

PL IV

PENGECORAN LOGAM DAN INSPEKSI

1.1 Tujuan

1. Praktikan mengetahui dan memahami pengecoran logam.
2. Praktikan mengetahui dan memahami macam-macam cacat coran dan inspeksi.

1.2 Dasar Teori

1.2.1 Pengecoran Logam

Pengecoran logam adalah suatu proses pembentukan atau pembuatan produk logam dengan cara mencairkan logam dan menuangkannya ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk yang diinginkan dan dibiarkan hingga mengeras di dalamnya. (Heine, 1976 : 1).

Pengecoran adalah proses di mana logam cair mengalir dengan gravitasi atau gaya lain ke dalam cetakan di mana ia membeku dalam bentuk rongga cetakan. Prinsip pengecoran tampaknya sederhana: lelehkan logam, tuangkan ke dalam cetakan, dan biarkan dingin dan mengeras, namun ada banyak faktor dan variabel yang harus dipertimbangkan untuk mencapai operasi pengecoran yang sukses (Groover, 2010 : 205).

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan pengecoran logam adalah suatu proses pembentukan atau pembuatan produk logam dengan cara mencairkan logam kemudian mengalirkannya ke dalam rongga cetakan yang serupa dengan bentuk asli dari produk yang diinginkan hingga memenuhi rongga cetakan dan dibiarkan mengeras di dalamnya. Proses ini dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya lain untuk memenuhi setiap rongga cetakan. Kelebihan pengecoran logam jika dibandingkan proses manufaktur yang lain adalah :

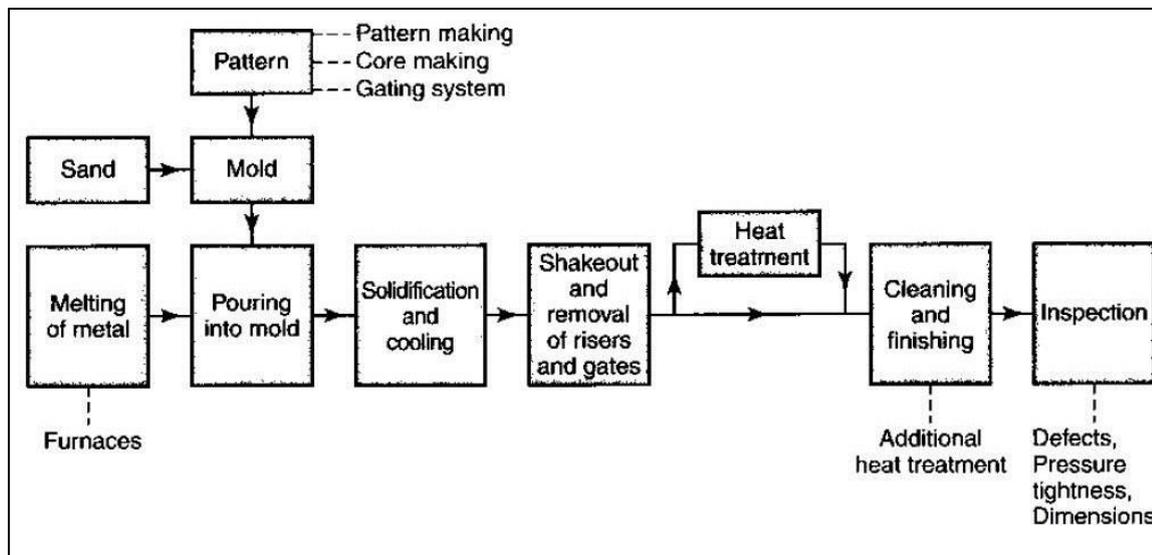
1. Dapat menghasilkan bentuk yang rumit, baik bentuk di bagian luar maupun dalam. Sehingga proses permesinan, pembentukan atau pengelasan dapat dikurangi atau dihilangkan.
2. Karena sifat metalurginya, beberapa jenis logam hanya bisa dibentuk dengan proses pengecoran karena sulit dibentuk dengan proses manufaktur yang lain.



3. Konstruksi dapat disederhanakan. Objek dapat di cor sekaligus sedangkan jika menggunakan proses manufaktur lain akan ada pengerjaan perbagian. Sehingga pada pengecoran tidak perlu adanya penyambungan perbagian.
4. Proses pengecoran logam memungkinkan untuk membuat benda dengan jumlah banyak atau produksi massal karena prosesnya sangat cepat.
5. Benda yang besar dan berat bisa diproduksi dengan proses pengecoran di saat tidak bisa diproduksi dengan proses lain atau dari segi ekonomi. Contohnya rumah pompa besar, katup, unit pembangkit hidroelektrik yang beratnya bisa mencapai 200 ton.
6. Beberapa sifat mekanik bisa diperoleh dari proses pengecoran logam. Contohnya :
 - a. Kemampumesinan dan kapasitas peredaman getaran pada besi cor.
 - b. Kekuatan dan keringanan pada logam paduan ringan tertentu hanya bisa diproduksi dengan pengecoran.
 - c. Lebih banyak sifat yang seragam dari arah orientasi berbeda.
 - d. *Bearing* dengan kualitas bagus didapatkan dari *bearing* logam cor.
7. Keuntungan segi ekonomi dapat diraih dengan cara melakukan kombinasi poin 1- 6.

Sumber: Heine (1976:1)

Berikut ini adalah diagram alir proses *sand mold casting* :



Gambar 4.1 Diagram alir proses *sand mold casting*

Sumber: Kalpakjian (2009:262)

Dalam pengecoran logam, dibagi menjadi dua berdasarkan pada cetakan pengecoran, yaitu :

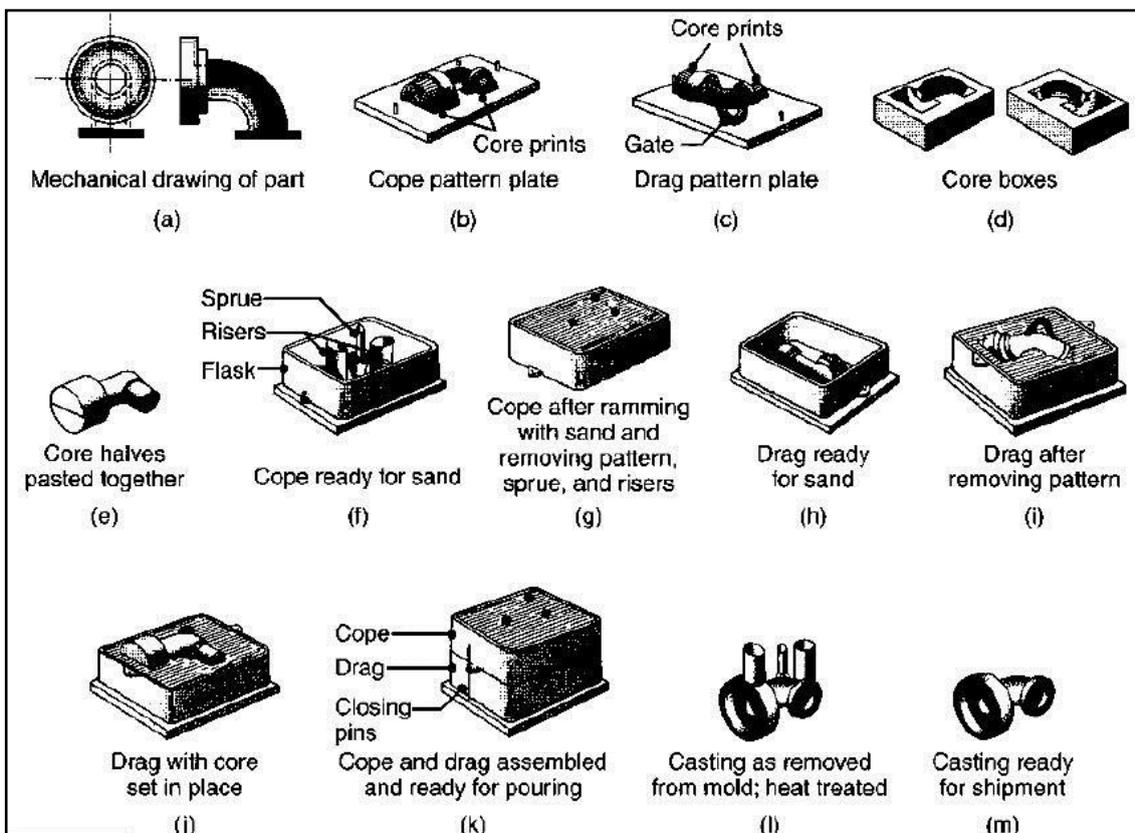


1. Expendable Mold Casting

Expendable mold casting adalah teknik pengecoran logam yang cetaknya hanya dapat digunakan satu kali saja. Cetakan ini biasanya terbuat dari pasir, plaster, keramik, dan bahan semacamnya yang biasanya dicampur dengan pengikat yang bervariasi. Cara pembuatan cetakan ini yaitu dengan menggunakan pola, baik pola permanen atau pola yang hanya bisa dipakai sekali saja (Kalpakjian, 2009:259). Macam-macamnya yaitu :

a. Sand Casting

Pada dasarnya, *sand casting* terdiri dari penempatan pola pada pasir untuk mendapatkan jejak, memasukkan *gating system*, memindahkan pola dan mengisi rongga dalam cetakan dengan logam cair, membiarkan logam tadi sampai dingin dan memadat, mengeluarkan cetakan pasirnya, dan memindahkan benda coran (Kalpakjian, 2009:262).



Gambar 4.2 Tahapan membuat cetakan pasir

Sumber : Kalpakjian (2009 : 267)



Kelebihan :

- Dapat dipakai untuk mengecor banyak jenis logam.
- Tidak ada batasan untuk ukuran, bentuk, ataupun berat dari tiap bagian.
- Harga peralatan yang murah

Kekurangan :

- Membutuhkan tahap finishing
- Secara relatif menghasilkan permukaan yang kasar
- Toleransi yang besar

Sumber: Kalpakjian (2009:259)

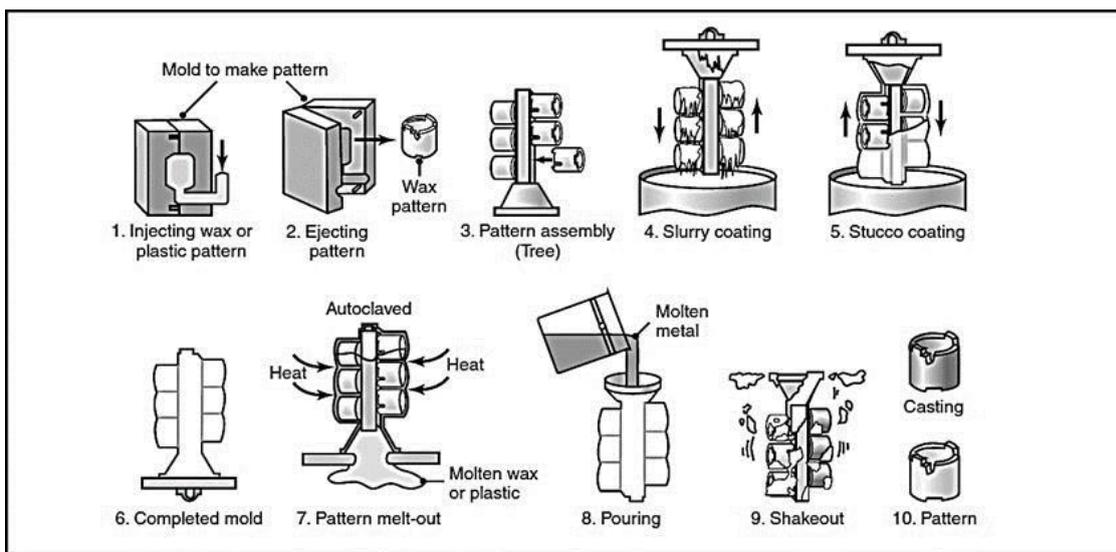
b. *Investment Casting*

Disebut juga dengan *lost-wax process*, yaitu cara pengecoran khusus dimana pola benda kerja dibuat dari lilin. Biasanya digunakan untuk membuat komponen pada mesin seperti gear, roda gigi searah, katup, dan lain-lain. Langkah kerjanya adalah sebagai berikut :

- Pembuatan pola yang terbuat dari bahan lilin atau plastik seperti *polystyrene*.
- Kemudian cetakan dicelupkan ke dalam material tahan panas yang berbentuk bubuk, seperti *silica* yang sangat halus dan pengikat, termasuk air, *ethyl silicate*, dan asam.
- Setelah kering, pola ini dilapisi kembali untuk meningkatkan ketebalannya agar kekuatannya meningkat. Kemudian cetakan diisi dengan logam cair dan dibiarkan sampai dingin.
- Setelah dingin, cetakan keramik akan dihancurkan dan benda coran bisa diambil.

