

**PENGARUH TEMPERATUR PELEBURAN
PADA PROSES PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu-Mg)
TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* DAN KEKUATAN TARIK**

SKRIPSI

KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

**WAHYU SRI HARSONO
NIM. 0310622027-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN MESIN
MALANG
2007**

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH TEMPERATUR PELEBURAN
PADA PROSES PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu-Mg)
TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* DAN KEKUATAN TARIK**

**SKRIPSI
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Disusun Oleh :

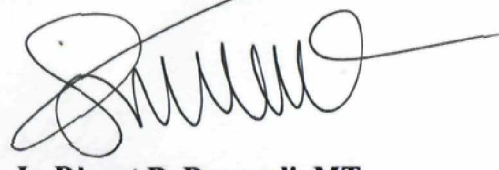
**WAHYU SRI HARSONO
NIM. 0310622027-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I


Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT.
NIP. 130 531 861

Dosen Pembimbing II


Ir. Djarot B. Darmadi, MT.
NIP. 132 125 714

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH TEMPERATUR PELEBURAN PADA PROSES PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu-Mg) TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* DAN KEKUATAN TARIK

Disusun Oleh :

WAHYU SRI HARSONO
NIM. 0310622027-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 16 Mei 2007

DOSEN PENGUJI

Skripsi 1

Dr. Eng. Anindito P.W., ST., M. Eng
NIP : 132 206 466

Skripsi 2

Ir. Wahyono Suprpto, MT. Met.
NIP : 131 574 846

Komprehensif

Ir. Djoko Sutikno, M. Eng
NIP : 131 276 249

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Ir. Bambang Indrayadi, MT
NIP : 131 653 469

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum...

Alhamdulillahirobbil'alamin, segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran ALLAH SWT berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“PENGARUH TEMPERATUR PELEBURAN PADA PROSES PENGECORAN ALUMINIUM PADUAN (Al-Cu-Mg) TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* DAN KEKUATAN TARIK”**.

Dengan terselesaikannya penulisan skripsi yang telah melibatkan berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung maka perkenankanlah pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Ir. Bambang Indrayadi, MT** dan Bapak **Ir. Djoko Sutikno, M.Eng** selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Ir. Djarot B. Darmadi, MT** selaku Ketua Kelompok Bidang Teknik Produksi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya dan selaku dosen pembimbing 2.
3. Bapak **Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT** selaku dosen pembimbing 1.
4. Ibu **Widya Wijayanti, ST. MT** selaku dosen wali.
5. **Mama-Papa**, atas segala ketulusan doa, motivasi dan dukungan materi yang tak ternilai harganya, terimakasih Ma-Pa...!!!
6. **Indah Kusumawati, SE** selaku kakak, adheh, sekaligus pacar yang selalu sabar dan cerewet memberi semangat. (*ciyeeee...gaya pake gelar sekarang ya...!!!*)
7. *To all my properties* (4832, 4880, satria orange, P800, computer, printer, etc).
8. Teman-teman kost VETDAL02, SAP '03 dan '04, sesama bimbingan pak Marsudi dan pak Djarot, sesama satu ruang kompre, dan semua pihak yang telah membantu sampai skripsi ini dapat diselesaikan.

“ *Manusia sempurna karena ketidak sempurnaannya* ”, oleh karena itu penulis menyadari masih banyak kekurangan pada skripsi ini dan penulis berharap masukan dari pembaca demi perbaikan dan kesempurnaan dari skripsi ini.

Akhir kata penulis mohon ridlo Allah S.W.T agar skripsi ini dapat bermanfaat untuk pembaca pada umumnya dan generasi penerus se-Almamater Universitas Brawijaya Jurusan Teknik Mesin pada khususnya. Amin...amin...amiin...yaarobbal'alamiin... !!!

Wassalamu'alaikum...

Malang, 16 Mei 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PERSETUJUAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
DAFTAR SIMBOL	vii
RINGKASAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya	4
2.2 Teori Dasar Pengecoran Logam	5
2.2.1 Pengertian Pengecoran Logam	5
2.2.2 Macam-Macam Proses Pengecoran Logam	6
2.3 Logam cair	15
2.3.1 Solidifikasi Logam Cair	15
2.3.2 Pembekuan Logam Murni	15
2.3.3 Pembekuan Logam Paduan	16
2.3.4 Sifat-Sifat Logam Cair	17
2.3.5 Mampu Alir Pada Logam Cair	18
2.3.6 Perlakuan Logam Cair	19
2.4 Pengecoran Dengan Cetakan Logam	20
2.5 Aluminium	21
2.5.1 Terbentuknya Dross	23
2.5.2 Hidrogen Dalam Paduan Aluminium	23
2.5.3 Klasifikasi Paduan Aluminium	24
2.5.4 Sifat-Sifat Aluminium Paduan	25
2.6 Pengaruh Unsur Paduan	27
2.7 Metode Penambahan Magnesium Pada Aluminium Paduan	29
2.8 Data Metalografi	30
2.8.1 Pengukuran Ukuran Butir	30
2.8.2 Hubungan Besar Butir Dengan Kekuatan Mekanis (Hubungan Hall-Petch)	31
2.9 Pengujian Bahan	32
2.9.1 Pengujian Tarik	32
2.9.2 Pengujian <i>Impact</i>	33
2.10 Hipotesis	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	36
3.2 Variabel Penelitian	36
3.3 Bahan Yang Digunakan	36

3.4	Alat Yang Digunakan.....	36
3.5	Tempat penelitian	37
3.6	Proses Penelitian.....	38
3.7	Metode Pengecoran.....	38
3.8	Metode Pengujian Kekuatan Tarik	39
3.9	Metode Pengujian Kekuatan <i>Impact</i>	39
3.10	Rancangan Penelitian.....	40
3.11	Analisa Varian.....	40
3.12	Analisa Regresi.....	42
3.13	Diagram Alir.....	44

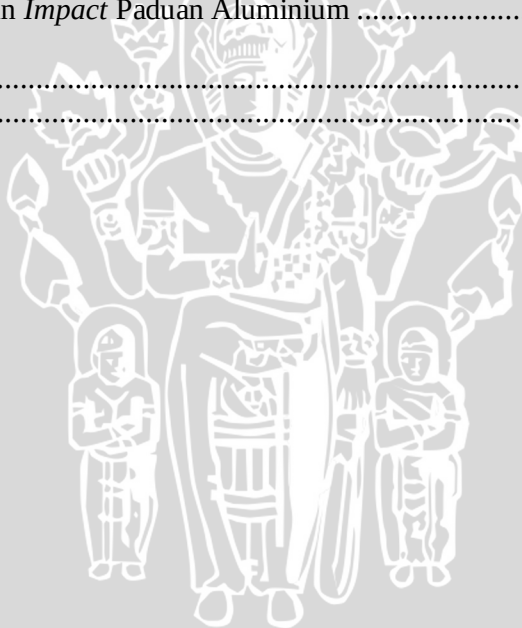
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Komposisi Aluminium Paduan.....	45
4.2	Data Hasil Pengujian.....	45
4.2.1	Data Hasil Pengujian Kekuatan Tarik	45
4.2.2	Data Hasil Pengujian Kekuatan <i>Impact</i>	48
4.3	Pembahasan	53
4.3.1	Hubungan Variasi Temperatur Peleburan Dengan Nilai Kekuatan Tarik Paduan Aluminium.....	53
4.3.2	Hubungan Variasi Temperatur Peleburan Dengan Nilai Kekuatan <i>Impact</i> Paduan Aluminium	55

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	58
5.2	Saran.....	58

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN



RINGKASAN

WAHYU SRI HARSONO, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Mei 2007, *Pengaruh Temperatur Peleburan Pada Proses Pengecoran Aluminium Paduan (Al-Cu-Mg) Terhadap Kekuatan Impact dan Kekuatan Tarik.* Dosen Pembimbing : Ir. Marsoedi Wirohardjo, MMT, dan Ir. Djarot B. Darmadi, MT

Industri pengecoran logam skala besar maupun skala kecil telah menjadi prioritas utama sebagai upaya memajukan pembangunan nasional. Teknologi pengecoran logam merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam sektor industri pengolahan logam karena keunggulannya dalam beberapa hal, yaitu dapat dipakai untuk membuat benda rumit sehingga proses pengerjaan yang lain dapat dikurangi, konstruksi obyek yang diinginkan dapat lebih sederhana, dapat diproduksi secara masal, dan lain-lain. (Heine, Richard W, 1990:1).

