



TUGAS AKHIR - SF 184801

**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAIN REFINER* AITiB
DAN *MODIFIER* STRONSIUM TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK PADUAN
ALUMINIUM ADC12 DENGAN METODE *GRAVITY
CASTING***

ULAN SARI
NRP 0111154000062

Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si

Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019



TUGAS AKHIR - SF 184801

**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAIN REFINER* AITiB
DAN *MODIFIER* STRONSIUM TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK PADUAN
ALUMINIUM ADC12 DENGAN METODE *GRAVITY
CASTING***

**ULAN SARI
NRP 0111154000062**

**Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**



FINAL PROJECT - SF 184801

**THE INFLUENCE OF GRAIN REFINER AlTiB AND
MODIFIER STRONTIUM ON MICROSTRUCTURE
AND MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM
ALLOY ADC12 BY GRAVITY CASTING METHOD**

**ULAN SARI
NRP 0111154000062**

**Advisor
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**Department of Physics
Faculty of Science
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2019**

LEMBAR PENGESAHAN
PENGARUH PENAMBAHAN *GRAIN REFINER* AITiB
DAN *MODIFIER* STRONSIUM TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK PADUAN
ALUMINIUM ADC12 DENGAN METODE *GRAVITY*
CASTING

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelara Sarjana Sains
Pada
Bidang Studi Material
Program Studi S-1 Departemen Fisika
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
ULAN SARI
NRP. 0111154000062

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. Mochamad Zainuri, M.Si
(NIP. 19640130 199002.1001)

(.....)



**PENGARUH PENAMBAHAN *GRAIN REFINER* AlTiB
DAN *MODIFIER* STRONSIUM TERHADAP
MIKROSTRUKTUR DAN SIFAT MEKANIK PADUAN
ALUMINIUM ADC12 DENGAN METODE *GRAVITY
CASTING***

Nama : Ulan Sari
NRP : 01111540000062
Departemen : Fisika, F.SAINS-ITS
Pembimbing : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstrak

Paduan Al *scrap* ingot (ADC12) mengandung Fe dengan kadar tinggi, yaitu sebesar 5,34wt% yang menyebabkan terbentuknya fasa intermetalik α -Al₈Fe₂Si (*chinese script*) dan β -Al₅FeSi (*needle-like*). Untuk mengurangi pengaruh buruk dari fasa intermetalik ini, maka dilakukan proses netralisasi dengan cara menambahkan *modifier* dan *grain refiner*. Pada penelitian ini menggunakan variasi penambahan *modifier* Sr sebesar 0,015wt%; 0,03wt%; 0,045wt%; 0,06wt% dan *grain refiner* AlTiB tetap sebesar 0,15wt% dengan metode *gravity casting*. Karakterisasi mikrostruktur menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*), SEM (*Scanning Electron Microscope*), EDX (*Energy Dispersive X-ray Analysis*), serta XRD (*X-Ray Diffraction*). Sedangkan karakterisasi sifat mekanik paduan Al-Si coran menggunakan pengujian kekerasan dan densitas. Hasil karakterisasi mikrostruktur dan sifat mekanik menunjukkan, bahwa penambahan 0,06wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB merupakan penambahan optimum *modifier* Sr dan *grain refiner* AlTiB karena mampu menurunkan jumlah intensitas fasa intermetalik, mengubah fasa intermetalik β -Al₅FeSi menjadi fasa α -Al₈Fe₂Si sehingga morfologi fasa intermetalik menjadi lebih *fibrous*, serta mampu meningkatkan sifat mekanik paduan Al-Si coran yang diindikasikan dengan nilai keuletan (*ductility*) tinggi dan densitas rendah.

Kata kunci: ADC12, *Grain Refiner* AlTiB, *Modifier* Sr.

**THE INFLUENCE OF GRAIN REFINER AlTiB AND
MODIFIER STRONTIUM ON MICROSTRUCTURE AND
MECHANICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY
ADC12 BY GRAVITY CASTING METHOD**

Name : Ulan Sari
NRP : 01111540000062
Major : Physics, F.SCIENCE-ITS
Advisor : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstract

Al scrap ingot material (ADC12) has a high content of Fe, which is 5,34wt% caused the formation of α -Al₈Fe₂Si (chinese script) and β -Al₅FeSi (needle-like) intermetallic phases. To reduce the adverse effects of this intermetallic phase, a neutralization process is carried out by adding a modifier and grain refiner. In this research uses a variation of the addition of modifier Sr of 0,015wt%; 0,03wt%; 0,045wt%; 0,06wt% and a fixed variation of grain refiner AlTiB of 0,15wt% by gravity casting method. The microstructure characterization use XRF (X-Ray Fluorescence), SEM (Scanning Electron Microscope), EDX (Energy Dispersive X-ray Analysis), and XRD (X-Ray Diffraction). While the characterization of mechanical properties uses hardness and density testing. The results of microstructural characterization and mechanical properties show that the addition of 0,06wt%Sr and 0,15wt%AlTiB is the addition of the optimum modifier Sr and grain refiner AlTiB because it can reduce the number of intermetallic phase intensities, change the intermetallic β -Al₅FeSi phase to α -Al₈Fe₂Si phase, so that the morphology of intermetallic phase becomes more fibrous, and also can improve the mechanical properties of Al-Si casting alloys which are indicated by high ductility and low density values.

Keywords: ADC12, Grain Refiner AlTiB, Modifier Sr.

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam penulis kirimkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Pengaruh Penambahan *Grain Refiner* AlTiB dan *Modifier* Stronsium Terhadap Mikrostruktur Dan Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC12 Dengan Metode *Gravity Casting*””. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.**

Penulis menyadari bahwa penelitian dan penyusunan laporan ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya dukungan, bimbingan, dan bantuan dari berbagai pihak, diantaranya:

1. Dr. M. Zainuri, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah bersedia memberikan ilmu, arahan, bimbingan, serta saran yang membangun selama penelitian hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua yaitu Alm. Lie Sun Hang dan Ibu Sukimi serta Adik-adik tercinta saya yang bernama Noni Lestari, Johannes, Michael Agustin, dan Helen Christiana yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan baik secara moril maupun doa-doanya hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Beasiswa Bidikmisi dan Beastudi Etos Surabaya yang telah memberikan dukungan baik dalam bentuk bantuan pendidikan maupun bimbingan hingga terselesaikannya studi saya ini.

4. Bapak Sukir dan Bapak Slamet yang telah membimbing dan membantu dalam pengerjaan dan pengambilan data Tugas Akhir ini.
5. Muhammad Misbakhudin yang telah memberikan dukungan dan membantu dalam pembelian alat-alat Tugas Akhir ini.
6. Yahya Dion Tandiga yang telah memberikan dukungan kepada penulis hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.
7. Hafizhah Ellora Della yang telah memberikan dukungan dan membantu selama kuliah di Departemen Fisika ITS.
8. Adhika Widya Laksana yang telah memberi dukungan dan membantu dalam membuat daftar isi dan format penulisan.
9. Dwi Julianitasari dan Tri Elfira Yolanda yang telah memberi dukungan dan membantu dalam pengolahan data Tugas Akhir ini.
10. Retno dan Andini yang selalu memberikan dukungan kepada penulis ketika susah maupun senang.
11. Teman-teman POSITRON yang lain yang telah memberikan dukungan serta motivasi untuk bisa menyelesaikan laporan tugas akhir ini.
12. Teman-teman ADHIMUKTI Beastudi Etos yang telah memberikan dukungan serta motivasi hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat bermanfaat, baik bagi diri penulis sendiri, maupun bagi pengembangan dan pengayaan materi di keilmuan material. Penulis juga menerima kritik dan saran yang membangun untuk penulisan karya yang lebih baik kedepannya. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Laporan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Paduan Aluminium Tuang.....	7
2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium.....	8
2.3 Prinsip Dasar Pemaduan Aluminium.....	9
2.4 Macam – Macam Paduan Aluminium Tuang.....	10
2.4.1 Pengelompokkan Paduan Berdasarkan Komposisi Paduan.....	10

2.4.2	Pengelompokkan Paduan Berdasarkan Perlakuan Panas	13
2.5	Pengaruh Unsur Paduan Aluminium Tuang.....	14
2.6	Macam – Macam Pengecoran (<i>Casting</i>).....	18
2.7	Paduan Aluminium-Silikon Hasil Coran.....	20
2.7.1	Paduan Aluminium-Silikon Hipoeutektik.....	22
2.7.2	Paduan Aluminium-Silikon Eutektik.....	23
2.7.3	Paduan Aluminium-Silikon Hipereutektik.....	24
2.8	Mikrostruktur dan Fasa.....	25
2.8.1	<i>Dendrite Arm Spacing</i> (DAS).....	25
2.8.2	Fasa Intermetalik Paduan Aluminium-Silikon.....	26
2.8.3	Pembentukan Fasa Intermetalik Pada Proses Pengecoran.....	30
2.9	Penghalus Butir (<i>Grain Refiner</i>)	33
2.10	Unsur Pemodifikasi (<i>Modifier</i>)	34
2.11	Sifat – Sifat Mekanik Paduan Aluminium	37
2.11.1	Densitas (<i>Density</i>).....	37
2.11.2	Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	38
2.12	Cara meningkatkan Sifat – Sifat Mekanik	38
2.12.1	<i>Aging</i> (<i>Heat Treatable Alloys</i>).....	38
2.12.2	<i>Non – Aging</i> (<i>Non – Heat Treatable Alloys</i>).....	40
BAB III METODOLOGI.....		43
3.1	Peralatan dan Bahan	43
3.1.1	Peralatan.....	43
3.1.2	Bahan.....	43

3.2	Prosedur Kerja.....	43
3.3	Karakterisasi Mikrostruktur	47
3.3.1	<i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	47
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....		55
4.1	Analisa Komposisi Kimia dengan XRF.....	55
4.2	Analisa Fasa Intermetalik yang Terbentuk dengan XRD	60
4.3	Analisa Mikrostruktur dari Hasil Pengujian SEM dan EDX	65
4.4	Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (<i>Hardness</i>).....	77
4.5	Analisa Hasil Pengujian Densitas (<i>Density</i>).....	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		87
5.1	Kesimpulan.....	87
5.2	Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA.....		89
LAMPIRAN A.....		93
LAMPIRAN B.....		95
LAMPIRAN C.....		97
LAMPIRAN D.....		99
LAMPIRAN E.....		107
BIODATA.....		111

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Dasar Pemaduan Aluminium.....	10
Gambar 2.2 Metode Pengecoran Aluminium.....	19
Gambar 2.3 Paduan Al-Si Coran Komersial.....	21
Gambar 2.4 Mikrostruktur Al-7%Si Perbesaran 500X Etsa 0,5% HF.....	23
Gambar 2.5 Mikrostruktur Paduan Eutektik Al-Si Etsa 0,5% dan Perbesaran 750X.....	24
Gambar 2.6 Jarak Lengan Dendrit dan Ukuran Sel Dendrit Sebagai Suatu Fungsi Kecepatan Solidifikasi.....	25
Gambar 2.7 Fasa Intermetalik α -AlFeSi.....	28
Gambar 2.8 Fasa Intermetalik β -AlFeSi.....	30
Gambar 2.9 Hasil SEM Dimana α -AlFeSi Dalam Bentuk <i>Script</i> dan β -AlFeSi Dalam Bentuk Pelat Tipis.....	31
Gambar 2.10 Kristal Silikon.....	35
Gambar 3.1 Proses Peleburan Paduan Aluminium	46
Gambar 3.2 Sampel Paduan Aluminium-Silikon Hasil Coran ...	47
Gambar 3.3 <i>X-Ray Diffractometer</i> (XRD)	519
Gambar 3.4 <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	50
Gambar 3.5 Prinsip Kerja SEM.....	51
Gambar 3.6 Pengujian Kekerasan Paduan Aluminium Hasil Coran Dengan <i>Microhardness Vicker's</i>	52
Gambar 3.7 Pengujian Densitas Paduan Aluminium Hasil Coran	53
Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian.....	54
Gambar 4.1 Analisis Data Hasil Pengujian XRD Paduan Al-Si Eutektik 100% <i>scrap</i> dan Dengan Variasi AlTiB dan Sr.....	60
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian XRD	61

Gambar 4.3 Pengaruh Penambahan <i>Modifier</i> Sr Terhadap Intensitas Relatif Fasa Intermetalik Pada Paduan Al <i>Scrap</i> Ingot Dengan Konsentrasi 0,15wt% AlTiB ..	63
Gambar 4.4 Data Hasil Pengujian EDX.....	69
Gambar 4.5 Foto Mikrostruktur Paduan Al <i>Scrap</i> Ingot (ADC12) Yang Telah Ditambahkan AlTiB Tetap 0,15wt% dan Sr Bervariasi	72
Gambar 4.6 Mikrostruktur Paduan Al <i>Scrap</i> Ingot Yang Ditambahkan 0,06wt% Sr dan 0,15wt% AlTiB.....	74
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Penambahan <i>Modifier</i> Sr Terhadap Nilai Kekerasan Paduan Al <i>Scrap</i> Ingot.....	79
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Penambahan <i>Modifier</i> Sr Terhadap Nilai Densitas Paduan Al <i>Scrap</i> Ingot Dengan 0,15wt% AlTiB.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pengaruh Berbagai Unsur Paduan Terhadap Fasa Intermetalik AlFeSi	32
Tabel 3.1 Perhitungan <i>Modifier</i> Stronsium Yang Ditambahkan.....	44
Tabel 3.2 <i>Material Balance</i> Percobaan Yang Dilakukan	45
Tabel 4.1 Komposisi Kimia Paduan Aluminium <i>Scrap</i> Ingot	55
Tabel 4.2 Komposisi Kimia Paduan ADC12 Komersial Sesuai Dengan Standard JIS (Nanda and Suharno, 2012) ...	55
Tabel 4. 3 Komposisi Kimia <i>Grain Refiner</i> AlTiB.....	58
Tabel 4.4 Komposisi Kimia <i>Modifier</i> Stronsium.....	59
Tabel 4.5 Data <i>Output</i> Pengujian Menggunakan XRD (Nanda and Suharno, 2012).....	62
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Mikrostruktur Paduan Al-Si Hasil Coran Dengan AlTiB tetap dan Variasi Sr Bertahap Pada Perbesaran 300X.....	66
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Rata-Rata Panjang Jarum-Jarum (<i>Needle-Like</i>) Pada Mikrostruktur Paduan Saat Penambahan 0,03wt%Sr, 0,045wt%Sr dan 0,06wt%Sr Serta 0,15wt%AlTiB.....	77
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Kekerasan Paduan Al-Si Hasil Coran Dengan <i>Microhardness Vicker's</i>	78
Tabel 4.9 Data Hasil Perhitungan Densitas dan Fraksi Porositas Paduan Al-Si Hasil Coran.....	81

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A** Data Hasil Pengujian Kekerasan Paduan Al-Si Hasil Coran
- LAMPIRAN B** Data Hasil Pengujian dan Perhitungan Densitas dan Fraksi Porositas Paduan Al-Si Hasil Coran
- LAMPIRAN C** Data Hasil Pengukuran Intensitas Relatif Fasa Intermetalik Berdasarkan Hasil Uji XRD dengan Menggunakan *Software* MATCH!
- LAMPIRAN D** Hasil Pengujian Mikrostruktur Paduan Al-Si Hasil Coran dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) Untuk Perbesaran 100X, 500X, dan 1000X
- LAMPIRAN E** Data Hasil Pengujian EDX (*Energy Dispersive X-ray analysis*) Paduan Al-Si Coran Sampel 1

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Aluminium telah tersedia secara luas di kerak bumi sekitar 8% dari berat permukaan bumi. Sifat aluminium seperti berkekuatan tinggi dengan berat yang ringan, ulet, daya tahan yang baik, dan sebagainya telah diamati oleh banyak peneliti dan menyebabkan industri-industri di dunia lebih cenderung menggunakannya sebagai bahan baku produksi (Gangil et al., 2017). Produksi pengecoran paduan aluminium telah mengalami peningkatan dan di Jepang jumlahnya sudah mencapai 1500 Kilo Ton pada Tahun 2010. Jumlah pengecoran paduan aluminium yang paling banyak digunakan adalah untuk komponen otomotif, seperti *transmission cases*, *converter housings* dan *cylinder blocks*. Bagian-bagian otomotif tersebut pada awalnya terbuat dari besi coran, namun sudah tergantikan dengan paduan aluminium coran karena memiliki efisiensi bahan bakar yang lebih tinggi dan rendah emisi (Okayasu et al., 2012). Bahan paduan aluminium-silikon penggunaannya juga sangat luas, khususnya di industri otomotif dan penerbangan. Hal ini disebabkan material ini memiliki kekuatan spesifik yang tinggi, sifat mampu cor yang baik, dan mudah untuk didaur ulang. Material ini merupakan jenis material yang sangat ringan sehingga di dalam industri prosesnya dapat dilakukan dengan mereduksi gas emisi yang rendah (Ghomashchi R., 2006).

Saat ini, pada proses industri aluminium banyak memanfaatkan bahan-bahan sekunder seperti *scrap* (aluminium sisa) sebagai bahan baku paduan aluminium. Paduan komersial Al-Si-Cu-Fe (e.g., ADC 12) merupakan salah satu paduan aluminium yang dapat didaur ulang, biayanya rendah, dapat diperlakukan panas, dan sifat mekaniknya cukup baik (Tang et al., 2017). Pada dasarnya paduan ADC12 (Al-Si-Cu) merupakan paduan aluminium coran yang secara luas digunakan karena sifat mekaniknya yang sangat baik, seperti sifat mampu cor yang baik,

densitas rendah, produktivitas tinggi, kecepatan *shrinkage* yang rendah, dan relatif berkekuatan tinggi (Okayasu et al., 2012).

Penggunaan *scrap* (aluminium sisa) sebagai bahan baku paduan aluminium menimbulkan permasalahan. Permasalahan yang dihadapi industri komponen otomotif saat ini adalah untuk mendapatkan material aluminium dengan kadar tinggi dan bebas dari pengotor yang bersifat merugikan terhadap paduan aluminium itu sendiri. Untuk mendapatkan paduan aluminium yang bebas dari pengotor relatif mahal karena diperlukan proses-proses pemurnian terlebih dahulu (Nanda and Suharno, 2012). Salah satu pengotor yang umumnya terkandung dalam paduan aluminium adalah unsur Fe (Villeneuve, C. Duty H.W. and Samuel, F.H., 1999). Unsur Fe dapat larut ke dalam paduan aluminium saat proses manufaktur aluminium primer yaitu melalui proses bayer dan proses reduksi elektrolitik *Hall-Heroult* melalui dua mekanisme, yaitu melalui larutnya Fe dari peralatan baja dan peralatan *furnace* yang tidak terproteksi, dan melalui penambahan material paduan dengan kemurnian yang rendah (Nanda and Suharno, 2012). Adanya unsur Fe akan menghadirkan fasa intermetalik pada paduan aluminium-silikon. Fasa intermetalik ini jika terdapat dalam jumlah yang banyak sangat merugikan, karena selain dapat menurunkan sifat mampu cor dan sifat mekaniknya, juga dapat menyebabkan adanya cacat di dalam paduan aluminium-silikon tersebut (Suharno, 2007). Fasa intermetalik yang umum terdapat pada paduan aluminium-silikon adalah fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi. Fasa intermetalik α -AlFeSi dinilai memiliki karakteristik yang lebih baik daripada fasa β -AlFeSi dari segi sifat mekanis dan sifat mampu cor (Kral, and M.V McIntyre, H.R., 2004). Keberadaan besi yang mengakibatkan munculnya fasa-fasa intermetalik ini tidak dapat dihilangkan dari paduan aluminium tetapi dapat dikurangi pengaruh buruk yang ditimbulkannya (Nanda and Suharno, 2012). Untuk mengurangi pengaruh buruk dari fasa intermetalik ini, maka dilakukan proses netralisasi. Proses netralisasi ini dapat dilakukan diantaranya dengan cara

menambahkan *grain refiner* dan *modifier* ke dalam paduan aluminium-silikon (Dhaneswara et al., 2018; Suharno, 2007).

Penambahan unsur-unsur *modifier* pada cairan paduan aluminium, seperti kalsium, stronsium, fosfor dan antimony. *Modifier* ini pada dasarnya memiliki dua fungsi. Fungsi yang pertama yaitu untuk menghambat pertumbuhan kristal-kristal silikon di dalam fasa eutektik, yang akan menghasilkan partikel silikon yang semula berbentuk lamel-lamel (jarum-jarum kasar) secara bertahap menjadi berbentuk granular, dan akhirnya menjadi partikel yang lebih halus (*fibrous*) dan terdistribusi merata. Dengan partikel yang lebih halus dan rata, maka struktur paduan aluminium-silikon menjadi lebih baik sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik paduan. Sementara fungsi yang kedua adalah dapat mengubah morfologi dari fasa intermetalik yang terbentuk akibat adanya unsur Fe dengan kadar yang tinggi, yang pada awalnya berupa fasa β -AlFeSi yang berbentuk *platelet* menjadi fasa α -AlFeSi yang berbentuk *chinese script* (Suharno, 2007).

Sementara *grain refiner* AlTiB pada paduan aluminium-silikon digunakan untuk mengontrol besarnya struktur butir. *Grain refiner* menghasilkan sejumlah besar butir yang halus, *equiaxed* dan terdistribusi merata. Pada paduan Al-Si yang mengandung Fe, butir yang halus akan menghasilkan intermetalik yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata sehingga dapat memperbaiki sifat mekanik dari paduan Al-Si hasil coran (Dhaneswara et al., 2018). Adapun proses diatas merupakan salah satu metode untuk merekayasa sifat mekanik dari *non-heat-treatable* aluminium alloys, dimana rekayasa mikrostrukturnya dilakukan dengan menggunakan *modifier* dan *grain refiner* yang pada penelitian ini secara berurutan adalah Sr dan AlTiB, yang secara spesifik akan meninjau pada sifat mekanik yang berupa sifat kekerasan (*hardness*) dan densitas (*density*) dari paduan aluminium-silikon hasil coran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium terhadap mikrostruktur material ADC12 berbasis bahan limbah *scrap* aluminium?
2. Bagaimana pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium terhadap sifat mekanik material ADC12 berbasis bahan limbah *scrap* aluminium?
3. Berapakah kadar optimum penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium dalam rekayasa mikrostruktur paduan aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik material ADC12 berbasis bahan limbah *scrap* aluminium?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium terhadap mikrostruktur material ADC12 berbasis bahan limbah *scrap* aluminium.
2. Mengetahui pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium terhadap sifat mekanik material ADC12 berbasis bahan limbah *scrap* aluminium.
3. Mengetahui kadar optimum penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium dalam rekayasa mikrostruktur paduan aluminium untuk meningkatkan sifat mekanik material ADC12 berbasis bahan limbah *scrap* aluminium.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian tugas akhir ini, memiliki batasan masalah sebagai berikut :

1. Konsentrasi Si yang terkandung dalam material *scrap* aluminium ADC12 yang digunakan adalah sebesar 13wt%.
2. Metode pengecoran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gravity casting*.

3. *Modifier* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Stronsium sebesar 0,015wt%; 0,03wt%; 0,045wt%; 0,06wt%.
4. *Grain refiner* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Al-5%Ti-1%B sebesar 0,15wt%.
5. Karakterisasi mikrostruktur pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *scanning Electron Microscope* (SEM) dan *X-Ray Diffraction* (XRD).
6. Karakterisasi sifat mekanik paduan aluminium ADC12 ini meliputi uji densitas dengan teori Archimedes dan uji kekerasan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Microhardness Vicker's*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan nilai tambah dari material *scrap* aluminum sebagai bahan dasar pembuatan komponen-komponen permesinan berbasis bahan paduan aluminium.

1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan yang digunakan penulis dalam penulisan laporan Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab Pendahuluan dalam laporan Tugas Akhir ini yaitu berisi tentang Latar Belakang penelitian, Rumusan Masalah pada penelitian, Tujuan dari penelitian, Batasan Masalah penelitian, Manfaat penelitian, dan Sistematika Penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Bab Tinjauan Pustaka berisi tentang teori penunjang penelitian.

BAB III : Metodologi

Bab Metodologi berisi tentang alat dan bahan, metodologi penelitian, karakterisasi dan diagram alir penelitian.

BAB IV : Analisis Data dan Pembahasan

Bab Analisis data dan Pembahasan merupakan inti dari penulisan laporan Tugas Akhir yang berisi analisa data dan pembahasan tentang hasil dari penelitian.

BAB V : Kesimpulan dan Saran

Bab Kesimpulan dan Saran yaitu berisi kesimpulan dari analisa data dan pembahasan yang berdasarkan pada tujuan penelitian dan disertai saran yang berlaku bagi penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka merupakan sumber referensi pengambilan bahan atau literatur pada penulisan laporan Tugas Akhir.

LAMPIRAN

Lampiran merupakan sebagian data penelitian yang dilakukan serta dapat mencantumkan gambar yang menunjang penelitian Tugas Akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Paduan Aluminium Tuang

Paduan aluminium tuang merupakan jenis paduan yang paling banyak digunakan dalam berbagai hal dibandingkan dengan jenis paduan yang lainnya dan umumnya memiliki nilai *castability* (mampu cor) yang baik. Aluminium dapat disesuaikan dengan berbagai metode pengecoran yang umum dipakai dan dapat dituang langsung ke dalam cetakan atau *dies* yang terpasang pada mesin otomatis dan dalam volume yang besar. Aluminium juga dapat dituang kedalam cetakan pasir, cetakan *shell*, sentrifugal, dan *investment* (Illinois, 1986).

Sebagai material tuang, aluminium memiliki beberapa karakteristik penunjang, yaitu (Illinois, 1986):

1. Fluiditas yang baik, penting untuk mengisi bagian benda yang tipis.
2. Titik lebur yang rendah dengan temperatur operasi (650-760⁰C) dibandingkan dengan material lain sehingga energi pemanasan dapat diminimalkan.
3. Pertukaran panas yang cepat, pertukaran panas dari lelehan aluminium ke cetakan sangat cepat sehingga menghasilkan siklus penuangan yang cukup cepat di dalam cetakan (*mold*).
4. Memiliki stabilitas kimia yang baik.
5. Memiliki permukaan *as-cast* yang baik, mengkilat dan tanpa noda.

Paduan aluminium tuang juga memiliki beberapa sifat yang kurang menguntungkan, yaitu (Bambang Suharno, 2005):

1. Berat jenis pengotor oksida (*dross*), yaitu 2,1 gr/cm³, yang hampir sama dengan berat jenis aluminium cair (2,3 gr/cm³) sehingga pengotor oksida sulit untuk dikeluarkan.
2. Penyusutan (*shrinkage*) yang cukup tinggi yaitu 3,5 – 8,5 %.

