

## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### 2.1. KARAKTERISTIK LOGAM ALUMINIUM

Aluminium adalah logam yang mudah dipadukan dengan logam lain, dan saat ini lebih dari 300 jenis komposisi paduan aluminium telah dibuat untuk berbagai keperluan. Karakteristik dari paduan aluminium ini yang membuat logam ini sangat ekonomis dan menarik untuk digunakan adalah ringan, mempunyai temperatur lebur yang rendah, kelarutan gas kecuali hidrogen rendah, mampu cor (*castability*) baik, kemampuan permesinan dan penyelesaian permukaan yang baik, tahan terhadap korosi, dan mempunyai konduktivitas thermal dan elektrik yang baik<sup>[2]</sup>.

Aluminium mempunyai berat jenis sebesar  $2.7 \text{ g/cm}^3$ , sekitar sepertiga dari berat jenis baja ( $7.83 \text{ g/cm}^3$ ), tembaga ( $8.93 \text{ g/cm}^3$ ) dan kuningan ( $8.53 \text{ g/cm}^3$ ). Aluminium mempunyai ketahanan terhadap korosi yang sangat baik pada hampir semua kondisi lingkungan dengan membentuk lapisan tipis oksida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang pasif dan keras. Aluminium pada temperatur rendah tidak mengalami fenomena *Ductile to Brittle Transition*, yaitu perubahan sifat mekanis logam dari bersifat lunak menjadi getas pada temperatur rendah<sup>[4]</sup>. Selain itu, aluminium mempunyai titik lebur yang rendah, yaitu  $660^\circ \text{ C}$ , sangat mudah mengikat hidrogen, dan memiliki tingkat penyusutan (*shrinkage*) yang cukup tinggi yaitu sekitar 6–8 %<sup>[5]</sup>.

Sifat mekanis dan fisik dari aluminium hasil coran dapat ditingkatkan melalui beberapa cara, yaitu<sup>[6]</sup> :

- Penambahan unsur paduan (*alloying addition*)
- Pengaturan kecepatan pendinginan selama dan setelah pendinginan
- Proses pengecoran
- Laju pembekuan
- Perlakuan panas (*heat treatment*)
- *Post solidification densification*

Penambahan unsur paduan saat ini sangat banyak digunakan untuk meningkatkan kekuatan dari logam aluminium. Contoh dari unsur paduan ini adalah tembaga, magnesium, silikon, mangan, dan seng. Variasi dari penambahan unsur paduan ini akan memperbaiki sifat mekanik dan fisik dari aluminium sehingga dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Aplikasi dari aluminium antara lain minuman kalengan, bodi pesawat, dan part otomotif<sup>[4]</sup>.

## 2.2. SISTEM PENAMAAN MATERIAL PADUAN ALUMINIUM HASIL PENGECORAN

Oleh karena jenis paduan aluminium yang sangat banyak jumlahnya, maka diperlukan sistem penamaan untuk material paduan aluminium. Terdapat berbagai macam penamaan material aluminium hasil pengecoran, salah satunya adalah menurut *Aluminium Association* yang digunakan oleh Amerika Serikat.

Dalam sistem penamaan AA, terdapat empat angka, dengan angka keempat dituliskan terpisah dari tiga angka lainnya (XXX.X). Angka pertama menunjukkan kelompok paduan, angka kedua dan ketiga menunjukkan kemurnian minimum untuk aluminium tanpa paduan dan sebagai nomor identifikasi untuk paduan tersebut, angka keempat menandakan bentuk produk ( .0 = spesifikasi coran, .1 = spesifikasi ingot, .2 = spesifikasi ingot yang lebih spesifik).

Berikut adalah klasifikasi dari paduan aluminium hasil pengecoran<sup>[6]</sup> :

- 1xx.x, Aluminium murni ( $\geq 99\%$ )
- 2xx.x, Paduan aluminium – tembaga
- 3xx.x, Paduan aluminium silikon + tembaga / Magnesium
- 4xx.x, Paduan aluminium silikon
- 5xx.x, Paduan aluminium magnesium
- 6xx.x, Tidak dipakai
- 7xx.x, Paduan aluminium – seng
- 8xx.x, Paduan aluminium – timah (Sn)
- 9xx.x, Al + unsur lain

Selain penamaan paduan aluminium hasil pengecoran, AA juga membuat penamaan untuk aluminium yang dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Klasifikasinya adalah sebagai berikut<sup>[6]</sup> :

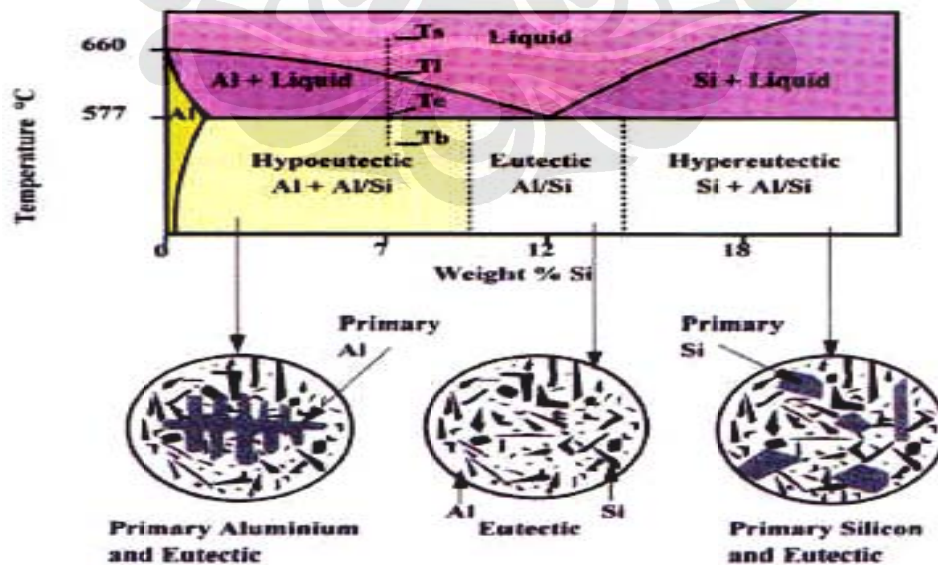
- F, *as - cast*
- O, *annealed*
- T4, *solution treated and aged*
- T5, *precipitation hardened*
- T6, *solution heat treated, quenched, and precipitation hardened*
- T7, *solution heat treated, quenched, and overaged*

### 2.3. PADUAN ALUMINIUM SILIKON TEMBAGA (AL – SI – CU)

Paduan Al-Si-Cu merupakan salah satu paduan yang sering digunakan untuk proses pengecoran aluminium. Paduan ini termasuk dalam kelompok paduan aluminium silikon (Al – Si). Paduan Al – Si ini terbagi atas tiga jenis berdasarkan komposisi silikonnya, yaitu :

- hipo eutektik ( $< 12\%$  Si)
- eutektik ( $12\%$  Si)
- hiper eutektik ( $> 12\%$  Si)

Gambar 2.1 menunjukkan diagram fasa aluminium silikon dengan bentuk fasa pada tiap jenis komposisi silikon.



