

BAB II

DASAR TEORI

2.1 ALUMINIUM

Aluminium merupakan material terbanyak ketiga setelah oksigen dan silikon. Aluminium merupakan logam yang banyak digunakan dalam industri otomotif dunia. Sifat utama aluminium yaitu ringan, titik lebur yang rendah (Tabel 2.1), *high strength to weight ratio* dan ketahanan korosi yang baik merupakan penyebab sering digunakannya material ini dalam industri otomotif dunia⁽⁷⁾. Aluminium menunjukkan performa yang baik untuk diaplikasikan secara mekanik maupun elektrik. Untuk aplikasi yang sifatnya mekanik, aluminium memberikan *high strength to weight ratio*, mudah dibentuk, dan ketahanan korosi yang baik^[5]. Untuk aplikasi yang sifatnya elektrik, aluminium dapat menjadi penghantar listrik yang baik dan *non-magnetic*^[5]. Ketahanan korosi yang baik dari aluminium disebabkan karena terbentuknya lapisan pasif Al_2O_3 , pembentukan lapisan ini merupakan akibat dari reaksi antara aluminium dengan udara. Aluminium mudah untuk dibentuk dengan berbagai proses *forming*, yaitu : *extruded, rolled, cast and machined*. Aluminium merupakan logam yang rapat jenisnya rendah, sehingga dapat dipadu dengan logam lain menghasilkan material yang memiliki kekuatan mekanis yang lebih baik. Penambahan paduan pada aluminium dapat meningkatkan kekuatan, keuletan dan kemampuan untuk dicor.

Tabel 2.1 Karakteristik Al^[6]

Property	Purity, %				
	99,999	99,99	99,8	99,5	99
Melting Point, °C		660,2			657
Boiling point, °C		2480			
Latent Heat of Fusion, cal/g		94,6			93
Specific Heat, cal/g		0,2226			0,2297
Density at 20oC, g/cm ³	2,7	2,7	2,71	2,71	
Electrical Resistivity, μΩ-cm	2,63	2,68	2,74	2,8	2,87
TCR		0,0042	0,0042	0,0041	0,004
CTE (x10 ⁶)		23,86	23,5	23,5	23,5
Thermal Conductivity		0,57	0,56	0,55	0,54
Reflectivity (total), %		90	89	86	-
Modulus Elasticity, lb/in ² x10 ⁻⁶		9,9			10

2.1.1 Sistem Penamaan Aluminium

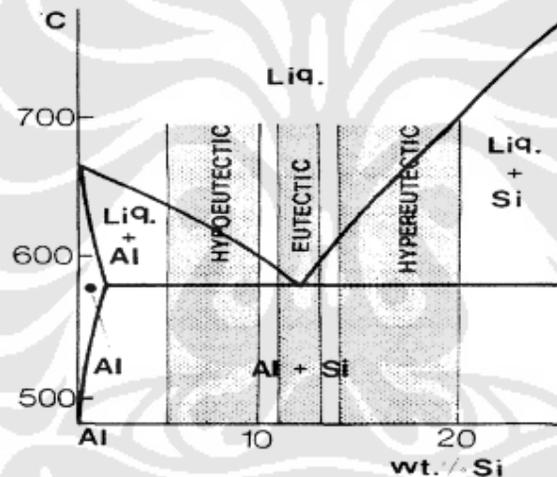
Sistem klasifikasi yang umum dipakai adalah standar AA (aluminium association), penomoran standar ini menggunakan sistem 3 digit dengan penambahan 1 desimal (Tabel 2.2) yang diadopsi oleh AA (aluminium association) sejak 1954. Kemudian standar ini diperbaiki oleh American National Standard Institute pada tahun 1957 (ANSI H35.01). Saat ini standard yang digunakan oleh ASTM maupun SAE telah disesuaikan dengan standar AA^[7]

Tabel 2.2 Cast Al Alloys^[8]

Numerals	Elemen Utama
1xx.x	Al Murni
2xx.x	Cu
3xx.x	Si (mangan)
4xx.x	Si
5xx.x	Mg
6xx.x	Mg dan Si
7xx.x	Zn
8xx.x	Unsur Lain
9xx.x	Unused Series

2.1.2 Aluminium Silikon

Aluminium silikon merupakan paduan aluminium yang sering digunakan dalam proses pengecoran yang diaplikasikan untuk industri otomotif. Penggunaan paduan aluminium silikon pada material dikarenakan paduan ini memiliki berbagai variasi struktur mikro sehingga kekuatan mekanis pada paduan ini dapat dengan mudah diubah sesuai dengan yang diinginkan. Ada tiga pembagian jenis Al-Si berdasarkan kadar silikon yang ada pada paduan itu, paduan hipoeutektik dengan kadar Si di bawah 11.7%, paduan eutektik dengan kadar Si sebesar 11.7-12% dan paduan hipereutektik, biasanya dengan kadar Si di atas 12.2% (Gambar 2.1)^[9]



Gambar 2.1 Diagram Biner Paduan Al-Si^[10]

Struktur utama dari ketiga komposisi paduan ini adalah berupa fasa α -Al, yang sangat kaya akan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul, walaupun pada kondisi hipereutektik, karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah dari fasa padatnya, baik dalam kondisi hipoeutektik, eutektik dan hipereutektik. Selain fasa α -Al, terdapat juga fasa yang merupakan partikel-partikel kristal silikon yang tidak terlarut dalam fasa α -Al. Pada kondisi hipereutektik, fasa tersebut menghasilkan silikon primer yang bentuknya kasar^[11].