3. Mudah mengikat gas hidrogen dalam kondisi cair sehingga jika tidak dikontrol dapat menyebabkan cacat porositas pada produk yang dihasilkan.

2.2 Sistem Penamaan Paduan Aluminium

Sistem penamaan dan nomenklatur paduan untuk Aluminium hasil coran tidak distandarkan secara internasional. Banyak negara yang mengembangkan standarnya sendiri. Berikut adalah beberapa cara penamaan paduan Aluminium menurut beberapa sistem penamaan paduan Aluminium (Kaufman and Rooy, 2004).

1. Sistem penamaan Aluminium paduan hasil coran menurut *The Aluminum Association (AA)*

Dalam sistem penamaan AA tersebut, terdapat 4 (empat) digit angka yang memiliki arti:

- Digit pertama: prinsip pemilihan pengecoran.
- Digit kedua dan ketiga: penamaan paduan secara spesifik.
- Digit keempat: pengecoran (0) atau ingot (1,2) penamaan (Kaufman and Rooy, 2004).

Sementara variasi dalam batasan komposisi sangat kecil untuk memenuhi suatu perubahan sistem penyebutan yang kemudian diindikasikan dengan huruf (A, B, C, dst). Misal, versi pertama dari suatu paduan adalah 356.0, tidak mengandung huruf, lalu variasi pertama diberi huruf A, misal A356.0, variasi kedua diberi huruf B, menjadi B356.0, dst (Kaufman and Rooy, 2004).

Empat digit menentukan pemilihan pengecoran yang utama digunakan, dengan kategori:

- 1xx.x, aluminium murni (99,00% atau lebih).
- 2xx.x, paduan aluminium – tembaga (Al – Cu).
- 3xx.x, aluminium silikon + tembaga dan atau magnesium.
- 4xx.x, aluminium silikon.
- 5xx.x, aluminium magnesium.
- 7xx.x, aluminium zinc.
- 8xx.x, aluminium tin.

- 9xx.x, aluminium + unsur lain.
- 6xx.x, jenis yang tidak digunakan.

Contoh, paduan 170.0 mengandung sedikitnya 99,70% aluminium, dst (Kaufman and Rooy, 2004).

2. Sistem penamaan menurut *Aluminum Association Casting Temper*

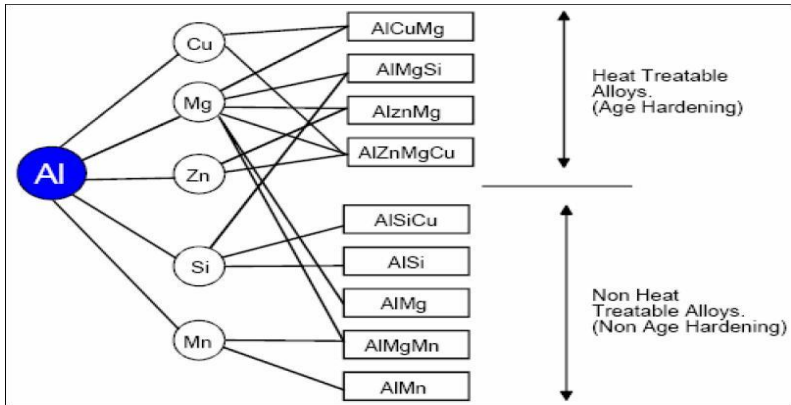
Sistem penamaan ini menggunakan angka dan huruf untuk mengindikasikan tipe utama pada *thermal treatments applicable* untuk teknik pengecoran:

- F, pengecoran
- O, *annealed*
- T4, *solution treated* dan *aged*
- T5, *precipitation hardened*
- T6, *solution heat treated, quenched, dan precipitation hardened*
- T7, *solution heat treated, quenched, dan overaged*

Contohnya, untuk 356.0 paduan coran yang memiliki *solution heat treated, quenched, dan artificially aged*, maka paduan penuh dan penamaan sifatnya adalah 356.0-T6, dst (Kaufman and Rooy, 2004).

2.3 Prinsip Dasar Pemaduan Aluminium

Dari semua unsur paduan, ada beberapa unsur yang menjadi dasar paduan aluminium komersial, yaitu Zn, Mg, Cu, Si, dan Mn, yang kesemuanya memiliki kelarutan lebih dari 1% (Jhon E, 1995). Jumlah total dari semua unsur-unsur tersebut dapat mencapai 10 wt% dari paduan komposisi keseluruhan. Semua unsur paduan tersebut kemudian dapat digunakan dalam beberapa variasi kombinasi pemaduan, seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Prinsip Dasar Pemaduan Aluminium (Jhon E, 1995)

2.4 Macam – Macam Paduan Aluminium Tuang

2.4.1 Pengelompokkan Paduan Berdasarkan Komposisi Paduan

Meskipun terdapat banyak paduan aluminium coran yang telah dikembangkan, namun terdapat 7 kelas dasar dalam pengelompokannya, yaitu (Kaufman and Rooy, 2004):

a. Aluminium-Tembaga (2xx)

Paduan aluminium tembaga ini sering digunakan dalam pengecoran dan penempaan yang membutuhkan kekuatan dan kekerasan. Paduan ini memiliki kekuatan dan kekerasan pada temperatur ruang dan peningkatan temperatur. Paduan ini mengandung tembaga dengan konsentrasi hingga 10% dan tidak dapat diberi perlakuan panas. Paduan tipe ini mudah terkena retak dalam proses solidifikasi dan cacat *shrinkage*. Teknik penuangan yang tepat dibutuhkan untuk menghindari kondisi tersebut. Pada metode pengecoran cetakan permanen atau cetakan yang kaku, *grain refiner* yang baik sangat penting untuk digunakan. Kandungan tembaga pada paduan aluminium memiliki ketahanan korosi yang lebih rendah, tetapi dapat meningkatkan sifat mekanik

pada setiap peningkatan temperatur dengan penambahan nikel (Kaufman and Rooy, 2004).

b. Aluminium-Silikon-Tembaga (3xx)

Dari banyaknya paduan aluminium coran yang digunakan adalah paduan yang mengandung silikon dan tembaga. Tembaga mempengaruhi kekuatan dan sifat permesinan, sedangkan silikon meningkatkan kemampuan cor dan mengurangi panas yang singkat (*hot shortness*). Paduan yang mengandung konsentrasi silikon hipoeutektik lebih tinggi sangat cocok untuk proses pengecoran yang kompleks, cetakan permanen, dan proses *die casting*. Paduan aluminium silikon tembaga dengan Cu kurang dari 5,6% dapat diberi perlakuan panas (*heat treatable*), tetapi paduan yang lebih penting dari jenisnya juga mengandung magnesium. Banyak paduan silikon hipereutektik (12 sampai 30% Si) juga mengandung tembaga. Fase primer silikon memberikan ketahanan yang baik, dan tembaga mempengaruhi pengerasan matriks dan peningkatan kekuatan temperature (Kaufman and Rooy, 2004).

c. Aluminium-Silikon (4xx)

Paduan aluminium silikon memiliki fluiditas, kemampuan cor, dan ketahanan korosi yang sangat baik. Paduan ini memiliki kekuatan dan sifat permesinan yang buruk. Kekuatan, kelenturan, dan sifat mampu cor dari paduan aluminium silikon hipoeutektik dapat ditingkatkan dengan memodifikasi eutektik aluminium silikon. Modifikasi ini biasanya dilakukan pada *sand casting* dan secara efektif dapat dilakukan dengan penambahan sodium dan atau stronsium. Kalsium adalah jenis modifier eutektik yang lemah dan untuk eutektik lamelar dapat dilakukan dengan penambahan *antimony*. Kecepatan pemadatan yang lebih tinggi juga mempengaruhi modifikasi mikrostruktur eutektik (Kaufman and Rooy, 2004).

d. Aluminium-Silikon-Magnesium (3xx)

Penambahan magnesium pada paduan aluminium silikon membentuk komposisi dasar yang menggabungkan sifat pengecoran dan sifat-sifat yang sangat baik setelah proses perlakuan panas. Ketahanan terhadap korosi juga menjadi sangat

baik dan tingkat ekspansi panas yang rendah juga didapatkan. Meskipun tidak sekuat paduan Al-Cu dan Al-Si-Cu, namun sifat mekanik pada beberapa paduan Al-Si-Mg memiliki rentang *premium-strength*. Penambahan Berilium dapat meningkatkan kekuatan dan keuletan dengan mempengaruhi morfologi dan sifat kimia dari intermetalik *iron-containing*. Modifikasi eutektik dapat meningkatkan kekuatan, pemuluran, dan hasil coran (Kaufman and Rooy, 2004).

e. Aluminium-Magnesium (5xx)

Paduan ini merupakan paduan yang memiliki fase tunggal dengan kekuatan dan kekerasan tinggi. Sifat yang dimiliki oleh paduan ini adalah ketahanan terhadap korosi, termasuk dalam paparan air laut dan atmosfer laut. Sifat inilah yang menjadi alasan mengapa paduan ini dapat digunakan dalam proses pembuatan makanan dan minuman. Paduan aluminium magnesium memiliki sifat permesinan yang baik dan tampilan hasil coran yang menarik. Paduan ini mengandung lebih dari 7% Mg yang dapat diperlakukan panas (*heat treatable*), meskipun perlakuan panas lebih sering digunakan untuk menstabilkan sifat yang dapat berubah, pada beberapa komposisi, dan pada waktu yang lebih lama (Kaufman and Rooy, 2004).

f. Aluminium-Zinc-Magnesium (7xx)

Banyak paduan jenis ini secara alami dapat diberi perlakuan *aging*, mencapai kekuatan penuh dalam 20 sampai 30 hari pada temperatur ruang setelah proses pengecoran. Namun perlakuan panas sangat tidak disarankan untuk meningkatkan sifatnya. Kecepatan pematangan pada paduan ini dapat dihasilkan dalam segregasi mikro fase magnesium seng yang mengurangi potensi pengerasan. Solusi perlakuan panas konvensional dapat digunakan jika sifat yang diharapkan tidak muncul selama proses *aging*. Atau dengan kata lain, perlakuan *aging* dapat digunakan untuk mempercepat proses pengerasan, dan perlakuan *annealing* juga memiliki tujuan yang sama dengan meningkatkan dimensi dan struktur yang stabil. Sifat mampu cor yang dimiliki oleh paduan Al-Zn-Mg sangat buruk, maka perlakuan yang tepat dibutuhkan

untuk meminimalisir munculnya cacat *hot tearing* dan *shrinkage* (Kaufman and Rooy, 2004).

g. Aluminium-Tin (8xx)

Tin adalah unsur utama paduan dalam komposisi yang dikembangkan untuk aplikasi bearing. Paduan ini juga telah digunakan bersama dengan bismuth, lead, dan cadmium pada konsentrasi yang lebih rendah untuk meningkatkan sifat mampu mesin. Paduan yang mengandung 5 – 7% Sn secara umum digunakan dalam *bearing* dan *bushing* dengan gesekan rendah, kekuatan kompresif, kekuatan lelah, dan ketahanan korosi yang menjadi sifat utama. Penambahan tembaga, nikel, dan magnesium mempengaruhi kekerasan dan kekuatan, sedangkan silikon ditambahkan untuk meningkatkan sifat mampu cor, mengurangi *hot shortness*, dan meningkatkan kekuatan lentur. Paduan aluminium tin sangat unik karena komposisinya. Hal ini dikarenakan aluminium dan tin pada umumnya tidak dapat dicampur. Sebelum dan setelah pematatan, tin muncul dalam bentuk terdispersi. Sifat agitasi (pergolakan) dibutuhkan untuk mencapai suspensi tin, dan karena perbedaan massa jenis, segregasi gravity dapat terjadi selama proses pelelehan (Kaufman and Rooy, 2004).

2.4.2 Pengelompokkan Paduan Berdasarkan Perlakuan Panas

Paduan aluminium dapat dikelompokkan menjadi paduan yang tidak bisa diberi perlakuan panas (*non heat treatable alloy*) dan paduan yang dapat diberi perlakuan panas (*heat treatable alloy*).

a. *Non Heat Treatable Alloy*

Kekuatan tarik paduan Al ini dapat ditingkatkan dengan cara pengerjaan dingin (*cold work*) atau pengerasan larutan padat (*solid solution hardening*) dan unsur seperti Mg. Yang termasuk pada kelompok ini adalah paduan seri 3xx.x dan 5xx.x.

b. *Heat Treatable Alloy*

Kekerasan dan kekuatan tarik tergantung pada komposisi dan perlakuan panas yang terdiri dari:

1. Pemanasan di atas garis solvus sehingga unsur-unsur paduan akan larut dalam fasa tunggal. Tahap ini dinamakan perlakuan larutan (*solution treatment*).
2. Pendinginan cepat sampai suhu kamar sehingga terbentuk larutan padat lewat jenuh (*supersaturated solid solution*).
3. Proses penuan (*ageing*) dengan cara memanaskan kembali pada suhu sekitar 130-190°C sehingga terbentuk endapan yang sangat halus.

2.5 Pengaruh Unsur Paduan Aluminium Tuang

1. Silikon (Si)

Pengaruh dari Silikon dalam paduan aluminium adalah dapat meningkatkan sifat pengecoran. Penambahan silikon dapat meningkatkan sifat mampu alir (fluiditas), ketahanan hot tear, dan sifat *feeding*. Kebanyakan yang digunakan dalam proses pengecoran paduan aluminium adalah silikon dalam jumlah yang banyak. Paduan komersial memiliki rentang hipoeutektik dan hipereutektik hingga 30% Si. Meningkatkan kandungan silikon akan meningkatkan sifat mampu alir untuk mengisi dinding-dinding cetakan untuk hasil coran dengan desain yang lebih detail. Paduan aluminium silikon memiliki ketahanan terhadap keretakan saat proses solidifikasi dan memiliki sifat mampu cor yang sangat baik. Batasan kandungan silikon ditentukan berdasarkan proses pengecoran, yaitu 5-7% Si untuk proses kecepatan pendinginan lambat (seperti *sand, investment, dan plaster casting*), 7-9% Si untuk *permanent mould*, dan 8-12% Si untuk proses kecepatan pendinginan tinggi (*die casting*). Dasarnya adalah hubungan antara laju pendinginan, fluiditas, dan fasa eutektik pada paduan (Kaufman and Rooy, 2004).

2. Boron (B)

Boron biasanya dicampurkan dengan logam lain untuk membentuk *borides*, seperti AlBi_2 dan TiB_2 . Titanium boride membentuk nukleasi stabil yang berinteraksi dengan fase penghalusan butir yang aktif seperti TiAl_3 sebagai penghalus butir (*grain refinement*). Boride metalik mengurangi kehidupan operasi permesinan dan membentuk inklusi kasar atau aglomerasi dengan efek yang merusak sifat mekanik dan keuletan. Boride juga mempengaruhi pengendapan, presipitasi (pengendapan) intermetalik dari larutan padat di dalam *furnace*. Perlakuan boron pada kandungan aluminium unsur peritektik seperti titanium, zirkonium, dan vanadium adalah dengan cara dilakukan peningkatan kemurnian dan konduktivitas dalam aplikasi kelistrikan. Paduan rotor menentukan boron untuk melampaui kandungan titanium dan vanadium dan untuk menjamin pengendapan dari unsur-unsur tersebut dalam meningkatkan performa kelistrikannya (Kaufman and Rooy, 2004).

3. Tembaga (Cu)

Kandungan tembaga dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dalam hasil coran dan kondisi perlakuan panas. Paduan yang mengandung 4 sampai 5% Cu menanggapi perlakuan panas lebih kuat dan secara relatif meningkatkan sifat hasil coran. Tembaga secara umum mengurangi ketahanan korosi dan dalam komposisi khusus dapat meningkatkan kerentanan stress korosi. Sebaliknya, konsentrasi tembaga rendah dalam paduan aluminium seng dapat mencegah stress korosi. Tembaga mengurangi ketahanan *hot tear* dan meningkatkan kemampuan untuk *interdendritik shrinkage* (Kaufman and Rooy, 2004).

4. Besi (Fe)

Besi meningkatkan ketahanan panas (*hot-tear resistance*) dan mengurangi kecenderungan untuk menempel saat penekanan atau pematiran (*soldering*) dalam *die casting*. Peningkatan kandungan besi akan diikuti dengan pengurangan tingkat kelenturan (*ductility*). Besi bereaksi untuk membentuk sejumlah fasa intermetalik, dimana umumnya dalam bentuk FeAl_3 , FeMnAl_6 , dan αAlFeSi . Semuanya merupakan bentuk fasa yang

tidak dapat dilarutkan untuk meningkatkan kekuatan, khususnya saat kenaikan temperatur, tetapi juga merupakan mikrostruktur yang mudah pecah (*embrittlement*). Ketika fraksi fasa ketidaklarutan meningkat dengan meningkatnya kandungan besi, maka pengecoran dengan hasil yang kurang baik perlu dipertimbangkan. Besi mengambil bagian dalam bentuk fase pengendapan bersamaan dengan Mn, Cr, dan unsur-unsur lainnya (Kaufman and Rooy, 2004).

Unsur Fe termasuk ke dalam kategori pengotor dan tidak diinginkan dalam produk sebab dapat menurunkan keuletan dan ketahanan korosi. Akan tetapi, adanya Fe dapat membentuk fasa *insoluble / intermetalliics* (seperti FeAl_3 , FeMnAl_6 , dan αFeAlSi) karena kelarutannya yang rendah pada solid state. Fasa tersebut tidak larut dan meningkatkan kekuatan pada temperatur tinggi, namun juga dapat menyebabkan penggetasan. Besi merupakan elemen paduan pada aluminium dan dapat meningkatkan ketahanan *hot-tear* (retak) dan menurunkan kecenderungan penempelan (efek *soldering*) dengan cetakan.

5. Magnesium (Mg)

Magnesium merupakan dasar dari peningkatan kekuatan dan kekerasan dalam paduan Al-Si yang dapat diberi perlakuan panas (*heat-treated*). Magnesium umumnya digunakan dalam paduan Al-Si yang lebih kompleks dengan kandungan Cu, Ni, dan unsur-unsur lain yang memiliki tujuan sama. Fase pengerasan (*hardening*) Mg_2Si memiliki batas tingkat kelarutan yang mendekati 0,70% Mg, sehingga diluar itu tidak akan terjadi penguatan atau pelunakan matriks. Umumnya, komposisi kekuatan tinggi dari Al-Si terjadi pada rentang 0,40% Mg sampai 0,070% Mg. Paduan Al-Mg biner secara luas digunakan dalam aplikasi dengan hasil akhir permukaan yang terang, respon yang sangat baik terhadap proses kimia, ketahanan korosi, dan penggabungan yang luar biasa antara kekuatan dan kelenturan. Dimana umumnya pada rentang 4-10% Mg dan kandungan Mg yang lebih dari 7% adalah dapat diberi perlakuan panas (*heat treatable*) (Kaufman and Rooy, 2004).

6. Mangan (Mn)

Pada penentuan sebuah impuritas dalam komposisi pengecoran, Mn dikontrol pada tingkat yang rendah pada hampir semua komposisi *gravity casting*. Mn adalah unsur penting dalam pengerjaan pengerasan paduan yang ditempa, dimana untuk komposisi pengecoran yang kedua mungkin mengandung Mn dengan tingkat yang lebih tinggi. Pada pengerjaan pengerasan, Mn tidak memberikan dampak yang signifikan pada paduan aluminium. Beberapa fakta muncul, sebesar apapun fraksi volume dari MnAl₆ dalam kandungan paduan, maka lebih dari 0,5% Mn akan mempengaruhi kekuatan dari dalam. Mn juga dapat dikerjakan untuk mengubah tanggapan dalam pengerjaan kimia dan proses anoda. Besi dan Mn dapat menentukan isomorfus dan paduan kimia dapat memberi tanggapan stoikiometri pada fase Al-Fe-Mn yang tidak dapat larut (Kaufman and Rooy, 2004).

7. Nikel (Ni)

Nikel secara umum digunakan bersamaan dengan tembaga (Cu) untuk meningkatkan sifat-sifat pada kenaikan temperatur. Nikel (Ni) juga mengurangi koefisien ekspansi termal (Kaufman and Rooy, 2004).

8. Stronsium (Sr)

Stronsium memodifikasi eutektik Al-Si. Modifikasi yang efektif dapat dicapai dengan penambahan pada tingkat yang sangat rendah, tetapi rentang penambahan stronsium yang biasanya digunakan adalah sebesar 0,008% sampai 0,04%. Konsentrasi yang lebih rendah sangat efektif dengan kecepatan pendinginan yang lebih tinggi. Penambahan yang lebih tinggi akan diikuti dengan porositas pada hasil coran. Efisiensi *degassing* juga dapat menjadi kurang baik pada penambahan stronsium dengan tingkat yang lebih tinggi. Stronsium telah dikenal sebagai modifier yang tidak efektif pada kecepatan pendinginan yang lambat, tetapi beberapa peneliti menyatakan tentang dampak yang berguna pada struktur tingkat 4 dan 5 AFS pada paduan 319.0 dan 356.0 ketika kandungan Sr >200 ppm (Kaufman and Rooy, 2004).

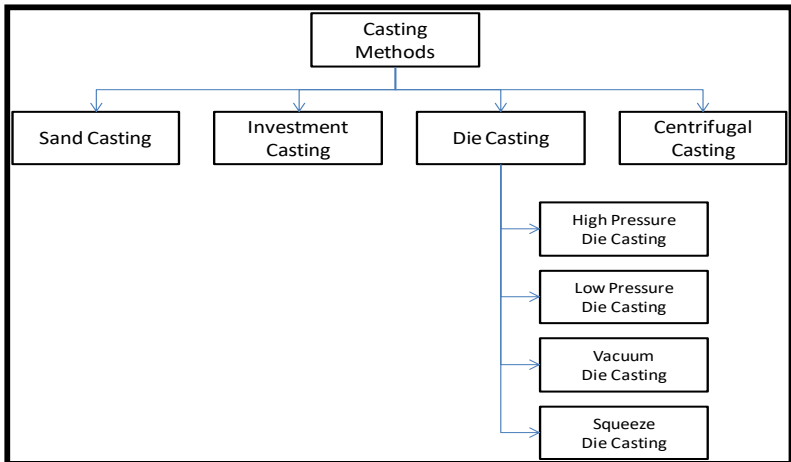
Stronsium dapat memodifikasi fasa β yang kasar dan seperti jarum menjadi lebih pendek dan halus. Sr mampu memutus dan memecah jarum-jarum β menjadi lebih pendek sehingga dapat mengurangi efek negatif dari fasa β dengan meningkatkan sifat mekanis dari paduan Al-Si. Sr mengubah fasa β menjadi π (pada Mg) atau α (pada Mn) dengan cara mengeluarkan Si dari dalam keping fasa β , sehingga mampu mengurangi jumlah β yang ada (Suharno, 2007).

9. Titanium (Ti)

Titanium secara ekstensif digunakan untuk memperbaiki struktur butir dari paduan alumunium coran, dimana terkadang penggunaannya dilakukan bersamaan dengan Boron (B) dalam jumlah yang lebih kecil. Fase operable dari TiAl₃ dengan jarak kisi yang dekat dengan alumunium. Titanium pada jumlah yang melampaui stoikiometri dari TiB₂ dibutuhkan untuk memperbaiki butir secara efektif. Titanium terkadang ditambahkan dalam konsentrasi yang lebih besar daripada yang dibutuhkan untuk memperbaiki butir dan mengurangi kecenderungan untuk retak dalam komposisi *hot-short* (Kaufman and Rooy, 2004).

2.6 Macam – Macam Pengecoran (*Casting*)

Aluminium merupakan bahan yang dapat disesuaikan dengan berbagai metode pengecoran yang umum dipakai dan dapat dituang langsung ke dalam cetakan atau *dies* yang terpasang pada mesin otomatis dan dalam volume yang besar. Aluminium juga dapat dituang ke dalam cetakan pasir, cetakan *shell*, sentrifugal, dan *investment*. Berbagai metode pengecoran aluminium ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Illinois, 1986).



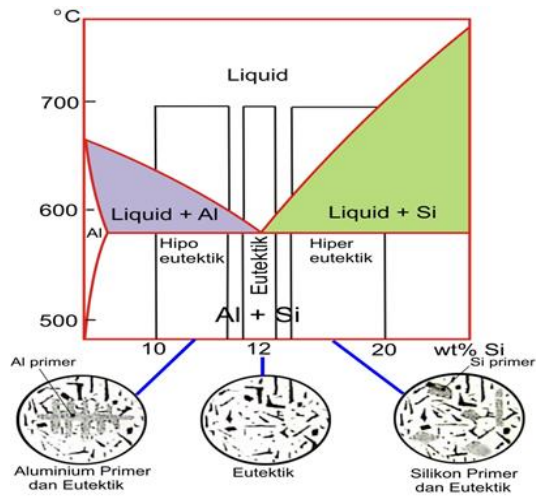
Gambar 2.2. Metode pengecoran aluminium (Illinois, 1986).

Selain metode-metode pengecoran aluminium diatas, juga terdapat metode pengecoran aluminium yang dikenal dengan *Gravity Casting*. *Gravity casting* merupakan proses *casting* yang paling *basic*, yaitu hanya dengan menuangkan lelehan aluminium ke dalam cetakan dengan memanfaatkan gravitasi bumi untuk memenuhi cetakannya (A.Schey, John, 2009). Teknologi pengecoran aluminium konvensional telah mengembangkan teknik pengecoran untuk paduan Al, termasuk *die casting* (DC) dan *gravity casting* (GC). Dibandingkan dengan metode *high pressure die casting* (HPDC) yang umumnya digunakan pada pengecoran paduan Al-Si-Cu, metode *gravity casting*, dalam produksi skala besar, memiliki keuntungan yang salah satunya adalah memperkecil biaya produksi. Selain itu, paduan hasil *gravity casting* lebih memenuhi permintaan kristisnya komponen otomotif dengan geometri yang lebih kompleks, khususnya pada komponen ber dinding tebal, seperti cylinder heads. Paduan yang diproduksi dengan metode *gravity casting* juga memiliki sifat mekanik yang lebih unggul (Fan et al., 2013).

