

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 UMUM

Pada paduan Al-Si, fasa intermetalik yang paling sering terbentuk selama proses pembekuan adalah fasa  $\alpha$ -AlFeSi dan  $\beta$ -AlFeSi. Pembentukan salah satu atau kedua senyawa fasa intermetalik tersebut sangat bergantung kepada komposisi paduan dan kecepatan pendinginan. Fasa  $\beta$ -AlFeSi morfologinya berbentuk jarum – jarum dan mempunyai efek negatif yang lebih besar terhadap sifat mekanis maupun sifat mampu cor (*castability*) apabila dibandingkan dengan fasa  $\alpha$ -AlFeSi karena fasa  $\alpha$ -AlFeSi morfologinya berbentuk *chinese script* dan lebih kompak.

Dengan meningkatnya kadar Fe maka ukuran partikel maupun fraksi volume intermetalik dapat meningkat. Selain itu, seperti diketahui bersama bahwa dengan penambahan unsur *modifier* seperti Sr dapat mengubah kristalisasi fasa intermetalik menjadi *chinese script* dimana dapat meningkatkan sifat mekanisnya.

Reaksi kunci mekanisme pembentukan intermetalik AlFeSi pada paduan aluminium adalah sebagai berikut:



Reaksi tersebut terjadi pada temperatur sekitar 612 °C. Fasa  $\alpha$ -AlFeSi terbentuk secara langsung pada saat fasa *liquid*. Akan tetapi pada temperatur peritektik, fasa  $\alpha$ -AlFeSi tersebut berubah menjadi fasa beta.

Mekanisme unsur stronsium dalam mengubah morfologi fasa  $\beta$ -AlFeSi tersebut adalah sebagai berikut. Stronsium mampu membuat lapisan tipis pada antar muka (*interface*) sekeliling fasa  $\alpha$ -AlFeSi yang menghalangi silikon dari Al matriks berdifusi masuk ke dalam fasa  $\alpha$ -AlFeSi. Dengan proses ini maka dapat mengurangi fasa  $\beta$ -AlFeSi yang terdapat dalam mikrostruktur.

Pada penelitian ini menggunakan bahan utama berupa *master alloy* paduan hipoeutektik aluminium-silikon yaitu Al-7wt%Si dan temperatur yang digunakan adalah 720°C. Pada masing – masing sampel akan ditambahkan Fe dan Sr dengan variasi penambahan Fe sebesar 1.2, 1.4, 1.6 wt%, dan variasi penambahan Sr sebesar 0.015%, 0.03%, dan 0.045 wt%. Dengan melakukan penelitian tersebut maka diharapkan dapat diketahui pengaruh penambahan Fe dan Sr baik terhadap morfologi mikrostruktur maupun jenis serta kuantitas fasa intermetalik yang terbentuk.

## 4.2 KARAKTERISTIK PADUAN Al-7Si

Untuk memastikan bahwa komposisi ingot maupun masing – masing sampel telah sesuai dengan yang diharapkan maka dilakukan pengujian komposisi kimia yang menggunakan spektrometer. Data komposisi masing – masing sampel tersebut terdapat pada tabel – tabel 4.1 dan 4.2.

### 4.2.1 Analisa Komposisi Ingot (*Raw Material*)

Tabel 4. 1 Komposisi kimia Master Alloy Al-7wt%Si

	Al	Si	Fe	Cu	Mg
1	92.777	7.0059	0.1309	0.0501	0.0011
2	92.828	6.9611	0.1297	0.0501	0.0011
3	92.656	7.1232	0.1336	0.0501	0.0011
<b>Ave</b>	<b>92.754</b>	<b>7.0301</b>	<b>0.1314</b>	<b>0.0501</b>	<b>0.0011</b>

	Cr	Ti	Sn	Pb	Ca	Pb
1	0.0015	0.01	0.0087	0.0129	0.0012	0.0003
2	0.0015	0.0094	0.0077	0.0103	0.0012	0
3	0.0015	0.0099	0.0095	0.0136	0.0012	0.0002
<b>Ave</b>	<b>0.0015</b>	<b>0.0098</b>	<b>0.0086</b>	<b>0.0123</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.0002</b>

Dari data hasil spektrometer diatas terlihat bahwa komposisi yang dihasilkan cukup sesuai dengan yang diharapkan atau dapat disimpulkan bahwa ingot yang digunakan dalam penelitian ini relatif murni Al-7wt%Si, walaupun dari data tersebut terlihat kadar Fe yang mencapai 0.13%. Akan tetapi terdapatnya sejumlah Fe tersebut masih dapat ditolerir, karena efek negatif Fe akan muncul hanya ketika konsentrasi beratnya mencapai 1.3 % atau lebih<sup>[10]</sup>.

Munculnya Fe tersebut dapat dimaklumi mengingat Fe merupakan pengotor alami yang timbul selama proses manufaktur alumunium pada proses *Bayer* yang mengubah bauksit (bijih alumunium) menjadi alumina maupun pada proses *Hall-Hérout Electrolytic Reduction* yang mengubah alumina menjadi alumunium cair ( $>900^{\circ}\text{C}$ ) dengan konsumsi listrik dan karbon<sup>[6]</sup>. Selain itu, unsur Fe dapat masuk ke dalam alumunium diantaranya melalui proses peleburan yaitu karena adanya *tool* dan *furnace* yang tidak terproteksi, sehingga dalam waktu yang lama Fe dapat terlarut<sup>[6]</sup>.

#### 4.2.2 Analisa Komposisi Material Hasil Modifikasi

Pada saat melakukan pengecoran, sebelum sampel kita ambil menggunakan alat uji fluiditas terlebih dahulu dilakukan pengujian komposisi menggunakan spektrometer yang bertujuan untuk memastikan apakah komposisi sampel yang dihasilkan sudah sesuai dengan perhitungan *material balance*. Akan tetapi pada penelitian ini hanya dilakukan pengujian komposisi pada satu sampel, mengingat hanya dilakukan pengecoran untuk satu sampel yaitu pada komposisi Al-7wt%Si + 1.4 wt% Fe + 0.015 wt% Sr. Sampel lainnya yang kita pakai menggunakan sampel pengecoran pada penelitian sebelumnya. Dari tabel 4.2 terlihat bahwa sampel tersebut sudah sesuai dengan perhitungan *material balance* yang dihitung sehingga sampel tersebut dapat dilakukan pengujian selanjutnya. Komposisi kimia sampel lain yang menggunakan sampel pada penelitian sebelumnya terdapat pada lampiran.

