

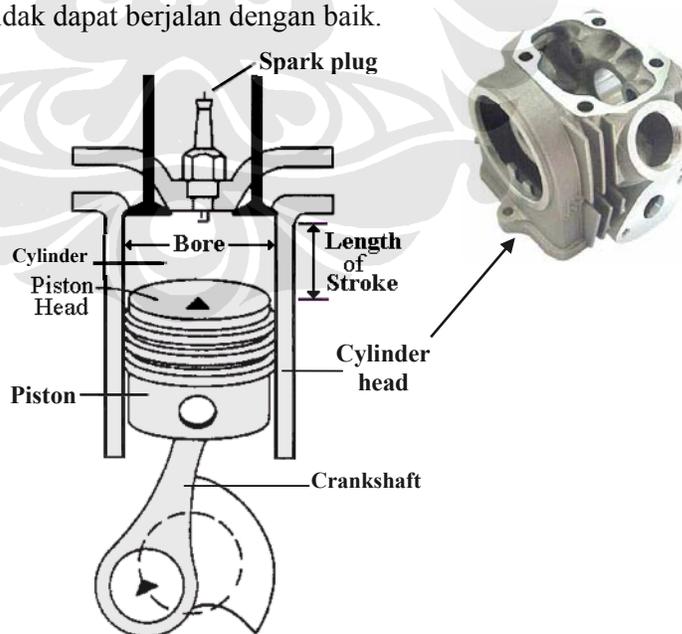
## BAB II

### STUDI LITERATUR

#### 2.1 CYLINDER HEAD

Di dalam sebuah mesin pembakaran internal, *cylinder head* merupakan ruang pembakaran dan terdapat piston (*valve*) dan busi (*spark plug*)<sup>[6]</sup>. Piston, seperti terlihat pada Gambar 2.1 adalah bagian dari komponen mesin yang bergerak naik turun di dalam *cylinder head* untuk melakukan langkah hisap, kompresi, pembakaran, dan buang. Gerakan naik turun inilah yang memutar engkol (*crankshaft*) sehingga motor dapat bergerak<sup>[7]</sup>.

Sebuah *cylinder head* merupakan produk cor yang umumnya terbuat dari besi tuang atau aluminium. Di dalam *cylinder head* sendiri terdapat oli untuk melumasi piston yang bergerak naik turun untuk memperkecil gesekan yang terjadi antara dinding *cylinder head* dengan piston. Apabila dari hasil pengecorannya terjadi kebocoran pada *cylinder head*, oli akan keluar dan semakin berkurang sehingga memperbesar gesekan antara dinding *cylinder head* dengan piston selain itu udara luar dapat masuk ke dalam ruang pembakaran, sehingga mengakibatkan mesin tidak dapat berjalan dengan baik.



Gambar 2.1. Bagian – bagian pada ruang pembakaran mesin motor<sup>[7]</sup>

## 2.2 TINJAUAN UMUM PADUAN ALUMINIUM

Penggunaan paduan aluminium dalam dunia otomotif mengalami perkembangan yang cenderung meningkat hingga saat ini<sup>[8]</sup>. Hal ini karena aluminium memiliki beberapa kelebihan bila dibandingkan dengan logam – logam lain. Sifat aluminium antara lain ringan ( $2,7 \text{ g/cm}^3$ ), temperatur lebur rendah ( $\pm 660 \text{ }^\circ\text{C}$ ), sifat mampu cor (*castability*) sangat baik, sifat mampu mesin (*machinability*) baik, ketahanan korosi baik dan konduktor panas yang baik. Selain itu aluminium dapat ditingkatkan sifat mekanisnya yaitu dengan pemaduan (*alloying*) dengan unsur lain, pengerjaan dingin (*cold work*) atau proses perlakuan panas (*heat treatment*).

Selain itu, aluminium juga memiliki beberapa kelemahan, yaitu<sup>[2]</sup>:

- Sangat mudah mengikat gas hidrogen dalam kondisi cair.



- Mudah mengalami oksidasi.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (*dross*) mudah terbentuk karena massa jenis aluminium hampir sama dengan pengotor (*dross*). Agar tidak terjadi oksidasi maka dapat menggunakan *degasser* atau GBF (*Gas Bubble Flootation / Argon Treatment*)

- Mengalami penyusutan (*shrinkage*) yang cukup tinggi 3.5 – 8.5 % (rata-rata yang terjadi adalah 6 %).

## 2.3 SISTIM PENAMAAN PADUAN ALUMINIUM

Salah satu kelebihan dari aluminium adalah dapat dipadukan dengan unsur lain. Oleh karena itu, banyak jenis dari paduan aluminium sehingga perlu adanya sistem penamaan dari paduan aluminium yang bersifat resmi dan berstandar internasional. Setiap negara punya sistem penamaan paduan aluminium yang berbeda - beda, misalnya di Amerika Serikat memakai standar *Aluminium Association* (AA) sedangkan di Jepang memakai standar *Japan Industrial Standard* (JIS).

Pada sistem penamaan *Aluminium Association* (AA), diklasifikasikan menjadi dua kelompok besar berdasarkan proses pembuatan dari material aluminium paduan tersebut. Dua kelompok besar dalam sistem ini adalah