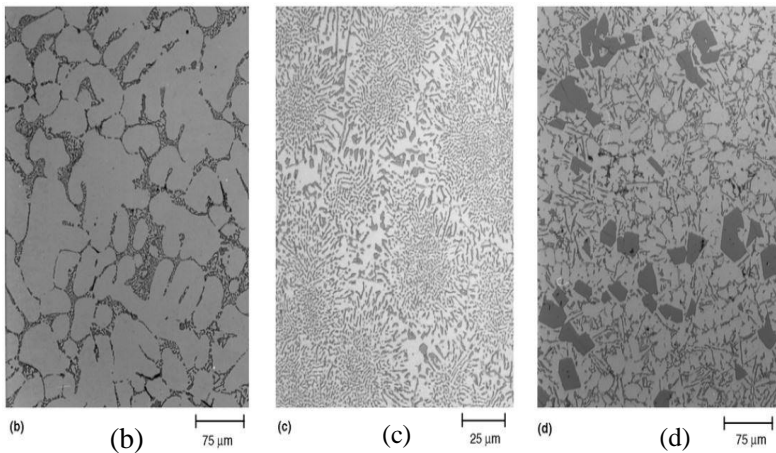
2.7 Paduan Aluminium-Silikon Hasil Coran

Kegunaan paduan ini ditentukan dari sifat fisisnya (secara pokok dipengaruhi oleh komposisi kimianya) dan sifat mekanisnya (dipengaruhi oleh komposisi kimia dan mikrostrukturnya). Karakteristik sifat paduan aluminium memiliki daya rentang tinggi yang secara relatif berkaitan dengan densitas dibandingkan dengan paduan hasil coran yang lain, seperti besi lentur hasil coran atau baja coran. Adapun tingginya daya rentang yang dimiliki oleh paduan aluminium ini sangat kuat dipengaruhi oleh mikrostruktur polifasanya. Silikon yang terkandung dalam paduan aluminium-silikon hasil coran umumnya berada pada rentang 5 sampai dengan 23 wt%. Dimana mikrostruktur paduannya bisa hipoeutektik, eutektik, atau hipereutektik sebagaimana yang dapat dilihat dari diagram fasa pada Gambar 2.3 (a) dan untuk mikrostrukturnya diperlihatkan dengan jelas pada Gambar 2.3 (b). Sifat dari paduan spesifik dapat diakibatkan oleh sifat fisis dari komponen fase utamanya (α -aluminium *solid solution* dan kristal silikon) dan dapat juga dipengaruhi oleh fraksi volume dan morfologi komponen (Warmuzek, 2004).

Struktur utama dari ketiga komposisi paduan ini adalah berupa fasa α -Al, yang sangat kaya akan kandungan aluminium. Struktur ini akan tetap muncul walaupun pada komposisi hipereutektik, karena bentuk struktur ini akan selalu terpisah pada fasa padatnya baik dalam paduan hipoeutektik, eutektik, maupun hipereutektik. Selain fasa α -Al, juga terdapat fasa β yang merupakan partikel – partikel silikon yang tidak larut dalam fasa α -Al. Pada paduan hipereutektik, fasa tersebut menghasilkan silikon primer yang bentuknya relatif kasar. Terkadang bentuk silikon yang kasar ini juga dapat ditemui pada paduan eutektik.



(a)



Gambar 2.3. Paduan Al-Si coran komersial (a) diagram fasa Al-Si (b) mikrostruktur paduan hipoeutektik (1,65-12,6 wt% Si) 150x (c) mikrostruktur paduan eutektik (12,6 wt% Si) 400x (d) mikrostruktur paduan hipereutektik (>12,6 wt% Si) 150x (Warmuzek, 2004).

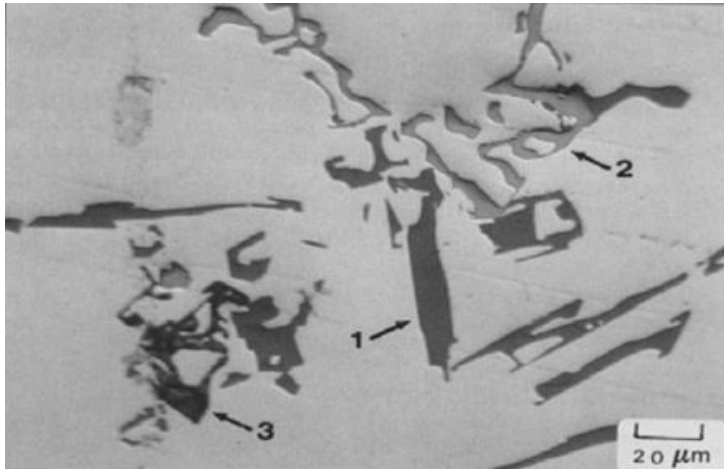
Namun, menurut penelitian yang lain menyebutkan bahwa aluminium-silikon dengan sistem Al-(11wt%-13wt%)Si adalah termasuk kedalam jenis paduan aluminium-silikon eutektik (Ahmad et al., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan dengan informasi yang diberikan oleh literatur sebelum. Namun demikian, dari kedua literatur ini dapat disimpulkan bahwa paduan aluminium-silikon dengan sistem Al-13wt%Si sebagaimana paduan Al-Si yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis paduan Al-Si yang berada pada rentang eutektik dan hipereutektik.

2.7.1 Paduan Aluminium-Silikon Hipoeutektik

Pada komposisi hipoeutektik, pembekuan terjadi melalui fasa cair-padat dengan tahapan (Jhon E, 1995):

1. Pembentukan jaringan dendritik α -Al.
2. Reaksi eutektik aluminium silikon.
3. Presipitasi fasa eutektik sekunder yang bergantung pada kadar *trace element* dalam paduan, misalnya Mg_2Si ataupun Al_2Cu .

Struktur akhir dari komposisi ini terdiri dari struktur dendritik yang kaya aluminium dan sebagai fasa utamanya adalah fasa α -Al dengan struktur eutektik sebagai struktur tambahan. Morfologi dari komposisi ini dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 2.4. Pada paduan hipoeutektik, dengan bertambahnya kandungan Si (hingga 12 wt% Si) maka fraksi volume dan fraksi luas dari Al primer akan menurun sementara eutektik interdendritik akan meningkat. Pada diagram fasa yang terlihat pada Gambar 2.3 (a), terlihat matriks yang kaya akan aluminium (fasa α -Al) dan silikon yang berbentuk seperti serabut atau jarum. Kandungan silikon dari paduan aluminium silikon juga akan berpengaruh terhadap karakteristik proses solidifikasi yang berkaitan dengan metode casting yang dipilih (Nanda and Suharno, 2012).



Gambar 2.4. Mikrostruktur Al-7%Si perbesaran 500x, etsa 0,5% HF
 1)Silikon eutektik, 2) $Al_2Fe_3Si_2$ *chinese script*, 3) Mg_2Si *chinese script*
 (Mulazimoglu and J.E. Gruzleski, 1996).

2.7.2 Paduan Aluminium-Silikon Eutektik

Komposisi eutektik dengan kandungan silikon 11,7wt%-12,2wt%, merupakan daerah dimana paduan Al-Si dapat membeku secara langsung dari fasa cair ke fasa padatnya. Proses pembekuan yang berlangsung menyerupai proses pembekuan logam murni, dalam hal ini temperatur awal dan temperatur akhir peleburan adalah sama (isothermal). Adanya struktur eutektik ini yang mengakibatkan paduan aluminium-silikon memiliki karakteristik mampu cor yang baik. Pada paduan aluminium-silikon eutektik, dalam mikrostrukturnya terdapat struktur berupa plat kasar (*coarse plates*) silikon yang berwarna abu-abu dan matriks berwarna putih yang merupakan matriks aluminium seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Kristal aluminium-silikon ini memiliki bentuk plat besar umumnya menghasilkan sifat mekanik yang buruk (Nanda and Suharno, 2012).



Gambar 2.5. Mikrostruktur paduan eutektik Al-Si, etsa 0,5% HF dan perbesaran 750x (*ASM Metals Handbook*, 1988).

2.7.3 Paduan Aluminium-Silikon Hipereutektik

Paduan Al-Si hipereutektik secara luas digunakan dalam industri karena kekuatannya yang tinggi, ketahanan penggunaan, koefisien ekspansi termal yang rendah, dan sifat mampu cor yang baik (Jung et al., 2018; Lasa and Rodriguez-Ibabe, 2002). Secara rinci, untuk mengurangi berat mobil dan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar, kegunaan dari paduan Al-Si hipereutektik adalah untuk mendapatkan efek halus sebagai alternatif besi coran yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bagian-bagian otomotif seperti piston, *cylinder heads*, dan *brake disk*. Sifat mekanik dari paduan Al-Si hipereutektik sangat dekat kaitannya dengan ukuran, morfologi, dan distribusi dari fase Si eutektik dan primer (Chang et al., 1998).

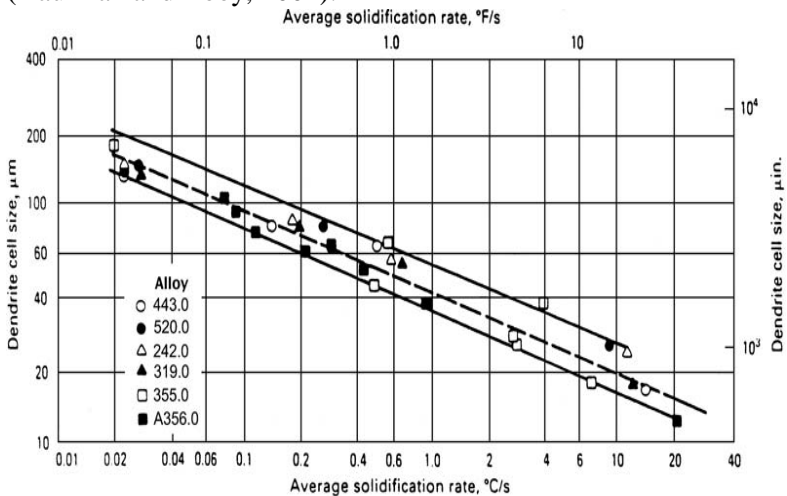
2.8 Mikrostruktur dan Fasa

2.8.1 Dendrite Arm Spacing (DAS)

Dalam semua proses komersial, dengan pengecualian pada pembentukan *semisolid*, pemadatan terjadi selama pembentukan dendrit-dendrit dari larutan cair. Sel-sel mengandung struktur dendrit di dalamnya sesuai dengan dimensi yang memisahkan lengan primer dan dendrit sekunder dan dikontrol secara eksklusif untuk komposisi dalam kecepatan pemadatan. Berikut adalah tiga pengukuran yang digunakan untuk menggambarkan penghalusan dendrit:

- Jarak lengan dendrit (*dendrite arm spacing*): jarak antara lengan dendrit sekunder.
- Selang sel dendrit (*dendrite cell interval*): jarak antara garis pusat dari sel dendrit yang berdekatan.

Ukuran sel dendrit (*dendrite cell size*): lebar sel dendrit individual (Kaufman and Rooy, 2004).



Gambar 2.6. Jarak lengan dendrit dan ukuran sel dendrit sebagai suatu fungsi kecepatan solidifikasi (Kaufman and Rooy, 2004).

Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.6, semakin besar jarak lengan dendrit, maka akan semakin kasar mikrokonstituen dan semakin besar pengaruhnya terhadap sifat-sifat paduan. Perbaikan jarak lengan dendrit diperlukan untuk meningkatkan performa sifat-sifat mekanik (Kaufman and Rooy, 2004).

2.8.2 Fasa Intermetalik Paduan Aluminium-Silikon

Besi merupakan pengotor yang paling umum yang terdapat dalam paduan aluminium. Kelarutan besi pada keadaan padat sangat rendah (sekitar 0,05wt% pada temperatur 600°C, bahkan lebih rendah lagi pada temperatur ruang). Dengan demikian, kadar besi yang melebihi 0,05wt% akan tampak sebagai fasa kedua intermetalik dalam kombinasi dengan Al dan unsur lainnya, dan fasa ini bersifat merusak terhadap sifat mekanik dari Al. Fasa intermetalik berlaku sebagai *stress concentration* sehingga material menjadi bersifat rapuh. Sumber keberadaan besi pada pengecoran berasal dari peralatan peleburan dan dari *remelt scrap*. Keberadaan besi tidak dapat dihilangkan dari aluminium tetapi dapat digunakan metode netralisasi atau modifikasi, sehingga dapat mengurangi efek merusak dari fasa intermetalik ini (Farhadi Gholamali, 1999).

Adapun fasa-fasa yang mungkin terjadi dan morfologinya pada saat pengecoran paduan aluminium-silikon dapat bermacam-macam tergantung dari komposisi unsur paduan aluminium dan kondisi pendinginan. Berikut ini adalah beberapa contoh fasa yang biasanya terbentuk (Farhadi Gholamali, 1999):

1. Silikon : bentuknya tergantung dari kadar Si yang diberikan. Bisa terlihat dalam bentuk *accicular* (batang besar dan kasar) jika tidak dimodifikasi ataupun *fibrous* (serat-serat yang lebih halus) jika dimodifikasi.
2. Al_8Fe_2Si atau $Al_{12}Fe_3Si_2$ (α -AlFeSi) : bentuknya seperti *chinese script* dan berwarna abu-abu terang.
3. Al_5FeSi atau Al_9Fe_2Si (β -AlFeSi) : bentuknya seperti jarum-jarum kasar dan jumlahnya semakin banyak seiring dengan

penambahan kadar Fe. Warnanya abu-abu terang. Sifatnya menurunkan kekuatan pada aluminium.

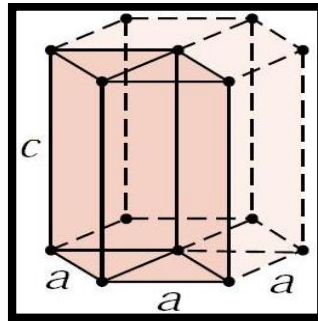
Fasa intermetalik yang umum terdapat pada paduan aluminium adalah fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi. Fasa intermetalik α -AlFeSi mempunyai komposisi $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ (32-36%Fe, 6-9,5%Si), sedangkan fasa intermetalik β -AlFeSi mempunyai komposisi Al_3FeSi (27-28%Fe, 14-16%Si) (Nanda and Suharno, 2012). Fasa intermetalik α -AlFeSi dinilai memiliki karakteristik yang lebih baik daripada fasa β -AlFeSi dari segi sifat mekanis dan sifat mampu cor. Untuk mengurangi pengaruh buruk dari fasa intermetalik yang memiliki pengaruh merusak ini, maka dilakukan netralisasi. Proses netralisasi ini dapat dilakukan dengan cara (Nanda and Suharno, 2012; Suharno, 2007):

1. Penambahan *grain refiner*
2. Penambahan *modifier* stronsium
3. Pendinginan cepat (*rapid solidification*)
4. Penambahan unsur paduan netralisasi
5. *Non-equilibrium Heat Treatment*

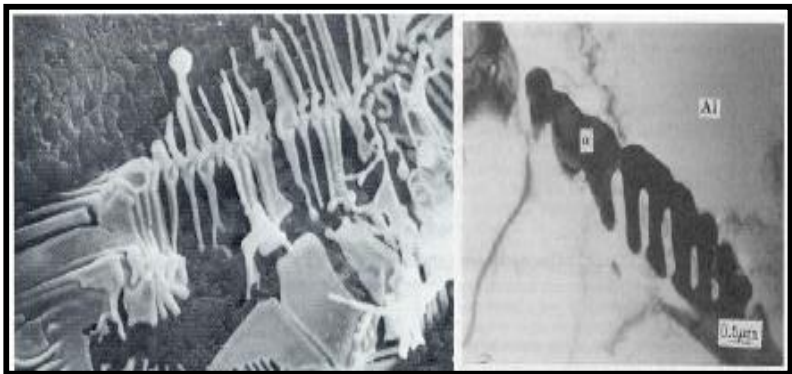
2.8.2.1 Fasa Intermetalik α -AlFeSi atau $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$

Fasa α -AlFeSi mempunyai struktur kristal heksagonal dengan parameter kisi $a = 12,3 \text{ \AA}$ dan $c = 26,3 \text{ \AA}$ dengan densitas $3,58 \text{ g/cm}^3$ sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.7 (a). Fasa $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ (31,6%Fe dan 7,8%Si) dimana juga sama dengan $\text{Al}_{12}\text{Fe}_3\text{Si}_2$ (30,7%Fe dan 10,2% Si). Jenis intermetalik α -AlFeSi ini mempunyai bentuk seperti *script* dan biasa disebut *chinese script*. Fasa α -AlFeSi dapat terbentuk pada kecepatan pendinginan yang sangat tinggi (50K/s) pada pembekuannya, dimana morfologi dari fasa ini lebih *sheroidise* (lebih bulat) jika dibandingkan dengan fasa β -AlFeSi yang berbentuk pipih. Fasa α -AlFeSi ($\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$) mempunyai *non faceted interface* (tidak bersegi) dengan matriks aluminium sehingga menghasilkan ikatan yang lebih baik dengan matriks aluminium. Morfologi dari fasa ini dapat dilihat pada Gambar 2.7 (b). Seperti yang terlihat pada gambar, fasa ini berwarna putih terang dan terlihat seperti *script* ketika diamati

dengan mikroskop optik. Pertumbuhan fasa intermetalik ini tidak beraturan serta dapat bercabang-cabang. Selama kristalisasi, atom-atom dapat saling mengikat dalam rangka pembentukan fasa α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ ketika terjadi pertemuan pembekuan pada antarmuka (*interface*) solid-liquid. Fasa α - $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$ berhubungan dengan morfologinya yang kompak sehingga lebih meminimalisasi pengaruh buruk jika dibandingkan dengan fasa β - Al_5FeSi (William D, Jr., 2003).



(a)



(b)

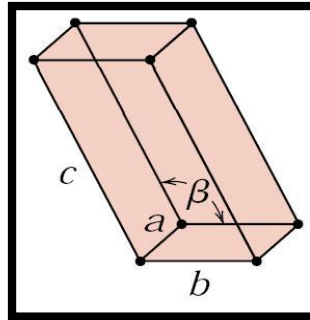
(c)

Gambar 2.7. (a) Struktur heksagonal pada fasa α - AlFeSi (William D, Jr., 2003)(b) Partikel α - AlFeSi pada Al, 0,5%Fe dan 0,2% Si (kecepatan pendinginan antara 1 K/s dan 11 K/s) (c) Gambar TEM dari *chinese script* (Kuijper, NCW, 2000).

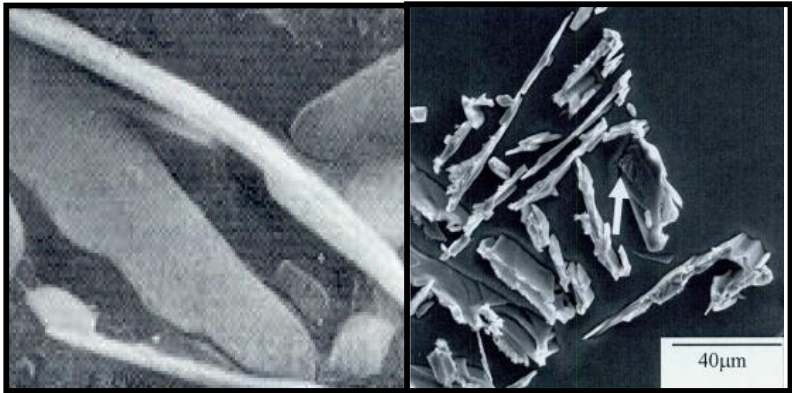
2.8.2.2 Fasa Intermetalik β -AlFeSi atau Al_5FeSi

Fasa intermetalik β - Al_5FeSi mempunyai bentuk seperti pelat-pelat tipis yang tajam, kadang-kadang partikel ini tampak seperti jarum-jarum halus pada matriks aluminium. Fasa Al_5FeSi (25,6%Fe dan 12,8%Si) sam dengan Al_9Fe_2Si dan β -AlFeSi, berada dalam rentang homogenitas 25-30%Fe, 12-15%Si. Fasa ini mempunya struktur monoklinik dengan parameter kisi $a=b=6,12 \text{ \AA}$, $c=4,15 \text{ \AA}$, $\beta = 91^\circ$ dan densitas 3,30-3,35 g/cm³ dan kekerasan *vickers* sebesar 5,8 Gpa. Gambar struktur kristal fasa intermetalik ini dapat dilihat pada Gambar 2.8 (a) (William D, Jr., 2003).

Fasa intermetalik β -AlFeSi mempunyai bentuk yang sangat tajam dan bersudut sangat tinggi dengan matriksnya (*highly faceted*) sehingga menghasilkan ikatan yang sangat lemah dengan matriks aluminium sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.8 (b). Intermetalik berbentuk pelat ini (terlihat seperti jarum pada mikrostrukturnya) juga dapat mencegah aliran dari metal cair selama proses pembekuan, membatasi *feedability* dan menyebabkan pembentukan porositas serta cacat pada hasil pengecoran. Fasa intermetalik β -AlFeSi berwarna abu-abu terang ketika diamati dibawah mikroskop optik. Permukaan fasa intermetalik β -AlFeSi relatif halus/rata pada skala *atomic*, sehingga atom dari *liquid* dapat menghasilkan beberapa kemungkinan untuk saling bergabung pada antarmuka (*interface*). Dengan demikian, pertumbuhannya terbatas dan dengan kecepatan rendah. Kecepatan pendinginan mempunyai pengaruh yang langsung pada kesetimbangan kinetik dan kuantitas dari Fe-intermetalik yang ada pada struktur mikro. Kecepatan pendinginan yang lambat dapat mengakibatkan pembentukan fasa Fe-intermetalik β - Al_5FeSi , tetapi ketika pembekuan yang cepat maka terjadi pembentukan senyawa α - Al_8Fe_2Si (William D, Jr., 2003).



(a)



(b)

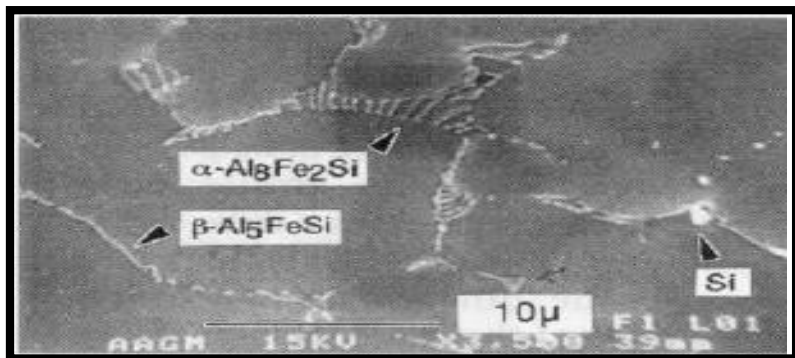
Gambar 2.8. (a) Struktur monoklinik pada fasa β -AlFeSi (William D, Jr., 2003) (b) Intermetalik β -AlFeSi pada paduan aluminium 1%Si dan 0,5%Fe (*depth etched*) (Kuijper, NCW, 2000).

2.8.3 Pembentukan Fasa Intermetalik Pada Proses Pengecoran

Selama proses pengecoran aluminium, fasa intermetalik terbentuk di antara lengan dari dendrit aluminium yang telah membeku. Fe memiliki kelarutan yang rendah pada aluminium yang telah membeku (sekitar 0,05wt% pada kesetimbangannya), sehingga sisa Fe pada paduan aluminium yang masih cair pada saat akhir pembekuan akan membeku dalam bentuk fasa kedua intermetalik. Sebagai akibatnya, hampir semua Fe di dalam paduan

aluminium terdapat dalam jenis berbeda dari fasa kedua intermetalik yang metastabil di antara butir-butir aluminium (Farhadi Gholamali, 1999).

Pada proses pengecoran, perbandingan komposisi Fe/Si pada paduan aluminium merupakan parameter yang penting untuk menentukan apakah fasa yang terbentuk adalah intermetalik α -AlFeSi atau β -AlFeSi. Apabila perbandingan Fe/Si lebih besar dari satu selama pembekuan fasa cair, maka fasa intermetalik yang terbentuk adalah α -AlFeSi. Sedangkan jika perbandingan Fe/Si lebih rendah dari satu, maka selama pembekuan akan terbentuk fasa intermetalik β -AlFeSi. Dengan kecepatan pendinginan 5 K/s dan kandungan Fe 0,2wt% hanya fasa β -AlFeSi monoklinik yang terbentuk. Dari hasil penelitian yang lain juga menyatakan bahwa fasa metastabil α -AlFeSi dan β -AlFeSi berubah sesuai fungsi kecepatan pendinginan. Beberapa hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya juga dikatakan bahwa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi didalam suatu pengecoran aluminium akan terdapat partikel α -AlFeSi yang berbentuk *script* ditemukan pada *triple point* dari butir sedangkan partikel β -AlFeSi yang berbentuk pelat tipis ditemukan pada batas dendrit aluminium sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.9 (Nanda and Suharno, 2012).



Gambar 2.9. Hasil SEM dimana α -AlFeSi dalam bentuk script dan β -AlFeSi dalam bentuk pelat tipis (Kuijper, NCW, 2000).

Pada paduan aluminium-silikon yang mempunyai kadar Fe yang tinggi akan menghasilkan fasa intermetalik β -AlFeSi sebagai fasa yang dominan. Semakin tinggi kadar Fe akan meningkatkan panjang dari bentuk pelat intermetalik β -AlFeSi. Dengan kata lain, bahwa persentase dari fasa β -AlFeSi akan meningkat secara drastis dengan meningkatnya kadar Fe. Selain itu, semakin tinggi kadar Si maka akan semakin banyak fasa intermetalik β -AlFeSi yang terbentuk (Nanda and Suharno, 2012). Pada penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa ukuran fasa besi intermetalik meningkat dengan penambahan besi dan silikon. Secara lebih singkat dapat dilihat pada Tabel 2.1 terkait pengaruh berbagai unsur paduan terhadap fasa intermetalik AlFeSi yang terbentuk pada proses pengecoran (Nanda and Suharno, 2012; Suharno, 2007).

Tabel 2.1. Pengaruh berbagai unsur paduan terhadap fasa intermetalik AlFeSi

Parameter	Efek yang mungkin terjadi
Fe	Membentuk fasa intermetalik (terutama fasa β)
Mn,Cr,Be,Ni, dll	Mengubah fasa β menjadi α , tetapi meningkatkan total jumlah fasa intermetalik yang kaya akan Fe
Mg	Mengubah fasa β menjadi π ($Al_8FeMg_3Si_6$) yang berbentuk <i>script</i>
P	Mendorong pembentukan fasa β
Sr	Mendorong pemutusan dan pengubahan fasa jarum yang panjang menjadi lebih pendek pada paduan yang kaya akan intermetalik fasa β
Kecepatan pendinginan	Kecepatan pendinginan yang rendah akan mendorong terbentuknya fasa β

2.9 Penghalus Butir (*Grain Refiner*)

Ketika proses penghalusan butir sedang dilakukan 100% dalam penempaan paduan aluminium, hal ini tidak selalu dibutuhkan dalam pengecoran aluminium. Namun, pada pengecoran khusus, proses penghalusan butir selalu digunakan. Penghalus butir yang digunakan dalam pengecoran paduan adalah sama dengan penghalus butir yang digunakan dalam proses penempaan paduan. Penghalus butir yang sangat sering digunakan adalah yang berbasis sistem Al-Ti-B, dengan rentang komposisi Al-5wt% Ti-1wt% B yang paling sering digunakan. Penambahannya biasa dilakukan dalam bentuk batangan atau lempengan dan penambahannya bisa mencapai 1 kg/ton atau lebih. Penghalus butir jenis ini mengandung TiB₂ heksagonal kecil dan partikel-partikel, serta jarum-jarum kasar Al₃Ti dalam sebuah matriks aluminium. Kedua partikel ini secara teori diharapkan dapat nukleasi aluminium, tetapi Al₃Ti diharapkan dapat larut dalam logam cair sehingga proses nukleasi dapat terjadi dalam partikel-partikel TiB₂ (A. K. Dahle, 2011).