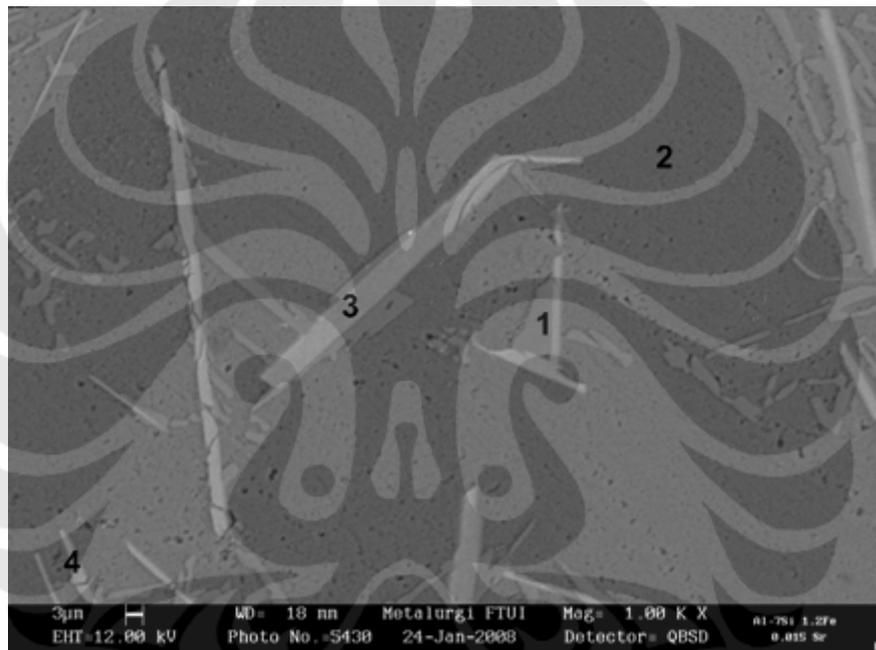
**Tabel 4. 2** Komposisi kimia Al-7wt%Si + 1.4 wt% Fe + 0.015 wt% Sr

	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Cr
1	91.643	7.0059	1.412	0.000<	0.0011	0.0015
2	91.502	6.9611	1.407	0.000<	0.0011	0.0015
3	91.538	7.0032	1.411	0.000<	0.0011	0.0015
<b>Ave</b>	<b>91.561</b>	<b>6.99007</b>	<b>1.41</b>	<b>0.000&lt;</b>	<b>0.0011</b>	<b>0.0015</b>
	Ti	Sn	Pb	Sr	Ca	Pb
1	0.01	0.0087	0.00042	0.016	0.0012	0.0003
2	0.0094	0.0077	0.00042	0.017	0.0012	0
3	0.0099	0.0095	0.00042	0.014	0.0012	0.0002
<b>Ave</b>	<b>0.00977</b>	<b>0.00863</b>	<b>0.00042</b>	<b>0.01567</b>	<b>0.0012</b>	<b>0.00017</b>

### 4.3 HASIL SEM DAN EDS

Pengujian morfologi mikrostruktur paduan Al-Si ini menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dengan perbesaran 500X, 1000X, dan 2000X. Setelah mendapatkan gambar mikrostrukturnya maka kita dapat mencari fraksi fasa intermetalik dengan menggunakan perangkat lunak Picasa®.

Dengan melakukan pengujian ini maka dapat ditentukan hubungan antara konsentrasi Fe dan Sr terhadap morfologi mikrostruktur intermetalik dan jumlah (fraksi intermetalik) yang terbentuk.

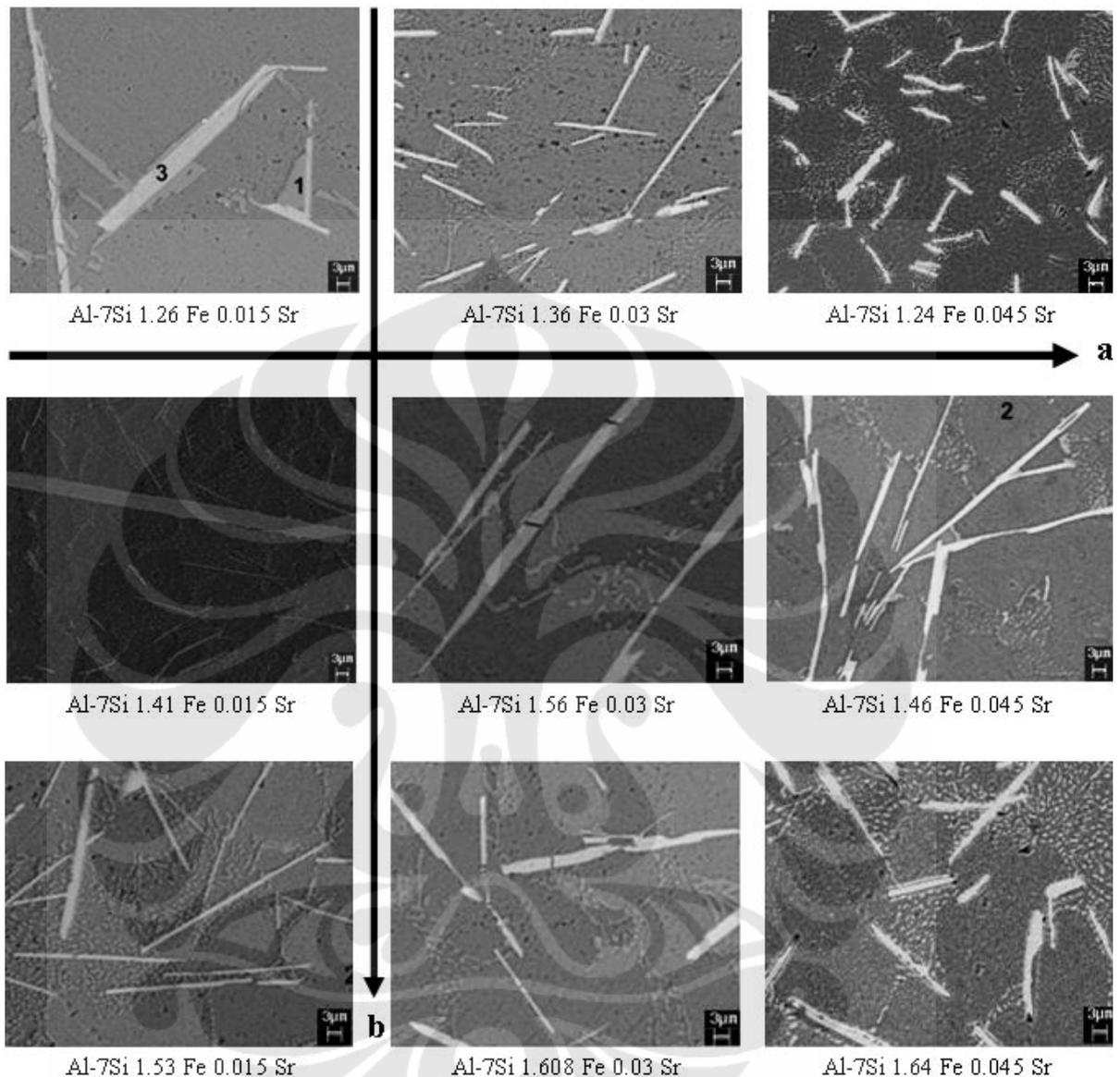


**Gambar 4. 1** Foto SEM struktur mikro sampel Al-7%Si + 1.26 wt% Fe + 0.015 wt% Sr pada temperatur 720°C, etsa 0.5% HF dengan perbesaran 1000×

**Tabel 4. 3** Hasil Pengujian EDS Pada Komposisi Al-7%Si + 1.2 wt% Fe + 0.015 wt% Sr (720°C)

No	Komposisi (wt%)			Warna	Indikasi Fasa yang Terbentuk
	Al	Si	Fe		
1	6.21	93.79	-	Abu-abu muda	Si eutektik
2	98.73	1.27	-	Abu-abu	Matrik Al
3	60.02	11.93	28.05	Putih	AlFeSi
4	76.22	6.68	17.10	Putih	AlFeSi

