

BAB IV

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengamati struktur mikro serta mengidentifikasi fasa intermetalik yang terbentuk dari paduan Al-11wt%Si yang ditambahkan unsur pengotor Fe dan *modifier* Sr. Untuk mendapatkan data-data tersebut maka hal-hal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah perhitungan nilai fraksi area dan panjang maksimal fasa intermetalik dari hasil pengamatan struktur mikro dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM); dan perhitungan nilai konsentrasi fasa intermetalik dengan menggunakan *X-rays Diffraction* (XRD)

4.1 ANALISA KOPOSISI KIMIA

Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui bahwa material yang akan dilakukan dalam penelitian memiliki komposisi kimia yang sesuai. Pengujian ini dilakukan menggunakan *Spectrometer* milik departemen Metalurgi dan Material FTUI. Paduan ingot yang akan digunakan pada penelitian identifikasi fasa intermetalik yang terbentuk ini adalah paduan Al-11wt%Si. Sedangkan paduan yang dibuat dari hasil proses peleburan adalah paduan Al-11%Si + 0,8% Fe + 0,045% Sr dan juga paduan Al-11%Si + 1% Fe + 0,015% Sr. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada tabel berikut ini.

4.1.1 Komposisi Kimia Ingot Al-11%Si

Hasil pengujian komposisi kimia ingot Al-11%Si menunjukkan bahwa kandungan unsur silikon yang terlarut pada paduan ingot tersebut adalah 11.183% dan kandungan unsur lain yang terlarut adalah sedikit yang dapat diabaikan. Data pengujian ini mengindikasikan bahwa paduan ingot yang akan digunakan dalam penelitian sesuai yang diinginkan.

Tabel 4.1 Komposisi kimia pada ingot Al-11wt%Si

Sampel	Komposisi Kimia (%)											
	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Zn	Ti	Sn	Pb	Ca	Sr
1	88.553	11.164	0.1682	0.0500	0.0070	0.0015	0.0040	0.0169	0.0158	0.0177	0.0013	0.0001
2	88.416	11.300	0.1691	0.0500	0.0058	0.0015	0.0057	0.0169	0.0153	0.0180	0.0013	0.0001
3	88.652	11.085	0.1639	0.0501	0.0014	0.0015	0.0000	0.0165	0.0127	0.0150	0.0012	0.0001
Rata-rata	88.540	11.183	0.1671	0.0500	0.0047	0.0015	0.0032	0.0168	0.0146	0.0169	0.0013	0.0001

4.1.2 Komposisi Kimia Paduan Al-11%Si + Fe + Sr

Hasil pengujian komposisi kimia paduan Al-11%Si yang ditambahkan sejumlah unsur Fe dan Sr menunjukkan bahwa kandungan unsur besi dan stronsium yang terlarut pada paduan telah mendekati target yang diinginkan. Sedangkan kandungan unsur lain yang terlarut sangat sedikit sehingga dapat diabaikan. Hasil pengujian ini mengindikasikan bahwa paduan yang digunakan dalam penelitian sesuai yang diinginkan.

Tabel 4.2 Komposisi kimia pada ingot Al-11wt%Si + 0,8% Fe + 0,045% Sr

Sampel	Komposisi Kimia (%)											
	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Zn	Ti	Sn	Pb	Ca	Sr
1	85.655	13.370	0.778	0.0001	0.0021	0.0011	0.0119	0.0001	0.0001	0.0004	0.0003	0.048
2	85.040	13.742	0.825	0.0001	0.0021	0.0015	0.0001	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001	0.040
Rata-rata	85.347	13.556	0.8015	0.0001	0.0021	0.0013	0.006	0.0001	0.0001	0.0003	0.0002	0.044

Pada paduan dengan target kandungan unsur terlarut 0,8% Fe dan 0,045% Sr, kenyataan kandungan unsur besi yang terlarut dalam paduan adalah 0,8015%. Sedangkan kandungan unsur stronsiumnya pada paduan adalah 0,044%.

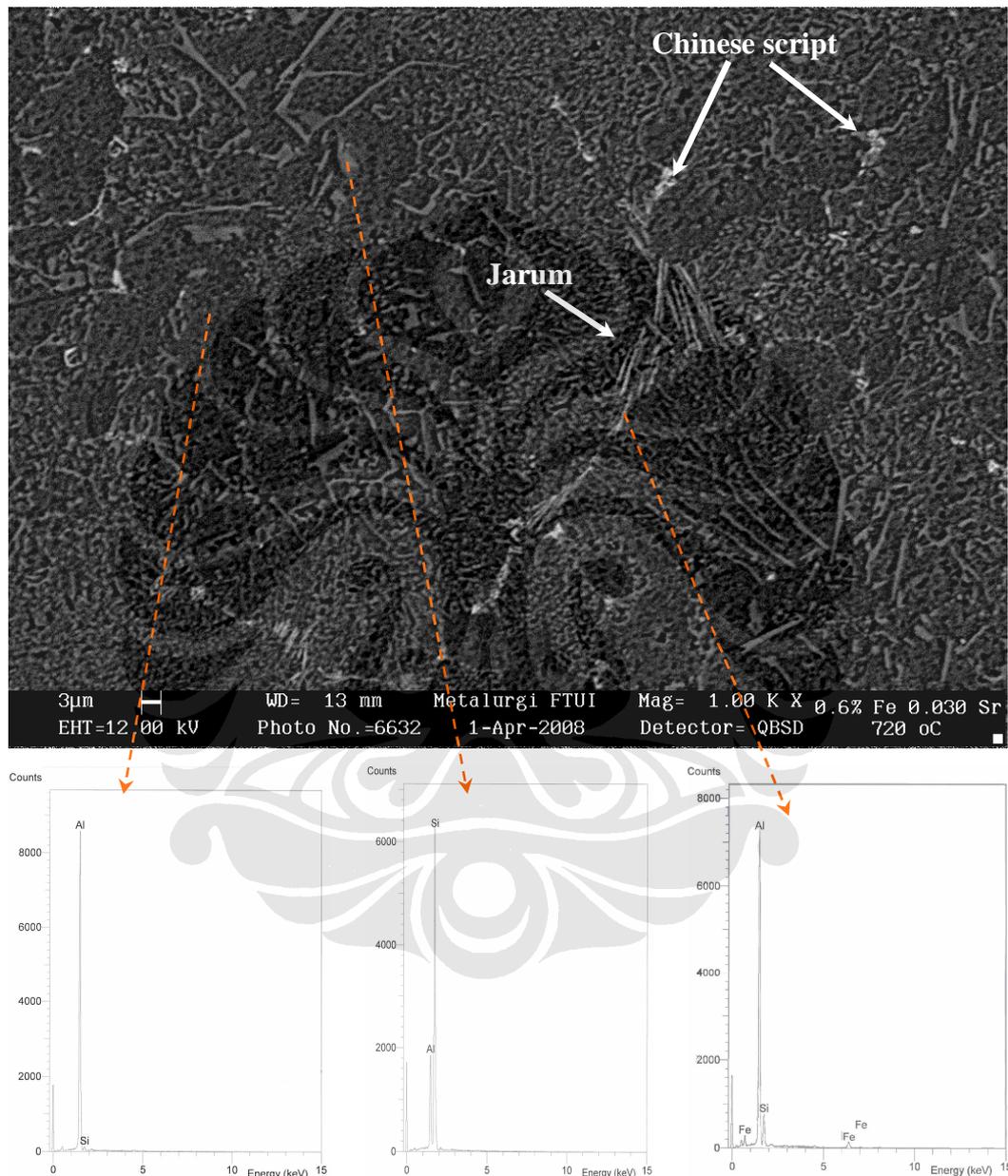
Tabel 4.3 Komposisi kimia pada ingot Al-11wt%Si + 1% Fe + 0,015% Sr

Sampel	Komposisi Kimia (%)											
	Al	Si	Fe	Cu	Mg	Cr	Zn	Ti	Sn	Pb	Ca	Sr
1	82.530	11.196	1.011	0.0001	0.0021	0.0017	0.0001	0.0001	0.0062	0.0004	0.0026	0.015
2	82.793	13.534	1.057	0.0001	0.0021	0.0001	0.0049	0.0001	0.0062	0.0031	0.0157	0.018
Rata-rata	82.661	12.365	1.034	0.0001	0.0021	0.0009	0.0025	0.0001	0.0062	0.0017	0.0091	0.0165

Dan pada paduan dengan target kandungan unsur terlarut 1% Fe dan 0,015% Sr, kenyataan terlarutnya kandungan unsur besi dalam paduan hasil peleburan adalah 1,034%. Sedangkan kandungan unsur stronsium yang terlarutnya adalah 0,0165%.