Sumber: Kalpakjian (2009:273)





Gambar 4.3 Tahapan proses *investment casting*
 Sumber: Kalpakjian (2009:273)

Kelebihan :

- Bisa untuk bentuk yang rumit
- Permukaan yang dihasilkan halus dan akurat
- Proses produksi yang cepat

Kekurangan :

- Ukuran benda cor yang terbatas
- Harga pola dan cetakan yang mahal
- Butuh tenaga yang professional

Sumber: Kalpakjian (2009:259)

-

c. *Evaporative Pattern Casting*

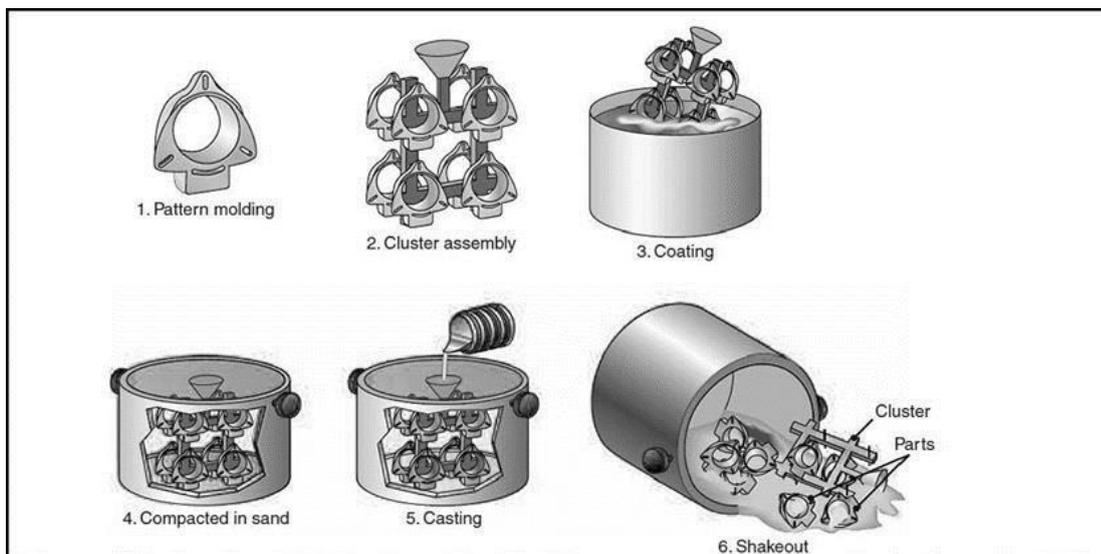
Metode ini juga dikenal dengan nama *lost foam process*. *Evaporative pattern casting* menggunakan bahan *polyesterene* yang digunakan sebagai pola, yang akan menguap setelah bersentuhan dengan logam cair untuk membentuk rongga pengecoran, proses inilah yang disebut *lost foam casting* (Kalpakjian, 2009:270).

Pada proses pembuatan pola butiran *polyesterene* yang mengandung 5% sampai 8% *pentane* yang ditempatkan pada cetakan yang telah dipanaskan, yang biasanya terbuat dari alumunium. *Polyesterene* mengembang dan mengikuti bentuk rongga cetakan. Tambahan panas diberikan untuk menyatukan dan mengikat butirannya. Cetakan kemudian didinginkan dan dibuka, dan pola



polyesterene dilepaskan.

Pola tersebut kemudian dilapisi dengan bubuk tahan api berbahan dasar air, dikeringkan, dan ditempatkan dalam *flask*. *Flask* diisi dengan pasir halus, dan dapat dikeringkan atau dicampur dengan bahan pengikat untuk memberikan kekuatan tambahan. Pasir dipadatkan secara berkala, tanpa menghilangkan pola polistiren, kemudian logam cair dituangkan ke dalam cetakan. Logam cair menguapkan pola dan mengisi cetakan rongga pola, sepenuhnya menggantikan ruang yang sebelumnya ditempati oleh polisterin. Setiap produk degradasi dari *polystyrene* dibuang ke pasir sekitarnya (Kalpakjian, 2009:269).



Gambar 4.4 Evaporate casting
Sumber: Kalpakjian (2009:271)

Kelebihan :

- Bisa untuk mengecor banyak jenis logam
- Tidak ada batasan ukuran
- Bisa untuk mengecor benda dengan desain yang rumit

Kekurangan :

- Kekuatan pola kurang bagus
- Membutuhkan biaya yang tinggi untuk kuantitas yang kecil

Sumber: Kalpakjian (2009:259)



2. *Permanent Mold Casting*

Merupakan proses pengecoran logam dengan cetakan permanen. Cetakan permanen memiliki beberapa keuntungan di antaranya dapat digunakan pada skala produksi massal sehingga biaya produksi dapat diminimalisir dan cetakan permanen memiliki keuntungan toleransi dimensi yang baik, yang termasuk dalam *permanent mold casting* yaitu :

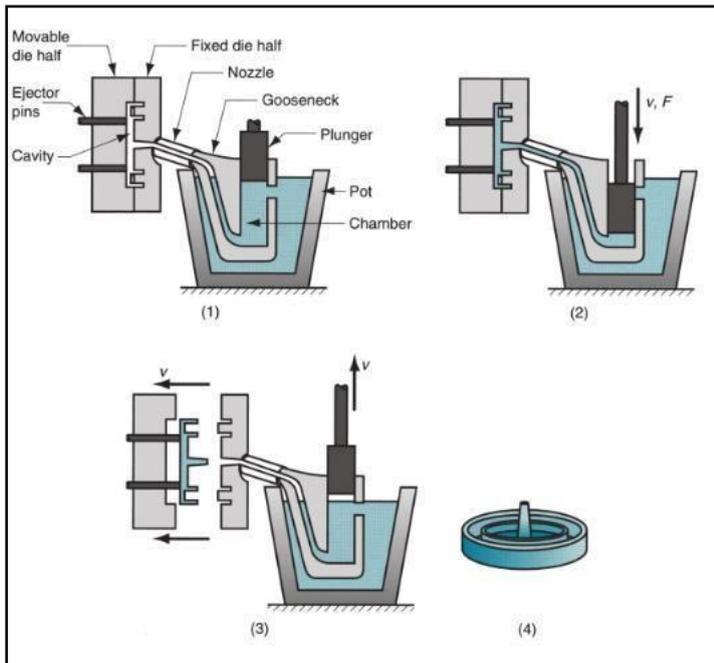
a. *Die Casting* (Cetak Tekan)

Merupakan proses pengecoran dengan cetakan permanen, dimana logam cair diinjeksikan ke dalam rongga cetakan dengan tekanan tinggi. Tekanan yang digunakan yaitu sebesar 7-350 MPa (1015-50763 lb/in²). Tekanan dipertahankan selama proses solidifikasi, kemudian cetakan dibuka dan benda kerja dilepas. Penggunaan tekanan tinggi untuk penginjeksian logam cair adalah yang menjadi perbedaan proses ini dengan yang lain (Groover, 2010:239).

1. Mesin Cetak Tekan Ruang Panas (*Hot Chamber*)

Pada mesin ini, logam dicairkan pada tungku peleburan yang terdapat pada mesin dan piston digunakan untuk menginjeksikan logam cair dengan tekanan tinggi ke dalam cetakan seperti pada gambar 4.5 (a). Tekanan injeksi berkisar antara 7-35 MPa. Mesin ini digunakan untuk logam cor dengan titik lebur rendah seperti Sn, Pb, Mg, dan Zn (Groover, 2010:239)

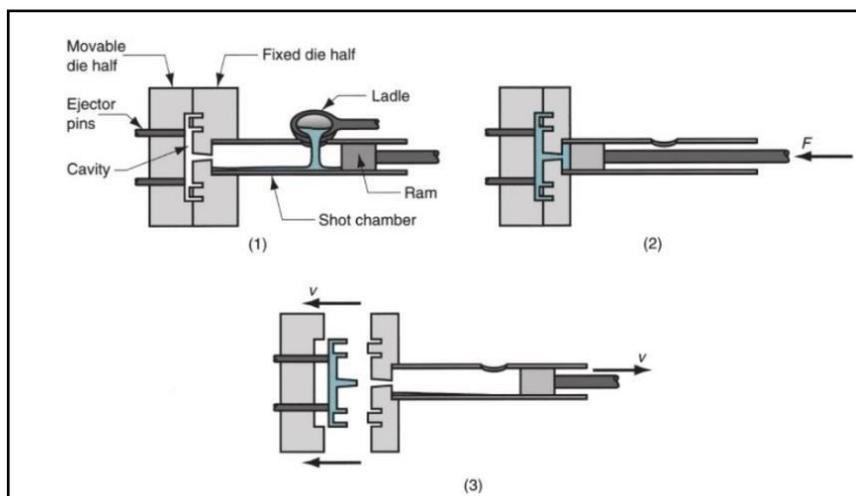




Gambar 4.5 Hot Chamber
Sumber: Groover (2010:240)

2. Mesin Cetak Ruang Dingin (*Cold Chamber*)

Pada mesin ini, tungku peleburannya terpisah dan piston injeksi diisi logam cair secara manual atau mekanis seperti yang terlihat pada gambar 4.5 (b). Tekanan injeksinya berkisar antara 14-140 Mpa. Biasanya digunakan untuk mengecor alumunium, kuningan, dan logam paduan magnesium. Produksi lebih lambat dibanding *hot chamber* karena dibutuhkan waktu untuk menuangkan logam cair secara manual (Groover, 2010:241).



Gambar 4.6 Cold Chamber
Sumber: Groover (2010 : 241)



Tabel 4.1
Perbedaan antara mesin cetak tekan ruang panas dan ruang dingin

Mesin cetak tekan ruang panas	Mesin cetak tekan ruang dingin
- Tungku peleburan terdapat di mesin dan silinder injeksi terendam dalam logam cair.	- Tungku peleburan terpisah, silinder injeksi diisi logam cair secara manual atau mekanis.
- Tekanan injeksi berkisar antara 7 – 35 Mpa.	- Tekanan injeksi berkisar antara 14 – 140 Mpa.
- Digunakan untuk logam cair dengan titik lebur rendah seperti Sn, Pb, Zn.	- Digunakan untuk logam cair dengan titik lebur lebih tinggi daripada <i>hot chamber</i> seperti Al.
- Laju produksi cepat, bisa mencapai 900 produk/jam.	- Laju produksi lebih lambat dibanding <i>hot chamber</i> .
- Titik pemanasan lebih rendah.	- Titik pemanasan lebih tinggi.

Sumber : Groover (2010)

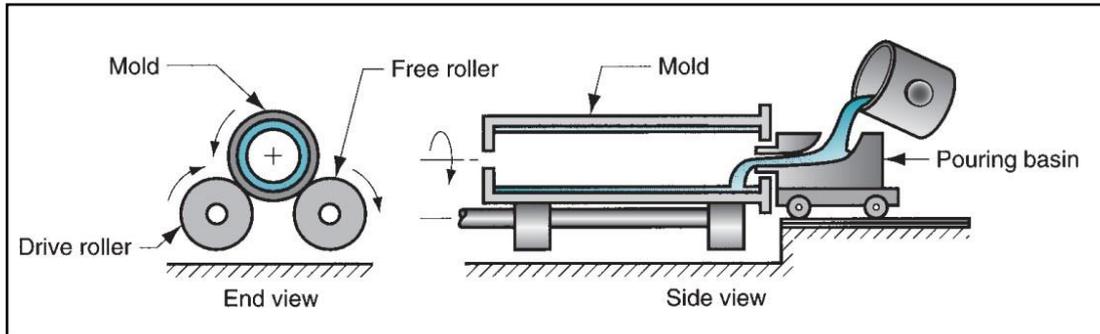
b. Pengecoran Sentrifugal

Dalam pengecoran ini logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar dengan kecepatan tinggi, sehingga menghasilkan gaya sentrifugal. Gaya tersebut menyebabkan logam cair menyebar ke bagian luar rongga cetakan (Groover, 2010:242). Terdapat tiga jenis *centrifugal casting*, antara lain :

1. *True Centrifugal Casting*

Pada metode ini logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang berputar untuk membuat benda kerja yang berbentuk silinder seperti pipa, tabung, *bushings* dan cincin . Bentuk luar dari hasil coran bisa berupa lingkaran, segi delapan, segi enam, dan seterusnya. Namun bentuk bagian dalam secara teoritis berupa lingkaran sempurna karena gaya radial yang simetris (Groover, 2010:243).





Gambar 4.7 Proses pengecoran true centrifugal
Sumber : Groover (2010:243)

Kelebihan :

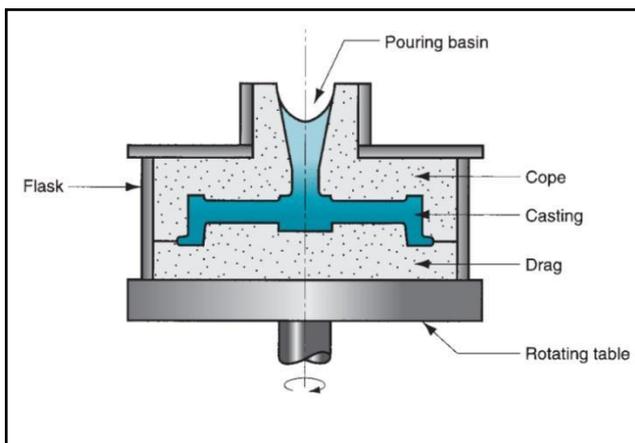
- Tingkat resiko kecelakaan kecil
- Produksi memerlukan waktu yang cukup cepat

Kekurangan :

- Hanya dapat membentuk tabular saja

2. *Semi Centrifugal Casting*

Dalam *semi centrifugal casting*, gaya sentrifugal digunakan untuk menghasilkan hasil coran solid, daripada bentuk tubular. Cetakan didesain dengan adanya *riser* di bagian tengah untuk menyuplai bahan logam. Kecepatan rotasi biasanya lebih pelan dari *true centrifugal casting*, densitas logam pada hasil akhir lebih besar pada bagian luar daripada bagian tengah rotasi (Groover, 2010:245).



Gambar 4.8 Proses pengecoran *semi centrifugal*
Sumber : Groover (2010:244)



Kelebihan :

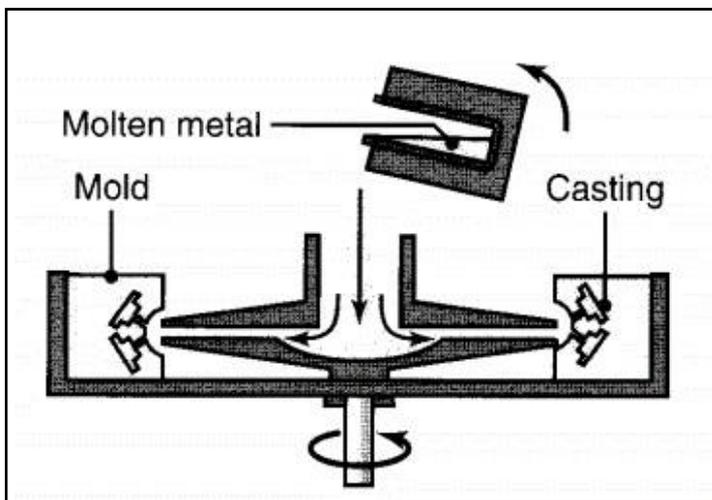
- Produksi memerlukan waktu yang cukup cepat
- Benda coran memiliki densitas yang tinggi

Kekurangan :

- Biaya peralatan yang cukup mahal
- Kemungkinan logam cair keluar dari pouring basin cukup tinggi

3. Pengecoran *Centrifuging*

Dalam pengecoran *centrifuging*, rongga cetakan ditempatkan pada jarak tertentu dari sumbu putaran. Cairan logam dituang dari pusat cetakan dan didorong ke cetakan oleh gaya sentrifugal (Kalpakjian, 2009:283).

