

BAB II

DASAR TEORI

2.1 ALUMINIUM DAN KARAKTERISTIKNYA

Aluminium ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai suatu unsur dan kemudian pertama kali direduksi sebagai logam oleh H. C. Oersted pada tahun 1825. Secara industri, pada tahun 1886 Paul Heroult di Perancis dan C. M. Hall di Amerika Serikat secara terpisah telah memperoleh logam aluminium dan alumina dengan cara elektrolisa dari garamnya yang terfusi. Sampai sekarang proses Heroult-Hall masih dipakai untuk memproduksi aluminium. Penggunaan aluminium sebagai logam setiap tahunnya adalah pada urutan yang kedua setelah besi dan baja, dan ini merupakan urutan yang tertinggi di antara logam-logam *non-ferrous*. Produksi aluminium di dunia mencapai 15 juta ton per-tahunnya, yang tercatat pada tahun 1981^[1].

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik dan hantaran listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat logam. Selain itu, kekuatan mekaniknya akan sangat meningkat dengan penambahan unsur-unsur Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, secara satu persatu atau bersama-sama. Material ini dipergunakan dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan sebagainya^[1].

Secara umum sifat-sifat aluminium, diantaranya adalah sebagai berikut^[4]:

- Memiliki berat yang relatif ringan dengan berat jenis sebesar 2.7 g/cm^3 atau hampir $1/3$ dari berat jenis baja.
- Kekuatan mekanis dan sifat-sifat fisiknya dapat ditingkatkan dengan cara menambahkan unsur-unsur paduan.

- Memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap larutan kimia, cuaca, dan berbagai jenis gas.
- Memiliki reflektivitas yang sangat baik.
- Memiliki elastisitas yang tinggi, sehingga material ini sering digunakan dalam aplikasi yang melibatkan kondisi pembebanan kejut.
- Non-magnetik, serta memiliki konduktivitas listrik dan panas yang hampir sebaik tembaga.
- Mudah ditempa dan mudah dikerjakan dalam kebanyakan proses manufaktur dan perubahan bentuk.

Selain itu sifat atau karakteristik dari aluminium dapat berbeda tergantung dari tingkat kemurniannya. Karakteristik dari aluminium murni yang diurutkan berdasarkan tingkat kemurniaannya dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Aluminium Murni^[5]

Karakteristik	Kemurnian, %				
	99.999	99.990	99.800	99.500	99.000
Titik Lebur, °C		660.2	-	-	657.0
Titik didih, °C		2480	-	-	-
Latent heat of fusion, cal/g		94.6	-	-	93.0
Specific heat pada 100°C, cal/g		0.2226	-	-	0.2297
Berat jenis pada 20°C, g/cm ³	2.7	2.7	2.71	2.71	
Electical Resistivity, μΩ-cm pada 20°C	2.63	2.68	2.74	2.8	2.87
Temperature Coeficient of Resistivity		0.0042	0.0042	0.0041	0.0040
Koefisien Ekspansi Panas x 10 ⁶ (20-100°C)		23.86	23.5	23.5	23.5
Konduktivitas Panas, pada 100°C		0.57	0.56	0.55	0.54
Reflektivitas (total), %		90	89	86	-
Modulus Elastisitas, lb/in ² x 10 ⁶		9.9	-	-	10.0

2.2 ALUMINIUM DAN PADUANNYA

Aluminium dan paduannya diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu aluminium tuang (*cast alloys*) dan aluminium tempa (*wrought alloys*). Kemudian masing-masing dapat diklasifikasikan lagi menjadi *cast alloys* yang dapat di *heat treatment* (dapat dilakukan perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekanis)

dan di *work hardened* (pengerasan kerja), serta *wrought alloys* yang dapat di *heat treatment* dan di *work hardened*.

2.2.1 Paduan Aluminium Tuang

Paduan aluminium tuang memiliki beberapa karakteristik seperti:

- Memiliki sifat fluiditas yang baik
- Temperatur lebur dan temperatur tuang relatif rendah dibandingkan logam lain
- Siklus penuangan cukup cepat
- Kelarutan gas (hidrogen) dapat dikendalikan dengan metode proses yang baik
- Cukup banyak jenis paduan aluminium tuang yang relatif bebas dari kecenderungan *hot shortness*.
- Memiliki stabilitas kimia yang relatif baik.
- Memiliki permukaan *as-cast* yang baik, mengkilat tanpa noda.

2.2.1.1 Sistem Penamaan Aluminium Tuang

Sebelum asosiasi aluminium mengumumkan sistem penamaan standar (ANSI), banyak industri aluminium menggunakan penamaan lain. Selain itu, organisasi lain seperti pemerintahan federal, SAE, Militer USA dan ASTM, juga masih menggunakan penamaan lain untuk aluminium tuang.

Sistem penamaan aluminium tuang terdiri dari empat angka. Angka pertama mengindikasikan unsur paduan utama. Angka yang kedua dan ketiga menandakan kandungan minimum aluminium, dan angka yang terakhir menandakan bentuk produk, yaitu: angka 0 untuk menandakan batas komposisi kimia untuk coran, angka 1 dan 2 untuk menandakan batas komposisi kimia untuk ingot. Namun, untuk penamaan tertentu misalnya seperti A333, dimana awalan huruf "A" menandakan modifikasi dari tipe aslinya^[6].

Berikut adalah sistem penamaan paduan aluminium tuang:

Tabel 2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium Tuang^[6]

Nomor Penamaan	Unsur Paduan Utama
1xx.x	Aluminium Murni (99% atau lebih)
2xx.x	Tembaga
3xx.x	Silikon + Tembaga dan /atau magnesium
4xx.x	Silikon
5xx.x	Magnesium
6xx.x	Seri yang sudah tidak digunakan
7xx.x	Seng
8xx.x	Timah
9xx.x	Unsur lainnya

2.2.2 Pengaruh Unsur Paduan pada Aluminium

Baik paduan aluminium tuang atau tempa, sifat mekanis dan non-mekanisnya dipengaruhi oleh unsur-unsur paduan yang ada pada aluminium tersebut. Unsur-unsur tersebut diantaranya^[7]:

- Silikon (Si)

Pengaruh dari silikon yang paling signifikan terhadap aluminium adalah meningkatkan sifat mampu cornya. Penambahan silikon ke dalam aluminium akan meningkatkan fluiditas, ketahanan terhadap retak panas. Paduan aluminium silikon memiliki rentang yang sangat luas hingga 25% Si. Penambahan silikon juga dapat mengurangi nilai *specivic gravity* dan koefisien ekspansi termal dari aluminium.