4.4 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO

Pengamatan hasil struktur mikro yang terbentuk pada paduan Al-11wt%Si yang ditambahkan unsur pengotor Fe dan *modifier* Sr dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Electron Dispersion Spectrometry* (EDS).



Gambar 4.1 Identifikasi fasa berdasarkan data EDS pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe + 0,030% Sr.

Gambar 4.1 tersebut diatas menjelaskan mengenai identifikasi fasa-fasa yang terbentuk pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe + 0,030% Sr berdasarkan data-

data EDS. Matriks ditunjukkan dengan warna yang paling gelap dan berbentuk seperti lengan-lengan dendrit yang terpotong. Data EDS yang ditembakkan pada matriks menunjukkan bahwa unsur yang paling dominan adalah aluminium dan sedikit unsur silikon. Kemudian struktur silikon ditunjukkan pada warna yang keabu-abuan. Data hasil EDS yang ditembakkan kepada struktur silikon ini hanya terdiri dari unsur aluminium dan silikon. Dan warna terang pada hasil gambar SEM merupakan penampakan dari fasa intermetalik dimana data hasil EDS-nya terdiri dari unsur aluminium, besi, dan silikon.

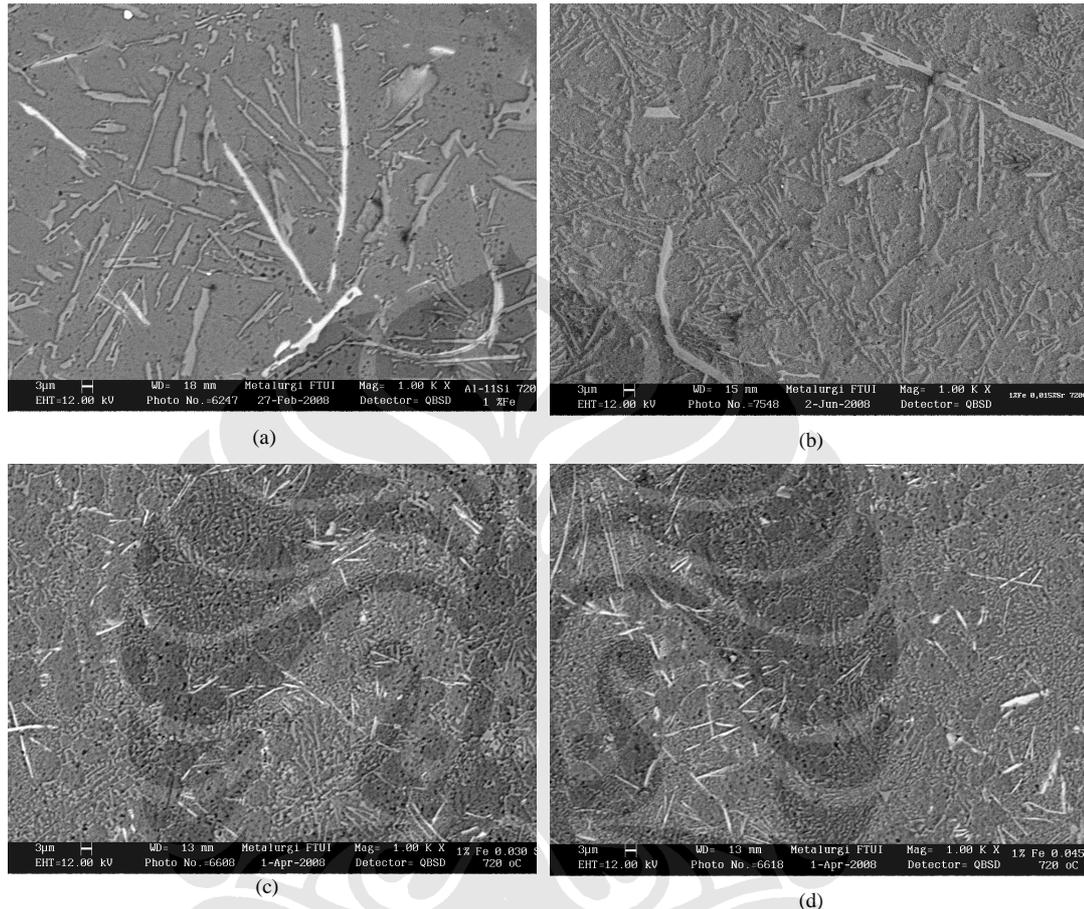
Penampakan fasa intermetalik (yang berwarna terang) pada gambar 4.1 terlihat memiliki dua buah bentuk morfologi yang berbeda yaitu, *chinese script* dan jarum. Fasa intermetalik berbentuk *chinese script* diidentifikasi sebagai fasa intermetalik α -AlFeSi dan yang berbentuk jarum diidentifikasi sebagai fasa intermetalik β -AlFeSi. Bila dirujuk pada buku yang ditulis Taylor^[1], hasil pengamatan struktur mikro fasa intermetalik pada penelitian ini memiliki kesamaan hasil dimana Taylor menyebutkan bahwa dengan keberadaan unsur Si pada paduan aluminium, maka fasa intermetalik dominan yang terbentuk adalah Al₈Fe₂Si (yang diketahui sebagai fasa α) dengan morfologi *chinese script* dan Al₅FeSi (yang diketahui sebagai fasa β) dengan morfologi jarum *platelet*.

4.4.1 Pengamatan Mikrograf Silikon

Morfologi fasa silikon pada seluruh penambahan variabel unsur Fe (0,6%; 0,8%; dan 1%) pada paduan Al-11wt%Si memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan penambahan unsur modifier Sr, yaitu morfologi fasa silikon akan semakin halus seiring dengan penambahan modifier Sr.

Gambar 4.2 menggambarkan perubahan morfologi fasa silikon pada penambahan modifier Sr pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan 1% Fe. Dari gambar 4.2 dapat diamati bahwa pada paduan yang tidak dimodifikasi, morfologi silikon berbentuk seperti jarum-jarum yang memanjang dan tebal (gambar 4.2 (a)). Kemudian pada penambahan 0,015% Sr, morfologi silikon mengalami perubahan bentuk menjadi lebih halus dan terdapat beberapa berbentuk jarum-jarum namun lebih pendek dari pada tanpa dilakukan modifikasi (gambar 4.2 (b)). Lalu pada paduan yang ditambah 0,030% Sr, jumlah fasa silikon yang berbentuk

jarum menjadi lebih sedikit, sedangkan fasa silikon yang berbentuk halus semakin bertambah jumlahnya (gambar 4.2 (c)). Dan pada penambahan 0,045% Sr, morfologi fasa silikon semakin bertambah halus dan lebih terdistribusi secara homogen dari pada sebelumnya.



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)

Hasil pengamatan struktur mikro silikon ini memiliki hasil pengamatan yang sama bila dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Lennart, *et al*^[2] dimana mereka menyatakan bahwa normalnya, paduan Al-Si yang tidak dimodifikasi memiliki kristal silikon berbentuk *faceted* dan *silicon flakes*. Sedangkan pada paduan yang dimodifikasi dengan ditambahkan unsur *modifier* stronsium morfologi kristal silikon eutektik dari bentuk *large flakes* menjadi struktur *fibrous* yang lebih halus. Dengan semakin tingginya modifier Sr yang dilarutkan pada paduan, akan berkontribusi dalam transformasi dan distribusi struktur silikon.

4.4.2 Pengamatan Mikrograf Intermetalik Fe

Secara umum, dari hasil gambar SEM yang dilakukan dalam penelitian ini, perubahan morfologi fasa intermetalik yang terbentuk pada penambahan unsur pengotor 0,6% Fe dan 1% Fe dengan penambahan modifier Sr (0%; 0,015%; 0,030% dan 0,045%) memiliki kecenderungan yang sama. Pada kadar Fe yang konstan tersebut, jumlah dan morfologi fasa intermetalik yang terbentuk akan semakin sedikit dan halus dengan penambahan Sr dari 0%; 0,015%; dan 0,030%. Namun pada penambahan modifier Sr kepada paduan sebanyak 0,045%, fasa intermetalik akan mengalami overmodifikasi dengan bertambahnya jumlah serta semakin kasarnya morfologi fasa intermetalik yang terbentuk.