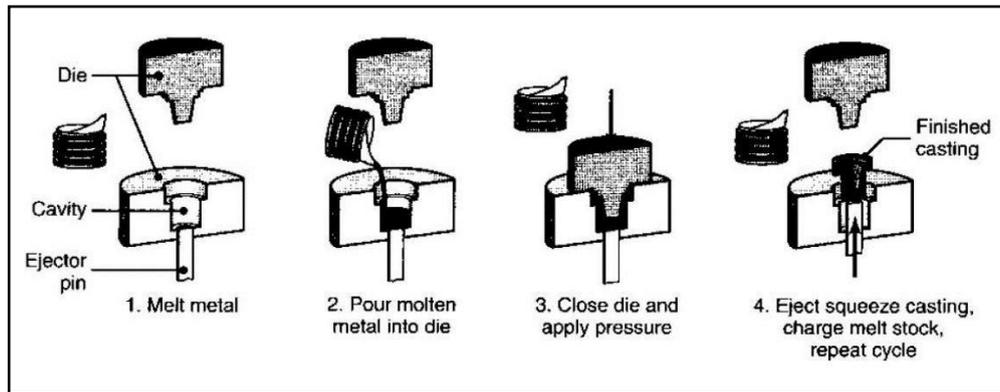


Gambar 4.9 Proses pengecoran *centrifuging*
Sumber : Kalpakjian (2009:283)

c. *Squeeze Casting*

Metode ini melibatkan solidifikasi logam cair pada tekanan tinggi. Produk yang dibuat yaitu komponen otomotif dan bodi mortir. Mesinnya terdiri dari cetakan, pendorong, dan *pin ejector*. Tekanan dari pendorong menjaga gas yang terjebak untuk tetap berada di larutan dan kontak dalam tekanan tinggi pada permukaan cetakan logam mendorong terjadinya perpindahan panas yang cepat, hal itu menghasilkan mikrostruktur yang halus dengan sifat mekanik yang bagus (Groover, 2010:269).





Gambar 4.10 Squeeze casting

Sumber : Kalpakjian (2009:283)

Kelebihan :

- Kekuatan lebih tinggi dan arah orientasi butir seragam
- Proses pengerjaan cukup cepat

Kekurangan :

- Hanya dapat membuat satu bentuk dan bentuk tidak bisa rumit
- Daya yang dibutuhkan besar
- Udara yang terjebak dapat merusak cetakan

1.2.2 Peleburan

Peleburan adalah proses yang menghasilkan perubahan fase zat dari padat ke cair. Energi internal zat padat meningkat (biasanya karena panas) mencapai temperatur tertentu (disebut titik leleh) saat zat ini berubah cair.

A. Tungku Peleburan

Tungku peleburan yang biasanya digunakan dalam industri pengecoran logam antara lain, dapur *kruz*, dapur induksi, dan dapur listrik. Karakteristik masing-masing tungku peleburan adalah :

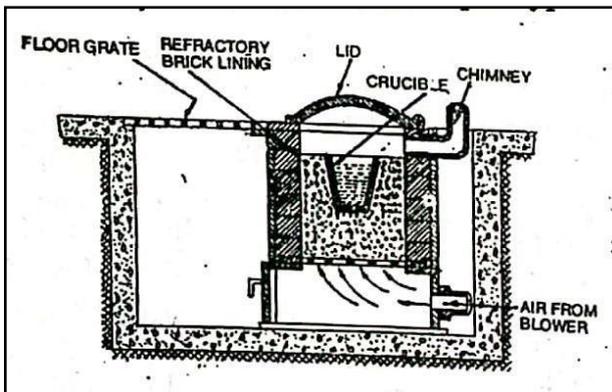
1. *Crucible Furnace*

Crucible Furnace sudah digunakan dimana mana sepanjang sejarah, yang dipanaskan dengan bahan bakar yang bermacam-macam seperti bahan bakar fosil, bahan bakar minyak, begitu juga dengan energi listrik. *Crucible furnace* ada yang *stationary* (tidak dapat dipindah), posisi miring, atau *portable* (Kalpakjian, 2009:288).



- *Coke-fired Furnace*

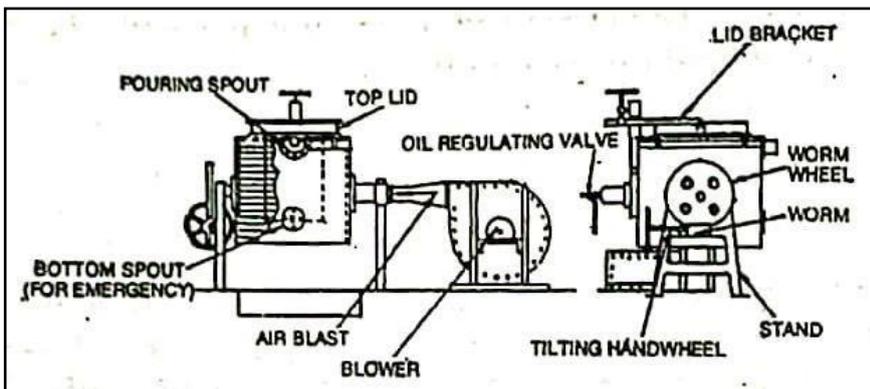
Tungku yang dipicu kokas biasanya digunakan untuk melelehkan logam *non-ferrous*, seperti kuningan, perunggu dan aluminium dikarenakan biaya instalasi yang rendah, biaya bahan yang rendah dan mudah dalam pengoperasiannya.



Gambar 4.11 *Coke-fired furnace*
Sumber : Jain (1976:147)

- *Oil and Gas-fired Furnace*

Tungku pembakaran gas memanfaatkan minyak atau gas sebagai bahan bakar untuk memanaskan wadah.



Gambar 4.12 *Oil and gas-fired furnace*
Sumber : Jain (1976:148)

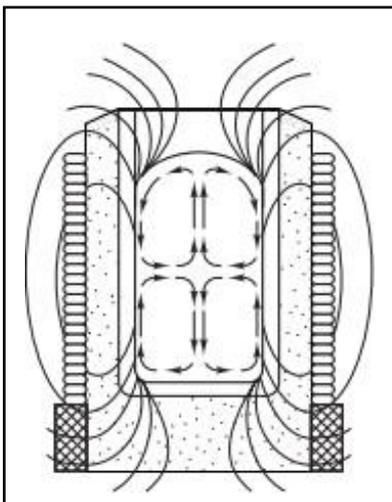
2. Dapur Induksi

Karena laju peleburannya yang sangat cepat dan kasus relatif pengendalian polusi tungku induksi listrik telah menjadi cara yang sangat populer untuk melebur logam. Ada dua tipe dasar tungku induksi :



a. *The high-frequency or Coreless unit*

Frekuensi tinggi, atau unit tanpa biji, ditunjukkan secara skematis, terdiri dari 1 wadah yang dikelilingi oleh koil polisi per pipa berpendingin air. Arus listrik frekuensi tinggi melewati kumparan, menciptakan medan magnet bolak-balik yang bervariasi medan magnet menginduksi arus sekunder dalam logam yang dilebur, yang menghasilkan laju pemanasan yang cepat. Tungku induksi tanpa biji digunakan untuk hampir semua paduan umum, kerugian maksimum. Mereka memberikan kontrol suhu dan komposisi yang baik dan tersedia dalam suhu yang dibatasi hanya oleh refraktori dan kemampuan untuk mengisolasi terhadap panas dengan kisaran kapasitas hingga sekitar 65 ton. Karena tidak ada kontaminasi dari sumber panas, mereka menghasilkan logam yang sangat murni. Operasi umumnya secara batch. Hanya saluran kecil yang dikelilingi oleh tungku utama (DeGarmo, 2008:327).



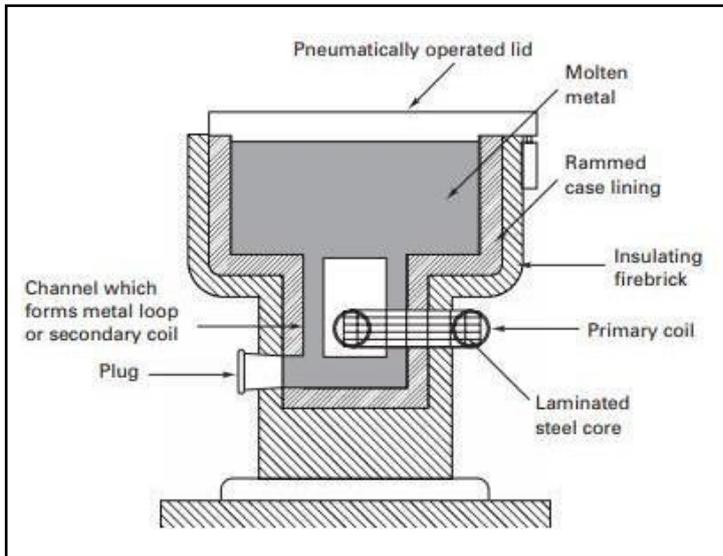
Gambar 4.13 Dapur induksi *coreless*
Sumber : DeGarmo (2008:327)

b. *Low-frequency or channel-type*

Frekuensi rendah atau tungku induksi tipe saluran pembawa arus juga meningkat penggunaannya. Sebuah kumparan sekunder dibentuk oleh loop, atau saluran, logam cair, dan semua logam bebas untuk bersirkulasi melalui loop dan mendapatkan panas. Logam cair yang cukup harus ditempatkan ke dalam tungku untuk mengisi kumparan sekunder, dengan sisa muatan mengambil berbagai bentuk. Tingkat pemanasan sangat tinggi dan suhu dapat dikontrol secara akurat. Akibatnya, tungku tipe saluran sering



lebih disukai sebagai tungku penahan, dimana logam cair dipertahankan pada suhu konstan untuk jangka waktu yang lama. Kapasitasnya bisa cukup besar, hingga sekitar 250 ton (DeGarmo, 2008:327).



Gambar 4.14 Dapur induksi *channel type*
Sumber : DeGarmo (2008:327)

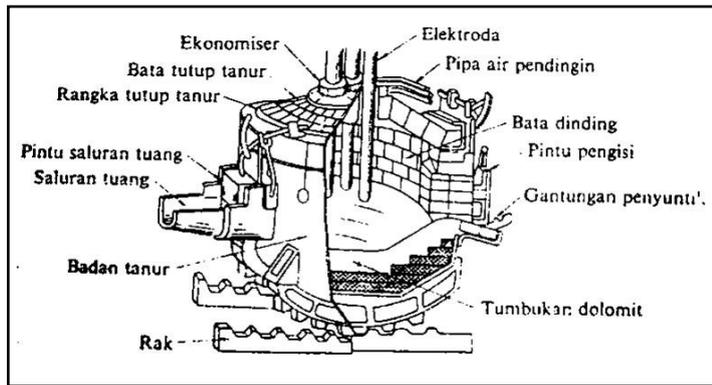
3. Dapur Busur Listrik

Dapur listrik merupakan jenis dapur dimana bahan baku dilebur dengan panas yang dihasilkan dari suatu busur listrik. Biasanya dapur listrik menggunakan 2 atau 3 elektroda dan biasanya digunakan untuk pengecoran baja. Material logam dapat mencair karena adanya elektroda yang dihubungkan dengan rangkaian listrik (*electrical circuit*) yang akan membentuk suatu busur api yang akan mencairkan logam. *Electrical-arc furnace* (dapur listrik) menggunakan 3 elektroda sesuai jumlah fase yang digunakan, arus bolak-balik 3 fase. Dapur listrik memiliki lapisan baja berbentuk silinder dengan landasan berbentuk lengkung atau datar yang ditopang rol penahan yang memungkinkan tanur untuk dimiringkan.

Karakteristik dari dapur listrik:

- Laju peleburan tinggi sehingga laju produksinya tinggi
- Polusi yang ditimbulkan lebih rendah dibandingkan tungku lainnya
- Memiliki kemampuan menahan logam cair pada temperatur tertentu untuk jangka waktu yang lama.

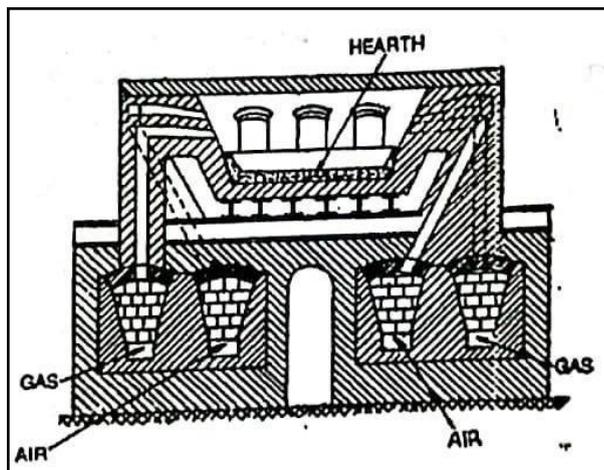




Gambar 4.15 Tanur Busur Listrik
Sumber : Surdia dan Chijiwa (2013:164)

4. Open-Hearth Furnace

Pada tungku jenis ini, prosesnya didasarkan pada prinsip pemanasan regeneratif dan memperoleh suhu sangat tinggi yang diperlukan untuk pemanasan dari bahan bakar gas dan udara yang dibawa melalui saluran yang berada di bawah menuju tempat logam yang ingin dilebur.