Tujuan dari penelitian ini diharapkan dapat diketahui sejauh mana pengaruh temperatur peleburan terhadap sifat-sifat dari aluminium paduan jika ditinjau dari kekuatan *impact* dan kekuatan tariknya. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental nyata. Variabel yang digunakan adalah variasi temperatur peleburan yaitu 700°C, 750°C, 800°C, 850°C, dan 900°C. Sedangkan untuk prosentase paduan adalah 96% Aluminium, 4% Tembaga dan 2% Magnesium. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam Jurusan Mesin Universitas Brawijaya.

Nilai rata-rata kekuatan *impact* tertinggi yaitu 5,88 (N.mm⁻²) pada temperatur 700°C dan nilai rata-rata kekuatan *impact* terendah yaitu 1,26 (N.mm⁻²) pada temperatur 900°C. Sedangkan pada pengujian tarik nilai rata-rata kekuatan tarik terendah 183 (N.mm⁻²) pada temperatur 700°C dan nilai rata-rata kekuatan tarik tertinggi yaitu 230 (N.mm⁻²) pada temperatur 900°C. Dari perhitungan statistik didapatkan bahwa temperatur peleburan berpengaruh terhadap kekuatan *impact* dan kekuatan tarik, kekuatan *impact* menurun ketika temperatur bertambah, dan kekuatan tarik meningkat ketika temperatur semakin meningkat.

Kata kunci : Proses pengecoran, temperatur peleburan, kekuatan *impact*, kekuatan tarik.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini sektor industri skala besar maupun skala kecil atau industri rumah tangga telah menjadi prioritas utama sebagai upaya memajukan pembangunan nasional. Memasuki era globalisasi dan perdagangan bebas dunia menuntut adanya perkembangan pada kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang cepat. Berkaitan dengan hal tersebut maka kita dituntut untuk dapat menguasai dan menerapkan teknologi dalam berbagai bidang, khususnya adalah bidang yang berhubungan dengan disiplin ilmu teknik mesin, dalam hal ini adalah ilmu pengolahan bahan.

Beberapa proses dalam pengolahan bahan untuk menghasilkan suatu produk antara lain adalah proses perubahan bentuk bahan, proses pemotongan, proses penyelesaian permukaan, proses penyambungan, dan proses untuk mengubah sifat fisis (Amstead, B.H. 1991:5). Salah satu proses yang sering digunakan adalah proses perubahan bentuk bahan, dimana proses tersebut antara lain proses pengecoran, penempaan, pengerolan, penekanan dan lain sebagainya.

Teknologi pengecoran logam merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam sektor industri pengolahan logam karena keunggulannya dalam beberapa hal, yaitu dapat dipakai untuk membuat benda rumit dan benda sederhana, dapat diproduksi secara masal, dan lain-lain. (Heine, Richard W, 1990:1). Karena berbagai macam keunggulan dari pengecoran logam, jumlah tonase produksi coran di dunia lebih dari 80 juta ton pada tahun 1970. (Surdia, Tata, M.S, Chijiwa, Kenji. 1986 : 6). Sehingga tidak menutup kemungkinan Indonesia dapat menyejajarkan diri melalui produksi pengecoran logam dengan memaksimalkan potensi sumber daya manusia dan bahan logam yang ada.

Pada industri pengecoran logam khususnya proses pengecoran logam Aluminium paduan ternyata masih banyak yang belum diketahui tentang adanya pengaruh temperatur peleburan terhadap kekuatan mekanik dari Aluminium paduan. Kenaikan temperatur peleburan berpengaruh pada sifat-sifat mekanik dari aluminium, pada kondisi temperatur tertentu memiliki sifat mekanik yang maksimum, tetapi bila dilakukan penambahan temperatur terus menerus maka sifat mekanik akan mengalami penurunan khususnya kekuatan *impact* dan kekuatan tarik.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widana D. Putra, dapat diketahui dari grafik (Bab II, hal. 5) bahwa kenaikan temperatur berpengaruh nyata terhadap kekerasan dan kekuatan tarik dari aluminium paduan (Al-Si-Mg).

Selain perubahan temperatur peleburan, hal lain yang mempunyai pengaruh terhadap nilai kekuatan mekanik dari aluminium paduan adalah temperatur cetakan logam yang digunakan, seperti yang telah diteliti sebelumnya oleh Juzheng Huang, dimana pada grafik (Bab II, hal.4) dapat diketahui bahwa seiring dengan kenaikan temperatur cetakan maka terjadi perubahan nilai kekuatan tariknya.

Keberhasilan dari pengecoran aluminium bergantung pula pada penggunaan properti pendukung dari pengecoran itu sendiri, seperti penggunaan tipe dapur peleburan, selain itu yaitu penambahan unsur paduan atau disebut juga dengan inokulasi. (Surdia, Tata, M.S, Chijiwa, Kenji. 1986 : 153). Salah satu unsur paduan yang digunakan pada paduan aluminium adalah tembaga (Cu) dan magnesium (Mg). Dimana dalam hal ini pengaruh tembaga pada paduan aluminium adalah meningkatkan sifat mekanik, sedangkan magnesium adalah membuat benda menjadi bertambah ringan selain itu meningkatkan ketahanan terhadap *impact*, meningkatkan sifat pemesinan, mudah untuk pengerjaan las, menjadikan pengecoran lebih halus, dan juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi. (Amstead, B.H. 1991:72).

Selain faktor-faktor tersebut diatas, beberapa hal utama yang mempengaruhi proses pengecoran antara lain (Serope Kalpakjian, 1995 : 265)

1. Aliran dari aluminium cair ke dalam cetakan logam.
2. Perpindahan panas selama proses pembekuan dan pendinginan aluminium di dalam cetakan.
3. Tipe cetakan serta bahan yang digunakan cetakan, apakah menggunakan cetakan pasir atau cetakan logam.
4. Proses pembekuan aluminium dari ketika mencair sampai menjadi coran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat kita buat rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur peleburan terhadap kekuatan *impact* dan kekuatan tarik pada paduan Al-Cu-Mg.
2. Pada temperatur peleburan berapakah diperoleh kekuatan *impact* dan kekuatan tarik yang paling baik pada paduan Al-Cu-Mg.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang timbul lebih mengarah pada permasalahan semula, maka dalam penelitian ini dirasa perlunya adanya batasan-batasan antara lain :

1. Bahan dasar yang digunakan adalah paduan 94%Al - 4%Cu - 2%Mg.
2. Cetakan yang digunakan adalah cetakan logam.
3. Temperatur peleburan adalah 700 °C, 750 °C, 800 °C, 850 °C, dan 900°C dengan suhu ruang 27 °C
4. Pengamatan yang dilakukan sebatas pengaruh variasi temperatur peleburan terhadap kekuatan mekanik (kekuatan *impact* dan kekuatan tarik).