Gambar 2.1. Diagram Fasa Aluminium Silikon<sup>[7]</sup>.

Komposisi penambahan unsur paduan bervariasi tergantung dari sifat yang diinginkan. Unsur tembaga berperan dalam peningkatan kekuatan dan kemudahan permesinan, sedangkan unsur silikon berperan untuk meningkatkan sifat mampu cor (*castability*) dan mengurangi kecenderungan terjadinya *hot shortness*. Paduan yang mengandung komposisi silikon hipoeutektik yang lebih tinggi biasanya lebih cocok digunakan untuk proses pengecoran yang rumit dan untuk proses *die casting*. Paduan Al – Si – Cu dengan kadar Cu kurang dari 5.6 % dapat dilakukan perlakuan panas. Penambahan unsur magnesium dapat meningkatkan kemampuan perlakuan panas dan meningkatkan kekuatan material.

Banyak paduan silikon hipereutektik (12 – 30% Si) yang juga mengandung tembaga. Pada paduan ini fasa silikon primer menghasilkan ketahanan terhadap abrasi yang sangat baik dan unsur tembaga memperbaiki kekuatan pada temperatur tinggi dan peningkatan kekerasan<sup>[6]</sup>.

Berikut adalah beberapa unsur yang sering dipadukan dalam proses pengecoran aluminium<sup>[6]</sup>:

a. Tembaga (Cu)

Unsur tembaga sebagai paduan akan meningkatkan kekuatan dan kekerasan logam saat *as – cast* dan saat dilakukan perlakuan panas. Paduan yang mengandung 4 – 5.5 % Cu mudah dilakukan perlakuan panas dan memiliki kekuatan yang tinggi. Tembaga secara umum mengurangi ketahanan terhadap korosi dan meningkatkan kerentanan terhadap *stress corrosion*. Tembaga juga mengurangi ketahanan terhadap *hot – tearing* dan meningkatkan kecenderungan untuk terjadinya *interdendritic shrinkage*.

b. Besi (Fe)

Unsur besi meningkatkan ketahanan terhadap *hot – tearing* dan mengurangi kecenderungan *dies* menempel (*die soldering*) pada proses pengecoran. Meningkatnya kadar besi akan mengurangi keuletan. Besi dapat bereaksi membentuk fasa intermetalik, diantaranya adalah  $\text{FeAl}_3$ ,  $\text{FeAlMn}_6$ , dan  $\alpha\text{AlFeSi}$ . Fasa intermetalik ini berperan dalam peningkatan kekuatan, terutama dalam temperatur tinggi, tapi juga

berperan dalam penggetasan struktur. Besi dapat membentuk fasa lumpur dengan unsur mangan, chromium, dan unsur lainnya.

c. Magnesium (Mg)

Unsur magnesium merupakan unsur yang berperan dalam peningkatan kekuatan dan kekerasan dalam paduan aluminium silikon yang dilakukan perlakuan panas dan umum digunakan dalam paduan aluminium silikon yang mengandung tembaga, nikel, dan unsur lainnya. Fasa  $Mg_2Si$  meningkatkan kekuatan hingga batas kelarutan 0.7 % Mg, dimana dengan kadar lebih dari itu, tidak ada penambahan kekuatan yang signifikan. Paduan aluminium silikon kekuatan tinggi mempunyai kadar magnesium antara 0.4 – 0.07 %

d. Silikon (Si)

Unsur silikon mempunyai peran yang sangat penting dalam peningkatan kekuatan dari aluminium hasil pengecoran. Penambahan unsur silikon meningkatkan fluiditas, ketahanan terhadap *hot – tearing* dan karakteristik *feeding*. Logam aluminium komersil memiliki kadar silikon hingga 30 % Si. Meningkatnya kadar silikon menyebabkan meningkatnya fluiditas dalam mengisi cetakan tipis. Paduan aluminium silikon biasanya lebih tahan terhadap *solidification cracking* dan memiliki mampu cor (*castability*) yang sangat baik. Silikon juga mengurangi berat jenis dan koefisien thermal.

e. Mangan (Mn)

Adanya unsur mangan dapat membentuk fasa intermetallik  $MnAl_6$  yang dapat meningkatkan kekuatan logam. Mangan juga dapat digunakan untuk memudahkan dilakukan *anodizing* dan *chemical finishing*.

f. Stronsium (Sr)

Unsur stronsium digunakan sebagai *modifier* dalam pengecoran paduan aluminium silikon. Stronsium memodifikasi fasa silikon primer agar menjadi lebih halus.

g. Titanium (Ti)

Titanium digunakan sebagai penghalus butir, biasanya dikombinasikan dengan unsur boron. Umumnya titanium diberikan pada kadar yang

lebih dari yang diberikan untuk penghalusan butir untuk mengurangi kecenderungan terhadap *hot – cracking* dan *hot shortness*. Biasanya unsur titanium ini dengan aluminium membentuk senyawa  $Al_3Ti$ , atau dengan boron membentuk senyawa  $TiB_2$ .

h. Nikel (Ni)

Unsur Nikel umumnya digunakan bersama dengan tembaga untuk meningkatkan kekuatan pada temperatur tinggi. Nikel juga mengurangi koefisien ekspansi thermal.

**2.4. PADUAN AC4B**

AC4B merupakan penamaan paduan aluminium berdasarkan standar JIS (*Japan International Standard*). Paduan ini adalah paduan yang umum digunakan dalam proses pengecoran di industri otomotif. Contoh komponen otomotif yang menggunakan paduan AC4B adalah *crank case* dan *cylinder head*. Komposisi dari paduan AC4B dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini :

**Tabel 2.1.** Komposisi kimia AC4B<sup>[8]</sup>

Alloys	Similar specification	Chemical composition (wt%) max										
		Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb	Sn	Cr
AC4B	AA 333	2-4	7-10	0.5	1	1	0.5	0.35	0.2	0.2	0.1	0.2

Paduan AC4B ini pada penamaan AA termasuk dalam seri 3 dimana unsur paduan utamanya adalah aluminium, silikon, dan tembaga. Selain unsur utama tersebut, juga terdapat unsur unsur lain dengan jumlah yang kecil (Tabel 2.1).