Pada hipoeutektik terjadi pembekuan secara tidak langsung, melalui fasa cair-padat. Struktur akhir komposisi ini adalah struktur yang kaya akan aluminium, sebagai fasa utamanya adalah fasa α -Al, dengan struktur eutektik sebagai tambahan. Komposisi eutektik merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa padatnya. Proses pembekuan berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dimana temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama. Adanya struktur eutektik ini yang menyebabkan paduan aluminium silikon mempunyai sifat mampu cor yang baik. Komposisi eutektik memiliki kandungan silikon sekitar 11.7 %, namun jumlah ini tergantung dari laju pendinginannya, sehingga kandungan silikon bervariasi antara 11.7-12.2 %. Untuk komposisi hipereutektik, kandungan silikonnya berada di atas 12.2 % sehingga komposisi ini memiliki struktur yang kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan^[9].

2.2 PENGARUH UNSUR PADUAN

Termasuk dalam paduan aluminium Al-Si adalah Paduan Al-Si-Mg dan Al-Si-Cu. Unsur paduan yang penting dalam paduan aluminium Al-Si adalah Si, Cu, Mg, Zn. Sedangkan unsur minor adalah Fe, Mn, Ni, Ti, Pb, Cr, B. Setiap unsur paduan yang ditambahkan dalam suatu paduan memiliki tujuan-tujuan tertentu^[12].

a. Silikon (Si)

- Meningkatkan *castability* (fluiditas dan ketahanan *hot tear*/retak panas), terutama jika Si = 5 – 13 %.
- Meningkatkan kekuatan dan kekerasan, berat jenis menurun. Bila Si > 12 % , maka akan terbentuk kristal “Primary Si” yang keras membuat ekspansi termal rendah, *machinability* kurang baik, ketahanan aus baik (cocok untuk aplikasi temperatur tinggi).

b. Tembaga (Cu)

- Meningkatkan kekuatan (*strength*) dan kekerasan (*hardness*) dalam kondisi *as cast* atau *heat treatment* → membentuk CuAl_2 .
- Mengurangi ketahanan *hot tear* / retak panas.

- Mengurangi *castability* (menurunkan fluiditas).
 - Menurunkan ketangguhan.
- c. Magnesium (Mg)**
- Meningkatkan kekuatan dan kekerasan dalam perlakuan panas paduan Al-Si akibat terbentuk Mg_2Si (*Heat Treatable*).
 - Umumnya dipergunakan dalam paduan kompleks Al-Si dengan Cu, Ni, dan unsur lainnya.
 - Dalam pemaduan di pengecoran pada umumnya memiliki rentang dari 4 sampai 10%.
 - Fase penguatan kedua (*hardening phase*) Mg_2Si akan optimal pada kadar 0.7% Mg.
 - Meningkatkan ketahanan korosi.
 - Menurunkan *castability*.
- d. Seng (Zn)**
- Tidak memiliki pengaruh yang signifikan bila hanya ditambahkan ke dalam paduan aluminium-silikon.
 - Bila dipadu bersama dengan tembaga (Cu) dan/atau magnesium (Mg) yang menghasilkan komposisi paduan *heat-treatable*, karena membentuk presipitat $MgZn_2$, $CuAl_2$.
 - Meningkatkan sifat kekerasan dan kekuatan.
 - Meningkatkan kegetasan, menurunkan ketangguhan (*toughness*).
 - Menurunkan ketahanan Korosi.
- e. Besi (Fe)**
- Termasuk unsur pengotor di aluminium.
 - Memiliki kelarutan yang kecil pada aluminium cair (0.05%).
 - Meningkatkan ketahanan *hot-tear*.
 - Jika kadar Fe berlebih > 0.05% akan menurunkan keuletan (*ductility*).
 - Memberikan kecenderungan penempelan atau persambungan (efek *soldering*) dengan cetakan pada *die casting*.

- Selain itu bila kadar Fe >0.05% Fe maka akan terbentuk fasa-fasa tidak terlarut (*insoluble*) $FeAl_3$, $FeMnAl_6$, $\alpha AlFeSi$. Fasa ini meningkatkan kekuatan dan mengurangi *flowability*.
- Besi akan mendorong pembentukan fasa lumpur (*sludging phase*) dengan mangan, kromium dan elemen lainnya.

f. Mangan (Mn)

- Meningkatkan kekuatan dan kekerasan.
- Meningkatkan ketahanan temperatur tinggi.
- Meningkatkan ketahanan korosi.
- Menurunkan sifat mampu cor.

g. Nikel (Ni)

- Kelarutan dalam aluminium max 0.05 %, lebih dari itu, membentuk intermetalik.
- Fasa intermetalik ini biasanya berkombinasi dengan besi.
- Nikel (hingga 2%) dapat meningkatkan kekuatan pada *high-purity* aluminium tetapi mengurangi keuletan (*ductility*).
- Paduan biner Al-Ni jarang digunakan tetapi Ni ditambahkan pada Al-Cu dan Al-Si untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan pada temperatur tinggi dan untuk mengurangi koefisien ekspansi.

h. Chrom (Cr)

- *Chromium* umumnya merupakan tambahan pada paduan aluminium seperti : Al-Mg, Al-Mg-Si, dan Al-Mg-Zn, membentuk $CrAl_7$ yang menghambat pertumbuhan butir (butir halus).
- Penambahan yang dilakukan umumnya tidak lebih dari 0.35%. Apabila berlebihan akan membentuk mikrostruktur yang kasar.
- *Chromium* memiliki laju difusi yang lambat sehingga akan membentuk fasa terdispersi yang halus dalam produk tempa.
- Mencegah rekristalisasi pada aluminium-magnesium-silikon atau paduan aluminium-magnesium-seng selama proses *hot working* atau dalam proses perlakuan panas.