### 4.3.1 Analisa Mikrostruktur

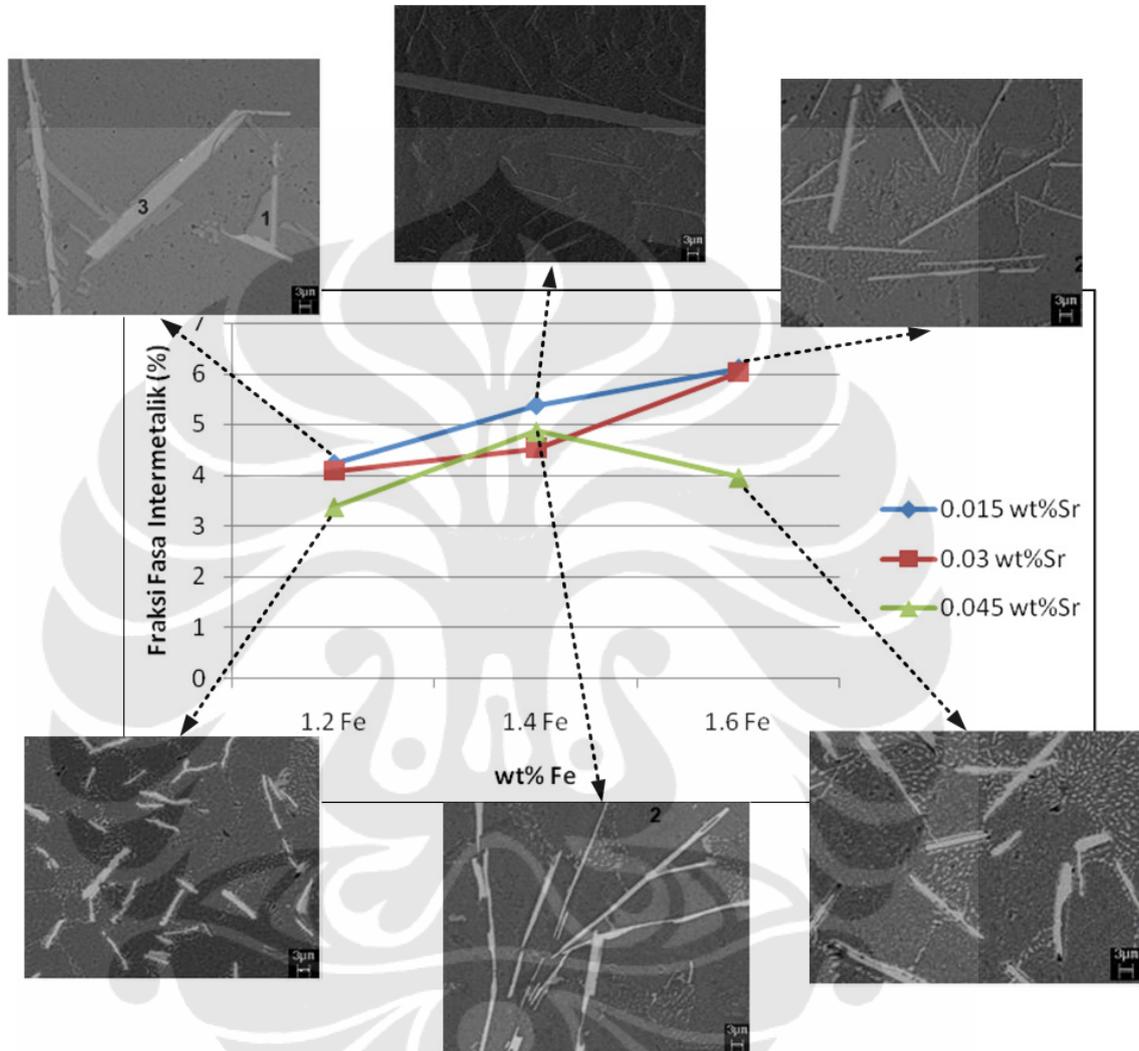


**Gambar 4.2** Perbandingan foto SEM sesuai panah; (a) penambahan kadar Sr; (b) penambahan kadar Fe dengan perbesaran 1000X

#### 4.3.1.1 Pengaruh Penambahan Fe terhadap Mikrostruktur Paduan Al-7wt%Si

Pada bagian ini akan dijelaskan pengaruh penambahan konsentrasi Fe terhadap morfologi mikrostruktur dan dengan konsentrasi Sr yang tetap (pada gambar 4.2 ditunjukkan dengan panah **b**). Pada gambar tersebut terlihat bahwa seiring dengan penambahan Fe yang semakin besar maka dapat menghasilkan mikrostruktur dengan morfologi intermetalik yang relatif semakin banyak dan besar. Jika melihat bentuk morfologi mikrostruktur dari gambar 4.2 tersebut maka dapat diduga bahwa jenis fasa intermetalik yang terbentuk adalah fasa  $\beta$ -AlFeSi,

mengingat hampir semua fasa intermetalik dalam gambar tersebut berbentuk jarum – jarum.



**Gambar 4.3** Pengaruh penambahan Fe terhadap fraksi fasa intermetalik yang terbentuk

Selain itu apabila melihat hasil perhitungan persen fasa intermetalik yang menggunakan perangkat lunak Picasara<sup>®</sup> seperti yang terlihat pada gambar 4.3, maka terlihat adanya kecenderungan bahwa dengan meningkatnya konsentrasi Fe ini maka persen fraksi intermetalik juga relatif meningkat, kecuali yang terjadi pada konsentrasi 0.045 wt% Sr. Anomali hasil yang terjadi pada konsentrasi 0.045 wt% Sr ini disebabkan oleh fenomena overmodifikasi. M. Andito menjelaskan bahwa pada konsentrasi 1.4% Fe, penambahan 0.03% Sr sudah cukup untuk memodifikasi silikon primer menjadi lebih bulat dan

mengubah fasa intermetalik yang sebelumnya berbentuk jarum – jarum panjang menjadi lebih pendek, sehingga pada konsentrasi 1.4 wt% Fe dengan 0.045 % Sr kemungkinan besar paduan tersebut mengalami overmodifikasi<sup>[6]</sup>.

