BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Semakin cepat laju pembekuan maka akan mempengaruhi sifat kekerasan serta struktur mikro yang dihasilkan dari paduan Al-Si-Cu. Hal itu didapatkan juga bahwa semakinn cepat laju pendinginan maka akan mempengaruhi stukutur ukuran butir material pada paduan Al-Si-Cu yang semakin lembut, Dobrzański (2006). Dari penelitiannya ditemukan bagaimana perbedaan laju pembekuan terhadap sifat-sifat mekanis aluminium paduan Al-Si-Cu.

Penelitian ini menggunakan metode dengan membekukan paduan Al-Si-Cu cair dengan laju pendinginan yang berbeda, yaitu 0,14 ºC/s, 0,46 ºC/s, dan 0,96 ºC/s. Dari penelitian diperoleh bahwa semakin cepat laju pendinginan maka harga kekerasannya semakin meningkat, yaitu dari 68,43 HRF untuk laju 0,14 ºC/s, 70,63 HRF untuk laju 0,46 ºC/s, serta 74,58 HRF untuk laju 0,96 ºC/s. Struktur mikro didapatkan butiran yang semakin lembut untuk proses laju pendinginan yang semakin cepat maka partikel Si yang di hasilkan semakin kecil.

Dari hasil penelitian Grosselle (2009). didapatkan bahwa struktur ukuran dendrit aluminium serta partikel Si meningkat seiring terjadinya peningkatan ketebalan coran, tetapi hasil kekuatan mekaniknya menurun. Dari pengujian ini paduan aluminium - silikon di cor dari cetakan dengan ketebalan yang bertingkat, mulai dari 5mm sampai 20 mm. Pengamatan struktur mikro serta perhitungan menggunakan simulator.

Penelitian kembali dilakukan oleh Dobrzanski (2007). tentang bagaimana pengaruh laju pendinginan pada struktur ukuran butir dari aluminium paduan AlSi9Cu. Aluminium cair ditahan pada suhu 850 °C selama 12 jam pada *electric resistance furnace*, setelah itu logam cair dituang pada cetakan stainless steel dengan ketebalan 0,25 mm.

Kemudian dari kurva pembekuan dan kurva kristalisasi pada laju pembekuan antara 0,16 °C/s sampai dengan 1,04 °C/s, spesimen stelah itu di analisa menggunakan mikroskop metalurgi. Dari hasil penelitian didapatkan dengan meningkatkan laju pembekuan maka melembutkan ukuran struktur mikro termasuk ukuran SDAS, serta menurunkan partikel Si yang terbentuk dari ± 57 μm² menjadi ± 22 μm².

Pada penelitian Jayakumar (2007). digunakan alat *Universal Metallurgical Simulator and Analizer* (UMSA). Dari penelitiannya tentang pengaruh laju pendinginan terhadap mikro porositas serta fasa silikon yang terjadi pada paduan aluminium silikon. bahan yang dipakai adalah Al-12,6%Si, setelah itu dilebur dan melakukan percobaan dengan Spesimen dibuat dengan ukuran diameter 30,5 mm serta tinggi 32 mm dengan laju pendinginan yang

berbeda – beda yaitu 0,8 – 1 °C/s, 2-3 °C/s, serta 6-7 °C/s, spesimen kemudian dipotong secara mendatar kemudian diperiksa menggunakan mikroskop metalurgi. Dari hasil penelian didapatkan bahwa pada laju pendinginan yang rendah terjadi cacat porositas tetapi partikel Si tidak terbentuk, pada laju mendinginan sedang porositas serta partikel Si tidak terbentuk dan hanya terbentuk struktur eutektik, sedangkan pada laju pendinginan cepat tidak terjadi porositas tetapi partikel Si terbentuk disertai Al dendrit yang lembut.

Dari Penelitian Seifeddine dan Svensson (2005), dapat dilihat sturktur ukuran mikro bahwa laju pendinginan yang tinggi fasa Fe yang dibentuk ukurannya sangat kecil tetapi kekuatan material tetap tinggi tetapi sifat keuletanya berkurang. Metode penelitian yang di guanakan dengan mendinginkan aluminium cair pada furnace berpendingin. didinginkan dengan cara menyemprotkan cairan pendingin dengan kecepatan yang berbeda sehingga didapatkan strukur mikro yang berbeda.

2.2 Pengertian Pengecoran

Salah satu cara untuk membentuk material logam adalah dengan melakukan proses *casting* atau yang dikenal dengan istilah “pengecoran logam”. Yaitu membentuk suatu material logam dengan cara mencairkan logam dan menuangkan ke rongga cetak yang berbentuk seusai material logam yang diinginkan.

pengecoran adalah proses produksi benda benda tuang yang dilakukan dengan terlebih dahulu meleburkan bahan mentah di dalam dapur peleburan, Hardi sudjhana (2008).

Suhardi (1992). pengecoran merupakan proses dasar yang penting dalam pengembangan industri yaitu memenangkan cairan logam kedalam rongga cetak dan tidak digunakan tekanan dalam memasukan logam cair kedalam rongga cetakan (*cavity*) tersebut.

Temperatur logam sampai mencair pada proses pengecoran logam ada bermacam macam yang tergantung dari jenis logam yang digunakan ada macam macam logam dan temperatur tuangnya dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2.1.
Aluminium paduan

Jenis Logam	Temperatur Tuang (^{0}C)
Paduan ringan	650-750
Tembaga	1100-1250
Kuningan	950-1100
Besi cor	1250-1450
Baja cor	1500-1550

(Sumber: Tata Surdia, Chijiiwa Kenji. 1986: 109)

Klasifikasi pengecoran didasarkan pada bahan cetakan secara umum proses pengecoran dikelompokan menjadi dua yaitu :

1. *Expendable mold casting*

   Expendable molf casting adalah cetakan yang hanya dipakai untuk sekali proses pengecoran. Bahan cetakan umumnya adalah pasir,gips,keramik, dan material sejenis yang dicampur bahan pengikat.
2. *Permanent Mold Casting*

   Permanent Mold Casting adalah cetakan yang bisa dipakai berulang kali dan bahannya terbuat dari baja atau logam tahan panas. Dengan cetakan ini dihasilkan permukaan produk cor yang halus.