Kelebihan dari paduan AC4B ini adalah memiliki kekuatan dan kekerasan yang baik, koefisien ekspansi thermal yang baik, dapat dilakukan perlakuan panas, tahan terhadap korosi, dan juga memiliki sifat mampu las yang baik<sup>[9]</sup>. Pada Tabel 2.2 dan 2.3 diberikan karakteristik dan sifat mekanis dari paduan AC4B.

**Tabel 2.2.** Karakteristik dari aluminium paduan AC4B ( 1-baik sekali,5-buruk)<sup>[1]</sup>

Alloy	Resistance to cracking	Pressure tightness	Fluidity	Shrinkage tendency	Corrosion resistance	Machinability	Weldability
333	1	1	1	2	3	3	3

**Tabel 2.3.** Sifat Mekanis dari Aluminium paduan AC4B<sup>[9]</sup>

Casting process and temper	Tension			Shearing strength (ksi)	Compressive Yield strength (set0.2%)(ksi)	Brinell hardness (500 kg load on 10 mm ball)	Endurance limit (ksi)
	Ultimate strength (ksi)	Yield strength (set 0.2%) (ksi)	Elongation (%in)				
P.M – F	34	19	2	27	19	90	14.5
P.M – T5	34	25	1	27	25	100	12
P.M – T533	32	25	1	-	-	100	-
P.M – T6	42	30	1.5	33	30	105	15
P.M – T7	37	28	2	28	28	90	12

\*P.M. = Permanent Mold Casting

## 2.5. PENGARUH MIKROSTRUKTUR TERHADAP SIFAT MEKANIS

Struktur mikro dari material sangat dipengaruhi oleh komposisi material dan kondisi solidifikasi. Struktur mikro yang mempengaruhi sifat mekanis adalah<sup>[9]</sup>:

- Ukuran, bentuk, dan distribusi fasa intermetalik
- *Dendrite Arm Spacing* (DAS)
- Ukuran dan besar butir
- Modifikasi eutektik dan penghalusan fasa primer

### 2.5.1. Fasa Intermetalik

Adanya fasa intermetalik dapat mengurangi kekuatan dari paduan aluminium silikon, karena fasa tersebut sangat getas, sehingga mengurangi keuletan material. Fasa intermetalik dapat terbentuk oleh adanya unsur pengotor dalam material, atau karena overmodifikasi<sup>[10]</sup>.

Kontrol laju pembekuan dan pendinginan pasca solidifikasi menimbulkan ukuran dan distribusi dari fasa intermetalik yang seragam, dan juga mempengaruhi morfologinya. Laju pembekuan yang lambat menyebabkan fasa intermetalik yang kasar terdapat konsentrasi fasa kedua (*second phase*) pada batas butir. Pembentukan fasa dipengaruhi oleh difusi sehingga semakin cepat laju pembekuan maka distribusi ukuran partikel akan semakin merata dan larutan padat semakin banyak.

Pada reaksi solidifikasi paduan Al – Si hipoeutektik dan eutektik terjadi beberapa mekanisme pengendapan fasa<sup>[11]</sup>, yaitu :

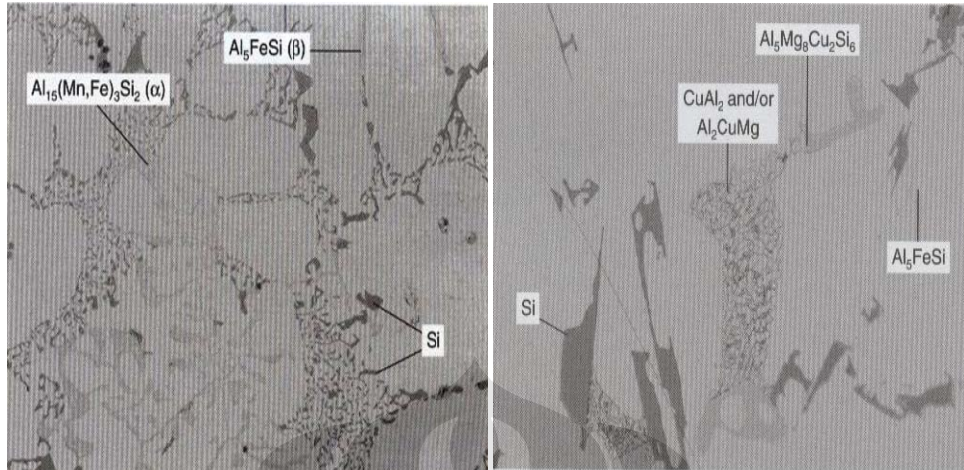
- Pembentukan jaringan dendritik  $\alpha$  aluminium
- Reaksi eutektik Al – Si
- Pengendapan fasa kedua eutektik seperti  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$

Selain pengendapan fasa diatas, juga terjadi pengendapan fasa yang mengandung Mn dan Fe. Fasa yang paling sering muncul pada paduan Al – Si adalah fasa  $Al_5FeSi$  dan  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ . Pada tahapan akhir solidifikasi terjadi pengendapan fasa  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$ <sup>[11]</sup>. Dalam Tabel 2.4 diberikan tahapan pengendapan fasa fasa yang terdapat pada paduan Al – Si hipoeutektik. Gambar 2.2 menunjukkan bentuk dan komposisi kimia dari fasa yang terdapat di paduan aluminium.

**Tabel 2.4.** Tahapan pengendapan fasa pada paduan Al – Si hipoeutektik<sup>[11]</sup>

T (°C)	Fasa yang mengendap	Jenis Fasa
650	$Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ primer ( <i>sludge</i> )	<i>Pre – dendritic</i>
600	Dendrit aluminium dan $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ dan / atau $Al_5FeSi$	<i>Dendritic</i> <i>Post – dendritic</i> <i>Pre – eutectic</i>
550	Al + Si eutektik dan $Al_5FeSi$ $Mg_2Si$	<i>Eutectic</i> <i>Co – eutectic</i>
500	$Al_2Cu$ dan fasa yang lebih kompleks	<i>Post – dendritic</i>