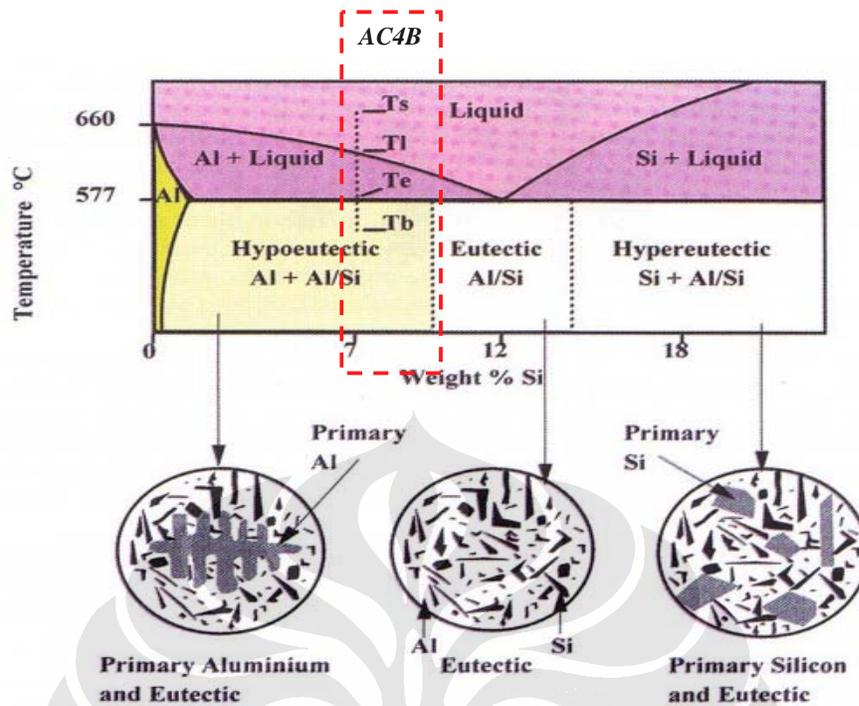
aluminium paduan cor dan tempa. Sistem penamaan ini menggunakan sistem 4 digit angka. Pada kelompok aluminium paduan cor, digit keempat dituliskan terpisah dari 3 digit sebelumnya (XXX.X) seperti terlihat pada Tabel 2.1. Angka pertama menunjukkan kelompok paduan, angka kedua dan ketiga menunjukkan kemurniaan 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). Pada 6XX.X dan 9XX.X tidak dipakai karena digit ini dipakai untuk kemungkinan paduan aluminium lain di masa mendatang<sup>[9][10]</sup>.

**Tabel 2.1** Sistem penamaan paduan aluminium hasil proses pengecoran<sup>[10]</sup>

Seri	Elemen Paduan
1XX.X	Al murni ( $\geq 99\%$ )
2XX.X	Al + Cu
3XX.X	Al + (Si – Mg), (Si – Cu) atau (Si – Mg – Cu)
4XX.X	Al + Si
5XX.X	Al + Mg
6XX.X	tidak dipakai
7XX.X	Al + Zn
8XX.X	Al + Sn
9XX.X	tidak dipakai

## 2.4 PADUAN ALUMINIUM – SILIKON

Dari banyaknya jenis material aluminium paduan, paduan aluminium silikon (Al – Si) merupakan paduan yang paling banyak dipakai dalam proses pembuatan produk-produk aluminium tuang<sup>[2]</sup>. Paduan Al-Si-Mg dan Al-Si-Cu termasuk dalam kategori paduan Al-Si. Unsur-unsur paduan utama pada material ini adalah Si, Cu, Mg, dan Zn, sedangkan unsur paduan yang bersifat minor adalah Fe, Mn, Ti, Pb, Sn, Cr, dan B. Unsur-unsur paduan memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap sifat-sifat yang dimiliki oleh material paduan Al-Si. Sifat mekanik, seperti ketahanan korosi, mampu cor, mampu permesinan, dan mampu las, serta sifat fisik paduan ini baik.



Gambar 2.2. Diagram fasa paduan Al-Si<sup>[3][11]</sup>

Pada daerah hipoeutetik, seperti terlihat pada Gambar 2.2 kandungan Si kurang dari 12 % sehingga dapat dipastikan Si terlarut semua. AC4B merupakan aluminium hipoeutektik. Pada daerah eutektik, terdapat kandungan Si sekitar ±12 %. Pada daerah ini fasa lumpur dapat dihindari, karena terjadi proses pembekuan langsung dari fasa *liquid* ke *solid*. Pada daerah hipereutektik, Si terdapat sekitar 14 - 18 %. Pada fasa ini terdapat ‘silikon primer’ (berbentuk *block*) dan banyak silikon bebas yang tidak terlarut. Silikon bebas ini sangat berguna untuk menambah *wear resistance* dan ekspansi thermal rendah (cocok untuk aplikasi temperatur tinggi/piston).

## 2.5 PADUAN ALUMINIUM AC4B

Penamaan AC4B menunjukkan sistem penamaan dengan menggunakan standar JIS yang dipakai di negara Jepang. Paduan material ini pada standar AA adalah aluminium 333.0. Paduan AC4B merupakan tipe Al-Si tuang yang banyak dipakai pada industri pengecoran komponen otomotif. Komponen-komponen seperti *crankcase*, *cylinder head*, *machine parts*, *compressor cases* dan *manifold*

merupakan contoh aplikasi dari paduan AC4B<sup>[12]</sup>. Pada Tabel 2.2 dapat dilihat komposisi kimia dari paduan AC4B dan 333.0 yang merupakan padanannya. Sedangkan pada Tabel 2.3 merupakan karakteristik dari AC4B.

**Tabel 2.2** Komposisi kimia paduan 333.0 setara dengan AC4B<sup>[13]</sup>

Unsur Paduan	Komposisi 333.0 (%)	Komposisi AC4B (%)
Si	8-10	7-10
Fe	1	1 max
Cu	3-4	2-4
Mn	0.5	0.5 max
Mg	0.05-0.5	0.5 max
Ni	0.5	0.35 max
Zn	1	1 max
Ti	0.25	0.2 max
Unsur minor	Total 0.5	0.5 max
Al	Sisa	Sisa

**Tabel 2.3** Karakteristik dari AC4B<sup>[13]</sup>

Tipe	Temper	Uji Tarik		Uji keras (Brinell)
		Kekuatan tarik MPa	elongasi %	HBS 10/500
AC4B	F	170 <i>min.</i>	-	<i>Approx.</i> 80
	T6	240 <i>min.</i>	-	<i>Approx.</i> 100

Aplikasi pada paduan ini, terutama dalam bidang industri otomotif, dilatarbelakangi oleh karakteristik paduan yang mendukung. Karakteristik dari paduan ini adalah<sup>[9]</sup>:

