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.

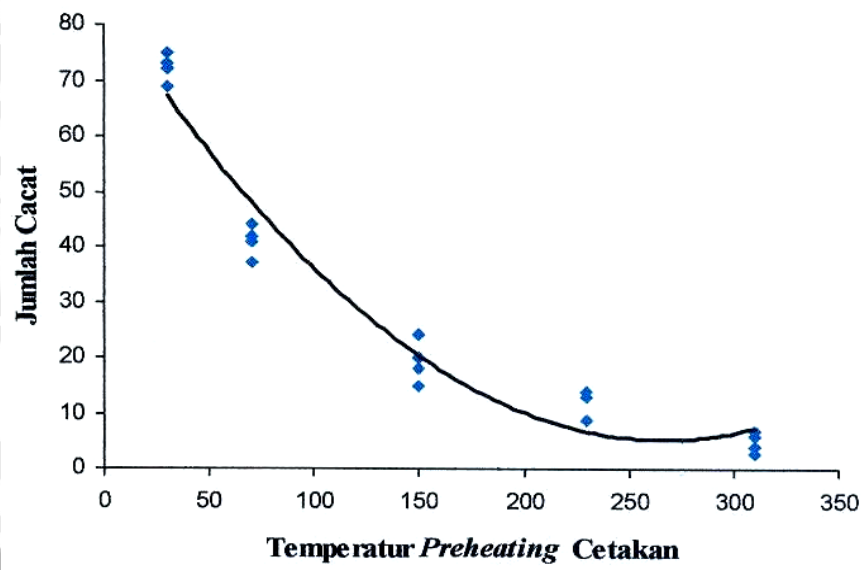
Penelitian yang dilakukan oleh Arif, M. (2005), **Pengaruh Kecepatan Putar Cetakan Terhadap Cacat Permukaan Aluminium Paduan Pada Proses Pengecoran Sentrifugal**. Diketahui bahwa dengan penggunaan kecepatan putar cetakan yang lebih cepat cenderung mengurangi munculnya *blowholes* dan *pinholes* pada hasil coran. Dalam penelitian tersebut temperatur penuangan yang digunakan adalah 800°C dan 250°C untuk temperatur pemanasan awal cetakan, serta menggunakan Aluminium paduan Al-Si.



Gambar 2.2 Grafik Hubungan Kecepatan Putar Cetakan terhadap Cacat *Blowholes*
Sumber : Arif, 2005 : 41

Dari grafik di atas, dengan kecepatan putar cetakan 1450 rpm menghasilkan cacat coran paling sedikit. Hal ini disebabkan karena gaya sentrifugal dengan arah meninggalkan pusat putaran menekan logam cair ke dinding cetakan sehingga didapatkan struktur coran yang lebih padat dan rapat. Dan sebagian dari gas yang terjebak dan terlarut dalam cetakan pada logam coran akan terurai.

Ridwan (2005), melakukan penelitian **Pengaruh Temperatur *Preheating* Cetakan Terhadap Cacat Permukaan Hasil Coran Aluminium Paduan Pada Pengecoran Sentrifugal Horizontal**. Hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa temperatur *preheating* cetakan yang diberikan mengakibatkan cacat permukaan hasil coran berkurang. Hal ini disebabkan logam coran memiliki cukup waktu untuk terdistribusi secara merata dan homogen pada saat pembekuan.

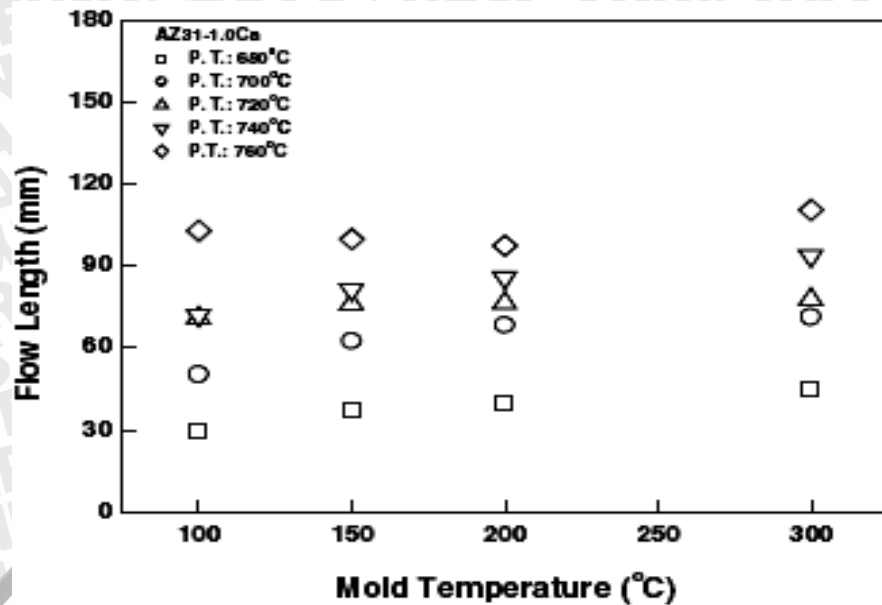


Gambar 2.3 Grafik Hubungan Temperatur *Preheating* Cetakan terhadap Cacat *Pinholes*
Sumber : Ridwan, 2005 : 57

Dari penelitian ini, didapatkan temperatur *preheating* cetakan yang paling optimum adalah 250°C. Pada penelitian tersebut menggunakan Aluminium paduan Al-Cu, temperatur penuangan 900°C, kecepatan putar cetakan 1000 rpm, dan variasi temperatur cetakan 70°C, 150°C, 230°C, 310°C.