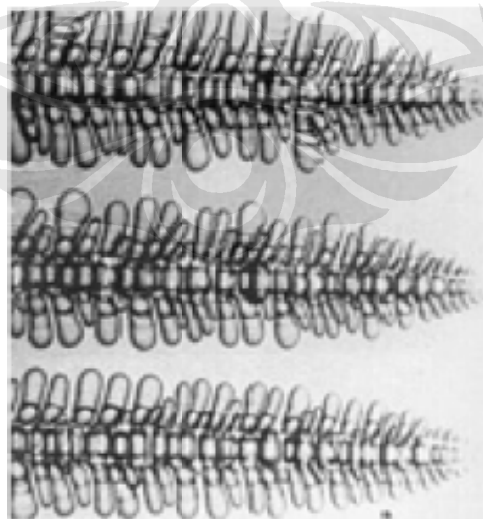




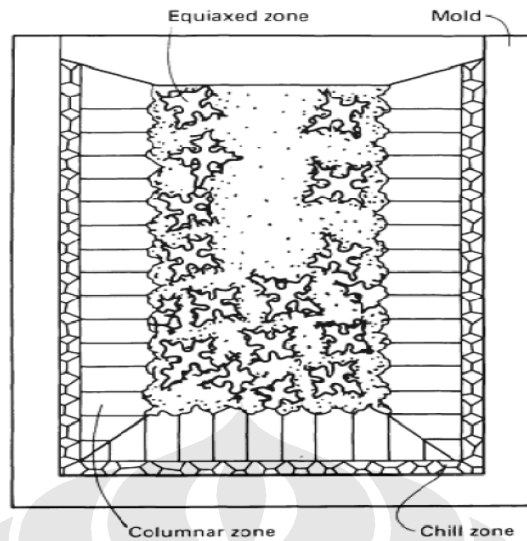
Gambar 2.2. Fasa intermetalik pada paduan aluminium<sup>[9]</sup>

### 2.5.2. Dendrite Arm Spacing

Struktur dendrit terbentuk pada saat kecepatan antarmuka (*interface velocity*) cepat sehingga terbentuk struktur yang bercabang cabang (Gambar 2.3). Struktur dendrit, merupakan struktur khas dari produk hasil pengecoran. Struktur dendrit ini umumnya mengikuti arah kristalografi tertentu, contohnya pada logam kubik, arahnya adalah  $\langle 100 \rangle$ <sup>[10]</sup>.



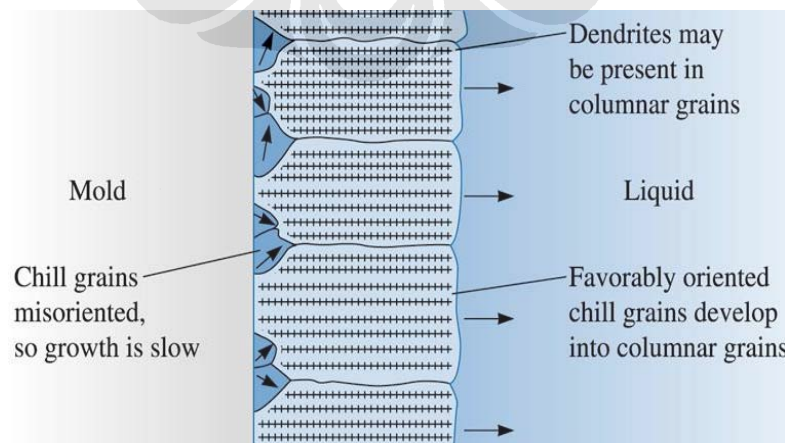
Gambar 2.3. Struktur dendrit<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.4.** Skematis pembentukan mikrostruktur dalam pengecoran. Pembentukan terarah menyebabkan terbentuknya struktur kolumnar, sedangkan pada bagian tengah cetakan terbentuk struktur *equiaxed*<sup>[10]</sup>.

Pada proses pengecoran, struktur dendrit dapat berbentuk *equiaxed* maupun kolumnar, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.4. Pada saat logam cair dituang ke dalam cetakan, terbentuk nuklei pada bagian dinding cetakan, yang menyebabkan terbentuknya *equiaxed chilled zone*.

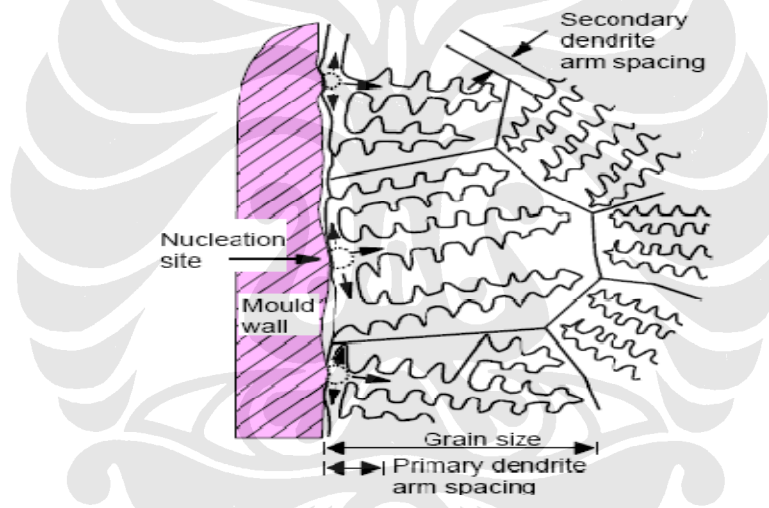
Pembentukan daerah kolumnar pada bagian dekat dinding cetakan diakibatkan oleh berkumpulnya butir yang mempunyai orientasi yang sama sehingga terbentuk struktur kolumnar. Butir-butir pada bagian dekat dinding saling berkompetisi untuk tumbuh, sehingga hanya butir dengan orientasi tertentu saja yang dapat tumbuh, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



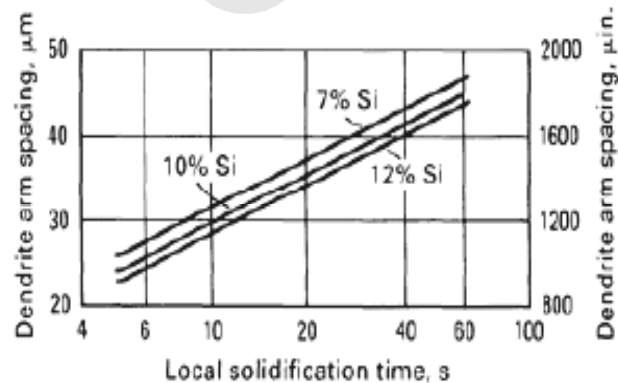
**Gambar 2.5.** Ilustrasi pembentukan butir pada bagian dekat dinding cetakan<sup>[12]</sup>

Cepat atau lambatnya pembekuan pada proses pengecoran dapat mempengaruhi *Dendrite Arm Spacing* (DAS) atau jarak antar lengan dendrit. DAS ini dihitung dari tengah cabang dendrit ke tengah cabang dendrit yang lain (Gambar 2.6). Nilai DAS ini mempengaruhi sifat mekanis suatu paduan logam. Nilai DAS yang besar mengindikasikan struktur mikro yang kasar sehingga sifat mekanisnya pun kurang baik.