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

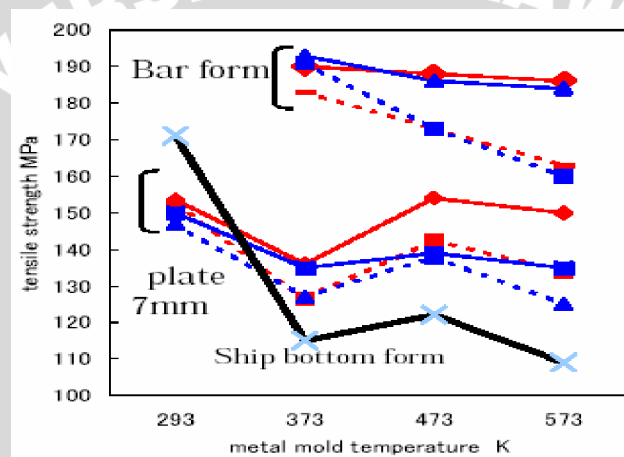
Diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui sejauh mana pengaruh temperatur peleburan pada pengecoran Al-Cu-Mg terhadap kekuatan *impact* dan kekuatan tarik. Sehingga jika hasil dari penelitian ini diperoleh hasil yang baik jika ditinjau dari kedua sifat mekanik tersebut maka akan dapat memberikan masukan dan manfaat pada industri pengecoran logam. Selain itu dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan pada penelitian-penelitian selanjutnya khususnya mengenai pengecoran logam.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

§ **Huang, Juzheng, 2001, Research on The Soundness of Alloy Casting.**

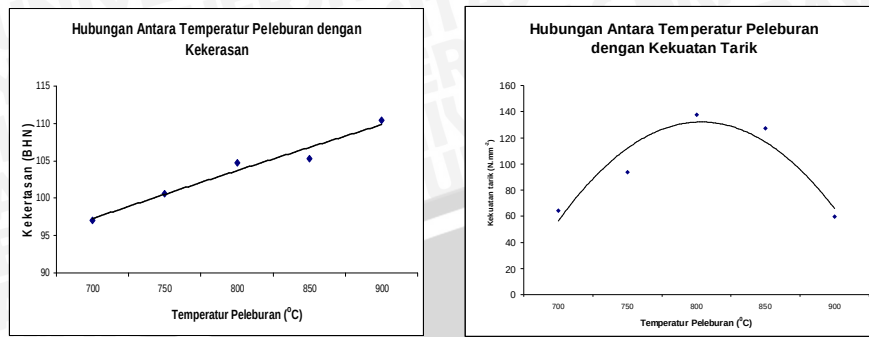
Meneliti pengaruh temperatur cetakan logam (20, 100, 200 dan 300 °C) dan penambahan unsur Cu (1, 2, 3 dan 4% Cu) terhadap kekuatan tarik pada paduan Al-7%Si dan Al-11%Si. Didapatkan kesimpulan dengan peningkatan temperatur cetakan dan penambahan Cu, kekuatan tarik cenderung berkurang, dan kekuatan tarik Al-11%Si lebih tinggi dibanding Al-7%Si.



Gambar 2.1. Grafik hubungan temperatur cetakan dengan kekuatan tarik
Sumber : Juzheng Huang , 2001

§ **D. Putra, Widana, 2006, Pengaruh Temperatur Peleburan Pada Proses Pengecoran Aluminium Paduan (Al-Si-Mg) Terhadap Kekerasan Dan Kekuatan Tarik.**

Pada penelitian ini, dengan variasi temperatur penuangan 700, 750, 800, 850, dan 900°C didapatkan kesimpulan bahwa temperatur peleburan berpengaruh terhadap kekerasan dan kekuatan tarik dari aluminium paduan (Al-Si-Mg). Semakin tinggi temperatur peleburan maka kekerasan dan kekuatan tarik semakin meningkat, tetapi pada temperatur peleburan 850°C sampai 900°C kekuatan tarik menurun. Kekerasan tertinggi yaitu 110,4 BHN terjadi pada temperatur peleburan 900°C dan kekuatan tarik tertinggi yaitu 137,783 N.mm⁻² terjadi pada temperatur peleburan 800°C.



Gambar 2.2. Grafik Hubungan antara Temperatur Peleburan dengan Kekerasan dan Kekuatan Tarik

Sumber : Widana D. Putra , 2006 : 36

2.2. Teori Dasar Pengecoran Logam

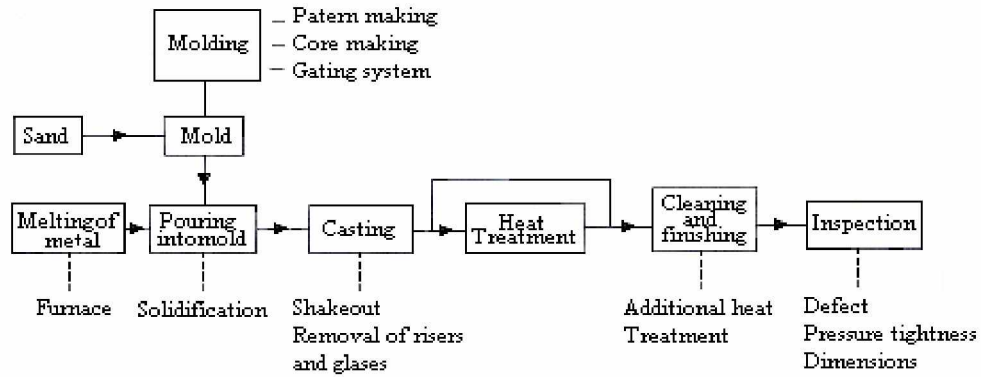
2.2.1. Pengertian Pengecoran Logam

Pengecoran merupakan metode pembentukan logam dengan cara menuangkan logam cair ke dalam cetakan tahan api dengan bentuk sesuai dengan bentuk logam yang dibuat, dibiarkan membeku, kemudian dikeluarkan dari cetakan dengan cara merusak cetakan atau dengan mengambil logam tersebut.

Pengecoran logam sebenarnya hanya merupakan salah satu dari metode pembentukan seperti penempaan, pengerolan, pemesian, dan lain-lain, akan tetapi pembentukan logam dengan cara pengecoran tetap digunakan sampai saat ini. Hal ini dikarenakan pengecoran logam mempunyai beberapa keuntungan, diantaranya sebagai berikut (Heine, 1990 : 1) :

1. Dapat dipakai untuk membuat benda dengan bentuk atau geometri yang sulit.
2. Konstruksi obyek yang diinginkan dapat lebih sederhana.
3. Dapat diproduksi secara massal.
4. Beberapa sifat teknik yang baik dapat diperoleh dari logam coran seperti kekuatan dan ringan pada paduan logam tertentu.
5. Proses produksi relative lebih sederhana dan murah.

Langkah produksi dari proses pengecoran logam dapat dilihat dari gambar 2.3 berikut:



Gambar 2.3 Langkah produksi proses pengecoran logam.

Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 290

2.2.2. Macam Proses Pengecoran Logam.

Pada dasarnya macam proses pengecoran logam dibagi menjadi dua macam, yaitu:

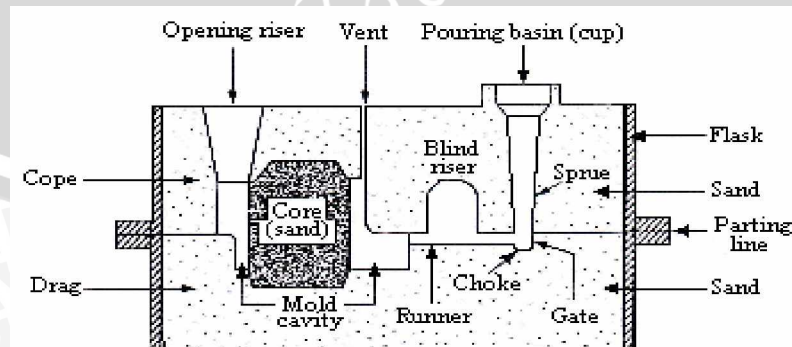
1. *Expendable-mold casting*

Expendable-mold casting dibuat dengan bahan dasar pasir, pelek, keramik dan material sejenis, yang umumnya bercampur bersama dengan bahan pengikat. Pada proses ini, cetakan yang dipakai harus dihancurkan dengan tujuan untuk mengambil benda cornya. Selain itu proses pengecoran seperti ini seringkali digunakan untuk benda dengan geometri yang rumit.