Dalam hal ini peneliti ingin melakukan pengujian pada Aluminium paduan Al-Si-Mg dengan memvariasikan temperatur pemanasan awal cetakan sampai dengan temperatur 400°C. Untuk temperatur tuang 800°C, kecepatan putar cetakan 1450 rpm dan menggunakan pemanas cetakan yang terbuat dari *Nichrome* sehingga diharapkan temperatur pada cetakan akan lebih merata dan mampu meningkatkan kualitas hasil coran khususnya pada permukaan hasil coran.

Kemudian Yim, C. D. & You, B. S. (2006), juga telah 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.



Gambar 2.4 Grafik Hubungan antara Temperatur Cetakan terhadap Panjang Alir
Sumber : Yim dan You, 2006 : 2

Dari grafik hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur pemanasan awal cetakan maka fluiditas logam coran semakin meningkat.

2.2 Pengecoran Sentrifugal

Pengecoran sentrifugal adalah suatu cara pengecoran dimana cetakan diputar dan logam cair dituangkan ke dalamnya, sehingga logam cair tertekan oleh gaya sentrifugal dan kemudian membeku (Surdia dan Saito, 1986 : 3). Pengecoran sentrifugal dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan yang berputar. Dibawah 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. Cetakan yang digunakan dalam pengecoran sentrifugal yaitu cetakan permanen yang biasanya terbuat dari besi atau baja dan grafit.

Di bawah pengaruh gaya sentrifugal ini benda coran akan mengalami pembekuan dan memadat. Pemadatan ini akan semakin mengecil pada radius yang semakin kecil, karena gaya sentrifugal yang bekerja juga semakin kecil. Adanya penekanan ini menyebabkan logam cair seakan-akan diperlakukan seperti pada proses tempa, sehingga titik luluh dari benda kerja akan meningkat. Pada pengecoran sentrifugal ini logam cair bergerak rotasi sepanjang sumbu horizontal/vertikal.

Pengecoran sentrifugal cukup serba guna, artinya mulai dari ring piston yang beratnya hanya beberapa gram hingga rol untuk pabrik kertas dengan berat 40 ton lebih dapat dibuat. Dengan adanya gaya sentrifugal memungkinkan dicornya produk yang

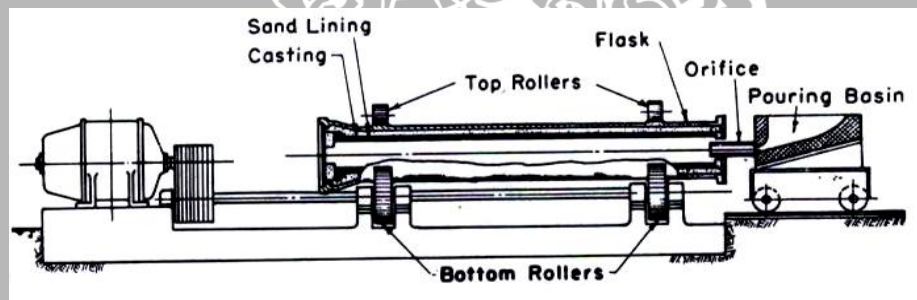
lebih tipis. Pengecoran sentrifugal dapat dikelompokkan menjadi tiga metode, antara lain :

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

2.2.1 Pengecoran Sentrifugal Sejati

Cara 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).

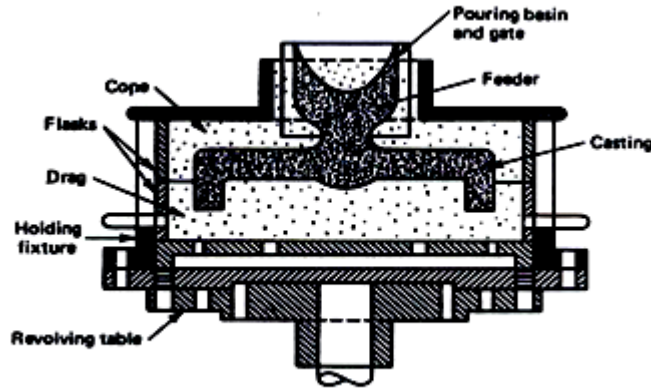
Pengecoran sentrifugal dengan sumbu horisontal metodenya mirip dengan proses pembuatan pipa. Proses pengecoran sentrifugal horisontal dapat dilihat pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Pengecoran Sentrifugal Horisontal
Sumber : De Garmo, 1996 : 36