- i. Ti (0.05 – 0.15%), B (0.04%) : penghalus butir (grain refinement) yang akan membentuk nukleasi. Contoh: $TiAl_3$, AlB_2 atau $(Al,Ti)B_2$.
- j. P: membentuk AlP_3 , nukleasi untuk modifikasi hipereutektik Al-Si, agar Si Primer berbentuk agak bulat/ kecil.

2.3 PADUAN ALUMINIUM AC8H

Aluminium jenis ini merupakan aluminium yang sering digunakan untuk diaplikasikan pada kondisi dimana material mampu bertahan terhadap abrasi dan temperatur tinggi. Selain itu, material ini juga memiliki *thermal expansion* yang rendah serta *tensile strength* yang tinggi^[4]. Sifat-Sifat paduan ini cocok untuk diaplikasikan sebagai piston kendaraan bermotor.

2.3.1 Penamaan AC8H

Penamaan AC8A menunjukkan sistem penamaan dengan menggunakan standar JIS yang dipakai oleh negara Jepang. Padanan material ini pada standar AA adalah aluminium 232.0 (Tabel 2.3)^[13].

Tabel 2.3 Konversi Standarisasi Aluminium Alloys^[13]

JIS	USA		
	AA	ASTM	SAE
AC1A	295.0	C4A	38
AC2A	-----	-----	-----
AC2B	319.0	SC64D	326
AC3A	-----	-----	-----
AC4A	-----	SG91A	-----
AC4B	333.0	SC94A	331
AC4C	356.0	SG70A	323
AC4D	355.0	SC51A	322
AC5A	242.0	CN42A	39
AC7A	514.0	G4A	320
AC7B	520.0	G10A	324
AC8A	A232.0	SN122A	321
AC8B	-----	-----	-----
AC8C	F332.0	SC103A	332

Paduan AC8A merupakan tipe Al-Si tuang yang banyak dipakai pada industri pengecoran komponen otomotif. Komponen-komponen otomotif seperti *piston* merupakan contoh aplikasi dari paduan AC8A. Pada tabel 2.4 dapat dilihat komposisi kimia dari paduan AC8A.

AC8A memiliki nama dagang AC8H, merupakan material yang cocok digunakan sebagai piston kendaraan bermotor. Penggunaan material ini sebagai piston tidak terlepas dari komposisi kimia pada material tersebut (Tabel 2.4). Dimana unsur-unsur seperti Si, Cu, Mg, Ni dan Ti merupakan unsur yang cukup berpengaruh pada kemampuan piston ketika diaplikasikan.

Tabel 2.4 Komposisi AC8A berdasarkan JIS^[14]

Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti
13-Nov	0.8-1.3	0.7-1.3	0.8 max	0.15 max	0.8-1.5	0.15 max	0.2 max

2.3.2 Karakteristik Piston

Piston (Gambar 2.2) merupakan salah satu bagian dari suatu sistem motor bakar. Dalam silinder dari suatu motor bakar, piston akan bergerak naik-turun untuk memampatkan udara dan bahan bakar, yang diakhiri oleh suatu pembakaran yang menghasilkan tenaga. Tenaga ini digunakan menggerakkan batang piston yang seterusnya menggerakkan poros engkol^[15].

Dengan definisi diatas maka piston harus dibuat dari material logam tertentu yang mempunyai sifat-sifat yang dapat mendukung pengoperasiannya dalam ruang bakar mesin tersebut. Syarat-syarat utama material untuk pembuatan piston antara lain yaitu^[15]:

- 1) Ringan, material yang ringan akan dapat mengurangi beban inersia yang akan dialami piston.
- 2) Kekuatan pada temperatur tinggi, dengan material yang memiliki kekuatan pada temperatur tinggi tentunya material tersebut akan tahan terhadap temperatur yang tinggi sekitar 300⁰ C dalam ruang bakar sehingga tidak mudah rusak.

- 3) Ketahanan aus dan ketahanan korosi, syarat ini diperlukan karena aplikasi piston berada dalam lingkungan ruang bakar dan juga gerakan piston yang bergerak secara terus menerus.
- 4) Mudah dalam pengecoran dan permesinan, sebagai hasil coran tentunya material ini harus memiliki mampu cor dan juga mampu mesin.



Gambar 2.2 Produk Piston^[16]

2.3.3. Material Coran Untuk Piston

Material dasar coran untuk pembuatan piston yang dapat dipergunakan adalah paduan Al-Si. Hal ini disebabkan karena karakteristik paduan tersebut yang dapat memenuhi persyaratan yang ditetapkan untuk bahan pembuatan piston. Sifat-sifat yang dimiliki paduan tersebut adalah :

- 1) Ringan.
- 2) Memiliki ketahanan korosi yang baik.
- 3) Memiliki ketahanan aus yang baik.
- 4) Ekspansi panas yang rendah.
- 5) Kekuatan yang cukup baik serta memiliki mampu cor yang baik pula.

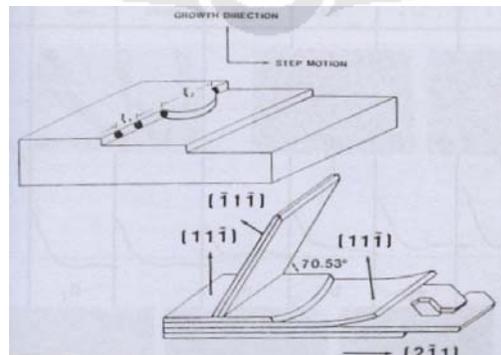
Temperatur yang tinggi merupakan kondisi piston saat diaplikasikan. Sehingga sifat ekspansi termal yang rendah harus dimiliki oleh material pembuat piston. Selain sifat ekspansi termal yang rendah, sifat kekuatan mekanis yang tinggi pada temperatur tinggi juga merupakan spesifikasi dari material dasar piston. Paduan Al-Si-Cu-Mg merupakan paduan Al-Si yang disyaratkan untuk bahan coran tersebut. Selain itu, penambahan unsur-unsur *modifier* juga perlu dilakukan agar sifat mekanis material juga akan semakin baik. Peningkatan sifat mekanis tentunya membuat *life-time* dari piston akan semakin lama.

