

## II. TEORI DASAR

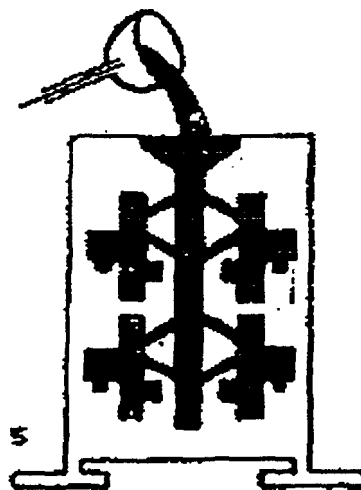
### 2.1 Pengecoran Cetakan Pasir

Prinsip dasar proses pengecoran logam adalah meleburkan logam hingga mencair kemudian memasukkan cairan logam tersebut ke dalam rongga cetakan. Oleh karena sifatnya, cairan logam akan menyesuaikan dengan bentuk rongga cetakan sehingga didapatkan bentuk yang sesuai dengan cetakan setelah cairan logam tersebut membeku.

Berdasarkan sifat cairan yang mengisi ke segala ruang, proses pengecoran memiliki kemampuan untuk memproduksi bentuk produk yang rumit, produk yang berongga dan dimensi produk yang tidak terbatas.

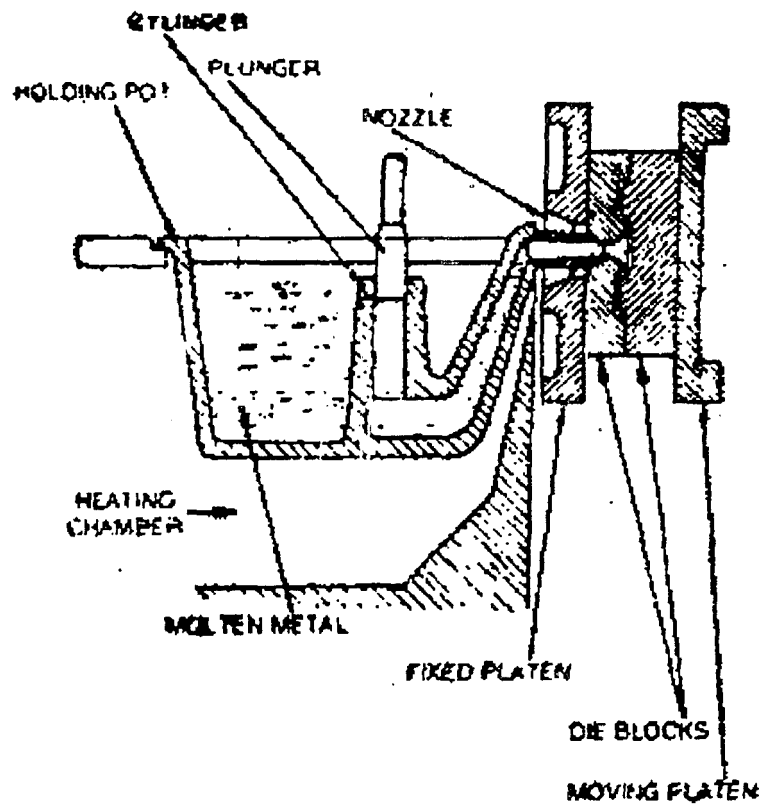
Berdasarkan cara logam cair masuk ke dalam rongga cetakan, sistem pengecoran logam dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu:

- Sistem gravitasi (*gravity system*)
- Sistem tekanan (*pressure system*)



Gambar 2.1 Pengecoran Sistem Gravitasi [3]

Pengecoran sistem gravitasi adalah pengecoran dimana logam cair dituangkan ke dalam sistem saluran masuk (*down sprue*) secara gravitasi sehingga oleh karena gaya gravitasi cairan logam mengisi ke segala ruang dalam rongga cetakan. Sedangkan pada pengecoran sistem tekanan, kemampuan logam cair mengisi ke seluruh rongga cetakan dengan bantuan tekanan dari gaya luar. Pengecoran cetakan pasir merupakan satu dari sekian banyak metoda proses pengecoran yang menganut sistem gravitasi.



Gambar 2.2 Pengecoran Sistem Tekanan [3]

Temperatur penuangan logam pada pengecoran cetakan pasir biasanya bervariasi bergantung dari macam logam yang dipergunakan. Adapun macam temperatur tuang logam dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Temperatur Penuangan Logam Cor [3]

Jenis Paduan	Temperatur Tuang °C
Aluminium	650-750
Tembaga	1.100-1.250
Kuningan	950-1.100
Besi cor	1.250-1.450
Baja Cor	1.500-1.550

### 2.1.1 Cetakan

Cetakan (rongga cetakan) dapat dibuat sekali pakai (*expendable mold casting*) atau cetakan yang dapat dipakai berulang kali (*multiple use mold casting*). Cetakan pasir dapat digunakan sekali pakai saja, berbeda dengan cetakan logam yang dapat dipergunakan berulang kali.

Cetakan logam menyebabkan permukaan produk cor halus, sedangkan cetakan pasir menyebabkan permukaan kasar. Cetakan logam menyebabkan gradien temperatur yang besar pada permukaan produk cor, sedangkan cetakan pasir menyebabkan gradien temperatur yang kecil. Dengan demikian, cetakan dan bahan logam maupun cetakan dari bahan non logam memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing.

Pasir cetak yang paling umum digunakan adalah pasir gunung, pasir pantai, pasir sungai, dan pasir silika. Semuanya memiliki unsur utama  $\text{SiO}_2$ . Pasir silika memiliki bagian  $\text{SiO}_2$  terbanyak yaitu lebih dari 95 %. Pasir cetak yang digunakan harus memiliki persyaratan sebagai berikut:

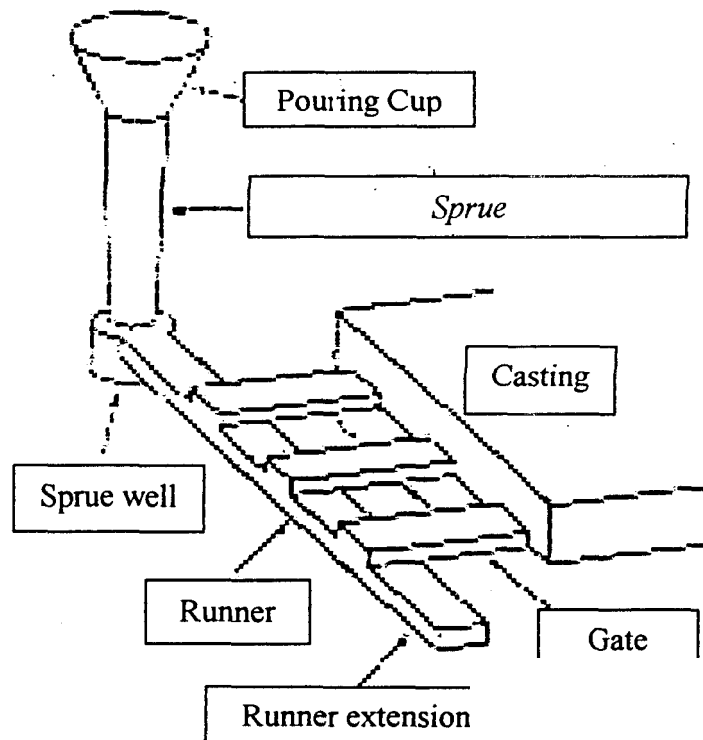
- Mampu bentuk
- Permeabilitas yang sesuai
- Tahan temperatur tinggi
- Tahan terhadap erosi
- Kuat menahan berat logam cair
- Mampu dipergunakan lagi.