- Tembaga (Cu)

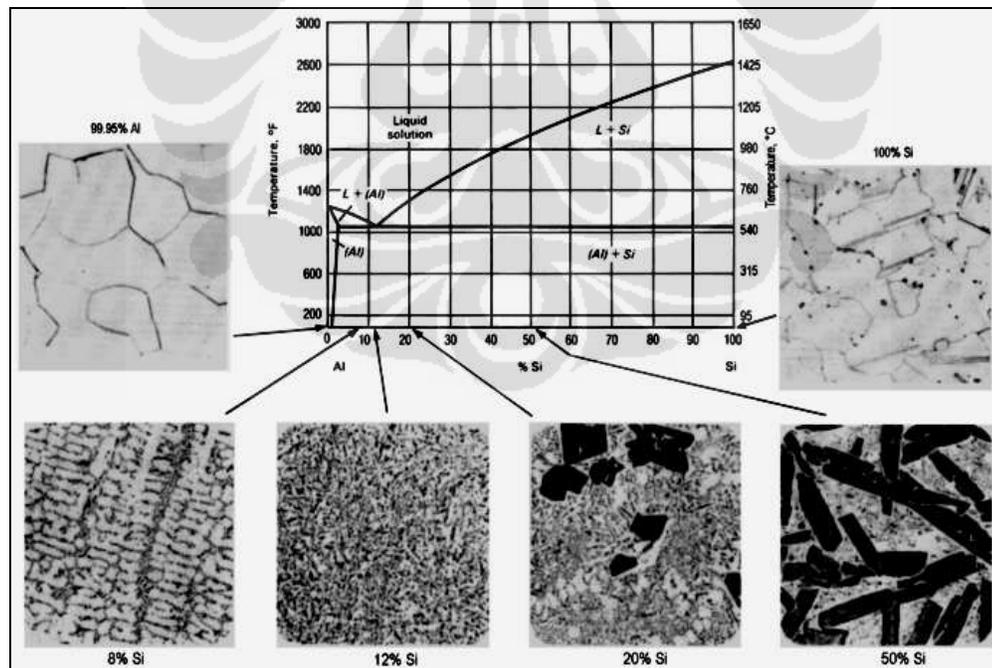
Kandungan tembaga yang biasa digunakan pada paduan aluminium adalah 4-10% tembaga. Tembaga sangat berpengaruh dalam meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari aluminium baik yang as-cast dan juga setelah *heat treatment*. Akan tetapi, penambahan tembaga dapat mengurangi ketahanan retak panas dan juga mampu cor dari aluminium.

- Magnesium (Mg)
Magnesium merupakan dasar dari peningkatan kekuatan dan kekerasan pada paduan Al-Si yang telah di *heat treatment*. Pengerasan fasa Mg_2Si memperlihatkan batas kelarutan hingga 0.7% Mg. Umumnya dipergunakan dalam paduan kompleks Al-Si dengan Cu, Ni, dan unsur lainnya.
- Mangan (Mn)
Biasanya dianggap sebagai impurity pada proses *gravity casting* dan biasanya dikontrol agar berada pada level yang rendah. Pada paduan aluminium tempa, mangan merupakan paduan yang penting terutama dalam proses work hardening.
- Besi (Fe)
Besi meningkatkan ketahanan terhadap retak panas dan mengurangi kecenderungan sintering antara aluminium dengan cetakan logam. Dengan meningkatnya kandungan besi, maka keuletan akan semakin berkurang. $FeAl_3$, $FeMnAl_6$, and $\alpha AlFeSi$ merupakan fasa yang tidak larut yang bertanggung jawab dalam meningkatkan kekuatan terutama pada temperatur tinggi.
- Zink (Zn)
Tidak ada keuntungan yang signifikan dengan penambahan zink ke aluminium.
- Nikel
Bersama dengan tembaga, nikel dapat meningkatkan sifat paduan aluminium pada temperatur tinggi. Selain itu juga dapat mengurangi koefisien ekspansi termal dari paduan tersebut.
- Titanium
Titanium biasa digunakan untuk memperhalus struktur butir dari paduan aluminium tuang. Unsur ini biasanya dikombinasikan dengan sejumlah kecil boron.
- Sodium (Na)
Sodium dapat memodifikasi paduan aluminium silikon eutektik. Sodium dapat berinteraksi dengan fosfor yang dapat mengurangi pengaruh modifikasi dari eutektik.

- Stronsium (Sr)
Merupakan unsur modifier pada paduan aluminium silikon eutektik. Rentang yang biasa ditambahkan adalah 0.008-0.04%. Semakin tinggi kandungan Sr, maka dapat membentuk porositas.
- Fosfor (P)
Dalam bentuk AlP_3 , fosfor nukleasi dan memperhalus fasa silikon primer pada paduan hipereutektik Al-Si. Dalam konsentrasi 1 ppm, fosfor dapat memperkasar struktur eutektik pada paduan hipoeutektik Al-Si. Fosfor dapat menghilangkan pengaruh dari modifier eutektik, seperti sodium dan stronsium.

2.3 PADUAN ALUMINIUM SILIKON

Paduan aluminium silikon merupakan jenis paduan yang paling banyak digunakan dalam proses pengecoran. Ciri khas dari paduan ini adalah eutektik terbentuk antara aluminium dan silikon pada kadar silikon 11.5-12.5%.

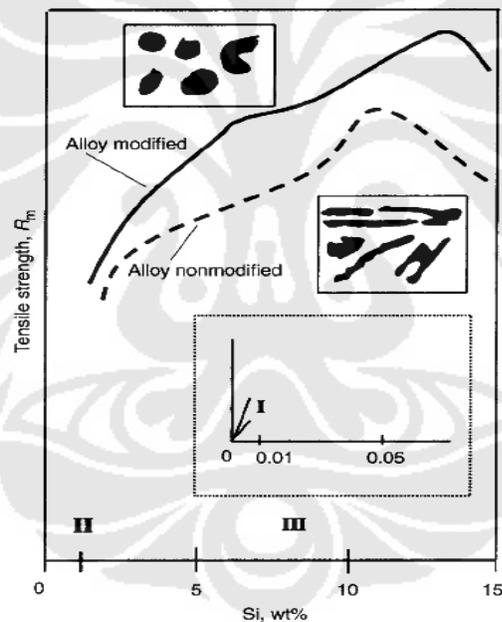


Gambar 2.1 Diagram Fasa Aluminium Silikon Beserta Struktur Mikro yang Terbentuk pada Berbagai Macam Komposisi Silikon^[8]

Berdasarkan kandungan silikonnya, paduan ini diklasifikasikan menjadi tiga bagian yaitu^[9] :