2.4 MODIFIER PADA ALUMINIUM SILIKON

Proses modifikasi suatu paduan logam aluminium silikon sangat diperlukan agar dapat memperbaiki sifat mekanis material tersebut. Sifat mekanis yang baik dari suatu logam dapat dicapai dengan merubah bentuk struktur mikro paduan tersebut. Perubahan bentuk struktur mikro dapat dicapai dengan penambahan unsur-unsur tertentu yang dinamakan *modifier*. Selain dengan penambahan *modifier*, perubahan struktur mikro dapat juga dicapai dengan merubah kecepatan pembekuan (*quench modification*) dan perlakuan panas (*heat treatment*) pada material tersebut^[2].

2.4.1 Mekanisme Modifikasi

Dalam paduan Al-Si, fasa silikon memegang peranan penting dalam proses pemodifikasian. Silikon adalah unsur non logam dan memiliki bentuk kristal dalam paduan aluminium. Kristal silikon memiliki suatu keunikan dalam pertumbuhannya, keunikan pertumbuhan dari silikon disebut dengan *faceted manner*. Maksudnya adalah bahwa kristal silikon hanya memiliki arah kristalografi tertentu dalam pertumbuhannya^[2]. kristal silikon memiliki arah bidang $\langle 211 \rangle$, dan arah pertumbuhan $\langle 111 \rangle$ (Gambar 2.3). Selain itu, silikon juga memiliki sifat lain yang unik, yaitu : mudahnya terbentuk bidang kembar (berpasangan). Bidang ini merupakan salah satu bentuk cacat kristalografi yang dapat terbentuk pada saat sekumpulan atom silikon mengalami pergeseran posisi melewati suatu bidang kristalografi.



Gambar 2.3 Adsorpsi atom impurities pada pertumbuhan kristal silikon yang menyebabkan terjadinya mekanisme twinning^[11]

Selanjutnya saat proses pembekuan, terjadi penambahan atom pada antar muka solid-liquid yang berlangsung pada setiap arah pertumbuhannya^[2]. Akibat dari fenomena ini, maka kemungkinan terjadinya cabang pada struktur kristal silikon sangat kecil.

2.5 PENGARUH STRONSIUM SEBAGAI MODIFIER

Stronsium merupakan unsur yang banyak dipakai sebagai *modifier* pada kondisi proses pembekuan yang lambat. Proses penambahan *modifier* Sr pada suatu proses pengecoran umumnya menggunakan *master alloy* yang mengandung 10 % Sr. Penambahan menggunakan Sr murni tidak efektif karena mudah untuk bereaksi dengan udara ataupun uap air, sehingga dalam waktu singkat terbentuk lapisan oksida yang membentuk SrO, SrO₂, Sr(OH)₂ dan (CaSr)NO₃⁽²⁾. Pembentukan lapisan oksida ini tentunya membuat sulitnya pelarutan material ini pada aluminium^[2].

Penggunaan Sr biasanya digunakan pada paduan Al-Si hipoeutektik, bertujuan untuk merubah bentuk silikon eutektik dari bentuk *acicular* menjadi bentuk *fibrous*. Perubahan bentuk ini menyebabkan perubahan sifat mekanis paduan aluminium tuang.

2.5.1 Pengaruh Sr Terhadap paduan Al-Si Hipoeutektik

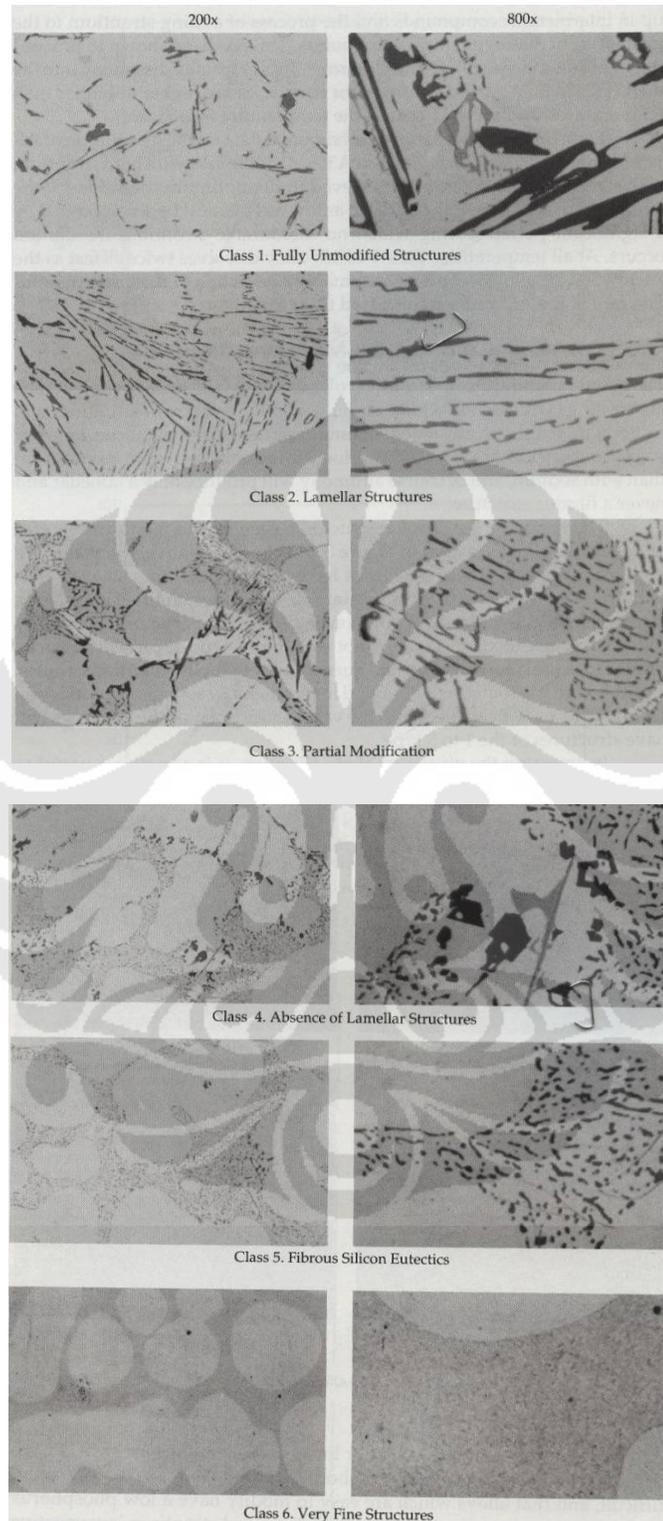
2.5.1.1 Pengaruh Sr terhadap mikrostruktur