Penggunaan *grain refiner* seperti Titanium (Ti) bersamaan dengan Boron (B) dalam *master alloy* AlTiB dapat membantu dalam pembentukan butir *equiaxed* yang halus dan seperti yang diinginkan, dimana hal ini dapat terjadi karena keseragaman sifat mekanisnya. Sebagaimana yang telah kita ketahui, bahwa sifat dari hasil coran dipengaruhi oleh strukturnya, seperti ukuran butir dan morfologi strukturnya. Selain itu, penambahan Ti juga dapat mengurangi dampak keretakan pada ingot (*ingot cracking*), sehingga mampu meningkatkan sifat mampu mesin (*machinability*) dan sifat mampu alir (*fluidity*) (Lu and Dahle, n.d.).

Grain refiner Al-Ti-B pada paduan aluminium-silikon digunakan untuk mengontrol besarnya struktur butir. *Grain refiner* menghasilkan sejumlah besar butir yang halus, *equiaxed* dan terdistribusi merata. Pada paduan Al-Si yang mengandung Fe, butir yang halus akan menghasilkan intermetalik yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata (Dhaneswara et al., 2018). Boone menggunakan master alloy aluminium yang terdiri dari aluminium-

titanium-boron (AlTiB) dan aluminium-stronsium (Al-Sr) menghasilkan bahwa *grain refinement* dapat meningkatkan *mass feeding characteristics* selama proses pengecoran dan solidifikasi. Ukuran butir yang halus membuat fasa kedua intermetalik menjadi lebih kecil dan lebih terdistribusi merata (Nanda and Suharno, 2012).

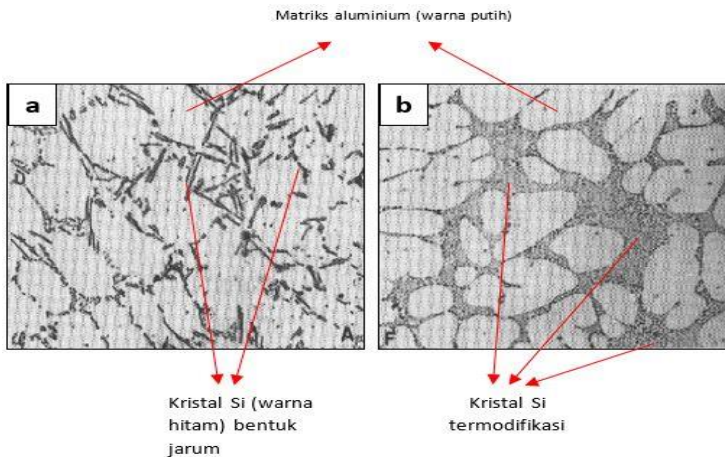
2.10 Unsur Pemodifikasi (*Modifier*)

Untuk memperbaiki sifat fasa paduan aluminium silikon dapat dilakukan proses yang dikenal dengan sebutan modifikasi, dimana proses ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut (Bernard Closset, 1990):

1. Memperbaiki struktur paduan aluminium silikon, yaitu dengan mengubah struktur Si primer yang semula berbentuk jarum yang kasar (*coarse*) menjadi lebih bulat dan halus (*spherical*).
2. Meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium silikon (*mechanical properties*).
3. Mempermudah proses permesinan (*machinability*).
4. Meningkatkan sifat mampu cor yang baik (*castability*) paduan aluminium silikon. Hal ini dikarenakan semakin bulat dan halusnya struktur eutektik, maka tingkat viskositasnya menjadi lebih rendah dan sifat mampu alirnya menjadi lebih tinggi.

Adapun proses modifikasi paduan aluminium biasanya dilakukan dengan cara menambahkan sejumlah unsur kimia tertentu ke dalam paduan aluminium cair pada saat proses pengecoran berlangsung. *Modifier* (unsur pemodifikasi) yang digunakan ada beberapa jenis berdasarkan tipe paduan aluminium silikon. Untuk paduan aluminium silikon hipoeutektik, *modifier* (unsur pemodifikasi) yang sering digunakan diantaranya adalah sodium (Na), stronsium (Sr), kalsium (Ca), dan antimony. Sedangkan untuk paduan aluminium silikon hipereutektik, *modifier* (unsur pemodifikasi) yang biasa digunakan diantaranya adalah posfor (P) dan antimony (Metal Handbook, 1978). Secara

umum, tujuan penambahan unsur-unsur pemodifikasi (*modifier*) tersebut pada paduan aluminium silikon adalah untuk menghambat pertumbuhan kristal-kristal silikon di dalam fasa eutektik, sehingga akan menghasilkan pertumbuhan partikel silikon yang semula berbentuk lamel-lamel atau jarum yang kasar, namun secara bertahap akan menjadi berbentuk granular. Pada akhirnya partikel silikon tersebut akan menjadi partikel yang lebih halus (*modified*) dan tersebar merata sebagaimana yang terlihat pada Gambar 2.10 (Metal Handbook, 1978).



Gambar 2.10. (a) Kristal silikon tidak termodifikasi dan (b) Kristal silikon termodifikasi (Metal Handbook, 1978).

Selain itu, fungsi lain dari unsur pemodifikasi (*modifier*) ini adalah untuk meningkatkan kekuatan impak (*impact strength*) dan getas (*fracture*), meningkatkan kekuatan fatik (*fatigue strength*), sifat mampu mesin (*machinability*), kecenderungan retak panas (*hot tearing*) yang rendah, dan meningkatkan sifat mampu alir (*fluidity*) (Bahan Mata Kuliah Pengecoran, 2004). Pada penelitian ini unsur pemodifikasi (*modifier*) yang digunakan adalah stronsium (Sr) dalam bentuk stronsium nitrat $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$. Sementara

dalam penggunaan umumnya, stronsium biasa ditambahkan dalam bentuk *master alloy*. Hal ini dikarenakan jika stronsium yang digunakan dalam bentuk stronsium murni, maka akan menjadi tidak efektif akibat unsur Sr bereaksi dengan atmosfer (higroskopis) (Kaufman and Rooy, 2004). Stronsium telah digunakan secara luas sebagai suatu unsur pemodifikasi (*modifier*) untuk memperbaiki mikrostruktur karena efisiensinya dalam memodifikasi secara kuat dan periode modifikasinya yang lama (Hengcheng et al., 2003).

Fat-Halla menyatakan bahwa dengan penambahan 0,02wt%Sr pada paduan tipe Al-13wt%Si dapat meningkatkan persentase elongasi dan nilai *ultimate tensile strength* tanpa mengubah *yield strength* secara signifikan (N. Fat-Halla, 1989). Kulunk dan Zuliani juga mempelajari pengaruh penambahan stronsium pada paduan 380 *high-pressure die-casting*. Mereka mendapatkan hasil bahwa reduksi ukuran dan jumlah fasa intermetalik Fe dapat dilakukan dengan melakukan penambahan Sr, sehingga toleransi untuk tingginya kadar Fe yang terlarut dalam paduan dapat ditingkatkan tanpa mengubah sifat mekanis paduan tersebut. Hal ini ditemukan pada penambahan 0,04-0,06wt%Sr pada paduan A413, 413P, dan 413 yang memodifikasi ukuran fasa intermetalik dan meningkatkan transformasi dari fasa β -Al₃FeSi menjadi fasa α -Al₈Fe₂Si (B. Kulunk, D.J. Zuliani, 1996).

Pada umumnya, *modifier* dengan konsentrasi yang lebih tinggi akan menghasilkan struktur mikro yang lebih baik. Namun, apabila terlalu tinggi maka akan menyebabkan terjadinya overmodifikasi. 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 mikrostruktur, seperti partikel Al₄SrSi₂. Terkait dengan nilai fluiditasnya, overmodifikasi Sr akan menurunkan nilai mampu alir karena terjadi perubahan mikrostruktur yaitu struktur silikon dan fasa intermetalik. Untuk

itu perlu diperhatikan penambahan unsur modifikasi yang tepat baik dari jenis *modifier* maupun kadar penambahannya (Nanda and Suharno, 2012; Suharno, 2007).

2.11 Sifat – Sifat Mekanik Paduan Aluminium

2.11.1 Densitas (*Density*)

Densitas atau massa jenis merupakan kuantitas yang menggambarkan massa per satuan volume suatu zat. Densitas atau massa jenis juga merupakan salah satu sifat dari suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda-beda. Alat ukur dari massa jenis adalah hidrometer yang bekerja dengan prinsip Archimedes. Namun, dalam perkembangannya hingga saat ini alat ukur hidrometer sangat langka keberadaannya. Kalaupun ada, pemakaiannya hanya terbatas untuk keperluan industri dan penelitian di laboratorium, sehingga pengukuran massa jenis masih banyak yang menggunakan metode konvensional (menghitung massa dibagi dengan volume) dan dengan menerapkan hukum Archimedes (Giancolli, 2001).

Densitas (*density*) dari paduan aluminium hasil coran biasanya juga diuji dengan menggunakan teori Archimedes. Pada penelitian sebelumnya, semua komposit coran memiliki densitas yang hampir sama dengan Al murni, yaitu sebesar 2,59 gr/cm³. Hal ini dikarenakan proporsi dari Ti-B yang ditambahkan sangat kecil, sehingga tidak akan ada perbedaan yang signifikan dalam hal densitas paduan aluminium hasil coran. Namun, faktor yang menyebabkan perbedaan pada setiap komposisi adalah porositas. Peningkatan penambahan Ti-B dapat mengurangi porositas dalam komposit coran (Dhaneswara et al., 2018). Penambahan 0,06wt% Ti-B dapat menghasilkan porositas yang paling tinggi dikarenakan sirkulasi hidrogen yang masuk ke dalam aluminium cair selama proses pengadukan. Eksistensi atau keberadaan dari porositas

dalam paduan coran dapat mengurangi kekuatan tarik secara signifikan (Dhaneswara et al., 2018).

2.11.2 Kekerasan (Hardness)

Kekerasan (*hardness*) merupakan gabungan dari beberapa sifat yang terdapat dalam suatu bahan yang mencegah terjadinya suatu deformasi terhadap bahan tersebut ketika diaplikasikan suatu gaya. Dalam definisi lain, dikatakan bahwa kekerasan merupakan kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan). Kekerasan suatu bahan dipengaruhi oleh elastisitas, plastisitas, viskoelastisitas, kekuatan tarik, *ductility* dan sebagainya. Kekerasan dapat diuji dengan berbagai metode, diantaranya yaitu metode *Brinell* (HB), *Vickers* (HV), *Mohs*, *Rockwell* (HR). Kekerasan aluminium murni sangatlah kecil, yaitu hanya sekitar 20 skala *Brinell*, sehingga dengan hanya memberikan sedikit gaya saja dapat mengubah bentuk dari bahan ini (A.Schey, John, 2009).

Sebagaimana yang dibahas sebelumnya bahwa kekerasan (*hardness*) dari paduan aluminium biasanya diuji dengan menggunakan alat uji kekerasan *Brinell*. Dari penelitian sebelumnya, diketahui bahwa semakin meningkatnya penambahan Ti-B, maka sifat kekerasan dari paduan aluminium hasil coran juga akan semakin meningkat. Namun setelah penambahan tertentu, pengaruh dari penambahan Ti-B tidak akan memberikan hasil yang signifikan. Penambahan Ti-B yang ideal adalah sebesar 0,04wt%, sehingga pada penambahan 0,06wt% dan seterusnya tidak akan memberikan peningkatan sifat kekerasan paduan aluminium hasil coran (Dhaneswara et al., 2018).

2.12 Cara meningkatkan Sifat – Sifat Mekanik

2.12.1 Aging (*Heat Treatable Alloys*)

Dalam meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium hasil coran yang dapat diperlakukan panas (*heat treatable alloys*) dapat

dilakukan dengan perlakuan panas. Perlakuan panas merupakan suatu proses pemanasan atau pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis maupun sifat mekanik logam tersebut. Untuk melakukan perlakuan panas yang tepat, bahan yang akan diberi perlakuan panas harus diketahui komposisi kimia, diharapkan setelah perlakuan panas perubahan sifat fisis dapat diketahui. Adapun jenis-jenis perlakuan panas yaitu sebagai berikut (Suharno, 2007):

1. *Tempering*

Merupakan perlakuan panas logam pada temperatur di bawah titik kritis untuk waktu tertentu kemudian didinginkan perlahan-lahan dalam dapur. Tujuan perlakuan panas tempering adalah untuk mengurangi internal stress, meningkatkan keuletan dan ketangguhan.

2. *Annealing*

Tujuan dilakukannya perlakuan panas *annealing* adalah untuk menurunkan tegangan dalam atau *internal stress* logam, menghaluskan butir dan mengurangi kekerasan, sehingga setelah proses ini diperoleh sifat yang lebih ulet. Apabila pemanasan dilakukan pada temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan struktur dengan butir yang kasar dan keadaan ini disebut dengan *over heating*. Setelah mencapai temperatur yang diinginkan, kemudian di *holding* selama 30-50 menit. Adapun pendinginan dilakukan di dalam dapur sehingga diharapkan memiliki laju 150-200°C/jam.

3. *Aging*

Merupakan proses penuaan aluminium pada beberapa waktu. Penuaan aluminium ada 2 jenis, yaitu penuaan alamiah dan penuaan buatan. Penuaan alamiah adalah proses penuaan aluminium yang dilakukan pada temperatur kamar. Sedangkan penuaan buatan atau penuaan temper adalah proses penuaan pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur kamar (untuk aluminium pada 120-180°C).

4. *Quenching*

Logam dipanaskan 50°C di atas temperatur kritis dan dipertahankan kemudian didinginkan secara tiba-tiba (secara cepat) dengan menggunakan media berupa air dengan beragam temperatur, soda kaustik, air garam soda, atau dengan minyak. Tujuan dari perlakuan panas *quenching* ini adalah untuk meningkatkan kekerasan paduan.

5. *Normalizing*

Perlakuan panas ini dilakukan dengan memanaskan paduan kira-kira pada temperatur 30°C diatas temperatur kritis, ditahan, kemudian didinginkan perlahan. Tujuan dari perlakuan panas ini adalah untuk mengurangi *internal stress* dan pembentukan kristal.

3.12.2 *Non – Aging (Non – Heat Treatable Alloys)*

Terdapat berbagai cara untuk meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium *non-heat-treatable alloys*, salah satunya adalah dengan melakukan penambahan beberapa unsur ke dalam paduan aluminium. Sebagaimana dari hasil beberapa penelitian sebelumnya, maka unsur-unsur yang dapat ditambahkan beserta pengaruhnya terhadap sifat mekanik paduan aluminium adalah sebagai berikut:

1. Cu

Pengaruh penambahan Cu terhadap mikrostruktur dan kekerasan paduan Al-Si telah banyak diteliti. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan, bahwa peningkatan kandungan Cu dalam paduan Al-Si akan meningkatkan kekerasan dari matriks dan kekuatan tarik (*tensile strength*) meningkat seiring dengan berkurangnya keuletan (*ductility*) (Zheng,2015). Shabestari menyatakan, bahwa paduan Al-Si-Mg yang dipadatkan dalam cetakan grafit, paduan dengan kandungan Cu yang mendekati 1,5wt% memiliki kekuatan sifat mekanik yang terbaik (Shabestari,2004) .

2. Mg

Pengaruh penambahan Mg ke dalam paduan Al-Si dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*) dan kekuatan tarik (*tensile strength*) (Kori, 2009), serta dapat mengubah eutektik silikon dari paduan tersebut (Aguilera-Luna, 2014). Selain itu, meningkatkan kandungan Mg hingga tingkat tertinggi (Mg > 1,0 wt%) dapat mengubah secara keseluruhan fasa β -Al₅FeSi yang berbentuk jarum-jarum menjadi π -Al₈Mg₃FeSi₆ yang berbentuk *chinese-script* (Samuel, 1997).

3. Sr

Stronsium dapat memodifikasi fasa β yang kasar dan seperti jarum menjadi lebih pendek dan halus. Sr mampu memutus dan memecah jarum-jarum β menjadi lebih pendek sehingga dapat mengurangi efek negatif dari fasa β dengan meningkatkan sifat mekanis dari paduan Al-Si. Sr mengubah fasa β menjadi π (pada Mg) atau α (pada Mn) dengan cara mengeluarkan Si dari dalam keping fasa β , sehingga mampu mengurangi jumlah β yang ada (Suharno, 2007). Sr sebagai *modifier* di dalam paduan Al-Si dapat meningkatkan morfologi dan ukuran dari silikon eutektik (Samuel, 1997).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini diantaranya adalah mesin pemotong *Circle Cutter Bosch* yang digunakan untuk memotong sampel uji (*Al scrap* ingot yang masih berbentuk bongkahan balok besar dan *AlTiB* yang masih berbentuk filamen), neraca O'hauss dan neraca digital untuk mengukur massa sampel uji, spatula untuk mengambil sampel ketika proses pengukuran dengan neraca, *tissue* untuk mengeringkan alat pengujian, aluminium *foil* sebagai alas pada proses pengukuran dengan neraca digital, kompor gas untuk meleburkan sampel uji, sendok besar yang cekung sebagai wadah peleburan, pengaduk, termometer *infrared* tembak untuk mengetahui temperatur *melting point* dari paduan aluminium silikon yang dileburkan, dan pelat besi datar yang digunakan sebagai wadah penuangan (cetakan) paduan aluminium-silicon hasil coran.

3.1.2 Bahan

Pada penelitian tugas akhir ini, bahan yang digunakan adalah *scrap* aluminium ingot, *AlTiB* sebagai *grain refiner*, Stronsium sebagai *modifier*, dan Alkohol 96% sebagai pembersih.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia ini dilakukan untuk mengetahui konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam *scrap* aluminium ingot, *AlTiB*, dan Stronsium yang akan digunakan dalam penelitian ini. Adapun pengujian komposisi kimia ini

dilakukan dengan menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM ITS.

3.2.2 Perhitungan *Material Balance*

Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan perhitungan *material balance* terhadap bahan paduan aluminium *scrab* ingot, AlTiB, dan Sr yang akan digunakan dalam penelitian dengan massa target sebesar 20 gram (d disesuaikan dengan kapasitas wadah peleburan). Adapun AlTiB dijadikan sebagai *variable* tetap, yaitu sebesar 0,15% (d disesuaikan dengan *level* penambahan optimumnya sebagaimana yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya). Sedangkan Sr dijadikan sebagai *variable* bebas, yaitu sebesar 0,015% ; 0,03% ; 0,045% ; dan 0,06% (penambahan ini didasarkan atas literatur terkait penelitian sebelumnya). Berikut adalah perhitungan *material balance* dari *grain refiner* AlTiB dan tabel perhitungan *modifier* Stronsium yang ditambahkan pada proses peleburan sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.1.

Perhitungan *grain refiner* AlTiB yang ditambahkan

$$\frac{0,15}{100} \times 20 \text{ gr} = 0,03 \text{ gr}$$

Tabel 3.1. Perhitungan *modifier* Stronsium yang ditambahkan

Sr yang diharapkan	Perhitungan penambahan Sr
0,015wt%	$\frac{0,015}{100} \times 20 \text{ gr} = 0,003 \text{ gr}$
0,03 wt%	$\frac{0,03}{100} \times 20 \text{ gr} = 0,006 \text{ gr}$
0,045 wt%	$\frac{0,045}{100} \times 20 \text{ gr} = 0,009 \text{ gr}$
0,06 wt%	$\frac{0,06}{100} \times 20 \text{ gr} = 0,012 \text{ gr}$

Selanjutnya, dari perhitungan *material balance* tersebut ditetapkan 6 sampel uji dalam penelitian ini sebagaimana yang terlihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. *Material balance* percobaan yang dilakukan

Sampel	AlTiB	Sr	Al
1	0,15wt% (0,03 gram)	0,03wt% (0,006 gram)	19,964 gram
2		0,045wt% (0,009 gram)	19,961 gram
3		0,06wt% (0,012 gram)	19,958 gram
4		-	19,97 gram
5		0,015wt% (0,003 gram)	19,967 gram
6	-	0,015wt% (0,003 gram)	19,997 gram

3.2.3 Proses Peleburan

Setelah pengujian komposisi kimia dilakukan dan semua sampel penelitian ditimbang sesuai dengan perhitungan *material balance*, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah mempersiapkan semua alat dan bahan untuk dilakukannya proses peleburan. Proses peleburan ini dilakukan di Laboratorium Spektrometri Departemen Fisika ITS. Proses peleburan dilakukan dengan tungku yang diletakkan diatas kompor gas dengan bahan bakar gas elpiji. Sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.1, pada proses peleburan dalam penelitian ini digunakan sendok besar yang cekung sebagai wadah peleburan dikarenakan penelitian ini merupakan penelitian yang pertama kali dilakukan di Departemen Fisika ITS, sehingga masih belum tersedianya alat-alat peleburan yang memadai dan sesuai dengan *standard* peleburan pada umumnya. Namun demikian, proses peleburan ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik, ditandai dengan meleburnya sampel uji

pada melting point sesuai literatur, yaitu sekitar 500-600°C dan bercampurnya secara merata paduan-paduan (AlTiB dan Sr) pada sampel-sampel pengujian dalam Tugas Akhir ini.

Langkah-langkah dalam proses peleburan diawali dengan dipersiapkannya kompor gas dan proses elpiji, lalu dinyalakan. Sementara menunggu nyala api stabil, dilakukan penuangan sampel uji secara bertahap ke dalam sendok besar cekung. Kemudian diletakkannya sendok besar cekung yang sudah berisi sampel uji tersebut di atas kompor gas. Selanjutnya, menunggu sampel melebur seluruhnya dengan terus mengaduk sampel agar tercampur merata. Sekitar 5-10 menit, sampel uji sudah melebur dan tercampur merata pada temperatur 500-600°C (diketahui dengan menembakkan termometer *infrared* tepat di atas sampel uji yang telah melebur). Kemudian sampel uji diangkat dan dituangkan ke atas pelat besi (wadah penuangan sampel hasil coran). Dalam hanya hitungan detik, sampel sudah membeku di atas pelat besi tersebut. Selanjutnya dilakukan langkah-langkah yang sama untuk sampel uji yang lain, sehingga dihasilkan paduan aluminium hasil coran sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1. Proses peleburan paduan aluminium



Gambar 3.2. Sampel paduan aluminium-silikon hasil coran

3.3 Karakterisasi Mikrostruktur

Pada penelitian selanjutnya, pengujian struktur mikro secara kualitatif dan kuantitatif dilakukan dengan alat uji XRD, SEM, dan EDX sebagai langkah untuk mengetahui pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium terhadap mikrostruktur dari paduan Al scrap ingot.

3.3.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Karakterisasi dengan XRD dilakukan untuk menganalisis fasa-fasa yang terbentuk pada sampel uji, yaitu paduan aluminium-silikon hasil coran. Panjang gelombang yang digunakan adalah Cu $K-\alpha_1$ sebesar 1.54056\AA . Sudut 2θ yang digunakan dalam karakterisasi yaitu sebesar $10^\circ - 60^\circ$. Pengujian XRD dilakukan di laboratorium Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan menggunakan alat *X-ray Diffractometer Philips X'Pert*

MPD. Gambar 3.3 merupakan gambar alat XRD yang digunakan untuk karakterisasi fasa dari paduan aluminium hasil coran.

Senyawa atau fasa yang terdapat pada sampel uji dapat diidentifikasi baik secara kualitatif maupun kuantitatif dengan menggunakan peralatan *X-Ray Diffraction* (XRD). Untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk secara kuantitatif adalah dengan mencocokkan puncak-puncak dari grafik hasil pengujian dengan nilai 2θ standar fasa dari *database* yang ada. Jika terdapat minimal dua puncak yang sesuai, maka fasa tersebut dapat dikatakan terkandung dalam sampel yang diujikan tersebut. Adapun pada penelitian Tugas Akhir ini, sampel yang diujikan dengan XRD adalah sebanyak 5 (lima) sampel, yaitu sampel 1,2,3,5 dan 1 (satu) sampel berupa Al *scrap* ingot yang belum direkayasa *grain refiner* dan *modifier*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan fasa-fasa yang terbentuk pada sampel sebelum dan sesudah direkayasa dengan *grain refiner* AlTiB dalam konsentrasi tetap dan *modifier* Sr dalam konsentrasi yang berbeda-beda.