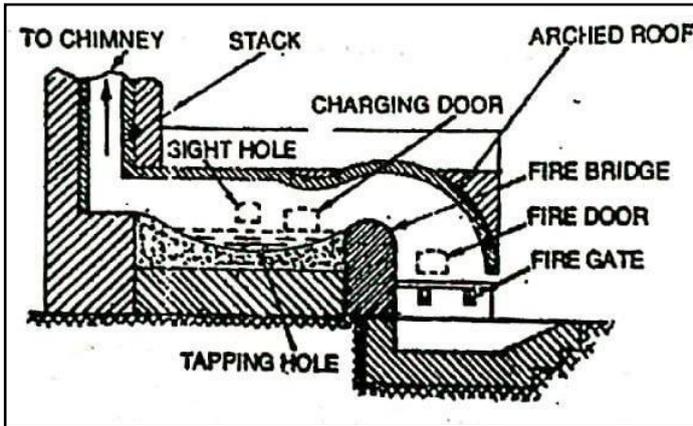


Gambar 4.16 Open-hearth furnace
Sumber : Jain (1999:149)

5. Air Furnace

Tungku ini bekerja pada prinsip *reverberatory*. Tungku ini terbentuk dari *refractory bricks* di mana pasir cetak menyatu untuk membentuk permukaan yang keras. Bahan bakar yang umumnya digunakan adalah batubara bubuk. Perbedaannya dengan *open-hearth furnace* adalah tungku ini tidak menggunakan prinsip regeneratif.

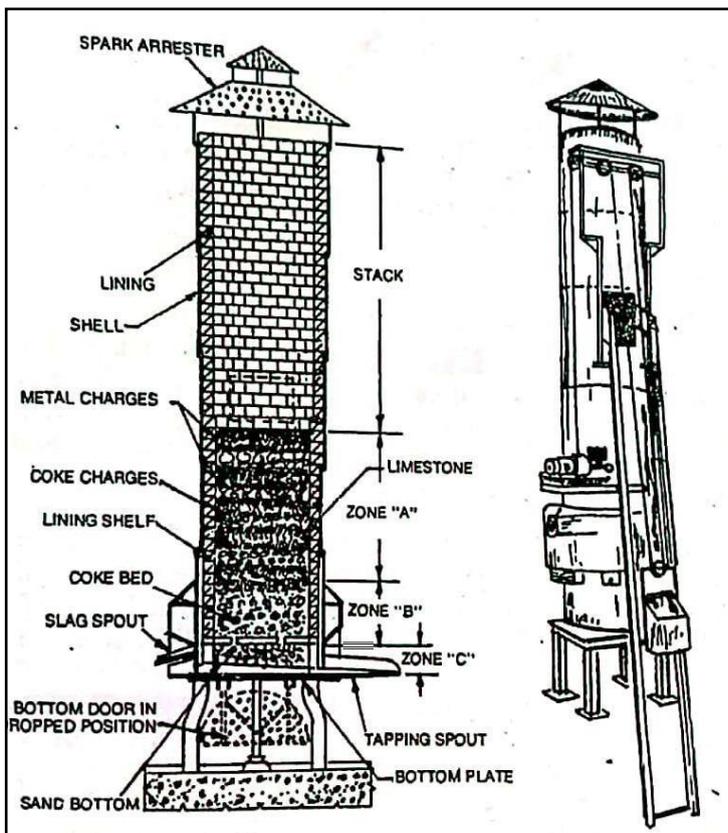




Gambar 4.17 Air furnace
Sumber : Jain (1999:150)

6. Cupola Furnace

Tungku ini terbuat dari lapisan baja vertikal setebal 6-12 mm yang dilapisi bahan refraktori disepanjangnya. *Lining* biasanya semakin ke bawah semakin tebal. Tungku ini menggunakan *conveyor* untuk memasukkan logam ke dalamnya. Bahan bakar yang digunakan adalah batubara.



Gambar 4.18 Cupola furnace
Sumber : Groover (2010:151)



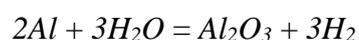
B. Hidrogen *Solubility*

Unsur-unsur gas juga dapat diserap oleh pemisahan ikatan gas-gas yang bersentuhan dengan lelehan paduan. Contoh yang paling umum adalah uap air, hadir dalam atmosfer normal dan ditempa oleh pembakaran bahan bakar dan oleh evaporasi dari penambahan dan cetakan *furnace*. Penyerapan hidrogen lebih mudah terjadi melalui jenis reaksi ini daripada dari molekul hidrogen dari atmosfer. Tergantung pada komposisi lelehan, oksigen melarutkan dalam paduan atau bergabung dengan komponen reaktifnya untuk membentuk fasa oksida stabil.

Faktor yang paling signifikan dalam kaitannya dengan cacat curah hujan adalah kelarutan relatif gas dalam campuran cair dan padat. kelarutan padat yang sangat rendah dapat menyebabkan porositas bahkan dengan kandungan gas awal yang rendah. Ini diilustrasikan oleh kasus hidrogen dalam aluminium dan menjelaskan suseptibilitas khusus dari logam ini dan paduannya terhadap porositas gas. Kelarutan 0,6 cm³ per 100 tepat di atas titik leleh jatuh dengan faktor 20 hingga sekitar 0,03 cm³ per 100 gram selama pembekuan evolusi gas dari cairan jenuh akan mewakili 1,54% volume logam.

Aluminium dan hidrogen mampu berikatan dengan sangat banyak ketika pada suhu peleburan aluminium, dikarenakan massa hidrogen yang kecil. Ketika melewati suhu peleburannya, penambahan ikatan antara aluminium dan hidrogen tidak sebanyak saat ditemperatur peleburannya. Karena konsentrasi ikatan aluminium dan hidrogen sudah berada pada posisi jenuh (Beeley, 2001:256).

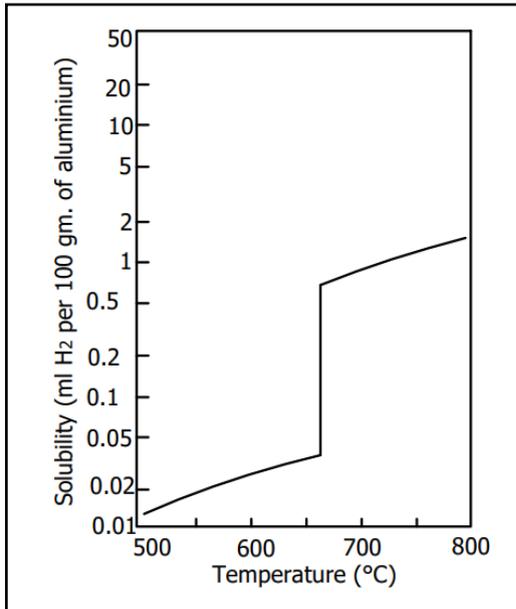
Pembuatan coran berbahan aluminium ketika suhu lebih dari 300^o C akan menguraikan air menjadi hidrogen yang secara aktif larut dalam lelehan ketika suhu meningkat :



(Dobaktin V.I., Gabidullin R.M., Kolachev V.A., 1976)

Semakin tinggi temperatur penuangan akan menyebabkan porositas semakin banyak. Hal ini disebabkan karena gas yang terjebak atau larut dalam cairan logam selama proses pencairan juga semakin banyak. Semakin tinggi temperatur penuangan, kelarutan gas (terutama hidrogen) semakin tinggi (Donald R. Askeland, 2003).

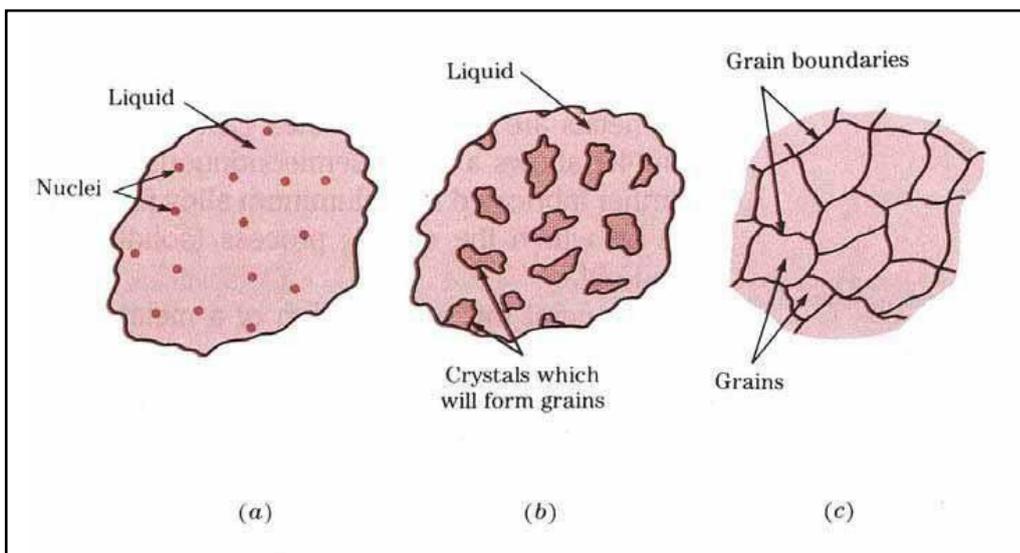




Gambar 4.19 Grafik pengaruh suhu terhadap kelarutan hidrogen dalam aluminium
Sumber : Beeley (2001:256)

1.2.3 Solidifikasi

Solidifikasi adalah proses transformasi logam/paduan cair kembali ke bentuk padatnya. Solidifikasi diawali dengan pembentukan inti yang stabil karena temperatur pada setiap bagian logam sama. Setelah terbentuk inti dengan logam yang masih dalam fase cair, terbentuklah kristal. Logam cair sedikit demi sedikit berubah menjadi fase solid mulai dari terbentuk butir hingga menjadi batas butir.



Gambar 4.20 Proses solidifikasi
Sumber : Smith (2001:122)



Tabel 4.2
 Nilai Dari Suatu Pembekuan (Suhu Cair, Panas Fusi, Energi Permukaan, *Maksimum Undercooling* Untuk Logam)

Bahan	Temperatur Pembekuan		Panas Fusi (J/cm ³)	Energi Permukaan (J/cm ²)	Maksimum <i>undercooling</i> untuk logam (°C)
	°C	K			
Pb	327	600	280	33,3 x 10 ⁻⁷	80
Al	660	933	1066	93 x 10 ⁻⁷	130
Ag	962	1235	1097	136 x 10 ⁻⁷	227
Cu	1083	1356	1826	177 x 10 ⁻⁷	336
Ini	1453	1726	2660	255 x 10 ⁻⁷	319
Fe	1536	1808	3098	204 x 10 ⁻⁷	295
Pt	1772	2045	2160	240 x 10 ⁻⁷	332

Sumber : Smith (1964:107)

Proses Solidifikasi :

1. Tahapan dalam Pembekuan Logam (Solidifikasi)

Terdapat 2 mekanisme pengintian dari partikel padat dalam logam cair :

a. Pengintian Homogen

Pengintian dalam suatu logam cair terjadi saat logam menyediakan atom-atom untuk membentuk inti. Pengintian homogen ini terjadi pada logam murni, contohnya saat logam murni cair didinginkan dibawah suhu pembekuannya beberapa derajat, inti-inti homogen sangat banyak terbentuk karena atom-atom yang bergerak lambat membuat inti bersama. Pengintian homogen biasanya membutuhkan suhu *undercooling* sekitar beberapa ratus derajat untuk beberapa logam. Suhu *undercooling* adalah suhu beberapa derajat dibawah suhu cair (Smith, 2010:123).

b. Pengintian Heterogen (*Heterogeneous Nucleation*)

Proses pengintian yang sama dengan proses pengintian homogen, hanya saja pengintian terjadi dalam logam cair yang berada pada permukaan cetakan atau logam cair yang tidak murni seperti logam paduan. Pengintian heterogen ini banyak terjadi pada proses industri pengecoran yang mana tidak ada *undercooling* yang besar dan biasanya berkisar 0.1 hingga 10°C terhadap titik cair (Smith, 1993:127).



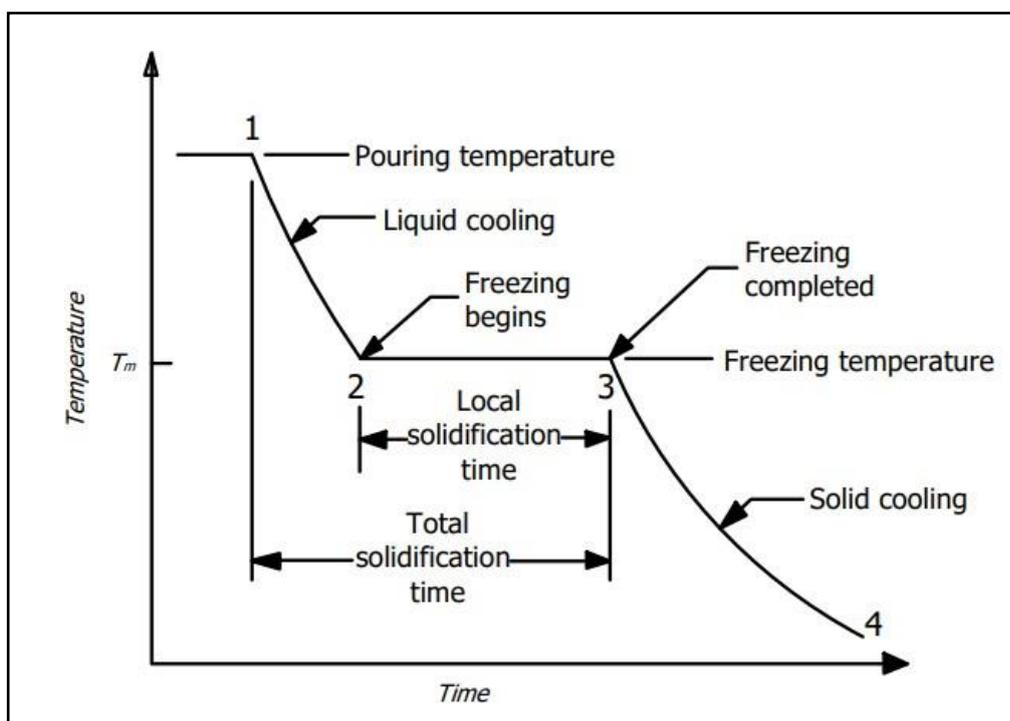
2. Pembentukan Kristal dalam Logam Cair dan Pembentukan Struktur Butir

Setelah inti yang stabil terbentuk pada logam yang sedang memadat, kemudian inti tumbuh menjadi kristal, sedikit demi sedikit berubah menjadi fase solid mulai dari terbentuk butir hingga menjadi batas butir. (Smith, 1993:127)

3. Macam-Macam Solidifikasi

a. Solidifikasi Logam Murni

Logam murni membeku pada temperatur pembekuan suatu material secara merata.