Terdapat lima (5) variabel yang mempengaruhi mikrostruktur suatu paduan Al-Si hipoeutektik^[2], yaitu :

- Tipe *modifier* yang dipakai
Stronsium dan sodium mampu merubah mikrostruktur sama baiknya. Meskipun demikian, sodium menghasilkan mikrostruktur yang termodifikasi secara merata pada konsentrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan stronsium.

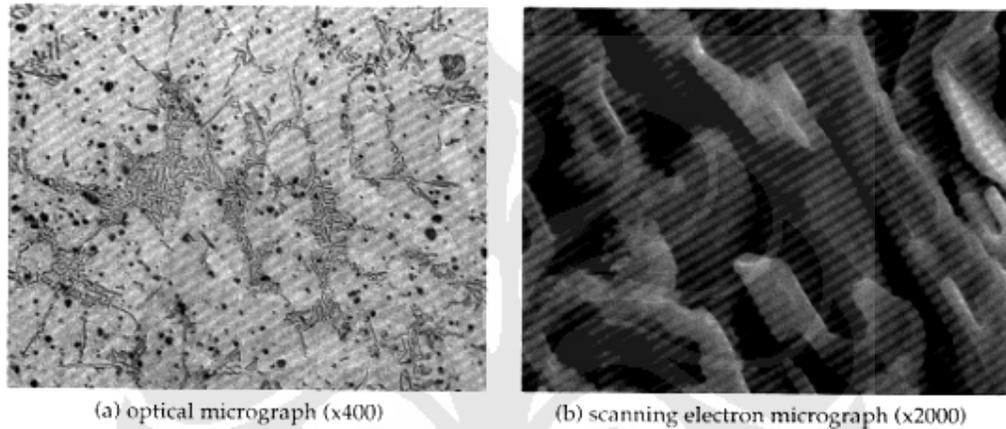
- Pengotor dalam leburan
Pengotor mempengaruhi mudah atau tidaknya pemodifikasian mikrostruktur terjadi. Adanya phosphor dalam jumlah yang cukup banyak akan mempersulit terjadinya pemodifikasian struktur. Oleh sebab itu, kandungan phosphor selalu diminimalisir dalam logam cair.
- Jumlah *modifier* yang dipakai
Jumlah *modifier* yang semakin banyak menyebabkan struktur mikro yang semakin termodifikasi.
- Kecepatan pembekuan
Semakin besar nilai kecepatan pembekuan, maka semakin halus struktur mikro yang termodifikasi. Oleh sebab itu, *modifier* jarang sekali digunakan pada proses pengecoran dengan menggunakan *die casting*.
- Jumlah silikon dalam paduan
Kadar silikon yang semakin besar dalam suatu paduan, membutuhkan kadar stronsium yang juga semakin besar untuk terjadinya modifikasi struktur. Peningkatan kadar stronsium sebesar 50 % dibutuhkan untuk merubah mikrostruktur paduan yang memiliki kadar silikon sebesar 7 %-11 %.

Paduan Al-Si hipoeutektik memiliki struktur dimana matriks kaya akan aluminium serta silikon yang tidak terlarut dalam matriks aluminium yang membentuk fasa tersendiri yakni silikon eutektik. Silikon eutektik yang terkandung di dalamnya memiliki morfologi seperti jarum-jarum kasar. (*acicular*). Bentuk *acicular* ini merupakan lokasi konsentrasi tegangan sehingga menurunkan sifat mekanik suatu paduan Al-Si, terutama elongasi yang dapat dihasilkan. Penambahan Sr menyebabkan modifikasi bentuk silikon eutektik dari bentuk *acicular* menjadi bentuk *fibrous* yang halus. Hasil modifikasi pada silikon memiliki tingkatan tertentu dari tidak termodifikasi sampai termodifikasi secara penuh (Gambar 2.4)



Gambar 2.4 Perubahan mikrostruktur silikon karena proses modifikasi^[2]

Kondisi mikrostruktur yang termodifikasi ini tidak selamanya menghasilkan perbaikan terhadap sifat dari paduan. Jumlah *modifier* sangat mempengaruhi mikrostruktur akhir dari paduan. Overmodifikasi merupakan kondisi mikrostruktur karena penambahan *modifier* yang berlebih. Seperti telah dijelaskan sebelumnya, pada kondisi ini akan terbentuk fasa Al_4SrSi_2 dan struktur silikon menjadi kasar (Gambar 2.5).