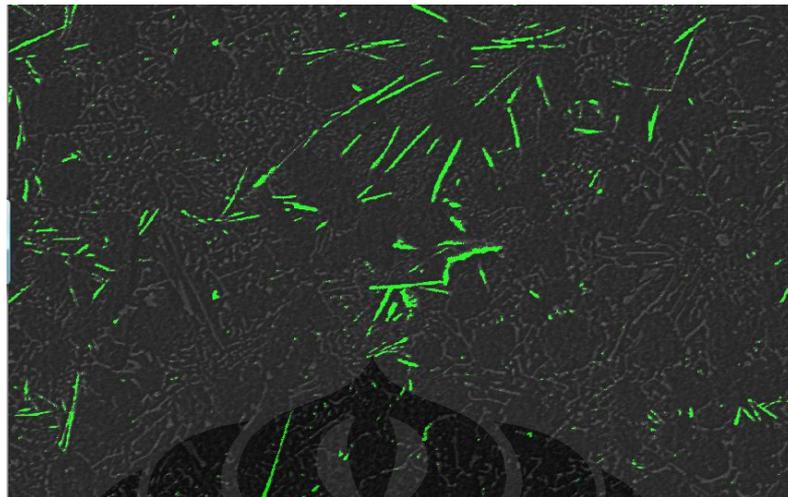
Hasil gambar SEM pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan 0,8% Fe menunjukkan kecenderungan yang berbeda dari paduan yang ditambahkan 0,6% dan 1% Fe. Pada paduan yang ditambahkan 0,8% Fe, jumlah dan morfologi fasa intermetalik yang terbentuk akan semakin sedikit dan halus dengan semakin ditambahkannya jumlah modifier Sr kedalam paduan.

Sedangkan dengan semakin bertambahnya kadar Fe dalam suatu kadar Sr yang konstan, maka terlihat dari hasil gambar SEM, secara umum fasa intermetalik yang terbentuk akan semakin banyak dan panjang. Kecuali pada paduan yang ditambahkan 0,045% Sr, dimana fasa intermetalik yang paling sedikit terbentuk adalah pada paduan yang ditambahkan 0,8% Fe, kemudian diikuti oleh paduan dengan 0,6% dan fasa intermetalik yang terbentuk paling banyak adalah paduan yang mengandung 1% Fe.

4.4.2.1 Fraksi area fasa intermetalik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya korelasi antara penambahan unsur Fe dan juga *modifier* Sr terhadap fraksi area fasa intermetalik yang terbentuk. Penghitungan fraksi area dari intermetalik yang terbentuk ini dilakukan menggunakan suatu perangkat lunak (*software*) komputer yang bernama *PICSARA*. Prinsip perhitungan fraksi adalah berdasarkan perbedaan warna pada gambar hasil foto mikro SEM, dimana fasa intermetalik memiliki

warna yang lebih terang daripada struktur lainnya. gambar 4.3 menunjukkan bagaimana perhitungan fraksi intermetalik dilakukan menggunakan *PICSARA*.



Gambar 4.3 Perhitungan fraksi area intermetalik Al-11%Si + 1% Fe + 0,045% Sr pada perbesaran 1000X menggunakan perangkat lunak *PICSARA*.

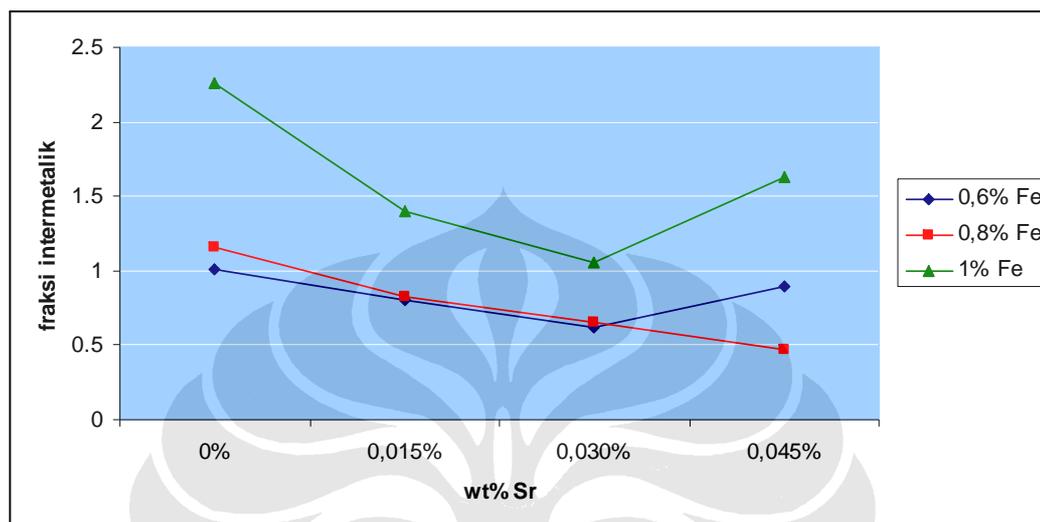
Data hasil perhitungan fraksi intermetalik menggunakan *PICSARA* pada paduan Al-11%Si dengan variabel penambahan unsur Fe dan modifier Sr dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4 Data hasil perhitungan fraksi fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11wt%Si menggunakan *PICSARA*

Fe	Sr							
	0%		0,015%		0,030%		0,045%	
	Data (%)	Rata-rata (%)						
0,6%	1.01	1.01	0.7	0.8	0.68	0.615	1.04	0.9
	1.01		0.9		0.55		0.76	
0,8%	1.16	1.16	0.92	0.825	0.83	0.655	0.35	0.465
	1.16		0.73		0.48		0.58	
1%	2.5	2.26	1.41	1.395	1.25	1.05	1.82	1.63
	2.02		1.38		0.85		1.44	

Data hasil perhitungan fraksi dari fasa intermetalik yang terbentuk dari tabel 4.4 dan gambar 4.4, menunjukkan bahwa pada paduan yang ditambahkan unsur Fe 0,6% dan 1%, mengalami kecenderungan yang sama saat ditambahkan modifier Sr. Nilai fraksi dari fasa intermetalik mengalami penurunan saat

ditambahkan *modifier* Sr sebanyak 0,015% dan 0,030%, namun mengalami peningkatan nilai fraksi saat ditambahkan modifier Sr sebanyak 0,045%. Sedangkan berbeda halnya pada paduan yang ditambahkan unsur 0,8% Fe, akan mengalami penurunan nilai fraksi dari fasa intermetalik yang terbentuk seiring dengan penambahan modifier 0,015% Sr, 0,030% Sr, dan 0,045% Sr.



Gambar 4.4 Grafik fraksi fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11 wt%Si

Pada paduan yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,6%, dengan ketidakhadiran unsur modifier Sr, nilai fraksi intermetaliknya adalah 1,01%. Sedangkan ketika ditambahkan 0,015% Sr, nilai fraksi intermetalik mengalami pengurangan menjadi 0,8%. Kemudian saat kadar modifier Sr dinaikkan menjadi 0,030% Sr, nilai fraksi intermetaliknya mengalami penurunan kembali yaitu menjadi 0,615%. Tetapi ketika ditambahkan modifier Sr mencapai 0,045%, nilai fraksi intermetalik naik namun masih dibawah nilai fraksi intermetalik pada paduan yang tidak dilakukan modifikasi yaitu 0,9%.

Kemudian pada paduan yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 1%, dengan ketidakhadiran unsur modifier Sr, nilai fraksi intermetaliknya adalah 2,26%. Sedangkan ketika ditambahkan 0,015% Sr, nilai fraksi intermetalik mengalami pengurangan menjadi 1,395%. Kemudian saat kadar modifier Sr dinaikkan menjadi 0,030% Sr, nilai fraksi intermetaliknya mengalami penurunan kembali yaitu menjadi 1,05%. Tetapi ketika ditambahkan modifier Sr mencapai 0,045%, nilai fraksi intermetalik naik namun masih dibawah nilai fraksi intermetalik pada paduan yang tidak dilakukan modifikasi yaitu 1,63%.