### 2.1.2 Sistem saluran pengecoran

Sistem saluran (*gating system*) adalah jalan masuk logam cair menuju ke rongga cetakan. Sistem saluran pada pengecoran terdiri dari :

1. Cawan tuang (*pouring basin*)
2. Saluran turun (*sprue*)
3. Saluran horisontal (*runner*)
4. *Gate*

Gambar sistem saluran dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini.

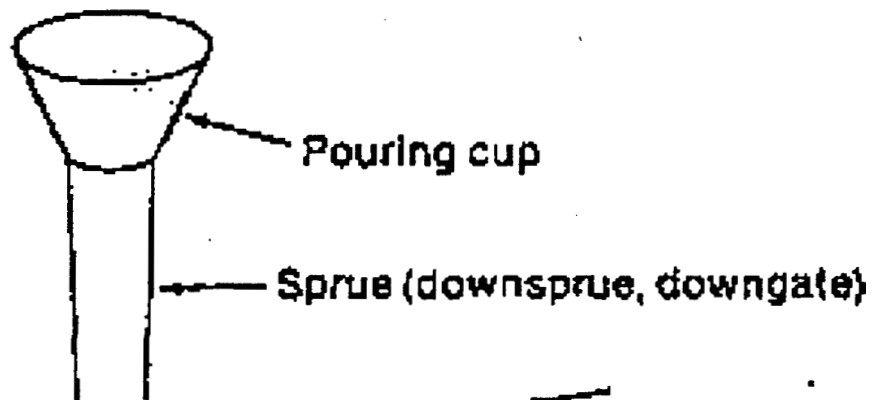


Gambar 2.3 Sistem Saluran Pada Pengecoran [3]

Syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh sistem saluran pada pengecoran yaitu :

- Logam mampu mengalir melalui sistem saluran dengan turbulensi dan aspirasi gas minimum untuk mencegah erosi pasir dan terperangkapnya gas
- Rongga cetakan harus diisi secara penuh dalam waktu yang singkat
- Gradien temperatur logam yang rendah serta memungkinkan terjadinya *directional solidification* ke arah *riser*

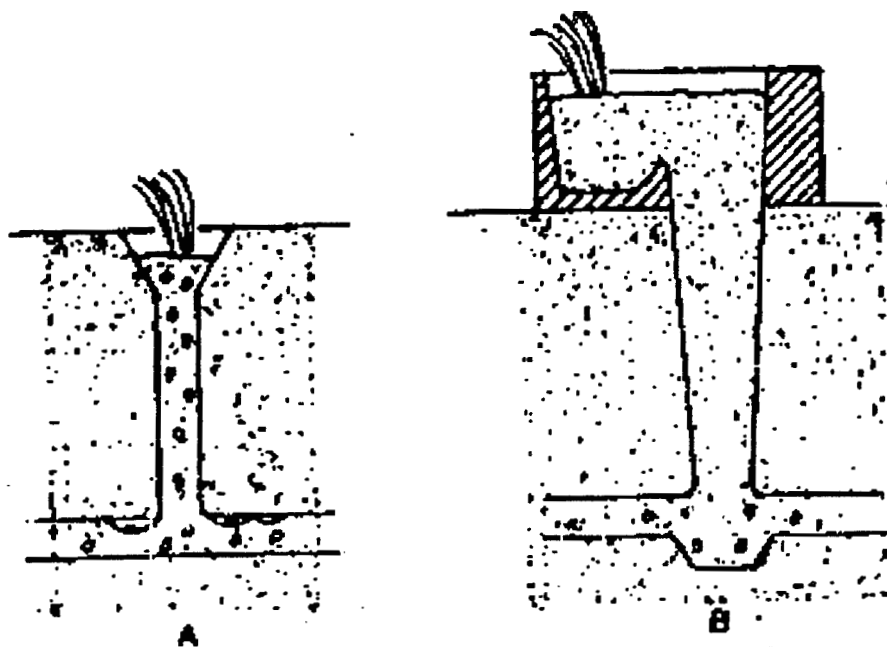
Untuk mencapai syarat-syarat di atas secara maksimal maka perlu mengontrol penuangan, penggunaan peralatan untuk penuangan, temperatur tuang bahan dan rancangan yang benar mengenai *sprue*, *runner* dan *gate*[3].



Gambar 2.4 Cawan Tuang [3]

Tujuan dari cawan tuang adalah membantu sistem aliran cairan logam untuk mengalir sebaik mungkin. *Basin* diharapkan besar dan ditempatkan cukup dekat dengan tepi kerangka cetak, agar proses penuangan bisa berlangsung cepat.

Pada saat penuangan *basin* diharapkan selalu dipertahankan penuh, dengan tujuan agar logam cair masuk secara merata ke rongga cetakan dan menghindari terjadinya pembekuan terlebih dahulu pada *gate*.