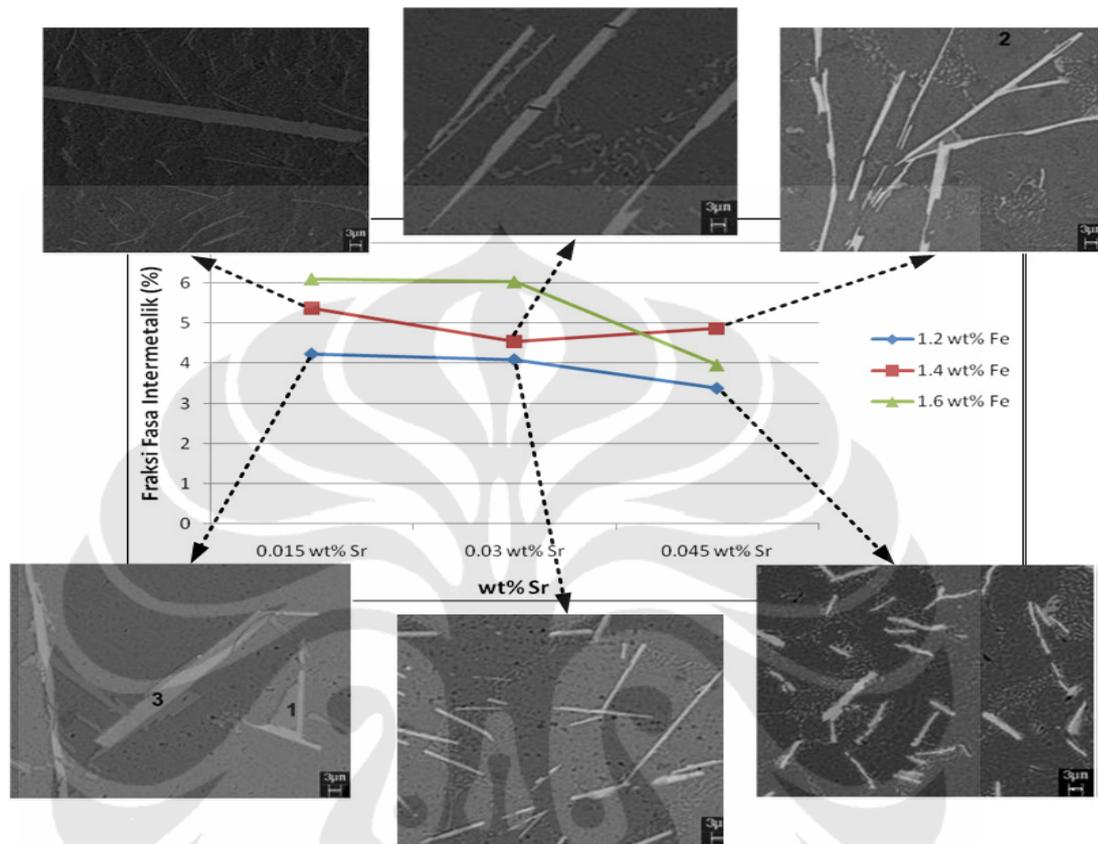
Dengan peningkatan konsentrasi Fe pada konsentrasi Sr sebesar 0.015% dan 0.03% juga dapat menyebabkan peningkatan panjang jarum intermetalik. Akan tetapi pada konsentrasi 0.045% Sr terjadi kecenderungan yang berbeda dimana jarum intermetalik yang paling panjang justru pada konsentari Fe sebesar 1.4% dan kemudian menurun pada konsentrasi Fe 1.6% dan 1.2%. Seperti dijelaskan sebelumnya, hal ini disebabkan karena pada pada konsnetrasi 1.4 wt% Fe dengan 0.045 % Sr telah terjadi overmodifikasi<sup>[6]</sup>.

Pada mikrostruktur tersebut terlihat adanya perbedaan panjang jarum – jarum intermetalik pada setiap sampel, dalam artian ada yang panjang dan ada yang pendek. Menurut Samuel *et. al.* hal tersebut terjadi karena perbedaan kecepatan difusi dari atom – atom Fe yang dipengaruhi karena temperatur yang tidak sama pada semua bagian sampel sehingga masing – masing jarum intermetalik tersebut terbentuk pada temperatur yang berbeda (yang panjang terbentuk pada temperatur pre-eutektik, sedangkan yang pendek terjadi pada temperatur post-eutektik)<sup>[33]</sup>.

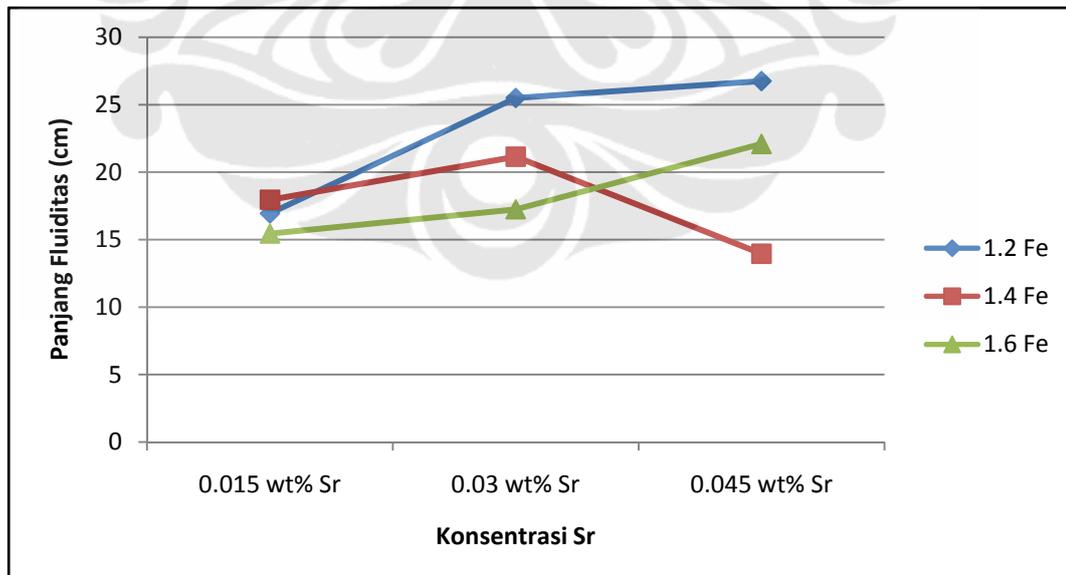
#### 4.3.1.2 Pengaruh Penambahan Sr terhadap Mikrostruktur Paduan Al-7wt%Si

Pada gambar 4.2, pengaruh penambahan Sr terhadap morfologi fasa intermetalik ditunjukkan dengan panah **a**. Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada konsentrasi Fe sebesar 1.2% dan 1.6%, seiring dengan penambahan Sr maka fasa intermetalik yang terbentuk akan berkurang baik dari kuantitas maupun dari panjang jarum – jarumnya seperti yang terlihat pada gambar 4.4 dan 4.5. Akan tetapi pernyataan tersebut tidak berlaku pada konsentrasi 1.4 wt% Fe, dimana terjadi penurunan jumlah fraksi fasa intermetalik seiring penambahan Sr dari 0.015% ke 0.03% dan akan naik kembali pada konsenstrasi 0.045% Sr. M. Andito menjelaskan fenomena tersebut bahwa pada konsentrasi 1.4% Fe, penambahan 0.03% Sr sudah cukup untuk memodifikasi fasa intermetalik yang sebelumnya berbentuk jarum – jarum panjang menjadi lebih pendek, sehingga pada konsentrasi 0.045 % Sr kemungkinan besar paduan tersebut mengalami overmodifikasi<sup>[6]</sup>. Overmodifikasi tersebut mungkin terjadi karena Si yang tidak

ikut larut akan bereaksi dengan Sr dan membentuk fasa baru yaitu  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{Sr}$  atau  $\text{Al}_4\text{Si}_2\text{Sr}^{[31]}$ .



