

**PENGARUH UNSUR BESI DAN STRONSIUM
TERHADAP PEMBENTUKAN FASA
INTERMETALIK α -Al₈Fe₂Si DAN β -Al₅FeSi PADA
PADUAN ALUMINIUM SILIKON EUTEKTIK**

SKRIPSI

Oleh

ABDUL SYAKUR

04 04 04 0011



**DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**PENGARUH UNSUR BESI DAN STRONSIUM
TERHADAP PEMBENTUKAN FASA
INTERMETALIK α -Al₈Fe₂Si DAN β -Al₅FeSi PADA
PADUANALUMINIUM SILIKON EUTEKTIK**

SKRIPSI

Oleh

ABDUL SYAKUR

04 04 04 0011



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN METALURGI DAN MATERIAL
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

GENAP 2007/2008

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul :

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR BESI DAN STRONSIUM
TERHADAP PEMBENTUKAN FASA INTERMETALIK α -Al₃Fe₂Si DAN
 β -Al₃FeSi PADA PADUAN ALUMINIUM SILIKON EUTEKTIK**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 17 Juli 2008

Abdul Syakur

NPM 04 04 04 0011h

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul :

**PENGARUH PENAMBAHAN UNSUR BESI DAN STRONSIUM
TERHADAP PEMBENTUKAN FASA INTERMETALIK α -Al₃Fe₂Si DAN
 β -Al₃FeSi PADA PADUAN ALUMINIUM SILIKON EUTEKTIK**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 11 Juli 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 17 Juli 2008

Dosen Pembimbing

Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno

NIP. 131 845 374

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Kedua Orang Tua dan Adik

atas perhatian, kasih sayang, dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis.

Dr.-Ing. Bambang Suharno

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ii
PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
ABSTRAK	v
ABSTACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG PENELITIAN	2
1.2 TUJUAN PENELITIAN	2
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN	2
1.3.1 Material	3
1.3.2 Parameter Penelitian	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 ALUMUNIUM	4
2.1.1 Sifat fisik dan mekanik Alumunium	4
2.1.2 Pengelompokan Komposisi Alumunium	7
2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan Alumunium	7
2.1.3.1 Besi (Fe)	7
2.1.3.2 Silicon (Si)	8
2.1.3.3 Strontium (Sr)	9
2.1.4 Proses Pembekuan dan Pembentukan Fasa pada Alumunium	9
2.1.5 Pengaruh Struktur Mikro terhadap Sifat Mekanis Alumunium	11

2.2	PADUAN ALUMUNIUM SILIKON	12
	2.2.1 Pengaturan fasa silikon	12
	2.2.3 Refinement primary silicon	13
2.3	PADUAN ALUMUNIUM BESI SILIKON (Al-Fe-Si)	14
	2.3.1 Sumber Fe dalam Aluminium	14
	2.3.2 Fasa Intermetalik	15
	2.3.2.1 Fasa Intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi	18
	2.3.2.2 Keberadaan Fasa β -AlFeSi terhadap Sifat Mekanik Aluminium	21
	2.3.2.3 Tahapan Pembentukan Fasa Intermetalik selama Proses Casting	24
2.4	MODIFIKASI	25
	2.4.1 Modifikasi aluminium-silikon eutektik	25
	2.4.1.1 Tahapan Modifikasi Struktur Silikon oleh Sr	26
	2.4.1.2 Modifier Na vs Sr pada Struktur Silikon	27
	2.4.1.3 Overmodifikasi Struktur Silikon	30
	2.4.2 Modifikasi terhadap fasa intermetalik Fe	31
	2.4.2.1 Modifikasi Stronsium	31
	2.4.2.2 Rapid Solidification	37
	2.4.2.3 Penambahan Unsur-unsur Netral	39
	2.4.2.4 Grain Refining	41
	2.4.2.5 Melt Superheating	42
	2.4.2.6 Non-equilibrium Heat Treatment	43
	BAB III METODOLOGI PENELITIAN	44
3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN	45
3.2	PERALATAN DAN BAHAN	46
	3.2.1 Peralatan	46
	3.2.2 Bahan	46
3.3	PROSEDUR PENELITIAN	47
	3.3.1 Pengujian Komposisi Kimia Al-11%Si	47
	3.3.2 Persiapan Penelitian	47
	3.3.2.1 Perhitungan Material Balance	47