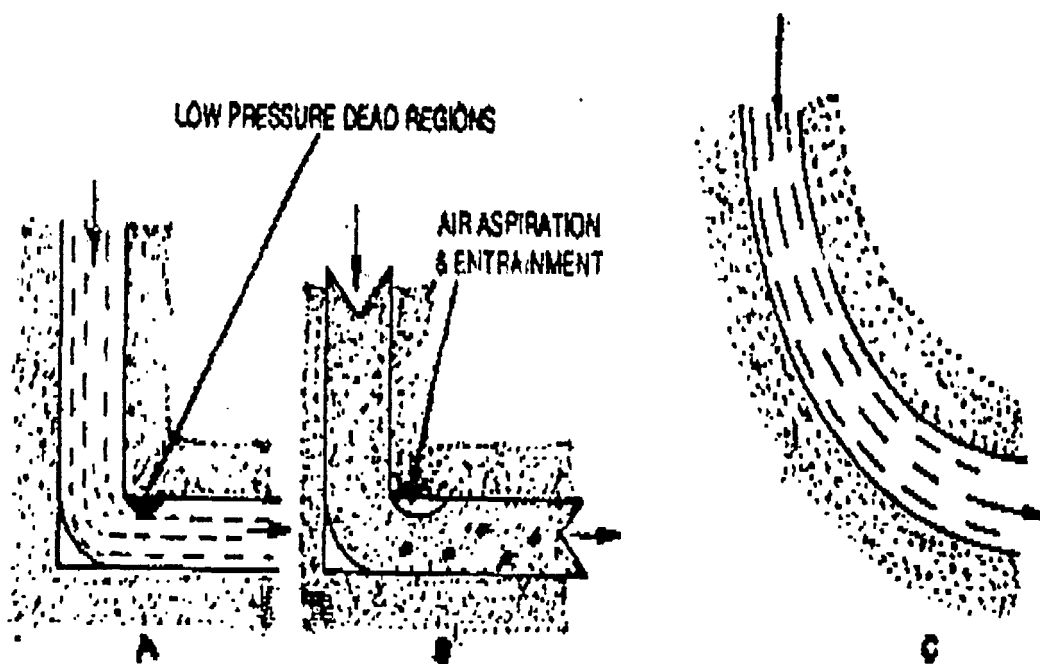
Gambar 2.5 *Sprue* tanpa *sprue well* (kiri) dan *sprue* dengan *sprue well* (kanan) [3]

*Sprue* [Gambar 2.5] merupakan saluran vertikal yang melalui *cope* (kerangka cetak atas) yang menghubungkan antara cawan tuang dengan *runner* (saluran horisontal) atau *gate*. Ukuran *sprue* harus memenuhi kondisi tertentu. *Sprue* harus cukup kecil untuk dapat mempertahankan *sprue* terisi penuh cairan logam selama proses penuangan [3]. Selain itu, untuk menjamin aliran cairan logam memasuki rongga cetakan tanpa menimbulkan turbulensi maupun pusaran.

Pada saat yang sama, ukuran *sprue* harus cukup besar [3] untuk menjamin rongga cetakan terisi penuh tanpa menimbulkan *laps*, *seam*; atau *mis-run* serta mencegah terjadinya aspirasi gas [3]. Bentuk *sprue* harus tirus ke bawah dengan tujuan untuk menghindari terjadinya aspirasi gas dan kerusakan logam. Dasar *sprue* dibuat lebih besar dan lebih dalam daripada

Bagian yang dibuat lebih dalam dan lebih besar ini disebut *sprue well* yang berfungsi untuk menyerap energi kinetik.

*Runner* digunakan untuk menghubungkan bagian dasar *sprue* dengan gate. *Gate* merupakan tempat laluan cairan logam terakhir sebelum masuk ke rongga cetakan. Lokasi dan ukuran *gates* disusun sedemikian hingga cairan logam dapat masuk ke rongga cetakan dengan secepat mungkin. *Gate* diletakkan dengan mempertimbangkan tidak ada retak setelah logam cair membeku.



Gambar 2.6 Macam-macam *Runner* [3]

*Riser* adalah sistem saluran yang berfungsi untuk menampung kelebihan logam cair, sebagai cadangan bila terjadi penyusutan dan juga berfungsi sebagai pemberat dan pengumpan untuk menyuplai cairan logam kepada produk cor. Bentuk *riser* berupa potongan lubang yang berada pada atas (*cope*) yang memperbolehkan cairan logam untuk naik, sehingga akan memudahkan bagi penuang untuk melihat apakah cairan logam sudah mengisi seluruh rongga cetakan.

*Riser* juga memfasilitasi keluarnya gas, uap dan udara dari rongga cetakan. Persyaratan utama *riser* yang efektif yaitu :

- Volumennya cukup sampai bagian terakhir produk cor akan membeku.
- Mampu mengatasi penampang yang tipis yang membutuhkan pengumpan.
- Sifat fluiditas cairan logam cukup untuk mempertahankan temperatur logam dalam keadaan cair.
- *Riser* mampu mengatasi gradien temperatur sehingga arah pembekuan tetap mengarah ke arah *riser*.

Oleh karena itu ukuran *riser* harus diperhitungkan dengan baik sehingga efisiensi penambah dapat dioptimalkan. *Riser* akan memberikan *logam cair* ke dalam rongga cetakan untuk mengimbangi penyusutan akibat pembekuan produk cor

Bentuk *riser* yang paling efektif dapat diasumsikan bahwa *riser* yang mengalami perpindahan panas yang sedikit, sebab *riser* dapat membuat logam tetap pada kondisi cair. Kondisi ini dapat terjadi apabila *riser* yang dipergunakan berbentuk bola karena luas bidang permukaan minimum.

Dengan volume yang sama, bentuk *riser* yang terbaik yaitu berbentuk silinder dan kemudian diikuti bentuk kubus. Karena *riser* yang berbentuk bola tersebut sulit dalam pembuatannya maka bentuk *riser* yang terbaik untuk digunakan yaitu silinder.

Penempatan *riser* seharusnya dipilih berdasarkan desain pengecoran dan kecepatan logam cair untuk membeku. *Riser* dapat diletakkan di bagian atas maupun di bagian samping dari rongga cetak. *Riser* yang berada di atas ini dipergunakan untuk mencetak logam yang ringan karena mendapatkan keuntungan dari penekanan berat logam itu sendiri. *Riser* yang dipergunakan pada proses pengecoran bisa lebih dari satu untuk meningkatkan fungsi *riser*.

## 2.2 Logam Cor

Logam mempunyai peranan penting dalam perkembangan peradaban manusia. Demikian juga aluminium yang sudah banyak terlibat di dalam kehidupan masyarakat. Meskipun pada dasarnya aluminium digunakan sebagai pengganti kayu, dimana tembaga dan besi dikenal lebih dahulu, namun aluminium lebih banyak dikonsumsi dibandingkan logam non besi (*non ferrous metal*) lainnya. Produk cor paduan aluminium mulai dibuat pada akhir abad 19 setelah cara pemurnian dengan elektrolisa ditemukan.

### 2.2.1 Aluminium murni

Aluminium murni dibedakan menurut tingkat kemurniannya. Sampai saat ini, lebih dari separuh produk jadi aluminium berupa aluminium paduan. Di bawah ini klasifikasi tingkat kemurnian aluminium.