Gambar 2.5 Silikon yang mengalami *overmodification*^[2]

2.5.1.2 Pengaruh Sr terhadap Kekuatan Tarik Paduan Al-Si

Paduan Al-Si-Cu sangat banyak dipakai dalam lingkup industri pengecoran karena sifat mekanik, ketahanan korosi serta mampu cor (*castability*) yang baik. Namun seperti telah dijelaskan sebelumnya, paduan ini memiliki keterbatasan yaitu kristal silikon eutektik yang berbentuk *flake / acicular* sehingga sifatnya menjadi getas (menjadi lokasi konsentrasi tegangan). Pengaruh Sr sebagai *modifier* adalah mengubah bentuk kristal tersebut menjadi bentuk *fibrous* yang halus dan bulat sehingga keuletan dan kekuatan tarik (UTS) paduan Al-Si-Cu menjadi meningkat^[2]. Pada tabel 2.5 terlihat bagaimana modifikasi struktur silikon meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan paduan.

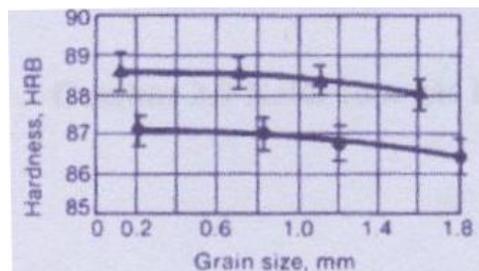
Tabel 2.5 Pengaruh Modifikasi Terhadap Kekuatan Tarik dan Keuletan^[2]

Silicon Structure	Al-7%Si-0,3%Mg		Al-11%Si	
	UTS	E	UTS	E
Acicular	180	7	150	6
Lamellar	200	12 -- 16	170	14 -- 18
Fibrous	200	16	170	18

Pengaruh modifikasi terhadap kekuatan tarik suatu paduan aluminium akan sesuai dengan tabel di atas bila pengontrolan variabel-variabel proses dilakukan. Kecepatan pembekuan, jumlah porositas (kualitas hasil pengecoran), dan jumlah *modifier* yang dipakai merupakan variabel-variabel yang harus dikontrol selama pengecoran sampel uji tarik dilakukan. Bila variabel-variabel tersebut tidak terkontrol, maka hasil yang diperoleh dari pengujian tarik akan mengalami penyimpangan ^[2].

2.5.1.3 Pengaruh Sr terhadap Kekerasan Paduan Al-Si

Proses modifikasi menghasilkan struktur silikon yang halus dan bulat sehingga kekuatan atau kekerasan dari paduan aluminium-silikon mengalami peningkatan. Efek modifikasi terhadap peningkatan kekuatan terlihat pada gambar (2.6). Namun, seperti telah diketahui bahwa penambahan *modifier* meningkatkan porositas pada produk akhir yang dihasilkan. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan kekerasan/kekuatan dari efek modifikasi menjadi tidak terlihat.



Gambar 2.6 Pengaruh Modifikasi Terhadap Kekerasan Paduan Aluminium^[13]

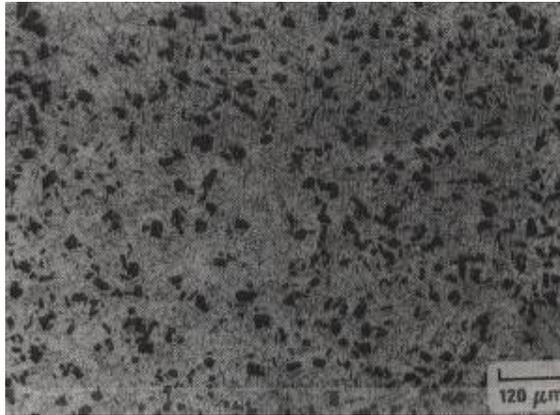
Peningkatan kekerasan karena efek *modifier* juga disebabkan oleh distribusi, ukuran, dan bentuk dari fasa-fasa intermetalik yang terbentuk^[2]. Fasa intermetalik yang berukuran besar, tersebar merata dan terbentuk secara kontinyu meningkatkan kekerasan paduan aluminium.

2.5.2. Pengaruh Sr Terhadap paduan Al-Si hipereutektik

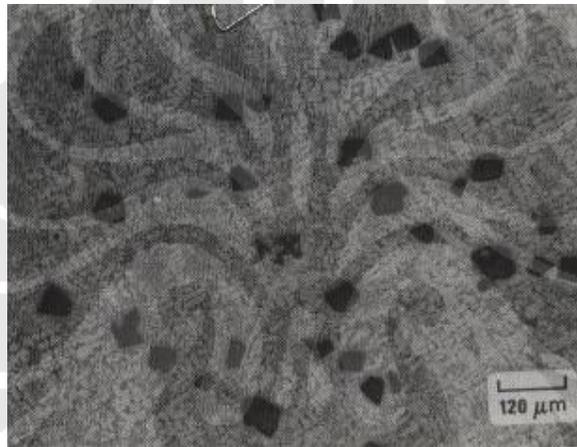
Paduan Al-Si hipereutektik memiliki kadar Si yang lebih tinggi dari 12.2%. Kadar Si yang cukup tinggi membuat munculnya silikon primer pada paduan Al-Si tersebut. Biasanya *modifier* yang digunakan pada paduan Al-Si hipereutektik adalah P (phosphor). Bertujuan untuk memperhalus ukuran silikon primer sehingga ketahanan aus akan menjadi lebih baik. Sedangkan penambahan Sr sebagai *modifier* pada paduan Al-Si hipereutektik ini masih belum banyak diketahui.