2.2.2 Pengecoran Semisentrifugal

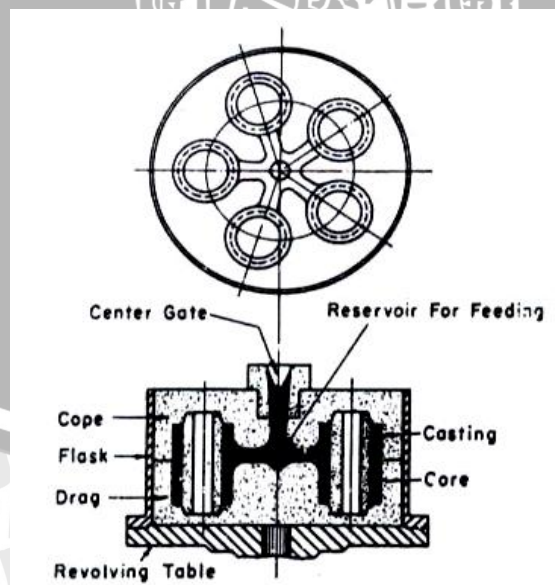
Pada proses ini cetakan diisi penuh dan berputar pada sumbu vertikal. Bila diperlukan dapat digunakan penambah atau inti. Bagian tengah dari cetakan biasanya padat, akan tetapi karena tekanan ditengah kurang, strukturnya kurang padat dan mungkin mengandung inklusi atau gelembung udara. Cara ini dapat 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, diperlihatkan pada Gambar 2.6, dapat menghasilkan lima roda dengan cara pengecoran semisentrifugal.



Gambar 2.6 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. Pada Gambar 2.7, 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 2.7 di bawah ini adalah contoh dari proses *sentrifuging*.



Gambar 2.7 Sentrifuging
 Sumber : De Garmo, 1996 : 36

2.3 Sifat – Sifat Logam Cair

2.3.1 Perbedaan Antara Logam Cair dan Air

Logam cair adalah cairan seperti air tetapi berbeda dalam beberapa hal yaitu (Surdia dan Saito, 1999 : 11) :

- Kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan cair seluruhnya pada temperatur tinggi sedang pada temperatur rendah berbeda dengan air terutama pada keadaan dimana terdapat inti-inti kristal.
- Berat jenis logam cair lebih besar dari berat jenis air.
- Air menyebabkan permukaan dinding basah sedangkan logam cair tidak.

2.3.2 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 (Surdia dan Saito, 1999 : 11).

Tabel 2.1 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 dan Saito, 1999 : 12

2.3.3 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 alirnya menurun. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi fluiditas selain kekentalan, diantaranya adalah temperatur penuangan, komposisi logam dan perpindahan panas yang terjadi pada dinding cetakan. Tingginya temperatur penuangan (ditinjau dari titik cair) akan meningkatkan fluiditas

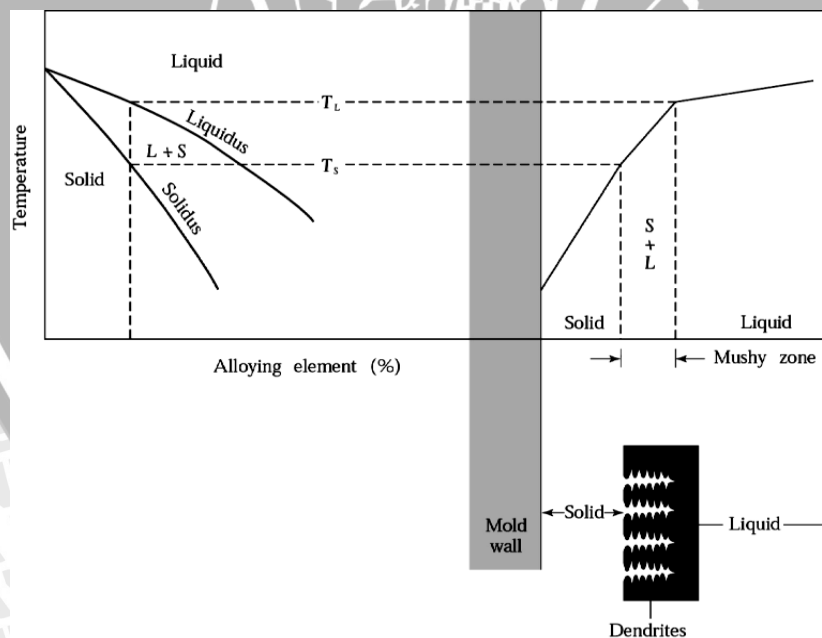
dari logam cair sehingga logam cair dapat mencapai seluruh rongga cetakan tanpa adanya pembekuan dini.

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 logam paduan) dapat terjadi solidifikasi sebagian sehingga menurunkan fluiditasnya. Selain itu komposisi logam juga menentukan kalor laten, yaitu panas yang dibutuhkan logam untuk mencair seluruhnya. Tingginya kalor laten ini akan meningkatkan fluiditas logam cair (Rusli, 1995).

2.4 Pembekuan Logam

2.4.1 Proses Pembekuan Logam

Logam paduan membeku pada range temperatur, bukan pada titik temperatur tertentu. 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 2.8 di bawah ini.



Gambar 2.8 Skematis Pendinginan dan Distribusi Temperatur Logam Paduan

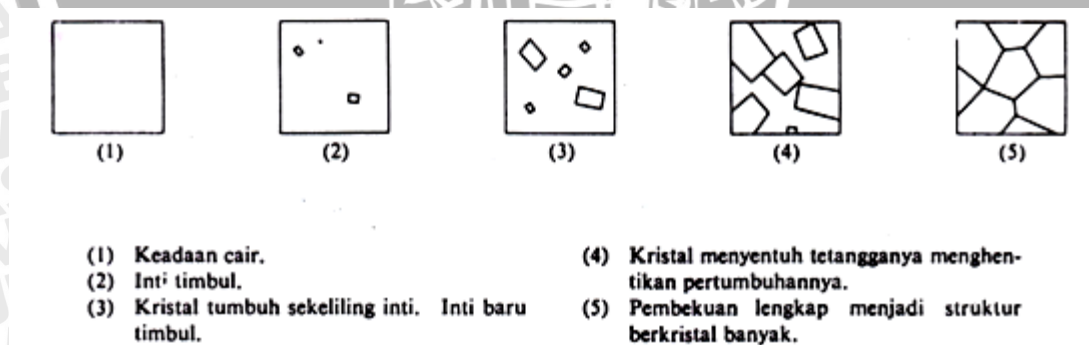
Sumber : Kalpakjian S, 1990 : 280

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 2.9 (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 2.9 Ilustrasi Skematis dari Pembekuan Logam

Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 14

Umumnya 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.