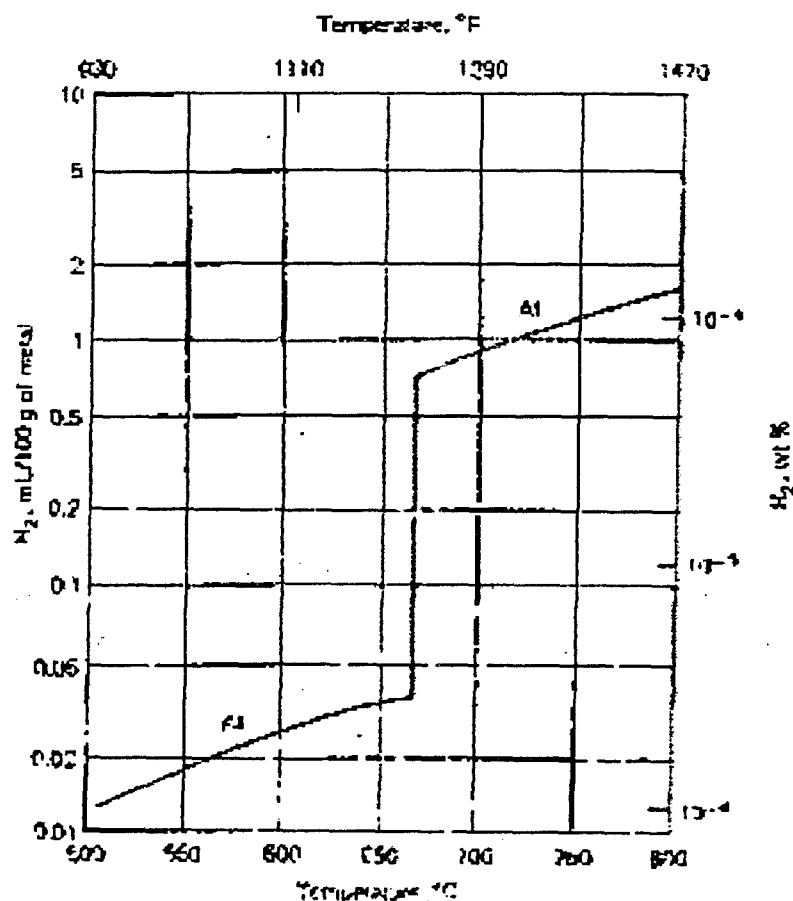
Tabel 2.2 Klasifikasi Kemurnian Aluminium [4]

Aluminium, %	Klasifikasi
99.50-99.79	<i>Commercial purity</i>
99.80-99.949	<i>High purity</i>
99.950-99.9959	<i>Superpurity</i>
99.9960-99.9990	<i>Extremepurity</i>
<i>Over 99.9990</i>	<i>Ultra purity</i>

Struktur kristal aluminium murni dalam bentuk FCC (face-centered *cubic*) dan struktur ini stabil mulai dari 277° C sampai dengan temperatur leburnya. Titik lebur aluminium murni 660,34 ° C. Konduktivitas thermal, panas spesifik dan enthalpi aluminium murni baik dalam fasa padat (solid) dan cair (liquid) merupakan fungsi temperatur.

Gas-gas seperti hidrogen, oksigen, serta nitrogen cenderung larut di dalam logam. Kemampuan larut gas-gas tersebut sangat tinggi, tetapi kemampuan larutnya turun jika temperatur dibawah 600 ° C. Meskipun demikian, adanya gas yang tertinggal akan menimbulkan cacat cor seperti *secondary shrinkage, blow-hole, pin-hole, dan atau micro-porosity* [3].

Kemampuan hidrogen larut dalam aluminium murni sangat tinggi sebab hidrogen dapat larut dalam *solid metal* maupun *liquid metal*. Di bawah ini ditunjukkan grafik kelarutan hidrogen dalam aluminium dan magnesium.

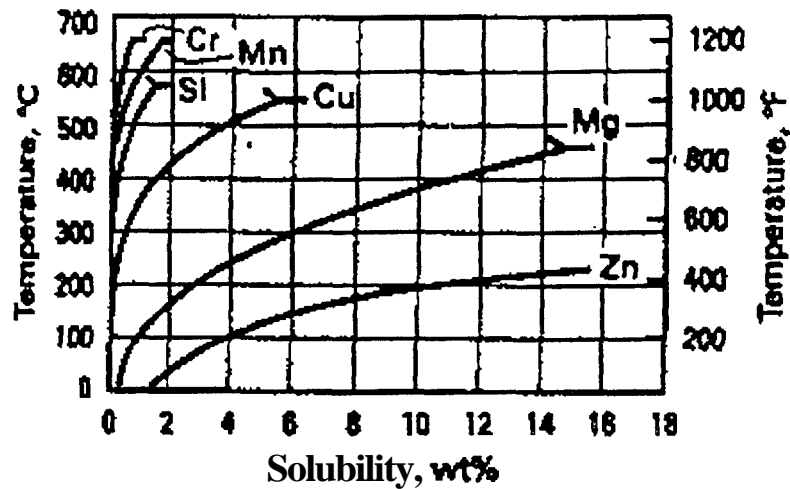


Gambar 2.7 Grafik Kelarutan Hidrogen dalam Aluminium dan Magnesium [4]

### 2.2.2 Aluminium paduan

Aluminium murni memiliki sifat mampu cor dan sifat mekanis yang buruk. Oleh karena itu dipergunakan paduan aluminium karena sifat-sifat mekanisnya akan diperbaiki dengan menambahkan tembaga, silikon, magnesium, mangan dan zinc.

Kelarutan unsur-unsur tersebut meningkat sejalan dengan peningkatan temperatur,' ditunjukkan dalam grafik di bawah ini.



Gambar 2.8 Kelarutan Paduan Terhadap Temperatur Pada Aluminium [1]

Aluminium paduan dibedakan menjadi 2 (dua) jenis, yaitu:

- Paduan tempa (*wrought product*)
- Paduan cor (*casting alloys*)

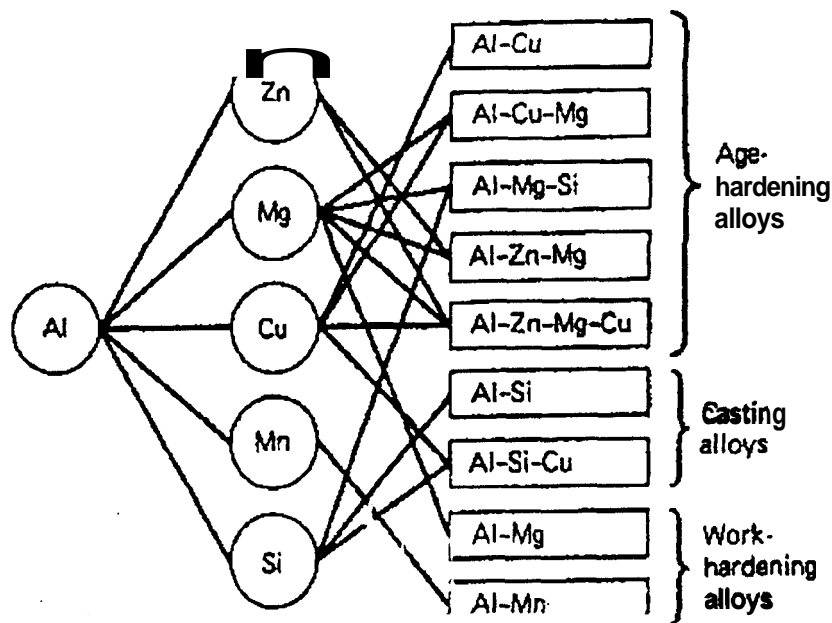
Masing-masing jenis tersebut masih dibagi lagi menjadi 2 (*dua*) jenis, yaitu:

- *Hardening alloys*
- *Non hardening alloys*

Produk cor paduan aluminium memiliki sifat mudah dibuat, ringan, tahan karat dan tahan temperatur tinggi (100-200 °C). Aluminium paduan yang digunakan untuk produk cor biasanya memiliki jumlah paduan yang lebih banyak daripada produk tempa. Paduan aluminium memiliki berat jenis 2,2-2,3 kali dibanding berat jenis air.