Expendable-mold casting dapat diklasifikasikan dalam beberapa macam diantaranya adalah:

Ø *Sand Casting* (cetakan pasir)

Merupakan metode tradisional dari proses pengecoran logam yang telah digunakan ribuan tahun. Bahan dasarnya adalah pasir cetak.

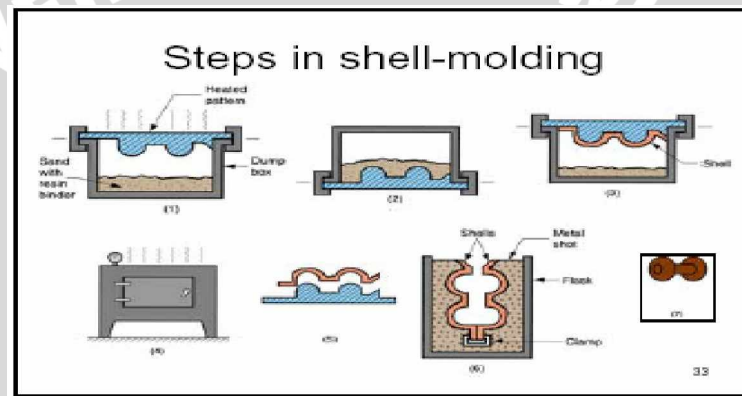


Gambar 2.4 Ilustrasi skematis cetakan pasir

Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 292

Ø *Shell molding* (cetakan kulit)

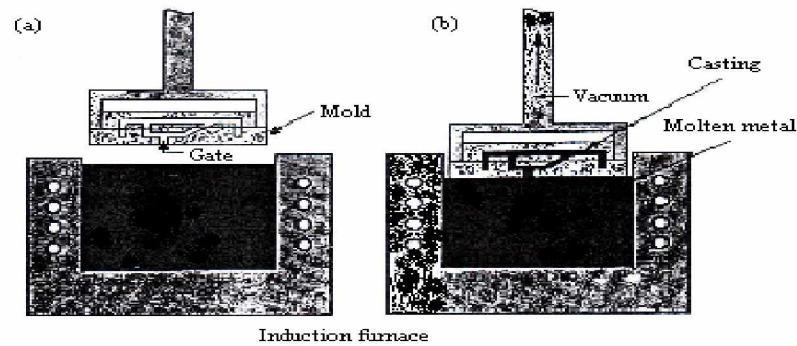
Dikembangkan pada tahun 1940an dan berkembang secara signifikan karena memproduksi bermacam pengecoran dengan toleransi yang baik dan permukaan cor yang halus dengan biaya yang rendah. Pada proses ini pola terbuat dari besi atau aluminium dipanaskan 175-370 °C, dilapisi dengan zat pelepas seperti silicon, dan disatukan pada kotak berisi pasir halus dengan kadar 2,5-4,0 % *thermosetting resin binder* seperti *phenol-formaldehyde*, dengan dilapisi partikel pasir. Kotak lainnya diputar naik turun dengan menghembuskan campuran pasir pada pola, diikuti pelapisan pola.



Gambar 2.5. Ilustrasi skematis dari *Shell molding*
Sumber: Serop Kalpakjian, 1995 : 298

Ø *Vacuum Casting*

Vacuum Casting disebut juga *Counter Gravity Low Pressure (CL) Process*. Pencampuran pasir halus dan *urethane* yang dikeringkan dengan uap *amine*. Kemudian cetakan dipegang dengan sebuah lengan robot dan sebagian terbenam dalam besi cair dipegang dalam sebuah dapur induksi. Besi mungkin leleh pada udara (*CLA process*) atau pada *vacuum* (*CLV process*). *Vacuum* mereduksi tekanan udara didalam cetakan hingga tekanan sekitar 2-3 atm. Besi cair dimasukkan kedalam kaviti (cekungan) melewati pintu masuk di bagian bawah dari cetakan. Metal cair didalam dapur biasanya pada temperatur 55 °C diatas temperature *liquidus*. Setelah cetakan terisi, akan menarik besi cair.



Gambar 2.6. Ilustrasi skematis dari *Vacuum Casting*
Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 310

Ø *Expandable Pattern Casting*

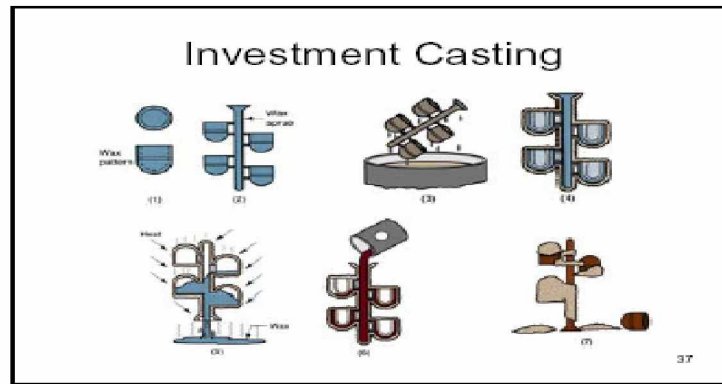
Menggunakan pola dengan bahan *polystyrene* dengan menguapkan metal cair sehingga membentuk rongga untuk pengecoran.

Ø *Investment Casting*

Disebut juga *lost wax process* (proses dengan penghilangan lilin). Digunakan pertama kali antara periode 4000-3000 SM. Pola dibuat dengan bahan dasar lilin atau plastic seperti *polystyrene*. Pola dibuat dengan menginjeksi lilin atau plastic cair kedalam cetakan logam sesuai bentuk pola yang dikehendaki. Pola kemudian dicelupkan ke dalam material tahan api yang berbentuk bubuk, seperti *silica* halus dan pengikat, termasuk air, *ethyl silicate*, dan asam. Setelah proses pelapisan mula tersebut kering, pola dilapis ulang untuk meningkatkan ketebalannya. Dibutuhkan *handling* dari pola lilin yang sangat hati-hati karena pola lilin tersebut tidak cukup kuat untuk melawan gaya-gaya yang ada selama pembuatan cetakan. Tidak seperti pola plastik, lilin dapat digunakan kembali.

Bagian demi bagian cetakan dikeringkan dengan udara dan dipanaskan pada temperatur $90-175^{\circ}\text{C}$ pada posisi terbalik agar lilin yang meleleh dapat keluar, waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 12 jam. Cetakan kemudian dibakar selama 4 jam pada $650-1050^{\circ}\text{C}$, tergantung bahan metal yang akan dicetak untuk mengeluarkan air karena kristalisasi.

Setelah proses penuangan dan logam memadat, cetakan dibongkar dan coran selesai. Bagian dari pola dapat digabungkan menjadi satu gabungan yang disebut *tree*.



Gambar 2.7. Ilustrasi skematis dari *Investment Casting*
 Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 306

Ø *Plaster Mold Casting*

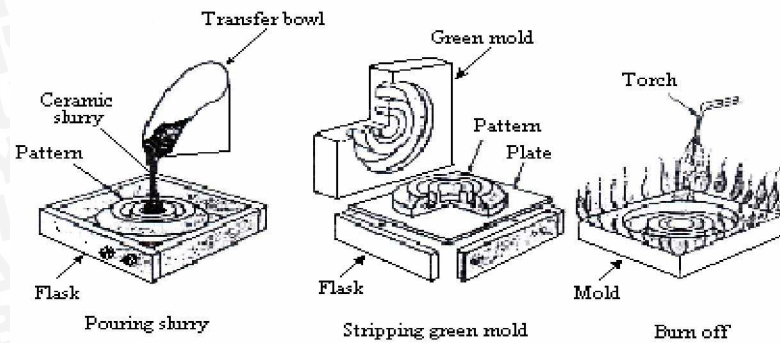
Cetakan terbuat dari *plaster of paris* (*gypsum* atau *calcium sulfate*) dengan ditambahkan *talc* dan tepung *silica* untuk memperbaiki kekuatan. Komponen ini dicampur dengan air dan menghasilkan bubur yang kemudian dituang ke dalam pola. Setelah *gypsum* atau *calcium sulfate* diset, biasanya dalam 15 menit, pola dipindahkan dan cetakan dikeringkan pada 120-260 °C untuk menghilangkan embun.