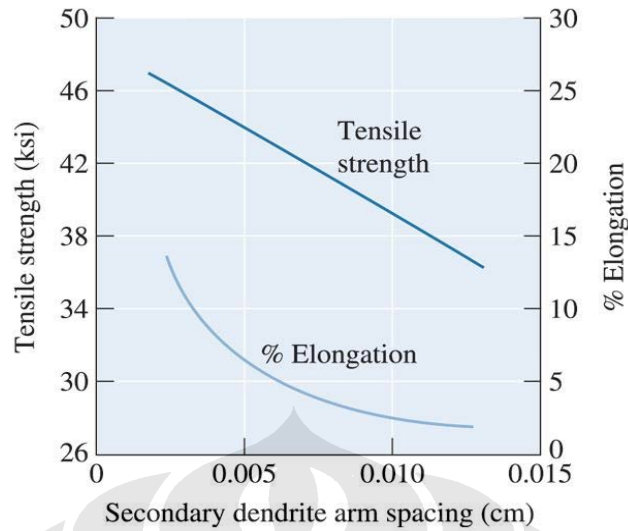
Waktu pembekuan sangat mempengaruhi nilai DAS, dimana semakin lama waktu pembekuan, maka nilai DAS akan semakin besar, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. Nilai DAS ini akan mempengaruhi sifat mekanis dari material, semakin besar nilai DAS maka nilai kuat tarik (*tensile strength*) akan semakin menurun, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.8.



Gambar 2.6. *Dendrite Arm Spacing*<sup>[13]</sup>



Gambar 2.7. Pengaruh waktu pembekuan terhadap *Dendrite Arm Spacing*<sup>[10]</sup>



**Gambar 2.8.** Pengaruh *Dendrite Arm Spacing* terhadap sifat mekanis<sup>[12]</sup>

## 2.6. PENGHALUSAN BUTIR

### 2.6.1. Definisi Penghalusan Butir

Paduan aluminium, umumnya akan membentuk butir kolumnar dan *equiaxed* yang kasar saat pembekuan. Penghalusan butir bertujuan untuk menghaluskan butir pada logam aluminium sehingga meningkatkan sifat mekanis dari logam aluminium.

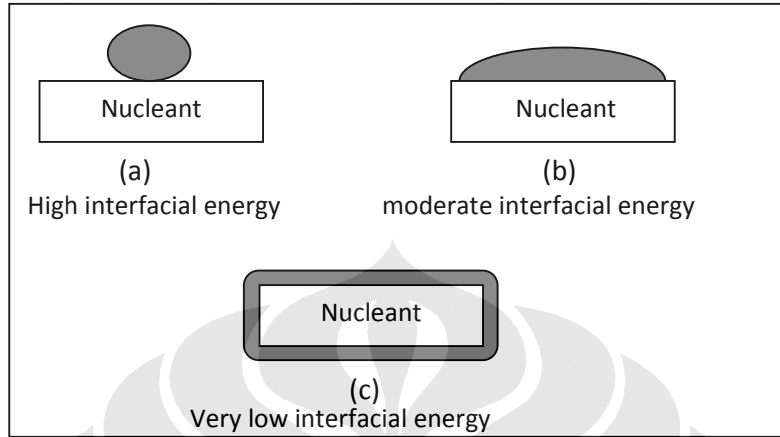
Penghalus butir yang umum dipakai adalah yang mengandung unsur titanium dan boron, biasanya berupa senyawa dari logamnya, contohnya adalah  $TiAl_3$ , dan  $TiB_2$ . Umumnya penambahan penghalus butir ini berkisar pada komposisi antara 0.02% - 0.15% Ti, atau campuran Ti – B dengan kadar 0.01% - 0.03% Ti dan 0.01% B<sup>[14]</sup>. Penambahan unsur penghalus butir ini dapat berupa *master alloy*, ataupun dalam bentuk serbuk.

### 2.6.2. Mekanisme Penghalusan Butir

Ukuran butir sangat dipengaruhi oleh kecepatan pembekuan, semakin cepat kecepatan pembekuannya maka ukuran butir akan semakin kecil. Penghalus butir digunakan dengan tujuan untuk merangsang pertumbuhan inti sehingga butir yang terbentuk menjadi halus.

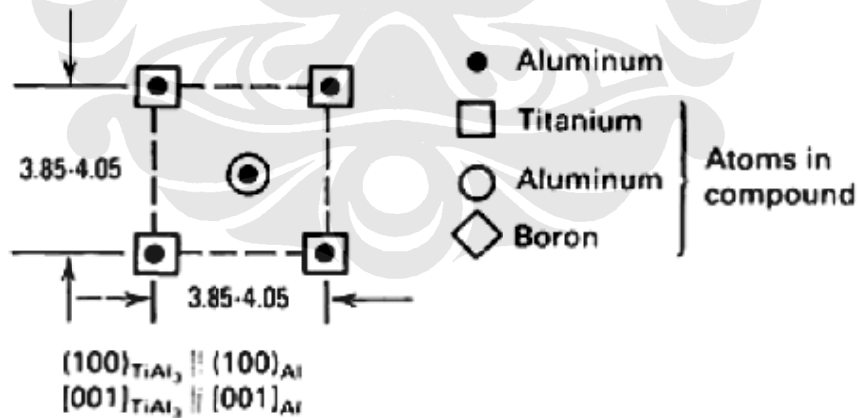
Tidak semua partikel yang terlarut dalam leburan logam dapat bertindak sebagai nuklean, hanya yang memiliki *interfacial energy* antara nuklei dan

nuklean yang paling rendah yang merupakan penghalus butir yang efektif (Gambar 2.9). Pada Gambar 2.9(c) *interfacial energy* diantara nukleus dan nuklean sangat rendah dan nukleus dapat menyelimuti nuklean.