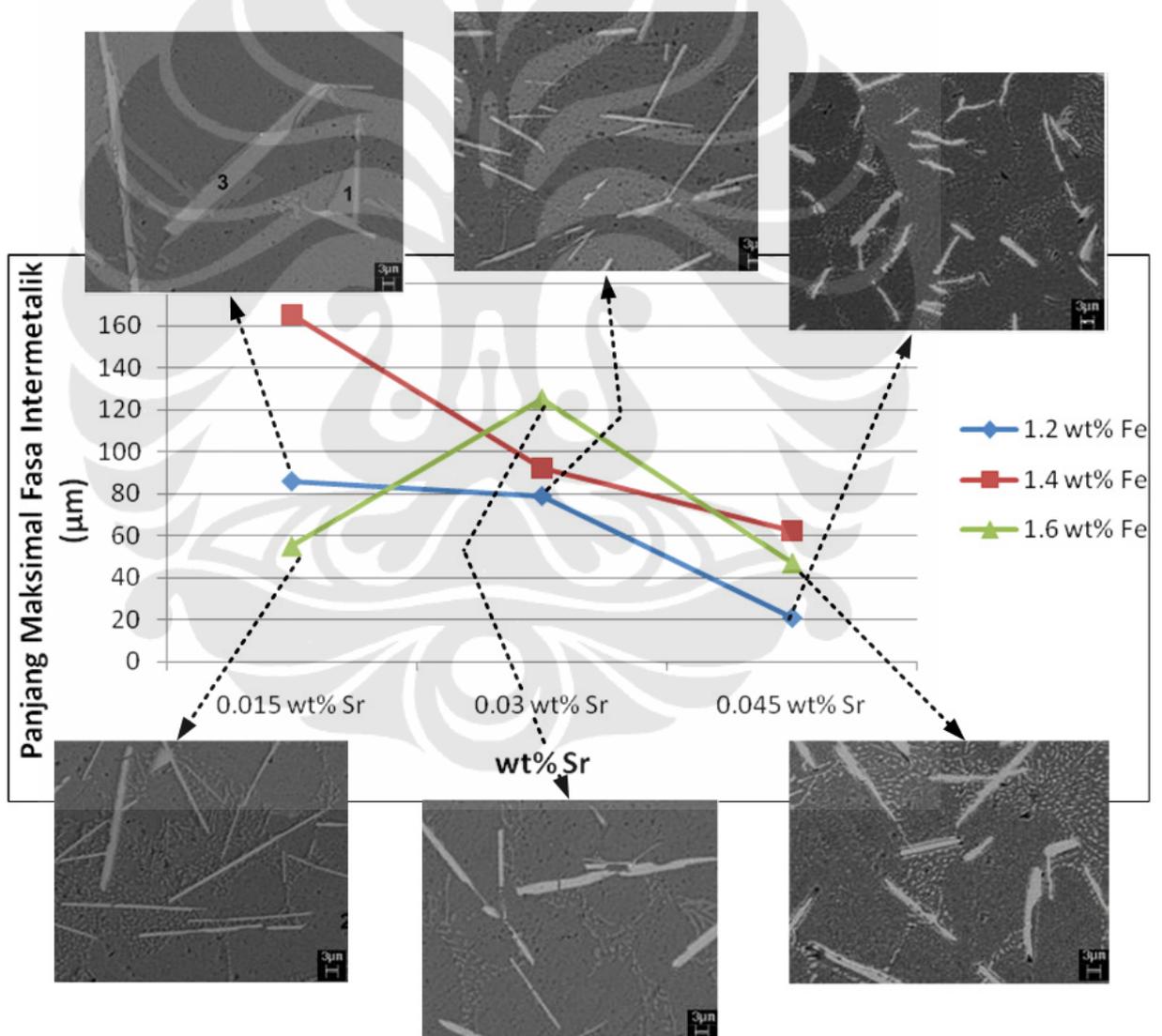
Gambar 4. 4 Pengaruh penambahan Sr terhadap fraksi fasa intermetalik



Gambar 4. 5 Pengaruh penambahan Sr terhadap fluiditas paduan Al-7wt% Si<sup>[6]</sup>

Hal tersebut sesuai dengan literatur bahwa dengan penambahan Sr dapat mengubah morfologi bentuk jarum intermetalik menjadi lebih pendek dan dapat menghaluskan struktur jarum silikon menjadi lebih bulat<sup>[38]</sup>.

Apabila membandingkan dengan data fluiditas pada penelitian sebelumnya seperti pada gambar 4.5 maka dapat ditarik suatu hubungan bahwa semakin kecil fraksi intermetalik yang terbentuk maka semakin baik sifat fluiditas yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena dengan semakin banyaknya fraksi intermetalik maka dapat menghalangi aliran lelehan aluminium mengingat bentuk morfologi dari fasa intermetalik ini kebanyakan berupa jarum – jarum.



**Gambar 4.6** Pengaruh penambahan Sr terhadap panjang maksimal fasa intermetalik yang terbentuk

Pada gambar 4.2 diatas juga dapat dilihat adanya perubahan bentuk morfologi eutektik silikon karena pengaruh penambahan Sr. Pada gambar tersebut terlihat adanya perbedaan morfologi eutektik silikon yang cukup mencolok antara kadar 0.015% Sr dan 0.03% Sr khususnya pada konsentrasi 1.2 % Fe yaitu dari bentuk yang besar – besar dan persebaran distribusinya yang kurang merata menjadi berbentuk bulat – bulat dan tersebar relatif cukup merata. Hal tersebut dikarenakan bahwa modifier Sr selain dapat mengubah fasa intermetalik namun juga memodifikasi silikon primer menjadi lebih bulat<sup>[6]</sup>.

Sementara pada penambahan *modifier* stronsium sebesar 0.045 wt% pada masing – masing konsentrasi Fe 1.2, 1.4, dan 1.6 wt% terlihat struktur silikon yang sebenarnya tidak terlalu jauh berbeda dengan penambahan *modifier* stronsium sebesar 0.03%. Hanya saja mungkin lebih disebabkan oleh fenomena overmodifikasi.

#### 4.3.2 Analisa Hasil EDS

Hasil pengujian komposisi menggunakan EDS pada tiap – tiap sampel dapat dilihat pada tabel 4.3. Melalui hasil pengujian EDS maka diketahui bahwa fasa yang berwarna putih (mengkilap) mengandung unsur dominan, yakni Al-Fe-Si. Dari data literatur<sup>[10]</sup>, fasa yang berwarna putih (mengkilap) ini merupakan fasa baru yang terbentuk, yaitu fasa intermetalik. Fasa intermetalik tersebut berwarna putih mengingot dalam pengujian EDS ini menggunakan energi yang berasal dari *backscattered electron*, sehingga unsur Fe yang memiliki nomor atom 26 (dekat dengan nomor atom Cu, yakni 29) akan terlihat sebagai unsur yang berwarna terang, dalam hal ini putih (mengkilap), mengingot dalam setiap fasa intermetalik pasti terdapat Fe<sup>[10]</sup>.

Jika melihat dari bentuk morfologi pada gambar mikrostruktur hasil SEM, maka dapat diperkirakan bahwa fasa intermetalik yang terbentuk adalah fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi. Akan tetapi setelah dilakukan pengujian EDS, dari persen atom masing – masing unsur yang dihasilkan terdapat perbedaan dengan persen atom fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi yang terdapat pada literatur. Hal tersebut disebabkan bahwa hasil EDS yang didapat mungkin dipengaruhi oleh interferensi komposisi matriks yang berdekatan dengan intermetalik yang diuji<sup>[31]</sup>.