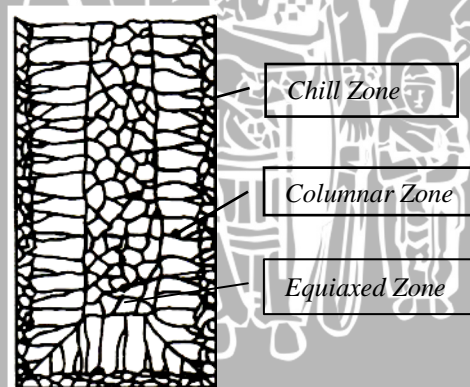
Struktur ini terbentuk pada kontak pertama antara dinding cetakan dengan *melt* pada saat dituang ke dalam cetakan. Dibawah suhu lebur beberapa inti terbentuk dan tumbuh kedalam cairan. Suhu cetakan yang mulai naik memungkinkan kristal yang membeku menyebar meninggalkan dinding karena pengaruh aliran cairan. Dan apabila suhu penguangan 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.

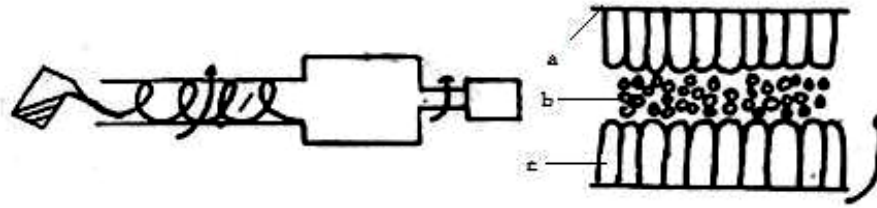
c. *Equiaxed Zone*

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



Gambar 2.10 Struktur *Chill*, *Columnar*, dan *Equiaxed Zone*
Sumber : Kalpakjian, 1990

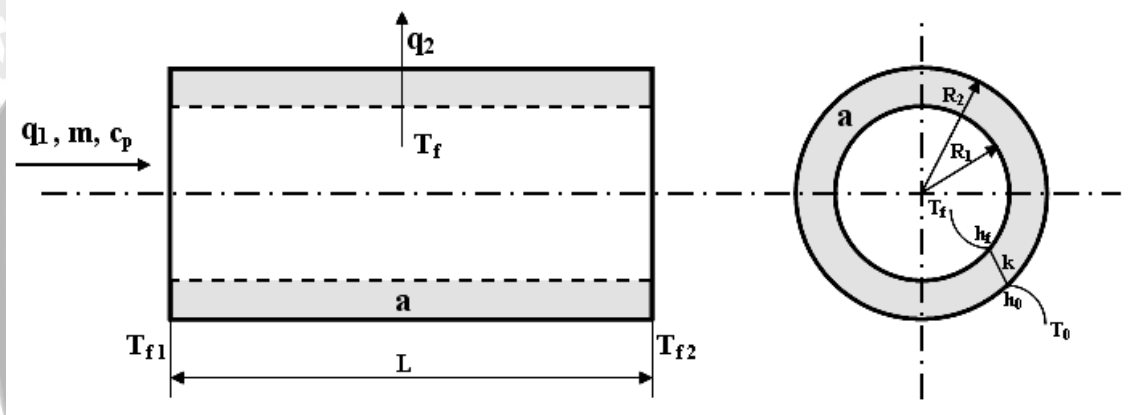
Pada pengecoran sentrifugal terjadi struktur campuran yang disebut sebagai mixed struktur yang merupakan kombinasi antara struktur *columnar* dan *equiaxed*. Pengaruh rotasi akibat cetakan diputar baik dengan cara *centrifugal casting* menyebabkan terjadinya struktur *columnar* pada bagian dasar dan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



Gambar 2.11 Struktur Yang Dihasilkan Dengan Centrifugal Casting a). Chill zone
 b). Equiaxed zone c). Columnar zone
 Sumber : Rusli, 1995 : 82

2.4.2 Pengaruh Perpindahan Panas Pada Proses Pembekuan Logam

Proses perpindahan panas yang terjadi pada proses pengecoran dengan cetakan logam meliputi perpindahan panas secara konduksi dan konveksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Perpindahan Kalor Menyeluruh pada Cetakan Logam
 Sumber : Holman, 1991 : 252

Panas dari logam cair yang dilepas (q_1) sama dengan panas diterima dengan proses perpindahan panas logam ke cetakan dan udara sekitar (q_2). Energi total logam cair yang mengalir dalam silinder dilepas melalui perpindahan panas. Rumusan energi total dalam silinder tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut (Holman, 1991 : 251) :

$$q_1 = \dot{m} \cdot c_p \cdot dt$$

$$q_1 = \rho u_m A c_p \cdot (T_{f1} - T_{f2}) \tag{2-1}$$

Keterangan :