Pada paduan yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,8%, kecenderungan nilai fraksi intermetalik yang terbentuk terhadap penambahan modifier Sr berbeda dengan kecenderungan pada paduan yang ditambahkan unsur pengotor Fe 0,6% dan 1%. Pada paduan dengan 0,8% Fe, dengan semakin bertambahnya unsur modifier Sr maka nilai fraksi intermetalik yang terbentuk akan semakin menurun. Dengan ketidakhadiran unsur modifier Sr, nilai fraksi intermetaliknya pada paduan dengan 0,8% Fe adalah 1,16%. Sedangkan ketika ditambahkan 0,015% Sr, nilai fraksi intermetalik mengalami pengurangan menjadi 0,825%. Kemudian saat kadar modifier Sr dinaikkan menjadi 0,030% Sr, nilai fraksi intermetaliknya mengalami penurunan kembali yaitu menjadi 0,655%. Dan ketika ditambahkan unsur modifier Sr sebanyak 0,045%, nilai fraksi intermetalik mengalami penurunan nilai kembali yaitu 0,465%.

Pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,6% dan 1%, saat dimodifikasi 0,015% Sr mengalami modifikasi sebagian (*partially modification*), hal ini terlihat dari penurunan nilai fraksi area fasa intermetalik dari paduan yang tidak dilakukan modifikasi. Kemudian saat dimodifikasi 0,030% Sr mengalami modifikasi penuh (*full modification*), hal ini juga terlihat dari penurunan nilai fraksi area fasa intermetalik dari paduan yang dimodifikasi dengan 0,015% Sr yang setelahnya nilai fraksi area intermetalik akan meningkat ketika dilakukan modifikasi menggunakan 0,045% Sr. Dan saat dimodifikasi 0,045% Sr mengalami modifikasi berlebih (*overmodification*), karena nilai fraksi area intermetalik meningkat setelah sebelumnya mengalami *full modification* ketika ditambahkan 0,030% Sr. Berbeda halnya pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,8% dimana seiring penambahan modifier Sr, nilai fraksi area intermetalik semakin menurun sehingga tidak terdapat overmodifikasi.

Pada data hasil perhitungan nilai fraksi intermetalik yang terbentuk dari tabel 4.4 dan gambar 4.4, juga dapat terlihat bahwa pada semua paduan mengalami kecenderungan yang sama yaitu pada paduan yang tidak dimodifikasi, dan yang dilakukan penambahan modifier Sr 0,015%, dan 0,030%, akan mengalami peningkatan nilai fraksi intermetalik yang terbentuk dengan semakin tingginya kadar unsur Fe. Akan tetapi lain halnya pada paduan yang ditambahkan

0,045% Sr, nilai fraksi intermetaliknya meningkat mulai dari paduan dengan penambahan 0,8% Fe, kemudian 0,6% Fe, dan 1% Fe.

Pada paduan yang tidak dilakukan modifikasi, nilai fraksi intermetalik akan semakin meningkat seiring dengan penambahan unsur Fe. Pada paduan dengan kadar 0,6% Fe, nilai fraksi intermetaliknya sebesar 1,01%. Lalu paduan yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,8%, nilai fraksi intermetaliknya meningkat menjadi 1,16%. Dan saat dilakukan penambahan unsur Fe sebanyak 1%, nilai fraksi intermetalik mengalami peningkatan sampai 2,26%.

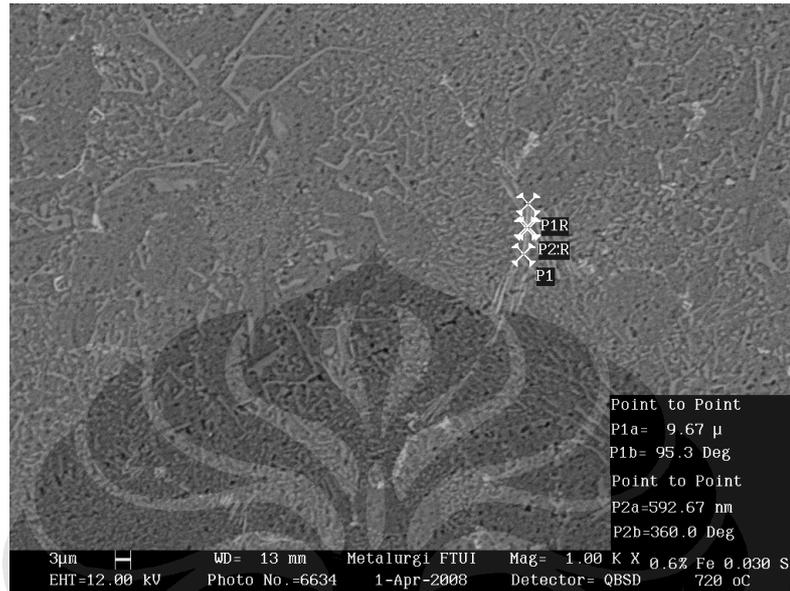
Kemudian pada paduan yang ditambahkan modifier Sr sebanyak 0,015%, nilai fraksi intermetalik juga akan semakin meningkat seiring dengan penambahan unsur Fe. Pada paduan dengan kadar 0,6% Fe, nilai fraksi intermetaliknya sebesar 0,8%. Lalu paduan yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,8%, nilai fraksi intermetaliknya meningkat menjadi 0,825%. Dan saat dilakukan penambahan unsur Fe sebanyak 1%, nilai fraksi intermetalik mengalami peningkatan sampai 1,395%.

Dan pada paduan yang dilakukan modifikasi menggunakan 0,030% Sr, nilai fraksi intermetalik juga akan mengalami peningkatan seiring dengan penambahan unsur Fe. Pada paduan dengan kadar 0,6% Fe, nilai fraksi intermetaliknya adalah 0,615%. Lalu paduan yang ditambahkan unsur Fe sebanyak 0,8%, nilai fraksi intermetaliknya naik menjadi 0,655%. Dan saat dilakukan penambahan unsur Fe sebanyak 1%, nilai fraksi intermetalik mengalami peningkatan kembali sampai 1,05%.

Sedangkan pada paduan yang dilakukan modifikasi menggunakan 0,045% Sr, nilai fraksi intermetalik mengalami peningkatan mulai dari paduan yang ditambahkan 0,8% Fe, kemudian 0,6% Fe, dan 1% Fe. Saat paduan dilakukan penambahan unsur Fe sebesar 0,8%, nilai fraksi intermetaliknya sebesar 0,465%. Kemudian nilai fraksi intermetaliknya mengalami peningkatan menjadi 0,9% ketika 0,6% Fe ditambahkan ke paduan. Dan nilai fraksi intermetaliknya meningkat kembali menjadi 1,63% saat paduan ditambahkan unsur Fe sebanyak 1%. Hal ini terjadi dikarenakan pada penambahan modifier 0,045% Sr dan 0,8% Fe tidak mengalami overmodifikasi.

4.4.2.2 Panjang maksimal fasa intermetalik

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya korelasi antara penambahan unsur Fe dan juga *modifer* Sr terhadap ukuran panjang maksimal fasa intermetalik yang terbentuk.

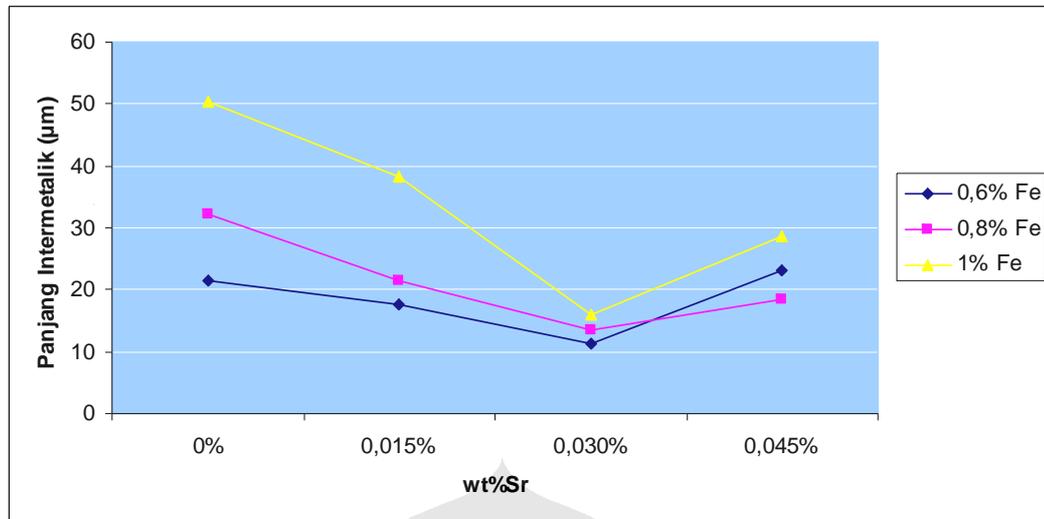


Gambar 4.5 Pengukuran panjang maksimal fasa intermetalik pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe + 0,030% Sr