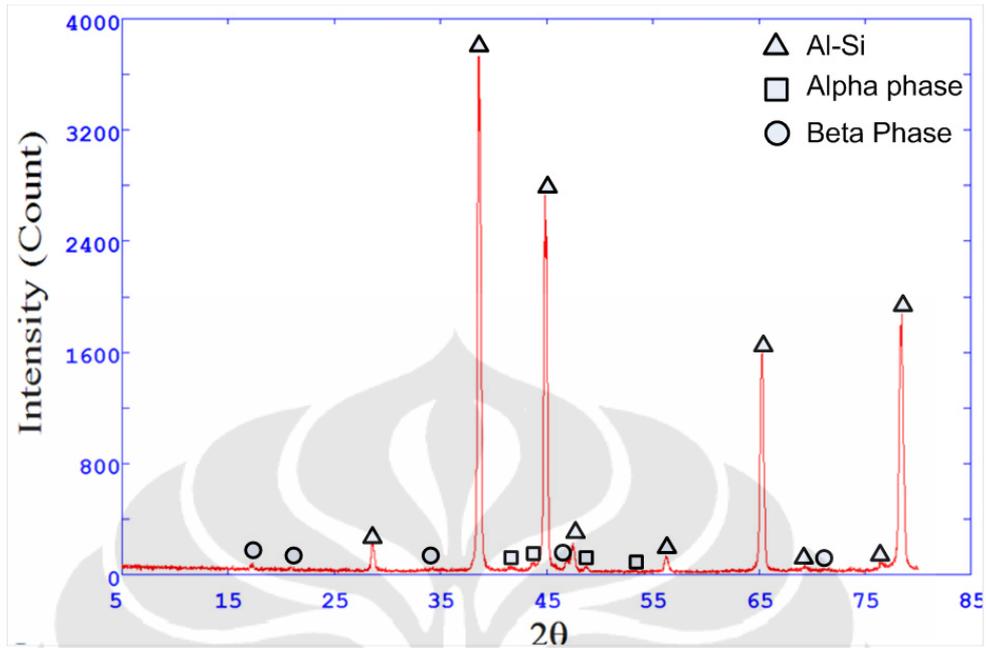
Hasil pengujian EDS pada fasa yang berwarna abu-abu menunjukkan bahwa komposisi kimia unsur yang dominan adalah Al-Si. Dari *element%* yang dihasilkan pada pengujian EDS ini, maka fasa yang berwarna abu-abu ini merupakan fasa matriks Al. Selain dari unsur Al yang paling dominan, terdapat pula unsur O, dimana unsur tersebut memang terdapat pada permukaan sampel dalam bentuk oksida. Hal ini dikarenakan pada saat dilakukan pengecoran sampel tidak digunakan atmosfer yang *inert* sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi cukup besar, mengingat logam aluminium memiliki sifat mudah teroksidasi.

Pada pengujian EDS tersebut juga dilakukan penembakan pada mikrostruktur yang berwarna abu – abu muda. Dari *element%* yang dihasilkan pada pengujian EDS ini, maka fasa yang berwarna abu – abu muda ini merupakan silikon eutektik, mengingat unsur yang paling dominan adalah Al-Si dan dengan kadar Si yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan dengan fasa matriks Al.

#### 4.4 HASIL XRD

Pengujian XRD ini hanya dilakukan pada sampel dengan komposisi 1.2 wt% Fe + 0.015 wt% Sr, 1.2 wt% Fe + 0.03 wt% Sr, 1.2 wt% Fe + 0.045 wt% Sr, 1.6 wt% Fe + 0.015 wt% Sr, 1.6 wt% Fe + 0.045 wt% Sr. Pertimbangan pemilihan sampel tersebut adalah hanya dengan mengetahui hasil XRD pada sampel – sampel tersebut maka sudah didapat data pengaruh penambahan konsentrasi Fe dan Sr terhadap jenis dan kuantitas fasa intermetalik yang terbentuk.

Setelah didapat grafik XRD dari tiap – tiap sampel yang diuji, proses selanjutnya adalah mengidentifikasi jenis – jenis fasa berdasarkan puncak – puncak (*peak*) yang terbentuk dari grafik tersebut. Cara mengidentifikasinya adalah dengan menggunakan perangkat lunak X Powder<sup>®</sup>. Untuk mengetahui persen konsentrasi dari fasa intermetalik yang terbentuk, maka dilakukan penghitungan luas area di bawah masing – masing puncak yang kemudian dibagi dengan luas area yang terdapat pada seluruh puncak – puncak yang terbentuk. Untuk mencari luas area ini, perangkat lunak yang digunakan adalah PowderX<sup>®</sup>. Contoh hasil XRD dapat dilihat pada gambar 4.7 dan hasil perhitungannya yang menggunakan perangkat lunak X Powder<sup>®</sup> dan PowderX<sup>®</sup> dapat dilihat pada tabel 4.4. Sedangkan hasil XRD yang lain terdapat pada lampiran.



**Gambar 4. 7** Grafik XRD sampel Al-7%Si + 1.2 wt% Fe + 0.015 wt% Sr

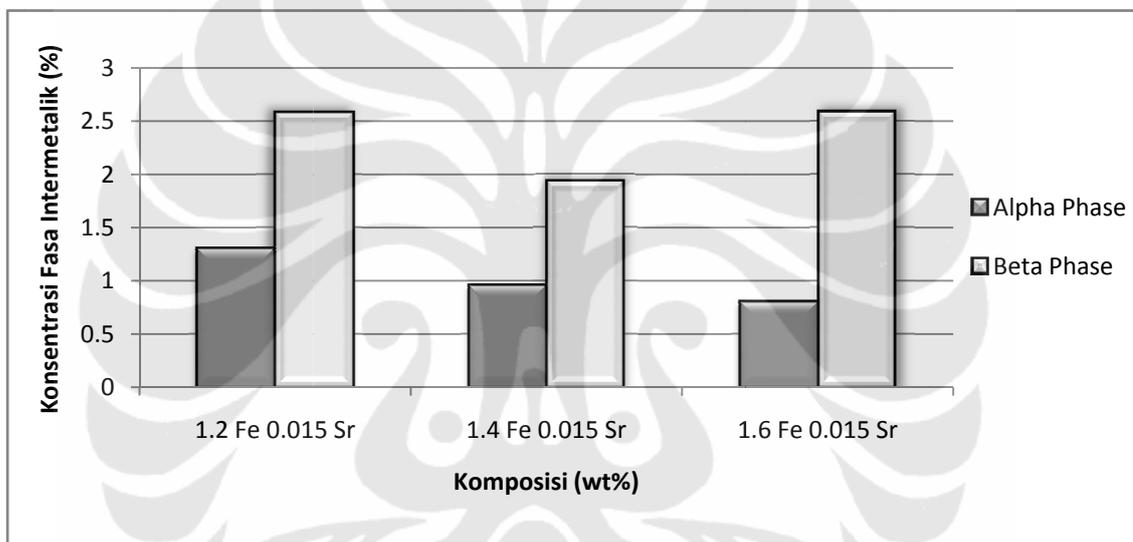
**Tabel 4. 4** Data luas area di bawah peak sampel Al-7%Si + 1.2 wt% Fe + 0.015 wt% Sr

Fasa	alpha	beta	Al-Si
luas peak	219.2	625.7	1909.8
	385.7	563.9	29376
	319.8	388.7	18789
	187	427.9	3311.8
		189.4	2292.7
			12967
			523.7
			724
		11819.6	
jumlah	1111.7	2195.6	81713.6
presentase	1.307561	2.582424	96.11002