- q^l = Laju energi total dalam silinder (Watt)
- \dot{m} = Laju massa aliran fluida atau logam cair (kg/s)
- c_p = Panas jenis logam pada tekanan konstan (J/kg.°C)
- dt = Beda temperatur pangkal dan ujung silinder (°C)
- ρ = Massa jenis fluida atau logam cair (kg/m³)



u_m = Kecepatan rata-rata fluida atau logam (m/s)

A = Luas penampang silinder (m^2)

T_{f1} = Temperatur di pangkal silinder ($^{\circ}C$)

T_{f2} = Temperatur di ujung silinder ($^{\circ}C$)

Energi total dalam silinder dilepas melalui perpindahan panas. Pada Gambar 2.12 terlihat bahwa panas q_1 dari fluida A (dalam hal ini logam cair) berpindah ke cetakan logam dan menyebabkan turunnya temperatur sehingga terjadi perpindahan panas secara konveksi. Kemudian panas berpindah dalam cetakan logam sepanjang sumbu x (R_2-R_1) atau tebal cetakan sehingga terjadi perpindahan panas secara konduksi. Selanjutnya panas dari cetakan logam ini akan berpindah ke fluida B (udara sekitar) yang kembali menyebabkan terjadinya perpindahan panas secara konveksi. Karena perpindahan panas yang terjadi pada cetakan logam ini sangat kompleks baik secara konduksi maupun konveksi, maka untuk mengetahui laju perpindahan panas secara menyeluruh pada cetakan logam yang berbentuk silinder dapat diketahui dari rumus berikut (Pitts D. R, 1987 : 22) :

$$q_2 = \frac{T_f - T_0}{\frac{1}{2\pi r_1 L h_f} + \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi k_a L} + \frac{1}{2\pi r_2 L h_0}} \quad (2-2)$$

Keterangan :

q_2 = Laju perpindahan panas (Watt)

T_f = Temperatur logam cair ($^{\circ}C$)

T_0 = Temperatur udara sekitar ($^{\circ}C$)

h_f = Koefisien perpindahan panas konveksi logam cair ($Watt.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)

h_0 = Koefisien perpindahan panas konveksi udara sekitar ($Watt.m^{-2}.^{\circ}C^{-1}$)

k_a = Konduktifitas termal cetakan logam ($Watt.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

r_1 = Jari-jari dalam cetakan logam (m)

r_2 = Jari-jari luar cetakan logam (m)

L = Panjang penampang cetakan logam (m)

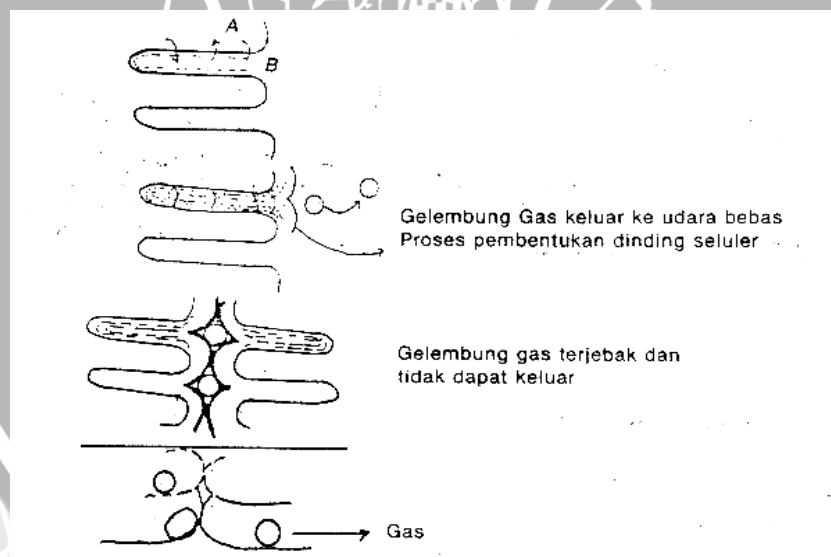
Semakin tinggi temperatur pemanasan awal cetakan maka fluiditasnya semakin baik, sehingga kecepatan mengalir logam kedalam cetakan semakin baik. Besar kecilnya laju perpindahan panas akan menentukan kecepatan pendinginan dari logam itu sendiri. Setelah dituang ke dalam cetakan, logam cair akan mengalami proses pembekuan oleh cetakan logam. Kecepatan pembekuan besar pengaruhnya terhadap ukuran bentuk dan keseragaman dari butiran hasil coran yang mana akan mempengaruhi

sifat mekanisnya dan bentuk hasil coran. Kecepatan pendinginan yang tinggi menghasilkan butiran yang halus dan kekuatan mekanis yang tinggi. Faktor-faktor yang berpengaruh pada proses pembekuan logam adalah bahan coran, sifat termal dari coran maupun bahan cetakannya, hubungan antara geometri volume dan luas permukaan coran serta bentuk dari coran yang dipakai (Kalpakjian, 1990 : 278).

2.5 Kelarutan Gas Pada Logam Coran

2.5.1 Kesetimbangan 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 2.13 menunjukkan proses terjadinya gelembung gas pada solidifikasi seluler.



Gambar 2.13 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. Kelarutan dari gas-gas ini cukup

besar dalam logam cair, tetapi akan menurun secara tajam saat temperatur dibawah 600°C. 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 pembilas hidrogen dari logam cair.
3. *Degassing* hampa udara, dimana logam cair di dalam dapur kemudian dipindah ke dalam sebuah ruang kedap udara.