Pengukuran panjang dilakukan dengan menghitung intermetalik yang terpanjang pada masing-masing sampel menggunakan fasilitas pengukur pada program peralatan SEM yang didapat data hasil pengukuran dalam satuan mikro meter (μm). Hasil data pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Data hasil pengukuran panjang maksimal fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11 wt% Si

Fe	Sr							
	0%		0,015%		0,030%		0,045%	
	Data (μm)	Rata-rata (μm)						
0,6%	24	21.375	16	17.5	9.67	11.3	25	23
	18.75		19		13		21	
0,8%	30.75	32.25	21	21.5	15	13.5	19.5	18.375
	33.75		22		12		17.25	
1%	54.75	50.25	37.5	38.25	15	16	23	28.5
	45.75		39		17		34	



Gambar 4.6 Grafik pengukuran panjang maksimal fasa intermetalik dengan variabel Fe dan Sr pada Al-11wt%Si

Data hasil pengukuran panjang maksimal intermetalik yang terbentuk dari tabel 4.5 dan gambar 4.6, terlihat bahwa pada semua paduan yang ditambahkan unsur pengotor Fe yang konstan, mengalami kecenderungan yang sama saat ditambahkan *modifier* Sr. Ukuran panjang intermetalik mengalami pemendekan saat ditambahkan *modifier* Sr sebanyak 0,015% dan 0,030%, kemudian mengalami pemanjangan saat ditambahkan *modifier* Sr sebanyak 0,045%. Hal ini dikarenakan pada penambahan 0,015% Sr paduan mengalami *partially modification*, kemudian pada penambahan 0,030% Sr paduan mengalami *fully modification*, dan pada penambahan 0,045% Sr paduan mengalami *overmodification*.

Pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan dengan kadar Fe sebanyak 0,6%, ketika belum ditambahkan unsur *modifier* Sr panjang intermetaliknya 21,375μm. Kemudian panjang intermetaliknya memendek saat ditambahkan *modifier* Sr sejumlah 0,015% menjadi 17,5μm, lalu bertambah pendek lagi saat diberikan sejumlah 0,030% *modifier* Sr menjadi 11,3μm. Tetapi saat ditambahkan *modifier* Sr sebanyak 0,045%, panjang intermetalik meningkat menjadi 23μm.

Sedangkan pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan dengan kadar Fe sebanyak 0,8%, dengan ketidakhadiran unsur *modifier* Sr panjang intermetaliknya 32,25μm. Panjang intermetalik kemudian memendek saat ditambahkan *modifier* Sr sejumlah 0,015% menjadi 21,5μm, lalu bertambah pendek lagi saat diberikan

sejumlah 0,030% *modifier* Sr menjadi 13,5 μ m. Tetapi saat ditambahkan *modifier* Sr sebanyak 0,045%, panjang intermetalik bertambah panjang menjadi 18,375 μ m.

Dan pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan dengan kadar Fe sebanyak 1%, paduan yang tidak dilakukan modifikasi, panjang intermetaliknya 50,25 μ m. Kemudian panjang intermetaliknya bertambah pendek saat ditambahkan *modifier* Sr sejumlah 0,015% menjadi 38,25 μ m, lalu bertambah pendek lagi saat diberikan sejumlah 0,030% *modifier* Sr yaitu menjadi 16 μ m. Akan tetapi saat ditambahkan *modifier* Sr sebanyak 0,045%, panjang intermetalik memanjang menjadi 28,5 μ m.

Pada data hasil pengukuran panjang maksimal intermetalik yang terbentuk dari tabel 4.5 dan gambar 4.6, juga terlihat bahwa semua sampel memiliki kecenderungan yang sama yaitu semakin bertambahnya unsur Fe yang dipadukan, maka panjang intermetalik yang terbentuk akan semakin panjang pada seluruh variabel kadar *modifier* Sr yang ditambahkan ke paduan.

Pada sampel yang tidak dimodifikasi, panjang intermetalik saat kadar Fe 0,6% adalah 21,375 μ m. Kemudian intermetalik bertambah panjang menjadi 32,25 μ m saat kadar Fe ditambahkan sampai 0,8%. Dan panjang intermetalik meningkat lagi saat ditambahkan 1% Fe menjadi 50,25 μ m.

Sedangkan pada sampel yang dimodifikasi menggunakan 0,015% Sr, panjang intermetalik saat kadar Fe 0,6% adalah 17,5 μ m. Kemudian intermetalik bertambah panjang menjadi 21,5 μ m saat kadar Fe ditambahkan sampai 0,8%. Dan panjang intermetalik meningkat lagi saat ditambahkan 1% Fe menjadi 38,25 μ m.

Kemudian pada sampel yang dimodifikasi menggunakan 0,030% Sr, panjang intermetalik saat kadar Fe 0,6% adalah 11,3 μ m. Lalu saat ditambahkan unsur pengotor Fe sebanyak 0,8%, panjang intermetalik mengalami pertambahan nilai yaitu 13,5 μ m. Namun panjang intermetalik bertambah panjang lagi saat ditambahkan 1% Fe menjadi 16 μ m.

Dan pada sampel yang dimodifikasi menggunakan 0,045% Sr, panjang intermetalik saat kadar Fe 0,6% adalah 23 μ m. Kemudian intermetalik memendek menjadi 18,375 μ m saat kadar Fe ditambahkan sampai 0,8%. Dan panjang intermetalik meningkat saat ditambahkan 1% Fe menjadi 28,5 μ m.

Dari semua data pengujian perhitungan nilai fraksi area dan panjang maksimal intermetalik maka dapat dibuat kesimpulan bahwa secara umum paduan

akan mengalami *partially modification* saat ditambahkan 0,015% Sr, *fully modification* saat ditambahkan 0,030% Sr, dan *overmodification* saat ditambahkan 0,045% Sr. Hal tersebut dikarenakan saat penambahan 0,015% Sr dilakukan, nilai fraksi area dan panjang intermetalik mengalami penurunan nilai dari pada paduan yang tidak dimodifikasi. Kemudian saat penambahan 0,030% Sr dilakukan, nilai fraksi area dan panjang intermetalik mengalami penurunan nilai kembali dari pada paduan yang dimodifikasi 0,015% Sr. Dan saat penambahan 0,045% Sr dilakukan, pada paduan 0,6% Fe dan 1% Fe, nilai fraksi area dan panjang intermetalik meningkat karena terjadi overmodifikasi. Sedangkan pada paduan 0,8% Fe, nilai fraksi area intermetalik terus mengalami penurunan ketika ditambahkan 0,015% Sr dan 0,030% Sr, namun nilai panjang intermetalik mengalami peningkatan ketika ditambahkan 0,045% Sr kedalam paduan namun masih menjadi yang terpendek dibandingkan dengan paduan yang ditambahkan 0,6% Fe dan 1% Fe.

Hasil pengujian ini memiliki kecenderungan yang sama dibandingkan dengan percobaan sebelumnya yang telah dilakukan, dimana Sr dapat memodifikasi bentuk dan memperhalus senyawa intermetalik yang bersifat merugikan.^[11] Samuel^[24] juga telah mempelajari pengaruh penambahan stronsium dapat meningkatkan pemecahan dan pembubaran fasa β -AlFeSi selama proses solidifikasi. Pada paduan 413, penambahan stronsium juga dapat mengakibatkan pemecahan fasa β -Al₅FeSi dan meningkatkan jumlah dari fasa α -AlFeSi.^[25] Kulunk dan Zuliani^[26] menunjukkan hasil bahwa reduksi ukuran dan jumlah fasa intermetalik Fe dapat dilakukan dengan melakukan penambahan stronsium.

Hasil penelitian memiliki hasil yang sama dengan penelitian yang dilakukan Morvan^[11] dimana pengurangan panjang maksimum fasa intermetalik β -Al₅FeSi akan memendek karena pengaruh Sr.