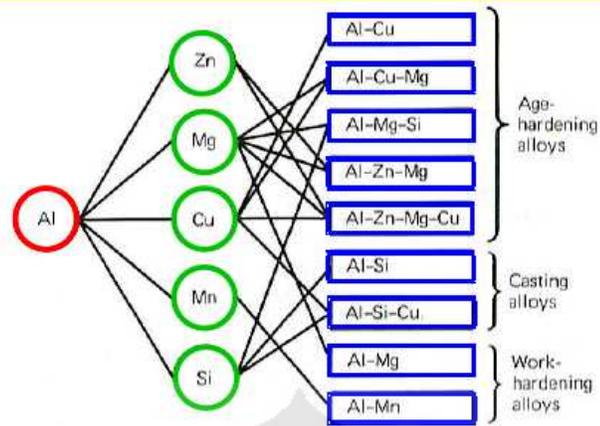
1. Paduan hipoeutektik yang memiliki kandungan silikon antara 5-10%
2. Paduan eutektik, kandungan silikon 11-13%
3. Paduan hipereutektik, kandungan silikon 14-25%

Berdasarkan kemurnian dari material dasar, paduan Al-Si terdiri dari berbagai macam elemen pengotor seperti besi, mangan, tembaga, dan seng. Juga, tembaga dan magnesium sering ditambahkan sebagai unsur paduan untuk meningkatkan kekuatan dan kemampukerasan dari material yang akan dicor. Pengotor dan unsur paduan akan larut menjadi *solid solution* dalam matriks dan sebagian membentuk partikel intermetalik selama proses pembekuan.



Gambar 2.2 Pengaruh Kadar Silikon pada Aluminium terhadap Kekuatan Tarik^[1]

Pada umumnya paduan aluminium silikon diaplikasikan untuk proses *casting*. Hal ini dikarenakan hadirnya silikon sebagai paduan untuk aluminium dapat meningkatkan karakteristik coran. Penambahan silikon hingga titik eutektik, akan meningkatkan sifat mampu alir aluminium.



Gambar 2.3 Paduan Aluminium dan Proses Pengaplikasiannya^[10]

Berikut adalah jenis-jenis atau nama-nama paduan aluminium silikon yang biasa digunakan dalam aplikasi manufaktur terutama dibidang otomotif.

Tabel 2.3 Beberapa Jenis Paduan Aluminium Silikon^[7]

Paduan	Metode Pengecoran	Komposisi, %									
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Lainnya
328.0	Sand Casting	7.5-8.5	1	1.0-2.0	0.20-0.6	0.20-0.6	0.35	0.25	1.5	0.25	0.5
332.0	Permanent Mold Casting	8.5-10.5	1.2	2.0-4.0	0.5	0.50-1.5	-	0.5	1	0.25	0.5
333.0	Permanent Mold Casting	8.0-10.0	1	3.0-4.0	0.5	0.05-0.50	-	0.5	1	0.25	0.5
A333.0	Permanent Mold Casting	8.0-10.0	1	3.0-4.0	0.5	0.05-0.50	-	0.5	3	0.25	0.5
336.0	Permanent Mold Casting	11.0-13.0	1.2	0.5-1.5	0.35	0.7-1.3	-	2.0-3.0	0.35	0.25	0.005
339.0	Permanent Mold Casting	11.0-13.0	1.2	1.5-3.5	0.5	0.50-1.5	-	0.5-1.5	1	0.25	0.5

2.3.1 Material AC8A

Penamaan AC8A menunjukkan sistem penamaan dengan menggunakan standar JIS yang dipakai oleh negara Jepang. Padanan material ini pada standar AA adalah aluminium 336.0. 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.

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. Berikut adalah komposisi kimia dari AC8A.

Tabel 2.4 Komposisi AC8A berdasarkan JIS^[11]

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr
% berat	11-13	0.8-1.3	0.8-1.3	0.7 max	0.15 max	0.8-1.5	0.15 max	0.2 max	0.10 max

Berbeda dengan AC8A, AC8H memiliki sedikit perbedaan pada komposisi kimianya. AC8H didapat dengan memodifikasi komposisi kimia dari standar AC8A. Berikut adalah komposisi kimia dari AC8H.

Tabel 2.5 Komposisi Kimia AC8H

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr	Pb	Sn
% berat	10.50-11.50	2.50-3.50	0.70-1.30	0.05-0.40	0-0.10	0-0.10	0-0.10	0.20-0.30	0-0.05	0-0.05	0-0.05

2.3.1.1 Piston

Paduan Al-Si-Cu-Mg, seperti AC8A merupakan paduan Al-Si yang disyaratkan sesuai untuk aplikasi piston. Piston merupakan [komponen](#) dari [mesin pembakaran dalam](#) yang berfungsi sebagai penekan [udara](#) masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar [silinder liner](#). Komponen mesin ini dipegang oleh [setang piston](#) yang mendapatkan gerakan turun-naik dari gerakan

berputar *crankshaft* sehingga terjadi suatu proses pembakaran yang menghasilkan tenaga^[12]. Tenaga ini digunakan untuk menggerakkan batang piston yang seterusnya menggerakkan poros engkol.

Syarat-syarat utama material untuk pembuatan piston diantaranya adalah:

- Ringan, material yang ringan akan dapat mengurangi beban inersia yang akan dialami piston.
- 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.
- 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.
- Mudah dalam pengecoran dan permesinan, sebagai hasil coran tentunya material ini harus memiliki mampu cor dan juga mampu mesin.

Dengan demikian, maka material AC8A ataupun AC8H sangatlah tepat untuk aplikasi piston. Dalam hal ini kandungan unsur paduan tembaga dan magnesium pada material tersebut akan memberi pengaruh terhadap peningkatan sifat-sifat mekanis seperti kekuatan, kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan korosi.



Gambar 2.4 Produk Piston^[7]

2. 4 GRAVITY CASTING

Gravity Casting adalah suatu metode pengecoran dimana proses masuknya lelehan logam ke dalam cetakan, tidak dipergunakan tekanan dari luar kecuali tekanan yang berasal dari gaya gravitasi. Gaya gravitasi ditimbulkan akibat dari penuangan logam cair pada ketinggian tertentu ke dalam cetakan. Pada pengecoran yang menggunakan penekanan (*pressure die casting* baik *high*

pressure die casting atau pun *low pressure die casting*) memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan gravitasi *die casting* yaitu :

- Proses produksi *die casting* sangat cepat dan membutuhkan tenaga kerja yang jauh lebih sedikit daripada *gravity die casting*,
- Memiliki toleransi dimensi yang amat ketat,
- Mampu menghasikan part yang tipis dan permukaan yang lebih halus akibat pengaruh tekanan yang sangat besar.

Meski demikian, *gravity die casting* juga memiliki keunggulan dibandingkan *high pressure die casting* dimana proses *gravity die casting* mengurangi biaya peralatan dan dapat dilakukan proses *alloying* dimana dengan *die casting* proses ini tidak dapat dilakukan.