2.5.2.1 Pengaruh Sr terhadap mikrostruktur

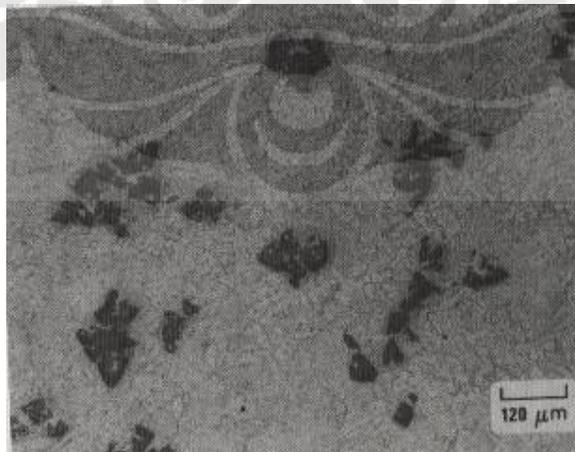
Pada dasarnya untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik pada paduan Al-Si hipereutektik adalah dengan cara mengubah bentuk silikon primer dan silikon eutektik secara bersamaan⁽²⁾. Pada paduan Al-Si hipoeutektik, perubahan silikon eutektik dapat dicapai dengan penambahan Sr, sedangkan perubahan silikon primer pada hipereutektik dapat dicapai dengan penambahan phosphor. Oleh sebab itu, penambahan Sr dan P secara bersamaan merupakan solusi yang terbaik untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik pada paduan jenis ini. Namun, pada kenyataannya stronsium dan phosphor ketika bersamaan ditambahkan ke dalam paduan Al-Si hipereutektik, akan bereaksi satu sama lain membentuk *strontium phosphide*^[2]. Senyawa ini lebih stabil dan membuat pengkasaran pada silikon primer (Gambar 2.7) :



(a) 0 % Sr



(b) 0.01 % Sr

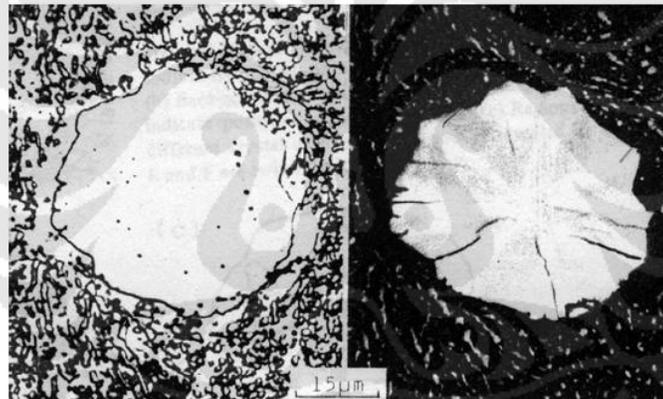


(c) 0.03 % Sr

Gambar 2.7 Mikrostruktur A390 Alloy (Al-17%Si) dengan penambahan Sr (a) 0% Sr (b) 0,01% Sr (c) 0,03 % Sr^[2]

Pada gambar di atas dapat diketahui bahwa penambahan stronsium pada A390 Alloy, dengan kadar stronsium yang sama dengan kadar yang dibutuhkan oleh suatu paduan Al-Si hipoeutektik untuk mendapatkan perubahan, yakni sebesar 0.01 % dan 0.03 %, membuat silikon primer menjadi lebih besar dan kasar dengan bentuk *block shape* (Gambar 2.7 b) . Semakin banyak kadar Sr yang ditambahkan terlihat bahwa bentuk silikon primer berubah menjadi bentuk yang dendritik , sedangkan silikon eutektik menjadi lebih halus (Gambar 2.7 c).

Berbeda dengan pernyataan di atas, Hema V. Guthy dalam jurnalnya yang berjudul “*Evolution of the Eutectic Microstructure in Chemically Modified and Unmodified Aluminum Silicon Alloys*”. Dalam jurnalnya dia menyimpulkan bahwa stronsium dapat merubah bentuk silikon primer dari bentuk *dendritic* silikon menjadi bentuk *spherical* silikon (Gambar 2.8)

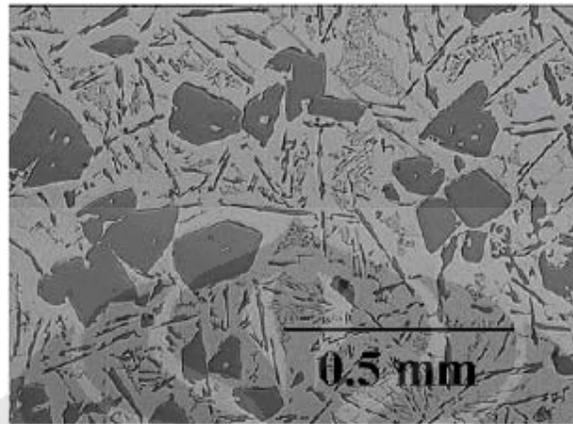


Gambar 2.8 Perubahan bentuk silikon primer Al-16% Si dari bentuk dendritic silikon menjadi bentuk spherical silikon^[18]

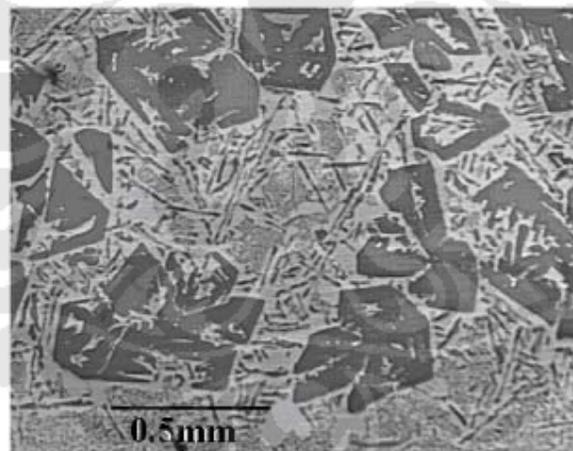
Perubahan yang terlihat pada gambar adalah bahwa bentuk sebelum ditambahkan stronsium dendritic silikon berubah menjadi bentuk spherical silikon.