Gambar 4.21 Solidifikasi logam murni

Sumber : Groover (2010:214)

Gambar 4.21 diatas menjelaskan grafik perubahan fase dari suatu logam dari fase padat menjadi fase cair. Penjelasan tiap titik akan dijelaskan sebagai berikut :

- Titik 1 ke 2

Terjadi penurunan suhu akibat perbedaan temperatur logam cair disebut kalor sensibel karena hanya terjadi penurunan suhu saja sampai titik 2 tanpa terjadi perubahan fase dalam hal ini fasenya tetap logam cair.



- Titik 2 ke 3

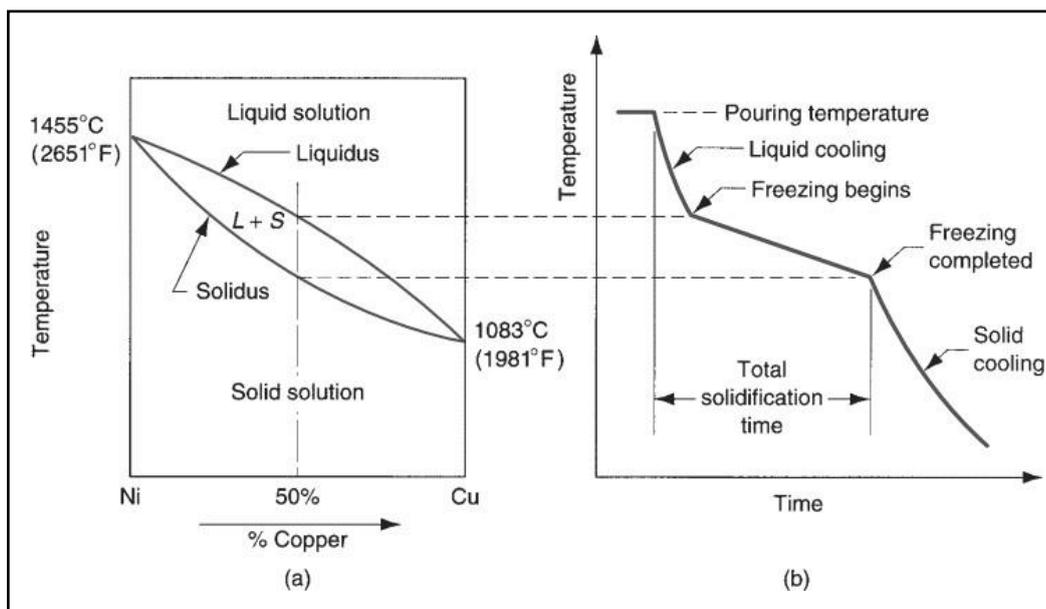
Pada titik 2 dimulainya proses perubahan fase dari *liquid* ke *solid* sampai mencapai titik 3 tetapi tanpa penurunan temperatur (kalor laten). Pada titik 3 keseluruhan logam cair telah menjadi solid dan ini adalah titik akhir pembekuan.

- Titik 3 ke 4

Terjadi penurunan suhu dari titik 3 hingga titik 4. Logam sudah berbentuk padat (*solid*) dari titik 3. Pada titik 4 suhu logam padat sudah sama dengan suhu lingkungan luarnya. Kalor yang terjadi adalah kalor sensibel.

b. Solidifikasi Logam Paduan

Logam paduan umumnya membeku pada daerah temperatur tertentu, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.22.



Gambar 4.22 Solidifikasi logam paduan
Sumber : Groover (2010:215)

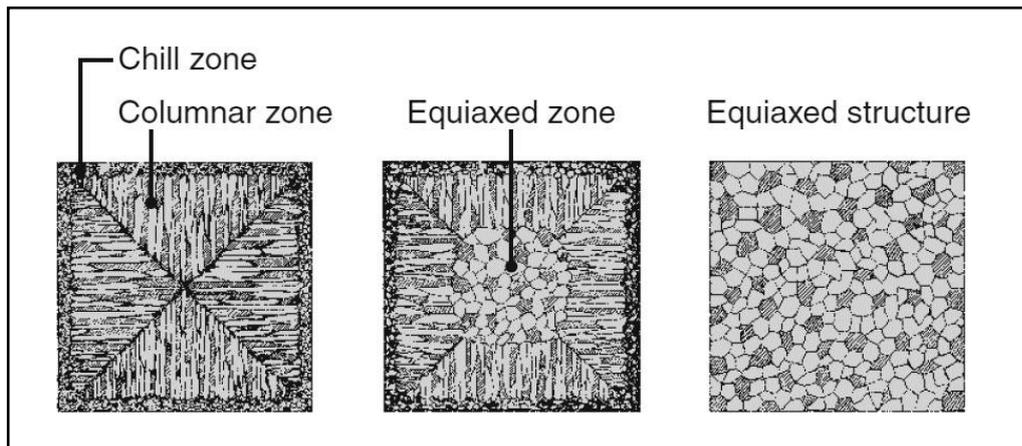
Garis awal terjadinya pembekuan disebut garis liquidus dan garis akhir pembekuan disebut garis solidus. Suatu paduan dengan komposisi tertentu bila didinginkan dalam waktu yang sangat lama, maka pembekuannya akan terjadi saat mencapai garis liquidus dan pembekuan berakhir pada saat mencapai garis solidus,



setelah itu pendinginan akan berlangsung terus hingga mencapai temperatur ruangan.

4. Daerah Pembekuan

Ada zona dimana proses pembekuan terjadi. Ada 3 daerah yang diperhatikan, seperti pada gambar 4.23.



Gambar 4.23 Chill, columnar, dan equiaxed-zone

Sumber : Kalpakjian (2006:239)

a. Chill Zone

Selama proses penuangan logam cair, logam cair yang berkontak langsung dengan dinding cetakan akan mengalami pendinginan yang cepat dibawah temperatur *liquid*-nya. Akibatnya, pada dinding cetakan timbul banyak inti padat dan selanjutnya tumbuh ke arah logam cair.

b. Collumnar Zone

Sesaat setelah penuangan, gradien temperatur pada dinding cetakan menurun dan kristal pada daerah *chill* tumbuh memanjang dalam arah perpindahan panas yang disebut dengan *dendrite*. Setiap kristal *dendrite* mengandung banyak logam lengan-lengan *dendrite* sekunder dan tersier akan timbul dari lengan *dendrite* primer. Daerah yang terbentuk antara ujung *dendrite* dan titik dimana sisa cairan terakhir akan membeku disebut sebagai *mushy zone* atau *party zone*.

c. Equiaxed Zone

Daerah ini terjadi dari butir-butir *equiaxed* yang tumbuh secara acak ditengah-tengah *ingot* (coran).



1.2.4 Fluiditas

A. Definisi Fluiditas

Fluiditas adalah kualitas logam cair yang mampu membuat logam cair mengalir melalui jalur cetakan dan mengisi semua celah-celah cetakan. Fluiditas yang rendah akan menyebabkan cacat pada produk. Untuk menghasilkan coran yang lebih baik, hendaknya kecepatan penuangan harus konstan. Prinsip-prinsip ini mungkin dapat digunakan untuk memperkirakan kecepatan aliran. Faktor-faktor yang mempengaruhi fluiditas antara lain :

1. Viskositas

Viskositas adalah sebuah ukuran kapasitas cairan untuk mentransmisikan tegangan geser dinamis (viskositas dinamis). Viskositas juga dapat didefinisikan sebagai gaya yang diperlukan untuk memindahkan sebuah permukaan paralel pada unit jarak. Jadi, semakin tinggi viskositasnya maka fluiditas akan menurun dan sebaliknya bila viskositas rendah maka fluiditas akan meningkat.

2. Temperatur Penuangan

Temperatur secara teoritis sama atau di atas garis liquidus. Jika lebih rendah, kemungkinan besar terjadi solidifikasi dalam sistem saluran.

3. Komposisi Logam

Yang memiliki fluiditas paling tinggi adalah logam murni, dan yang memiliki fluiditas rendah adalah logam paduan, dikarenakan adanya kristal bebas dalam logam cair pada ujung dari aliran logam cair yang dapat mengakibatkan terhentinya aliran.

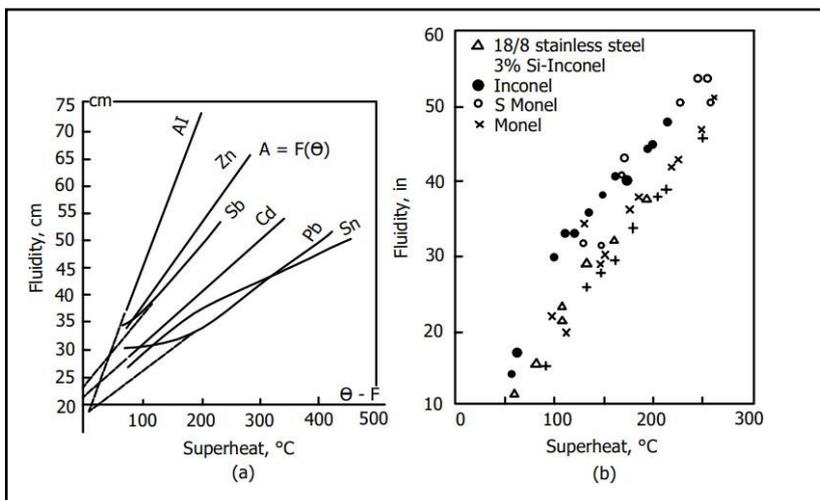
4. Permukaan Cetakan

Semakin kasar permukaan dari cetakan maka fluiditasnya juga akan menurun. Begitu juga sebaliknya, semakin halus permukaan dari cetakan maka fluiditasnya juga akan meningkat.

5. *Superheating*

Superheating adalah pemanasan lanjut atau penambahan temperatur di atas temperatur cair suatu logam tanpa merubah fase dari suatu logam cair tersebut. Semakin tinggi penambahan temperatur maka *fluidity* semakin meningkat, karena waktu yang dibutuhkan untuk kembali ke fase padat semakin lambat.

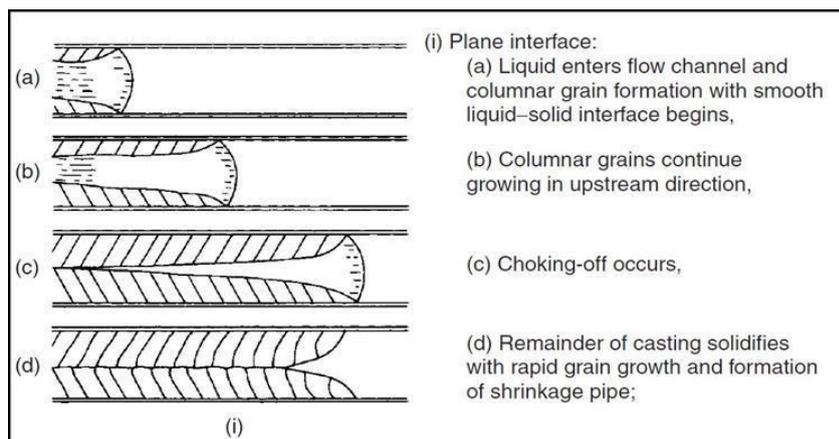




Gambar 4.24 Superheating (a) logam murni (b) logam paduan
Sumber : Beeley (2001:18)

6. Mode Pembekuan

a. Mode Pembekuan *Plane Interface Mode*

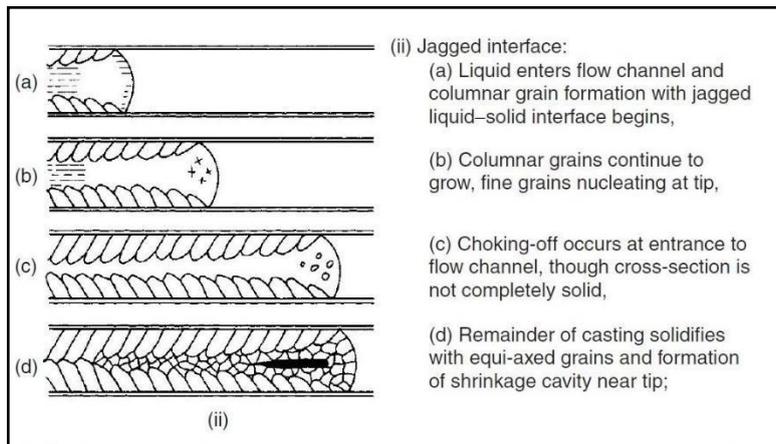


Gambar 4.25 Mode pembekuan *plane interface mode*
Sumber : Beeley (2001:21)

- Cairan memasuki saluran dan pembentukan formasi butiran-butiran kolom cair-padat yang halus dimulai.
- Butir kolom terus tumbuh ke arah hulu.
- Penyumbatan mulai terjadi.
- Sisa pengecoran mengeras dengan pertumbuhan butir cepat dan pembentukan penyusutan.



b. Mode Pembekuan *Jagged Interface Mode*

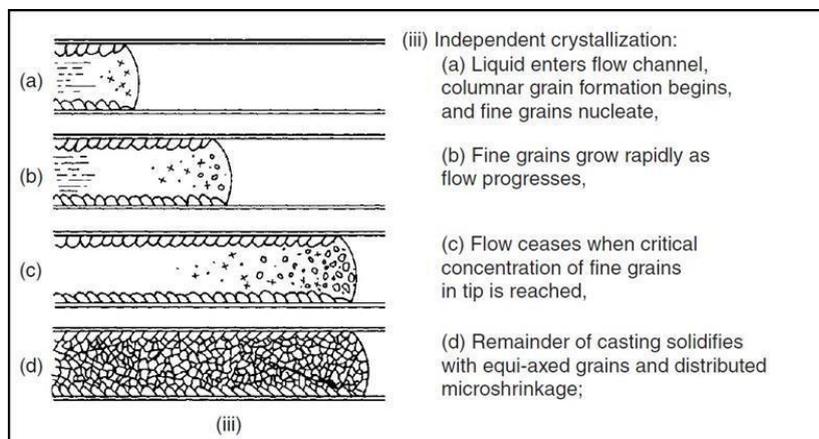


Gambar 4.26 Mode pembekuan *jagged interface mode*

Sumber : Beeley (2001:21)

- a) Cairan memasuki saluran dan pembentukan butiran-butiran kolom bergerigi cair-padat dimulai.
- b) Butir-butir kolom terus tumbuh dan pembentukan inti mulai terjadi di ujung aliran.
- c) Penyumbatan terjadi di pintu masuk aliran, meskipun penampang tidak sepenuhnya padat.
- d) Sisa pengecoran membeku menjadi butiran-butiran equiaxed dan pembentukan rongga penyusutan terjadi di ujung.

c. Mode Pembekuan *Independent Crystallization Mode*



Gambar 4.27 Metode pembekuan *independent crystallization mode*

Sumber : Beeley (2001:21)



- a) Cairan memenuhi saluran dan pembentukan butir-butir kolom dimulai dan butiran-butiran halus membentuk atom.
- b) Butiran halus tumbuh pesat saat aliran terjadi.
- c) Aliran terhenti saat konsentrasi kritis dan butiran halus terjadi di ujung.
- d) Sisa pengecoran membeku dan penyusutan kecil terdistribusi.