- Memiliki mampu cor yang baik
  1. Fluiditas tinggi
  2. Tahan terhadap *hot cracking*
  3. Tahan terhadap *shrinkage*
- Memiliki *machinability* yang baik (terutama sesudah *heat treatment*, T6)
- Memiliki mampu las yang baik
- Hasil *finishing* mengkilap
- Ketahanan korosi baik
- Hipoeutektik

## 2.6 PENGARUH UNSUR – UNSUR PADUAN

Berdasarkan Tabel 2.2, berikut ini adalah pengaruh dari unsur-unsur tersebut terhadap paduan aluminium tuang<sup>[1][12]</sup> :

### – Silikon (Si)

Silikon dalam material ini meningkatkan mampu cor (terutama fluiditas dan ketahanan terhadap *hot tear*), meningkatkan kekuatan dan kekerasan, serta menurunkan berat jenis material. Pada konsentrasi Si > 12 %, akan terbentuk kristal Si primer yang keras. Hal ini menyebabkan ekspansi thermal menjadi rendah, *machinability* kurang baik, namun ketahanan aus meningkat.

### – Besi (Fe)

Besi merupakan unsur pengotor dalam aluminium. Bila kadar unsur ini > 0.05 % dalam suatu paduan aluminium, maka akan menurunkan keuletan. Hal ini dikarenakan terbentuknya fasa-fasa yang bersifat getas, seperti  $FeAl_3$ ,  $FeMnAl_6$ , dan  $\alpha AlFeSi$ . Fasa-fasa tersebut tidak larut dan menurunkan mampu alir paduan aluminium. Selain itu unsur Fe memberikan kecenderungan penempelan atau persambungan (efek *soldering*) dengan cetakan pada *die casting*.

### – Tembaga (Cu)

Unsur ini meningkatkan kekuatan dan kekerasan baik pada kondisi *as cast* atau setelah *heat treatment* (membentuk  $CuAl_2$ ). Namun keberadaan tembaga menurunkan ketahanan retak panas, ketangguhan serta mampu alir dari material paduan ini.

### – Mangan (Mn)

Mangan menghasilkan efek yang sangat banyak terhadap sifat-sifat mekanik suatu paduan aluminium. Ketahanan korosi, ketahanan temperatur tinggi, sifat mampu cor, serta kekuatan dan kekerasan menjadi meningkat dengan penambahan mangan.

– **Magnesium (Mg)**

Unsur paduan magnesium umum digunakan pada paduan Al-Si dengan Cu, Ni serta beberapa unsur lainnya. Pada proses pengecoran magnesium ditambahkan dalam rentang konsentrasi 4 – 10 %. Unsur ini meningkatkan kekerasan dan ketangguhan paduan Al-Si karena terbentuk fasa  $Mg_2Si$  (*heat treatable*). Penguatan ini diperoleh melalui proses *heat treatment*. Selain itu, magnesium juga meningkatkan ketahanan korosi namun menurunkan sifat mampu cor.

– **Nikel (Ni)**

Nikel ditambahkan dalam paduan aluminium maksimum sebanyak 0.05 %. Bila melebihi kadar tersebut maka akan terbentuk fasa intermetalik. Fasa intermetalik ini biasanya berpadu dengan besi sehingga meningkatkan kegetasan.

– **Seng (Zn)**

Penambahan unsur seng terhadap paduan Al-Si tidak akan memberikan pengaruh yang signifikan tetapi bila ditambahkan dengan Cu dan Mg akan menghasilkan komposisi yang dapat dilaku panas dan dapat mengalami penuaan alami yaitu terjadinya endapan  $MgZn_2$  dan  $CuAl_2$  pada paduan Al-Si sehingga dapat meningkatkan kekuatan dan keuletan.

– **Titanium (Ti)**

Titanium berperan untuk menghaluskan butir dengan cara berikatan dengan unsur boron yang terdapat dalam paduan membentuk nukleasi intermetalik  $TiB_2$  yang memicu pertumbuhan butir yang halus<sup>[15]</sup>. Tanpa Boron, Ti yang terlarut dalam aluminium akan membentuk fasa intermetalik  $TiAl_3$  yang dapat berperan sebagai nukleat.

– **Unsur minor : Timbal (Pb), Kromium (Cr) dan Timah (Sn)**

Untuk unsur-unsur minor, seperti timbal, mampu meningkatkan sifat *machinability*. Unsur kromium, ditambahkan pada suatu paduan aluminium dalam jumlah yang tidak melebihi 0.35 %. Bila melebihi jumlah ini maka mikrostruktur

akan menjadi kasar. Keberadaan kromium akan menyebabkan laju difusi menjadi lambat sehingga terbentuk fasa terdispersi yang halus. Selain itu, kromium mencegah terjadinya rekristalisasi pada beberapa paduan aluminium selama proses perlakuan panas atau proses *hot work*. Unsur timah, sangat efektif dalam karakter antifriksi dan sangat baik untuk aplikasi *bearing*. Penambahannya dapat meningkatkan *machinability*. Timah juga mempengaruhi *precipitation hardening*.

## 2.7 FASA INTERMETALIK

Fasa intermetalik adalah fasa kedua yang mengendap pada struktur mikro pada paduan aluminium tuang yang terbentuk akibat komposisi kimia yang melebihi batas kelarutannya. Keberadaan fasa ini sangat dipengaruhi oleh komposisi dan mekanisme pembekuan yang terjadi.

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

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

Selain reaksi utama di atas, terjadi juga pengendapan fasa yang mengandung Mn dan Fe. Fasa yang sering muncul pada paduan Al – Si adalah fasa  $Al_5FeSi$  dan  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$ . Dan selanjutnya pada tahapan akhir solidifikasi terjadi pengendapan fasa  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$  <sup>[11]</sup>.

