



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM AC8H / SiC
DENGAN PROSES *STIR CASTING***

SKRIPSI

**YOSIA SAMUEL
0806332105**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM AC8H / SiC
DENGAN PROSES *STIR CASTING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**YOSIA SAMUEL
0806332105**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Yosia Samuel

NPM : 0806332105

Tanda Tangan : 

Tanggal : 11 Juli 2012



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Yosia Samuel
NPM : 0806332105
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Karakteristik Komposit Aluminium AC8H / SiC
Dengan Proses *Stir Casting*

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan
Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang
diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material,
Fakultas Teknik, Universitas Indonesia**

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia S., M.Sc. ()

Penguji 1 : Dr. Ir. Sutopo, M.Sc. ()

Penguji 2 : Prof. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 11 Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan limpahan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul “**Karakteristik Komposit Aluminium AC8H/ SiC Dengan Proses *Stir Casting***” ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan akademis dalam meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Pihak PT. X yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data-data yang saya perlukan;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan baik moral maupun material;
- (4) Indra Septiawan dan Muhammad Fahmi Hadar, teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (5) Metalurgi dan Material angkatan 2008 yang telah memberikan bantuan moral dan dorongan semangat.
- (6) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu metalurgi dan material ke depan.

Depok, 11 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini, :

Nama : Yosia Samuel
NPM : 0806332105
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Karakteristik Komposit Aluminium AC8H / SiC Dengan Proses *Stir Casting*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 11 Juli 2012

Yang menyatakan

(Yosia Samuel)



ABSTRAK

Nama : Yosia Samuel
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Karakteristik Komposit Aluminium AC8H / SiC
Dengan Proses *Stir Casting*

Proses fabrikasi komposit matriks aluminium dapat dilakukan melalui fasa cair dengan menggunakan metode *stir casting* untuk meminimalisir terbentuknya *clustering* penguat SiC. Metode ini memiliki keuntungan dalam hal distribusi penguat SiC dengan bantuan magnesium sebagai *wetting agent*. Dalam hal ini magnesium berfungsi meningkatkan kemampu-basahan antara matriks aluminium dan partikel penguat SiC. Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan penguat SiC sebesar 5% wt, 10% wt, dan 15% wt dengan kadar magnesium tetap 1,5% wt. komposit matriks aluminium diberi perlakuan berbeda yaitu kondisi *as-cast* dan T6 *heat-treated* dengan perbedaan sifat mekanis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan penguat SiC meningkatkan nilai kekerasan dan menurunkan laju aus. Proses perlakuan panas T6 pada komposit matriks aluminium meningkatkan nilai sifat-sifat mekanik dibandingkan pada kondisi *as-cast* akibat terbentuknya presipitat sekunder pada kondisi T6 *heat-treated*. Penambahan fraksi berat penguat SiC pada komposit matriks aluminium juga meningkatkan persen porositas. Persen porositas ini dapat dilihat melalui penurunan nilai densitas aktual komposit matriks aluminium dibandingkan densitas teoritisnya.

Kata kunci :
komposit matriks aluminium, *stir casting*, penguat, pembasahan, sifat mekanik, *as-cast*, perlakuan panas T6.

ABSTRACT

Name : Yosia Samuel
Study Program : Metallurgy & Materials Engineering
Title : Characteristic of Aluminium Composite AC8H / SiC by Stir Casting Process

Fabrication of aluminum matrix composite can be done through liquid phase by using stir casting method in order to minimalizing the formation of SiC clustering penguat. This method has the advantage in the distribution of SiC reinforce with the function of magnesium as wetting agent. In this case, magnesium will increase the wettability between aluminum matrix and the SiC reinforce particle. This research focus on the addition of SiC reinforce in the amount of 5% wt, 10% wt, and 15% wt with a fix amount of magnesium, 1,5% wt. The aluminum matrix composite is given by different treatment, as-cast condition and T6 heat treated with different mechanical properties. The result shows that the addition of SiC reinforce will increase the hardness value and decrease the wear rate value of aluminum matrix composite. T6 heat treatment process in aluminum matrix composite increase the mechanical properties value greater than the as-cast condition as the formation of secondary precipitate in T6 heat-treated condition. The addition of SiC reinforce weight fraction in aluminum matrix composite also increase the porosity percentage. This porosity percentage can be observed by the decreasing value of actual density aluminum matrix composite compared by theoritical density.