2.3 Permanent mold Casting

Prinsip dasar pengecoran logam adalah meleburkan logam hingga mencair kemudian memasukan logam ke dalam cetakan.cairan logam tersebut akan menyesuaikan dengan bentuk rongga cetakan sehingga didapatkan bentuk yang sesuai dengan cetakan setelah cariran logam tersebut membeku. proses pengecoran logam yang menggunakan cetakan dapat digunakan kembali (cetakan permanen), biasanya terbuat dari logam. Proses yang paling umum menggunakan gravitasi untuk mengisi cetakan, namun tekanan gasatau vakum juga digunakan.Pengecoran dengan cetakan permanen dapat di kelompokan menjadi :

1 .Permanent Mold Casting

Merupakan teknik pengecoran logam yang cetakannya menggunakan baja atau besi tuang. Inti (*core*) dapat juga menggunakan logam coran permanen, namun inti tersebut harus bisa dilepaskan setelah logam cair membeku. cetakan ini bisa digunakan berulang kali Heine (1976:285).

permanent mold casting dapat di kelompokan dengan 2 jenis antara lain:

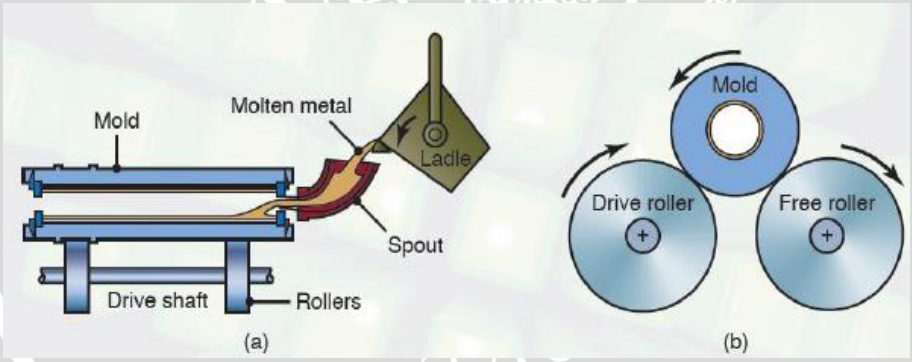
1. Pengecoran *Sentrifugal*

Pengecoran *sentrifugal* dilakukan dengan cara menuangkanlogam cair ke dalam lubang cetakan yang berputar akibat dengan pengaruh gaya *sentrifugal*. Logam cair akan terdistribusi ke dinding rongga cetak dan kemudian membeku. Ada macam macam pengecoran *sentrifugal* antara lain:

a. Pengecoran *Sentrifugal* Sejati

Dalam proses pengecoran *sentrifugal* sejati logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang *horizontal* ketika sedang berputar melalui cawan tuang yang terletak pada salah satu ujung cetakan pada beberapa mesin. Karakteristik benda cor hasil pengecoran *sentrifugal* sejati:

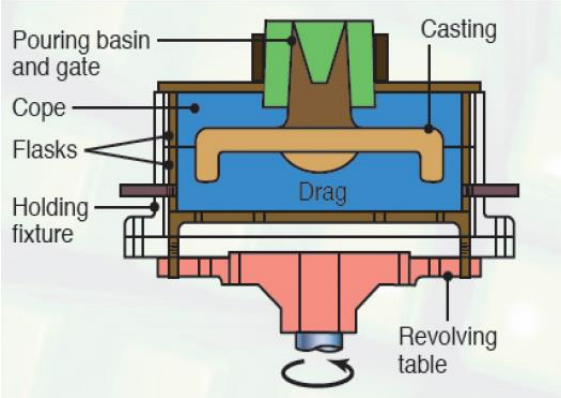
- Mempunyai densitas yang tinggi pada bagian luar cor.
- Tidak terjadi penyusutan pembekuan yang terdpat pada bagian luara benda coran kaarena adanya gaya *sentrifugal* yang bekerja secara kontinyu selama pembekuan.
- Memilki impuritas pada dinding dalam coran dan akan dihilangkan dengan permesinan.



Gambar 2.1 Proses Pengecoran *Sentrifugal* Sejati
Sumber: Kalpakjian, (1989:327)

b. Pengecoran Semi *Sentrifugal*

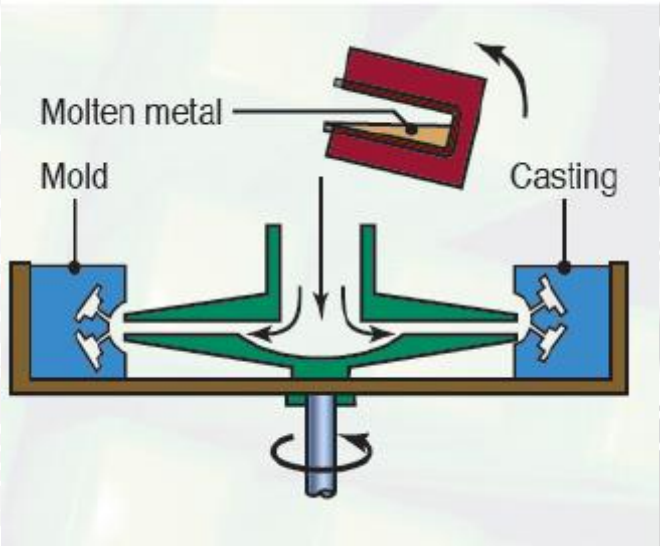
Pada metode ini gaya *sentrifugal* digunakan untuk menghasilkan coran yang pejal (bukan bentuk *tabular*). Cetakan tersebut dibuat dengan *riser* pada pusat untuk pengisian logam cair. Biasanya digunakan untuk pengecoran logam paduan. Biasanya untuk membuat roda gigi dan *pulley* atau membuat baling - baling seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2.2 Proses Pengecoran Semi *Sentrifugal*
Sumber: Kalpakjian., (1989:328)

c. Pengecoran *Sentrifuge*

Dalam pengecoran *sentrifuge*, cetakan dirancang dengan beberapa rongga cetak yang diletakkan disebelah luar dari pusat rotasi sedemikian rupa sehingga logam cair yang dituangkan ke dalam cetakan akan didistribusikan ke setiap rongga cetak dengan gaya *sentrifugal* seperti yang ditunjukkan dalam gambar berikut.



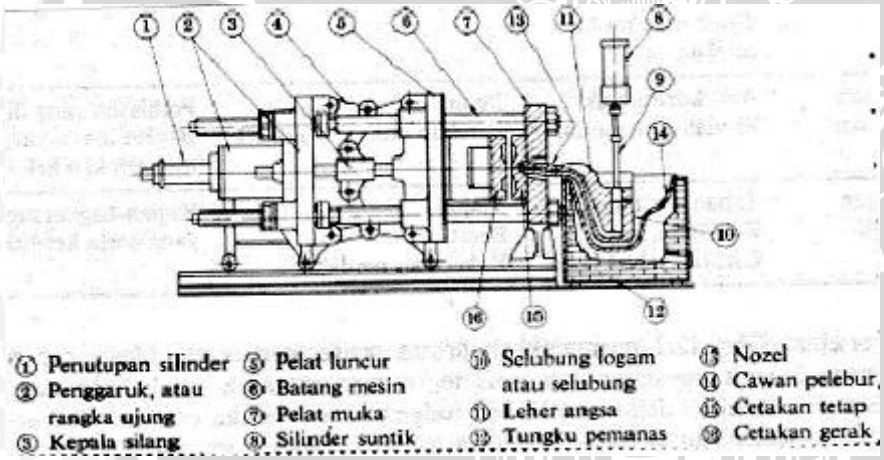
Gambar 2.3 Proses Pengecoran *Sentrifuge*
Sumber: Kalpakjian., (1989:328)