M.Faraji dalam jurnalnya yang berjudul “*The Effect of Casting Variables on the structure of hypereutectic alloys*”. Penelitiannya bertujuan untuk mengetahui pengaruh Sr dan P terhadap silikon primer dan silikon eutektik karena silikon primer dan silikon eutektik merupakan fasa yang sangat mempengaruhi sifat mekanis dari material. Dari hasil penelitiannya dapat diketahui bahwa Sr

menjadikan silikon primer menjadi lebih kasar (Gambar 2.9), namun jumlah unit fasa/unit volume fasa (N_A) menjadi lebih kecil. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa persebaran bentuk silikon primer tidak merata.



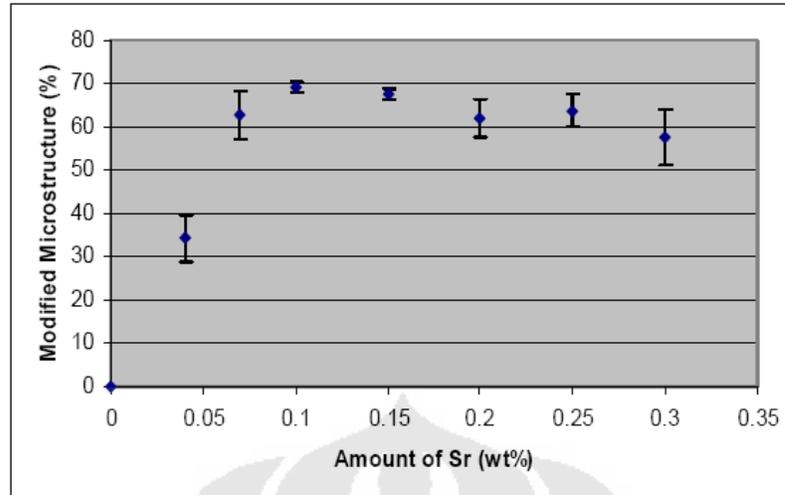
a



b

Gambar 2.9 Mikrostruktur Al-20%Si dengan penambahan Sr : (a) 0 % Sr (b) 0.04 % Sr^[17]

Dalam penelitiannya, terungkap pula bahwa % struktur yang termodifikasi menjadi lebih besar, baik silikon primer dan silikon eutektik (gambar 2.10)



Gambar 2.10 Pengaruh kandungan Sr terhadap volume struktur yang termodifikasi^[17]

Perbedaan yang terdapat diantara kedua teori ini sepertinya dapat dikaitkan dengan perbedaan variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian. Perbedaan-perbedaan tersebut antara lain adalah : kadar *modifier* yang ditambahkan, jumlah silikon dalam paduan, pengotor dalam paduan serta kecepatan pembekuan.

Perubahan mikrostruktur yang paling signifikan terjadi pada silikon eutektik. Silikon eutektik paduan aluminium hipereutektik terutama dengan kadar Si yang tidak terlalu tinggi. Silikon eutektik akan berubah dari bentuk jarum (*acicular*) menjadi bentuk yang lebih halus dan merata (*fibrous*). Perubahan ini sama dengan perubahan yang terjadi pada penambahan stronsium pada Al-Si hipoeutektik.

2.5.2.2 Pengaruh Sr terhadap Keausan

Paduan Al-Si hipereutektik biasanya diaplikasikan pada kondisi pergesekan yang sangat ekstrim, sehingga ketahanan aus merupakan suatu prasyarat mutlak untuk paduan ini. Namun, sampai saat ini, masih tidak ditemukan kejelasan mengenai efek *modifier* terhadap keausan. Hal ini terkait dengan kesulitannya sebagian orang untuk mengartikan keausan. Beberapa orang mengatakan bahwa besar silikon primer memberikan efek yang lebih signifikan terhadap ketahanan aus dibandingkan dengan bentuk dari silikon primer^[2]. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, kadar silikon yang tinggi memiliki ketahanan aus yang lebih

baik dibandingkan dengan kadar silikon yang rendah. Sebagian lagi mengatakan bahwa *modifier* yang merubah bentuk silikon primer menjadi lebih halus mempengaruhi ketahanan aus^[2]. Perbedaan ini mengantarkan kepada suatu kesimpulan bahwa bentuk dan ukuran dari silikon primer merupakan faktor minor yang mempengaruhi ketahanan aus. Ada faktor lain yang bisa lebih mempengaruhi ketahanan aus, yaitu : lubrikasi dan beban penggunaan.

2.5.2.3 Pengaruh Sr terhadap kekuatan tarik

Tidak ada perubahan yang signifikan pada *tensile properties* paduan sebelum dan sesudah ditambahkan Sr pada paduan Al-Si yang telah ditambahkan P sebelumnya, walaupun terjadi pengkasaran silikon primer setelah ditambahkan. Nilai kekuatan tarik pada paduan yang belum ditambahkan sebesar 198 MPa sedangkan dengan penambahan phosphor sebesar 212 MPa sedangkan nilai elongasi tidak mengalami perubahan yang cukup berarti^[2]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemodifikasian silikon eutektik lebih berpengaruh kepada *properties* material dibandingkan dengan pemodifikasian silikon primer. Penambahan Sr tanpa adanya penambahan Sr belum banyak diketahui pengaruhnya terhadap sifat mekanis suatu paduan.