Mekanisme modifikasi Sr menurut Mulazimoglu adalah pada penyerapan stronsium pada permukaan fasa α -Al₈Fe₂Si yang bertindak sebagai penghalang larutnya silikon kedalam fasa ini. Pada kondisi ini, transpor silikon kedalam fasa α -Al₈Fe₂Si untuk membentuk fasa β -Al₅FeSi menjadi terlambat.

Mekanisme modifikasi menggunakan Sr juga dijelaskan pada diagram *aluminum-rich corner* fasa Al-Fe-Si, dimana dengan penambahan *modifier* Sr dan kecepatan pendinginan dapat memperluas area fasa α -AlFeSi.^[11] Pada kondisi ini,

dengan peningkatan kadar Sr atau kecepatan pendinginan yang cepat atau keduanya, garis border α - β pada diagram *aluminum-rich corner* akan bergeser kearah kanan. Hal ini menjelaskan tentang stabilitas fasa α -AlFeSi karena penambahan *modifier* Sr.^[1]

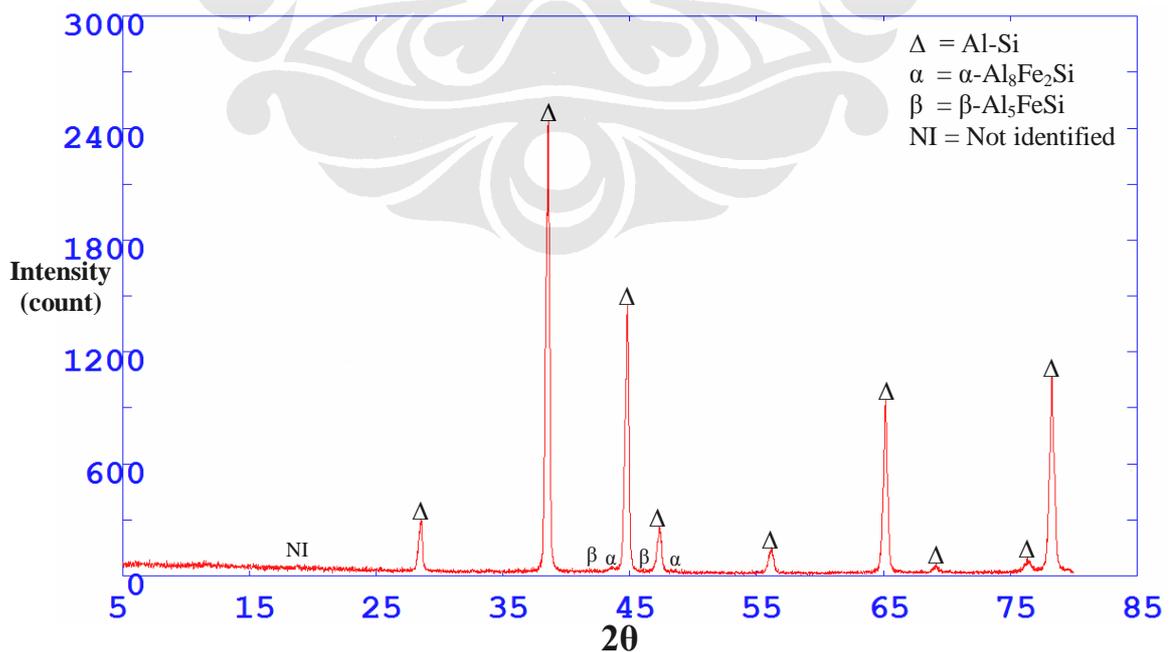
Penambahan *modifier* Sr dapat memfragmentasikan fasa intermetalik β -Al₅FeSi menjadi bagian-bagian yang lebih pendek. Namun saat Sr yang ditambahkan berlebih maka akan terjadi overmodifikasi dimana Sr yang berlebih tersebut akan membentuk suatu fasa intermetalik AlSiSr.^[32]

4.5 KOSENTRASI FASA INTERMETALIK

Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi fasa intermetalik yang terbentuk secara kualitatif dan kuantitatif karena pengaruh penambahan *modifier* Sr dan juga unsur pengotor Fe menggunakan peralatan *X-rays Diffraction* (XRD).

4.3.1 Pengaruh Penambahan Modifier Sr terhadap Kosentrasi Fasa Intermetalik

Paduan Al-11wt%Si dengan penambahan unsur Fe yang konstan (0,6%) dengan modifier Sr yang berbeda (0,015%; 0,030%; dan 0,045%) dilakukan pengujian identifikasi fasa intermetalik.



Gambar 4.7 Data hasil Pengujian XRD pada paduan Al-11wt%Si dengan penambahan 0,6% Fe dan 0,015% Sr

Tabel 4.6 Data hasil pengolahan data menggunakan *PowderX* pada paduan Al-11wt%Si + 0,6% Fe + 0,015% Sr

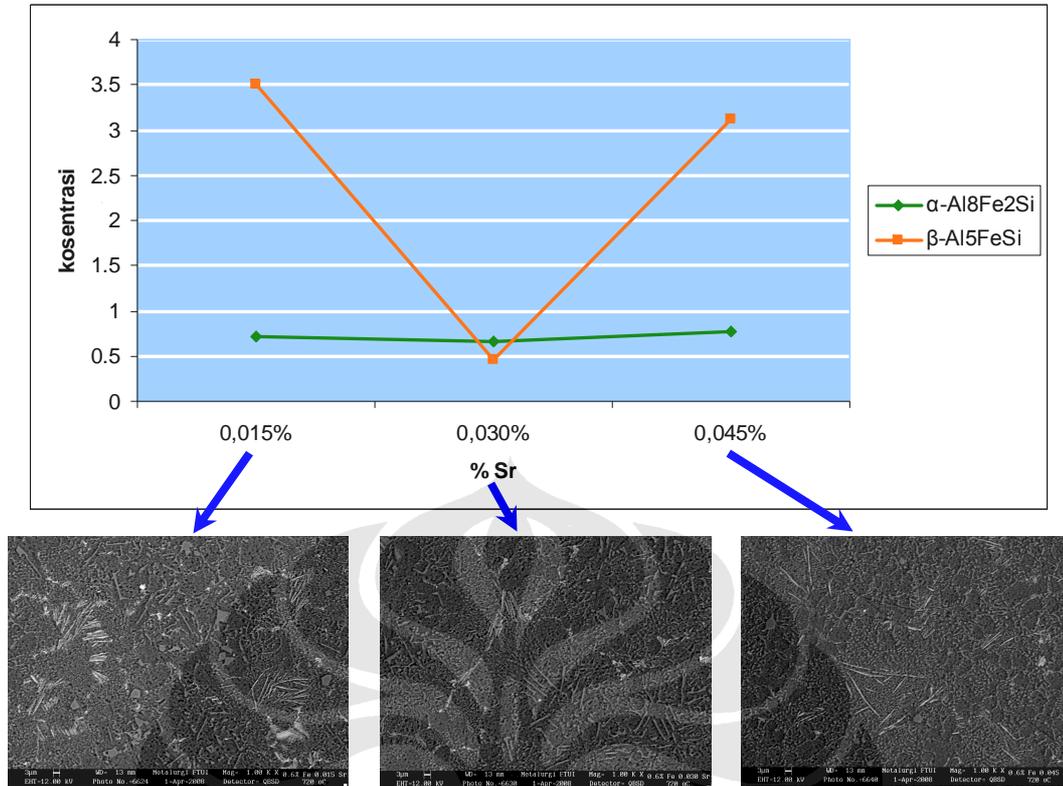
2 θ	Area	fasa
18.770	656	NI
28.537	4882.2	Al-Si
38.583	46112.7	Al-Si
41.863	303.8	β -AlFeSi
43.606	460.7	α -AlFeSi
44.819	15842.6	Al-Si
46.853	3466.5	β -AlFeSi
47.363	5319.9	Al-Si
48.650	302	α -AlFeSi
56.186	3479	Al-Si
65.177	10156.4	Al-Si
69.165	669.2	Al-Si
76.406	1618.6	Al-Si
78.303	11865	Al-Si
78.720	2416.8	Al-Si
total	107551.4	

Dari hasil perhitungan identifikasi fasa intermetalik pada paduan Al-11wt%Si + 0,6% Fe + 0,015% Sr menggunakan XRD, maka fasa intermetalik yang terbentuk dalam paduan tersebut adalah fasa α -AlFeSi sebanyak 0.7091493% dan fasa β -AlFeSi sebanyak 3.5055797%.