Keberadaan Fe dapat membentuk fasa  $Al_5FeSi$  yang getas, sehingga fasa ini dapat menurunkan keuletan. Fasa  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$  yang berasal dari Mn juga memiliki sifat yang getas dan keras seperti yang dihasilkan Fe <sup>[4]</sup>. Sehingga adanya kedua fasa ini akan menyulitkan proses *machining*. Fasa metalik  $\alpha$  – aluminium lebih mudah bertumbuh dibandingkan kristal silikon dan fasa intermetalik lainnya. Namun diantara fasa  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$  lebih mudah bertumbuh dibandingkan fasa  $Al_5FeSi$  sehingga fasa ini lebih mendominasi pada saat pembekuan cepat <sup>[11]</sup>.

Berikut adalah reaksi – reaksi yang terjadi saat solidifikasi:

1. Awal solidifikasi  $\alpha$  – aluminium.
2. Pengendapan fasa yang mengandung Fe (titik koherensi dendrit).

Liquid membeku menjadi Al dan  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$  atau  $Al_5FeSi$

3. Awal reaksi utama eutektik

Liquid membeku menjadi Al, Si dan  $Al_{15}(Mn,Fe)_3Si_2$  atau  $Al_5FeSi$

4. Pengendapan fasa  $Al_2Cu$

Al,  $Al_2Cu$ , Si dan  $Al_5FeSi$

5. Pengendapan fasa kompleks

Liquid membeku menjadi Al,  $Al_2Cu$ , Si dan  $Al_5Mg_8Cu_2Si_6$

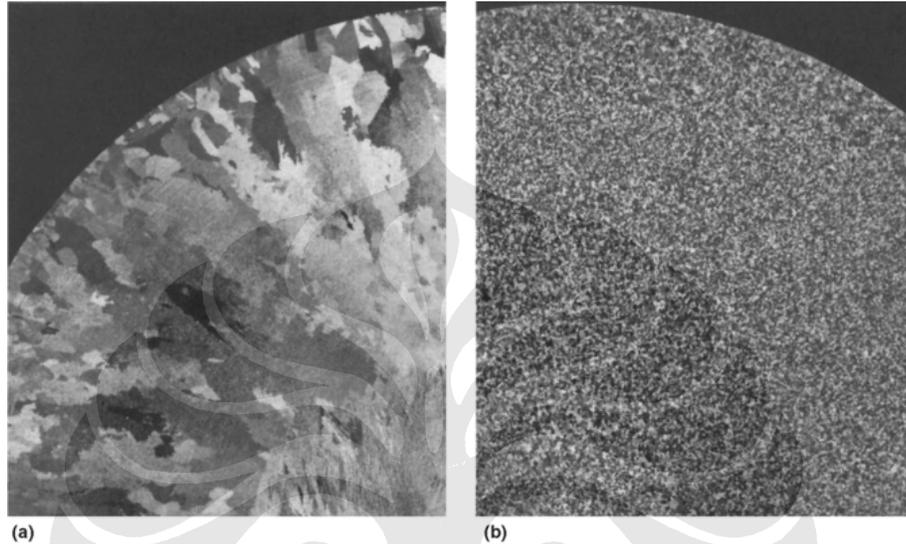
6. Akhir dari solidifikasi

Pembekuan yang lambat menghasilkan fasa intermetalik yang kasar dan terjadi konsentrasi fasa kedua pada batas butir sedangkan pembekuan yang cepat menghasilkan semakin banyak larutan padat dan partikel yang lebih halus terdispersi secara merata.

## 2.8 GRAIN REFINER

*Grain refiner* adalah material yang ditambahkan ke dalam aluminium cair untuk menghasilkan nukleat seperti  $TiB_2$ ,  $(Al,Ti)B_2$  and  $TiAl_3$  <sup>[14]</sup>. Ketika *grain refiner* ditambahkan ke dalam aluminium cair dengan jumlah yang kecil maka komposisi material dasarnya tidak berubah. Titanium dan boron merupakan jenis *grain refiner* yang sangat efektif. Mereka membentuk nukleat yaitu titanium alumida ( $TiAl_3$ ), titanium borida ( $TiB_2$ ) atau senyawa intermetalik yang kompleks pada aluminium cair. Pada temperatur aluminium cair, jumlah titanium yang diberikan antara 0,05 – 0,15 % Ti sedangkan penambahan boron adalah 0,04 % B. Dapat juga dipakai campuran keduanya, yaitu 0,01 – 0,08 % Ti ditambah 0,003 % B. Penambahan 0,003 – 0,008 % B lebih baik digunakan untuk aluminium silikon kadar tinggi (hipereutektik) seperti untuk memproduksi piston. Apabila kadar boron berlebih, maka akan mengakibatkan reaksi kimia yang tidak diinginkan pada *mold* selain itu akan terjadi pengendapan borida di dasar permukaan *furnace* <sup>[9]</sup>. Partikel  $TiB_2$  dapat bertahan (*survive*) pada paduan aluminium cair tapi tidak baik sebagai nukleat sedangkan partikel  $TiAl_3$  sangat baik sebagai nukleat tapi tidak dapat bertahan pada aluminium cair sehingga akan lebih baik bila kedua partikel tersebut dikombinasikan yaitu penstabilan partikel  $TiAl_3$  oleh  $TiB_2$ .

Ada tiga jenis bentuk *grain refiner*, yaitu *master alloys* (berbentuk rod), tablet dan *granulated grain refiners* (fluks atau serbuk). *Master alloys* merupakan jenis *grain refiner* yang terbaik. Pada Gambar 2.3, terlihat penambahan *grain refiner* akan menghasilkan butir yang halus.