2. Pengecoran Cetak Tekan (*Die Casting*)

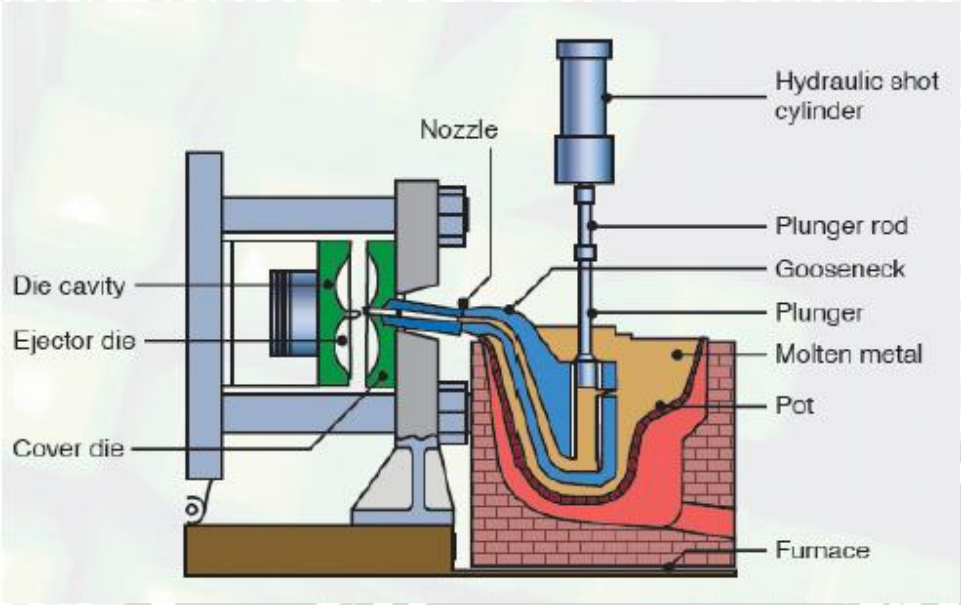
Pengecoran cetak tekan termasuk proses pengecoran cetakan permanen dengan cara menginjeksikan logam cair ke dalam rongga cetakan dengan cetakan tinggi (1 - 30 MPa). Tekanan tetap dipertahankan selama proses pembekuan. Pengecoran Cetak Tekan (*Die Casting*) dapat dibagi menjadi:

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

Mesin cetak ruang panas, tungku untuk meleburkan logam terdapat pada mesin dan silinder injeksi terendam dalam logam cair. Tekanan injeksi pada mesin antara 7 - 35 MPa. Mesin ini dipakai untuk logam cair yang titik lebur rendah seperti Sn, Pb, dan Zn. Dalam mesin ini, logam dilebur didalam *container* yang menjadi satu dengan mesin cetaknya, seperti yang ditunjukkan gambar berikut.



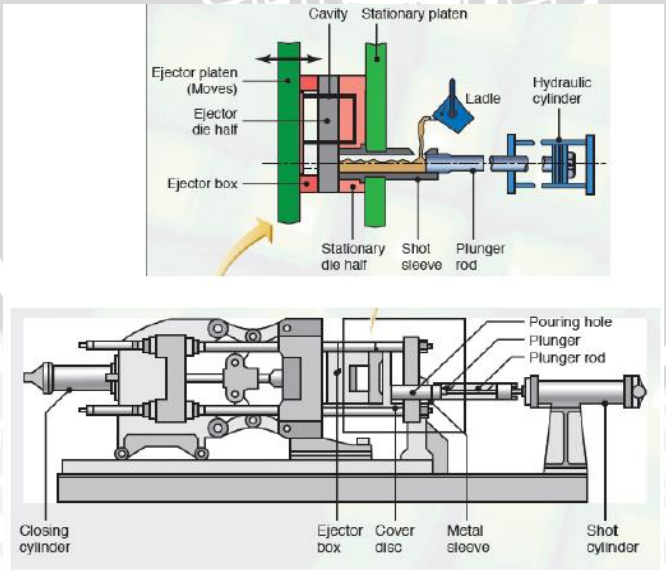
Gambar 2.4 Mesin Cor Cetak Ruang Panas
Sumber: Surdia dan Chijiwa, (1996:244)



Gambar 2.5 Proses Pengecoran Cetak Ruang Panas
Sumber: Kalpakjian (1989:323)

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

Pada mesin cetak ruang dingin ini , tungku peleburannya secara umum terpisah dengan silinder injeksi dan silinder injeksi terisis oleh logam cair secara manual. Tekanan injeksinya yang dihasilkan berkisar antara 14 - 140 Mpa dan dipakai untuk logam cor yang memiliki titik lebur lebih tinggi dan dipakai untuk pengecoran logam *non ferrous*.



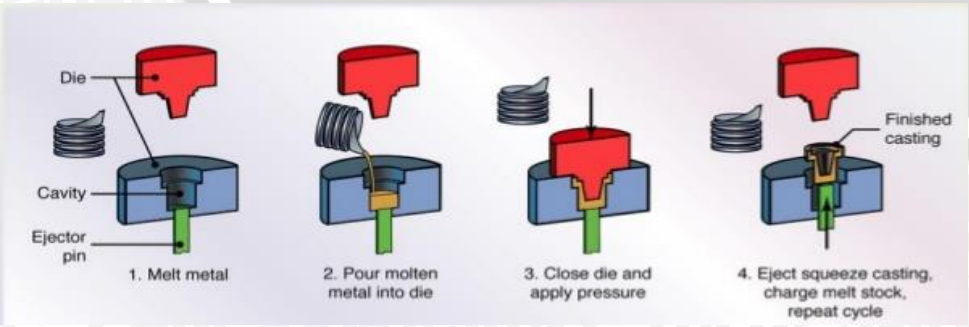
Gambar 2.6 Mesin Cetak Tekan Ruang Dingin
Sumber: Groover Mikel P., (2007:36)