3.3.2.2	<i>Persiapan Alat dan Bahan</i>	48
3.3.3	Proses Peleburan	50
3.3.4	Proses Fluxing	51
3.3.5	Penambahan Unsur Fe	51
3.3.7	Penambahan Modifier Stronsium	52
3.3.8	Pengujian Komposisi Kimia	52
3.3.9	Pengambilan Sampel	53
3.3.10	Pengamatan Struktur Mikro dengan SEM dan EDS	54
3.3.10.1	<i>Preparasi Sampel</i>	54
3.3.10.2	<i>Pengamatan Struktur Mikro menggunakan SEM</i>	56
3.3.10.3	<i>Perhitungan Panjang Maksimal Fasa Intermetalik</i>	57
3.3.10.4	<i>Perhitungan Fraksi Area Fasa Intermetalik</i>	57
3.3.11	Identifikasi Senyawa dengan XRD	58
BAB IV	HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	60
4.1	ANALISA KOPOSISI KIMIA INGOT Al-11Si	60
4.1.1	Komposisi Kimia Ingot Al-11%Si	60
4.1.2	Komposisi Kimia Paduan Al-11%Si + Fe + Sr	62
4.2	PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO	62
4.2.1	Pengamatan Mikrograf Silikon	63
4.2.2	Pengamatan Mikrograf Intermetalik Fe	65
4.2.2.1	<i>Fraksi area fasa intermetalik</i>	65
4.2.2.2	<i>Panjang maksimal fasa intermetalik</i>	70
4.3	KOSENTRASI FASA INTERMETALIK	74
4.3.1	Pengaruh Penambahan Modifier Sr terhadap Kosentrasi Fasa Intermetalik	74
4.3.3	Pengaruh Penambahan Unsur Pengotor Fe terhadap Kosentrasi Fasa Intermetalik	77
4.4	KORELASI ANTARA PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DENGAN NILAI FLUIDITAS	80
BAB V	KESIMPULAN	82

DAFTAR ACUAN
LAMPIRAN

84
88



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 2.1	Pengaruh Penambahan Fe terhadap Nilai Fluiditas Paduan 413 yang dimodifikasi dengan Mn dan tidak dimodifikasi. ^[6]	8
Gambar 2.2	Pengaruh Si terhadap Alumunium. ^[4]	8
Gambar 2.3	Kurva pendinginan pada paduan alumunium 356 ^[2]	9
Gambar 2.4	Model geometri pembentukan sel dendrit ^[7]	10
Gambar 2.5	Penebalan dinding sel dendrit ^[7]	10
Gambar 2.6	Pembentukan fasa intermetalik yang tersebar dalam <i>liquid</i> yang tertutup ^[7]	10
Gambar 2.7	Presipitasi struktur eutektik Al-Si saat <i>undercooling</i> ^[7]	10
Gambar 2.8	Diagram Fasa Biner Alumunium-Silikon ^[4]	13
Gambar 2.9	Partikel silikon paduan 390 (~15% Si), <i>unetched</i> , 56X ^[2]	14
Gambar 2.10	Partikel silikon paduan 390 (~15% Si) setelah penambahan 0,03% P, <i>unetched</i> , 56X ^[2]	14
Gambar 2.11	Diagram fasa kesetimbangan Al-Fe ^[1]	15
Gambar 2.12	Diagram Fasa ternary AlFeSi dengan beberapa fasa intermetalik yang terdeteksi hasil pengujian menggunakan XRD ^[8]	16
Gambar 2.13	Hasil foto mikro dari beberapa morfologi fasa intermetalik yang mengandung Fe pada paduan Al-5%Si-1%Cu-0,5%Mg-(Fe): (a) platelets β -Al ₅ FeSi; (b) script α -Al ₈ Fe ₂ Si; (c) fasa π yang tumbuh dari β ;	17

	(d) script fasa π ^[1]	
Gambar 2.14	<i>Deepetches</i> partikel α -AlFeSi pada 99,95% Al, 0,5%Fe dan 0,2%Si (kecepatan pendinginan antara 2 K/s dan 11 K/s) dan Gambar TEM yang menunjukkan “ <i>chinese script</i> ” ^{[8][13]}	19
Gambar 2.15	<i>Deepetches</i> β -AlFeSi pada paduan aluminium 1% Si and 0.5% Fe ^[8]	19
Gambar 2.16	Rekonstruksi 3 dimensi dari fasa α -Al ₁₅ (Fe,Mn) ₃ Si ₂ . ^[14]	20
Gambar 2.17	Rekonstruksi 3-dimensi fasa β -Al ₅ FeSi. ^[14]	20
Gambar 2.18	Hasil pengamatan SEM menunjukkan β -Al ₅ FeSi berbentuk <i>plate like</i> dan α -Al ₈ Fe ₂ Si berbentuk <i>chinese script</i> ^[15] . Baik fasa α dan β terdapat dalam satu paduan. Juga terdapat fasa Si pada paduan tersebut. Kosentrasi paduan ini 0.707 wt% Fe - 0.770 wt% Si - 0.038 wt% Cu - 0.006 wt% Mn ^[8]	20
Gambar 2.19	Struktur mikro paduan 319 (a) fasa α dan (b) fasa β ^[16]	21
Gambar 2.20	Struktur mikro dari paduan 6XXX (a) fasa α dan (b) fasa β (hasil pengerjaan) ^[16]	21
Gambar 2.21	Pengaruh panjang maksimum fasa β -AlFeSi terhadap sifat mekanik paduan A356.2. ^[20]	22
Gambar 2.22a	Keberadaan fasa β -AlFeSi terhadap kadar iron ^[21]	23
Gambar 2.22b	Keberadaan fasa β -AlFeSi terhadap kadar silikon ^[21]	23
Gambar 2.23	Bagian diagram Aluminium-iron-silikon pada 0,7% Fe ^[8]	24
Gambar 2.24	Skema pembentukan fasa intermetalik selama proses solidifikasi ^[11]	25
Gambar 2.25	Hasil SEM kristal silikon pada paduan 356 yang tidak dimodifikasi setelah <i>deep etching</i> : a) 100X; b) 1000X. ^[2]	26
Gambar 2.26	Hasil SEM kristal silikon pada paduan 356 yang	26