Karena *gypsum* atau *calcium sulfate* mempunyai permeabilitas yang rendah, lambat laun terbentuk gas yang tidak dapat lolos selama proses solidifikasi dari besi. Konsekuensinya, logam cair dituang juga kedalam sebuah *vacuum* atau dengan penekanan.

Pola dari cetakan *plaster* umumnya terbuat dari paduan aluminium, *thermosetting plastics*, kuningan, atau paduan seng.

Ø *Ceramic mold casting*

Pada proses *Ceramic mold casting* ini hampir sama dengan *Plaster Mold Casting* kecuali digunakan material yang susah dicairkan cocok untuk temperatur aplikasi. Proses ini sering pula disebut *cope and drag investment casting*.



Gambar 2.8. Ilustrasi skematis dari *Ceramic-Mold Casting*
Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 305

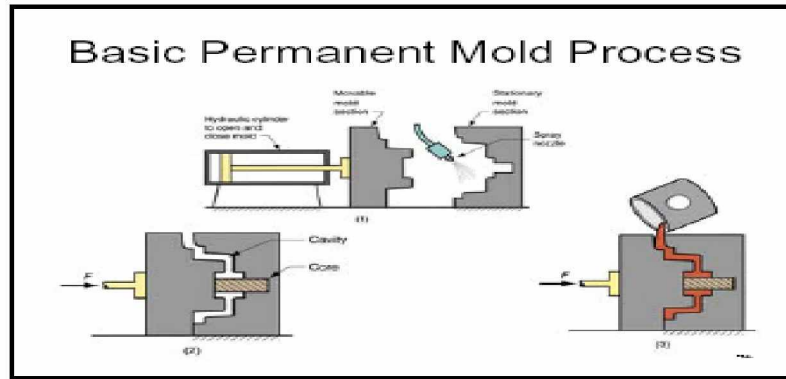
2. *Permanent-mold casting*

Permanent-mold casting atau disebut juga *hard mold casting* dibuat dengan menggunakan bahan dasar besi tuang, baja, perunggu, grafit, atau paduan logam tahan api.

Beberapa keuntungan dari proses pengecoran jenis *permanent-mold casting* adalah sebagai berikut:

- Permukaan produk coran halus.
- Tingkat ketelitian toleransi dimensi coran baik.
- Ekonomis pada biaya dan operasi produksi.
- Keseragaman bentuk pada produk massal.
- Sifat mekanis baik.

Walaupun operasi pengerjaan pada *permanent-mold casting* dapat dilakukan secara manual, tetapi proses juga dapat dilakukan secara otomatis untuk proses produksi yang besar. Proses ini lebih digunakan pada pengecoran paduan aluminium, paduan magnesium, paduan cooper dan besi tuang kelabu karena titik leburnya yang rendah. Baja juga dapat dituang pada cetakan yang menggunakan bahan grafit atau logam tahan panas. Pada proses ini, cetakan dapat dipakai untuk berulang-ulang proses pengecoran, sehingga lebih ekonomis untuk produksi massal. (Kalpakjian, Serope. 1995 : 288).



Gambar 2.9. Ilustrasi skematis dari *Permanent-mold casting*
Sumber: Anonim 4. 2005. "Fundamental of Metal Casting"

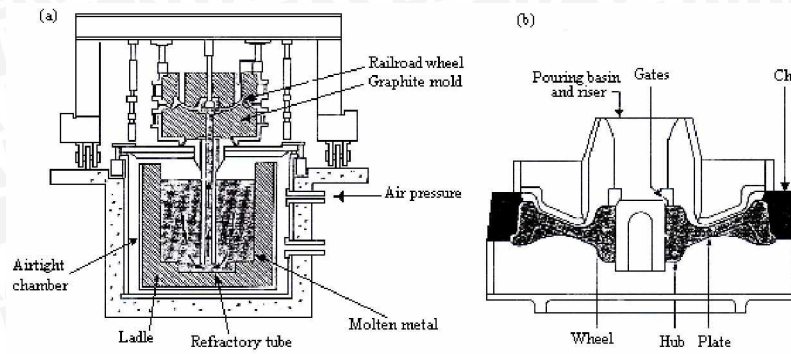
Permanent-mold casting dapat diklasifikasikan dalam beberapa macam diantaranya adalah:

Ø *Slush Casting*

Logam cair dituang kedalam cetakan logam, dan setelah tercapai ketebalan kulit yang dikehendaki, kemudian cetakan dibalik, dan sisa dari logam cair dikeluarkan. Cetakan yang terbelah kemudian dibuka dan coran dipindahkan. Proses ini cocok untuk bentuk coran yang kecil dan bioasanya digunakan untuk pembuatan ornament dan obyek dekoratif seperti dasar lampu dan tangkai serta mainan yang kesemuanya terbuat dari logam dengan titik lebur yang rendah seperti seng, timah dan timah hitam.

Ø *Pressure Casting*

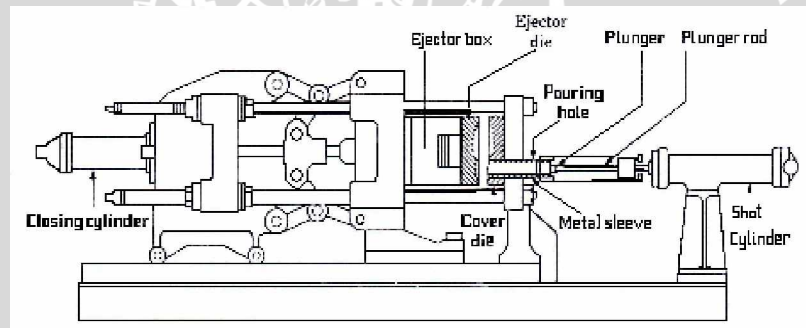
Proses ini disebut juga *pressure pouring* atau *low pressure pouring*, logam yang cair ditekan keatas dengan menggunakan tekanan gas kedalam graphite atau cetakan logam. Tekanan dijaga sampai logam benar-benar membeku didalam cetakan. Logam cair mungkin juga ditekan keatas dengan menggunakan vakum yang juga dapat menghilangkan gas dan hasil coran akan memiliki pori yang rendah.



Gambar 2.10. Ilustrasi skematis dari *Pressure Casting*
Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 312

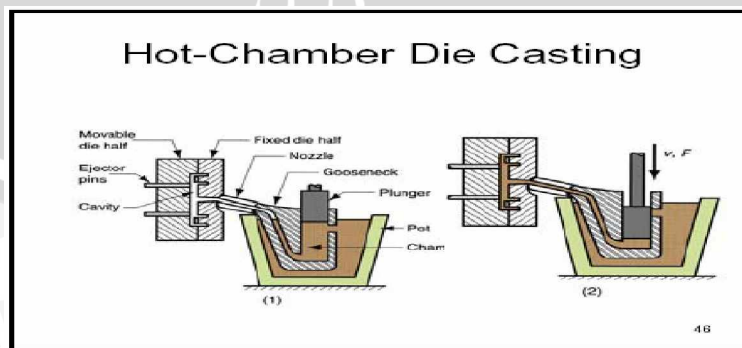
Ø Die Casting

Dikembangkan tahun 1990an. Logam cair ditekan kedalam *die cavity* pada tekanan 0,7-700 Mpa. Komponen yang diproduksi menggunakan proses ini adalah karburator, motor, mesin bisnis, perkakas tangan, dan mainan. Berat coran berkisar 90g - 25kg.