Pada paduan dengan variabel yang lain juga dilakukan penghitungan konsentrasi fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi dengan cara yang sama. Hasil pengolahan data pengujian XRD untuk mengidentifikasi fasa intermetalik yang terbentuk karena pengaruh penambahan modifier Sr direkapitulasikan pada tabel berikut.

Tabel 4.7 Identifikasi nilai konsentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Sr pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe

Fasa intermetalik	Sr		
	0,015%	0,030%	0,045%
α -Al ₈ Fe ₂ Si	0.709%	0.66%	0.77%
β -Al ₅ FeSi	3.506%	0.456%	3.13%



Gambar 4.8 Identifikasi nilai konsentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Sr pada paduan Al-11%Si + 0,6% Fe serta gambar hasil pengamatan struktur mikronya

Dari table 4.7 dan gambar 4.8 identifikasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan modifier Sr diatas dapat terlihat bahwa konsentrasi fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si cenderung stabil terhadap penambahan kadar Sr. Saat ditambahkan 0,015% Sr, konsentrasi fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si sekitar 0,709%, kemudian saat Sr ditambahkan menjadi 0,030%, konsentrasi fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si sedikit menurun menjadi 0,66%. Dan saat ditambahkan 0,045%, konsentrasi fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si meningkat menjadi 3,127%.

Berbeda halnya dengan fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si, fasa intermetalik β -Al₅FeSi cenderung mudah berubah konsentrasinya seiring penambahan modifier Sr. Saat ditambahkan 0,015% Sr kedalam paduan, konsentrasi fasa intermetalik β -Al₅FeSi sekitar 3,5%. Namun ketika ditambahkan modifier Sr sebanyak 0,030%, konsentrasi fasa intermetalik β -Al₅FeSi menurun secara cepat menjadi 0,455%, bahkan nilai konsentrasinya dibawah nilai konsentrasi fasa α -Al₈Fe₂Si. Tetapi saat modifier Sr ditambahkan mencapai 0,045%, konsentrasi fasa β -Al₅FeSi meningkat tajam menjadi 3,127%.

Perubahan nilai konsentrasi fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si dan β -Al₅FeSi terhadap penambahan modifier Sr memiliki kecenderungan yang sama yaitu mengalami penurunan nilai konsentrasi saat ditambahkan modifier Sr sebanyak 0,030%, dan mengalami peningkatan nilai konsentrasi saat penambahan 0,045% Sr. Walaupun perubahan nilai konsentrasi fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si tidak terlalu signifikan dibandingkan β -Al₅FeSi. Dibandingkan dengan data hasil pengamatan struktur mikro menggunakan SEM juga terlihat dimana fasa intermetalik dengan morfologi jarum-jarum yang merupakan ciri-ciri dari fasa β -Al₅FeSi mengalami pengurangan jumlah saat penambahan Sr sebanyak 0,030% dan akan bertambah banyak dan panjang ketika ditambahkan Sr sebanyak 0,045%.

Jika dirujuk hasil dari penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, hasil dari penelitian ini memiliki kecenderungan yang sama, dimana pada kondisi *fully modified* yaitu saat penambahan modifier Sr sebanyak 0,030%, fasa intermetalik β -Al₅FeSi mengalami fragmentasi dan pengurangan jumlah.^[26] Mulazimoglu juga menyatakan bahwa Sr yang ditambahkan kedalam paduan dapat teradsorpsi pada permukaan fasa α -Al₈Fe₂Si dan bertindak sebagai penghalang larutnya silikon kedalam fasa α -Al₈Fe₂Si untuk membentuk fasa β -Al₅FeSi. Oleh karena itu, fasa α -Al₈Fe₂Si tetap stabil dan fasa β -Al₅FeSi menjadi terhambat pembentukannya.^[31]

Pada saat modifier Sr ditambahkan sebanyak 0,045% kedalam paduan, kondisi ini dapat dikatakan sebagai overmodifikasi, karena nilai konsentrasi fasa β -Al₅FeSi meningkat tajam dan nilai konsentrasinya hampir sama saat penambahan modifier Sr sebanyak 0,015%. Menurut Samuel^[32] hal ini dikarenakan penambahan unsur stronsium yang berlebih sehingga Sr membentuk suatu fasa intermetalik baru Al-Si-Sr, yang mengakibatkan fungsi Sr sebagai modifier hilang.

4.3.3 Pengaruh Penambahan Unsur Pengotor Fe terhadap Konsentrasi Fasa Intermetalik

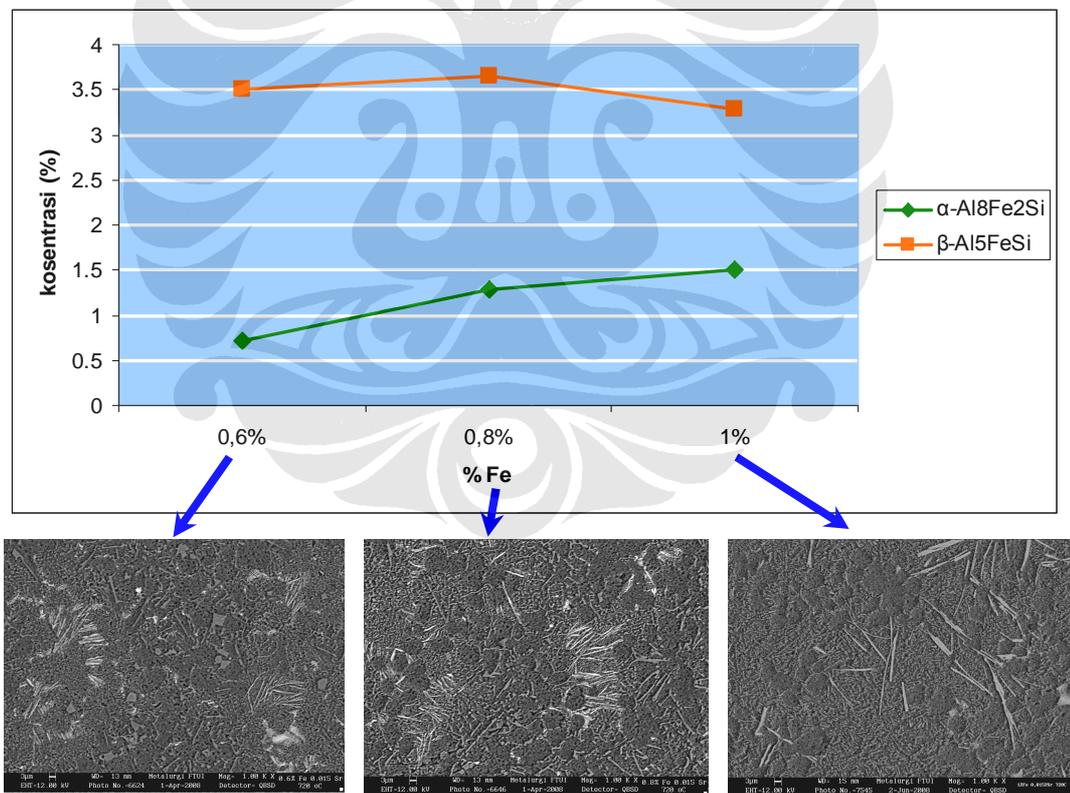
Paduan Al-11wt%Si dengan penambahan modifier yang konstan (0,015% Sr), namun dengan variabel unsur Fe yang berbeda (0,6%; 0,8%; dan 1% Fe) dilakukan pengujian menggunakan XRD untuk mengidentifikasi fasa intermetalik yang terbentuk karena pengaruh penambahan unsur pengotor Fe. Kemudian

dengan cara yang sama, proses perhitungan konsentrasi fasa intermetalik α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ dan β - Al_5FeSi dilakukan. Lalu hasil perhitungan data direkapitulasikan pada tabel dan gambar berikut.