Keyword :
Aluminium matrix composite, stir casting, reinforce, wettability, mechanical properties, as-cast, T6 heat-treatment.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS	v
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Penelitian	4
1.5. Tempat Penelitian.....	4
1.6. Sistematika Penelitian	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Komposit Matriks Aluminium.....	6
2.2. Material Penyusun dari Komposit Matriks Aluminium (AMC)	7
2.2.1. Aluminium (Al)	7
2.2.2. Silikon Karbida (SiC)	14
2.2.3. Magnesium (Mg)	15
2.3. Efek Penambahan Penguat Keramik SiC Terhadap Komposit Matriks Aluminium.....	16
2.4. Rekayasa Permukaan Terhadap SiC di Komposit Matriks Aluminium	20
2.4.1. AntarMuka pada Matriks dan Penguat.....	20
2.4.2. Kemampuan Pembasahan (<i>Wettability</i>) Pada Komposit.....	22
2.4.3. Penambahan Elemen Magnesium (Mg).....	24
2.4.4. Perlakuan Panas pada Penguat SiC	24
2.5. <i>Stir Casting</i>	25
2.6. Perlakuan Panas Aluminium	27
3. METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	34
3.2. Alat dan Bahan	35
3.2.1. Alat.....	35
3.2.2. Bahan	35
3.3. Proses Pembuatan Komposit Al/SiC.....	36
3.4. Proses Perlakuan Panas Komposit Al/SiC	37
3.5. Karakterisasi Al/SiC.....	37
3.5.1. Pengujian Kekerasan.....	37

3.5.2. Pengujian Aus	38
3.5.3. Pengamatan Struktur Mikro.....	39
3.5.4. Pengujian Densitas dan Porositas	39
3.5.5. Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM).....	42
3.5.6. Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	42
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1. Karakteristik Serbuk Penguat SiC	44
4.2. Pengujian Mekanik Komposit Al/SiC	46
4. 2. 1. Pengujian Kekerasan Komposit Al/SiC.....	46
4. 2. 2. Pengujian Aus Komposit Al/SiC	49
4. 3. Pengujian Densitas / Porositas Komposit Al/SiC.....	52
4. 4. Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i> Komposit Al/SiC	58
4. 4.1. Pengujian XRD Komposit Al/SiC Hasil <i>as-cast</i>	58
4. 4. 2. Pengujian XRD Komposit Al/SiC Hasil T6 <i>heat-treated</i>	59
4. 4. 3. Analisa Perbedaan Grafik XRD Komposit Al/SiC <i>As-cast</i> dan T6 <i>Heat-treated</i>	59
4. 5. Pengamatan Mikrostruktur Komposit Al/SiC	62
4. 5. 1. Foto Mikrostruktur Aluminium AC8H (tanpa penguat) <i>as-cast</i> dan T6 <i>heat-treated</i>	62
4. 5. 2. Foto Mikrostruktur Komposit Al/SiC 5% wt <i>as-cast</i> dan T6 <i>heat-</i> <i>treated</i>	64
4. 5. 3. Foto Mikrostruktur Komposit Al/SiC 10% wt <i>as-cast</i> dan T6 <i>heat-</i> <i>treated</i>	68
4. 5. 4. Foto Mikrostruktur Komposit Al/SiC 15% wt <i>as-cast</i> dan T6 <i>heat-</i> <i>treated</i>	70
4. 6. Pengujian SEM / EDX Komposit Al/SiC.....	72
5. KESIMPULAN.....	80
DAFTAR ACUAN.....	82
LAMPIRAN.....	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Skema representasi penguat terhadap matriks pada material komposit ^[9]	6
Gambar 2. 2. Diagram fasa Al-Si ^[16]	12
Gambar 2. 3. Diagram fasa Al-Si dengan struktur mikro dari a) Al-Si Hipoeutektik, b) Al-Si Eutektik, dan c) Al-Si Hipereutektik ^[17]	12
Gambar 2. 4. Perbandingan kadar penguat SiC dengan porositas komposit Al-SiC ^[6]	17
Gambar 2. 5. Jenis-jenis porositas yang mungkin terjadi pada komposit ^[21]	18
Gambar 2. 6. Pembasahan penguat SiC oleh magnesium pada fasa spinel ^[34]	22
Gambar 2. 7. Ilustrasi skematik sudut kontak (a) terjadi pembasahan (b) tidak terjadi pembasahan ^[13]	22
Gambar 2. 8. Sudut kontak vs. waktu untuk aluminium pada SiC pada <i>preheating</i> suhu 1000 ^o C ^[26]	23
Gambar 2. 9. Sudut kontak vs. waktu untuk aluminium pada SiC pada <i>preheating</i> suhu 1100 ^o C ^[26]	23
Gambar 2. 10. Sudut kontak vs. waktu untuk aluminium pada SiC pada <i>preheating</i> suhu 1200 ^o C ^[26]	23
Gambar 2. 11. Skema proses <i>stir casting</i> ^[2]	26
Gambar 2. 12. Contoh siklus <i>ageing</i> , dengan garis lurus adalah T6 ^[16]	30
Gambar 2. 13. Ilustrasi dari GP Zone ^[16]	32
Gambar 2. 14. Derajat koherensi presipitat a) acak, b) koheren, c) semi-koheren, d) inkoheren ^[16]	33
Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian.....	34
Gambar 3. 2. Alat <i>hardness test</i> Rockwell.....	38
Gambar 3. 3. Skema pengujian aus metode ogoshi	38
Gambar 3. 4. Alat pengujian aus metode Ogoshi.....	39
Gambar 3. 5. Alat pengujian SEM / EDX.....	42
Gambar 3. 6. Alat pengujian XRD.....	43
Gambar 4. 1. Morfologi serbuk SiC <i>as-received</i> dengan perbesaran 50x.....	44
Gambar 4. 2. Gambar hasil SEM untuk serbuk SiC 220 mesh a) ukuran 63-80 mikrometer b) ukuran 117- 130 mikrometer	45
Gambar 4. 3. Hasil EDX serbuk SiC	45
Gambar 4. 4. Grafik kekerasan komposit Al/SiC vs %wt. penguat SiC	46
Gambar 4. 5. Grafik laju aus komposit Al/SiC vs %wt. penguat SiC.....	50
Gambar 4. 6. Grafik penambahan penguat SiC vs densitas teoritis dan densitas aktual komposit Al/SiC.....	53
Gambar 4. 7. Grafik perbandingan persentase porositas vs penambahan penguat SiC	54
Gambar 4. 8. Foto mikro berbagai jenis porositas a) <i>gas porosity</i> ; b) <i>particle pull-out</i> ; c) antar-muka <i>porosity</i> ; d) <i>impregnant porosity</i>	56
Gambar 4. 9. Pola difraksi sinar-x, puncak intensitas dari sampel komposit Al/SiC 10% wt. hasil <i>as-cast</i> dan b) perbandingan dengan <i>card data</i>	58