Ada 9 (sembilan) unsur yang memiliki prosentase kelarutan cukup baik dalam aluminium pada temperatur leburnya. Dari unsur-unsur tersebut, perak, gallium, germanium serta lithium merupakan mineral yang *expensive*

di dalam prosesnya. Hal ini menjadikan zinc, magnesium, tembaga, mangan dan silikon menjadi unsur dasar pada paduan aluminium yang umum digunakan. Paduan tersebut digunakan dalam berbagai macam hal seperti pada *flow-chart* di bawah ini.



Gambar 2.9 *Flow-chart* Macam Penggunaan Paduan aluminium [1,4]

Paduan aluminium tempa (*wrought alloys*) diberikan sistem penomoran dengan 4 (empat) digit. Digit pertama mengidentifikasi kelompok (*group*) dari paduan, digit kedua menyatakan modifikasi dari paduan, sedangkan kedua digit terakhir mengidentifikasi kemurnian dari paduan tersebut.

Sistem penomoran pada aluminium tuang (*casting alloys*) menggunakan 3 (tiga) digit ditambah 1 (satu) digit yang terpisah oleh tanda titik. Digit pertama mengidentifikasi kelompok (*group*) dari paduan, kedua digit selanjutnya menunjukkan kemurnian dari aluminium tersebut, sedangkan digit terakhir yang terpisah oleh tanda titik mengidentifikasi bentuk dari produk apakah dalam bentuk produk cor atau masih dalam

bentuk ingot. Adapun kelompok (*group*) dari paduan aluminium tempa (*wrought alloys*) dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.3 Sistem Penomoran Paduan Aluminium Tempa (*Wrought Alloys*) [1]

Elemen Paduan	Kelompok
Aluminium (min. 99% atau lebih)	1xxx
Tembaga (Cu)	2xxx
Mangan (Mn)	3xxx
Silikon (Si)	4xxx
Magnesium (Mg)	5xxx
Magnesium dan Silikon (Mg dan Si)	6xxx
Seng (Zn)	7xxx
Elemen lain	8xxx
Sen yang belum digunakan	9xxx

Adapun kelompok (*group*) dari paduan aluminium tuang (*casting alloys*) dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.4 Sistem Penomoran Paduan Aluminium Tuang (*Casting Alloys*) [1]

Elemen Paduan	Kelompok
Aluminium (min. 99% atau lebih)	1xx.x
Tembaga (Cu)	2xx.x
Mangan (Mn)	3xx.x
Silikon (Si)	4xx.x
Magnesium (Mg)	5xx.x
Magnesium dan Silikon (Mg dan Si)	6xx.x
Seng (Zn)	7xx.x
Elemen lain	8xx.x
Sen yang belum digunakan	9xx.x

### 2.2.3 Paduan aluminium-silikon

Paduan aluminium-silikon adalah jenis paduan yang paling banyak digunakan dalam pengecoran dibandingkan dengan jenis paduan aluminium lainnya. Hal itu antara lain disebabkan karena sifat *high fluidity* dan *low shrinkage* paduan yang baik.

Simon ditambahkan kedalam aluminium dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan cor (*casting alloys*) dan sifat mekanis logam cor aluminium murni. Paduan aluminium-silikon 0,17 -0,8 %Si berada pada daerah kritis. Logam paduan aluminium-silikon 12,5 % Si berada pada kondisi fasa lumpur (*mushyzone*), yakni tepat berada pada titik *eutektik*.

Paduan aluminium-silikon yang termasuk paduan cor (*casting alloys*) diberi kode sei 4xx.x oleh asosiasi aluminium. Kemampuan tuang (*castability*) paduan cor (*casting alloys*) dapat diperbaiki dengan penambahan unsur silikon sampai dengan 23 %. Selain itu penambahan unsur silikon juga dapat memperbaiki sifat fluidity dan *feeding characteristic* daripada paduan

Di bawah ini beberapa sifat mekanis paduan aluminium-silikon yang dipergunakandalam penelitian ini.

Tabel 2.5 Sifat Mekanis Paduan Aluminium-Silikon 7% [2]

Komposisi	Cu max 1,80; Mg 0,2-0,4; Si 6,5-8,0; Fe max 0,7; Zn max 0,55
Densitas	2,68 gr/ cm <sup>3</sup>
Konduktivitas Thermal	152 W/ m . K

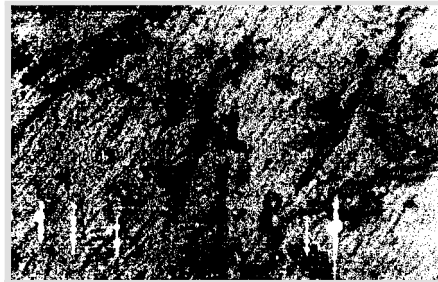
Tabel 2.6 Sifat Mekanis Paduan Aluminium-Silikon 12,5 % [2]

Komposisi	Cu max 2,15; Mg 0,2-0,4; Si 11,0-13,0; Fe max 0,7; Zn max 0,55
Densitas	2,657 gr/ cm <sup>3</sup>
Konduktivitas Thermal	121 W/ m . K

#### 2.2.4 Struktur mikro paduan aluminium-silikon

Struktur mikro bergantung kepada jumlah unsur dalam paduan. Struktur mikro paduan aluminium-silikon bergantung kepada jumlah kandungan silikon dalam aluminium.

Paduan *hypo-eutectic* aluminium-silikon terdiri dari fasa utama aluminium dengan *fiber* silikon terdistribusi pada matrik aluminium. Sedangkan pada paduan *hyper-eutectic* aluminium-silikon fasa aluminium terbentuk sebagai fasa utama dengan campuran fasa silikon dan *fiber* silikon. Di bawah ini ditunjukkan struktur mikro paduan *hypo-eutectik* dan *hyper-eutectic* paduan aluminium-silikon.