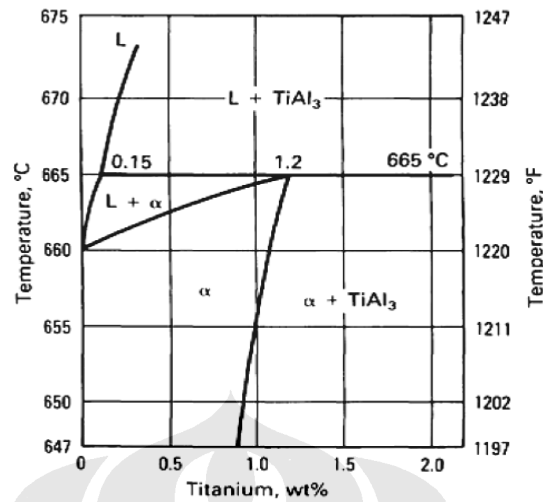


Gambar 2.9. Pengaruh *interfacial energy* pada geometri dari nukleus yang terbentuk pada nuklean<sup>[14]</sup>

*Interfacial energy* yang rendah ini didapat apabila terdapat kesamaan dalam struktur kristal minimal dalam 1 bidang atom antara nuklei dan nuklean.  $TiAl_3$  mempunyai struktur yang mirip dengan aluminium (Gambar 2.10), oleh karena itu unsur ini merupakan penghalus butir yang efektif.

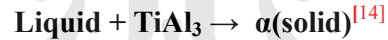


Gambar 2.10. Struktur kristal  $TiAl_3$  dengan aluminium<sup>[10]</sup>

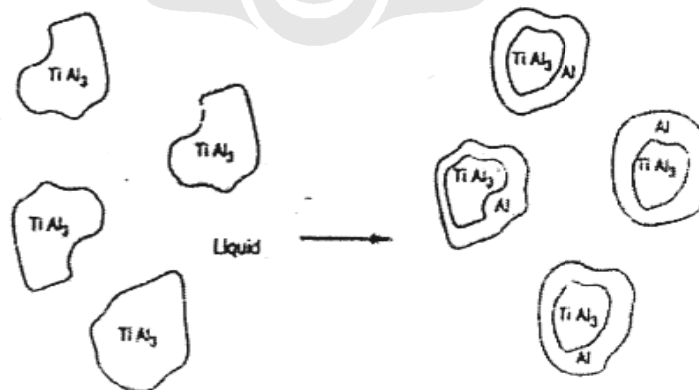


Gambar 2.11. Diagram fasa TiAl<sub>3</sub><sup>[10]</sup>

Untuk memahami mekanisme penghalusan butir oleh unsur titanium, maka harus diperhatikan diagram fasa dari Al – Ti pada Gambar 2.11. Partikel TiAl<sub>3</sub> akan bereaksi dengan fasa cair pada pembekuan dibawah 665° C menurut reaksi sebagai berikut :

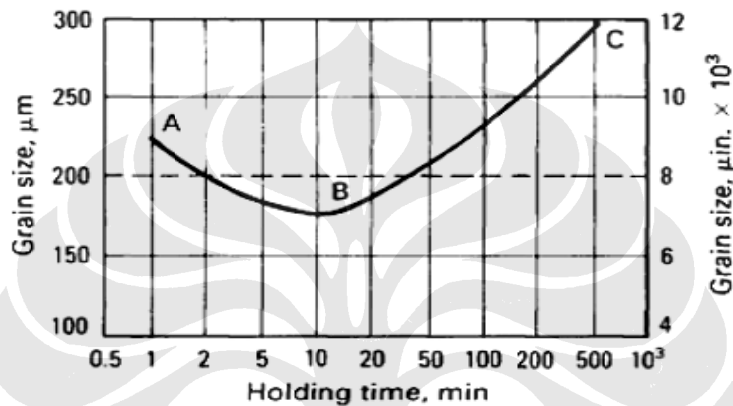


Fasa α(solid) yang terbentuk merupakan aluminium yang hampir murni. Fasa ini menyelimuti partikel TiAl<sub>3</sub> (Gambar 2.12) dan bertindak sebagai tempat bertumbuhnya butir aluminium. Oleh karena itu, ukuran butir tergantung dari ukuran partikel TiAl<sub>3</sub>, semakin kecil ukuran partikel TiAl<sub>3</sub>, maka efektifitas penghalusan butir akan semakin meningkat.



Gambar 2.12. Mekanisme terjadinya nukleasi pada sistem Al-Ti<sup>[14]</sup>

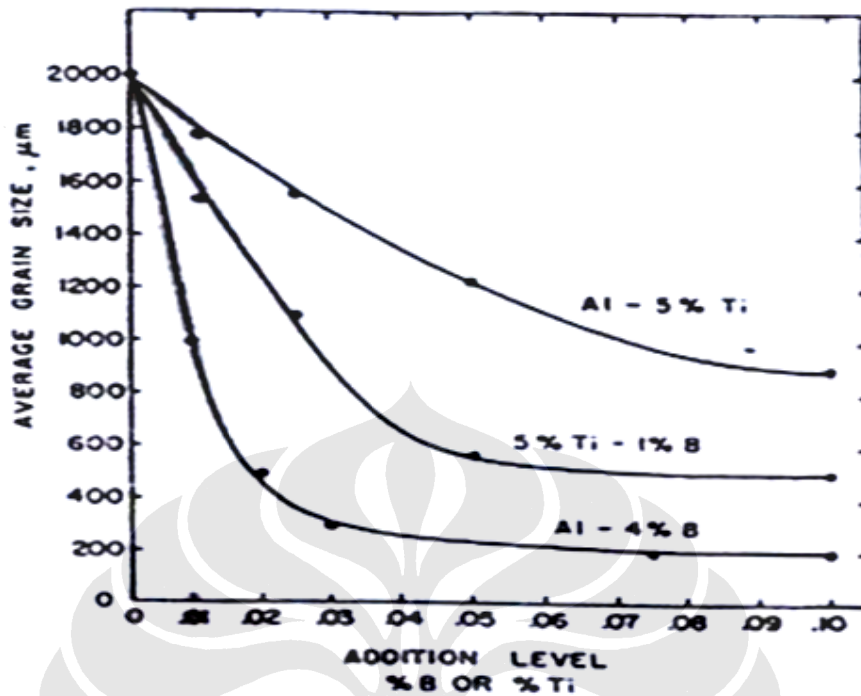
Kemampuan penghalus butir akan berkurang seiring dengan waktu, hal ini disebut dengan waktu pudar (*fading*). Hal ini disebabkan oleh berat jenis dari  $TiAl_3$  yang lebih tinggi ( $3.35 \text{ g/cm}^3$ ) dibandingkan dengan aluminium ( $2.7 \text{ g/cm}^3$ ) sehingga partikel partikel  $TiAl_3$  akan jatuh ke bawah dan mengendap di bagian bawah *furnace* sehingga tidak efektif lagi untuk menjadi penghalus butir<sup>[15][16]</sup>. Setelah waktu pudar terlewati, maka besar butir akan perlahan menjadi besar kembali, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Pengaruh waktu tahan terhadap ukuran butir dari logam yang diberi penghalus butir. A – B merupakan waktu kontak, B – C adalah waktu pudar<sup>[10]</sup>

Pada saat terjadi efek pudar, maka penghalus butir perlahan lahan akan kehilangan pengaruhnya terhadap ukuran butir, sehingga setelah waktu pudar selesai, logam akan kembali ke keadaan seperti sebelum diberikan penghalus butir. Penambahan unsur boron akan menambah waktu pudar sehingga efek penghalus butir akan bertahan lebih lama.