Menurut jenisnya cetakan yang digunakan dalam metode *gravity casting* ada 3 jenis yaitu pasir (*sand casting*), logam (*die casting*), dan keramik. Pada pengecoran aluminium, cetakan logam lebih banyak digunakan (*gravity die casting*) dari pada menggunakan pasir cetak. *Gravity casting* dengan pasir cetak jauh lebih banyak *defect casting*, terutama yang menggunakan bentonit sebagai bahan pengikat pasir cetak dan juga pasir silika yang yang bisa menyebabkan inklusi *refractory*. Disamping itu kelemahan menggunakan pasir cetak antara lain ukuran casting yang kurang akurat, permukaan cenderung kasar (kecuali di *coating*), dan butir kristal casting yang lebih besar, sehingga sifat mekanisnya lebih rendah. Tetapi keuntungan menggunakan pasir cetak jika dibandingkan dengan cetakan logam (*metal mould*) yaitu biaya cetakan yang lebih murah, investasi rendah, dan selain itu pasir cetak juga dapat direklamasi (dapat digunakan kembali)^[13].

2.5 MODIFIKASI PADUAN ALUMINIUM SILIKON

Proses modifikasi dilakukan terutama untuk paduan aluminium silikon hipoeutektik, namun terkadang juga dilakukan pada paduan eutektik, maupun paduan hipereutektik^[2]. Secara fisik, proses ini dilakukan untuk bentuk coran yang tebal, dan untuk *sand canting* karena sistem pembekuannya yang lambat^[14].

Proses modifikasi bertujuan untuk^[2]:

- Memperbaiki struktur paduan aluminium silikon, yaitu dengan merubah struktur silikon yang semula berbentuk jarum-jarum yang kasar atau balok, menjadi lebih halus atau bulat.
- Meningkatkan sifat mekanis paduan.
- Mempermudah proses permesinan.
- Meningkatkan mampu cor paduan aluminium silikon.

Modifikasi biasanya dilakukan dengan cara penambahan sejumlah unsur kimia ke dalam paduan aluminium cair saat proses pengecoran. Untuk paduan aluminium silikon hipoeutektik, *modifier* yang digunakan adalah sodium (Na), stronsium (Sr), kalsium (Ca), dan antimony. Sedangkan untuk paduan aluminium silikon hipereutektik, *modifier* yang digunakan, adalah fosfor (P)^[2]. Secara umum, penambahan *modifier* tersebut bertujuan untuk menghambat pertumbuhan kristal-kristal silikon dalam fasa eutektik, sehingga partikel silikon yang semula dalam bentuk lamel (jarum kasar), menjadi berbentuk granular, dan akhirnya menjadi partikel yang lebih halus (*modified*) dan tersebar merata.

Tabel 2.6 Karakteristik Beberapa Unsur Modifier Pada Paduan Aluminium Silikon^[7]

Unsur	Rasio Radius Atom dengan Si	Temperatur Lebur, K	Vapor Pressure		ΔG_{oxide} pada 1000 K, kJ/Mol	Kemampuan Modifikasi
			Pa	Atm		
Barium	1.85	998	5.07	5×10^{-5}	-482	Tingkat modifikasi menengah
Kalsium	1.68	1112	26.3	2.6×10^{-4}	-509	Tingkat modifikasi lemah
Stronsium	1.84	10442	101.3	0.001	-480	Tingkat modifikasi menengah; penambahan optimal:0.01-0.02%. Tahan terhadap <i>fading</i> ; dapat meningkatkan porositas
Sodium	1.58	371	2×10^4	0.2	-367	Tingkat modifikasi sangat baik dengan penambahan 0.1%; Mudah <i>fading</i> ; Dapat terjadi overmodifikasi; dapat meningkatkan porositas

2.5.1 Modifikasi Struktur Paduan Aluminium Silikon Hipoeutektik

Modifier seperti sodium dan stronsium pada paduan hipoeutektik cenderung mengurangi tegangan antarmuka pada fasa eutektik yang terdiri dari struktur lamelar aluminium eutektik dan silikon eutektik. Sehingga sudut kontak antara aluminium dan silikon meningkat, dan memungkinkan matriks aluminium menghalangi dan menghambat pertumbuhan kristal silikon.

2.5.1.1 Unsur Modifikasi Sodium

Sodium diberikan ke dalam paduan aluminium silikon dalam bentuk padatan logam maupun garam (serbuk). Penambahan yang efektif dilakukan dalam jumlah 0.015% sampai 0.02% dari berat aluminium cair. Sodium dalam bentuk padatan logam memiliki kekurangan, antara lain mudah terbakar pada udara terbuka dan pada aluminium cair dapat menimbulkan turbulensi yang dapat meningkatkan hidrogen dan jumlah oksida, sehingga *modifier* ini jarang digunakan. Sebagai alternatif digunakan sodium dalam bentuk garam (serbuk). Penggunaan sodium (>0.01 wt%) dapat meningkatkan kecenderungan terjadinya *misrun* dengan meningkatnya tegangan permukaan dan menurunkan fluiditas^[14].

2.5.1.2 Unsur Modifikasi Stronsium

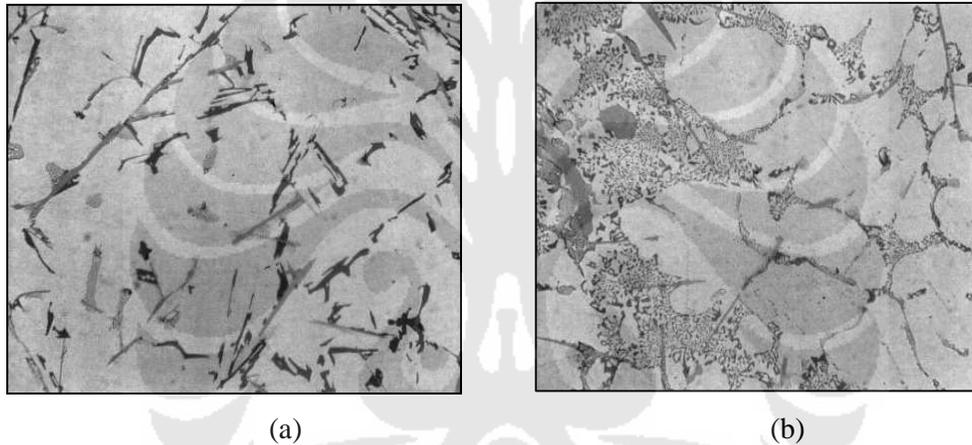
Penambahan *modifier* stronsium sebanyak 0.07 sampai 0.08% merupakan penambahan yang paling baik. Namun berdasarkan penelitian selanjutnya diperoleh hasil bahwa penambahan stronsium dalam jumlah kecil sudah mencukupi. Sementara itu juga telah diketahui, bahwa penambahan stronsium sebesar 0.02% cukup untuk memodifikasi paduan Al-7%Si, seperti A356. Sedangkan untuk paduan silikon eutektik (Al-11%Si) seperti A413, dimodifikasi dengan stronsium sampai kurang lebih 0.04%.