Pada karakterisasi dengan menggunakan XRD, sumber yang digunakan dalam pengujian adalah sinar-X dengan radiasi gelombang elektromagnetik transversal pada daerah panjang gelombang 0,1-1000 Å yang terdiri dari partikel yang tidak bermuatan. Sinar-X dapat terbentuk apabila suatu material ditembak dengan berkas elektron benergi tinggi. Dalam eksperimen digunakan sinar-X yang monokromatis. Kristal akan memberikan hamburan yang kuat jika arah bidang kristal terhadap berkas sinar-X (sudut θ) memenuhi persamaan Bragg, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.1

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.1)$$



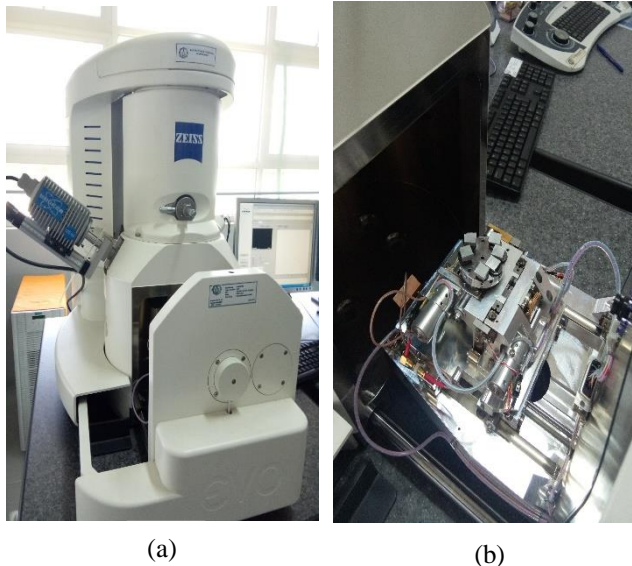
Gambar 3.3. *X-ray Diffractometer (XRD)*

3.3.2 Scanning Electron Microscope (SEM - EDX)

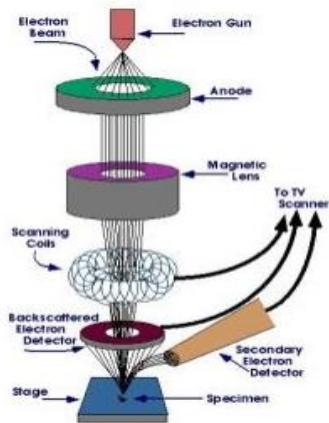
Karakterisasi dengan SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi fasa intermetalik yang terbentuk pada paduan aluminium-silikon hasil coran. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM ITS dengan menggunakan Carl Zeiss EVO MA10 sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.4. Karakterisasi ini dilakukan dengan perbesaran 100 \times , 300 \times , 500 \times , dan 1000 \times . Dengan menggunakan SEM dan EDX diharapkan dapat mengidentifikasi matrik aluminium silikon, struktur silikon, fasa intermetalik dan morfologinya, dimana fasa α -AlFeSi mempunyai bentuk *chinese script* dan fasa β -AlFeSi mempunyai morfologi seperti pelat dan jarum-jarum, tetapi pengujian SEM tidak dapat menentukan jenis intermetalik yang terbentuk. Selain itu, pada pengujian EDX dilakukan penembakan pada titik yang diinginkan dalam hal ini adalah pada intermetalik. Pengujian EDX pada titik yang ditembakkan tersebut akan menghasilkan keluaran berupa presentase unsur saja (bukan senyawa seperti hasil keluaran dari pengujian XRD), sehingga dari pengujian EDX ini akan diperoleh indikasi adanya unsur-unsur kimia yang terkandung dalam spesimen.

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan alat yang dapat membentuk bayangan permukaan. Struktur permukaan

suatu benda yang akan diuji dapat dipelajari dengan mikroskop elektron pancaran karena jauh lebih mudah untuk mempelajari struktur permukaan itu secara langsung. Pada dasarnya, SEM menggunakan sinyal yang dihasilkan elektron dan dipantulkan atau berkas sinar elektron sekunder. Prinsip kerja SEM adalah menembakkan berkas elektron berenergi tinggi pada permukaan material sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.4. Permukaan material yang dikenai berkas akan memantulkam kembali berkas tersebut atau menghasilkan elektron sekunder ke segala arah. Pantulan elektron-elektron sekunder, elektron-elektron terhambur dan radiasi sinar-X karakteristik akan memberikan informasi tentang keadaan sampel seperti bentuk permukaan (topografi) dan komposisi kimia yang terkandung dalam material apabila dihubungkan dengan alat EDX (*Energy Dispersive X-Ray*).



Gambar 3.4. (a) *Scanning Electron Microscopy* (SEM) (b) Proses pengujian mikrostruktur sampel uji dengan SEM



Gambar 3.5. Prinsip Kerja SEM

3.4 Karakterisasi Sifat Mekanik

Langkah selanjutnya yang dilakukan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah dilakukannya pengujian dan analisis sifat mekanik paduan aluminium-silikon hasil coran yang meliputi pengujian kekerasan dan densitas sebagai langkah untuk mengetahui pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Stronsium terhadap sifat mekanik paduan Al *scrap* ingot.

3.4.1 Uji Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan paduan aluminium hasil coran dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Microhardness Vicker's* di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM ITS sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.6. Pengujian kekerasan paduan aluminium hasil coran dengan *Microhardness Vicker's*

3.4.2 Uji Densitas (*Density*)

Pengujian densitas atau massa jenis dari paduan aluminium hasil coran ini dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes. Pengujian densitas dilakukan di Laboratorium Spektrometri Departemen Fisika ITS sebagaimana yang terlihat pada Gambar 3.7.



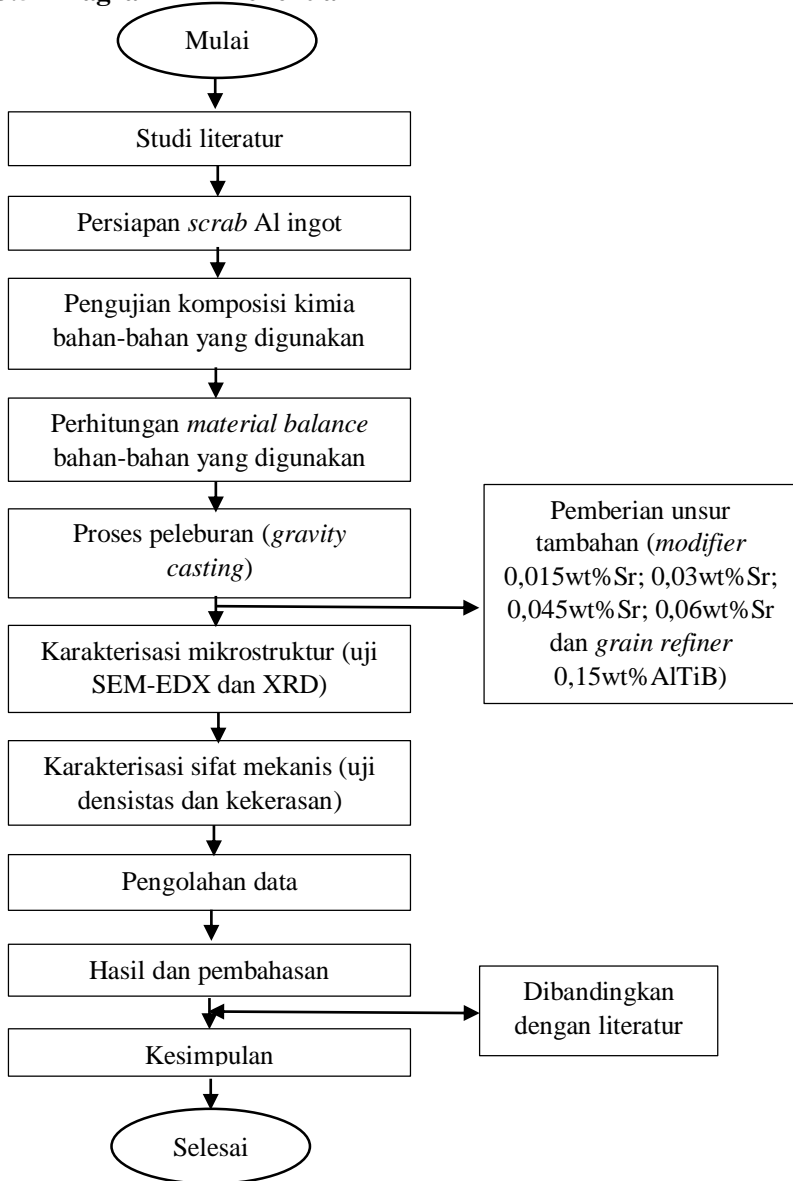
(a)



(b)

Gambar 3.7. Pengujian densitas paduan alumunium hasil coran (a) pengukuran berat kering sampel (b) pengukuran berat basah sampel.

3.5 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8. Diagram alir penelitian

BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Komposisi Kimia dengan XRF

Berdasarkan hasil pengujian XRF, maka dapat diketahui bahwa kandungan komposisi kimia dari paduan Al *scrap* ingot (100% *scrap* atau yang belum ditambahkan *modifier* Sr dan *grain refiner* AlTiB) yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 4.1. Komposisi kimia paduan ADC12 komersial sesuai dengan standar JIS (Nanda and Suharno, 2012) selanjutnya diberikan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Komposisi kimia paduan aluminium *scrap* ingot

Sampel uji	Komposisi kimia	
	Unsur	Intensitas (wt%)
Paduan Al <i>scrap</i> ingot	Al	63,9
	Si	13,1
	P	0,47
	Ca	0,38
	Ti	0,19
	V	0,032
	Cr	0,24
	Mn	0,919
	Fe	5,34
	Ni	2,33
	Cu	7,87
	Zn	4,88
	Zr	0,4
	Mg	<i>No intensity</i>

Dari hasil pengujian komposisi kimia di atas, terlihat bahwa paduan Al *scrap* ingot yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam paduan aluminium-silikon eutektik karena mengandung rata-rata 13wt%Si (Ahmad et al., 2017).

Tabel 4.2. Komposisi kimia paduan ADC12 komersial sesuai dengan standard JIS (Nanda and Suharno, 2012)

Sampel uji	Komposisi kimia	
	Unsur	Intensitas (wt%)
Paduan ADC12 (JIS, maksimum)	Al	-
	Cu	3,5
	Mg	0,3
	Si	12
	Fe	13
	Mn	0,5
	Ni	0,5
	Zn	1
	Pb	-
	Sn	0,3
	Ti	-
	Cr	-

Jika dibandingkan dengan komposisi paduan ADC 12 komersial pada Tabel 4.2, maka paduan Al *scrap* ingot ini memiliki kemiripan secara komposisi kimia. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa paduan Al *scrap* ingot yang digunakan dalam penelitian ini termasuk ke dalam paduan aluminium-silikon jenis ADC12. Paduan aluminium jenis ADC12 adalah paduan aluminium tuang sesuai dengan standard JIS (*Japan International Standard*) dengan sistem paduan Al-Si-Cu. Dengan sistem paduan Al-Si-Cu, maka ADC12 ini memiliki sifat ketahanan yang tinggi terhadap korosi, kekuatan dan ketangguhan yang tinggi. Paduan jenis ini umumnya diaplikasikan untuk produk-produk otomotif yang membutuhkan sifat-sifat mekanik yang dimilikinya, seperti pada produk berupa *cylinder barrel*, *head cover*, *crank case*, *wheel hub*, dan sebagainya (Okayasu et al., 2012).

Sebagaimana yang terlihat pada Tabel 4.1, pada paduan Al *scrap* ingot ini banyak mengandung Fe, yaitu sebesar 5,34 wt%.

Komposisi Fe yang sangat tinggi ini akan memicu terbentuknya fasa kedua intermetalik pada paduan aluminium-silikon. Hal ini dikarenakan kelarutan besi pada keadaan padat sangat rendah (sekitar 0,05wt% pada temperatur 600°C, bahkan lebih rendah lagi pada temperatur ruang). Dengan demikian, kadar besi yang melebihi 0,05wt% akan tampak sebagai fasa kedua intermetalik dalam kombinasi dengan Al dan unsur lainnya, dan fasa ini bersifat merusak terhadap sifat mekanik dari paduan Al-Si tersebut (Farhadi Gholamali, 1999). Adapun fasa intermetalik yang umum terdapat pada paduan aluminium-silikon adalah fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi. Fasa intermetalik α -AlFeSi mempunyai komposisi $\text{Al}_3\text{Fe}_2\text{Si}$ (32-36%Fe, 6-9,5%Si), sedangkan fasa intermetalik β -AlFeSi mempunyai komposisi Al_5FeSi (27-28%Fe, 14-16%Si) (William D, Jr., 2003). Fasa intermetalik α -AlFeSi dinilai memiliki karakteristik yang lebih baik daripada fasa β -AlFeSi dari segi sifat mekanis dan sifat mampu cor (Nanda and Suharno, 2012; Suharno, 2007).

Keberadaan besi yang mengakibatkan munculnya fasa intermetalik ini tidak dapat dihilangkan dari paduan aluminium tetapi dapat dikurangi pengaruh buruk yang ditimbulkannya (Farhadi Gholamali, 1999). Untuk mengurangi pengaruh buruk dari fasa intermetalik ini, maka dilakukan proses netralisasi. Proses netralisasi ini dapat dilakukan diantaranya dengan cara menambahkan *grain refiner* dan *modifier* ke dalam paduan aluminium-silikon (Nanda and Suharno, 2012; Suharno, 2007). Selain itu, alasan perlu dilakukannya proses netralisasi dengan menambahkan unsur-unsur pemodifikasi dan penghalus butir ini diperkuat dengan hasil uji komposisi kimia di atas. Karena paduan Al *scrap* ingot yang digunakan dalam penelitian ini merupakan paduan aluminium-silikon eutektik dengan sistem paduan Al-Si-Cu, dimana berdasarkan prinsip pemaduan aluminium, maka termasuk ke dalam jenis paduan *non-heat treatable* atau paduan yang tidak cocok apabila diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat mekaniknya (Jhon E, 1995). Oleh karena itu, untuk mengurangi pengaruh buruk dari fasa intermetalik dan

meningkatkan sifat mekanik dari paduan Al *scrap* ingot ini dapat dilakukan dengan cara menambahkan unsur-unsur *grain refiner* dan *modifier* ke dalam paduan Al *scrap* ingot ini (Nanda and Suharno, 2012; Suharno, 2007).

Adapun penghalus butir (*grain refiner*) yang sangat sering digunakan adalah yang berbasis sistem Al-Ti-B, dengan rentang komposisi Al-5wt%Ti-1wt%B (A. K. Dahle, 2011). Dengan demikian, dalam penelitian Tugas Akhir ini, *grain refiner* yang digunakan adalah AlTiB dengan komposisi kimia sebagaimana yang tertera pada Tabel 4.3. *Grain refiner* Al-Ti-B pada paduan aluminium-silikon digunakan untuk mengontrol besarnya struktur butir. *Grain refiner* menghasilkan *nucleating site* untuk pembentukan *primary dendrites* dan menghasilkan sejumlah besar butir yang halus, *equiaxed*, dan distribusi yang seragam. Pada paduan aluminium-silikon yang mengandung Fe, butir yang halus akan menghasilkan intermetalik yang lebih kecil dan distribusi yang lebih seragam (Dhaneswara et al., 2018).

Tabel 4.3. Komposisi kimia *grain refiner* AlTiB

Sampel uji	Komposisi kimia	
	Unsur	Intensitas (wt%)
<i>Grain refiner</i> AlTiB	Al	92,7
	Ti	4,5 – 5,5
	B	0,8 – 1,2
	Fe	0,3
	Si	0,3

Sementara unsur-unsur pemodifikasi (*modifier*) yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah stronsium, dimana komposisi kimia dari *modifier* ini dapat dilihat pada Tabel 4.4. Stronsium merupakan unsur yang paling luas penggunaannya di dalam paduan aluminium-silikon. Stronsium umumnya digunakan untuk memodifikasi silikon eutektik menjadi lebih bulat. Pada paduan aluminium-silikon yang mengandung Fe, penambahan Sr akan meningkatkan pembentukan fasa α -AlFeSi

selama pengecoran, stronsium akan membuat *interface layer* pada permukaan α -AlFeSi, sehingga mencegah Si terserap dan tumbuh pada *interface layer* α -AlFeSi. Pencegahan kelarutan dari Si ke dalam fasa α -AlFeSi akan mencegah pembentukan fasa β -AlFeSi (Nanda and Suharno, 2012).

Pada penelitian sebelumnya, yang dilakukan oleh Kulunk dan Zulaini dalam mempelajari pengaruh stronsium pada paduan 380 *high-pressure die-casting*, bahwa reduksi ukuran dan jumlah fasa intermetalik Fe dapat dilakukan dengan penambahan stronsium, sehingga toleransi untuk tingginya kadar Fe yang terlarut dalam paduan dapat ditingkatkan tanpa mengubah sifat mekanis dari paduan tersebut (B. Kulunk, D.J. Zuliani, 1996). Hasil yang sama juga ditemukan pada penambahan 0,04-0,06wt%Sr pada paduan A413, 413P, dan 413 yang memodifikasi ukuran fasa intermetalik dan meningkatkan transformasi dari fasa β -AlFeSi menjadi fasa α -AlFeSi (William D, Jr., 2003). Fat-Halla juga menyatakan, bahwa dengan penambahan 0,02wt%Sr pada paduan tipe Al-13wt%Si dapat meningkatkan persentase elongasi dan nilai *ultimate tensile strength* tanpa mengubah *yield strength* secara signifikan (N. Fat-Halla, 1989).

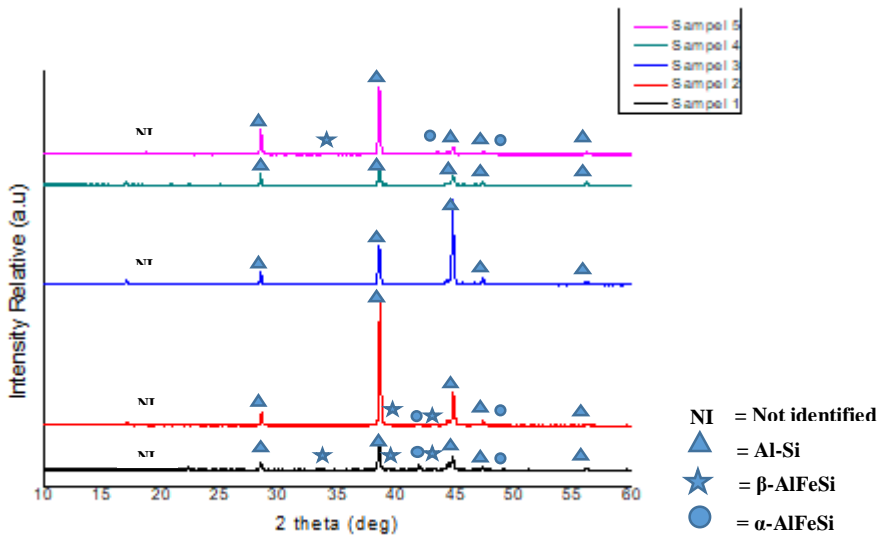
Tabel 4.4. Komposisi kimia *modifier* Stronsium

Sampel uji	Komposisi kimia	
	Unsur	Intensitas (wt%)
<i>Modifier</i> Stronsium (Sr)	Sr(NO ₃) ₂	≥ 99,5
	HNO ₃	0,013
	Cl	0,0005
	SNO ₄	0,005
	Na	0,03
	Mg	0,005
	K	0,02
	Ca	0,03
	Fe	0,0002
	Ba	0,02
	Pb	0,0005

4.2 Analisa Fasa Intermetalik yang Terbentuk dengan XRD

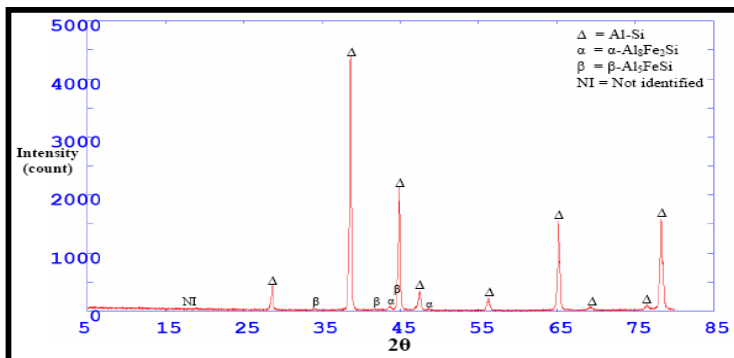
Analisa senyawa atau fasa yang terbentuk pada sampel uji dapat diidentifikasi secara kuantitatif dengan menggunakan peralatan uji XRD (*X-Ray Diffraction*), yaitu dengan mencocokkan puncak-puncak dari grafik hasil pengujian dengan nilai 2θ standar fasa dari *database* yang ada. Jika terdapat minimal dua puncak yang sesuai, maka fasa tersebut dapat dikatakan terkandung dalam sampel yang diujikan (Nanda and Suharno, 2012).

Secara komprehensif data hasil pengujian XRD paduan aluminium-silikon (Al *scrap* ingot) dengan *grain refiner* AlTiB tetap dan *modifier* Sr yang bervariasi ditampilkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Analisis data hasil pengujian XRD paduan aluminium-silikon eutektik 100% *scrap* (sampel 4), aluminium-silikon eutektik dengan AlTiB tetap dan Sr bervariasi (sampel 1, 2, 3, dan 5).

Gambar 4.1 memperlihatkan grafik hasil pengujian XRD paduan aluminium-silikon eutektik 100% *scrap* (sampel 4), aluminium-silikon eutektik dengan AlTiB tetap dan Sr bervariasi (sampel 1, 2, 3, dan 5) yang sudah diidentifikasi jenis fasa-fasa yang terbentuk. Adapun identifikasi berbagai jenis fasa tersebut adalah berdasarkan literatur grafik hasil pengujian XRD pada Gambar 4.2 dan data *output* pengujian menggunakan XRD yang ditampilkan dalam Tabel 4.5 (Nanda and Suharno, 2012). Identifikasi berbagai jenis fasa yang terbentuk ini adalah dengan cara mencocokkan sudut 2θ dari data hasil pengujian XRD paduan Al *scrap* ingot dengan sudut 2θ puncak-puncak acuan pada Tabel 4.5. Dari hasil pencocokan tersebut, nampak terdapat lebih dari dua puncak yang sesuai, maka fasa tersebut dapat dikatakan terkandung dalam sampel yang diujikan dalam penelitian ini. Selanjutnya, untuk memudahkan dalam menganalisa pengaruh penambahan *modifier* Sr terhadap kuantitas fasa intermetalik yang terbentuk pada paduan Al *scrap* ingot dengan konsentrasi 0,15wt% AlTiB, maka hubungan antara konsentrasi penambahan *modifier* Sr dan intensitas relatif fasa intermetalik yang terbentuk ditampilkan pada grafik dalam Gambar 4.3.

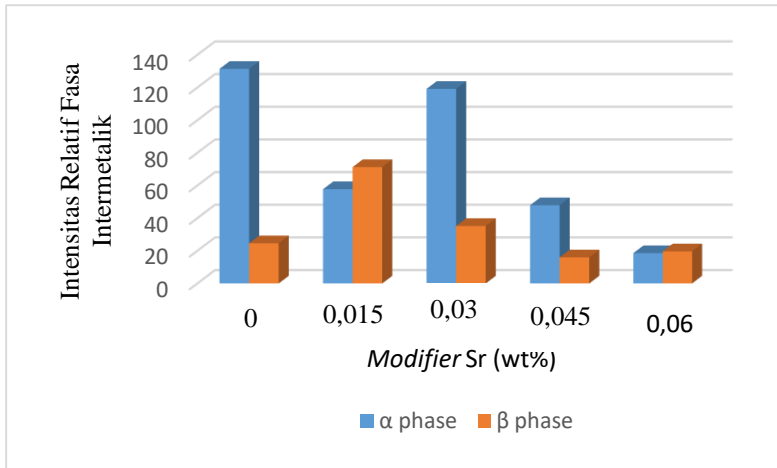


Gambar 4.2. Grafik hasil pengujian XRD (Nanda and Suharno, 2012)

Tabel 4.5. Data *output* pengujian menggunakan XRD (Nanda and Suharno, 2012)

2 θ	Fasa yang terbentuk
18,724	NI
28,622	Al-Si
34,149	β -AlFeSi
38,647	Al-Si
38,762	Al-Si
41,688	β -AlFeSi
43,774	α -AlFeSi
44,626	β -AlFeSi
45,001	Al-Si
47,439	Al-Si
48,659	α -AlFeSi
56,253	Al-Si
65,253	Al-Si
65,409	Al-Si
69,287	Al-Si
76,508	Al-Si

Sebagaimana grafik yang terlihat pada Gambar 4.1 dan 4.3 diketahui, bahwa penambahan *modifier* Sr ke dalam paduan Al *scrap* ingot sangat berpengaruh terhadap intensitas relatif fasa intermetalik yang terbentuk. Hal ini ditunjukkan dari bentuk grafiknya yang mengalami fluktuasi. Pada grafik dalam Gambar 4.3 nampak, bahwa dalam paduan Al 100% *scrap* (belum ditambahkan AlTiB dan Sr) terdapat fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi yang intensitasnya cukup tinggi. Hal ini dikarenakan pada paduan Al 100% *scrap* terdapat fasa intermetalik yang terbentuk selama proses pengecoran.



Gambar 4.3. Pengaruh penambahan *modifier* Sr terhadap intensitas relatif fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -AlFeSi yang terbentuk pada paduan Al *scrap* ingot dengan konsentrasi 0,15wt% AlTiB.

Sebagaimana pada pembahasan sebelumnya, bahwa besi merupakan unsur yang memiliki kelarutan sangat rendah pada paduan aluminium, yaitu sekitar 0,05wt% pada kesetimbangan. Sementara dalam penelitian ini, Al 100% *scrap* yang digunakan mengandung besi dengan kadar 5,34wt%, sehingga melebihi kadar kelarutan besi yang akan mengakibatkan banyak besi yang tidak larut dalam matriks dan akan tersisa dalam aluminium cair sampai terjadinya akhir pembekuan yang kemudian akan mengendap sebagai fasa kedua intermetalik. Fasa intermetalik yang sering terbentuk adalah fasa α -AlFeSi dan β -AlFeSi yang dapat menurunkan sifat mekanik paduan aluminium-silikon hasil coran. Pengaruh buruk dari munculnya fasa intermetalik ini tidak dapat dihilangkan dari paduan aluminium tetapi dapat dikurangi, salah satunya dengan cara menambahkan *modifier* dan *grain refiner* ke dalam paduan aluminium tersebut. Ketika dilakukan penambahan

modifier 0,015wt%Sr ke dalam paduan Al 100% *scrap* terlihat, bahwa terjadi penurunan intensitas fasa intermetalik α -AlFeSi dan kenaikan intensitas β -AlFeSi. Nilai intensitas relatif fasa β -AlFeSi yang lebih tinggi daripada fasa α -AlFeSi ini menunjukkan bahwa penambahan *modifier* Sr masih dalam kadar yang rendah (belum cukup untuk memodifikasi paduan Al *scrap* ingot) atau dapat dikatakan bahwa paduan masih termodifikasi sebagian (*partially modified*), sehingga fasa intermetalik yang lebih dominan terbentuk adalah fasa β -AlFeSi. Hal ini sesuai yang dinyatakan oleh Prima Nanda dalam penelitiannya (Nanda and Suharno, 2012).