#### 4.4.1 Pengaruh Penambahan Fe terhadap Jenis dan Kuantitas Intermetalik yang Terbentuk

**Tabel 4. 5** Pengaruh penambahan Fe terhadap kuantitas fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si dan  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi pada Al-7wt%Si dengan konsenstrasi 0.015 wt% Sr

Komposisi Sampel (wt%)	Fasa $\alpha$ -Al <sub>8</sub> Fe <sub>2</sub> Si (%)	Fasa $\beta$ -Al <sub>5</sub> FeSi (%)
1.2 Fe 0.015 Sr	1.307560847	2.582423851
1.4 Fe 0.015 Sr	0.959683088	1.936322983
1.6 Fe 0.015 Sr	0.806499268	2.586976181

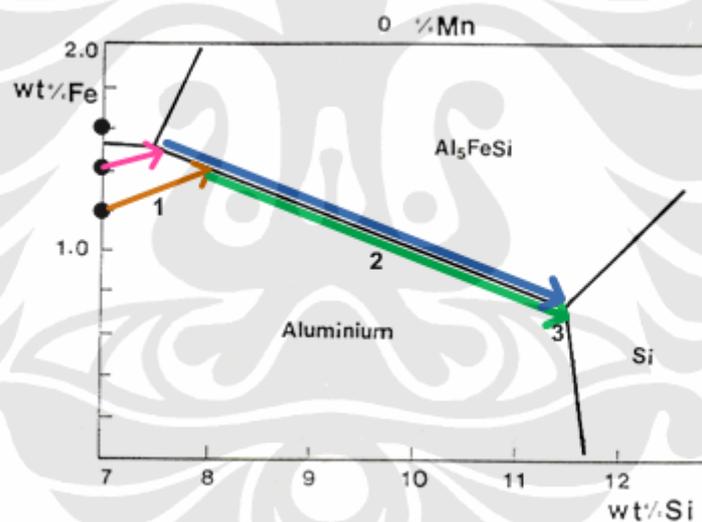


**Gambar 4. 8** Pengaruh penambahan Fe terhadap kuantitas fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si dan  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi pada Al-7wt%Si dengan konsenstrasi 0.015 wt% Sr

Dari pengujian XRD pada sampel maka dapat diketahui korelasi antara konsentrasi Fe terhadap konsentrasi fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si dan  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi yang dihasilkan seperti yang terlihat pada gambar 4.8 diatas. Dari grafik tersebut terlihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi fasa intermetalik  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si seiring dengan peningkatan konsentrasi Fe. Akan tetapi pada fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi tidak terdapat kecenderungan. Dari grafik terlihat bawa mula – mula terjadi penurunan konsentrasi dari komposisi 1.2 wt% Fe + 0.015 wt% Sr ke komposisi 1.2 wt% Fe + 0.03 wt% Sr dan kemudian naik kembali pada komposisi 1.2 wt% Fe + 0.045 wt% Sr. Hal tersebut berbeda dengan literatur yang menyebutkan bahwa akan terjadi kenaikan fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi seiring dengan kenaikan Fe. Perbedaan data tersebut mungkin disebabkan kesalahan komposisi pada sampel 1.2 wt% Fe +

0.015 wt% Sr mengingat yang digunakan pada sampel ini adalah sampel yang dibuat pada penelitian sebelumnya yang tidak menyertakan pengujian spektrometri untuk memastikan komposisinya.

Apabila melihat kecenderungan data pada fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si, maka dapat disimpulkan bahwa fenomena tersebut terjadi karena seiring dengan meningkatnya kadar Fe maka rentang temperatur pembentukan fasa intermetalik  $\beta$ -AlFeSi semakin besar sehingga implikasinya dapat menghasilkan fasa  $\beta$ -AlFeSi yang lebih banyak. Dengan semakin meningkatnya konsentrasi fasa  $\beta$ -AlFeSi tersebut maka otomatis kemampuan *modifier* dalam mengubah fasa  $\beta$ -AlFeSi menjadi  $\alpha$ -AlFeSi akan berkurang sehingga menyebabkan fasa  $\alpha$ -AlFeSi yang terbentuk semakin sedikit pula. Fenomena tersebut akan dijelaskan dengan hasil *plot* komposisi pada diagram terner Al-Fe-Si, dan menggunakan atlas garis Scheil untuk menentukan garis segregasi (pembentukan dendrit aluminium) berikut ini.



**Gambar 4. 9** Proses pembentukan fasa intermetalik yang berdasar pada diagram terner Al-Fe-Si dan diagram Scheil<sup>[15]</sup>.

Dari diagram pada gambar 4.9 tersebut terlihat bahwa pada komposisi 1.2% Fe, proses pembekuan diawali dengan pembentukan  $\alpha$ -Al primer (dendrit aluminium), seperti yang terlihat pada reaksi 1 (panah berwarna coklat). Selama proses pembekuan, dendrit aluminium akan tumbuh sehingga sisa aluminium cair menjadi kaya akan besi dan silikon, hal ini akan berlanjut hingga reaksi 2 (panah hijau) dimulai. Pada reaksi 2 ini akan terjadi pertumbuhan fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi yang berlanjut hingga lembah eutektik tercapai (reaksi 3). Hal tersebut juga berlaku

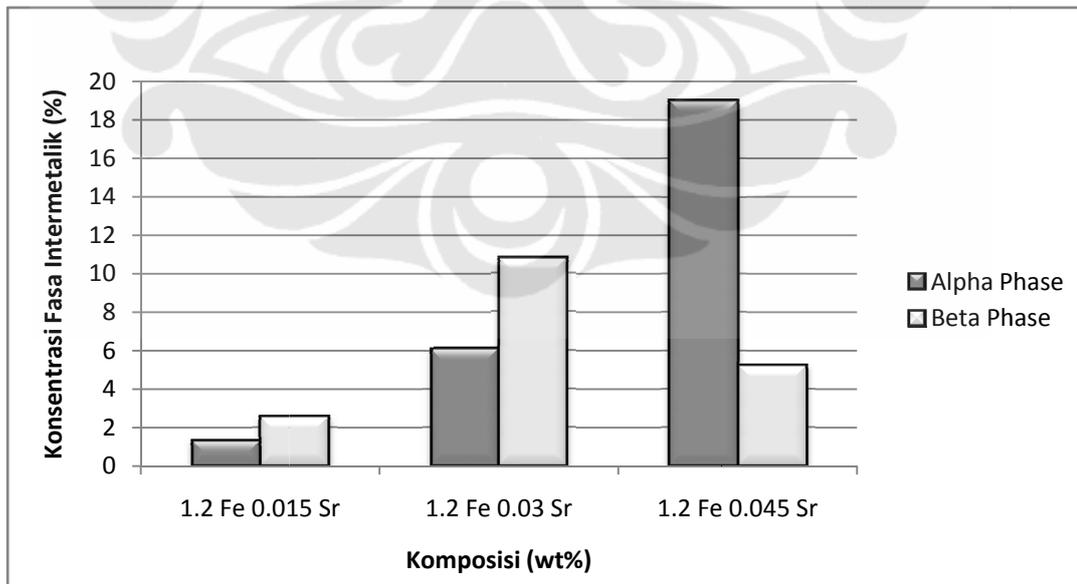
pada konsentrasi 1.4 wt% Fe. Akan tetapi perbedaannya adalah pada konsentrasi 1.4 Fe reaksi pembentukan fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi terjadi pada temperatur yang lebih tinggi sehingga menyebabkan rentang temperatur menjadi lebih panjang dan akibatnya fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi yang terbentuk akan lebih besar dan lebih banyak.