7. *Thermal Properties*

Salah satu faktor yang disebabkan oleh cetakan dan karakteristik *heat transfer* dari logam cair. Kecepatan pendinginan hingga suhu akhir aliran logam terhenti ditentukan oleh *heat diffusivity* sesuai persamaan berikut :

$$D = (k \cdot C_p \cdot \rho)^{1/2} \dots \dots \dots (4-1)$$

Dimana :

- *Diffusivity thermal* (D) adalah kemampuan suatu material mentransfer (kalor) secara difusi yang disebabkan terdapat perbedaan *temperature*.
- Konduktivitas thermal (k) adalah karakteristik suatu bahan untuk memindahkan suatu aliran kalor dari temperatur tinggi ke temperatur rendah.
- Panas spesifik (Cp) adalah karakteristik panas yang tergantung pada material yang menyatakan seberapa besar energi yang terkandung pada suatu material berupa energi panas.
- *Density* (ρ) adalah kerapatan massa jenis dari suatu zat yang pasti berbeda-beda tergantung pada massa dan volume dimana :

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (4-2)$$

Semakin kecil difusifitas termal suatu zat maka waktu yang dibutuhkan untuk logam cair berubah fase ke *solid* lebih lama. Untuk sifat-sifat mekanik pada aluminium dapat dilihat pada tabel 4.3.



Tabel 4.3
Sifat-Sifat Mekanik Alumunium

Sifat-Sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (200 °C)	2,6989	2,71
Titik cair	660,2	653 – 657
Panas jenis (cal/g °C) (1000 °C)	0,2226	0,2297
Hantaran listrik (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan listrik koefisien temperatur (10 °C)	0,00439	0,0115
Koefisien pemuaian (200 °C – 1000 °C)	$23,86 \times 10^{-6}$	$23,5 \times 10^{-6}$
Jenis kristal, konstanta kisi	fcc, a=4,013 kX	fcc, a=4,04 kX

Sumber : Sundari (2011:4)

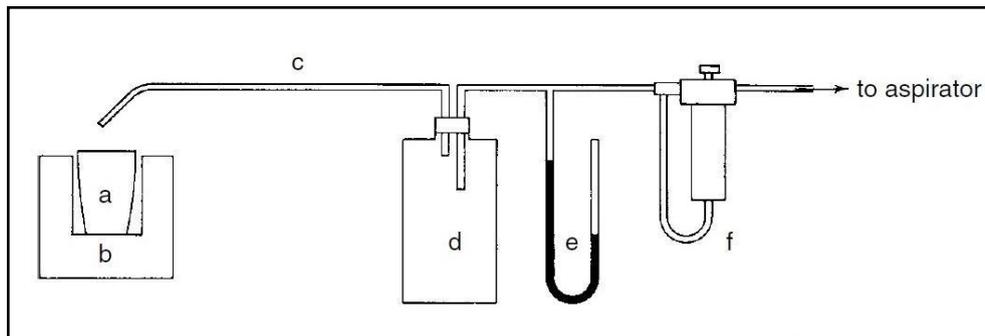
B. Cara Pengujian Fluiditas

Perlu pengujian empiris untuk mengukur semua karakteristik dari fluiditas logam cair. Pengujian ini berdasarkan pada kondisi analog pada pengecoran logam. Dalam pengecoran, pengukuran fluiditas dilakukan sebagai jarak yang telah dilalui oleh logam cair dalam sistem saluran tertutup sebelum aliran tersebut berhenti.

Ada beberapa macam cara pengujian fluiditas, diantaranya :



2. Vacuum Fluidity Test



Gambar 4.29 Vacuum fluidity test

Sumber : Beeley (2001:18)

Keterangan :

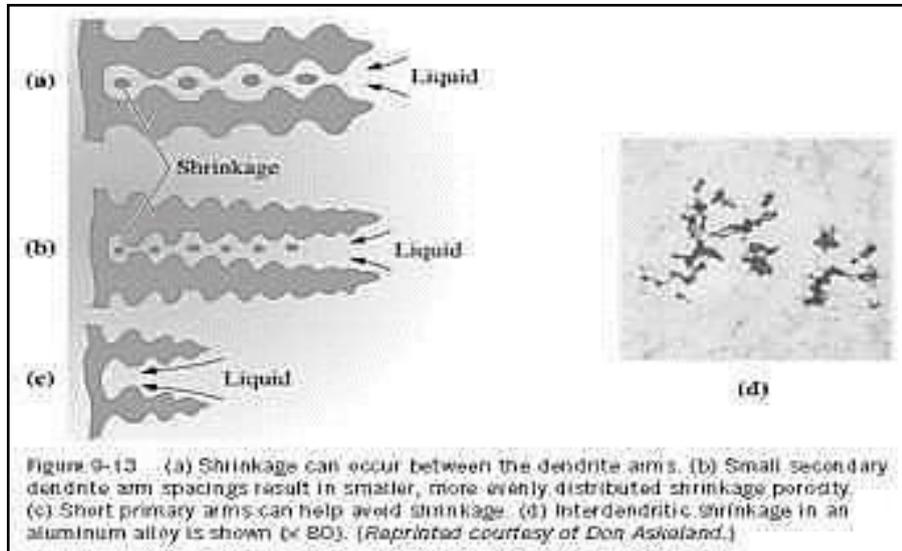
- a. Wadah logam
- b. Tungku tahan listrik
- c. Pipa bertekanan
- d. Tahanan Reservoir
- e. Manometer
- f. Kartesia Manostat

Pengujian vakum bertujuan untuk mengamati panjang aliran logam yang mengalir melalui saluran sempit saat dihisap oleh pompa vakum dari dapur krusibel. Pengujian ini dilakukan dengan cara mengalirkan logam cair melalui tabung gelas halus dibawah pengaruh hisapan dari kondisi vakum sebagian. *Pressure head* diketahui dengan akurat dan faktor manusia dalam penuangan dapat dihilangkan.



Solusi :

- dengan menempatkan *riser* di tempat yang bertemperatur tinggi
- permeabilitasnya harus tepat.



Gambar 4.31 Interdendrite shrinkage

Sumber : Wright (2010:349)

b. Gas Porosity

Gas Porosity merupakan cacat yang biasa terjadi karena kelebihan hydrogen yang tidak dapat dimasukkan dalam struktur logam atau paduan kristal padat sehingga membentuk gelembung yang mungkin terperangkap dalam logam padat dan akhirnya menghasilkan porositas gas.

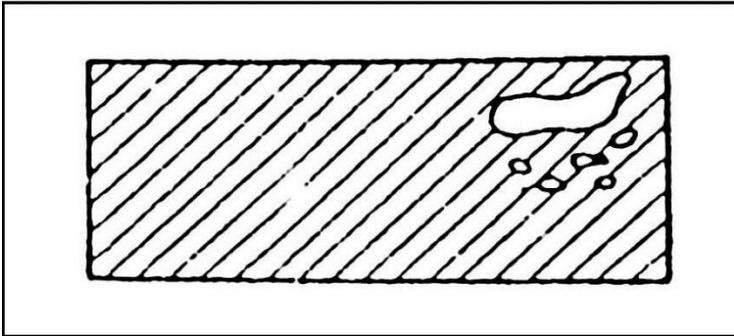
Penyebab :

- Permeabilitas rendah sehingga gas terperangkap dalam rongga
- Kekuatan tekan pasir cetak terlalu tinggi sehingga menimbulkan *vortex*
- Gas yang ditimbulkan dari cetakan tinggi
- Temperatur *superheating* tidak sesuai sifat mekanik logam

Solusi :

- Permeabilitas harus tepat
- Kekuatan tekan jangan terlalu besar
- Komposisi cetakan harus sesuai agar gas yang ditimbulkan sedikit
- *Superheating* harus tepat





Gambar 4.32 Gas porosity

Sumber : Surdia dan Chijiwa (2013:214)

2. Shift (Pergeseran)

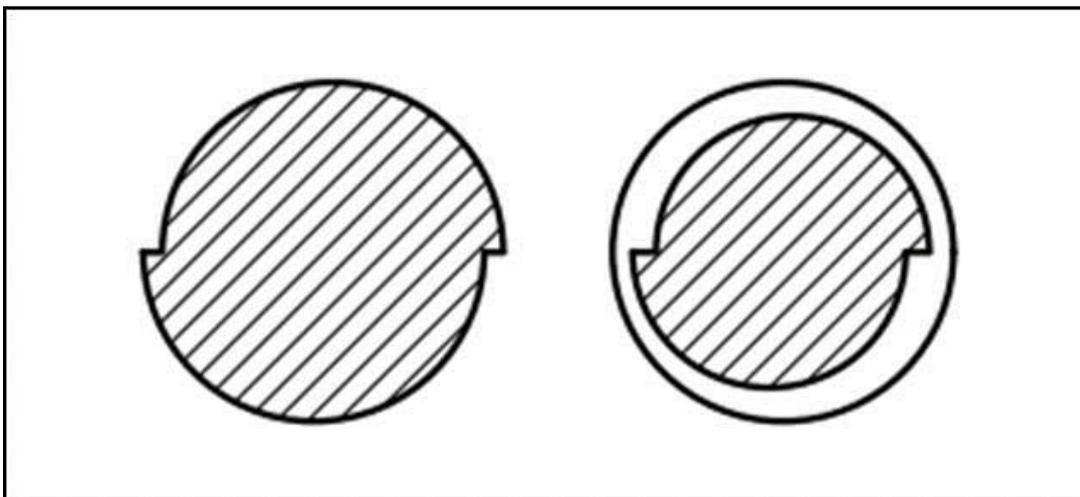
Shift merupakan cacat yang terjadi akibat dari ketidakcocokan masing-masing bagian dari coran. Biasanya terjadi di bagian pola belahan.

Penyebab :

- Pergeseran pola
- Tidak ada pin atau pengunci
- Pin longgar

Solusi :

- Menggunakan mal
- Memberikan pin atau pengunci agar tidak terjadi pergeseran
- Pembuatan pin pas



Gambar 4.33 Shift

Sumber : Surdia dan Chijiwa (2013:214)



3. *Dirt and Sand Inclusion* (Kotoran dan Inklusi Pasir)

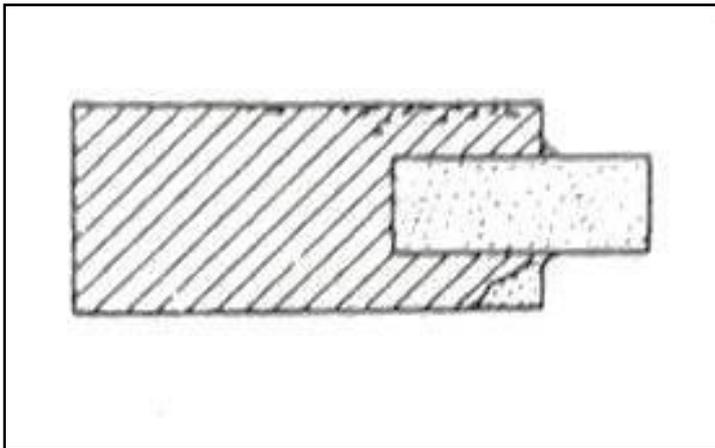
Kotoran dan inklusi pasir merupakan cacat yang terjadi karena adanya partikel asing atau kotoran yang tertanam pada permukaan coran dan bisa juga karena adanya rontokan pasir yang melekat pada permukaan hasil coran.

Penyebab :

- Adanya pasir yang terkikis selama penuangan logam cair.
- Adanya kotoran pada cetakan karena tidak dibersihkan
- Komposisi pasir cetak tidak tepat

Solusi :

- Penambahan *Sprue Well*
- Komposisi pasir cetak harus tepat
- Melakukan pembersihan pada rongga cetakan



Gambar 4.34 *Dirt and sand inclusion*
Sumber : Surdia dan Chijiwa (2013:215)

4. *Fin* (Sirip)

Merupakan cacat yang terjadi akibat penetrasi logam cair pada bagian cetakan *cope* dan *drag*. Apabila cetakan tidak tepat maka logam yang dicairkan akan mengisi celah-celah cetakan dan menimbulkan cacat seperti sirip.

Penyebab :

- Tebal pelapis tidak tepat
- Pemasakan tidak rata



Solusi :

- Tebal pelapis permukaan pisah harus tepat
- Pemadatan harus merata



Gambar 4.35 Fin

Sumber : Beeley (2001:314)

5. *Shrinkage* (Penyusutan)

Merupakan cacat yang terjadi saat pembekuan. Pembekuan yang tidak seragam pada bagian coran menghasilkan perbedaan ketebalan dan luas permukaan yang cukup besar.