Sementara pada penambahan 0,03wt%Sr terlihat, bahwa intensitas fasa α -AlFeSi lebih besar daripada intensitas fasa β -AlFeSi. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan 0,03wt%Sr sudah dapat memodifikasi mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot atau dapat dikatakan bahwa paduan sudah termodifikasi sempurna (*fully modified*), sehingga penambahan *modifier* Sr dalam kadar ini dapat mengubah fasa β -AlFeSi menjadi fasa α -AlFeSi. Hasil yang sama juga ditunjukkan saat penambahan *modifier* 0,045wt%Sr. Dari grafik terlihat bahwa intensitas fasa α -AlFeSi dan fasa β -AlFeSi menurun pada penambahan 0,045wt%Sr, tetapi intensitasnya masih menunjukkan bahwa fasa α -AlFeSi masih lebih besar daripada fasa β -AlFeSi. Kedua hasil tersebut sesuai dengan literatur yang menyatakan, bahwa penambahan *modifier* Sr dapat mengubah fasa β -AlFeSi menjadi fasa α -AlFeSi, sehingga fasa intermetalik yang lebih banyak terbentuk adalah fasa α -AlFeSi. Perubahan fasa β -AlFeSi menjadi fasa α -AlFeSi akan memperbaiki sifat mekanis dari paduan aluminium karena bentuk fasa α -AlFeSi *chinese script*, sedangkan fasa intermetalik β -AlFeSi berbentuk tajam yang menghasilkan ikatan yang lemah dengan matriks aluminium, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya penurunan sifat mekanik paduan, salah satunya adalah porositas pada paduan aluminium hasil coran (Nanda and Suharno, 2012).

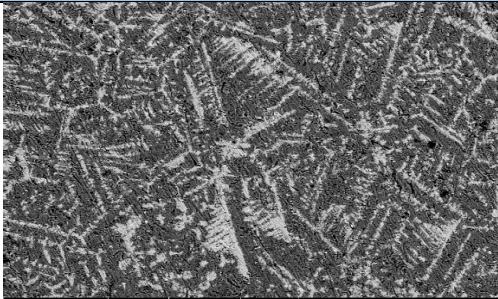
Kemudian apabila diamati dari Gambar 4.3 tersebut terlihat, bahwa pada saat penambahan 0,06wt%Sr terjadi penurunan intensitas relatif kedua fasa intermetalik yang signifikan. Namun terjadi kecenderungan yang berbeda dari sebelumnya, yaitu intensitas fasa β -AlFeSi sedikit lebih besar daripada intensitas fasa α -AlFeSi. Hal ini menunjukkan, bahwa pada penambahan 0,06wt%Sr ke dalam paduan Al *scrap* ingot menyebabkan paduan mengalami overmodifikasi (*overmodified*), sehingga cenderung untuk membentuk fasa intermetalik β -AlFeSi daripada α -AlFeSi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prima, bahwa pada penambahan 0,06wt%Sr ke dalam paduan aluminium 100% *scrap* akan mengakibatkan paduan mengalami overmodifikasi (*overmodified*) yang ditandai dengan munculnya fasa β -AlFeSi yang lebih dominan daripada fasa α -AlFeSi. Hal ini dikarenakan reaksi perubahan struktur eutektik silikon tidak berlangsung dengan baik akibat jumlah kandungan Sr yang terlalu tinggi (*overmodified*) (Nanda and Suharno, 2012). Namun karena pada penelitian Tugas Akhir ini proses netralisasi fasa intermetalik tidak hanya dilakukan dengan cara menambahkan *modifier* Sr, melainkan juga menggunakan *grain refiner* AlTiB dalam waktu yang bersamaan, sehingga pada penambahan 0,06wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB ini menyebabkan terjadinya penurunan kedua fasa intermetalik yang signifikan dalam paduan Al *scrap* ingot sebagaimana yang terlihat dari grafik pada Gambar 4.3 tersebut. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa penambahan optimum *modifier* Sr pada penelitian ini adalah sebesar 0,06wt% dengan 0,15wt%AlTiB. Adapun hasil ini diperkuat dengan hasil pengujian SEM pada bahasan berikutnya.

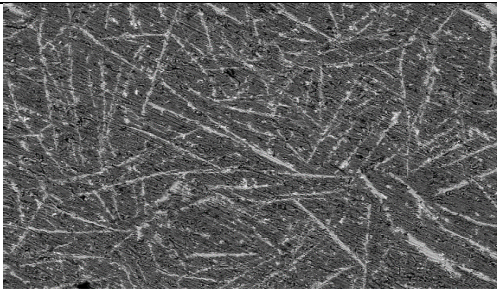
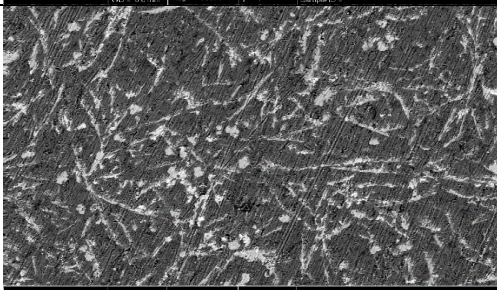
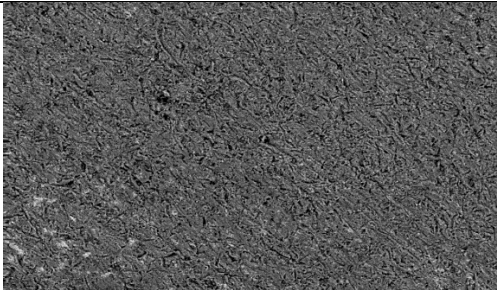
4.3 Analisa Mikrostruktur dari Hasil Pengujian SEM dan EDX

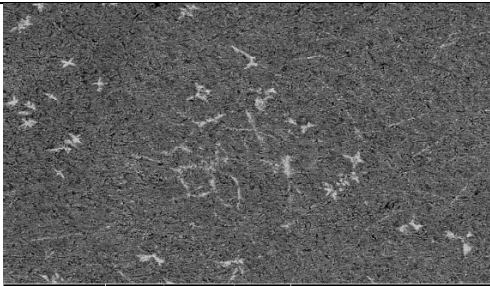
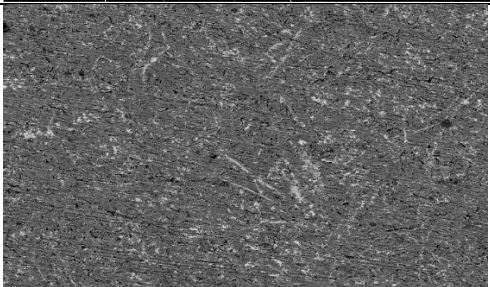
Analisa pengamatan mikrostruktur untuk semua sampel pengujian dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron*

Microscope (SEM) Carl Zeiss EVO MA10 di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM ITS. Pengambilan foto mikrostruktur dari 6 (enam) buah sampel dengan variasi AlTiB tetap, yaitu 0,15wt% dan variasi stronsium bertahap, yaitu 0,015wt%; 0,03wt%; 0,045wt%; dan 0,06wt%. Pengambilan foto mikrostruktur masing-masing dilakukan sebanyak 4 (empat) kali untuk masing-masing sampel, yaitu dengan perbesaran 100x, 300x, 500x, dan 1000x. Hasil dari pengujian mikrostruktur paduan Al-Si hasil coran dengan SEM ini diberikan pada Tabel 4.6 untuk perbesaran 300x, sementara untuk perbesaran 100x, 500x, dan 1000x dapat dilihat pada lampiran. Pengujian mikrostruktur menggunakan alat uji SEM (*Scanning Electron Microscope*) dilakukan untuk mengamati fasa-fasa yang terbentuk dan bentuk morfologinya, selanjutnya pengujian diikuti dengan analisis menggunakan EDX (*electron dispersive X-Ray spectroscopy*) untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dan memprediksi jenis fasa yang terbentuk pada mikrostruktur paduan Al-Si hasil coran.

Tabel 4.6. Hasil pengujian mikrostruktur paduan Al-Si hasil coran dengan AlTiB tetap dan variasi Sr bertahap pada perbesaran 300x

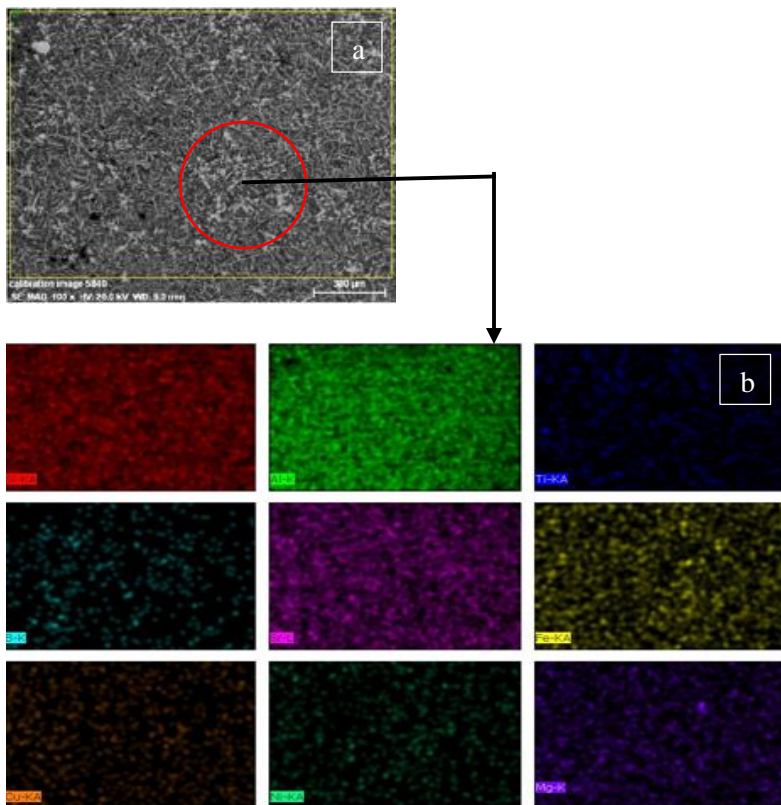
Sampel		Mikrostruktur
1	0,15wt% AlTiB + 0,03wt% Sr	 <p> <small> Lab. Energi dan Lingkungan LPPM-ITS </small> <small> HV = 20.00kV X1k = 30.0mm </small> <small> Magn = 1.02 (10x) Map = 300 X </small> <small> 30 µm 1 </small> <small> File Name = Sampel1 - 0511 SampleID = </small> </p>

2	0,15wt% AlTiB + 0,045wt% Sr	 <p data-bbox="468 478 965 502">Lab: Energi dan Lingkungan EPPM-ITS E_{HT} = 20,00 kV Signal A = C2 (SE-CL) 50 µm File Name = Sampel 2 - 15.tif HV = 8,0 mm Mag = 300 X Sample ID =</p>
3	0,15wt% AlTiB + 0,06wt% Sr	 <p data-bbox="468 793 965 817">Lab: Energi dan Lingkungan EPPM-ITS E_{HT} = 20,00 kV Signal A = C2 (SE-CL) 50 µm File Name = Sampel 3 - 16.tif HV = 7,1 mm Mag = 300 X Sample ID =</p>
4	0,15wt% AlTiB	 <p data-bbox="468 1107 965 1137">Lab: Energi dan Lingkungan EPPM-ITS E_{HT} = 20,00 kV Signal A = C2 (SE-CL) 50 µm File Name = Sampel 4 - 20.tif HV = 9,5 mm Mag = 300 X Sample ID =</p>

5	0,15wt% AlTiB + 0,015wt% Sr	
6	0,015wt% Sr	

Dari hasil pengujian SEM pada Tabel 4.6, terlihat gambar mikrostruktur paduan Al-Si-Cu hasil coran atau ADC12 yang secara keseluruhan apabila dilihat sekilas maka akan nampak warna hitam putih atau gelap terang. Munculnya warna ini dipengaruhi oleh komposisi unsur-unsur penyusunnya. Unsur logam penyusun dengan nomor atom yang lebih tinggi akan menghasilkan warna yang lebih terang atau putih daripada unsur logam penyusun dengan nomor atom yang lebih rendah. Misalnya unsur Fe yang mempunyai nomor atom 26 akan menghasilkan gambar lebih terang atau putih daripada unsur silikon yang mempunyai nomor atom 14 (Nanda and Suharno, 2012). Untuk meninjau lebih lanjut terkait perbedaan warna ini, maka dilakukan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan dengan melakukan penembakan pada titik atau *spot* yang diinginkan. Pada penelitian Tugas Akhir ini, penembakan dilakukan pada struktur eutektik

silikon yang sekilas terlihat berwarna abu-abu, namun apabila diamati struktur ini tersusun atas jarum-jarum yang berwarna putih sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.4 (a). Dari pengujian EDX ini diketahui adanya unsur-unsur kimia yang ada pada eutektik silikon tersebut sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.4 (b).



Gambar 4.4. (a) Titik atau *spot* penembakan pada pengujian EDX (b) Unsur-unsur yang terkandung dalam *spot* (struktur eutektik silikon) berdasarkan pengujian EDX.

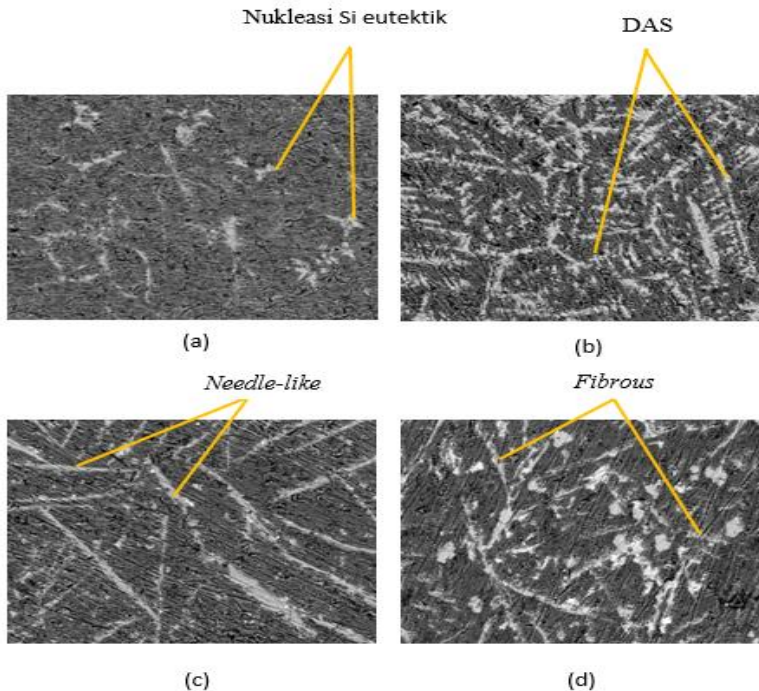
Selain itu, dari gambar mikrostruktur pada Tabel 4.6 juga terlihat adanya fasa intermetalik yang terbentuk dan diindikasikan dengan struktur berbentuk jarum dan berwarna terang, struktur silikon berwarna abu-abu, dan matriks aluminium berwarna gelap. Secara kualitatif dan kuantitatif fasa intermetalik yang terbentuk ini dipengaruhi oleh komposisi kimia paduan, yang dalam hal ini adalah jumlah Fe yang terkandung dalam paduan Al *scrap* ingot (ADC12) yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu sebesar 5,34wt%. Sementara pada bahasan sebelumnya diketahui, bahwa Fe memiliki kelarutan yang rendah pada aluminium yang telah membeku (sekitar 0,05wt% pada kesetimbangannya), sehingga sisa Fe pada paduan aluminium yang masih cair pada saat akhir pembekuan akan membeku dalam bentuk fasa kedua intermetalik. Sebagai akibatnya, hampir semua Fe di dalam paduan aluminium terdapat dalam jenis berbeda dari fasa kedua intermetalik yang metastabil di antara butir-butir aluminium (Farhadi Gholamali, 1999). Semakin besar kadar Fe yang terkandung dalam paduan Al-Si maka akan berpengaruh pada morfologi, dimensi, dan jumlah fasa intermetalik yang terbentuk. Adapun fasa intermetalik yang paling sering terbentuk selama proses pembekuan adalah fasa α -AlFeSi dan fasa β -AlFeSi. Fasa β -AlFeSi morfologinya berbentuk jarum-jarum dan mempunyai efek negatif yang lebih besar terhadap sifat mekanis paduan aluminium-silikon apabila dibandingkan dengan fasa α -AlFeSi yang bentuk morfologinya *chinese script* dan lebih kompak (William D, Jr., 2003).

Jika ditinjau lebih lanjut dari keenam gambar mikrostruktur hasil pengujian SEM tersebut, Gambar 4.5 memperlihatkan foto mikrostruktur dari paduan Al *scrap* ingot yang telah ditambahkan AlTiB dengan konsentrasi tetap dan Sr bertahap. Dengan penambahan *modifier* Sr ini diharapkan akan memodifikasi fasa intermetalik menjadi lebih pendek dan struktur silikon paduan menjadi lebih bulat, yang dapat memperbaiki sifat mekanik dari paduan (Nanda and Suharno, 2012). Adapun penambahan *modifier* Sr ini dilakukan secara bertahap dengan

tujuan untuk mengetahui konsentrasi optimal untuk memodifikasi fasa intermetalik yang sebelumnya berbentuk jarum-jarum panjang menjadi lebih pendek. Sedangkan penambahan *grain refiner* AlTiB diharapkan akan memperbaiki struktur butir dari paduan Al *scrap* ingot. Hal ini didasari dari fungsi *grain refiner* AlTiB itu sendiri dalam paduan aluminium-silikon, yaitu untuk mengontrol besarnya struktur butir. *Grain refiner* menghasilkan sejumlah besar butir yang halus, *equiaxed* dan terdistribusi merata. Selain itu, pada paduan Al-Si yang mengandung Fe, butir yang halus akan menghasilkan intermetalik yang lebih kecil dan distribusi yang lebih merata (Dhaneswara et al., 2018). Pada Gambar 4.5 (a) memperlihatkan foto mikrostruktur paduan aluminium *scrap* ingot yang ditambahkan 0,015wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB, terlihat struktur eutektik silikon mulai tampak bulat dan halus serta nampak ada beberapa jarum yang mulai memendek. Pada kondisi ini struktur paduan baru mengalami *partially modification* atau modifikasi yang belum sempurna. Hal ini dikarenakan penambahan *modifier* Sr yang kadarnya masih belum cukup untuk memodifikasi struktur silikon. Namun karena selain ditambahkan *modifier* Sr, paduan juga ditambahkan AlTiB yang fungsinya menghaluskan butir, sehingga struktur yang dihasilkan menjadi lebih halus daripada yang hanya ditambahkan Sr sebagaimana yang dilakukan pada penelitian sebelumnya oleh Prima dan Nanda (Nanda and Suharno, 2012).

Sementara pada Gambar 4.5 (b) memperlihatkan foto mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot yang ditambahkan 0,03wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB. Pada gambar tersebut terlihat pengaruh penambahan *modifier* Sr yang menyebabkan peningkatan morfologi fasa β dan fasa eutektik silikon. Hal ini diindikasikan dengan adanya jarum-jarum besar yang menunjukkan fasa β . Adapun fasa eutektik merupakan gabungan dari fasa α -Al dan Si yang membentuk daerah dendritik dari fasa

α -Al primer. Pada saat Sr ditambahkan pada *base alloy* atau paduan dasar maka fasa β akan semakin mengecil dan terdistribusi merata pada matriks (α -Al). Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya (Tang et al., 2017). Selain itu, pada gambar tersebut juga terlihat struktur silikon yang tersebar merata pada matriks aluminium. Hal ini menunjukkan bahwa pada penambahan 0,03wt%Sr paduan akan termodifikasi sempurna atau *fully modified* sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prima (Nanda and Suharno, 2012).

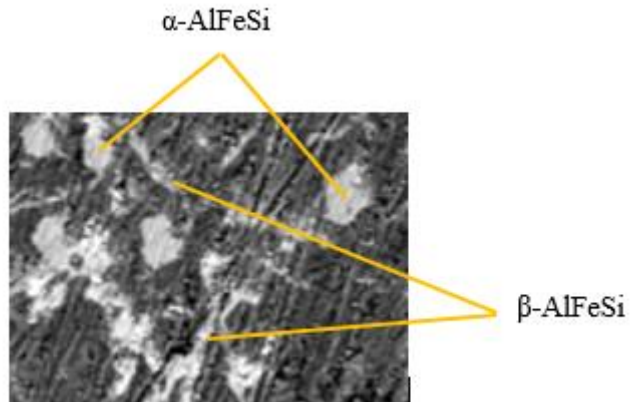


Gambar 4.5. Foto mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot (ADC12) yang telah ditambahkan AlTiB tetap sebesar 0,15wt% dan (a) 0,015wt%Sr (b) 0,03wt%Sr (c) 0,045wt%Sr (d)0,06wt%Sr.

Selanjutnya, pada gambar 4.5 (c) memperlihatkan mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot yang ditambahkan 0,045wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB. Pada gambar tersebut, terlihat struktur eutektik silikon yang sebenarnya tidak jauh berbeda dengan mikrostruktur paduan saat penambahan 0,03wt%Sr. Hal ini sesuai dengan beberapa referensi yang diacu pada penelitian ini, bahwa dari kedua perbedaan penambahan konsentrasi *modifier* Sr tersebut akan menghasilkan sedikit perbedaan pada mikrostruktur paduan. Perbedaan yang nampak dari keduanya yaitu pada saat penambahan 0,03wt%Sr, terdapat peningkatan morfologi fasa β (ditunjukkan dengan jarum-jarum besar yang panjang), dan fasa eutektik silikon (gabungan dari fasa α -Al dan Si yang membentuk daerah dendritik atau cabang dari fasa α -Al primer). Sedangkan pada saat penambahan 0,045wt%Sr, terdapat peningkatan morfologi Fasa β dan penurunan fasa eutektik silikon. Hal ini terlihat dari banyaknya jarum-jarum besar dan panjang yang tersebar merata, namun tidak bercabang atau sedikit bercabang. Hal ini dikarenakan reaksi perubahan struktur eutektik silikon yang tidak berlangsung dengan baik atau berlebihan (*overmodified*), sehingga struktur eutektik silikon yang dihasilkan menjadi tidak ideal (tidak bulat). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Stuart D McDonald, Kazuhiro Nogita, dan Arne K. Dahle, dimana dalam memodifikasi silikon eutektik, penambahan Sr dapat menurunkan pertumbuhan eutektik silikon (A. K. Dahle, 2011).

Sementara pada Gambar 4.5 (d) memperlihatkan mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot yang ditambahkan 0,06wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB. Dari gambar tersebut terlihat, bahwa terdapat bulatan-bulatan diantara jarum-jarum yang mulai memendek. Bulatan-bulatan ini apabila diperbesar sebagaimana yang terlihat pada Gambar 4.6 akan nampak seperti *chinese script* yang ditemukan pada *triple point* dari butir. Sedangkan jarum-jarum

yang mulai memendek ini apabila diamati maka akan terlihat seperti pelat tipis yang ditemukan pada batas dendrit aluminium. Maka apabila ditinjau dari hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya diketahui, bahwa bulatan atau *chinese script* tersebut merupakan partikel α -AlFeSi dan jarum yang berbentuk pelat tipis tersebut merupakan partikel β -AlFeSi (Nanda and Suharno, 2012), dimana keduanya adalah fasa intermetalik yang muncul dari suatu pengecoran aluminium akibat adanya unsur pengotor Fe (Farhadi Gholamali, 1999). Adapun dari gambar mikrostruktur tersebut dapat dilihat pengaruh yang besar dari penambahan 0,06wt% Sr dan 0,15wt% AlTiB pada paduan Al *scrap* ingot, yaitu memodifikasi fasa intermetalik yang sebelumnya berbentuk jarum-jarum panjang (*needle-like*) menjadi lebih pendek dan halus (*fibrous*).



Gambar 4.6. Mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot yang ditambahkan 0,06wt% Sr dan 0,15wt% AlTiB

Dari keempat hasil pengujian mikrostruktur ini, maka dapat dikatakan bahwa penambahan *modifier* Sr dapat memodifikasi mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot, mulai dari proses nukleasi eutektik Si hingga terbentuknya struktur mikro yang *fibrous*

sebagaimana yang terlihat dari Gambar 4.5. Pengaruh yang nampak dari penambahan 0,015wt% adalah terjadinya nukleasi Si eutektik, diikuti dengan peningkatan fasa β dan eutektik Si yang membentuk *dendrite arm spacing* (DAS) pada penambahan 0,03wt%Sr, kemudian eutektik Si menurun dan fasa β meningkat membentuk struktur mikro yang berupa *needle-like* (jarum-jarum panjang dan kasar) pada penambahan 0,045wt%Sr, dan akhirnya struktur mikro jarum-jarum tersebut memendek dan menjadi lebih halus (*fibrous*) pada penambahan 0,06wt%Sr yang secara berurutan ditunjukkan pada Gambar 4.5 (a),(b),(c), dan (d). Maka dapat dikatakan, bahwa penambahan optimum *modifier* Sr pada paduan Al *scrap* ingot (ADC12) adalah saat penambahan 0,06wt%. Dimana mekanisme modifikasi dilakukan oleh atom-atom Sr di dalam struktur yang termodifikasi akan menghambat atom-atom Si masuk ke dalam kisi-kisi kristal untuk bertambah panjang, sehingga lengan dendrit menjadi lebih pendek. Dengan demikian, maka akan terjadi transisi dari aselular Si menjadi lebih halus (*fibrous*) (lanthanum). Pendapat yang senada juga diutarakan oleh A.M Samuel, F.H Samuel, dan C.Ravindran, bahwa penambahan Sr pada paduan Al-Si-Cu dapat memodifikasi morfologi eutektik silikon dari bentuk serpihan (*flake*) dan kasar (*coarse*) menjadi serat halus (*fine fibrous*). Mekanisme modifikasi tersebut terjadi karena masuknya atom-atom Sr yang bergabung ke dalam struktur kristal Si yang dapat menghambat pertumbuhan bidang kembar (*twins plane*) dari Si dan memutarnya menjadi bentuk serat (*fibrous*) (Samuel, 1997).

Sementara pengaruh penambahan *grain refiner* AlTiB terhadap mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot dapat ditinjau dari perubahan panjang lengan (*dendrite*) rata-rata (DAS) yang menjadi lebih pendek seiring dengan peningkatan konsentrasi penambahan Sr dan konsentrasi AlTiB tetap pada paduan Al *scrap* ingot. Perhitungan kuantitatif *dendrite arm spacing* (DAS) dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk menggambarkan

mekanisme penghalusan (*refinement*) tersebut (Tang et al., 2017). Namun, menurut penelitian yang dilakukan oleh Zhan Feng, bahwa untuk menganalisis dan membandingkan morfologi dari fasa yang terbentuk akibat penambahan *modifier* Sr tidak hanya dapat dilakukan dengan menghitung DAS dari mikrostruktur paduan, namun juga dapat dilakukan dengan cara menghitung panjang rata-rata dari *needle-like* (struktur berbentuk jarum-jarum) yang muncul pada mikrostruktur paduan (Tang et al., 2017). Dikarenakan hasil dari pengujian mikrostruktur pada penelitian ini tidak semuanya membentuk DAS melainkan ada sebagian hasil pengujian mikrostruktur yang berupa *needle-like*, maka untuk menganalisis morfologi dari fasa yang terbentuk adalah dengan dilakukannya perhitungan panjang jarum-jarum (*needle-like*) yang terbentuk pada mikrostruktur paduan dengan menggunakan persamaan 4.1. Adapun hasil perhitungan ini dapat dilihat pada Tabel 4.7.

$$\bar{L}_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (4.1)$$

dimana \bar{L}_i adalah panjang rata-rata dari fasa *single needle-like*, m adalah jumlah gambar dari masing-masing paduan, i adalah fasa *needle-like* yang teridentifikasi, L_i adalah panjang fasa *single needle-like*, dan n adalah jumlah total dari fasa-fasa *needle-like* tersebut yang ditemukan dalam mikrostruktur paduan (Tang et al., 2017).