Gambar 2.10 Paduan Aluminium-Silikon *Hypo-eutectic*



Gambar 2.11 Paduan Aluminium-Silikon *Hyper-eutectic*

## 2.3 Proses Pembekuan

Pembekuan logam merupakan satu dari sekian banyak faktor yang perlu dicermati untuk mendapatkan produk cor yang berkualitas. Faktor lainnya misal :

- aliran logam dalam rongga cetakan
- perpindahan panas selama proses pembekuan
- dan jenis material cetakan.

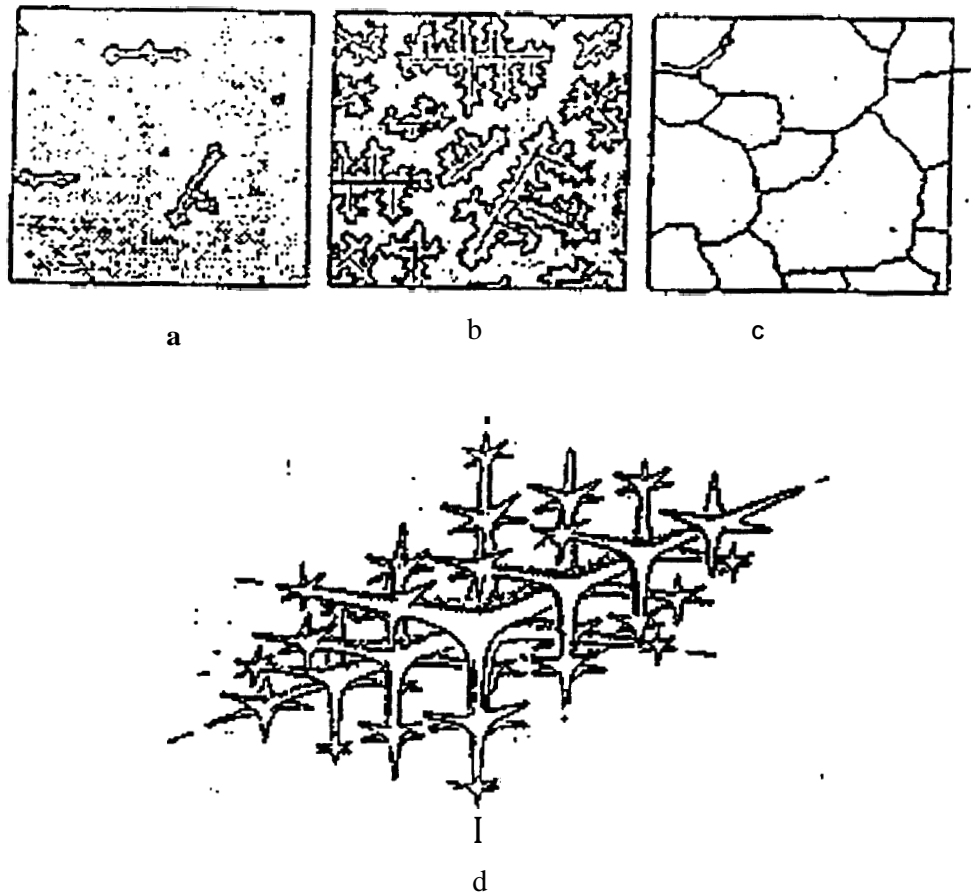
Hal lain tersebut juga mendapatkan porsi perhatian yang sama.

### 2.3.1 Pembekuan aluminium murni

Titik lebur (*melting point*) atau titik beku (*freezing point*) aluminium murni sangat jelas posisinya. Proses pembekuan pada aluminium murni terjadi pada temperatur yang konstan. Akan tetapi panas pembekuan yang dilepaskan pada saat proses pembekuan sangat besar sehingga permukaan bagian luar produk cor akan sangat kasar, terlebih bila menggunakan cetakan pasir.

Pada kondisi ekuilibrium apabila temperatur logam cair diturunkan hingga titik beku maka panas laten pembekuan akan dilepaskan (dibuang) sementara temperaturnya tetap konstan. Siklus perpindahan panas (*thermal*) ini akan berakhir jika proses pembekuan (*solidification*) telah selesai. Setelah itu logam padat (*solid metal*) didinginkan hingga mencapai temperatur kamar.

Dalam pembekuan logam cair, pada permulaan dimulai dengan bertumbuhnya inti-inti kristal. Kemudian kristal-kristal berkembang di sekeliling inti tersebut, dan inti baru tumbuh pada saat yang sama. Akhirnya seluruhnya ditutupi oleh butir kristal sampai logam cair habis. Hal ini mengakibatkan seluruh logam menjadi susunan kelompok butir-butir kristal dan batas butir yang terjadi diantaranya. Ilustrasi skematik pembekuan aluminium murni ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.12 Ilustrasi Skematik Pembekuan Aluminium Murni

Keterangan gambar:

- a. inti yang ada berkembang, inti baru mulai tumbuh (pada temperatur beku)
- b. berhentinya ada pertumbuhan inti baru (kondisi akhir pada titik beku)
- c. logam padat
- d. *dendrit*

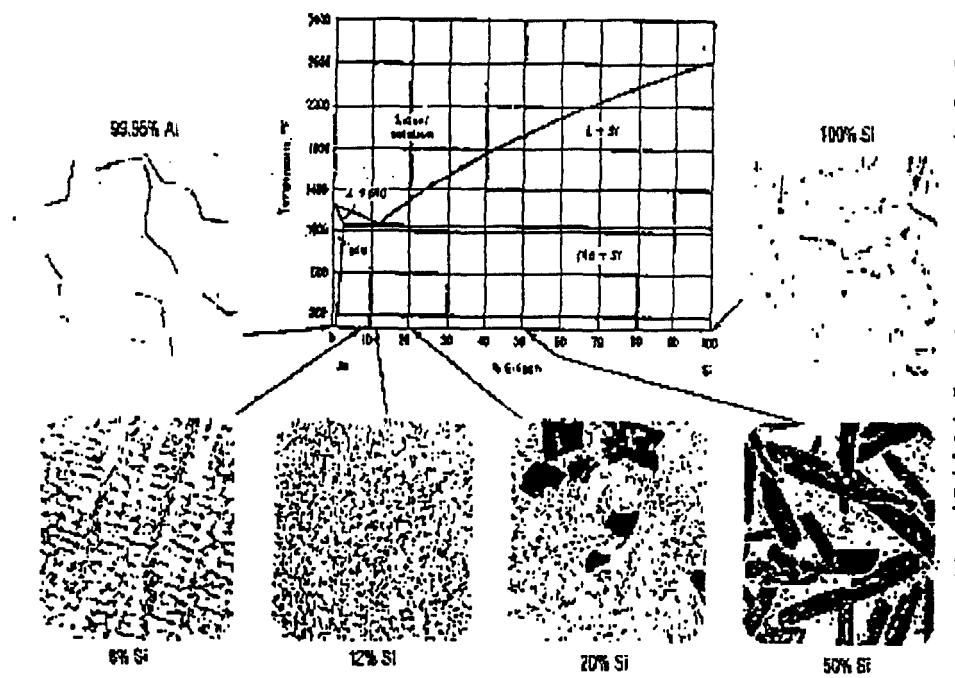
Ukuran besar dari batas butir kristal bergantung pada laju pengintian dan pertumbuhan dari inti. Bila laju pertumbuhan lebih besar dari laju pengintian, akan didapati kelompok butir-butir kristal yang besar.