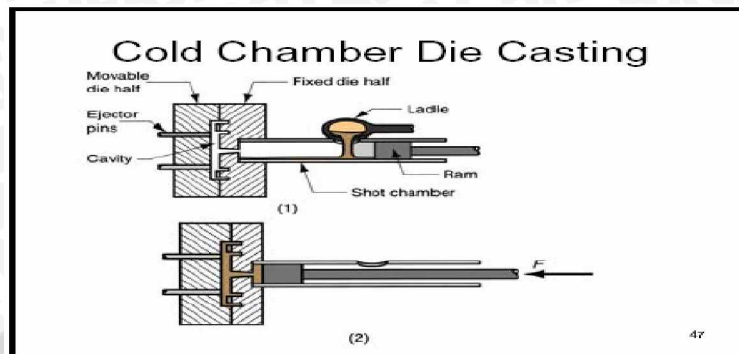
Gambar 2.11. Ilustrasi skematis dari *Die Casting Machine*
Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 314

1. Hot-chamber process



Gambar 2.12. Ilustrasi skematis dari *Hot-chamber process*
Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 313

2. Cold-chamber process

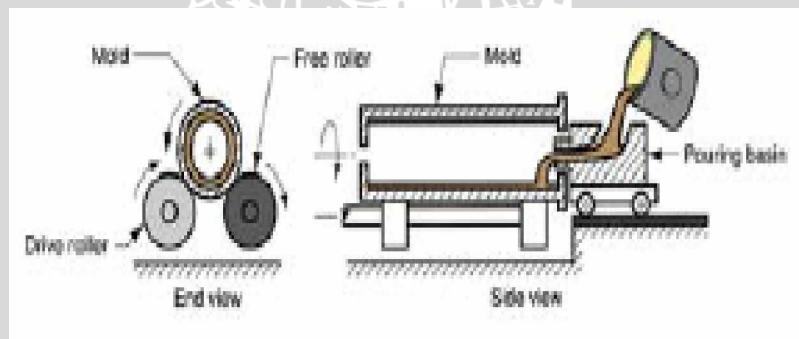


Gambar 2.13. Ilustrasi skematis dari *Cold-chamber process*

Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 314

Ø Centrifugal Casting

Dikembangkan tahun 1800an, sesuai namanya, *centrifugal casting* yaitu pengecoran dengan memanfaatkan gaya sentrifugal didalam rongga cetakan akibat putaran dari cetakan tersebut. Cetakan berbentuk silindris, diputar menggunakan motor penggerak yang dihubungkan dengan puli. Logam cair dituang melalui *spout* dan masuk kedalam cetakan yang berputar secara horizontal tetapi ada juga yang vertikal apabila dikehendaki untuk benda yang pendek. Diameter dari cetakan silinder berkisar antara 13mm sampai 3m dan panjang 16m dengan ketebalan antara 6mm sampai 125mm.



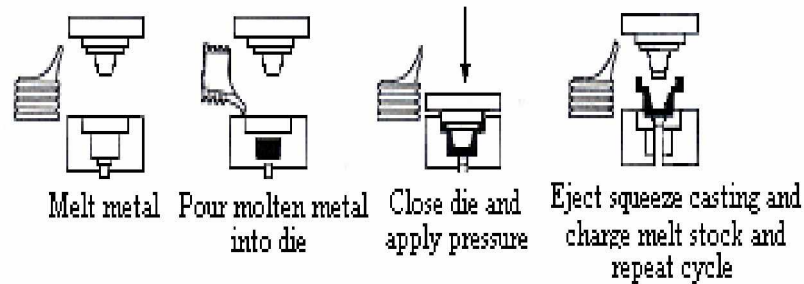
Gambar 2.14. Ilustrasi skematis dari *Centrifugal Casting*

Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 318

Ø Squeeze Casting

Disebut juga *liquid metal forging*, dikembangkan pada tahun 1960an dan menggunakan tekanan yang tinggi.. Mesin terdiri dari cetakan, *punch*, dan *ejector*. Logam cair dituang kedalam cetakan kemudian *punch* ditekan, ini dimaksudkan untuk mencegah terperangkapnya gas ketika

logam mulai membeku. Menghasilkan material yang bermikrostruktur halus dengan sifat mekanik yang baik.



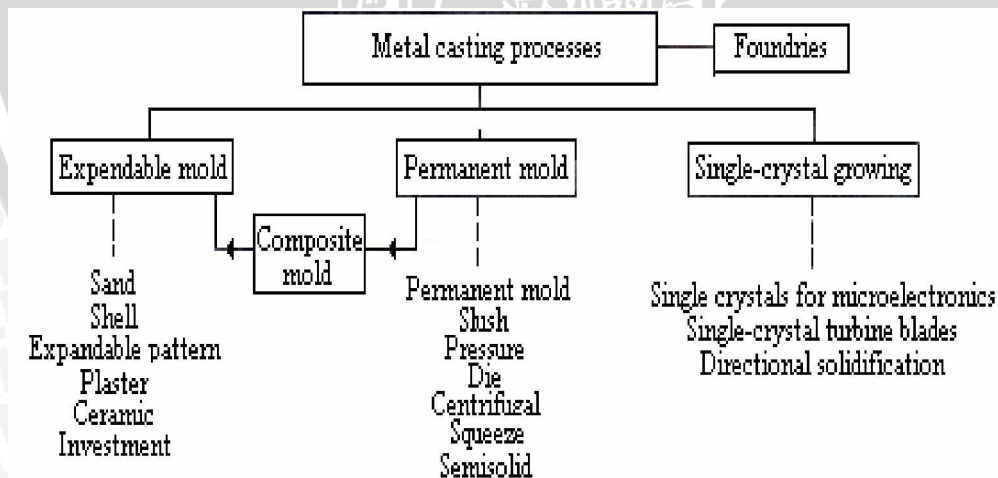
Gambar 2.15. Ilustrasi skematis dari *Squeeze Casting*

Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 320

Ø *Semisolid Metal (Semisolid Metal Working)*

Dikembangkan pada tahun 1970an. Logam paduan yang digunakan mempunyai struktur coran berbutir halus ketika dimasukkan kedalam cetakan. Paduan memperlihatkan perilaku *thixotropic*, dan tingkat kekentalan menurun saat diaduk.

Untuk lebih jelasnya, klasifikasi proses pengecoran logam dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.16. Klasifikasi proses pengecoran logam.

Sumber: Serope Kalpakjian, 1995 : 263

2.3. Logam Cair

2.3.1. Solidifikasi Logam Cair.

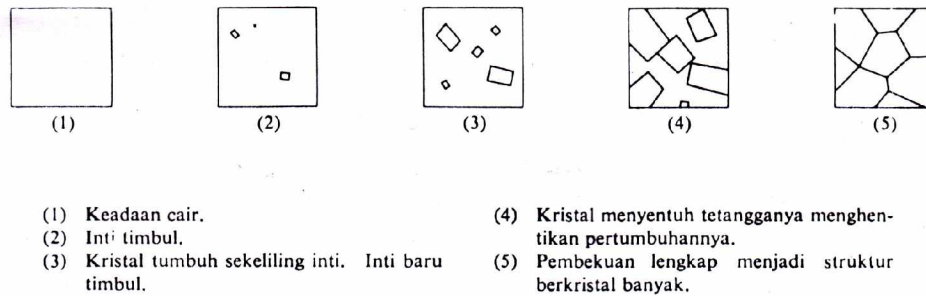
Solidifikasi atau pembekuan logam terjadi dalam dua tahap, yaitu pengintian dan pertumbuhan kristal (De Garmo, E. Paul. 1997 : 309). Pengintian atau pertumbuhan inti-inti kristal terjadi saat partikel padat terbentuk dari logam cair. Kemudian kristal-kristal tumbuh disekeliling inti tersebut, dan inti lain yang baru timbul pada saat yang sama. Sehingga pada akhirnya logam cair habis karena tertutupi oleh butir kristal. Ukuran butir kristal tergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan inti. Jika laju pertumbuhan lebih besar dari laju pengintian, maka didapat kelompok butir-butir kristal yang besar dari laju pertumbuhan inti, maka didapat kelompok butir-butir kristal yang halus. (Surdia, Tata,M.S, Saito, Shinroku.1984 : 14).