Tabel 4.7. Hasil perhitungan rata-rata panjang jarum-jarum (*needle-like*) pada mikrostruktur paduan saat penambahan 0,03wt%Sr; 0,045wt%Sr dan 0,06wt%Sr serta 0,15wt%AlTiB

Sampel	1	2	3
\bar{L}_i (μm)	0,03wt%Sr	0,045wt%Sr	0,06wt%Sr
	2,37	1,64	1,38

Dari Tabel 4.7 terlihat, bahwa penambahan *grain refiner* AlTiB dengan konsentrasi tetap, yaitu sebesar 0,15wt% dan *modifier* Sr bertahap ke dalam paduan Al *scrap* ingot dapat mengurangi panjang rata-rata *needle-like* yang terbentuk pada mikrostruktur paduan seiring dengan meningkatnya konsentrasi penambahan *modifier* Sr. Sementara dari Tabel 4.6 untuk gambar mikrostruktur paduan saat penambahan 0,15wt% AlTiB (sampel 4) nampak fasa eutektik silikon yang masih mengalami nukleasi dan belum terdistribusi merata pada matriks aluminium. Sedangkan pada mikrostruktur paduan saat penambahan 0,015wt% Sr (sampel 6), nampak ada sedikit fasa β -AlFeSi (*needle-like*) yang terbentuk diantara fasa α -AlFeSi (*chinese script*), namun kedua fasa ini belum terdistribusi merata pada matriks aluminium. Dengan demikian dapat dikatakan, bahwa untuk memperbaiki sifat mekanik paduan yang ditinjau dari mikrostrukturnya, tidak hanya diperlukan *modifier* yang memodifikasi mikrostruktur paduan, melainkan juga dibutuhkan *grain refiner* yang menghaluskan struktur butir paduan, sehingga mikrostruktur paduan dapat diperbaiki dengan optimal, diikuti dengan meningkatnya sifat mekanik paduan tersebut.

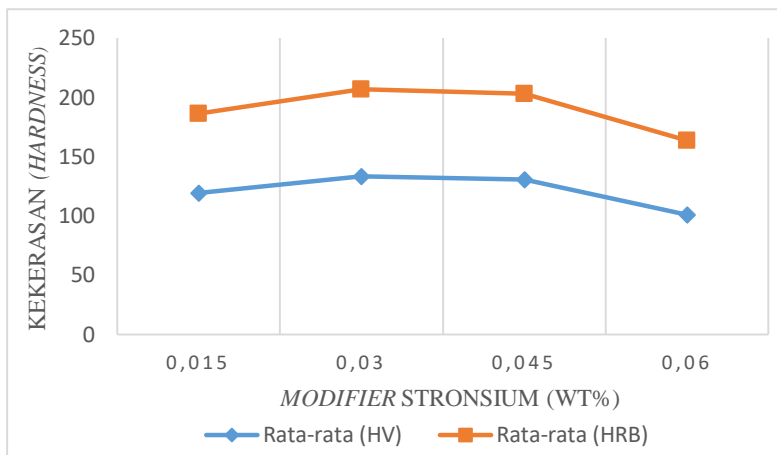
4.4 Analisa Hasil Pengujian Kekerasan (*Hardness*)

Pengujian kekerasan paduan aluminium hasil coran dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan *Microhardness Vicker's* di Laboratorium Energi dan Lingkungan LPPM ITS. Pengujian kekerasan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *modifier* Sr dan *grain refiner* AlTiB terhadap sifat mekanik dari paduan aluminium hasil coran. Adapun hasil dari pengujian ini ditampilkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8. Hasil pengujian kekerasan paduan aluminium-silikon hasil coran dengan *Microhardness Vickers*

Sampel	Hasil pengujian kekerasan	
	Rata-rata (HV)	Rata-rata (HRB)
1	133,45	73,3
2	130,8	72,25
3	100,725	63,2
4	132,35	73,15
5	119,5	66,98
6	119,975	67,35

Berdasarkan Tabel 4.8 diketahui, bahwa penambahan *modifier* Sr ke dalam paduan Al *scrap* ingot memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai kekerasan paduan. Pengaruh ini nampak dari nilai kekerasan paduan yang mengalami fluktuasi, dimana nilai kekerasan paduan tertinggi terjadi saat penambahan 0,03wt%Sr. Nilai kekerasan ini meningkat dari saat penambahan 0,015wt%Sr. Namun, nilai kekerasan paduan mengalami penurunan saat penambahan 0,045wt%Sr dan kembali menurun saat penambahan 0,06wt%Sr sebagaimana yang terlihat pada grafik dalam Gambar 4.7 sebagai hubungan antara penambahan *modifier* Sr terhadap nilai kekerasan paduan aluminium hasil coran.



Gambar 4.7. Grafik hubungan penambahan *modifier* stronsium terhadap nilai kekerasan paduan Al *scrap* ingot.

Menurut penelitian sebelumnya dikatakan, bahwa sifat-sifat mekanik paduan aluminium dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya adalah komposisi paduan, kecepatan pemadatan, kehadiran fasa intermetalik Fe dan kandungan Si (J.A Taylor, 2006). Pada penelitian ini, dalam paduan Al *scrap* ingot terdapat fasa intermetalik Fe yang cukup tinggi intensitas relatifnya sebagaimana yang diketahui dari hasil pengujian XRD. Pada saat dilakukan penambahan 0,015wt%Sr kedalam paduan Al *scrap* ingot, fase β -AlFeSi meningkat dan fase α -AlFeSi menurun. Kondisi ini menyebabkan paduan masih memiliki kekerasan yang rendah karena kadar *modifier* Sr belum cukup untuk memodifikasi paduan Al *scrap* ingot, atau dapat dikatakan bahwa paduan masih mengalami *partially modified*. Kemudian nilai kekerasan paduan meningkat saat penambahan 0,03wt%Sr dan merupakan nilai kekerasan tertinggi dari keempat variasi penambahan *modifier* Sr. Hal ini terjadi karena saat penambahan 0,03wt%Sr, paduan mengalami modifikasi sempurna (*fully modified*) yang

diindikasikan dengan meningkatnya fasa α -AlFeSi dan menurunnya fasa β -AlFeSi sebagaimana dari analisa hasil pengujian XRD dan diikuti dengan struktur fasa eutektik silikon yang terdistribusi merata sebagaimana dari analisa hasil pengujian SEM yang telah dilakukan. Namun kemudian nilai kekerasan paduan menurun seiring dengan meningkatnya kadar *modifier* Sr kedalam paduan, yaitu saat penambahan 0,045wt%Sr dan 0,06wt%Sr. Hal ini terjadi karena paduan mengalami *overmodified* (modifikasi yang berlebihan), sehingga reaksi perubahan struktur eutektik silikon tidak berlangsung dengan baik akibat jumlah kandungan Sr yang terlalu tinggi akibatnya nilai kekerasan paduan menjadi lebih rendah.

Apabila diamati dari Gambar 4.7, nilai kekerasan paduan saat penambahan 0,06wt%Sr merupakan nilai kekerasan yang terendah dari keempat variasi penambahan *modifier* Sr. Sebagaimana yang diketahui bahwa nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai keuletan (*ductility*), sehingga paduan memiliki nilai keuletan (*ductility*) tertinggi saat penambahan 0,06wt%Sr. Paduan dengan nilai keuletan yang tinggi akan memudahkan dalam proses pengecoran seperti *Die Casting*, dimana untuk menghasilkan paduan yang berkualitas tinggi (lebih kompak) diperlukan keuletan yang tinggi. Maka dari itu, dapat dikatakan bahwa penambahan optimum *modifier* dan *grain refiner* pada penelitian ini secara berurutan adalah sebesar 0,06wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB. Hasil ini sesuai dengan analisa pengujian XRD dan SEM yang telah dilakukan.

4.5 Analisa Hasil Pengujian Densitas (*Density*)

Analisa nilai densitas paduan Al-Si hasil coran pada penelitian Tugas Akhir ini dilakukan berdasarkan hasil pengujian densitas dengan menggunakan prinsip Archimedes. Sebagaimana yang kita ketahui, bahwa untuk mendapatkan nilai densitas suatu material maka dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip

Archimedes (Giancolli, 2001). Selain itu, pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dhaneswara, pengujian densitas paduan ADC12 juga dilakukan dengan menggunakan prinsip Archimedes (Dhaneswara et al., 2018). Adapun data hasil pengujian densitas yang didapatkan pada penelitian ini adalah berupa massa kering (m_k), berat kering (W_k) dan berat basah (W_b) paduan Al-Si hasil coran yang telah dilampirkan pada Tugas Akhir ini. Selanjutnya untuk mendapatkan nilai densitas paduan Al-Si coran, maka dilakukan perhitungan data-data hasil pengujian tersebut dengan menggunakan persamaan 4.2. Sementara nilai densitas Al murni adalah sebesar $2,71 \text{ gr/cm}^3$ atau 2710 kg/m^3 dan nilai densitas dari paduan aluminium tidak jauh berbeda dari nilai densitas Al murni, yaitu berada pada rentang 2640 kg/m^3 sampai 2810 kg/m^3 (Dhaneswara et al., 2018). Selanjutnya dari nilai densitas hasil pengujian dan nilai densitas teori paduan aluminium coran tersebut, maka dapat diketahui fraksi porositas dari paduan Al-Si hasil coran, yaitu dengan mensubstitusikan kedua nilai densitas tersebut ke dalam persamaan 4.3. Data hasil perhitungan densitas dan fraksi porositas paduan Al-Si coran ditampilkan dalam Tabel 4.9.

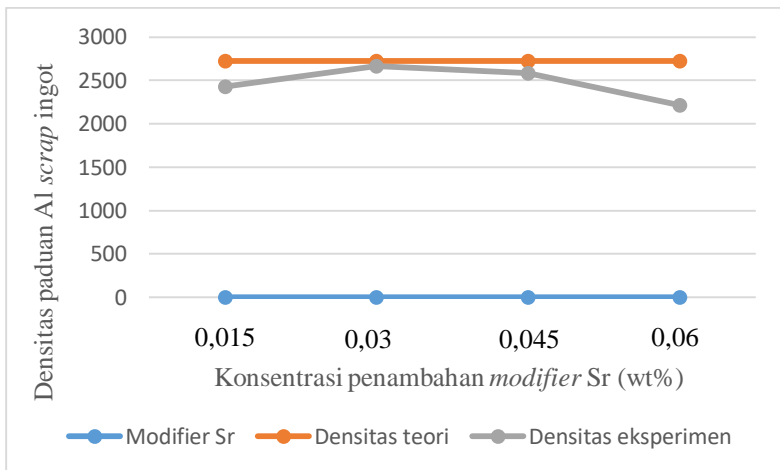
$$\rho_b = \frac{\rho_a \cdot m_k \cdot g}{w_k - w_b} \quad (4.2)$$

$$\text{Fraksi Porositas} = \frac{\rho_{teori} - \rho_{eksperimen}}{\rho_{teori}} \times 100\% \quad (4.3)$$

Tabel 4.9. Data hasil perhitungan densitas dan fraksi porositas paduan aluminium-silikon hasil coran

Sampel	$\rho_{teori} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	$\rho_{eksperimen} \text{ (kg/m}^3\text{)}$	Fraksi porositas (%)
1	2725	2664	2,24
2		2583	5,21
3		2216	18,68
4		2578	5,39
5		2431,6	10,77
6		2659	2,42

Berdasarkan Tabel 4.9 diketahui, bahwa densitas paduan Al-Si hasil coran secara keseluruhan mendekati nilai densitas paduan aluminium (2725 kg/m^3). Hal ini dikarenakan kadar *modifier* dan *grain refiner* yang ditambahkan sangat kecil, sehingga tidak akan menyebabkan terjadinya perbedaan densitas yang signifikan. Kondisi ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dhaneswara (Dhaneswara et al., 2018). Namun apabila diamati, terjadi fluktuasi nilai densitas dari paduan Al *scrap* ingot akibat pengaruh penambahan *modifier* Sr dan *grain refiner* AlTiB tersebut. Untuk memudahkan analisis fluktuasi ini, maka hubungan antara penambahan *modifier* Sr terhadap nilai densitas paduan Al *scrap* ingot ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Grafik hubungan penambahan *modifier* Sr terhadap nilai densitas paduan Al *scrap* ingot dengan 0,15wt% AlTiB.

Dari grafik pada Gambar 4.8 terlihat, bahwa saat penambahan 0,015wt% Sr, paduan Al *scrap* ingot memiliki densitas yang cukup tinggi dan mendekati nilai densitas teori. Hal

ini dikarenakan pada saat penambahan 0,015wt%Sr belum cukup memodifikasi paduan atau bisa dikatakan bahwa paduan masih termodifikasi sebagian (*partially modified*), sehingga jumlah fasa intermetalik yang terbentuk masih cukup tinggi. Kondisi ini ditunjukkan dengan grafik intensitas relatif pengujian XRD paduan dengan 0,015wt%Sr dan 0,15wt%AlTiB pada bahasan sebelumnya. Selain itu, hasil ini juga sesuai dengan analisa pengujian SEM pada bahasan sebelumnya yang menunjukkan bahwa pada penambahan 0,015wt%Sr, terlihat struktur eutektik silikon mulai tampak bulat dan halus serta nampak ada beberapa jarum yang mulai memendek. Struktur eutektik silikon yang mulai nampak bulat mengindikasikan adanya fasa intermetalik α -AlFeSi yang lebih relatif rendah, sedangkan struktur jarum-jarum yang mulai memendek mengindikasikan fasa intermetalik β -AlFeSi yang intensitasnya lebih dominan. Selain itu, jumlah intensitas dari kedua fasa intermetalik ini masih cukup tinggi.

Kemudian pada saat penambahan 0,03wt%Sr, densitas paduan Al *scrap* ingot mengalami kenaikan dan merupakan nilai densitas tertinggi dari keempat nilai densitas paduan Al *scrap* ingot yang terlihat dari grafik tersebut. Hal ini dikarenakan pada saat penambahan 0,03wt%Sr, paduan Al *scrap* ingot termodifikasi sempurna (*fully modified*) sehingga mampu mengubah fasa intermetalik β -AlFeSi menjadi fasa α -AlFeSi. Akibatnya, intensitas relatif fasa α -AlFeSi lebih besar daripada fasa β -AlFeSi sebagaimana yang telah ditampilkan dalam grafik analisa pengujian XRD pada bahasan sebelumnya dan didukung dengan analisa hasil uji SEM yang memperlihatkan bahwa struktur fasa eutektik silikon yang terdistribusi merata. Selain itu, jumlah intensitas relatif kedua fasa intermetalik saat penambahan 0,03wt%Sr merupakan jumlah tertinggi dari keempat variasi penambahan Sr pada grafik tersebut.

Sedangkan pada saat penambahan 0,045wt%Sr, nilai densitas paduan Al *scrap* ingot mengalami penurunan dan nilai

densitas ini kembali menurun saat penambahan 0,06wt%Sr. Hal ini dikarenakan pada saat penambahan 0,045wt%Sr dan 0,06wt%Sr, paduan mengalami overmodifikasi (*overmodified*) yang diindikasikan dengan adanya peningkatan morfologi fasa β dan penurunan fasa eutektik silikon. Kondisi ini terjadi dikarenakan adanya reaksi perubahan struktur eutektik silikon yang tidak berlangsung dengan baik atau berlebihan (*overmodified*), sehingga struktur eutektik silikon yang dihasilkan menjadi tidak ideal (tidak bulat) sebagaimana analisa hasil uji SEM. Selain itu, jumlah intensitas fasa intermetalik dari kedua variasi penambahan *modifier* Sr ini menunjukkan hasil yang lebih rendah jika dibandingkan dengan jumlah intensitas fasa intermetalik dari kedua variasi penambahan *modifier* Sr sebelumnya.

Dari keempat analisa hubungan penambahan *modifier* Sr terhadap nilai densitas paduan Al *scrap* ingot dengan 0,15wt%AlTiB ini dapat dikatakan, bahwa penambahan optimum *modifier* Sr adalah sebesar 0,06wt%Sr. Kesimpulan ini diambil berdasarkan hasil perhitungan jumlah kedua fasa intermetalik yang terbentuk pada saat penambahan 0,06wt%Sr kedalam paduan. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan, bahwa jumlah fasa intermetalik terendah dari keempat variasi penambahan *modifier* Sr tersebut adalah saat penambahan 0,06wt%Sr sebagaimana yang terlihat dari Gambar 4.8 (densitas terendah) dan data perhitungan telah dilampirkan. Hasil ini sesuai dengan teori yang menyatakan, bahwa fasa intermetalik AlFeSi memiliki densitas sekitar 3,58 gr/cm³ untuk fasa α -AlFeSi dan 3,35 gr/cm³ untuk fasa β -AlFeSi. Densitas fasa intermetalik tersebut lebih besar daripada densitas aluminium (sekitar 2,7 gr/cm³), sehingga semakin besar jumlah fasa intermetalik yang terbentuk maka akan menyebabkan densitas paduan aluminium-silikon akan meningkat secara keseluruhan dan begitupun sebaliknya. Semakin kecil jumlah fasa intermetalik yang terbentuk, maka akan menyebabkan densitas paduan menurun (Dhaneswara et al., 2018). Selain itu, diketahui bahwa fasa intermetalik β -AlFeSi lebih bersifat merusak daripada fasa α -

AlFeSi, sehingga densitas yang rendah akan berdampak pada meningkatnya kemampuan paduan untuk mengisi cetakan akibat fluiditasnya yang tinggi karena viskositas yang kecil (Nanda and Suharno, 2012).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang berjudul “**Pengaruh Penambahan *Grain Refiner* AlTiB dan *Modifier* Stronsium terhadap Mikrostruktur dan Sifat Mekanik Paduan Aluminium ADC12 dengan Metode *Gravity Casting***”, dapat diambil kesimpulan :

1. Hasil pengamatan mikrostruktur dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*), EDX (*Energy Dispersive X-ray analysis*), dan XRD (*X-Ray Diffraction*) memperlihatkan bahwa penambahan *grain refiner* AlTiB dalam konsentrasi tetap sebesar 0,15wt%AlTiB dan *modifier* Sr dengan konsentrasi 0,015wt%Sr; 0,03wt%Sr; 0,045wt%Sr; dan 0,06wt%Sr ke dalam paduan Al *scrap* ingot secara berurutan dapat memodifikasi mikrostruktur paduan Al *scrap* ingot secara sebagian (*partially modified*), keseluruhan (*fully modified*), dan berlebihan (*overmodified*).
2. Hasil pengamatan sifat mekanik paduan Al-Si coran berdasarkan pengujian *Mikrohardness Vickers* dan pengujian densitas dengan teori Archimedes menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya kadar *modifier* Sr, dimana kadar *grain refiner* AlTiB tetap dapat menurunkan kekerasan (*hardness*), meningkatkan keuletan (*ductility*), dan menurunkan densitas (*density*) paduan Al-Si coran.
3. Hasil analisa karakterisasi mikrostruktur dan sifat mekanik paduan Al-Si hasil coran menunjukkan, bahwa penambahan optimum *grain refiner* AlTiB dan *modifier* Sr untuk paduan aluminium ADC12 (100% *scrap*) secara berurutan adalah sebesar 0,15wt%AlTiB dan 0,06wt%Sr.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian selanjutnya, antara lain sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penambahan *grain refiner* AlTiB dalam konsentrasi yang bervariasi ke dalam paduan Al scrap ingot.
2. Perlu dilakukan pengujian EDX dengan penembakan minimal 3 (tiga) *spot* untuk masing-masing sampel uji, yaitu *spot* fasa eutektik silikon, matriks aluminium, serta fasa intermetalik α -AlFeSi dan β -fasa AlFeSi.
3. Perlu dilakukan pengujian SEM, EDX, kekerasan, dan densitas untuk material paduan Al *scrap* ingot (100% *scrap*) ketika belum ditambahkan *modifier* Sr dan *grain refiner* AlTiB.

DAFTAR PUSTAKA

- Aguilera-Luna I, Castro-Román MJ, Escobedo-Bocardo JC, García-Pastor FA, Herrera-Trejo M, Effect of cooling rate and Mg content on the Al–Si eutectic for Al–Si–Cu–Mg alloys, *Materials Characterization* (2014)
- A. K. Dahle, S.O., 2011. *Fundamentals of Aluminium Metallurgy*. Woodhead Publishing, UK.
- A.M. Samuel, et al. 1997. "Microstructural Interpenetration of Thermal Analysis of Commercial 319 Aluminum Alloy with Magnesium and Strontium Additions", *AFS Transactions*. Vol.105.
- Ahmad, R., Asmael, M.B.A., Shahizan, N.R., Gandouz, S., 2017. Reduction in secondary dendrite arm spacing in cast eutectic Al–Si piston alloys by cerium addition. *Int. J. Miner. Metall. Mater.* 24, 91–101.
- A.Schey, John, 2009. *Proses Manufaktur*, ketiga. ed. Andi, Yogyakarta.
- ASM Metals Handbook, ninth. ed, 1988. . ASM International, Ohio.
- B. Kulunk, D.J. Zuliani, 1996. *Applications for the Strontium Treatment of Wrought and Die-Cast Al*.
- Bahan Mata Kuliah Pengecoran, 2004. "Modifier Dalam Aluminium Tuang". Departemen Metalurgi dan Material FTUI, Depok.
- Bambang Suharno, B.A., 2005. *Diktat Kuliah Pengecoran Logam*. Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.
- Bernard Closset, J.G., 1990. *The Treatment of Liquid Aluminium-Silicon Alloys*. American Foundrymen's Society Inc, USA.
- Chang, J.Y., Kim, G.H., Moon, I.G., Choi, C.S., 1998. Rare earth concentration in the primary Si crystal in rare earth added Al-21wt.%Si alloy. *Scr. Mater.* 39, 307–314.

- Dhaneswara, D., Zulfia, A., Pramudita, T.P., Ferdian, D., Utomo, B.W., 2018. Effect of Al-TiB Addition on the Mechanical Properties and Microstructure of Al-ADC12/NanoSiC Produced by Stir Casting Methods. IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 333, 012044.
- Fan, K.L., He, G.Q., Liu, X.S., Liu, B., She, M., Yuan, Y.L., Yang, Y., Lu, Q., 2013. Tensile and fatigue properties of gravity casting aluminum alloys for engine cylinder heads. Mater. Sci. Eng. A 586, 78–85.
- Farhadi Gholamali, 1999. Less Effets des Alements de Trace surlies les caeateriques de Type 6XXX pour Les Applications Automobiles.
- Gangil, N., Siddiquee, A.N., Maheshwari, S., 2017. Aluminium based in-situ composite fabrication through friction stir processing: A review. J. Alloys Compd. 715, 91–104.
- Ghomashchi R., N.S., 2006. Effects of modification during conventional and semi-solid metal processing of A356 Al-Si alloy. Mater.Sci.Eng.,A 415 : 273.
- Giancolli, D.C., 2001. Fisika Jilid 1. Erlangga, Jakarta.
- Hengcheng, L., Yu, S., Guoxiong, S., 2003. Restraining effect of strontium on the crystallization of Mg₂Si phase during solidification in Al-Si-Mg casting alloys and mechanisms. Mater. Sci. Eng. A 358, 164–170. Illinois, D.P., 1986. Aluminium Casting Technology. American Foundrymen's Society Inc.
- J.A Taylor, C.H.C., 2006. Enhanced Ductility in Al-Si-Cu-Mg Foundry Alloys with High Si Content 897–903.
- Jhon E, H., 1995. Properties and Physical Metallurgy. ASM Metal Park, Ohio.
- Jung, J.-G., Ahn, T.-Y., Cho, Y.-H., Kim, S.-H., Lee, J.-M., 2018. Synergistic effect of ultrasonic melt treatment and fast cooling on the refinement of primary Si in a hypereutectic Al-Si alloy. Acta Mater. 144, 31–40.

- Kaufman, J.G., Rooy, E.L., 2004. Aluminum alloy castings: properties, processes, and applications. ASM International, Materials Park, OH.
- Kori, S.A., 2009. "Studies of Microstructure and Mechanical Properties of A356 Alloy with Minor Addition of Cooper and Magnesium."Transaction of The Indian Institute of Metal. Vol. 62, Issues 4-5, August-October (2009), pp. 353-356.
- Kral, S., M.J., M.V McIntyre, H.R., 2004. "Identification of intermetallic phases in a eutectic Al-Si casting alloy using electron backscatter diffraction pattern analysis". Department of Mechanical Engineering, University of Canterbury, Private Bag 4800, Christchurch, New Zealand.
- Kuijper, NCW, 2000. Intermetallics Phase Transformation During Homogenization of 6xxx Al Alloys 9 10 12 13 19.
- Lasa, L., Rodriguez-Ibabe, J.M., 2002. Effect of composition and processing route on the wear behaviour of Al-Si alloys. Scr. Mater. 46, 477-481.
- Lu, L., Dahle, A.K., n.d. Iron-Rich Intermetallic Phases and Their Role in Casting Defect Formation in Hypoeutectic Al-Si Alloys 2.
- Metal Handbook, 1978. Casting, Ninth. ed. ASM International, Metal Park, Ohio.
- Mulazimoglu, A.Z.M.H., J.E. Gruzleski, F.P., 1996. Electron Microscope Study of Al-Fe-Si Intermetallics in 6021 Aluminum Alloy, Metallurgical and Materials Transactions.
- N. Fat-Halla, 1989. Structural Modification of Al-Si Eutectic Alloy by Sr and Its Effect on Tensile and Fracture Characteristics. Material Science.
- Nanda, I.P., Suharno, B., 2012. CORRELATION BETWEEN MORPHOLOGICAL AND FRACTION SIZE OF INTERMETALLIC ON FLUIDITY OF Al-11%Si ALLOY WITH Fe ADDITION. J. Tek. Ind. 11, 112.