Sedangkan bila laju pengintian lebih besar dari laju pertumbuhan inti, akan didapati kelompok butir-butir kristal halus.

### 2.3.2 Pembekuan paduan aluminium-silikon

Tidak seperti logam murni, logam paduan membeku pada rentang temperatur tertentu. Dengan dipadunya aluminium dengan silikon maka distribusi fasa-fasa yang terbentuk dapat dilihat melalui diagram fasa kesetimbangan aluminium-silikon. Dibawah ini ditunjukkan gambar diagram fasa paduan aluminium-silikon.

Pembekuan dimulai jika temperatur logam cair turun dibawah titik *liquidus* dan pembekuan ini akan diakhiri jika temperatur logam cair mencapai titik solidus. Logam paduan yang berada dalam rentang temperatur tersebut berada dalam kondisi fasa lumpur (*mushy-zone*).



Gambar 2.13 Diagram Fasa Paduan Aluminium-Silikon [1]

### 2.3.3 Pembekuan produk cor

Proses pembekuan (*solidification*) pada pengecoran mengalami 3 (tiga) jenis penyusutan, yaitu:

- *Liquid contraction*
- *Solidification contraction*
- *Solid contraction*

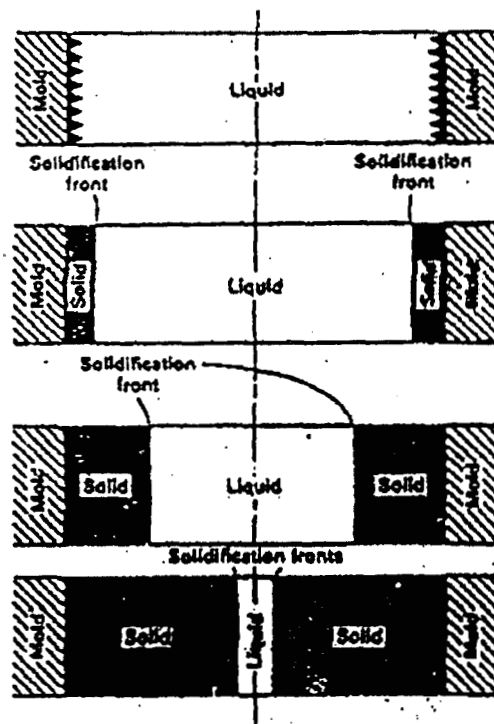
*Liquid contraction* adalah penyusutan yang terjadi pada logam cair jika logam cair didinginkan dari temperatur tuang menuju temperatur pembekuan (*solidification temperature*). *Solidification contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama logam cair melalui fasa pembekuan (perubahan fasa cair menjadi fasa padat). *Solid contraction* adalah penyusutan yang terjadi selama periode *solid metal* didinginkan dari temperatur pembekuan menuju temperatur ruang.

*Liquid contraction* dan *solidification contraction* dapat ditangani dengan merancang sistem *riser* yang baik dan tepat. Kekosongan (*void*) yang ditimbulkan oleh 2 (dua) jenis penyusutan tersebut diisi oleh cairan logam yang disuplai dari riser.

Sedangkan *solid contraction* dapat diatasi dengan membuat dimensi pola yang lebih besar daripada dimensi produk cor, untuk mengeliminir penyusutan yang terjadi. *Solid contraction* bila tidak ditangani dengan baik menyebabkan produk cor melengkung atau mengalami cacat *hot tear* disamping kesalahan dimensi produk cor.

Masing-masing area pada produk cor memiliki laju pendinginan yang berbeda. Hal ini disebabkan adanya beragam luas panampang, perbedaan laju perpindahan panas, dan sebagian area yang cenderung membeku lebih cepat dibanding area yang lainnya.

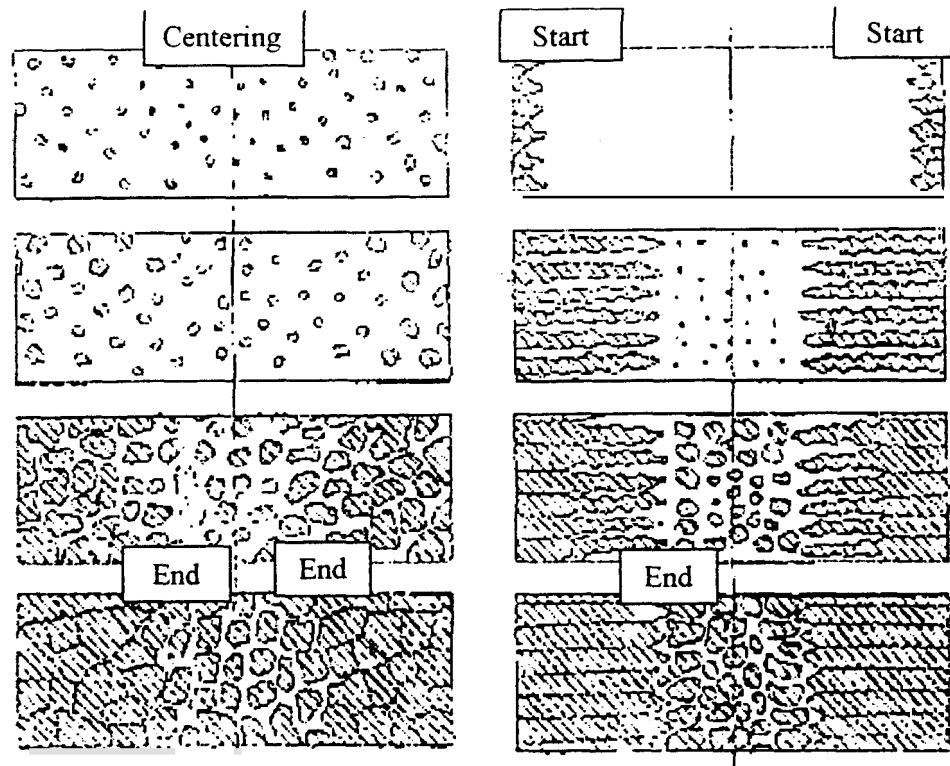
Pembekuan produk cor dimulai dari bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan, yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan itu mengalami penurunan temperatur sampai titik beku, dimana kemudian inti-inti kristal tumbuh.