Logam cair dengan butiran yang halus umumnya memiliki kekuatan dan keuletan yang lebih baik dibandingkan dengan logam berbutir kasar. Hal ini disebabkan karena pada proses deformasi, logam berbutir halus mempunyai hambatan slip yang lebih besar. Bahan yang berbutir kasar lebih mudah pemesisannya, lebih mudah dikeraskan melalui perlakuan panas dan memiliki daya hantar listrik dan panas yang lebih baik. (Amstead,B.H.1991: 22).

2.3.2. Pembekuan Logam Murni.

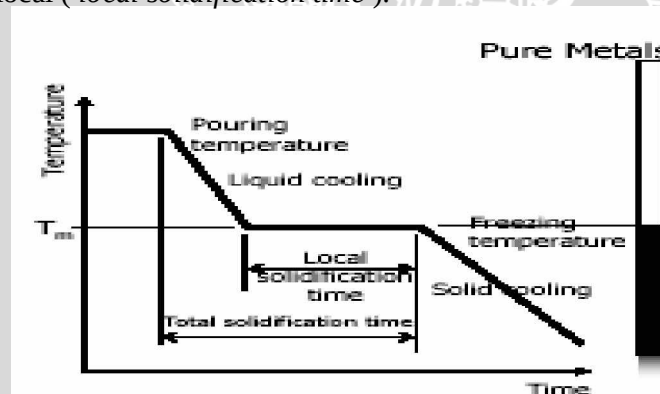
Ketika cairan logam murni didinginkan secara perlahan-lahan, maka pembekuan terjadi pada temperatur yang konstan. Temperatur ini disebut titik beku, khusus bagi logam yaitu untuk tembaga adalah 1.083 °C, perak 961 °C, aluminium 660 °C, dan timah 232 °C.

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



Gambar 2.17. Ilustrasi skematis dari pembekuan logam
 Sumber: T. Surdia dan K. Chijiwa, 1980 : 14

Pada gambar 2.18 menunjukkan proses pembekuan dari logam murni. Mula-mula logam cair turun suhunya dari suhu penuangan (*pouring temperature*) sampai mencapai suhu dimana mulai terbentuk inti (*freezing temperature*). Kemudian setelah inti terbentuk, terjadi pembekuan hingga logam menjadi padat seluruhnya pada suhu yang tetap, dan segera setelah proses pembekuan selesai, suhu mulai turun secara konstan. Waktu yang dibutuhkan selama penuangan dimulai sampai proses pembekuan berakhir dinamakan waktu pembekuan total (*total solidifikasi time*), dan waktu yang dibutuhkan selama pembekuan dimulai sampai pembekuan berakhir disebut waktu pembekuan local (*local solidification time*).

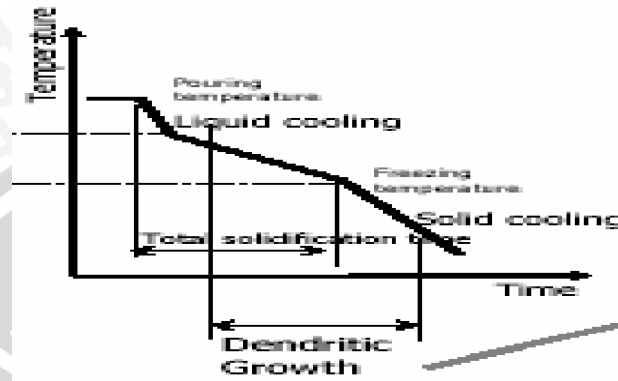


Gambar 2.18. Kurva pendinginan logam murni.
 Sumber : Anonim 4. 2005, " *Fundamental of Metal Casting* "

2.3.3. Pembekuan Logam Paduan.

Pembekuan logam paduan berbeda dengan logam murni, dimana logam paduan tidak mempunyai titik beku yang pasti. Pada gambar 2.19, logam cair turun suhunya dari temperatur penuangan sampai mencapai suhu tertentu yang lebih rendah dimana inti pertama tumbuh atau pembekuan telah dimulai. Pada suhu yang lebih rendah lagi, pembekuan secara menyeluruh berakhir. Suhu saat logam mulai membeku sampai

logam membeku seluruhnya ini biasanya disebut dengan *freezing range*. Perubahan unsur selama pembekuan logam paduan terjadi menyebabkan timbulnya perbedaan dalam komposisi kimia karena setiap unsure memiliki sifat termal sendiri. (Amstead, B.H. 1991 : 23).



Gambar 2.19. Kurva pendinginan logam paduan.
Sumber : Anonim 4. 2005, " *Fundamental of Metal Casting* "

2.3.4. Sifat-Sifat Logam Cair.

Logam cair merupakan cairan seperti air tetapi berbeda dari air dalam beberapa hal diantaranya adalah kecairan logam yang sangat bergantung pada temperatur logam tersebut, berat jenis dari logam cair yang lebih besar dari berat jenis air, dan air yang menyebabkan permukaan dinding wadah menjadi basah sedangkan logam cair tidak. (Surdia, Tata, M.S, Chijiwa, Kenji. 1986 : 12)

Temperatur sangat mempengaruhi kekentalan dari logam cair, pada temperatur yang rendah kekentalan logam cair menjadi tinggi, dan pada temperatur yang tinggi kekentalan logam cair menjadi rendah sehingga logam menjadi cair dan mampu alirnya tinggi. Kekentalan setiap jenis logam cair berbeda-beda karena titik cair dari berbagai jenis logam yang berbeda-beda.

Pada tabel 2.1 dapat dilihat tingkat kekentalan logam cair yang mencair sempurna jika dibandingkan dengan kekentalan air.

Tabel 2.1 Koefisien kekentalan dan tegangan permukaan dari logam.

Bahan	Titik Cair (°C)	Berat Jenis (g/cm ³)	Koefisien Kekentalan (gr/cm.detik)	Koefisien kekentalan kinematik (cm ² /detik)	Tegangan permukaan (dine/cm)	<u>Tegangan</u> <u>permukaan</u> 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 (1200)	0,0310 (1200)	0,00395	581 (1200)	74
Besi	1.537	7,13 (1600)	0,000 (1600)	0,00560	970 (1600)	136
Besi Cor	1.170	6,9 (1300)	0,016 (1300)	0,023	1159 (1300)	167

Sumber : Tata Surdia dan Kenji Chijiwa, 1996 : 12

Dari tabel diatas dapat diketahui perbedaan antara logam cair dan air, logam cair adalah cairan seperti air tetapi berbeda dari air dalam beberapa hal antara lain:

- Kecairan logam sangat tergantung pada temperatur dan logam cair akan seluruhnya cair 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. Berat jenis air adalah 1,0 sedangkan berat jenis logam cair, dalam hal ini paduan Aluminium adalah 2,2 sampai 2,3 sehingga dalam segi alirannya juga sangat berbeda, dimana aliran logam cair mempunyai kelembaman dan gaya tumbuk yang besar.
- Air menyebabkan permukaan yang dilaluinya basah, karena sifat air sendiri yang mudah melekat sedangkan logam cair tidak.

Pebedaan-perbedaan tersebut membuat aliran logam cair pada pengecoran sentrifugal berbeda sampai tingkat tertentu bila dibandingkan dengan aliran air. Aliran logam cair terutama dipengaruhi oleh kekentalan logam cair dan kekasaran permukaan cetakan. Logam cair juga lebih suka membentuk tetesan bulat.