	dimodifikasi setelah <i>deep etching</i> , bentuk morfologi seperti ganggang laut: a) 100X; b) 1000X. ^[2]	
Gambar 2.27	Skema karakterisasi dari tiga tahapan proses spheroidisasi dan pengkasaran fasa silikon. ^[22]	27
Gambar 2.28	Keefektifan modifier sodium dan stronsium terhadap waktu ^[5]	27
Gambar 2.29	Kurva pendinginan dan gambar mikro (220X) pada paduan dengan 9% Si: (1) setelah dimodifikasi sodium dengan tingkat yang cukup. (2-4) setelah peleburan kembali sampai tiga kali ^[2]	28
Gambar 2.30	Bagian dari kurva pendinginan dari paduan 356 yang ditambahkan 0,005% Sr. Gambar mikro ditampilkan pada perbesaran 560X ^[2]	29
Gambar 2.31	Sama seperti Gambar 2.35 namun dengan penambahan 0,02% Sr, perbesaran 560X ^[2]	29
Gambar 2.32	Sampel dengan kadar 0,05% Sr menunjukkan terbentuknya partikel Al_2Si_2Sr , yang tidak berkontribusi kepada pengaruh modifikasi, perbesaran 560X ^[2]	30
Gambar 2.33	Variasi yield strength paduan A356 terhadap waktu artificial aging. ^[25]	31
Gambar 2.34	Pengaruh stronsium dan waktu homogenisasi terhadap kekasaran permukaan paduan 6061 ^[29]	33
Gambar 2.35	Lapisan kaya silikon yang mengelilingi fasa α -AlFeSi pada kehadiran stronsium ^[31]	34
Gambar 2.36	diagram aluminum rich corner fasa Al-Fe-Si yang menjelaskan pengaruh penambahan modifier Sr dan kecepatan pendinginan terhadap perluasan area fasa α -AlFeSi ^[11]	35
Gambar 2.37	Skema ilustrasi terdekomposisinya fasa β platelets pada paduan Al-Fe-Si yang dimodifikasi Sr (rasio Fe/Si<1): (a) under modification, (b) full	36

	modification, dan (c) overmodification. ^[32]	
Gambar 2.38	Overmodifikasi yang membentuk fasa intermetalik Sr	36
gambar 2.39	Scanning Electron Micrograph morfologi fasa β platelets pada paduan Al-7%Si-0,8%Fe (a) tanpa modifikasi Sr dan (b) dengan modifikasi 250 ppm. ^[32]	37
Gambar 2.40	Jenis intermetalik yang terbentuk berdasarkan kecepatan pendinginan dan kadar Fe pada paduan Alumunium 6063 ^[8]	38
Gambar 2.41	Diagram fasa sistem Al-Fe-Si pada tingkat kadar mangan (Mn) yang konstan (a) 0%; (b) 0,1%; (c) 0,2%; dan (d) 0,3%. ^[16]	39
Gambar 2.42	Variasi dari rata-rata ukuran butir pada produk hasil coran dengan konsentrasi titanium dan sebagai fungsi parameter ^[44]	41
Gambar 2.43	Pengaruh temperatur superheating dan kadar Fe terhadap bentuk fasa intermetalik Fe pada: (a) paduan Al-6%Si-Fe, (b) paduan Al-11%Si-Fe ^[34]	42
Gambar 2.44	Pengaruh kadar magnesium terhadap bentuk fasa intermetalik Fe pada paduan Al-6% Si-Mg-0,4% Fe ^[34]	42
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	45
Gambar 3.2	Pembersihan peralatan menggunakan sikat kawat	49
Gambar 3.3	Pelapisan peralatan menggunakan material coating	49
Gambar 3.4	Peralatan uji fluiditas metode <i>vacuum suction test</i>	50
Gambar 3.5	Proses peleburan	51
Gambar 3.6	Proses <i>fluxing</i>	51
Gambar 3.7	Master alloy Al-80%Fe yang telah digerus dan siap dibungkus alumunium foil	52
Gambar 3.8	Master alloy Al-80%Fe yang siap ditambahkan kedalam alumunium cair	52
Gambar 3.9	Batangan master alloy Al-10%Sr yang telah diberi	52