Stronsium merupakan salah satu jenis *modifier* yang biasa digunakan untuk memodifikasi kristal silikon paduan aluminium-silikon hipoeutektik^[4]. Proses modifikasi dengan stronsium ini bertujuan untuk menghambat pertumbuhan kristal-kristal silikon dalam paduan aluminium silikon hipoeutektik, yang awalnya berstruktur lamel (jarum) menjadi berstruktur *fibrous* sehingga dengan modifikasi ini akan meningkatkan kekuatan tarik dan keuletan paduan

aluminium silikon hipoeutektik. Selain itu, fungsi lain dari *modifier* ini adalah untuk meningkatkan kekuatan impak dan *fracture*, kekuatan fatik, sifat mampu mesin, kecenderungan retak panas rendah, serta meningkatkan sifat fluiditas.

Dalam penggunaannya, stronsium ditambahkan dalam bentuk *master alloy*, karena jika digunakan stronsium murni akan menjadi tidak efektif karena bereaksi dengan atmosfer (higroskopis). Stronsium umumnya berhubungan dengan kenaikan porositas hidrogen, hal ini ditandai dengan meningkatnya kelarutan hidrogen atau berkurangnya tegangan permukaan^[14].

Secara struktur mikro, efek dari penambahan stronsium dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 2.5 Aluminium Silikon Hipoeutektik (a)Tanpa modifikasi (b)Dimodifikasi dengan 0.018% Sr^[15]

2.5.1.3 Unsur Modifikasi Antimony

Penelitian menunjukkan 0.12% antimony ditambahkan untuk menghaluskan aluminium silikon eutektik pada paduan seperti tipe 356.0^[2]. Antimony adalah konstituen permanen pada paduan. Paduan dengan antimony dikarakterisasi oleh kerentanan yang rendah terhadap gas jika dibandingkan dengan paduan yang ditambahkan sodium atau stronsium. Paduan tersebut umumnya digunakan pada proses *low pressure* dan *permanent mold castings*.

2.5.2 Modifikasi Struktur Paduan Aluminium Silikon Hipereutektik

Berbeda dengan paduan aluminium silikon hipoeutektik, pada paduan hipereutektik yang menjadi permasalahan adalah adanya silikon primer yang terbentuk. Sehingga unsur modifikasinya pun berbeda dengan hipoeutektik, yaitu unsur fosfor. Selain dengan menggunakan unsur fosfor, proses modifikasi pada aluminium silikon hipereutektik ini dapat juga dilakukan dengan meningkatkan kecepatan pembekuan atau *rapid solidification*^[16].

2.5.2.1 Unsur Modifikasi Fosfor

Aluminium silikon hipereutektik merupakan suatu keadaan dari sistem Al-Si dimana kadar silikonnya melebihi 12% (eutektik), sehingga pada keadaan ini pada umumnya akan terbentuk silikon primer.

Adanya silikon primer ini akan mengurangi sifat mekanis dari Al-Si, diantaranya menurunkan fluiditas dan mengurangi sifat *castability*-nya. Oleh karena itu diperlukan unsur *modifier* seperti fosfor yang berfungsi untuk meningkatkan kembali sifat mekanisnya.

Penambahan fosfor sebagai *modifier* pada Hipereutektik aluminium silikon bergantung dari banyak variabel, terutama jumlah kandungan silikon pada paduan aluminium dan kecepatan pembekuannya. Semakin banyak jumlah kandungan silikon pada paduan tersebut maka akan semakin memperbesar ukuran silikon primer yang terdapat pada hipereutektik aluminium silikon. Sebagai contoh, dengan meningkatkan kadar Si dari 12% menjadi 20% maka akan meningkatkan ukuran silikon primer menjadi 4.5 kali lipat ukuran semula^[2].

Kadar fosfor yang digunakan sebagai *modifier* pada paduan Al-Si hipereutektik biasanya berada pada rentang 0.003% hingga 0.015% bergantung dari kondisi pengecorannya, yaitu dari kadar silikon pada paduan tersebut^[2]. Ketidakesesuaian dengan rentang diatas biasanya diakibatkan oleh sulitnya pembuatan sampel yang akurat (komposisi) dan juga penganalisaan komposisi fosfor yang akurat. Dalam perkembangan baru-baru ini telah digunakan *vacuum stage spectrographic* atau *quantometric analysis* untuk pengukuran kadar fosfor yang akurat^[17].

Phospor akan bereaksi dengan aluminium yang terdapat dalam paduan dan membentuk senyawa *aluminum phosphide* (AIP). AIP ini akan memacu terbentuknya inti dari silikon primer. Pada saat penambahan phospor sebaiknya temperatur dinaikkan hingga 100⁰C di atas temperatur melting. Hal ini akan penting untuk mempermudah terbentuknya AIP. Oleh karena itu, pada paduan Al-Si hipereutektik, temperatur proses harus berada pada temperatur 700-800⁰C bergantung dari kadar silikon pada paduan tersebut^[17].

Akan tetapi dengan menaikkan temperatur, maka akan semakin tinggi pula kontaminasi hidrogen ke dalam lelehan Al-Si tersebut. Untuk itu, sebaiknya setelah dilakukan penambahan phospor sebaiknya segera dilakukan *fluxing* untuk mencegah hidrogen masuk ke dalam lelehan logam. Selain itu, *fluxing* juga berguna untuk mendistribusikan inti *aluminium phosphide* ke seluruh lelehan logam.

Efek penambahan phospor ini akan memberikan pengaruh yang besar terhadap properties dari paduan Al-Si, diantaranya adalah Tensile Strength dan Ketahanan Aus.

1) *Tensile Strength*

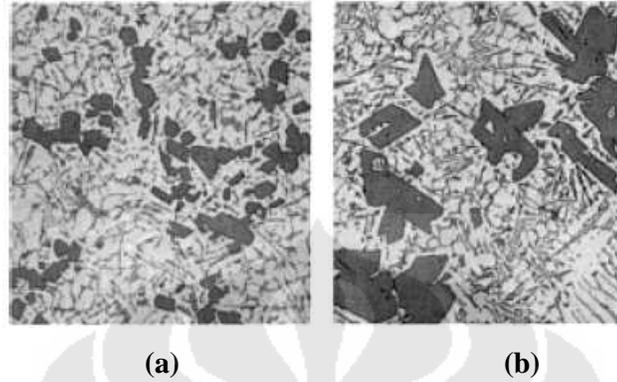
Penambahan phospor pada Al-Si akan meningkatkan *tensile strength* paduan Al-Si mulai dari 10 hingga 100% bergantung dari konsentrasi silikon pada paduan aluminium tersebut. Semakin tinggi konsentrasi silikon yang diiringi dengan penambahan phospor, maka semakin tinggi pula *tensile strength*-nya. Hal ini diakibatkan semakin banyaknya silikon primer yang dimodifikasi sehingga efeknya semakin terlihat dibandingkan tanpa dimodifikasi^[2].