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



Reaksi inilah yang menyebabkan terjadinya cacat pada permukaan logam coran berupa *blowholes* dan *pinholes*. Pembakaran udara yang mengandung H₂O 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).

2.6 Aluminium

2.6.1 Pengolahan Aluminium

Aluminium berasal dari bijih aluminium yang disebut bauksit. Untuk mendapatkan Aluminium murni dilakukan proses pemurnian (biasanya digunakan proses Bayer) pada bauksit yang menghasilkan oksida Aluminium atau Alumina.

Kemudian alumina ini dielektrolisa sehingga berubah menjadi oksigen dan aluminium.

Aluminium adalah logam terpenting dari logam non fero. Penggunaan Aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah yang kedua setelah besi dan baja (Surdia dan Saito, 1999 : 129). Keutamaan logam Aluminium dalam bidang teknik adalah beberapa sifat-sifatnya yang baik, yaitu beratnya ringan, ketahanan aus, ketahanan korosi yang baik, konduktifitas listrik dan panas yang baik (De Garmo, 1998 : 157).

2.6.2 Sifat-Sifat Bahan Aluminium Paduan

Aluminium mempunyai beberapa sifat-sifat fisik yang ditunjukkan pada Tabel 2.2 sebagai 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	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,013 \text{ kX}$	<i>Fcc</i> , $\alpha = 4,04 \text{ Kx}$

Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 134

2.6.3 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.

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 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 (Wiryosumarto, 1987 : 133). Tabel 2.4 menunjukkan klasifikasinya.

Tabel 2.4 Klasifikasi Paduan 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 *difinishing*.

Tabel 2.5 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

2.6.4 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.

2.7 Cacat Coran

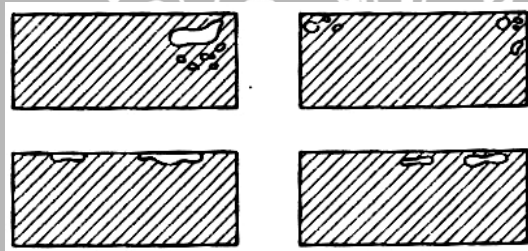
Pada proses pengecoran logam seringkali terjadi berbagai macam cacat coran yang terjadi pada hasil coran, baik pada permukaan maupun di dalam hasil coran

tersebut. Proses permesinan kadang diperlukan untuk menghilangkan cacat tersebut tetapi kadang hasil coran tersebut harus di cor ulang, sehingga menyebabkan pembengkakan biaya produksi. Cacat-cacat pada Aluminium paduan pada dasarnya sama dengan cacat yang terjadi pada besi cor, tetapi pada Aluminium paduan sering terjadi cacat berupa gas *defects* (cacat yang terjadi akibat gas-gas yang terjebak atau terlarut pada logam cair). Secara umum cacat yang terjadi pada Aluminium paduan antara lain :

Blowholes (Cacat rongga udara)

Cacat rongga udara dapat muncul sebagai lubang pada permukaan atau di dalam coran, terutama sedikit di bawah permukaan yang merupakan rongga-rongga bulat. Cacat ini mempunyai diameter sekitar 3 mm atau lebih dengan kedalaman lubang yang bervariasi sampai dengan 0,25 mm. Cacat ini terjadi karena terjebaknya udara dan uap air pada dinding cetakan bagian dalam selama proses pembekuan sebagai akibat dari logam cair yang dioksidasi (Jain, 1979 : 197).

Mekanisme dari cacat ini disebabkan udara terjebak dalam dinding-dinding cetakan dan tidak dapat keluar sama sekali dikarenakan proses pembekuan logam cair yang terlalu cepat sehingga bentuknya menyerupai rongga-rongga bulat. Penetrasi dari cacat jenis ini bervariasi sehingga untuk cacat dengan kedalaman yang besar akan memerlukan *finishing* yang cukup banyak membuang material.

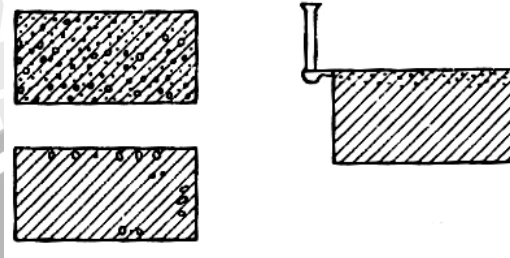


Gambar 2.14 Cacat Rongga Udara
Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 212

Pinholes (Cacat lubang jarum)

Cacat lubang jarum merupakan cacat yang mana permukaan dalamnya halus dan berbentuk bola, ukuran cacat lubang jarum adalah di bawah 1-2 mm dan penetrasi yang sangat dalam seperti tusukan jarum. Pada prinsipnya cacat ini disebabkan oleh hal yang sama dengan cacat rongga udara akan tetapi cacat ini disebabkan oleh gas H_2 yang terkandung dalam air pada cetakan, karena temperatur tinggi maka H_2O akan terpecah dan gas H_2 akan terlarut pada logam cair. Intinya karena adanya gas yang terbawa dalam logam cair selama proses pencairan dan terserap selama proses penuangan.