tanda dan siap ditambahkan kedalam alumunium cair(atas); Batangan master alloy Al-10% Sr setelah ditambahkan kedalam alumunium cair(bawah).

Gambar 3.10	Sampel setelah dilakukan <i>mounting</i>	54
Gambar 3.11	Mesin Amplas	55
Gambar 3.12	Proses Pengamplasan	55
Gambar 3.13	Mesin Poles	56
Gambar 3.14	Proses Pemolesan	56
Gambar 3.15	Perhitungan fraksi fasa Intermetalik menggunakan software PICSARA	58
Gambar 3.16	Peralatan <i>X-ray Diffraction</i>	58
Gambar 3.17	Hasil output data pengujian menggunakan XRD	59
Gambar 4.1	Identifikasi fasa berdasarkan data EDS pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe + 0,030% Sr.	62
Gambar 4.2	Struktur silikon paduan Al-11%Si yang ditambahkan 1% Fe pada tingkat modifikasi: (a) 0% Sr; (b) 0,015% Sr; (c) 0,030% Sr; dan (d) 0,045% Sr. (perbesaran 1000X)	64
Gambar 4.3	Perhitungan fraksi area intermetalik Al-11%Si + 1% Fe + 0,045% Sr pada perbesaran 1000X menggunakan perangkat lunak <i>PICSARA</i> .	66
Gambar 4.4	Grafik fraksi fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11wt%Si	67
Gambar 4.5	Pengukuran panjang maksimal fasa intermetalik pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe + 0,030% Sr	70
Gambar 4.6	Grafik pengukuran panjang maksimal fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11wt%Si	71
Gambar 4.7	Data hasil Pengujian XRD pada paduan Al-11wt%Si dengan penambahan 0,6% Fe dan 0,015% Sr	74
Gambar 4.8	Identifikasi nilai kosentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Sr pada paduan Al-	76

11%Si + 0,6% Fe serta gambar hasil pengamatan struktur mikronya

- Gambar 4.9** Identifikasi kosentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Fe pada paduan Al-11%Si + 0,015% Sr serta hasil gambar hasil pengamatan struktur mikronya 78
- Gambar 4.10** Nilai mampu alir pada paduan Al-11%Si dengan paduan Fe dan Sr pada superheat 720°C.^[3] 80
- Gambar 4.11** Mekanisme terhambatnya aliran logam karena fasa intermetalik yang telah membeku pada ujung aliran.^[3] 81



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1	Karakteristik aluminium dan paduannya secara umum 5
Tabel 2.2	Reaksi yang terjadi selama proses pembekuan. ^[2] 9
Tabel 2.3	Beberapa fasa intermetalik pada paduan Al-Si dengan komposisi kimianya. ^[9] 17
Tabel 2.4	Beberapa jenis fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi. ^[13] 18
Tabel 2.5	Beberapa sifat mekanis pada paduan aluminium yang dimodifikasi dan tidak dimodifikasi. ^[5] 34
Tabel 3.1	Perhitungan stronsium (Sr) yang ditambahkan melalui master alloy Al-10%Sr dengan efisiensi 80% 47
Tabel 3.2	Perhitungan besi (Fe) yang ditambahkan melalui master alloy Al-80%Fe dengan efisiensi 80% 47
Tabel 3.3	Material balance percobaan yang dilakukan 48
Tabel 4.1	Komposisi kimia pada ingot Al-11wt%Si 61
Tabel 4.2	Komposisi kimia pada ingot Al-11wt%Si+0,8% Fe+0,045% Sr 61
Tabel 4.3	Komposisi kimia pada ingot Al-11wt%Si+1% Fe+0,015% Sr 61
Tabel 4.4	Data hasil perhitungan fraksi fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11wt%Si menggunakan <i>PICSARA</i> 66
Tabel 4.5	Data hasil pengukuran panjang maksimal fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11wt%Si 70
Tabel 4.6	Data hasil pengolahan data menggunakan PowderX pada paduan Al-11wt%Si + 0,6% Fe + 0,015% Sr 75

Table 4.7	Identifikasi nilai kosentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Sr pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe	75
Table 4.8	Identifikasi nilai kosentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Fe pada paduan Al-11%Si + 0,015% Sr	78