Tabel 2.2 :
Perbedaan Antara Mesin Cetak Tekan Ruang Panas dan Ruang Dingin

Mesin Cetak Tekan Ruang Panas	Mesin Cetak Tekan Ruang Dingin
• Terdapat tungku peleburan di mesin dan silinder injeksi terendam dalam logam cair	• Terdapa tungku peleburan terpisah, silinder injeksi diisi logam cair secara mekanis atau manual
• Spesifikasi tekanan Injeksi antara 7 - 35 Mpa	• Injeksi tekanan berkisar antara 14 - 140 MPa
• Digunakan untuk logam cair dengan titik lebur rendah seperti Sn, Pb, dan Zn	• Dipakai untuk logam cair dengan titik lebur tinggi dari pada hot chamber, seperti Al
• Cepat Laju Produksi, dihasilkan mencapai 500 produk/jam	• Laju produksi lambat dibanding *hot chamber*

3. *Squeeze Casting*

Squeeze casting atau biasa disebut dengan *liquid metal forging*, adalah suatu istilah yang dipakai untuk menampilkan salah suatu proses ketika logam cair didinginkan dalam cetakan tertutup sambil diberikan tekanan luar yang biasanya berasal dari tenaga hidrolik. Ketika terjadi kontak antar logam cair dengan *punch* dan *die* pada saat ditekan kemungkinan akan terjadi panas yang berpindah yang cukup cepat. Hal Ini akan menghasilkan struktur mikro yang homogen dan bisa membuat sifat mekanik menjadi baik.



Gambar 2.7 Squeeze Casting
Sumber: Kalpakjian, 1989 : 329

2.4 Sistem saluran Pengecoran

Sistem saluran adalah jalan masuk logam cair menuju ke rongga cetakan.bagian bagian sistem pengecoran terdiri dari:

- Cawan Tuang

  Cawang tuang bertujuan untuk membantu sistem aliran logam cair untuk mengalir lebih baik . Pada saat dilakukan penuangan, cawa tuang diusahakan selalu dipertahankan penuh agar logam cair masuk secara meratake rongga cetakan.

- Saluran Turun (s*pure*)

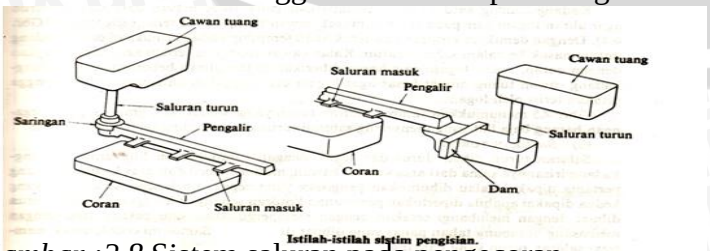
  Merupakan saluran yang melalui *cope* pada cetakan pasir yang berfungsi untuk menyalurkan logam cair dari cawan menuju ke tempat penuangan logam cair kebagian bawah. Bentuk *spure* harus tirus ke bawah dan dasar *spure* lebih besar dan lebih dalam dari pada runner dengan tujuan untuk menghindari terjadinya aspirasi gas. *Spure* berbentuk tirus bertujuan untuk menjaga keseimbangan aliran agar tidak jauh bebas. Ukuran *spure* harus memnuhi kondisi tertentu, spure harus cukup kecil untuk mempertahankan spure terisi penuh cairan logam selama proses penuangan. Selain itu juga untuk menjamin aliran cairan logam memasuki rongga cetakan tanpa menimbulkan turbulensi maupun pusaran pada saat yang yang sama, ukuran *spure* harus cukup besar untuk menjamin rongga cetakan terisi penuh tanpa menimbulkan terjadinya aspirasi gas.

- *Runner*

  Runner biasanya dipakai untuk menghubungkan bagian dasar *spure* dengan *gate*.

- Saluran Masuk (*Gate*)

  Merupakan saluran masuk logam cair menuju ke dalam rongga cetakan pasir. Tempat dan ukuran gate dirancang sebaik mungkin untuk cairan logam dapat masuk kerongga cetakan secepat mungkin.



Gambar :2.8 Sistem saluran pada pengecoran
Sumber : ASM (1988:254)

2.5 Modulus Cor*(casting modulus)*

Modulus Cor *(casting modulus)* merupakan sifat intrinsik pada proses pengecoran, yang berkaitan dengan waktu pembekuan logam cair. Nilai *casting modulus* dapat menunjukkan perbandingan antara volume terhadap luas permukaan coran. Umumnya, harga nilai *casting*

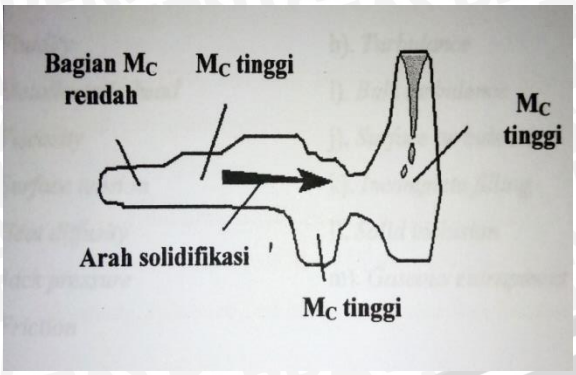
modulus besar berarti waktu yang diperlukan untuk logam cair membeku lebih lama. (*Shrinkage Defect*) Cacat penyusutan adalah cacat yang sering terjadi dalam suatu proses pengecoran logam. cacat ini meneyebabkan pembekuan yang tidak merata pada produk yang mana idealnya solidifikasi menuju ke arah *riser*. Dengan itu, *riser* adalah bagian yang terakhir dari saluran sistem yang membeku setelah hasil cor. Hal ini terjadi jika modulus cor *riser* sangat besar dibandingkan modulus cor produk coran.dengan demikian, besarnya modulus cor *riser* memiliki batas tertentu untuk mengeliminir cacat penyusutan pada coran . Struktur paduan komposisi mempengaruhi kemampuan logam cair untuk memindahkan energi panas. Besarnya energi panas yang dihasilkan dan dipindahkan berdampak pada waktu pembekuan cairan logam. Untuk menggambarkan perbandingan volume dan luas permukaan casting, atau dari berbagai bagian casting lihat gambar 2.9 menurut aturan Chorinov, tiap bagian yang memiliki modulus lebih tinggi (perbandingan volume dengan luas permukaan kontak) akan membekukan terakhir, sedangkan bagian dengan nilai modulus yang lebih rendah akan membeku terlebih dahulu. Idealnya casting menjalani arah solidifikasi menuju riser (*feeder*), umunya bagian casting yang memiliki nilai modulus tertinggi harus terpasang riser. Untuk mendapatkan *sound* casting yang baik maka modulus *riser* harus sama atau lebih besar dari casting untuk yang terpasang.modulus pengecoran sering digunakan untuk menganalisis terjadinya shrinkage yang disebabkan oleh kegagalan fungsi *riser* untuk mengkomnsasi penyusutan pada produk cor. Segera geometri, modulus pengecoran merupakan perbandingan voulume logam cair dengan luas penampang. Temperatur solidifikasi yang berbeda. Secara matematis modulus pengecoran (M_C) dirumuskan sebagai berikut:

$$Mc = \frac{v}{s}$$

Dengan :

V=Volume [cm^3],

S=Luas permukaan pendinginan [cm^2]



Gambar :2.9. Mekanisme Solidifikasi pengecoran
Sumber : Wahyono Suprapto (2011) Disertasi.