2) Ketahanan Aus

Secara umum penambahan phospor akan meningkatkan ketahanan aus dari paduan Al-Si hipereutektik. Silikon primer yang halus dan terdistribusi merata akan membuat paduan ini memiliki kekerasan yang merata pula, sehingga ketika terabrasif tidak akan mudah pecah (*brittle*).

Sama halnya dengan keausan, penambahan phospor juga akan mempengaruhi kekerasan paduan Al-Si hipereutektik walaupun tidak secara signifikan. Meningkat atau menurunnya nilai kekerasan umumnya dipengaruhi oleh kadar silikon pada paduan aluminium tersebut. Semakin tinggi kadar silikon

maka akan semakin tinggi pula kekerasan yang didapat. Hal ini dikarenakan terbentuknya semakin banyak kandungan, maka akan semakin banyak juga silikon primer yang terbentuk.

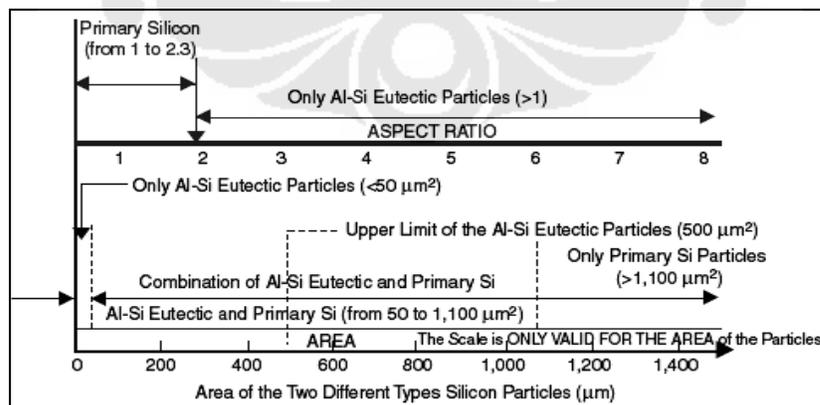


Gambar 2.6 Efek Penambahan Fosfor pada Paduan 390 (16-18%Si) (a) Setelah Dimodifikasi (b) Tanpa Dimodifikasi^[7]

2.5.3 Modifikasi pada Paduan Aluminium Silikon Eutektik

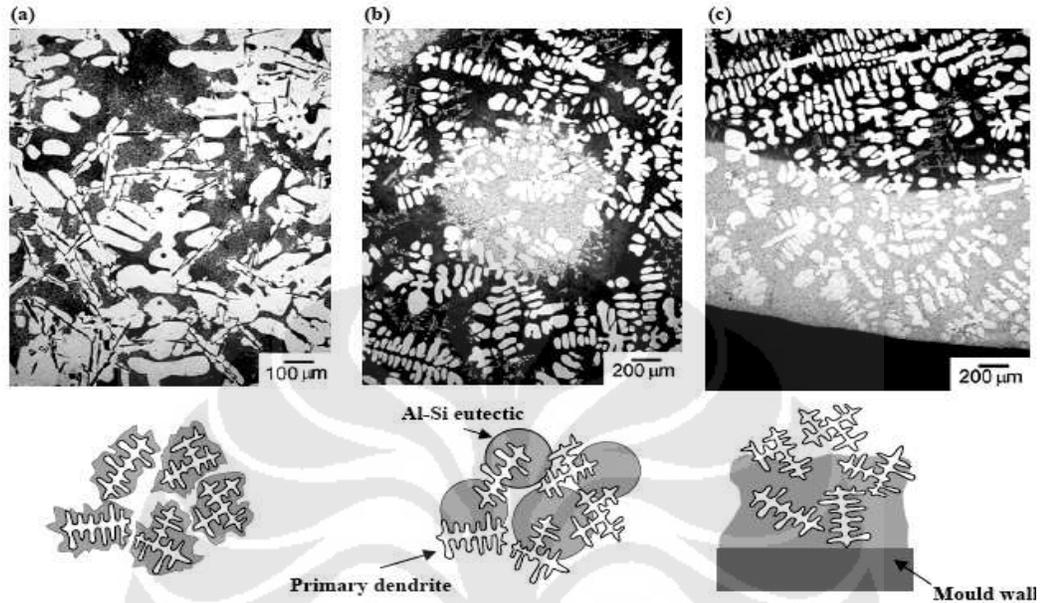
2.5.3.1 Pengaruh Unsur Sr dan Na

Pada umumnya paduan aluminium silikon eutektik memiliki lebih dari 50% struktur silikon eutektik. Sehingga, unsur-unsur seperti Sr dan Na dapat digunakan untuk memodifikasi paduan aluminium silikon eutektik ini. Hal ini dikarenakan baik Sr atau Na berfungsi untuk memodifikasi struktur dari silikon eutektik yang terdapat pada paduan aluminium silikon hipoeutektik.



Gambar 2.7 Batasan Kehadiran Silikon Eutektik dan Primer pada Paduan Aluminium Silikon^[18]

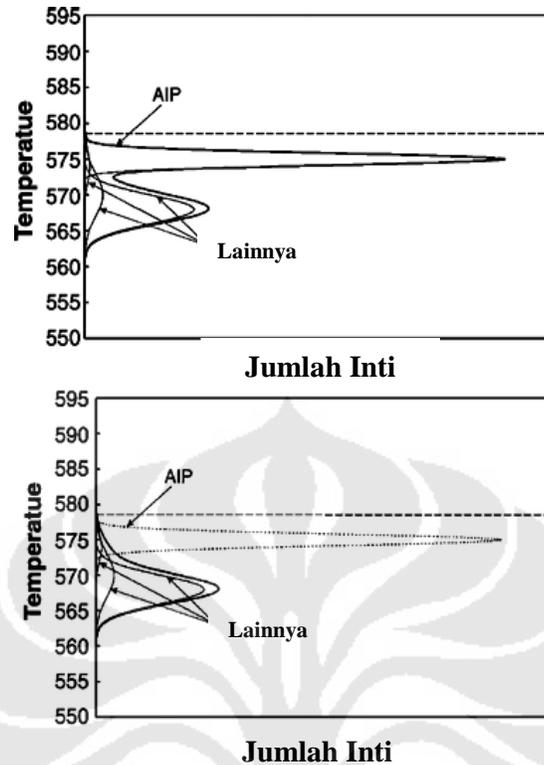
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, unsur-unsur *modifier* ini dapat mempengaruhi mekanisme pembekuan dari eutektik silikon. Perbedaan mekanisme pembekuan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.8 Tiga Mekanisme Pembekuan dari Aluminium Silikon Eutektik (a) Tanpa Modifikasi (b) Modifikasi Sr (c) Modifikasi Na^[3]