- Okayasu, M., Ohkura, Y., Takeuchi, S., Takasu, S., Ohfuji, H., Shiraishi, T., 2012. A study of the mechanical properties of an Al–Si–Cu alloy (ADC12) produced by various casting processes. *Mater. Sci. Eng. A* 543, 185–192.
- S.G. Shabestari, 2004. "Effect of Cooper and Solidification Condition on The Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si-Mg Alloys." *Journal of Material Processing Technology* 153-154 (2004) 193-198.
- Suharno, B., 2007. PERANAN MODIFIER STRONTIUM TERHADAP FLUIDITAS DAN PERUBAHAN MORFOLOGI STRUKTUR SILIKON PADA MASTER ALLOY Al-7%Si DAN Al-11%Si 13, 6.
- Tang, P., Li, Wenfang, Zhao, Y., Wang, K., Li, Weizhou, Zhan, F., 2017. Influence of strontium and lanthanum simultaneous addition on microstructure and mechanical properties of the secondary Al-Si-Cu-Fe alloy. *J. Rare Earths* 35, 485–493.
- Villeneuve, C. Duty H.W. and Samuel, F.H., 1999. "Effect of Trace Elements on AlFeSi Characteristics and Tensile Properties of Al-Si-Cu (319) Foundry Alloys." in Press, *Int. J. Cust Metals Res.*
- Warmuzek, M., 2004. Aluminum-silicon casting alloys: an atlas of microfractographs. ASM International, Materials Park, OH.
- William D, Jr., Callister, 2003. *Materials Science and Engineering An Introduction*, 6th ed. John Wiley & Sons, Inc, Singapura.
- Zheng, 2015. "Effect of Cu Content and Cu/Mg Ratio on The Microstructure and Mechanical Properties of Al-Si-Cu-Mg Alloys.

LAMPIRAN A
DATA HASIL PENGUJIAN KEKERASAN PADUAN Al-Si
HASIL CORAN

Tabel 1. Hasil pengujian kekerasan paduan aluminium-silikon hasil coran dengan *Microhardness Vickers*

Sampel	Pengujian kekerasan	
	HV	HRB
1	136,8	74,9
	152,7	80,9
	125,1	70,0
	119,2	67,1
Rata-rata	133,45	73,3
2	145,4	78,5
	119,3	67,2
	140,5	76,8
	118,0	66,5
Rata-rata	130,8	72,25
3	83,4	Over
	111,8	62,9
	113,1	63,5
	94,6	Over
Rata-rata	100,725	63,2
4	127,1	71,0
	126,5	70,8
	144,4	78,1
	131,4	72,7
Rata-rata	132,35	73,15
5	117,6	66,3
	116,1	65,1
	128,4	71,5
	115,9	65,0
Rata-rata	119,5	66,98

6	117,2	66,1
	114,8	64,4
	126,8	70,9
	121,1	68,0
Rata-rata	119,975	67,35

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENGUJIAN DAN PERHITUNGAN
DENSITAS DAN FRAKSI POROSITAS PADUAN Al-Si
HASIL CORAN

1. Data Hasil Pengujian Densitas Paduan Al-Si Hasil Coran

Tabel 1. Hasil pengujian densitas paduan Al-Si hasil coran

Sampel	Massa kering (m_k) dalam Kg	Berat kering (W_k) dalam N	Berat basah (W_b) dalam N
1	$5,595 \times 10^{-3}$	0,13	0,109
2	$5,166 \times 10^{-3}$	0,12	0,1
3	$6,648 \times 10^{-3}$	0,14	0,11
4	$10,312 \times 10^{-3}$	0,17	0,13
5	$12,158 \times 10^{-3}$	0,19	0,14
6	$13,295 \times 10^{-3}$	0,2	0,15

2. Perhitungan Densitas Paduan Al-Si Hasil Coran

Dari data hasil pengujian yang telah didapatkan pada Tabel.1, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari nilai densitas paduan Al-Si hasil coran sebagai berikut:

Diketahui :

$$m_k = 5,595 \times 10^{-3} \text{ Kg}$$

$$W_k = 0,13 \text{ N}$$

$$W_b = 0,109 \text{ N}$$

Ditanya : ρ_b ?

Jawab :

$$\rho_b = \frac{\rho_a \cdot m_k \cdot g}{w_k - w_b}$$

$$\rho_b = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 5,595 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{0,13 \text{ N} - 0,109 \text{ N}}$$

$$\rho_b = \frac{55,95 \frac{kg^2 \cdot m}{m^3 \cdot s^2}}{0,021 kg \cdot \frac{m}{s^2}}$$

$$\rho_b = 2664 \frac{kg}{m^3}$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, kemudian dilakukan perhitungan untuk data hasil pengujian yang lainnya, sehingga dihasilkan data hasil perhitungan densitas sebagaimana yang terdapat pada Tabel 4.9.

3. Perhitungan Fraksi Porositas Paduan Al-Si Hasil Coran

Diketahui :

$$\rho_{teori} = 2725 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{eksperimen} = 2664 \text{ kg/m}^3$$

Ditanya : *Fraksi Porositas ?*

Jawab :

$$\text{Fraksi Porositas} = \frac{\rho_{teori} - \rho_{eksperimen}}{\rho_{teori}} \times 100\%$$

$$\text{Fraksi Porositas} = \frac{2725 - 2664}{2725} \times 100\%$$

$$\text{Fraksi Porositas} = \frac{61}{2725} \times 100\%$$

$$\text{Fraksi Porositas} = 2,24\%$$

Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama, kemudian dilakukan perhitungan untuk data hasil pengujian yang lainnya, sehingga dihasilkan data hasil perhitungan fraksi porositas sebagaimana yang terdapat pada Tabel 4.9.

LAMPIRAN C

DATA HASIL PENGUKURAN INTENSITAS RELATIF FASA INTERMETALIK BERDASARKAN HASIL UJI XRD DENGAN MENGGUNAKAN *SOFTWARE MATCH!*

1. Sampel 1 (0,03wt%Sr - grafik berwarna hitam)

Intensitas relatif			
AlSi	α -AlFeSi	β -AlFeSi	NI
257,99	130,22	17,20	7,37
997,54	108,11	49,14	
452,09		39,31	
46,68	Rata-rata= 119,165	Rata-rata= 35,22	

2. Sampel 2 (0,045wt%Sr - grafik berwarna *orange*)

Intensitas relatif			
AlSi	α -AlFeSi	β -AlFeSi	NI
90,91	41,77	17,2	17,20
1000	54,05	14,74	
277,64			
27,73	Rata-rata= 47,91	Rata-rata= 15,97	

3. Sampel 3 (0,06wt%Sr - grafik berwarna biru)

Intensitas relatif			
AlSi	α -AlFeSi	β -AlFeSi	NI
157,25	19,96	14,74	56,51
461,92	17,20	24,57	
1000			

88,45	Rata-rata= 18,58	Rata-rata= 19,65	
-------	-----------------------------	-----------------------------	--

4. Sampel 4 (0 Sr - grafik berwarna hijau)

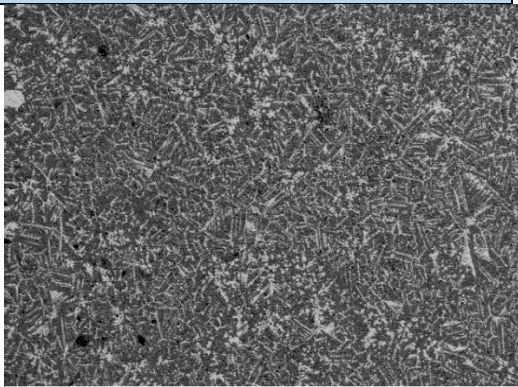
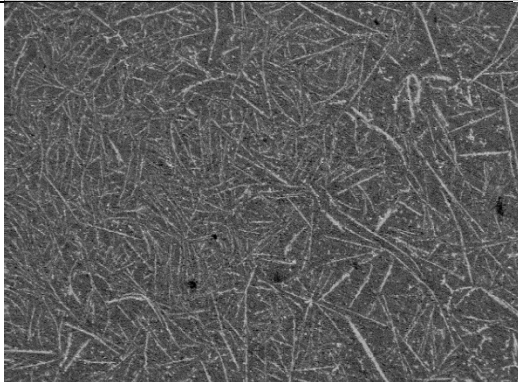
Intensitas relatif			
AlSi	α -AlFeSi	β -AlFeSi	NI
646,19	19,66	22,11	132,68
995,09	243,24	27,03	
508,60			
186,72	Rata-rata= 131,45	Rata-rata= 24,57	

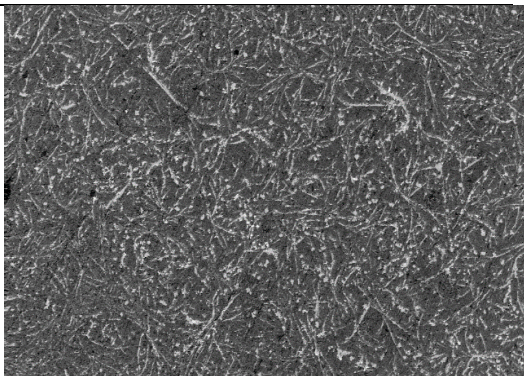

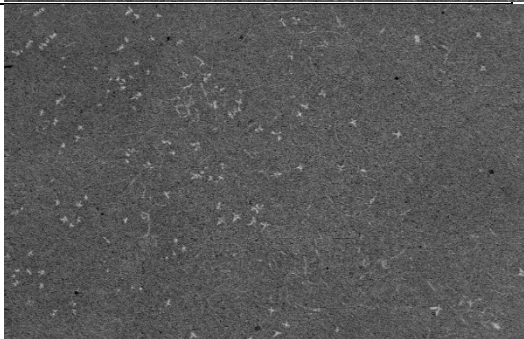
5. Sampel 5 (0,015wt%Sr - grafik berwarna merah muda)

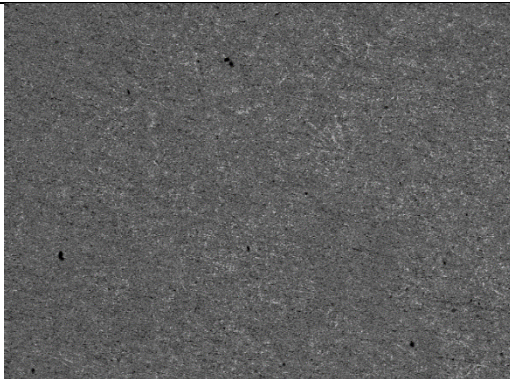
Intensitas relatif			
AlSi	α -AlFeSi	β -AlFeSi	NI
348,89	49,14	22,11	61,43
1000	66,34	49,14	
110,57			
51,6	Rata-rata= 57,74	Rata-rata= 71,25	

LAMPIRAN D
HASIL PENGUJIAN MIKROSTRUKTUR PADUAN Al-Si
HASIL CORAN DENGAN SEM (*SCANNING ELECTRON*
***MICROSCOPE*) UNTUK PERBESARAN 100X, 500X, DAN**
1000X

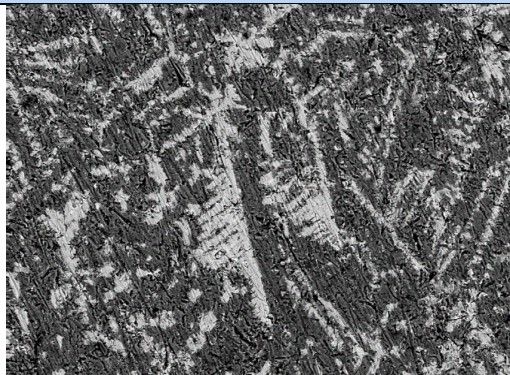
1. Hasil dari Pengujian Mikrostruktur Paduan Al-Si Hasil Coran dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk Perbesaran 100X

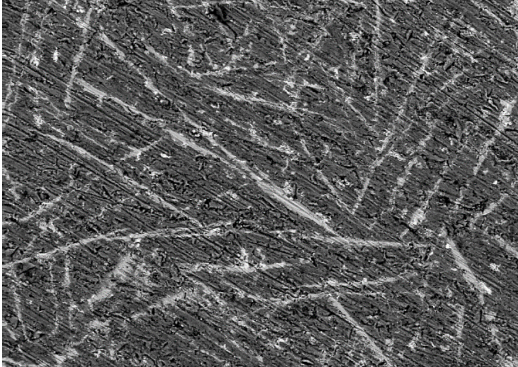
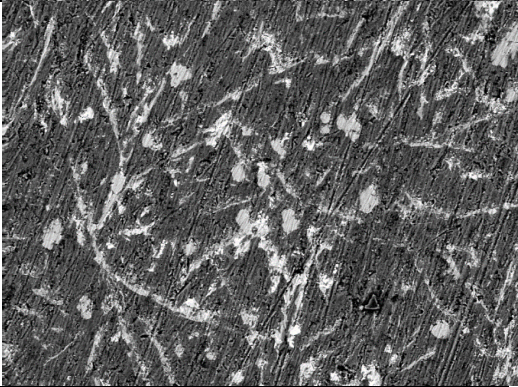
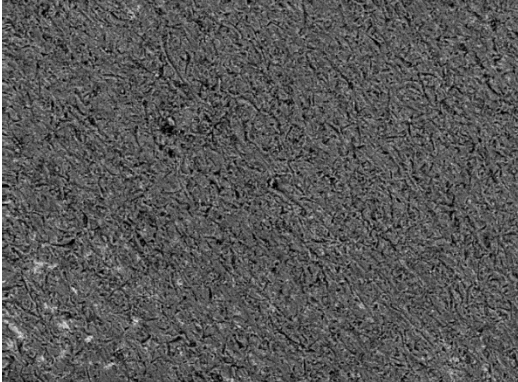
Sampel		Mikrostruktur
1	0,15wt% AlTiB + 0,03wt% Sr	
2	0,15wt% AlTiB + 0,045wt% Sr	

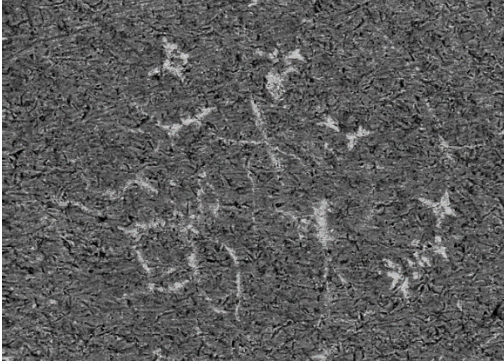
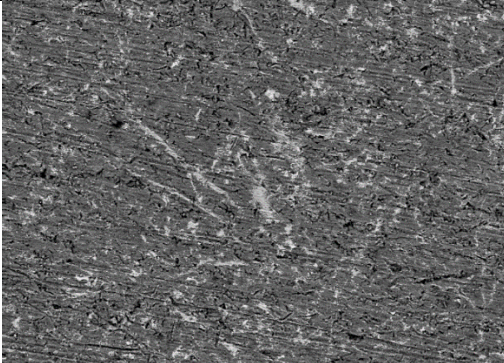
3	0,15wt% AlTiB + 0,06wt% Sr	
4	0,15wt% AlTiB	
5	0,15wt% AlTiB + 0,015wt% Sr	

6	0,015wt%Sr	
---	------------	---

2. Hasil dari Pengujian Mikrostruktur Paduan Al-Si Hasil Coran dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk Perbesaran 500X

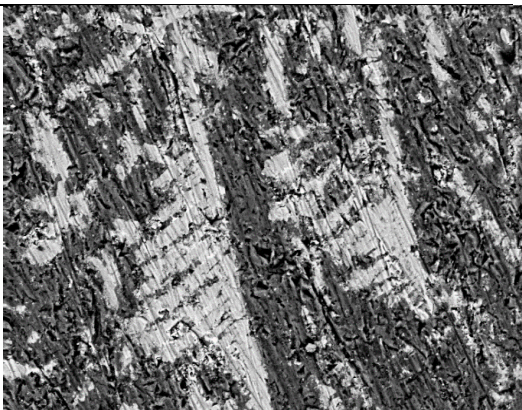
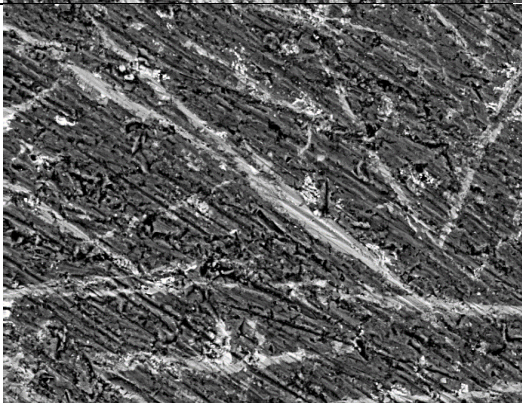
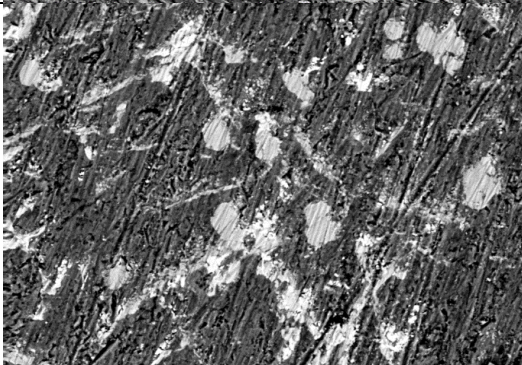
Sampel		Mikrostruktur
1	0,15wt%AlTiB + 0,03wt%Sr	

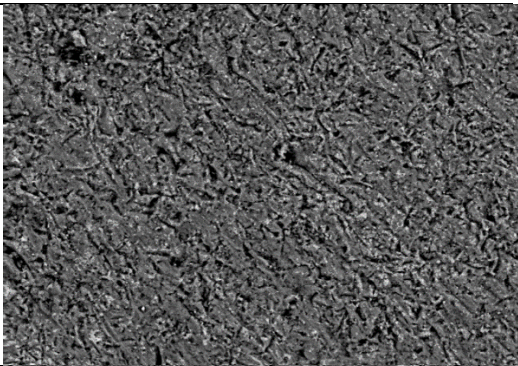
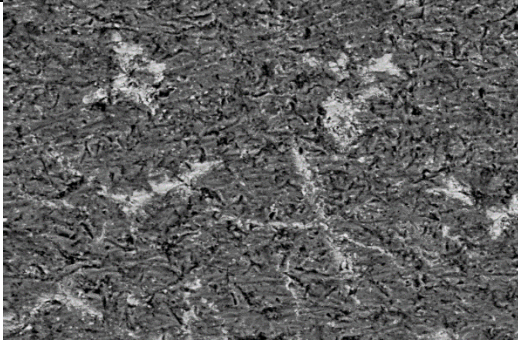
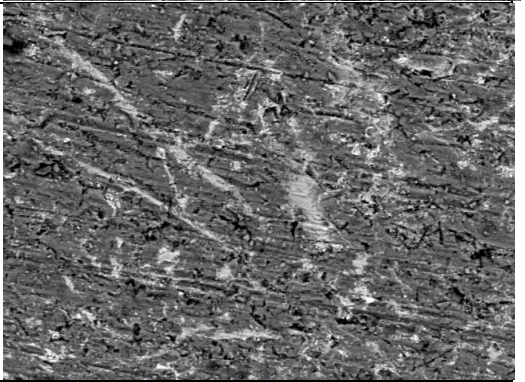
2	0,15wt% AlTiB + 0,045wt% Sr	
3	0,15wt% AlTiB + 0,06wt% Sr	
4	0,15wt% AlTiB	

5	0,15wt% AlTiB + 0,015wt% Sr	
6	0,015wt% Sr	

3. Hasil dari Pengujian Mikrostruktur Paduan Al-Si Hasil Coran dengan SEM (*Scanning Electron Microscope*) untuk Perbesaran 1000X

Sampel	Mikrostruktur
--------	---------------

1	0,15wt% AlTiB + 0,03wt% Sr	
2	0,15wt% AlTiB + 0,045wt% Sr	
3	0,15wt% AlTiB + 0,06wt% Sr	

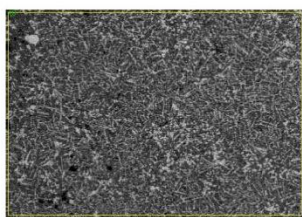
4	0,15wt% AlTiB	
5	0,15wt% AlTiB + 0,015wt% Sr	
6	0,015wt% Sr	

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

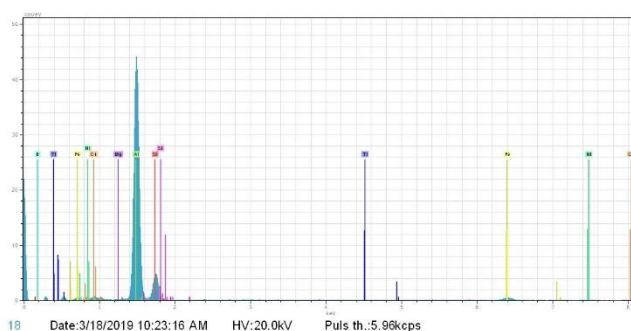
LAMPIRAN E

DATA HASIL PENGUJIAN EDX (*Energy Dispersive X-ray analysis*) PADUAN Al-Si CORAN SAMPEL 1

Sampel 1

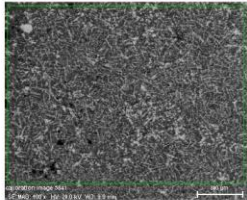


calibration image 5840
 40.0kV x10.0k 10.0um
 calibration image 5840 Date 3/18/2019 10:22:18 AM image size 512 x 384 Mag 100x HV 20.0kV

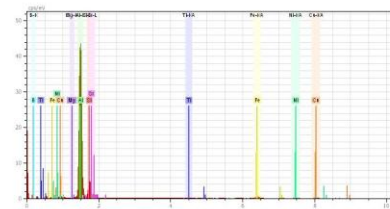


El	AN	Series	unn. [wt. %]	C norm. [wt. %]	Atom. [at. %]	C Error [%]
Al	13	K-series	70.65	71.71	72.07	3.4
Si	14	K-series	13.48	13.68	13.21	0.6
Fe	26	K-series	5.21	5.29	2.57	0.2
B	5	K-series	3.89	3.95	9.91	1.3
Cu	29	K-series	2.85	2.89	1.23	0.1
Ni	28	K-series	1.22	1.24	0.57	0.1
Sr	38	L-series	1.03	1.05	0.32	0.1
Ti	22	K-series	0.17	0.18	0.10	0.0
Mg	12	K-series	0.00	0.00	0.00	0.0
Total:			98.52	100.00	100.00	

Sampel 1

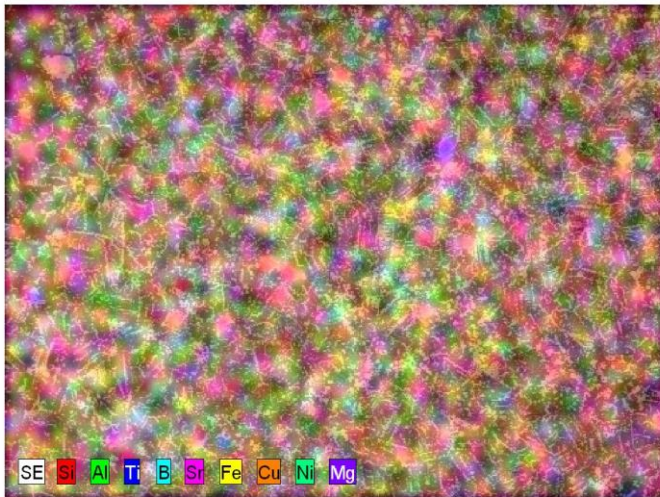


calibration image 5841 Date:3/18/2019
 10:22:18 AM Image size:512 x
 384 Mag:100x HV:20.0kV

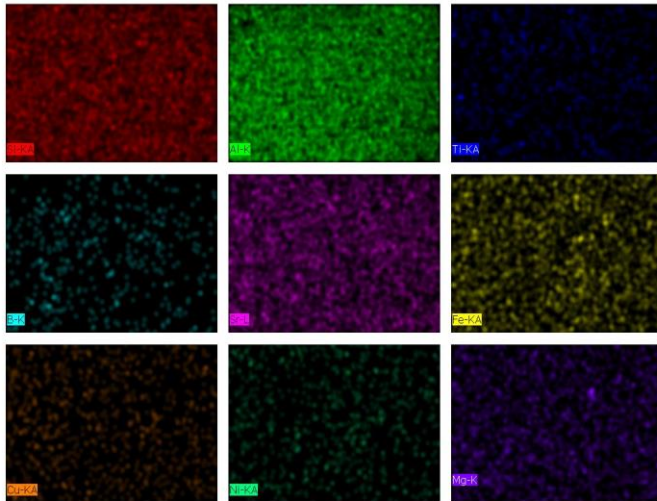


Map Date:3/18/2019 10:25:19 AM HV:20.0kV
 Puls th.:5.82kcps

calibration image 21 4674 Date:3/18/2019 10:25:20 AM Image size:493 x
 342 Mag:100x HV:20.0kV



SE Si Al Ti B Sr Fe Cu Ni Mg



Si-KA, Al-K, Ti-KA, B-K, Sr-L, Fe-KA, Cu-KA, Ni-KA, Mg-KDate:3/18/2019 10:26:04 AM
Image size:493 x 342
Mag:100x
HV:20.0kV

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA



Penulis bernama Ulan Sari merupakan anak pertama dari lima bersaudara yang dilahirkan di Jakarta, 21 Maret 1997 dari pasangan Bapak Alm. Lie Sun Hang dan Ibu Sukimi. Penulis telah menempuh pendidikan formal dimulai tahun 2004 di SDN Kosambi II, di SMPN Sine 1 dimulai pada tahun 2010 dan diselesaikan pada tahun 2012, kemudian di SMAN 1 Sine diselesaikan pada tahun 2015 dan akhirnya pada tahun yang sama penulis tercatat sebagai mahasiswa S1 Departemen Fisika Fakultas Sains-ITS Surabaya. Penulis merupakan penerima beasiswa Bidikmisi dan Beastudi Etos Indonesia. Dalam bidang non akademik, penulis pernah bergabung organisasi dan menjadi WaKa Biro LitBang JMMI ITS periode tahun 2016-2017 dan pada tahun yang bersamaan penulis menjadi staff FOSIF ITS, kemudian pada periode tahun 2017-2018 menjadi Sekretaris Kaderisasi FOSIF ITS. Dalam bidang akademik, penulis pernah bergabung dalam berbagai kepanitiaan seperti GMAIL JMMI ITS periode tahun 2016-2017. Aktifitas lainnya adalah sebagai Asisten Laboratorium Fisika Dasar I tahun ajaran 2018-2019