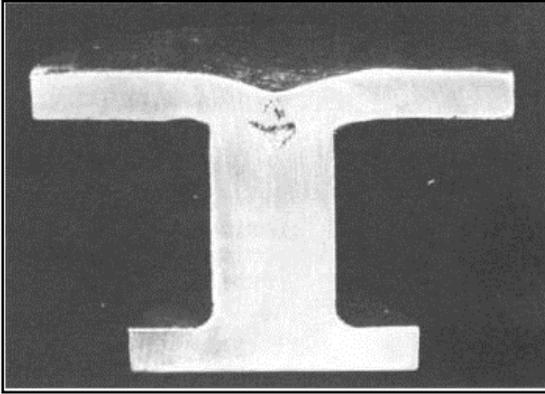
Penyebab :

- Pembekuan yang tidak merata
- Letak *riser* yang kurang tepat
- *Superheating* tidak sesuai
- Permeabilitas terlalu rendah sehingga udara panas terperangkap dan tidak bisakeluar

Solusi :

- Komposisi pasir cetak harus sesuai
- Meletakkan *riser* pada posisi yang tepat
- *Superheating* harus sesuai





Gambar 4.36 Shrinkage
Sumber : Beeley (2001:272)

6. Hot Tears

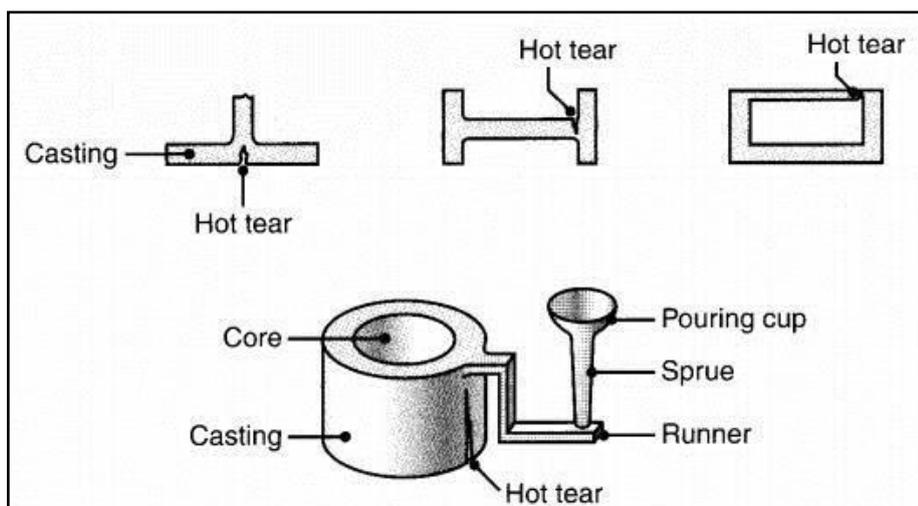
Cacat yang dapat terjadi karena tegangan terlalu besar pada coran yang ditimbulkan oleh temperatur terlalu tinggi.

Penyebab :

- Kontraksi akibat penyusutan dan kekuatan tarik yang tinggi
- Pembekuan tidak seragam

Solusi :

- Perancangan cetakan, inti, dan perhitungan sistem saluran harus tepat
- *Superheating* harus tepat
- Memberikan *preheating* pada cetakan



Gambar 4.37 Hot tears
Sumber : Kalpakjian (2009:249)



7. Gas Defect

Gas defect atau cacat gas dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

a. Pin Holes

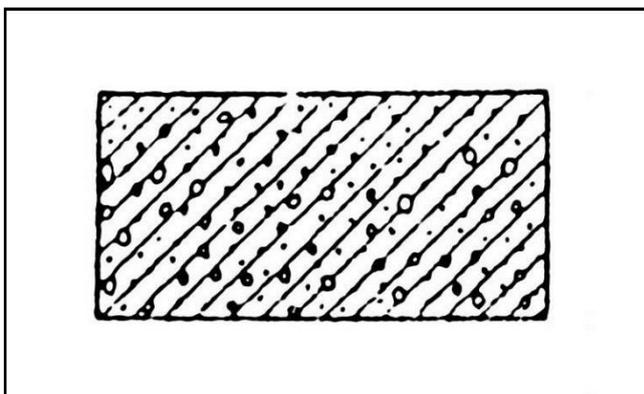
Pin holes merupakan lubang banyak yang memiliki diameter kecil, biasanya kurang dari 2 mm, terlihat pada permukaan *casting* (Jain, 1997:197).

Penyebab :

- *Riser* kurang memadai
- Absorpsi dari gas hidrogen ketika logam cair dituang menyentuh cetakan yang basah
- Aliran logam cair turbulen

Solusi :

- *Riser* dibuat lebih memadai
- Memberi pasir yang memiliki kadar air rendah dan permeabilitas yang sesuai
- Memilih nilai solidifikasi yang tinggi pada logam cair
- Penerapan nilai titik lebur yang sesuai



Gambar 4.38 Pin holes

Sumber : Jain (2009:315)

b. Blow Holes

Blow Holes adalah lubang halus melingkar yang jelas terlihat pada permukaan *casting*. Mereka memiliki yang jumlah banyak dan berbentuk seperti lubang kecil yang memiliki diameter sekitar 3 mm atau kurang dan dalam bentuk satu depresi besar dan halus. (Jain, 1976:197).

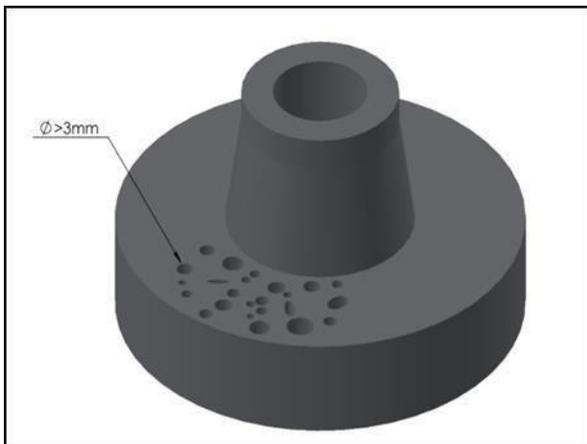


Penyebab :

- Permeabilitas rendah
- Banyaknya jumlah udara yang dihasilkan pasir cetak
- Air yang tidak tercampur merata ketika mengolah pasir cetak
- Aliran logam cair turbulen

Solusi :

- Lebih cermat ketika mengolah pasir cetak
- Menyesuaikan kadar air dengan kadar pengikat dan berat pasir yang digunakan
- Mengatur waktu penuangan



Gambar 4.39 Blow holes
Sumber : Jain (2009:315)

8. Metal Penetration

Cacat ini terlihat pada permukaan yang kasar dan tidak rata dari benda coran yang diakibatkan karena pasir memiliki permeabilitas yang tinggi dan butiran yang besar. Selain itu fluiditas logam cair yang terlalu tinggi juga bisa menyebabkan cacat ini.

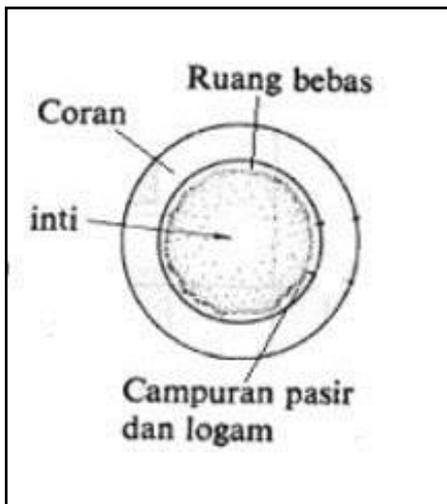
Penyebab :

- Permeabilitas yang terlalu tinggi
- Pelapis yang kurang tebal

Solusi :

- Komposisi pasir cetak harus tepat
- Menambahkan pelapis





Gambar 4.40 Metal penetration
Sumber : Surdia dan Chijiwa (2013:214)

9. Swell

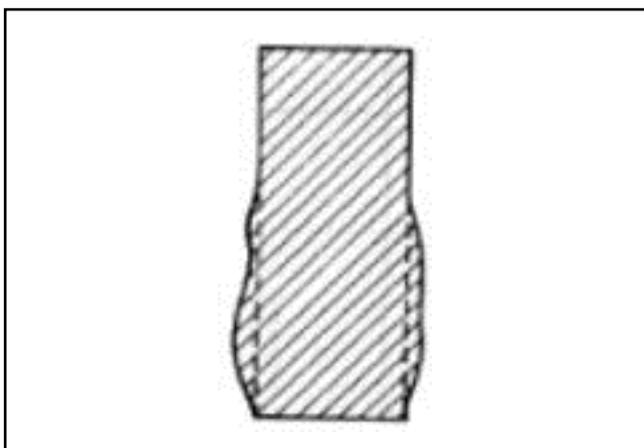
Swell merupakan pembesaran rongga cetakan yang diakibatkan oleh tekanan dari logam cair, yang menghasilkan pembengkakan.

Penyebab :

- Kekuatan tekan pasir cetak yang kurang

Solusi :

- Komposisi pasir cetak harus tepat
- Pemadatan pasir harus merata dan tepat



Gambar 4.41 Swell
Sumber : Surdia dan Chijiwa (2013:214)



10. Cold Shut dan Miss Run

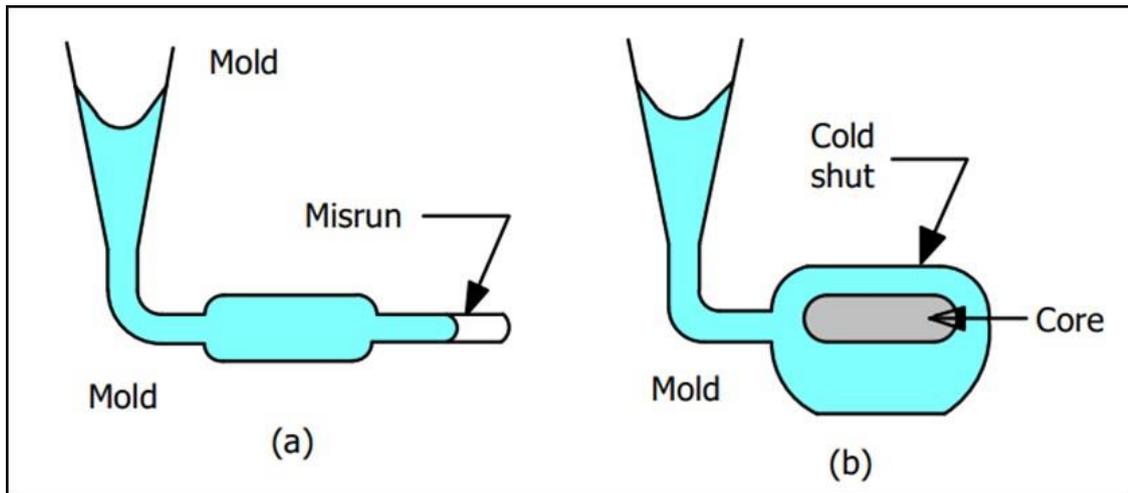
Cacat dimana diskontinuitas terjadi karena penggabungan yang tidak sempurna dari dua aliran logam di rongga cetakan. Cacat ini tampak retak atau jahitan pada permukaan yang halus. *Miss run* merupakan cacat yang diakibatkan oleh kegagalan logam untuk mengisi rongga cetakan secara menyeluruh.

Penyebab :

- Perencanaan pengecoran yang kurang tepat
- Temperatur penuangan yang rendah
- Kecepatan penuangan tidak tepat

Solusi :

- Perencanaan sistem saluran yang tepat
- Temperatur penuangan logam harus tepat
- Kecepatan penuangan harus tepat



Gambar 4.42 Cold shut dan miss run
Sumber : Groover (2010:249)

1.2.6 Inspeksi

Inspeksi atau pemeriksaan cacat adalah pemeriksaan terhadap produk coran untuk mengetahui ada tidaknya cacat pada produk coran tersebut. Macam-macam inspeksi yang sering dilakukan yaitu:



1. *Liquid Penetrant Test*

Metode *liquid penetrant test* merupakan metode *NDT (Non Destructive Test)*. Metode ini digunakan untuk menemukan cacat di permukaan terbuka dari komponen solid baik logam maupun non logam.

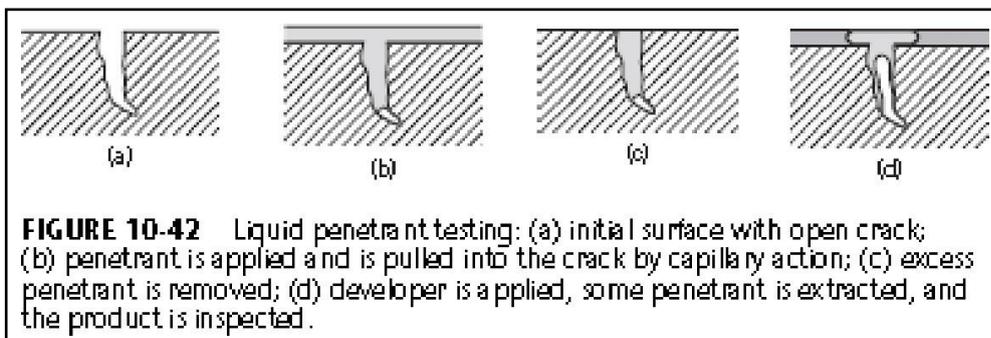
Melalui metode ini cacat pada permukaan material akan terlihat jelas. Caranya adalah dengan memberikan cairan berwarna terang pada permukaan yang diinspeksi. Cairan ini harus memiliki daya *penetrant* yang baik dan viskositas yang rendah agar dapat masuk pada cacat dipermukaan material yang diberikan. Cacat akan nampak jelas jika perbedaan warna *penetrant* yang tertinggal dibersihkan dengan *penetrant developer*.