2.5.3.2 Pengaruh Unsur Fosfor

Selain dari unsur Sr dan Na, ternyata fosfor juga dapat mempengaruhi struktur dari silikon eutektik. Fosfor berperan dalam proses pengintian dari silikon eutektik tersebut. Dengan adanya fosfor, frekuensi pengintian dari silikon eutektik akan meningkat. Sama seperti pada aluminium silikon hipereutektik, pada aluminium silikon eutektik penambahan fosfor akan membentuk presipitat *aluminium phosphide* (AIP). AIP inilah yang akan berperan dalam proses pengintian pada paduan aluminium silikon. Pada gambar 2.9 terlihat bahwa dengan adanya AIP pada paduan aluminium silikon akan meningkatkan secara signifikan jumlah inti yang terbentuk.



Gambar 2.9 Jumlah Inti yang Terbentuk (a) Modifikasi Phospor (b) Tanpa Modifikasi^[19]

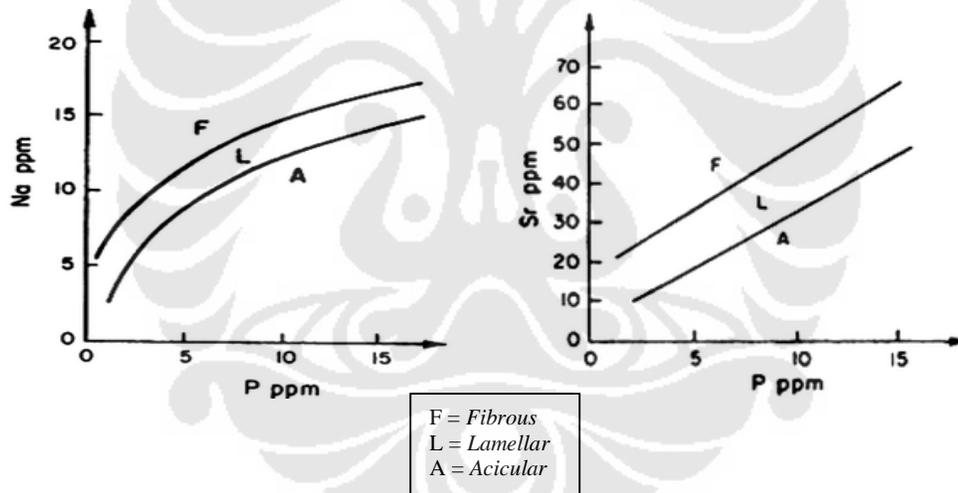
Akan tetapi, berbeda dengan paduan aluminium silikon hipereutektik. Pada aluminium silikon eutektik jumlah fosfor yang ditambahkan tidak sama dengan aluminium silikon hipereutektik. Jika pada aluminium silikon hipereutektik jumlah penambahan fosfor yang efektif berada pada rentang 0.003-0.015% maka pada aluminium silikon eutektik jumlah penambahan fosfor seharusnya berada dibawah rentang tersebut.

Berdasarkan literatur, dikatakan bahwa silikon eutektik dapat juga dimodifikasi seperti halnya pada silikon primer. Proses modifikasi tersebut dilakukan dengan penambahan secara bersama-sama dan komposisi yang tepat antara fosfor dengan sejumlah kecil stronsium dan sodium (*double refinement*)^[20].

Beberapa penelitian mengenai pengaruh penambahan fosfor juga telah dilakukan, khususnya pengaruhnya terhadap silikon eutektik. Pada penelitian yang dilakukan oleh Kim, dkk dengan judul “*Effect of Phosphorus on Modification of Eutectic Al-7Si-0.3Mg Alloy*” didapatkan hasil bahwa

penambahan stronsium pada kandungan fosfor 1.3 ppm, morfologi dari silikon eutektik yang terbentuk adalah jarum-jarum halus dan kemudian ketika kandungan fosfor meningkat hingga 17.5 ppm, silikon eutektik yang terbentuk berubah menjadi bentuk *flake-flake* yang kasar. Kemudian dari penelitian ini juga didapatkan bahwa kekuatan tarik dan elongasi mengalami penurunan seiring dengan peningkatan jumlah kandungan fosfor^[21].

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat diketahui bahwa penambahan fosfor terhadap paduan aluminium silikon eutektik sangat dipengaruhi oleh kandungan stronsium atau sodium pada paduan tersebut. Interaksi antara fosfor dengan stronsium atau fosfor dengan sodium memegang peranan penting dalam proses modifikasi dari silikon eutektik, dalam hal ini adalah morfologi dari silikon eutektik yang terbentuk. Pengaruh kandungan fosfor, stronsium dan sodium dengan morfologi struktur silikon yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 2.10.

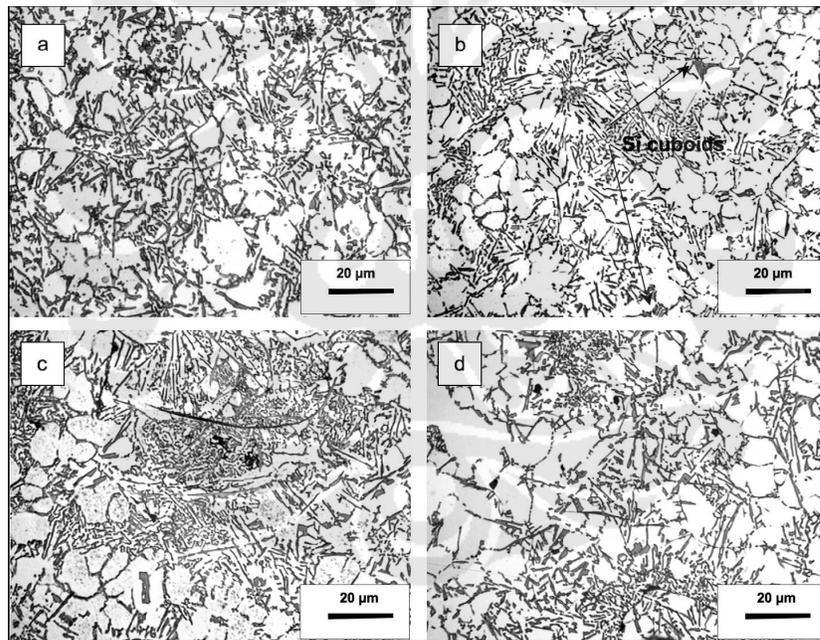


Gambar 2.10 Interaksi Antara Fosfor dengan Sodium dan Stronsium terhadap Morfologi Silikon Eutektik pada Paduan Al-7%Si (A356)^[19]