Sementara untuk komposisi 1.6 wt% besi, fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si telah terbentuk pada temperatur di atas 615 °C. Selanjutnya selama proses pembekuan, fasa intermetalik  $\alpha$ -AlFeSi akan menyerap silikon yang berada di lingkungan sekitarnya sehingga menjadi  $\beta$ -AlFeSi.

#### 4.4.2 Pengaruh Penambahan Sr terhadap Jenis dan Kuantitas Intermetalik yang Terbentuk

**Tabel 4. 6** Pengaruh penambahan Sr terhadap kuantitas fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si dan  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi pada Al-7wt%Si dengan konsenstrasi 1.2 wt% Fe

Komposisi Sampel (wt%)	Fasa $\alpha$ -Al <sub>8</sub> Fe <sub>2</sub> Si (%)	Fasa $\beta$ -Al <sub>5</sub> FeSi (%)
1.2 Fe 0.015 Sr	0.959683088	1.936322983
1.2 Fe 0.03 Sr	1.962922165	2.858957354
1.2 Fe 0.045 Sr	19.02717434	5.242730122

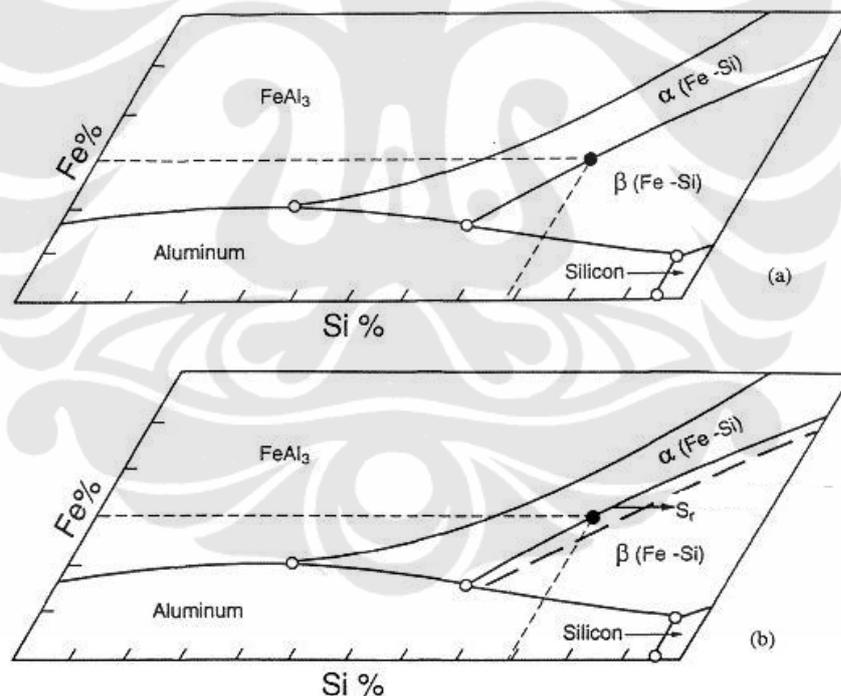


**Gambar 4. 10** Pengaruh penambahan Sr terhadap kuantitas fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si pada Al-7wt%Si dengan konsenstrasi 1.2 wt% Fe

Dari grafik pada gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa terdapat korelasi antara konsentrasi Sr dan fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si yang terbentuk. Akan tetapi pada fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi tidak terlihat adanya kecenderungan korelasi antara fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi dengan penambahan Sr yang dibuktikan dengan bentuk grafiknya yang naik turun. Penyebab anomali tersebut mungkin penyebabnya sama seperti pada kasus pengaruh penambahan Fe terhadap konsentrasi fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi yaitu karena kesalahan komposisi sampel.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa seiring dengan peningkatan Sr maka konsentrasi fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si yang terbentuk akan semakin besar. Hal tersebut sesuai dengan literatur bahwa stronsium dapat mengubah fasa  $\beta$ -Al<sub>5</sub>FeSi menjadi fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si.

Fenomena perubahan konsentrasi fasa  $\alpha$ -Al<sub>8</sub>Fe<sub>2</sub>Si karena pengaruh kadar stronsium tersebut dapat dijelaskan menggunakan gambar berikut:



**Gambar 4. 11** Aluminum-rich corner pada diagram fasa Al-Fe-Si yang memperlihatkan pengaruh penambahan Sr<sup>[3]</sup>.

Pada gambar *aluminum-rich corner* diagram fasa Al-Fe-Si diatas menjelaskan bahwa efek dari Sr adalah dapat melebarkan daerah fasa  $\alpha$ -AlFeSi. Pada paduan tanpa modifikasi, dan dibawah kondisi *equilibrium*, konsentrasi Fe dan Si adalah pada nilai kritikal (pada gambar diperlihatkan dengan titik hitam)

untuk membentuk fasa  $\beta$ -AlFeSi pada batas antara fasa  $\alpha$ -AlFeSi dan  $\beta$ -AlFeSi. Pada kondisi dengan kadar stronsium yang meningkat maka dapat menggeser batas  $\alpha$ -AlFeSi dan  $\beta$ -AlFeSi menjadi pada konsentrasi silikon yang lebih tinggi, sehingga titik hitam tadi posisinya berubah pada daerah  $\alpha$ -AlFeSi, mengingat daerah  $\alpha$ -AlFeSi tersebut menjadi lebih luas.

Selain itu karena kecepatan pendinginan dalam pengujian ini sangat rendah mengingat semua sampel proses pendinginannya terjadi pada tabung tembaga yang berdiameter kecil, dan apabila melihat koefisien difusi Si ( $10^{-11} - 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{s}$ ) yang lebih tinggi daripada Fe ( $10^{-13} - 10^{-12} \text{ cm}^2/\text{s}$ ) maka pada temperatur  $400 - 600 \text{ }^\circ\text{C}$  akan terjadi destabilisasi fasa  $\beta$ -AlFeSi yang disebabkan oleh kehadiran Sr, sehingga akan dapat mengubahnya menjadi fasa  $\alpha$ -AlFeSi<sup>[31]</sup>.

Fenomena pengaruh Sr terhadap fasa  $\alpha$ -AlFeSi juga berkaitan dengan sifat fluiditas yang terjadi pada sampel tersebut. M. Andito menyebutkan bahwa dengan melakukan penambahan stronsium pada paduan aluminium-silikon yang mengandung Fe sebesar 1.2 dan 1.6 % maka fluiditas akan semakin meningkat<sup>[4]</sup>. Hal tersebut disebabkan karena dengan bentuk meningkatnya fasa  $\alpha$ -AlFeSi maka morfologi mikrostruktur yang terbentuk akan semakin bulat – bulat dan kompak sehingga aliran aluminium cair akan lebih lancar apabila dibandingkan dengan morfologi fasa  $\beta$ -AlFeSi yang berbentuk jarum – jarum.