Kelebihan :

- Mudah diaplikasikan
- Tidak dipengaruhi oleh sifat kemagnetan material dan komposisi kimia
- Jangkauan permukaan cukup luas

Kekurangan :

- Tidak dapat dilakukan pada benda dengan permukaan kasar dan berpori
- Hanya bisa dilihat untuk cacat pada permukaan saja



Gambar 4.43 *Liquid penetrant test*
Sumber : De Garmo (2008:247)

2. *Magnetic Particle Inspection*

Dengan menggunakan metode ini, cacat permukaan atau sedikit di bawah permukaan (*subsurface*) pada benda yang bersifat *ferromagnetic* dapat diketahui. Prinsipnya adalah dengan memanfaatkan bahan yang akan diuji. Dengan menabur partikel magnetik di permukaan. Partikel-partikel tersebut akan terkumpul pada daerah kebocoran medan magnet.

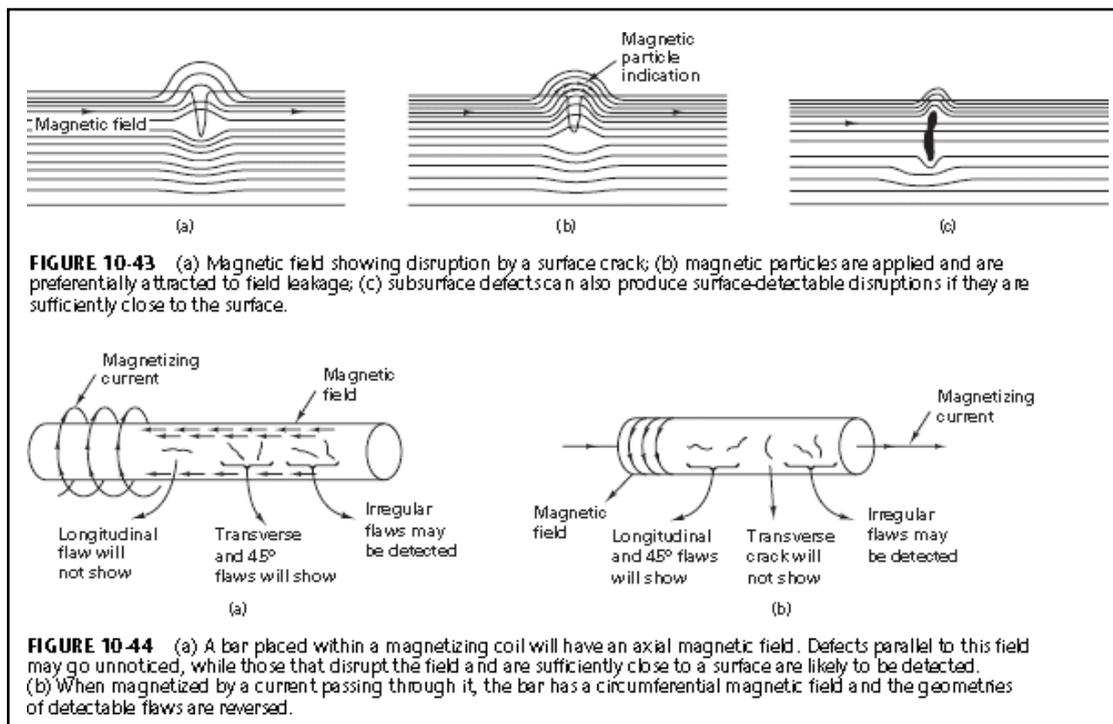


Kelebihan :

- Tidak memerlukan keahlian khusus untuk mengoperasikan

Kekurangan :

- Penggunaan terbatas pada material *ferromagnetic*
- Adanya kemungkinan cacat tidak terdeteksi akibat cacat searah medan magnet
- Tidak bisa untuk benda yang kasar



Gambar 4.44 Magnetic particle inspection
Sumber : De Garmo (2008:248)

3. Ultrasonic Test

Prinsip yang digunakan adalah prinsip gelombang suara. Gelombang suara yang dirambatkan pada spesimen uji dan sinyal yang ditransmisikan akan dipantulkan kembali. Gelombang ultrasonik yang digunakan memiliki frekuensi 0,5-20 MHz. Gelombang suara akan berpengaruh jika ada retakan atau cacat pada material. Gelombang ultrasonik dibangkitkan oleh transduser dari bahan piezoelektrik yang dapat mengubah energi listrik menjadi getaran mekanis kemudian menjadi energi listrik lagi.

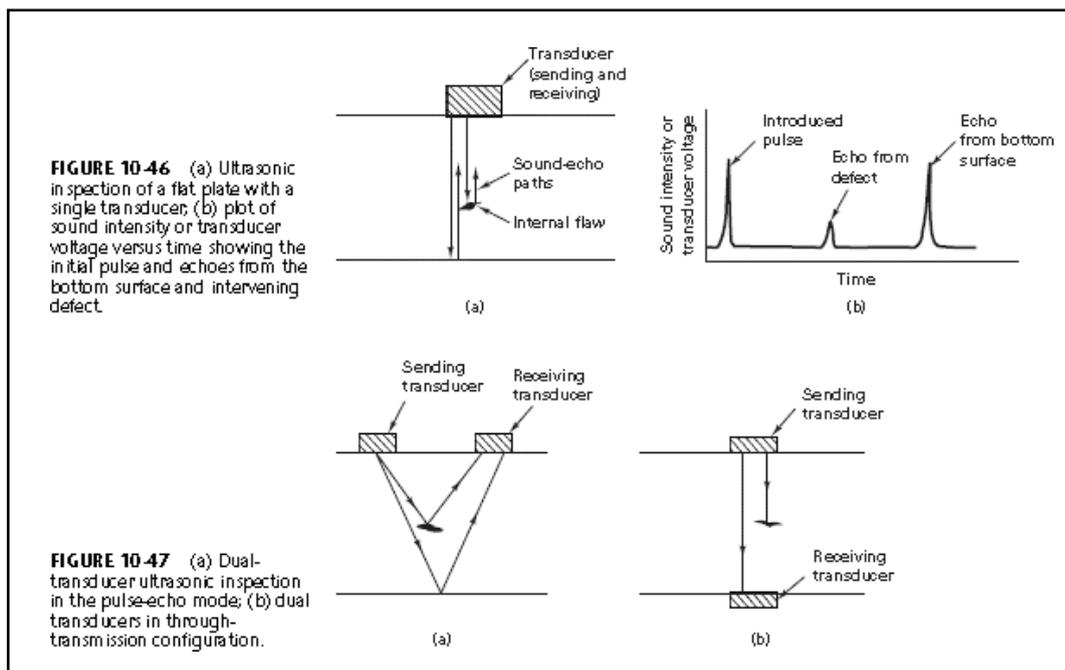


Kelebihan :

- Hanya diperlukan satu sisi untuk dapat mendeteksi keseluruhan
- Indikasi dapat langsung diamati

Kekurangan :

- Benda dengan permukaan kasar, tidak beraturan, dan sangat kecil sangat sulit diuji.



Gambar 4.45 Ultrasonic test

Sumber : De Garmo (2008:251)

4. Eddy Current Test

Inspeksi ini memanfaatkan prinsip elektromagnetik. Prinsipnya arus listrik dialirkan pada kumparan untuk membangkitkan medan magnet didalamnya. Jika medan magnet dikenakan pada benda logam yang akan diinspeksi, akan terbangkit arus *eddy*, kemudian diinspeksi.

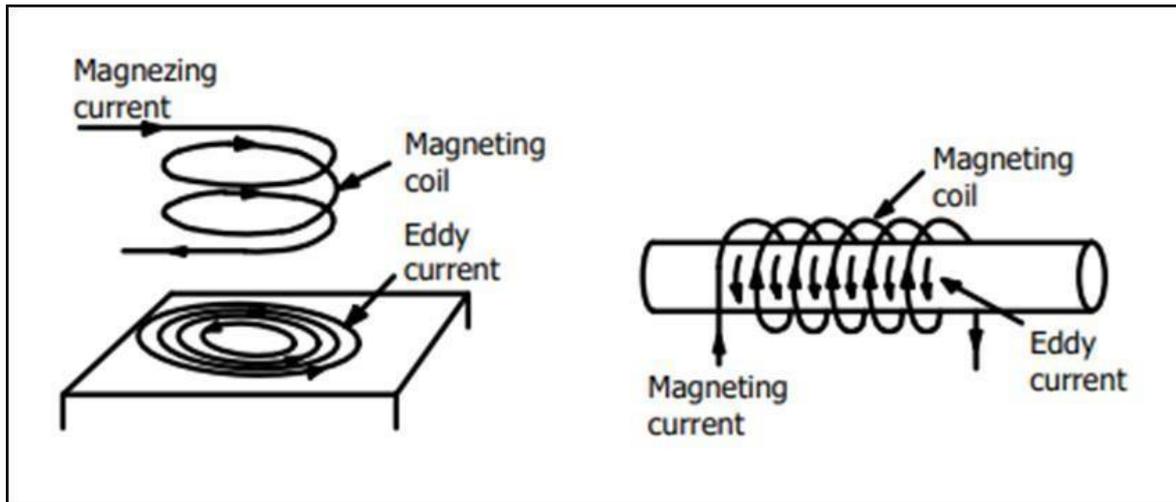
Keuntungan :

- Hasil pengujian dapat langsung diketahui
- Bisa mendeteksi cacat yang berada di permukaan dan di dalam

Kekurangan :

- Terbatas dimensi





Gambar 4.46 Eddy current test
Sumber : De Garmo (1997:309)

5. Radiographic Inspection

Metode ini untuk menetapkan cacat pada material dengan menggunakan sinar-x dan sinar Gamma. Prinsipnya sinar dipancarkan menembus material yang diperiksa. Saat menembus objek, sebagian sinar akan diserap sehingga intensitas berkurang. Intensitas akhir kemudian direkam dalam *film* yang sensitif. Jika ada cacat pada material maka intensitas yang terekam pada *film* ini akan memperlihatkan bagian material yang mengalami cacat.

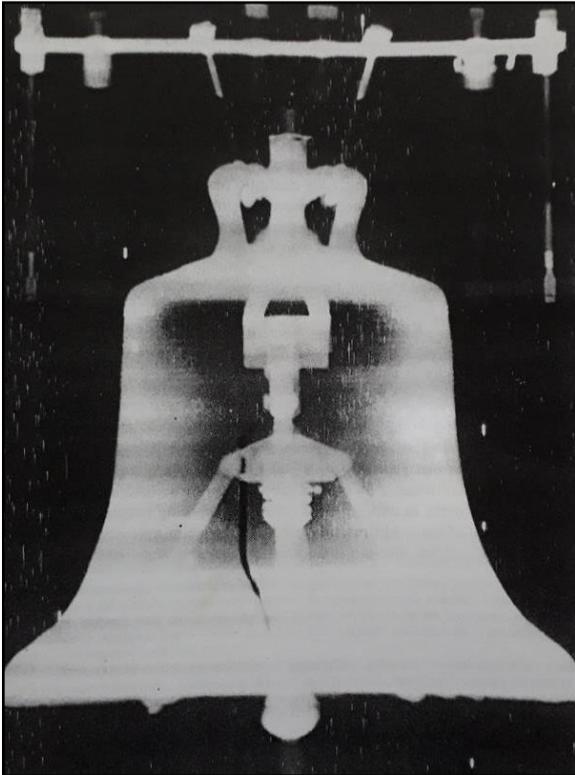
Keuntungan :

- Faktor ketebalan benda tidak mempengaruhi. Hal ini mengingat daya tembus sinar gamma yang besar
- Mampu menggambarkan bentuk cacat dengan benar
- Bisa untuk benda yang permukaannya kasar

Kekurangan :

- Memerlukan operator yang berpengalaman
- Efek radiasi sinar gamma berbahaya





Gambar 4.47 Radiographic inspection
Sumber : De Garmo (1997:310)

6. Uji Pikhometri

Dalam pengujian ini, ketidakraturan bahan diteliti dan juga komponen, struktur mikro dan sifat-sifat mekanik. Dengan demikian pemeriksaan porositas dapat dilakukan dengan baik dengan perlakuan tekanan yang berasal dari foto mikrostruktur dari coran.

Untuk mencari persentase porositas yang terdapat dalam suatu coran digunakan perbandingan 2 buah densitas, yaitu:

a. True Density

Kepadatan dari suatu benda padat tanpa porositas yang terdapat didalam didefinisikan sebagai perbandingan massa terhadap volume tekanan. Untuk memperoleh nilai *true density* dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang ada pada standar ASTM E 252-84, yaitu :

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left[\left(\frac{\% A}{\rho_{Al}}\right) + \left(\frac{\% Cu}{\rho_{Cu}}\right) + \left(\frac{\% Fe}{\rho_{Fe}}\right) + etc\right]} \dots\dots\dots(4-3)$$



Dengan :

- ρ_{th} : *True density* (gram/cm³)
 $\rho_{Al}\rho_{Cu}\rho_{Fe}etc$: Densitas unsur (gram/cm³)
 %Al %Cu %Fe etc : Presentase berat unsur

b. *Apparent Density*

Berat di setiap unit volume material termasuk cacat yang terdapat dalam uji material (gr/cm³). Sedangkan untuk perhitungan *apparent density*, menggunakan persamaan sesuai karakter struktur ASTM B3H-93 sebagai berikut :

$$\rho_s = \rho_w \frac{w_s}{(w_s - (w_{sb} - w_b))} \dots\dots\dots(4-4)$$

Dengan :

- ρ_s : *Apparent density* (gr/cm³)
 ρ_w : *Density air* (gr/cm³)
 w_s : Berat sampel udara (gr)
 w_{sb} : Berat sampel dan keranjang di dalam air (gr)
 w_b : Berat keranjang (gr)

Pengukuran densitas menggunakan metode piknometri, yaitu sebuah proses pembandingan densitas relatif dari sebuah padatan dan sebuah cairan. Pengujian piknometri didasarkan pada perhitungan persentase porositas hasil coran untuk dapat menghitung persentase porositas dapat dihitung dengan rumus :

$$\%P = \left(1 - \frac{\rho_s}{\rho_{th}}\right) \times 100\% \dots\dots\dots(4-5)$$

Dimana :

- %P : Presentase porositas
 ρ_s : *Apparent density* (gr/cm³)
 ρ_{th} : *True density* (gr/cm³)