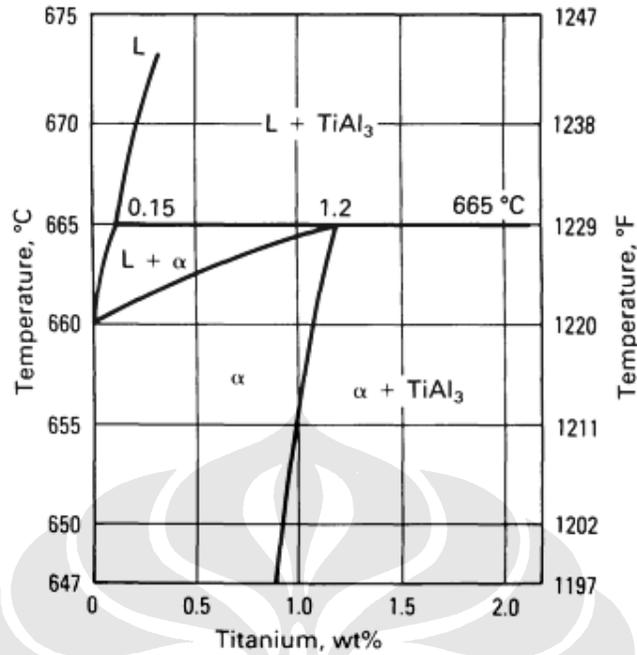


**Gambar 2.3.** Penampang *cross section* ingot berdiameter 150 mm (a) tanpa *grain refiner* (b) dengan *grain refiner*. Reagen : Tucker <sup>[15]</sup>

Berikut ini adalah beberapa kelebihan menggunakan *grain refiner* <sup>[16]</sup>:

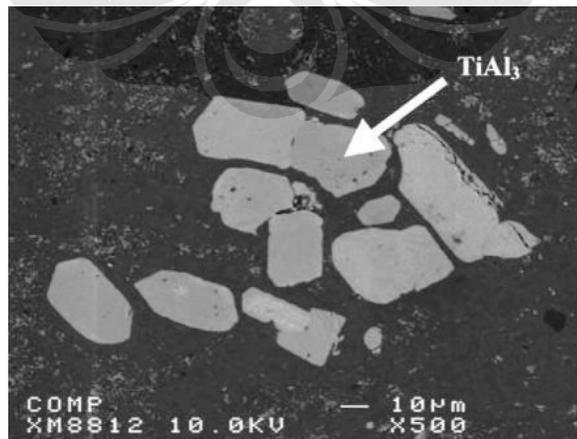
- Mengurangi *crack* pada ingot (homogenitas ingot menjadi lebih baik)
- Terbukti mengurangi retak panas (*hot cracking*)
- Sifat mekanis meningkat
- Meningkatkan kualitas coran dengan mengurangi ukuran butir serta menyeragamkan distribusi fasa intermetalik dan porositas
- Meningkatkan kekuatan *yield*, ketangguhan meningkat, memudahkan proses permesinan serta sangat baik untuk produk *deep drawing*

Oleh karena kelebihan – kelebihannya maka *grain refiner* merupakan *melt treatment* yang sangat penting dilakukan untuk semua proses coran aluminium agar mendapatkan sifat aluminium cor yang lebih baik <sup>[17]</sup>.



Gambar2.4. Diagram fasa biner Al – Ti<sup>[1]</sup>

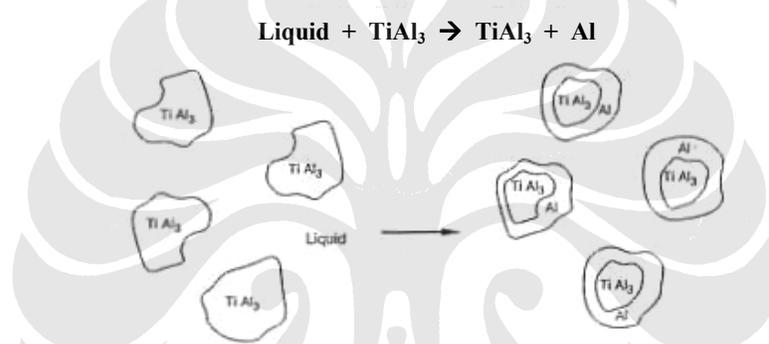
Pada Gambar 2.4, diagram fasa Al-Ti tersebut dapat terlihat bahwa titanium dalam larutan logam cair pada konsentrasi di atas 0.15 wt% dapat menjadi presipitat sebagai partikel TiAl<sub>3</sub>. Pada reaksi yang peritektik, TiAl<sub>3</sub> adalah nukleat yang aktif untuk aluminium karena TiAl<sub>3</sub> ditemukan di pusat-pusat dari butir-butir aluminium dan di pusat butir-butir itu terdapat suatu hubungan orientasi antara kisi-kisi dari dua fasa. Partikel AlTi<sub>3</sub> berbentuk blok dan heksagonal (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. SEM dengan menggunakan *Back scattered electron* (BSE) : terlihat adanya partikel AlTi<sub>3</sub> (jenis *grain refiner* yang digunakan adalah Al5Ti1B *master alloy*)<sup>[18]</sup>

### 2.8.1 Mekanisme *Grain Refinement*

Titanium yang berikatan dengan boron akan berperan dalam menghaluskan butir yang terdapat dalam paduan membentuk nukleat intermetalik  $TiB_2$  yang memicu pertumbuhan butir yang halus<sup>[15]</sup>. Tanpa Boron, Ti yang terlarut dalam aluminium akan membentuk fasa intermetalik  $TiAl_3$ . Di bawah temperatur pembekuan (*below*  $650\text{ }^{\circ}C$ ) intermetalik  $TiAl_3$  akan membentuk butir  $TiAl_3$  dan Al yang halus<sup>[4]</sup>. Mekanisme Ti sebagai *grain refiner* terlihat pada Gambar 2.6, nukleat - nukleat  $TiAl_3$  berada pada aluminium cair lalu dengan semakin turunnya temperatur mengakibatkan aluminium cair mengelilingi dan melapisi  $TiAl_3$ . Lalu mereka membeku bersamaan.