Kemampuan penghalusan butir tergantung dari morfologi dari fasa intermetalik yang terdapat di dalam paduan. Penghalus butir yang kurang baik mengandung  $TiAl_3$  berbentuk seperti kubus, sedangkan penghalus butir yang baik mengandung fasa intermetalik duplex yang terdiri dari partikel  $TiAl_3$  yang diselimuti oleh partikel borida, seperti  $TiB_2$ <sup>[14]</sup>. Gambar 2.14 berikut ini menunjukkan pengaruh penambahan boron terhadap ukuran butir pada A356.



Gambar 2.14. Efek boron pada penghalusan butir dari A356<sup>[14]</sup>

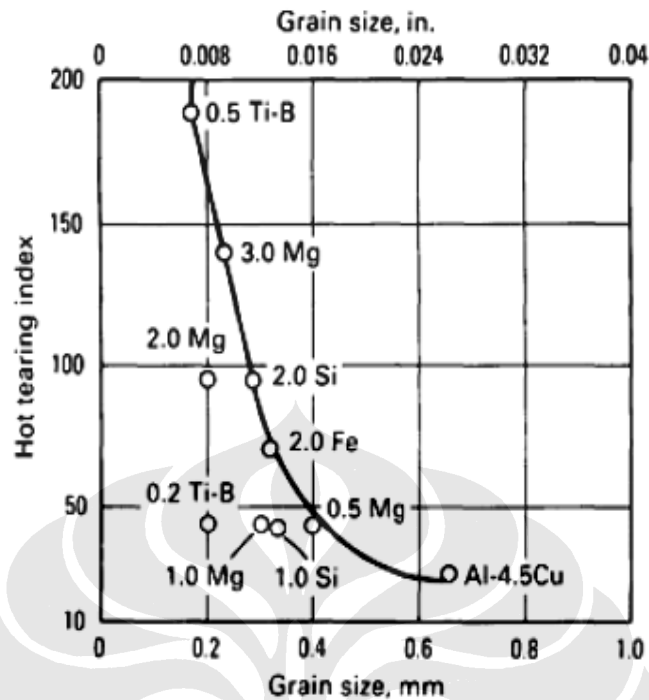
### 2.6.3. Pengaruh Penghalus Butir Terhadap Sifat Mekanis Aluminium

Penambahan penghalus butir pada logam aluminium berakibat positif, yaitu diantaranya kecenderungan terhadap *hot tearing* berkurang, distribusi porositas yang lebih merata, dan kecenderungan terhadap *shrinkage* yang berkurang. Berikut akan dijelaskan satu persatu mengenai pengaruh penghalus butir pada sifat aluminium :

– Kecenderungan *hot tearing*

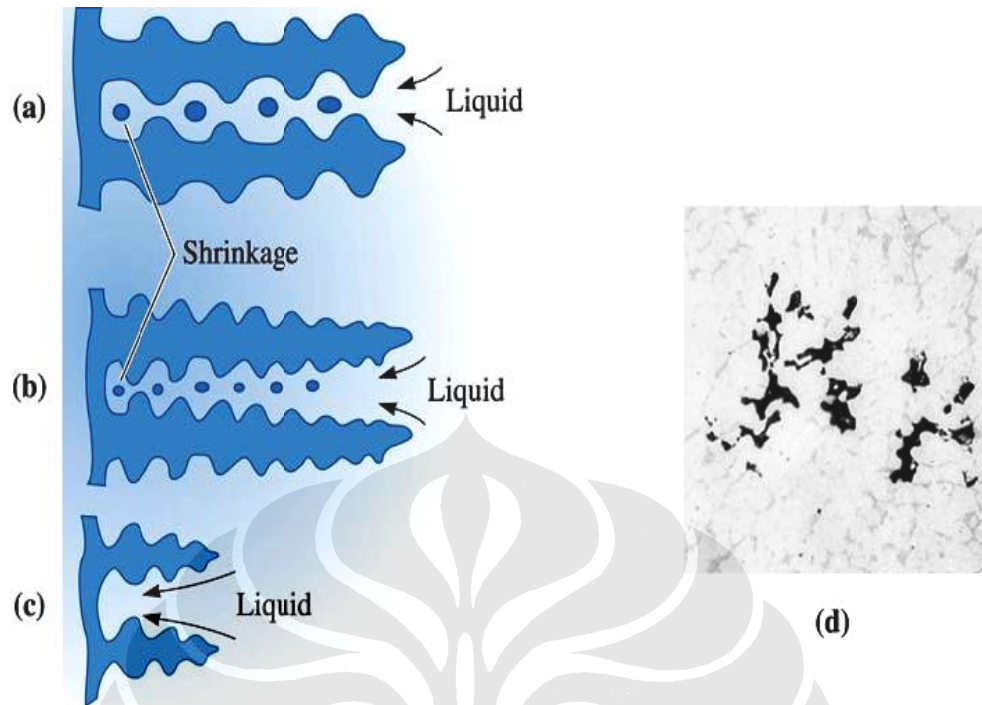
Penambahan penghalus butir diketahui akan mengurangi kecenderungan terhadap *hot tearing*. Penghalusan butir akan berakibat setiap butir akan dikelilingi oleh lapisan tipis dari cairan, sehingga menurunkan temperatur saat penyusutan solid terjadi, dan menurunkan rentang temperatur dimana *hot tearing* mudah terjadi. Gambar 2.15 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran butir maka ketahanan terhadap *hot tearing* akan meningkat<sup>[14]</sup>.