Pada gambar tersebut terlihat bahwa penambahan fosfor hanya dibatasi hingga kurang dari 1 ppm untuk mendapatkan struktur silikon eutektik yang *fibrous*. Akan tetapi, kandungan fosfor maupun stronsium dan natrium untuk membentuk struktur yang *fibrous*, *lamellar* atau *acicular* pada gambar tersebut tidak dapat dijadikan sebagai acuan. Hal ini dikarenakan, jumlah kandungan silikon pada paduan tersebut juga ikut mempengaruhi besarnya jumlah kandungan fosfor atau stronsium yang ditambahkan. Selain itu, kecepatan pembekuan dari

paduan juga ikut menentukan morfologi dari struktur silikon eutektik yang terbentuk. Dengan kata lain, jumlah penambahan fosfor yang berbeda pada paduan yang berbeda serta kondisi pengecoran yang berbeda akan menghasilkan modifikasi dari silikon eutektik yang berbeda pula.

Penelitian mengenai penambahan fosfor terhadap aluminium silikon eutektik juga telah dilakukan. Penelitian tersebut dilakukan terhadap paduan Al-12Si dengan metode *pressure die casting*, dimana penambahan fosfor dilakukan dengan beberapa variabel kandungan fosfor yang berbeda, yaitu 10 ppm, 30 ppm dan tanpa penambahan fosfor. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil berupa foto mikrostruktur dari setiap variabel penambahan fosfor. Foto struktur mikro tersebut dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Hasil Foto Struktur Mikro pada Penelitian “*Microstructural Effects of Phosphorus on Pressure Die Cast Al-12Si Components*”^[22]

Dari hasil penelitian tersebut, terlihat adanya perubahan pada silikon eutektik dari hasil penambahan fosfor yang berbeda. Gambar (a) merupakan foto Struktur Mikro Al-12Si *pressure die casting* tanpa kandungan fosfor, gambar (b) dengan 10 ppm kandungan fosfor (c) dengan penambahan 30 ppm *red phosphorus* dan gambar (d) dengan penambahan 30 ppm fosfor dalam bentuk paduan AlFeP^[22].

Dari foto struktur mikro tersebut dapat dianalisa bahwa kandungan fosfor yang semakin meningkat dapat mempengaruhi ukuran dan bentuk dari silikon eutektik. Pada gambar 2.11 (gambar b dan c) penambahan fosfor dari 10 ppm ke 30 ppm terlihat adanya peningkatan nukleasi dari silikon eutektik. Hal ini ditunjukkan dengan bentuk silikon eutektik yang terbentuk menjadi lebih halus.

2.5.4 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Modifikasi pada Struktur Mikro

Perubahan struktur mikro akibat penambahan *modifier* dapat bervariasi dari bentuk *acicular* hingga *fibrous* silikon, bahkan dengan penambahan sodium ataupun stronsium yang tidak tepat akan didapatkan struktur campuran.

Lima variabel yang menentukan jenis struktur mikro akhir dari paduan Al-Si yang akan terbentuk adalah ^[2]:

1. Tipe *modifier* yang digunakan

Baik sodium dan stronsium mempunyai kemampuan untuk menghasilkan struktur mikro yang halus. Namun, sodium memiliki kemampuan yang lebih baik dalam modifikasi struktur karena sodium menghasilkan struktur modifikasi yang lebih seragam pada konsentrasi yang lebih rendah daripada stronsium.

2. Kehadiran pengotor pada logam cair

Kehadiran *impurities* pada logam cair dapat mempengaruhi kemampuan modifikasi suatu struktur. Contoh *impurities* tersebut adalah fosfor. Dimana kehadiran fosfor membuat proses modifikasi semakin sulit (pada aluminium silikon hipoeutektik), dan paduan yang memiliki kandungan fosfor lebih sedikit secara otomatis akan lebih mudah untuk dimodifikasi.

3. Laju pendinginan

Kecepatan pendinginan yang tinggi akan membantu proses modifikasi, sehingga jumlah *modifier* yang digunakan untuk *permanent mold casting* akan lebih sedikit daripada yang digunakan pada *heavy section sand casting*. Modifikasi umumnya jarang digunakan pada *die casting* karena pada *die casting* proses pembekuannya yang sangat cepat sehingga menghasilkan struktur yang sudah cukup halus. Berdasarkan penelitian, dengan

menggunakan *modifier* strontium dengan kadar 0.02% - 0.03% pada paduan 380.0 akan menghasilkan struktur mikro yang lebih halus lagi yang berarti terjadi perbaikan pada sifat mekanis.

4. Jumlah *modifier* yang digunakan

Pada umumnya, *modifier* dengan konsentrasi yang lebih tinggi akan menghasilkan struktur mikro yang lebih baik. Apabila terlalu tinggi, maka akan menyebabkan terjadinya overmodifikasi.

5. Kandungan silikon pada paduan

Semakin besar konsentrasi silikon, maka semakin banyak *modifier* yang harus ditambahkan untuk menghasilkan modifikasi yang sempurna.

2.5.5 Overmodifikasi

Jumlah *modifier* dengan kadar yang lebih tinggi dari yang dibutuhkan untuk menghasilkan struktur mikro yang baik dapat menghasilkan efek yang buruk terhadap *properties* dari paduan^[2].

Overmodifikasi pada sodium dapat terjadi apabila konsentrasi sodium melewati batas 0.018% - 0.020%. Pada konsentrasi tersebut, maka akan terjadi penolakan terhadap sodium di depan *solidifying interface*. Kemudian terbentuk senyawa AlSiNa, dan hal ini menyebabkan tumbuhnya silikon primer kasar. Setelah itu, terjadi proses nukleasi dan pertumbuhan aluminium yang menyelimuti silikon kasar dan menghasilkan overmodifikasi pada produk akhir^[2].

Dua fenomena yang berbeda terjadi pada overmodifikasi stronsium. Salah satunya adalah pengkasaran partikel silikon dan perubahan bentuk dari silikon bulat yang halus ke bentuk jarum yang saling berhubungan. Hal lain yang terjadi ketika overmodifikasi stronsium adalah kehadiran stronsium yang mengandung fasa intermetalik pada struktur mikro, seperti partikel AlSrSi₂.

Selain pada stronsium dan sodium, fenomena overmodifikasi juga terjadi pada modifikasi fosfor. Berdasarkan literatur, jumlah penambahan fosfor yang berlebih pada paduan Al-22%Si akan membuat ukuran silikon primer kembali menjadi besar. Overmodifikasi pada fosfor sering disebut sebagai *over refinement*^[2].