Gambar 2.14 Ilustrasi Skematik Pembekuan Produk Cor Aluminium Murni [ 5 ]

Bagian dalam dari produk cor mengalami penurunan temperatur lebih lambat daripada bagian luarnya, sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti mengarah ke bagian dalam produk cor dan butir-butir kristal tersebut berbentuk panjang-panjang seperti kolom, yang disebut sebagai stuktur kolom.

Stuktur kolom muncul dengan jelas apabila gradien temperatur yang besar terjadi pada permukaan produk cor. Sebaliknya pada gradien temperatur yang kecil, stuktur kolom yang terbentuk tidak jelas. Bagian tengah produk cor memiliki gradien temperatur yang kecil sehingga merupakan susunan dari butir-butir kristal segi banyak dengan orientasi sembarang.



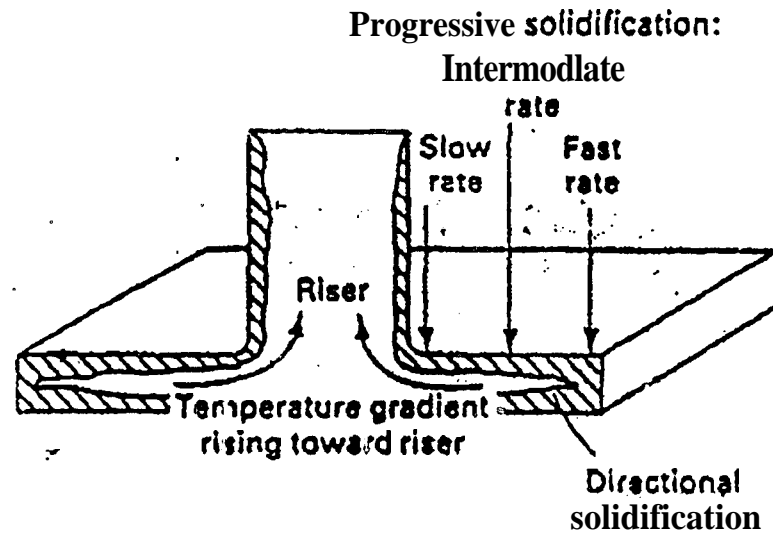
Gambar 2.15 Ilustrasi Pembekuan Produk Cor Pada Gradien Temperatur Rendah (kiri) dan Gradien Temperatur tinggi (kanan) [ 5 ]

Oleh karena perbedaan laju pendinginan pada masing-masing area pada produk cor tersebut, bila tidak ditangani dengan baik akan menimbulkan kekosongan atau shrinkage akibat *solidification contraction*. *Solidification contraction* menyebabkan cacat *secondary shrinkage* pada produk cor.

*Solidification contraction* biasanya terjadi pada bagian produk cor yang membeku terakhir kali. Para ahli pengecoran menggunakan prinsip dasar tersebut untuk membuat produk cor yang *soundness* dengan cara menambahkan volume logam di bagian produk yang membeku terakhir. Cadangan logam pengumpan ini disebut *riser*.

Arah pembekuan berhubungan dengan *casting modulus*. *Casting modulus* menunjukkan perbandingan (*ratio*) antara volume cor dengan luas permukaan cor. Jika volume cor meningkat berarti semakin banyak logam

cair, maka waktu yang dibutuhkan untuk menurunkan temperturnya lebih lama. Sebaliknya panas yang ada di dalam produk cor harus dilepaskan melalui permukaannya, semakin besar luas permukaan produk cor maka akan semakin cepat produk cor tersebut mengalami penurunan temperatur. Jadi *casting modulus* yang semakin besar berakibat semakin besar pula waktu yang dibutuhkan untuk pembekuan (*solidification*).



Gambar 2.16 Ilustrasi Skematik Arah Pembekuan Produk Cor

Namun demikian, pembekuan terarah tidak selalu mudah dicapai karena ada faktor-faktor lain yang turut mempengaruhi, misalnya bentuk desain produk cor serta jenis proses pengecoran yang digunakan. Secara umum pembekuan terarah dapat dikontrol dengan:

- Merancang dan menempatkan sistem saluran turun (*gate*) beserta *riser* dengan tepat.
- Menggunakan lapisan (*padding*) untuk menaikkan ketebalan penampang produk cor.
- Menambahkan bahan *eksothermis* pada *riser* atau cetakan pasir.
- Menyisipkan *chill* pada cetakan.

## 2.4 Cacat *Shrinkage*

Ada berbagai macam jenis cacat yang sering dijumpai pada produk cor. Cacat produk cor mempengaruhi total produksi dan biaya produksi. Oleh karena itu penyebab cacat perlu dipelajari dan dipahami agar jumlah cacat dapat dieliminir.

Cacat produk cor dapat diklasifikasikan atas 3 (tiga) jenis , yaitu:

- *Major defect*
- *Minor defect*
- Cacat yang dapat diperbaiki namun tidak ekonomis

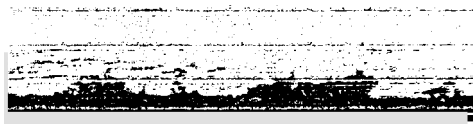
*Major defect* adalah cacat produk cor yang tidak dapat diperbaiki dan termasuk produk cor yang afkir. Sedangkan *minor defect* adalah cacat produk cor yang masih dapat diperbaiki dengan perbaikan yang ekonomis.

Cacat *shrinkage* timbul dari kegagalan mengganti kekurangan cairan *logam* dan penyusutan oleh karena pembekuan *logam*. Tampilan cacat ini dapat berupa:

- o Lubang kasar di dalam produk cor pada arah pembekuan, atau pada hubungan I antara bagian (sudut).
- o Pada ujung bagian produk cor yang bertekanan besar.
- o Daerah gelap pada patahan produk cor.

Ada 2 (dua) macam cacat *shrinkage* yang biasa ditemukan pada produk cor, yakni:

- o Cacat *primary shrinkage*
- o Cacat *secondary shrinkage*



Gambar2.17 Cacat *Primary Shrinkage*

Cacat *primary shrinkage* adalah cacat *shrinkage* yang terjadi di bagian permukaan produk cor. Sedangkan cacat *secondary shrinkage* terjadi di bagian dalam produk cor, cacat ini sering disebut sebagai cacat *shrinkage cavity*.



Gambar 2.18 Cacat *Secondary Shrinkage*

Cacat *shrinkage* dapat timbul antara lain oleh karena:

- ketidaktepatan sistem saluran (*gating system*) dan teknik pengumpanan (*risering*).
- ◆ Komposisi paduan yang tidak cocok.

Cacat tersebut dapat dikurangi atau dieliminir dengan:

- Mendesain pembekuan terarah pada riser.
- Penambahan silikon dari atau karbon.