Gambar 2.15. Pengaruh besar butir terhadap kecenderungan *hot tearing* pada paduan Al – 4.5Cu. Nilai dibawah 50 rentan terhadap *hot tearing*<sup>[10]</sup>

- Kemampuan permesinan yang lebih baik  
 Karena ukuran butir tereduksi, fasa sekunder dan porositas terdistribusi secara lebih merata, sehingga meningkatkan kemampuan permesinan<sup>[9]</sup>.
- Distribusi porositas  
 Pengaruh penghalusan butir adalah untuk mendistribusikan porositas menjadi lebih merata, jadi yang terbentuk adalah pori pori yang kecil. Logam yang tidak diberikan penghalus butir cenderung membeku dengan daerah yang mempunyai konsentrasi porositas yang tinggi<sup>[14]</sup>. Shrinkage dapat terjadi diantara lengan lengan dendrit, seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.16. Jarak antar lengan dendrit yang makin sempit akan menyebabkan *shrinkage porosity* yang lebih kecil dan merata.



**Gambar 2.16.** (a)(b)(c)Ilustrasi *shrinkage porosity* pada *Dendrite Arm Spacing*. (d) Mikrostruktur dari *interdendritic porosity* (perbesaran 80 x)<sup>[12]</sup>.

– Fluiditas

Nukleasi awal yang diakibatkan oleh penambahan penghalus butir menyebabkan terjadinya aliran *slurry* (padatan dengan cairan) dari saat penuangan, dan karena *slurry* mengalir lebih lambat dari cairan biasa, maka fluiditas seharusnya berkurang<sup>[14]</sup>.

– Sifat mekanis

Sifat mekanis seperti kekuatan tarik dan elongasi umumnya diperbaiki oleh penambahan penghalus butir. Dalam paduan Al – Si, hal ini lebih disebabkan oleh lebih meratanya porositas, daripada perubahan dari ukuran butir. Dalam paduan Al – Cu, ukuran butir berperan cukup penting dalam mengatur distribusi intermetalik dan mengurangi kecenderungan terhadap *hot tearing*<sup>[14]</sup>. Berikut adalah tabel pengaruh penambahan penghalus butir terhadap sifat mekanis dari paduan A356 :

**Tabel 2.5.** Pengaruh penghalus butir dan laju pendinginan pada sifat mekanis paduan A356<sup>[9]</sup>

Sifat Mekanis	Pendinginan lambat (as - cast)		Pendinginan cepat (as - cast)	
	A	B	A	B
<i>Ultimate Strength</i> (ksi)	20.815	22.648	24.363	24.15
<i>Yield Strength</i> (ksi)	13.043	13.572	12.15	13.58
<i>Elongation</i> (%)	3	3	5.4	4.6

A – komposisi = 0.39Mg, 0.2Cu, 0.19Fe, 6.79Si,0.08Ti,0B,tanpa penghalus butir

B – komposisi = 0.39Mg, 0.2Cu, 0.19Fe, 6.85Si, 0.14Ti, 0.0065B,ditambah penghalus butir

#### 2.6.4. Penghalus Butir Flux Ti

Terdapat beberapa macam material flux untuk penghalusan butir dari aluminium. Beberapa industri pengecoran lebih memilih untuk menggunakan flux karena flux memiliki efek penghalusan butir yang lebih merata, lebih mudah dimasukkan ke dalam leburan, dan bisa ditambahkan pada temperatur rendah sehingga mengurangi bahaya oksidasi dan penyerapan gas.

Flux yang digunakan untuk penghalusan butir pada paduan aluminium umumnya mengandung titanium, boron, zirkonium, dan karbon. Titanium dan boron, atau keduanya dianggap sebagai penghalus butir yang paling efektif. Kombinasi dari garam seperti *potassium fluorotitanate* dan *potassium fluoroborate*, umumnya digunakan untuk memasukkan titanium dan boron ke dalam leburan logam<sup>[9]</sup>.

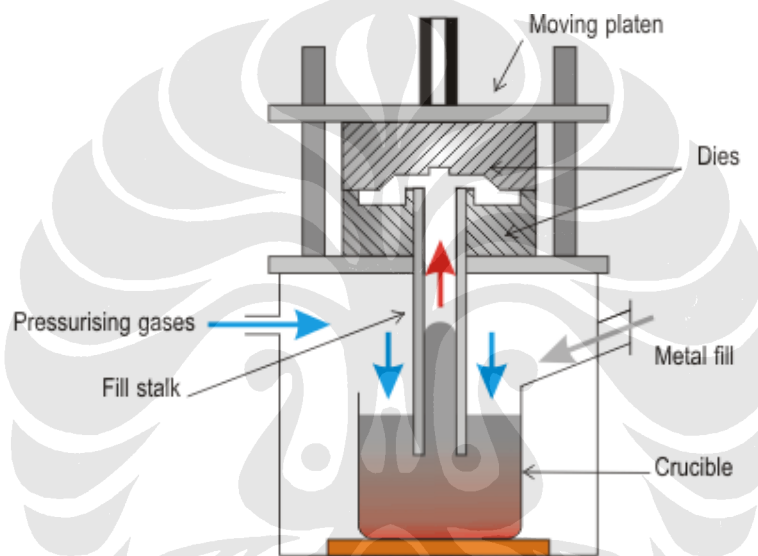
#### 2.7. LOW PRESSURE DIE CASTING

*Low Pressure Die Casting* merupakan salah satu jenis dari *permanent mold casting*. Pada jenis ini, digunakan cetakan permanen pada tanur yang tertutup. Prinsip kerjanya adalah dengan memberikan tekanan ke dalam tanur, sehingga logam cair masuk ke saluran menuju cetakan. Pada saat logam telah membeku, tekanan dilepaskan, cetakan dibuka, dan benda hasil cor diambil.

Parameter parameter yang mempengaruhi hasil dari *Low Pressure Die Casting* ini adalah besarnya tekanan yang diberikan kepada logam cair, dan gradien termal, yang berperan dalam membentuk pembekuan terarah. Karena

kebanyakan *low pressure die casting* mempunyai satu jalan masuk cairan logam maka proses pemotongan saluran tuang bisa diminimalisasi.

Kelemahan dari metode ini adalah adanya resiko inklusi yang disebabkan oleh naik turunnya cairan logam pada saluran menuju cetakan. Pada saat cetakan dibuka dan tekanan dilepaskan, cairan logam yang masih tersisa di saluran akan turun kembali ke tanur, dan proses yang berulang ulang dapat menyebabkan terbentuknya oksida di permukaan bagian dalam dari saluran. Hal ini dapat diatasi dengan memberikan tekanan balik pada saluran sehingga saluran tetap terisi oleh logam cair setiap saat<sup>[6]</sup>.



**Gambar 2.17.** Proses *Low Pressure Die Casting*<sup>[17]</sup>