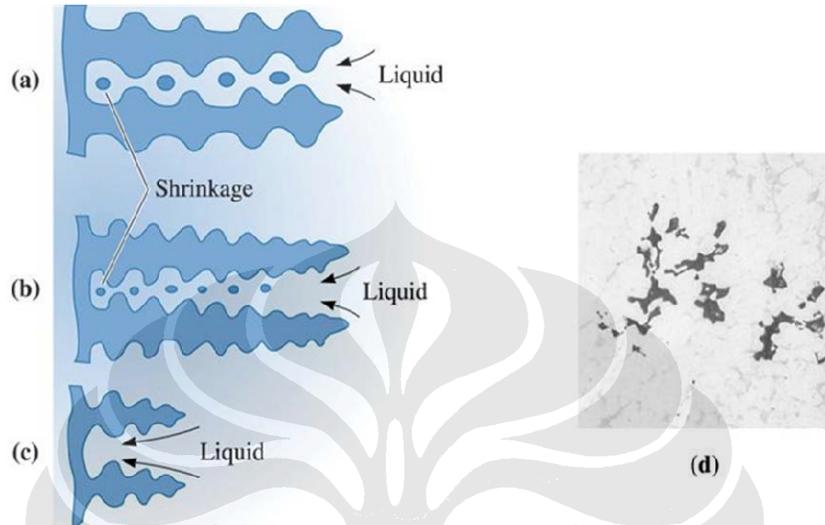
Gambar 2.6. Mekanisme penghalusan butir Al dengan Ti<sup>[19]</sup>

### 2.8.2 *Grain Refiner* Mengurangi Cacat *Shrinkage*

Perubahan fasa dari aluminium cair ( $2,3\text{ g/cm}^3$ ) menjadi aluminium padat ( $2,7\text{ g/cm}^3$ ) akan menyebabkan penyusutan<sup>[3]</sup>. Pada pengecoran, peristiwa ini dapat menyebabkan cacat yang disebut *shrinkage* (kempot). *Cylinder head* adalah salah satu bagian blok mesin yang berfungsi sebagai penyimpan oli dan menutupi piston. Memiliki bagian yang tidak simetris dan bentuk yang kompleks. Bagian yang tebal dan tipisnya tidak merata. Sehingga, dalam proses pengecorannya diperlukan perlakuan yang khusus agar hasil produknya baik dan bisa digunakan.

Karena bagian *cylinder head* yang tidak simetris akan mengakibatkan pembekuan yang tidak merata sehingga rawan terjadinya cacat *shrinkage*. Untuk mencegahnya dapat dilakukan dengan pembekuan yang merata pada setiap bagian *cylinder head* atau membuat nukleat pada setiap bagian *cylinder head* hingga

merata. Salah satunya dengan menggunakan *grain refiner*. Adanya *grain refiner* dapat membuat nukleat - nukleat  $TiAl_3$  pada setiap bagian *cylinder head* secara merata sehingga ketika temperatur diturunkan maka akan terjadi pembekuan yang seragam.



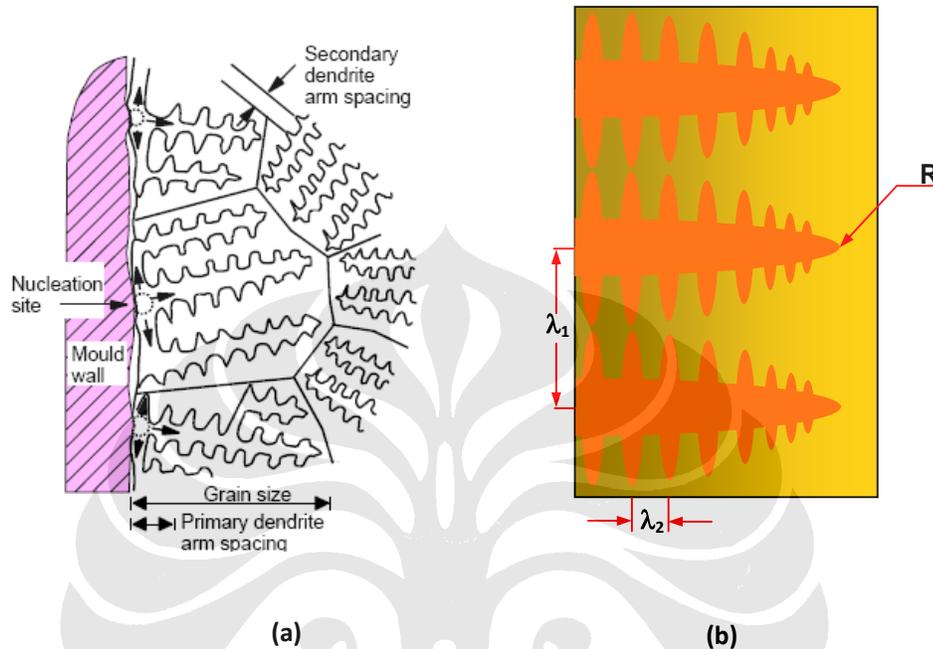
**Gambar 2.7** Proses terjadinya *shrinkage*<sup>[20]</sup>

Pada Gambar 2.7, (a) *shrinkage* terjadi diantara lengan dendrit (*dendrite arms*), (b) SDAS yang kecil akan menghasilkan porositas *shrinkage* yang terdistribusi merata (c) lengan primer (*primary arm*) yang besar dapat mencegah *shrinkage* (d) *shrinkage* interdenritik pada paduan Al, 80X.