2.3.5. Mampu Alir Pada Logam Cair.

Mampu alir logam cair adalah kemampuan suatu logam untuk mengalir dan mengisi rongga cetakan dengan baik. Faktor yang mempengaruhi kemampuan alir

adalah komposisi logam cair, model cetakan, dan yang temperatur peleburan. Temperatur peleburan yang tinggi memungkinkan logam cair lebih cepat mengalir karena viskositasnya rendah. Dengan sifat mampu alir yang baik dan dipengaruhi juga gaya gravitasi saat penuangan maka logam cair akan memadat pada cetakan, sehingga terbentuk struktur yang padat dan homogen. Bila temperatur peleburannya rendah menyebabkan logam cair lebih cepat membeku dan akan terbentuk inti. Inti kristal menyebabkan viskositasnya meningkat, menyebabkan logam cair sulit untuk mengalir dan proses pemadatan tidak merata sehingga hasil coran tidak homogen.

2.3.6. Perlakuan Logam Cair.

1) Inokulasi

Inokulasi adalah penambahan logam lain atau paduan ke dalam cairan logam sebelum dituangkan. Jumlah penambahan itu relatif kecil, tidak cukup untuk merubah komposisi kimia dari logam cair. Inokulasi menyebabkan distribusi grafit yang merata didalam struktur logam dan memperbaiki sifat-sifat mekanik. Inokulasi meninggikan kekuatan tarik dan menurunkan kekerasan. Inokulasi mencegah kecenderungan terjadinya cil pada bagian tipis dari logam cor, dan memberikan struktur yang seragam tak tergantung pada tebal coran.

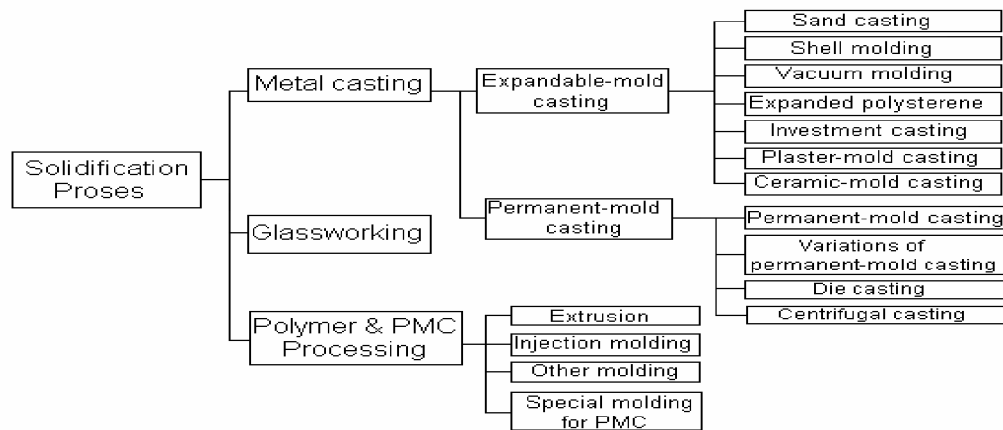
Cara penambahan yang paling mudah dan efektif adalah memercikkan sejumlah tertentu dari inokulan baik diatas cairan yang sedang dikeluarkan melalui saluran ataupun diatas cairan yang sedang jatuh dari perapian ke dalam ladle. Kadang-kadang inokulan ditempatkan didasar ladle, kemudian cairan logam dituangkan diatasnya.

2) Penambahan unsur paduan

Penambahan unsur dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat mekaniknya seperti tahan panas, tahan korosi, tahan aus dan sifat-sifat lainnya.

3) Pengurangan belerang

Dibawah 0,1 %, belerang memberikan pengaruh buruk yang kecil pada sifat-sifat paduan. Tetapi dalam memproduksi logam cor bergrafit bulat perlu mengurangi belerang sampai dibawah 0,01 % sampai 0,02 % sebelum proses pembulatan grafit. Alasannya ialah bahwa sejumlah paduan magnesium yang mahal dan cukup banyak sebagai bahan untuk membuat grafit bulat, dihabiskan oleh reaksi kimia dengan belerang, sebelum terjadi proses pembulatan grafit. Sebagai bahan pengurang belerang banyak dipakai kalsium karbid (CaC_2).



Gambar 2.20. Klasifikasi proses pembekuan
Sumber : Anonim 4. 2005. " *fundamental of metal casting* ".

2.4. Pengecoran dengan Cetakan Logam.

Pengecoran dengan cetakan logam berbeda dengan pengecoran cetak tekan (*die casting*), dimana pengecoran dengan cetakan logam dilakukan dengan menuangkan logam cair ke dalam cetakan logam seperti pada pengecoran dengan cetakan pasir. Tanpa menggunakan penekanan, karena tekanan sudah terjadi akibat dari berat dari logam cair yang mengalir ke dalam cetakan oleh gaya gravitasi bumi. Pengecoran dengan cetakan logam dapat membuat coran yang mempunyai ketelitian dan kualitas yang tinggi, namun biaya pembuatan cetakan yang tinggi akan ekonomis bila digunakan untuk produksi masa dan waktu yang cukup lama mengingat umur cetakan logam ini juga panjang. Bahan cetakan logam dibuat dengan memilih bahan cetakan yang mempunyai titik lebur yang jauh lebih tinggi dari pada logam yang dicor. Biasanya digunakan baja khusus atau besi cor paduan, hal ini dikarenakan agar pada saat cairan logam dituang ke dalam cetakan, cetakan tidak ikut leleh atau lembek karena suhu cairan logam yang masih tinggi.

Pada umumnya hasil coran dari cetakan logam memiliki struktur butir yang lebih halus dibandingkan dengan butiran dari cetakan pasir dikarenakan konduktivitas termal cetakan logam yang tinggi yaitu untuk baja adalah $54 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

Pada umumnya material yang sering dicor pada cetakan logam adalah paduan bukan besi yang mempunyai titik cair rendah seperti paduan aluminium, paduan magnesium, atau paduan tembaga. Paduan aluminium yang mempunyai titik cair rendah adalah bahan coran yang paling banyak dipakai untuk membuat coran seperti torak, sudu-sudu, rumah-rumah mesin dan sebagainya. (Surdia, Tata, M.S, Chinjiwa, Kenji. 1986 : 248).

DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H. 1991. *Manufacturing Processes 7th Edition. Jilid 1, cetakan II, terjemahan Sriati Djaprie*. Jakarta: Erlangga.
- Anomim 1. 2003. *Aluminium and Aluminium Alloys*. <http://www.key-to-metal.com>.
- Anomim 2. 2003. *Aluminium - Copper Alloys*. <http://www.key-to-metal.com>.
- Anomim 3. 2003. *Aluminium Alloys. – Effect of Alloying Elements*. <http://www.key-to-metal.com>.
- Anomim 4. 2005. *Fundamental of Metal Casting*. <http://www.key-to-metal.com>. Annual Books of ASTM Standart, 1982.
- De Garmo, E. Paul. 1997. *Material and Process in Manufacturing*. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Heine, Richard W. 1990. *Principles of Metal Casting*. New Delhi: Publishing Company.
- Hifni, M. 1990. *Metode Statistika*. Malang ; Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Huang, Juzheng. (2006), *Research On the Soundness of Al-Si Alloy Casting*, <http://search.msn.com&search=3&FORM:ASMI&q=Research+on+the+soundness+of+al+si+alloy+casting>.
- Kalpajian, Serope (1995), *Manufacturing Engineering and Technology*. 3rd edition, Illinois Institute of Technology.
- Lee, J.A. 1998. *High-Strength Aluminium Casting Alloy for High-Temperatur Applications*. Marshall Space Flight Center, Alabama.
- Seishan, Hayashi. *Research on the Soundness of Al-Si Alloy Casting*.
- Surdia, Tata,M.S, Chinjiwa, Kenji. 1986. *Teknik Pengecoran Logam*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Surdia, Tata,M.S, Saito, Shinroku.1984. *Pengetahuan Bahan Teknik*. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Van Vlack,Lawrence, Djaprie,Sriati. 1989. *Ilmu dan Teknologi Bahan*. Erlangga. Jakarta.
- Yoshinori Iwahashi .1998. *Faktor Influence the Equilibrium Grain Size: Role of Mg Additions to Aluminum*. Metallurgical and Material Transactions.