2.6 *Riser*

Riser berfungsi untuk menampung kelebihan logam cair,sebagai cadangan terjadi logam cair yang menyusut dan juga berfungsi sebagai pemberat bisa juga sebagai pengumpan untuk menyuplaikan cairan logam kepada produk cor. *Riser* memberi logam cair yang mengimbangi penyusutan dalam pembeuan dari coran, sehingga ia harus membeku lebih lambat dari coran. Bentuk riser berupa potongan logam yang berada pada atas (*cope*) dan biasanya berbentuk silinder.Tata Surdia (1986)

Cara membuat *riser* dengan efektif :

- Volume cukup sampai bagian terakhir produk cor yang akan membeku.
- Ukuran dan bentuk *riser* harus sesuai sehingga logam membeku lama dari coran.
- *Riser* mampu mengatasi gradient temperatur sehingga arah pembekuan tetap mengarah kearah *riser*.

2.7 Peleburan

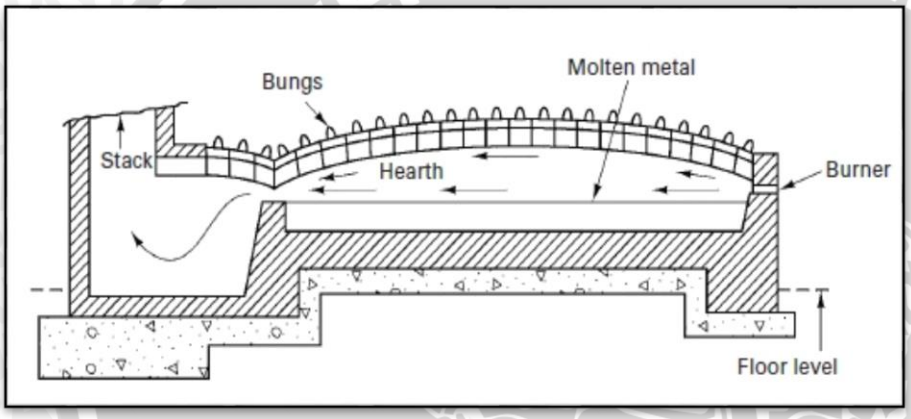
Peleburan adalah bagian terpenting dari suatu *metal casting* (Pengecoran Logam) karena peleburan adalah proses perubahan fase zat dari logam dimana logam sebelum dilebur berupa padatan (*solid*) dan setelah diberikan temperatur sampai dengan temperatur leburnya (kalor laten) atau titik cairnya sehingga berubah fase menjadi cair atau sering disebut dengan logam cair. pada logam cair yang merupakan hasil peleburan logam yang berupa padatan memiliki kemampuan untuk dicetak kedalam cetakan sehingga menghasilkan benda kerja yang diinginkan menurut De Garmo's,(2007 : 235).

A. Macam-Macam Dapur yang diklasifikasikan berdasarkan energi:

Proses peleburan sendiri tidak luput dari proses pemanasan yang dilakukan pada dapur peleburan. Macam-macam dapur peleburan antara lain :

1. *Electrical Furnace* (Dapur Listrik)

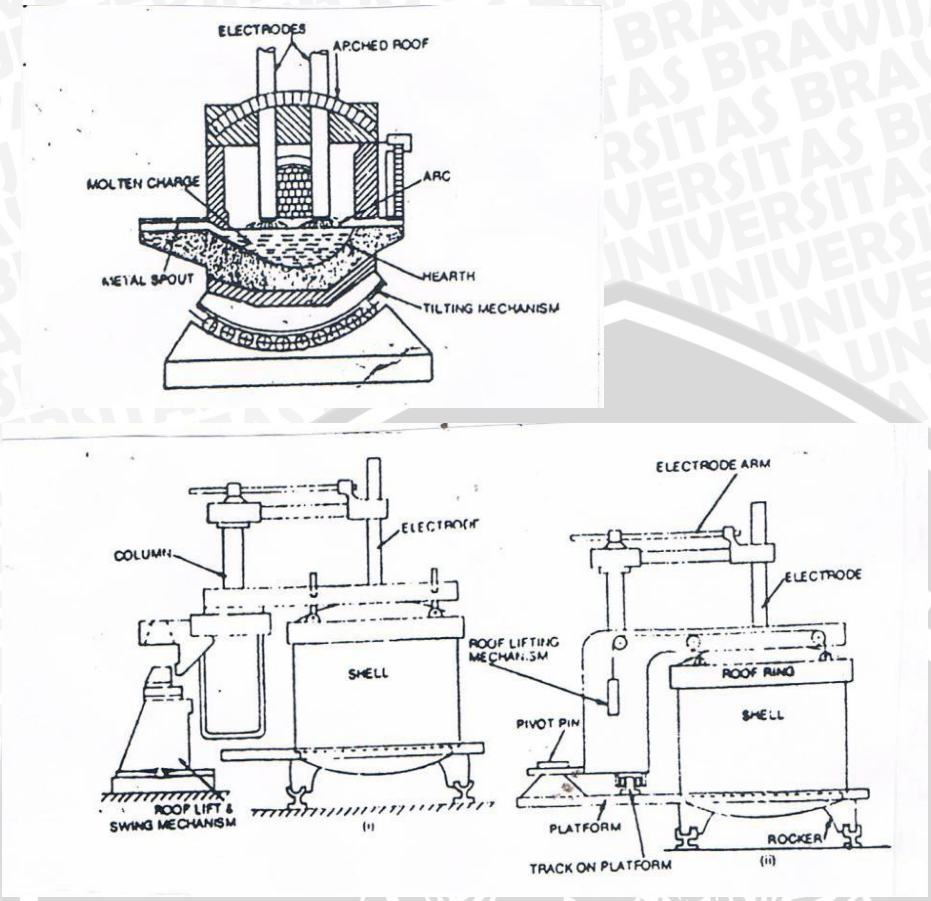
Electrical furnace atau dikenal dengan dapur listrik merupakan metode yang banyak digunakan dalam pengecoran besi cor dan baja. *Elektrical furnace* dalam industri pengecoran banyak digunakan untuk menghasilkan produk yang bervariasi karena dinilai coran dari dapur listrik menghasilkan produk berkualitas tinngi dan efisiensi dari dapur ini cukup tinggi *electrical furnace* digolongkan menjadi 2 tipe yaitu : *Direct Arc Furnace dan Idirect Arc Furnace.*