### 2.8.3 Grain Refiner Memperpendek Jarak Lengan Dendrit (SDAS)

Adanya struktur dendrit merupakan akibat mengecor material paduan yang heterogen. Dendrit bertumbuh dari sebuah nukleat yang hanya memiliki diameter yang sangat kecil (beberapa  $\mu m$ ). Nukleat tersebut mungkin berasal dari partikel asing ( $TiAl_3$ ) atau fragmen dari butir yang lain. Dendrit akan bertumbuh ke depan dan ke samping dengan jumlah lengan sekunder lebih banyak dari lengan primer (Gambar 2.8a). Walaupun lengan bertumbuh dengan arah yang berbeda – beda, mereka semua hanya memiliki bidang kristalografi dan orientasi yang sama karena dendrit merupakan kristal tunggal. Yang perlu diingkat adalah SDAS yang kecil akan membentuk butir yang kecil tetapi butir yang kecil belum tentu

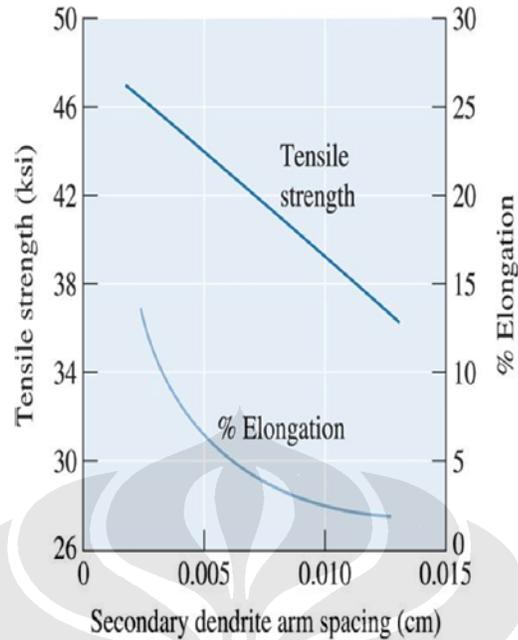
memiliki SDAS yang kecil. Untuk mendapatkan SDAS yang pendek, kecepatan pendinginan harus tinggi<sup>[21]</sup>.



**Gambar 2.8.** (a) Kumpulan dendrit akan menghasilkan butir (b) SDAS & PDAS<sup>[22]</sup>

Ada dua jenis dendrit yang dihasilkan dari proses pembekuan (Gambar 2.8b), yaitu  $\lambda_1$  : *Primary Dendrite Arm Spacing* (PDAS) dan  $\lambda_2$  : *Secondary Dendrite Arm Spacing* (SDAS). Perbedaannya terletak pada yang pertama kali membeku, biasanya primer terbentuk terlebih dahulu mengarah ke dalam lalu diikuti dendrit sekunder yang mengarah ke samping. R adalah *radius* (jari - jari) kepala dendrit primer.

*Grain refiner* yang ditambahkan pada aluminium cair akan memperpendek SDAS sehingga sifat mekanisnya akan semakin baik. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.9, semakin pendek SDAS, maka nilai kekuatannya semakin meningkat dan elongasinya juga bertambah besar begitu juga dengan kebalikannya. Bila SDAS semakin panjang maka kekuatannya akan menurun dan elongasinya ikut menurun.



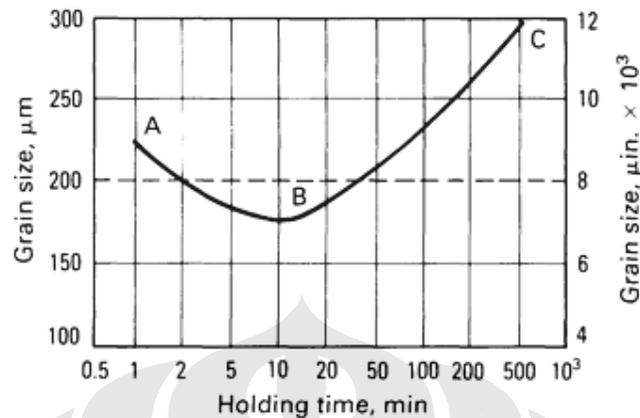
**Gambar 2.9.** Pengaruh panjang SDAS terhadap sifat mekanis pada sebuah paduan aluminium tuang<sup>[20]</sup>

Metode pengecoran juga dapat mempengaruhi jarak lengan dendrit. Hal ini disebabkan laju pembekuan yang berbeda – beda antara metode pengecoran yang satu dengan yang lainnya. Seperti yang terlihat pada Tabel 2.4, bila laju pembekuan kecil maka menghasilkan jarak lengan dendrit yang besar. Sedangkan bila laju pembekuan besar maka menghasilkan jarak lengan dendrit yang kecil.

**Tabel 2.4.** Hubungan laju pembekuan dengan jarak lengan dendrit<sup>[12]</sup>

Metode pengecoran	Laju pembekuan		Jarak lengan dendrit	
	°F/s	°C/s	mils	µm
<i>Plaster, investment casting</i>	1,80	1	3,94 – 39,4	100 – 1000
Cetakan pasir dan <i>shell moulding</i>	18,0	10	1,97 – 19,7	50 – 500
Cetakan permanen	180	100	1,18 – 2,76	30 – 70
<i>Dies</i>	1800	1000	0,2 – 0,59	5 - 15

## 2.8.4 Efek *Fading*



Gambar 2.10. Pengaruh waktu tahan setelah ditambah *grain refiner* tipe *master alloys*<sup>[1]</sup>

Pada Gambar 2.10, penurunan ukuran butir adalah akibat dari penambahan *grain refiner* yaitu dari A ke B. Semakin lama, ukuran butir kembali semakin membesar yaitu dari B ke C. Fenomena ini disebut proses pemudaran (*fading*)<sup>[1]</sup>. Waktu *fading* dari tiap – tiap jenis *grain refiner* adalah berbeda – beda. Tergantung dari jumlah persen Ti dan B serta bentuk dari *grain refiner* itu sendiri.