Tabel 4.8 Identifikasi nilai konsentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Fe pada paduan Al-11%Si + 0,015% Sr

Fasa intermetalik	Fe		
	0,6%	0,8%	1%
α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$	0.709%	1.289%	1.502%
β - Al_5FeSi	3.506%	3.657%	3.290%

Tabel 4.6 dan gambar 4.9 tersebut menunjukkan pengujian perhitungan konsentrasi fasa intermetalik α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ dan β - Al_5FeSi yang terbentuk karena penambahan unsur Fe pada paduan Al-11%Si yang ditambahkan 0,015% Sr



Gambar 4.9 Identifikasi konsentrasi fasa intermetalik terhadap variable penambahan Fe pada paduan Al-11%Si + 0,015% Sr serta hasil gambar hasil pengamatan struktur mikronya

Pada paduan yang ditambahkan 0,015% Sr, konsentrasi fasa intermetalik α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar Fe yang ditambahkan ke paduan. Saat 0,6% Fe dilarutkan kedalam paduan, nilai konsentrasi fasa α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ sebesar 0,709%. Kemudian ketika sejumlah unsur Fe ditambahkan menjadi 0,8%, nilai konsentrasi fasa α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ bertambah naik menjadi 1,289%. Dan ketika 1% Fe dilarutkan pada paduan, konsentrasi fasa α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ semakin tinggi nilainya menjadi 1,502%.

Berikutnya pada paduan yang sama, konsentrasi fasa intermetalik β - Al_5FeSi yang terbentuk akan mengalami peningkatan dari penambahan 0,6% Fe sampai 0,8% Fe, namun nilai konsentrasinya turun saat dilarutkan 1% Fe kedalam paduan. Ketika 0,6% Fe dilarutkan kedalam paduan, nilai konsentrasi fasa intermetalik β - Al_5FeSi adalah sebesar 3,506%. Lalu saat unsur Fe ditambahkan menjadi 0,8%, nilai konsentrasi fasa β - Al_5FeSi semakin meningkat menjadi 3,657%. Akan tetapi saat unsur Fe dilarutkan kedalam paduan sejumlah 1%, nilai konsentrasi fasa β - Al_5FeSi menurun menjadi 3,290%. Penurunan nilai konsentrasi ini terjadi kemungkinan disebabkan adanya puncak-puncak yang terlalu saling berdekatan satu sama lain sehingga sulit untuk memisahkan dan mengidentifikasi puncak-puncak tersebut.

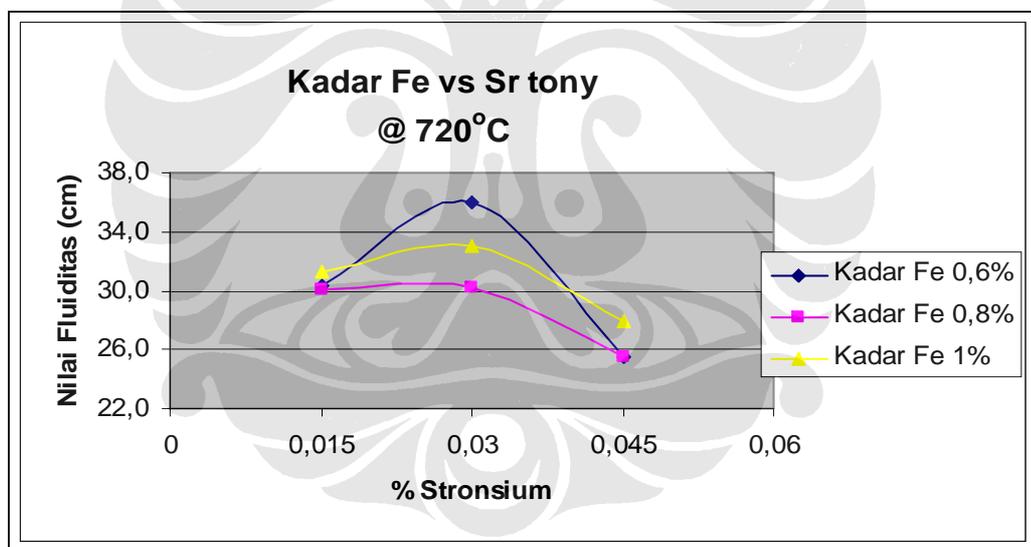
Secara umum hasil penelitian ini memiliki hasil yang sama bila dirujuk pada hasil penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dimana semakin meningkatnya kadar Fe yang ditambahkan maka, fasa intermetalik yang terbentuk juga akan semakin tinggi pula khususnya fasa intermetalik β - Al_5FeSi . Namun pada hasil penelitian ini, tidak hanya fasa intermetalik β - Al_5FeSi saja yang meningkat jumlah konsentrasinya, namun jumlah dan konsentrasi fasa α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ juga mengalami peningkatan seiring dengan penambahan unsur Fe ke dalam paduan. Hal ini dikarenakan Fe memiliki tingkat kelarutan yang sangat rendah pada aluminium solid, yaitu sekitar $\sim 0,05\%$. Sehingga pada saat pembekuan, Fe yang tidak terlarut akan membentuk *second phase intermetallic*. Jadi semakin banyak unsur Fe yang ditambahkan, maka jumlah Fe yang tidak terlarut dan akan membentuk fasa intermetalik juga akan semakin meningkat jumlahnya.

Gambar 4.9 juga memperlihatkan bahwa nilai konsentrasi fasa intermetalik β - Al_5FeSi selalu lebih tinggi dari pada nilai konsentrasi fasa intermetalik α -

$\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$. Hal ini dapat diindikasikan bahwa dengan penambahan modifier Sr yang masih rendah (dalam penelitian ini 0,015% Sr), fasa intermetalik yang lebih dominan terbentuk adalah fasa intermetalik $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$. Hal ini juga dapat dibuktikan pada hasil gambar pengamatan struktur mikro dimana fasa intermetalik yang dominan terbentuk memiliki morfologi seperti jarum-jarum yang merupakan ciri-ciri penampakan fasa intermetalik $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$.

4.6 KORELASI ANTARA PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DENGAN NILAI FLUIDITAS

Data nilai fluiditas yang akan di bandingkan diambil dari data hasil penelitian uji mampu alir yang sebelumnya telah dilakukan oleh Tony^[3]. Agar hubungan tersebut dapat dilakukan secara baik, maka data fluiditas yang diambil adalah data dengan komposisi kimia yang sama dan tingkat *superheat* yang sama yaitu 720°C . Data pengujian mampu alir dapat dilihat pada gambar berikut.



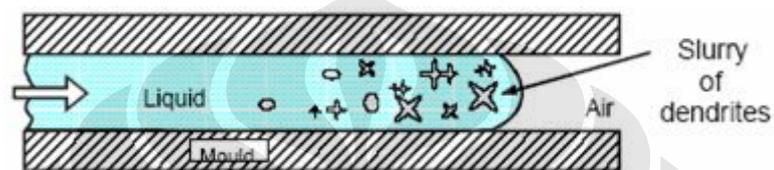
Gambar 4.10 Nilai mampu alir pada paduan Al-11%Si dengan paduan Fe dan Sr pada *superheat* 720°C .^[3]

Dari gambar 4.10 terlihat bahwa nilai mampu alir dari paduan meningkat dengan penambahan 0,015% Sr dan mencapai puncak tertinggi saat penambahan 0,030% Sr, lalu menurun saat dilarutkan 0,045% Sr.

Nilai fluiditas mencapai puncak saat dilarutkan 0,030% Sr, bila dikorelasikan dengan hasil penelitian, saat penambahan modifier Sr tersebut, nilai fraksi area, panjang maksimum, dan konsentrasi fasa intermetalik menunjukkan

angka yang terendah. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.4, gambar 4.6, gambar 4.8. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan Sr yang tepat (dalam penelitian sebesar 0,030% Sr), akan berpengaruh terhadap struktur mikro dan konsentrasi fasa intermetalik yang terbentuk yang dapat mempengaruhi nilai mampu alir dari paduan.

Hal ini juga dikuatkan dengan literatur dimana fasa intermetalik akan terbentuk pada temperatur yang lebih rendah, dalam hal ini pada bagian ujung aliran, sehingga akan menghambat aliran logam yang akan mengalir dari bagian belakang.



Gambar 4.11 Mekanisme terhambatnya aliran logam karena fasa intermetalik yang telah membeku pada ujung aliran.^[3]

Literatur lain juga memperkuat analisa ini dengan menyebutkan bahwa dengan melarutkan sejumlah modifier Sr yang tepat maka akan menurunkan kurva pendinginan paduan. Sehingga temperatur yang dibutuhkan untuk bernukleasi dan membeku akan semakin rendah. Hal tersebut dapat menyebabkan nilai fluiditas meningkat.^[2]