Gambar 2.10 Electrical Furnace
Sumber : De Garmo's, (2007 : 326)

a. Direct Arc Furnace

Digunkan untuk pengecoran secara luas karena dapat mengatur temperatur yang kostan yang populer dari jenis ini adalah tipe *Heroult Electrical Furnace* memilki ukuran antara 2 m sampai 8 m dengan kapasitas 1 ton sampai 125 ton. Yang biasa digunakan dengan kapasitas 5 ton sampai 25 ton. Pada jenis dengan kapasitas 10 ton diameter luar dapur 3 m dengan ketinggian 2,25 m dan diameter *refactory* 2,4 m. Energi yang dibutuhkan berupa energi listrik yang digunakan untuk mencairkan logam (*casting*) sebesar 850 kVA sampai 30.000 kVA dengan menggunakan *electroda*



Gambar 2.11 Direct Arc Furnace
Sumber : Jail,(1976 : 164)

b. Indirect Arc Furnace

Pada dapur jenis ini prinsip kerjanya sama dengan dapur *Direct Arc Furnace* hanya saja dapur ini dirancang khusus untuk pengecoran logam *non-ferrous* untuk kapasitas dari jenis *furnace* ini sendiri tergolong kecil karena dirancang untuk logam-logam *non-ferrous*. Kapasitas furnace ini sekitar 100 kg sampai 5 ton. Energi yang dibutuhkan untuk peleburan berkisar anatara 700-1000 kWh per ton.

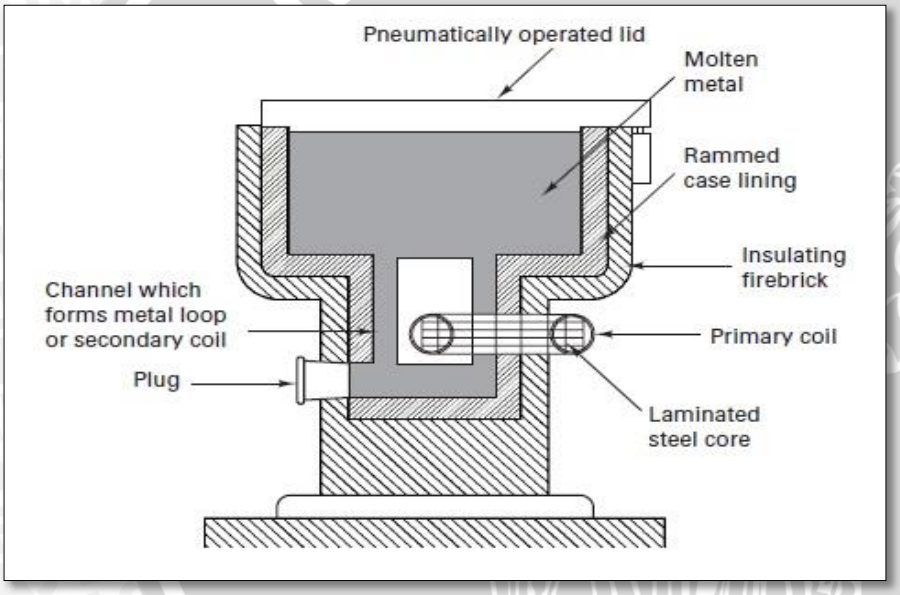
2. Dapur Induksi

Secara khusus dapur induksi dipakai untuk keperluan (memanaskan logam cair diatas temperatur cair normal). *superheating* Dapur jenis ini memiliki ciri mempertahankan temperatur konstan (*holding*). Sehingga memiliki waktu lebih lama untuk proses penuangan dan logam cair tidak cepat membeku hal ini juga menghindari pembekuan dini dalam saluran De Garmo's, (2007 : 328).

Karakteristik dapur induksi

- Digunakan untuk pengecoran kecil karena kapasitas peleburan terbatas
- Memiliki kemampuan mengatur komposisi peleburan secara kecil
- Biasa digunakan untuk pengecoran non-ferrous

Jenis dapur ini biasanya digunakan untuk peleburan aluminium atau jenis logam-logam *non-ferrous* lainnya, menggunakan frekuensi tinggi hal ini karena dapur ini menggunakan komponen medan magnet. Energi listrik yang dibutuhkan untuk mensuplay kumparan berkisar antara 5 sampai 1.000 kW untuk frekuensi 10.000 Hz sedangkan untuk tipe *induction furnace* dengan frekuensi rendah energi listrik yang dibutuhkan berkisar antara 50-500 kWh dengan frekuensi 1.000 Hz dengan kapasitas 200 sampai 5.000 lb aluminium atau paduan aluminium dengan kapasitas rata-rata 5 sampai 7 lb per jam per kWh.



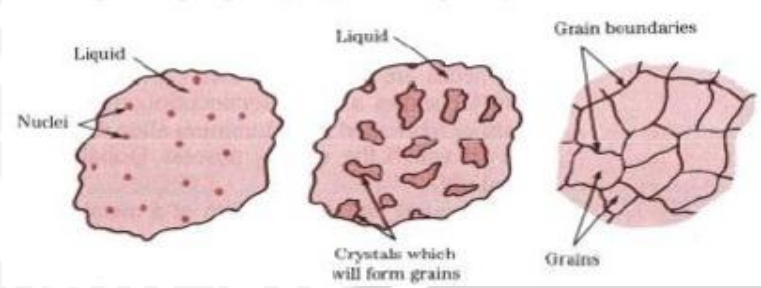
Gambar 2.12 *Induction Furnace*
Sumber : De Garmo's, (2007 : 328)

2.8 Solidifikasi

Solidifikasi adalah suatu proses industri penting dalam proses pengecoran yang mana logam cair dimasukkan kedalam cetakan dan dibiarkan membeku dan menjadi produk akhir atau semi akhir.

Solidifikasi diawali dengan pembentukan inti yang stabil karena temperatur pada setiap bagian logam tidak sama setelah terbentuk inti dengan logam yang masih dalam fase cair sehingga terbentuklah butir karena logam cair sedikit demi sedikit berubah fase solid hingga terbentuk kristal sampai akhirnya logam cair tadi

keseluruhannya berubah fase *solid*/padat. Proses pembekuan dari logam cair tadi menjadi padat adalah proses solidifikasi.