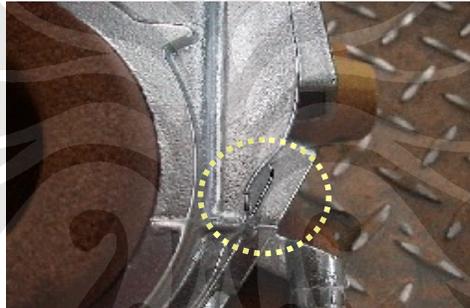
Masalah yang sering dihadapi *grain refiner* adalah *fading* atau berkurangnya efektifitas *grain refiner* setelah periode waktu tertentu<sup>[5]</sup>. Ada beberapa penyebabnya yaitu agglomerasi (penggumpalan) dan pengendapan. Agglomerasi terjadi pada senyawa borida yang membentuk gumpalan *cluster* yang luas sehingga densitasnya meningkat dan akhirnya mengendap lebih cepat ke dasar *furnace*<sup>[3]</sup>. Pengendapan terjadi karena logam cair tidak diaduk sehingga terjadi pengendapan. Hal ini dikarenakan senyawa intermetalik  $\text{TiAl}_3$  memiliki densitas  $3,35 \text{ g/cm}^3$  dan  $\text{TiB}_2$  memiliki densitas  $4,52 \text{ g/cm}^3$ <sup>[23]</sup>. Bila dibandingkan aluminium cair memiliki densitas  $2,3 \text{ g/cm}^3$ , maka  $\text{TiAl}_3$  dan  $\text{TiB}_2$  akan mengendap pada dasar *furnace*. Partikel – partikel  $\text{TiAl}_3$  dan  $\text{TiB}_2$  dapat terlihat dengan jelas pada bagian dasar *furnace* yang berwarna gelap. Oleh karena itu, untuk menghindari efek *fading*, perlu dilakukan pengadukan (*agitation*) pada aluminium cair secara berkala agar partikel – partikel tersebut dapat kembali merata ke seluruh aluminium cair dan dapat bertindak sebagai nukleat<sup>[5]</sup>.

## 2.9 JENIS – JENIS CACAT PADA ALUMINIUM COR

### 2.9.1 *Misrun*

Merupakan cacat yang terjadi karena aluminium cair gagal memenuhi seluruh bagian pada cetakan terutama pada bagian-bagian yang tipis dan mengakibatkan ada bagian pada komponen yang hilang atau tidak sempurna (Gambar 2.11). Cara pencegahannya yaitu dengan :

- Lubang angin pada inti harus cukup
- Kecepatan penuangan yang tinggi
- Penuangan yang dilakukan pada temperatur tinggi
- Jumlah saluran harus ditambah dan logam harus diisikan dari beberapa tempat pada cetakan



Gambar 2.11. Kondisi *misrun*

### 2.9.2 *Misrun gate*

Merupakan cacat yang terjadi karena *gate* tidak terisi secara penuh oleh aluminium cair (Gambar 2.12). Hal ini disebabkan tekanan yang rendah pada saat menginjeksi, aluminium cair telah mengisi ruang pada cetakan atau aluminium cair pada bagian *gate* turun kembali ke dalam *holding*.



Gambar 2.12. Kondisi *misrun gate*

### 2.9.3 Cold shut

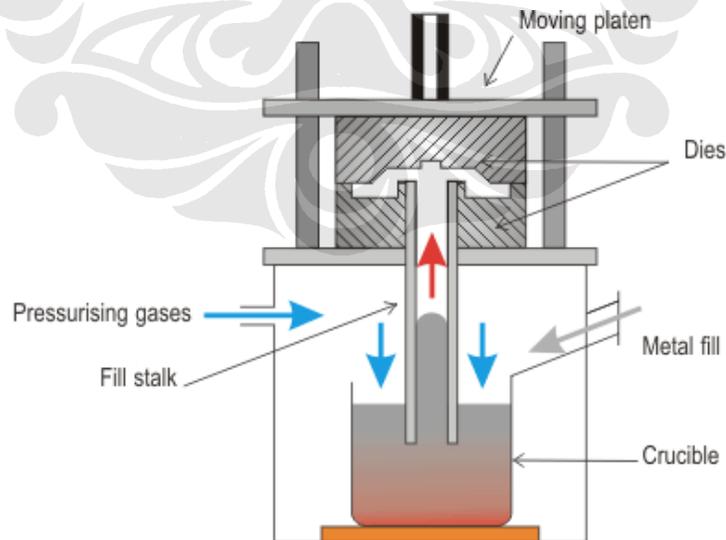
Merupakan cacat yang terjadi akibat adanya pertemuan antara dua aliran *molten* atau lebih dengan masing-masing memiliki temperatur yang berbeda sehingga batas pertemuan antar kontak permukaan tersebut tidak dapat menyatu dengan baik (tidak terjadi fusi yang sempurna).

### 2.10 LOW PRESSURE DIE CASTING (LPDC)

Mesin ini banyak digunakan pada industri pengecoran logam khususnya untuk mengecor aluminium atau magnesium. Biasanya LPDC digunakan untuk memproduksi komponen – komponen yang simetris yang memiliki poros di tengah – tengah<sup>[24]</sup>.

Beberapa keunggulan LPDC adalah<sup>[25]</sup> :

- Hasil *yield* tinggi (biasanya lebih dari 90 %)
- Mengurangi biaya *machining* karena hasil corannya baik dan sesuai bentuk yang diinginkan
- Prosesnya terkontrol karena mesinnya memakai sistem otomatisasi
- Kualitas secara metalurginya bagus karena adanya pengisian yang homogen dan pengontrolan solidifikasi yang dinamis



Gambar 2.13. Skematik mesin LPDC<sup>[24]</sup>

Pada Gambar 2.13, mekanisme dari LPDC adalah logam cair diisi ke dalam dapur *crucible*, hal ini untuk menjaga temperatur agar tidak turun saat melakukan proses *casting*. Lalu logam cair ditekan dengan tekanan yang rendah sekitar 0.3 - 1.5 bar (30 – 150 kPa), maka logam cair akan naik menuju *die* melalui *ceramic tube (fill stalk)* yang menghubungkan antara *die* dan dapur. Lalu logam cair dicetak dengan *die* yang diinginkan lalu setelah beberapa detik, produk diambil dari *die* dan proses selanjutnya seperti melakukan pembongkaran pasir inti (*core*) yang terpasang. Logam cair pada dapur mengalami sedikit *stirred* (pengadukan) karena adanya tekanan dari dasar dapur yang memaksa logam cair ke atas menuju *die*.