Proses terjadinya cacat *pinholes* ini terjadi ketika udara yang terjebak dalam logam cair akan keluar dengan arah meninggalkan dinding cetakan, logam cair yang berada disekitarnya udara yang terjebak membeku sehingga bentuk dari cacat lubang jarum ini seperti tusukan jarum. Karena penetrasi yang cukup dalam, terkadang *finishing* sampai kedalaman 0,25 mm atau lebih belum mampu menghilangkan cacat ini.



Gambar 2.15 Cacat Lubang Jarum
Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 212

2.8 Pemeriksaan Coran

Pemeriksaan coran merupakan salah satu cara untuk melihat kualitas hasil coran untuk mengetahui apakah coran tersebut layak untuk dipasarkan atau tidak. Pemeriksaan dapat dilakukan dengan metode yang tidak merusak coran dan dapat juga dengan metode yang merusak coran. Secara umum pemeriksaan coran digolongkan sebagai berikut (Surdia dan Saito, 1999) :

1. Pemeriksaan Rupa

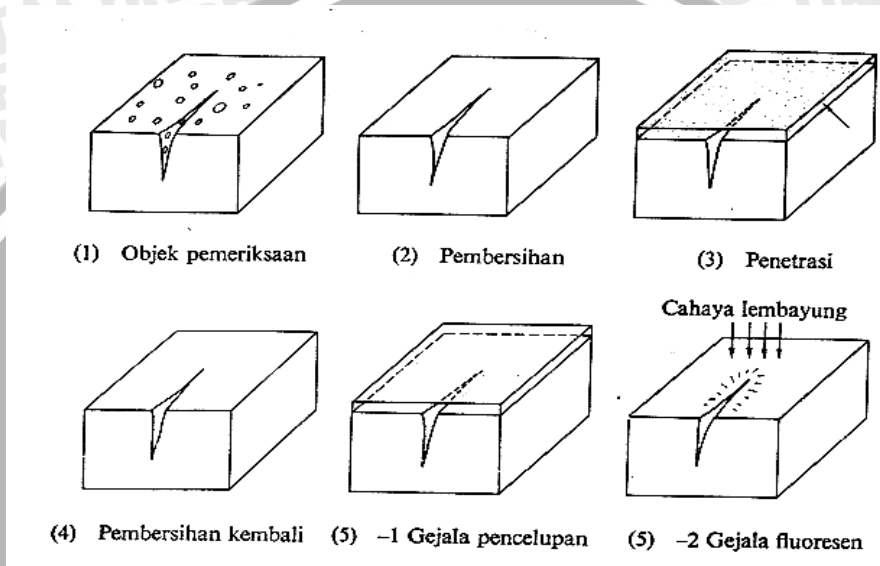
Pemeriksaan ini dimaksudkan terutama untuk meneliti cacat yang terjadi pada permukaan produk coran di mana kebanyakan cacat pada coran dapat diteliti dengan pemeriksaan ini. Pemeriksaan rupa dilakukan dengan penglihatan. Dalam pemeriksaan ini yang diteliti adalah ketidakaturan, inklusi retakan, rongga udara, lubang jarum, dan lain sebagainya yang terdapat pada permukaan hasil coran. Untuk pemeriksaan ukuran digunakan alat ukur yang sudah biasa dipakai yaitu jangka sorong, jangka ukur pengukur diameter, pengukur dalam, dan lain sebagainya.

Sedangkan untuk pemeriksaan visual digunakan alat kaca pembesar dengan mekanisme sebagai berikut :

- Spesimen hasil coran dibersihkan dari debu atau kotoran.
- Menghitung cacat permukaan luar hasil coran sesuai dengan ukuran dimensi cacat *blowholes* dan *pinholes* dengan kaca pembesar.
- Menjumlah data cacat *blowholes* dan *pinholes* yang telah diperoleh.

2. Pemeriksaan Penetrasi

Pemeriksaan ini dipergunakan untuk meneliti cacat seperti retak, rongga penyusutan, dan sebagainya yang memberikan lubang kecil pada permukaan produk coran. Pemeriksaan ini dibagi menjadi penetrasi pencelupan warna yang mempergunakan cairan pencelup warna dan penetrasi fluorezen yang mempergunakan cairan fluorezen, kedua cara tersebut berdasarkan azas yang sama.



Gambar 2.16 Azas Pemeriksaan Penetrasi

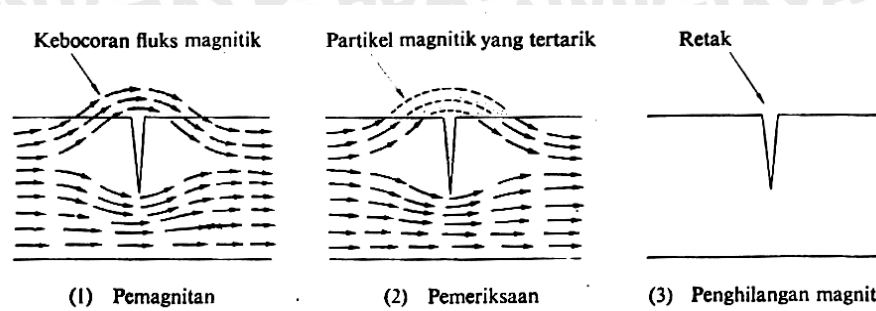
Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 200

Pada gambar di atas ditunjukkan azas pemeriksaan tersebut, yaitu :

- Benda cor dibersihkan.
- Cairan penetran disebar ke atas permukaan yang akan diperiksa.
- Setelah beberapa saat, cairan yang ada di permukaan dibersihkan dan tersisa cairan penetran yang merembes di dalam cacat benda coran.
- Cairan yang tersisa di dalam cacat tersebut kemudian diberi warna sesuai dengan suatu larutan atau dibuat fluorezen di bawah cahaya lembayung. Dengan demikian cacat tersebut dapat terlihat.