Gambar 2.13 Proses Solidifikasi
Sumber : *Peter Beeley*, (2001:833)

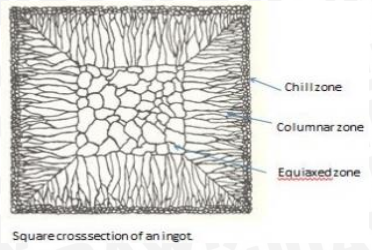
2.9 Pembekuan Logam

Pembekuan logam dimulai dari logam yang berkontak langsung dengan cetakan, ketika panas dari logam cair di ambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang berkontak atau bersentuhan dengan cetakan itu mendingin sampai titik beku, lalu kemudian inti kristal tumbuh.bagian dalam dari coran yang dingin lebih lambat dari pada bagian luar kristal sehingga kristal tumbuh dari intimenuju ke bagian dalam coran dan butir –butir kristal tersebut berbentuk sperti panjang panjang kolum. Struktur tersebut muncul secara jelas ketika gradien temperatur yang lebih besar terjadi pada permukaan hasil coran, sebaliknya pada gradien temperatur yang kecil, struktur yang berbentuk tidak jelas. Bagian tengah coran yang memiliki gradien yang lebih kecil sehingga merupakan struktur susunan dari butir butir kristal lebih banyak dengan orientasi sembarang.

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

1. *Chill Zone*

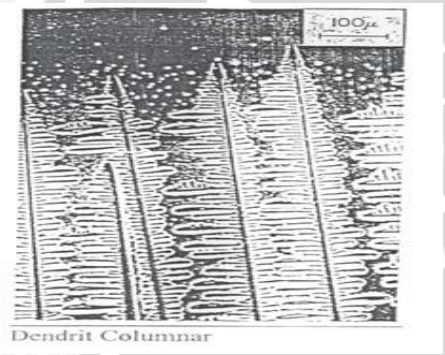
Selama terjadi penuangan logam cair ke dalam rongga cetakan. Logam cair yang bersentuhan langsung pada dinding cetakan akan mendapatkan pendinginan yang cepat dibawah temperatur *liquidus*nya. Akibatnya terdapat timbulnya banyak inti padat dan selanjutnya tumbuh ke arah dalam, pada dinding cetakan logam tersebut.



Gambar 2.14 *Chil Zone*
Sumber: ASM (1988:254)

2. *Columnar Zone*

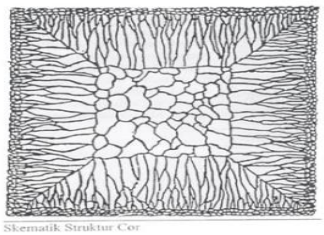
setelah penuangan, pada dindiing cetakan terjadi penurunan gradient temperatur. *Dendrite* memanjang tumbuh ke arah perpindahan panas pada daerah chil. kristal *dendrite* memiliki banyak lengan - lengan *dendrite tersier* dan sekunder akan timbul dari lengan *dendrite* primer. *Nushy zone* atau *party zone* adalah daerah yang terbentuk antara ujung *dendrite* dan titik dimana sisa cairan terakhir akan membeku.



Gambar 2.15 Columnar Zone
Sumber: ASM (1988:254)

3. *Equiaxed Zone*

Daearah ini terjadi dari butir - butir *equiaxed* yang tumbuh secara acak ditengah - tengah *ingut*.



Gambar 2.16 Equiaxed Zone
Sumber: ASM (1988:254)

2.10 Cacat Coran

1. Porositas

Merupakan cacat yang terjadi karena adanya gas yang terperangkap dalam logam cair pada waktu proses pengecoran. Pada benda produk cor terdapat lubang-lubang baik pada bagian dalam benda cor maupun pada permukaan cor tersebut.
(*The Science and Engineering of Materials, 6th Edition* : 349)

Cacat porositas di bagi atas 2 macam, yaitu :

a. Interdendritic Shrinkage

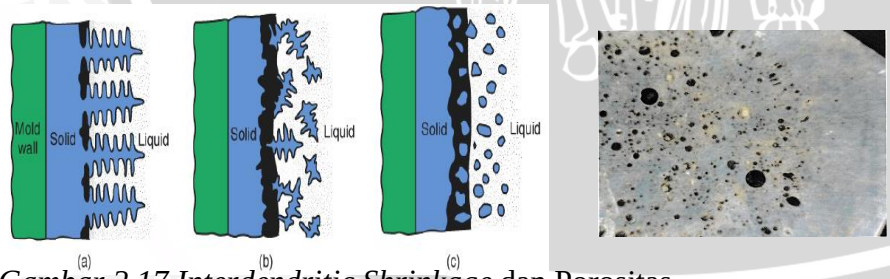
Cacat yang terjadi akibat dari penyusutan pori-pori kecil antara dendrit. Cacat ini sering disebut juga *microshrinkage* atau *shrinkage porosity* (penyusutan porositas)
(*The Science and Engineering of Materials, 6th Edition* : 349)

b. Gas *Porosity*

Cacat ini biasa terjadi karena kelebihan hidrogen 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.
(*The Science and Engineering of Materials, 6th Edition* : 349)

Disebabkan :

- Gas yang dibawa dalam logam cair selama peleburan
- Adanya gas terserap didalam logam cair dari cetakan
- Terlalu tingginya titik cair dan lamanya waktu pencairan



Gambar 2.17 Interdendritic Shrinkage dan Porositas
Sumber : *The Science and Engineering of Materials, 6th Edition* : 349 dan sugiarto 2015

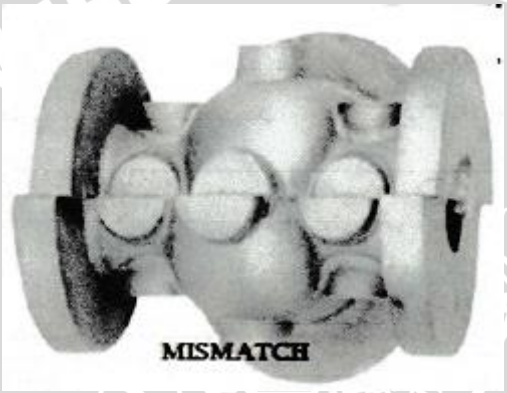
2. *Shift* (Pergeseran)

Merupakan cacat yang terjadi akibat dari ketidak cocokan masing-masing bagian dari coran. Biasanya terjadi dibagian pola belahan

(*Principles of Foundry Technology, 5th Edition : 311)*

Penyebab :

- Pergeseran titik tengah pola
- Pergeseran titik tengah bagian core
- Rangka cetak yang kurang tepat
- Ukuran dimensi cetakan yang salah



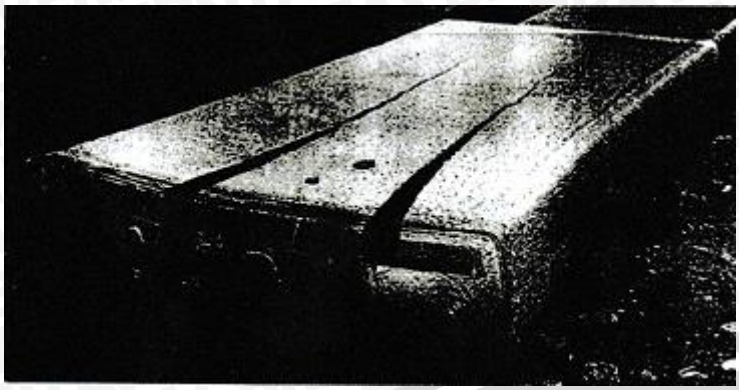
Gambar 2.18 Shift
Sumber : Sugiarto, (2015)

3. *Hot Tears* (Retak Panas)

Merupakan cacat retakan yang terjadi pada internal atau eksternal atau retak pada permukaan coran yang disebabkan oleh kontraksi setelah logam membeku. Retakan sering terjadi pada bagian fillet dan sudut dari suatu coran.