3. Pemeriksaan Magnafluks

Cara pemeriksaan ini dipergunakan untuk memeriksa cacat-cacat seperti retak, rongga penyusutan dan lain sebagainya yang berada pada permukaan atau di bawah permukaan produk yang terbuat dari bahan besi magnetik seperti besi cor.



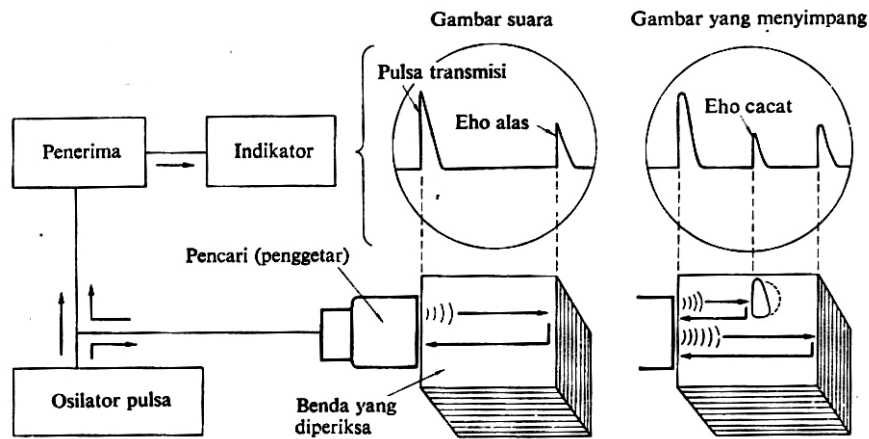
Gambar 2.17 Azas Pemeriksaan Magnafluks

Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 200

Pada Gambar 2.17 dijelaskan azas pemeriksaan magnafluks. Produk yang diperiksa diberi magnet dengan sebuah alat pemagnet, maka dihasilkan fluks magnet seperti dijelaskan pada Gambar 2.17, yang memberikan kebocoran fluks di udara. Kutub magnetis terjadi pada cacat, sehingga menyebabkan bubuk besi yang tersebar tertarik disekitar cacat. Dalam hal ini bubuk besi yang terkumpul ukurannya lebih besar dari pada ukuran cacat yang sebenarnya, sehingga cacat kecil yang sukar dilihat dengan mata, maka dengan cara ini mudah sekali untuk dapat dilihat.

4. Pemeriksaan Supersonik

Dalam pemeriksaan ini, pengamatan dilakukan dengan mengarahkan gelombang supersonik kepada bagian produk yang akan diuji dan menangkap ketidak normalan dari gelombang yang dipantulkan. Jika gelombang supersonik menjalar di dalam benda, maka kemudian akan dipantulkan permukaan cacat seperti rongga udara, retak, kotoran dan lain sebagainya. Sifat tersebut dipergunakan dalam cara pemantulan pulsa yang telah dipakai secara umum sebagai cara pemeriksaan supersonik. Pada Gambar 2.18 ditunjukkan azas dari pemeriksaan tersebut. Pulsa supersonik dihasilkan oleh osilator pulsa dan penggetar dalam pencarian kemudian diteruskan ke dalam benda yang diuji dengan jalan menempelkan pencari kepadanya. Jika di dalam terdapat cacat sebageian pulsa supersonik dipantulkan oleh cacat kembali ke pencari. Sebagian lain melewati cacat dan dipantulkan oleh bidang sisi sehingga pulsa pantulan yang biasa lebih lambat kembali ke pencari.



Gambar 2.18 Azas Pemeriksaan Supersonik
Sumber : Surdia dan Saito, 1999 : 202

2.9 Pemanasan Awal Cetakan

Pemanasan awal cetakan pada proses pengecoran sentrifugal adalah memberikan panas pada cetakan hingga temperatur tertentu sebelum logam cair dituang ke dalam cetakan yang berputar.

Pentingnya pemanasan awal cetakan ini bertujuan untuk menjaga fluiditas logam cair, sehingga logam cair dapat memenuhi seluruh rongga cetakan sebelum terjadi proses pembekuan terutama pada bagian cetakan yang jauh dari saluran masuk (Yim & You, 2006). Selain itu juga memperlambat proses pembekuan karena berkurangnya *gradient* temperatur antara temperatur logam cair dan temperatur cetakan. Sehingga menyebabkan butiran Aluminium mempunyai cukup waktu untuk tumbuh dan tersebar secara merata (Bonollo, 2004).

2.10 Hipotesis

Semakin tinggi temperatur pemanasan awal cetakan akan berpengaruh terhadap fluiditas coran. Temperatur cetakan akan menjaga temperatur logam coran yang masuk kedalam cetakan sehingga fluiditas logam coran juga ikut terjaga dan diharapkan logam coran dapat memenuhi seluruh dinding-dinding ruang cetakan terutama yang jauh dari saluran masuk sebelum membeku, proses pembekuan akan menjadi lebih lambat sehingga gas-gas yang terperangkap akan terurai dan memiliki cukup waktu untuk keluar. Dengan demikian, cacat pada permukaan hasil coran akan berkurang.