Penyebab :

- Retakan akibat tegangan sisa karena adanya perbedaan pembekuan dan waktu penyusutan.
- Penempatan gate dan *riser* yang tidak tepat.
- Adanya temperatur penuangan yang salah.



Gambar 2.19 Hot Tears
Sumber : Sugiarto, (2015)

4. *Fin* (Sirip)

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

(*Principles of Foundry Technology, 5th Edition : 314)*

Penyebab :

- Penempatan cetakan *kup* dan *drag* yang tidak tepat
- Adanya penetrasi logam cair yang berlebihan

Gambar 2.20 Fin (Sirip)
Sumber : Sugiarto, (2015)

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 seragam

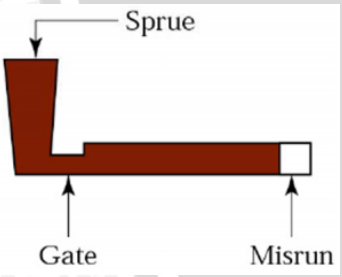
- Ukuran gating sistem yang tidak sesuai
- Letak *riser* yang kurang tepat
- Adanya temperature penuangan yang salah

Gambar 2.21 Shrinkage
Sumber : Laboratorium pengecoran logam jurusan mesin fakultas teknik Universitas Brawijaya

6. *Misrun*

Misrun adalah sejenis cacat pada cor karena pengisian cairan pada cetakan tidak penuh. Atau dengan kata lain, cacat cor ini terjadi akibat pembekuan logam yang premature sebelum cetakan terisi penuh, sehingga coran tidak terbentuk utuh. Penyebab :

- Waktu penuangan logam terlalu cepat
- Pengambilan logam cair pada ladel terlalu sedikit



Gambar: 2.22 Misrun
Sumber: logam ceper.com

2.11 Unsur Paduan Aluminium

Pengecoran logam sudah dikenal sebelum prasejarah sekitar 10.000 tahun yang lalu, pengecoran dibuat dari logam *native* seperti; tembaga, emas, timah putih dan hitam, dan perak. Bondan menyatakan pengecoran aluminium dan paduannya merupakan pengecoran logam relatif "baru" karena dalam sejarah tidak pernah ditemukan zaman aluminium dapat merusak sifat- sifatnya. Disamping itu kualitas pengecoran logam khususnya paduan

aluminium sangat dipengaruhi unsur makro dan mikro dalam udara yang terdiri dari unsur unsur; nitrogen (N2) 78,08%,oksigen (O_2) 20.95%Vol, hidrogen (H_2) 0,00005%Vol, uap air (H_2O), dan lain lain. Pada suhu tinggi aluminium sangat reaktif terhadap gas hidrogen. Kelarutan hidrogen dalam aluminum dan tekanan parsial hidrogen pada atmosfer. Unsur-unsur paduan mempunyai pengaruh yang berbeda bila berada dalam logam lain seperti ;

- ✓ Besi (Fe) digunakan untuk memperbaiki ketahanan *hot tearing*, dan mengurangi kecenderungan *die sticking* atau *soldering* dalam cetakan logam, memperbaiki keuletan dan mampu dimesin. Akan tetapi jumlahnya harus dibatasi karena kecenderungan membentuk campuran atau fasa tak larut yang berpengaruh jelek pada *casting*, contoh fasa intermetalik $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$, AL_5FeSi yang bentuknya menyerupai jarum.
- ✓ Chromium (Cr) Digunakan dalam paduan aluminium untuk menekan pertumbuhan butir, fenomena ini terjadi karena fasa Cr_7Al mempunyai kelarutan yang rendah dan Cr memperbaiki ketahanan korosi dalam aluminium.
- ✓ Magesium (Mg) berkontribusi meningkatkan kekerasan dan kekuatan dalam paduan Al-Si karena fasa Mg_2Si yang tergantung temperatur.
- ✓ Manganese (Mn) dalam paduan aluminium dianggap sebagai pengotor dan keberadaanya dikontrol sekecil mungkin. Apabila berkombinaso dengan *ferro* mebentuk *insoluble*.
- ✓ Silikon (Si) digunakan untuk meningkatkan karakteristik pengecoran dengan memperbaiki fluiditas, ketahanan *hot tearing* dan *feeding.* Jumlah maksimum Si dalam proses pengecoran tergantung pada kebutuhannya, untuk solidifikasi lambat (sand dan investmen) sekitar 5-7%Si, untuk cetakan permanen sekitar 7-9%Si, dan untuk *die casting* sekitar 8-12% Penambahan silikon ke dalam aluminium menghasilkan morfologi berbeda. Berbentuk *lamellar* apabila frasi volume tiap fasa atau lebih dari kondisi *melt* yang kemungkinan menghasilkan morfologi berbeda. Berbentuk lamellar apabila frasi volume tiap frasa hampir sama atau *interface* pada bagian minornya berupa plat, dan akan berbentuk serat (*fibrous)* apabila fase yang ada fraksi volumnya kecil.
- ✓ Tembaga (Cu) digunakan untuk memperbaiki kekuatan dan kekerasan dalam paduan *heat treatble*, tetapi unsur ini akan menurunkan ketahanan korosi , *hot tearing*, dan *catability.* Manas [31], menyatakan Cu mempunyai pengaruh negatif terhadap porositas artinya kandungan Cu yang rendah akan mengurangi porositas.

Cu dalam pengecoran paduan aluminium Al_2Cu yang tampak seperti partikel partikel kecil *pink* diakhiri solidifikasi dan Cu meningkatkan tekanan gas hidrogen yang menyebabkan gas terlarut.

✓ Zinc (Zn) ditambahkan ke dalam paduan aluminium karena memberikan pengaruh yang baik pada *age hardening*

2.10 Hipotesis

- Semakin besar *Casting modulus* maka produk hasil coran yang dihasilkan semakin baik dan hasil mengurangi terjadinya ketidakbulatan pada produk
- Semakin besar *Casting modulus* maka waktu logam cair yang membeku dalam cetakan semakin lama sehingga mengurangi cacat porositas yang terjadi