Gambar 4. 10. Pola difraksi sinar-x, puncak intensitas a) sampel Al/SiC 10% hasil T6 <i>heat-treated</i> dan b) perbandingan dengan <i>card data</i>	59
Gambar 4. 11. Pola difraksi XRD Al/SiC 10% wt T6 <i>heat-treated</i> dengan perbandingan terhadap puncak Al ₂ Cu dan Mg ₂ Si	60
Gambar 4. 12. Pola difraksi XRD serbuk SiC <i>electroless coating</i> dengan Mg[13].....	61
Gambar 4. 13. Perbandingan mikrostruktur dari aluminium AC8H (<i>unpenguatd</i>) a) hasil <i>as-cast</i> dan b) hasil T6 <i>heat-treated</i> dengan perbesaran 200x	62
Gambar 4. 14. Perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 5% wt a) <i>as-cast</i> perbesaran 200x ; b) <i>as-cast</i> perbesaran 500x ; c) T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 200x ; d) T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 500x.	65
Gambar 4. 15. Mikrostruktur material komposit Al/SiC 5% wt T6 <i>heat-treated</i> dengan perbesaran 500x.	66
Gambar 4. 16. Foto mikro Al/SiC 5% wt T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 500x yang membentuk <i>clustering</i>	67
Gambar 4. 17. Perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 10% wt a) <i>as-cast</i> perbesaran 200x ; b) <i>as-cast</i> perbesaran 500x ; c) T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 200x ; d) T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 500x.	68
Gambar 4. 18. Foto mikro Al/SiC 10% wt T6 <i>heat-treated</i> dengan adanya <i>micro-crack</i> pada permukaannya melalui perbesaran 1000x.	70
Gambar 4. 19. Perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 15% wt a) <i>as-cast</i> perbesaran 200x ; b) <i>as-cast</i> perbesaran 500x ; c) T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 200x ; d) T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 500x.	71
Gambar 4. 20. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 500x dengan penembakan pada 3 titik.....	73
Gambar 4. 21. Grafik hasil pengujian EDX a) Spektrum 1 ; b) Spektrum 2, ; dan c) Spektrum 3	74
Gambar 4. 22. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 1000x dengan penembakan pada 1 titik.....	75
Gambar 4. 23. Grafik hasil pengujian EDX pada Spektrum 4.....	76
Gambar 4. 24. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 2500x dengan penembakan pada 1 titik.....	76
Gambar 4. 25. Grafik hasil pengujian EDX pada Spektrum 5.....	77
Gambar 4. 26. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 <i>heat-treated</i> perbesaran 1000x dengan penembakan pada 1 titik.....	78
Gambar 4. 27. Grafik hasil pengujian EDX pada Spektrum 6.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Data sifat fisik, sifat mekanis, dan sifat panas logam aluminium ^[13]	8
Tabel 2. 2. Penandaan paduan <i>wrought</i> aluminium ^[14]	9
Tabel 2. 3. Penandaan paduan <i>cast</i> aluminium ^[14]	9
Tabel 2. 4. Standar Komposisi Material Aluminium AA 336.0, AC8A, dan AC8H ^[13]	13
Tabel 2. 5. Komposisi Kimia Aluminium Ingot AC8A ^[13]	14
Tabel 2. 6. Komposisi Kimia Aluminium <i>Ingot</i> AC8H ^[13]	14
Tabel 2. 7. Data Sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat panas silikon karbida ^[13]	15
Tabel 2. 8. Data sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat panas magnesium ^[13]	16
Tabel 3. 1. Tabel hasil pengujian spektrometer aluminium ingot AC8H	36
Tabel 4. 1. Tabel data densitas teoritis dan aktual material dengan penambahan penguatSiC	53
Tabel 4. 2. Tabel pengujian EDX spektrum 1, 2, dan 3	73
Tabel 4. 3. Tabel pengujian EDX spektrum 4	75
Tabel 4. 4. Tabel pengujian EDX spektrum 5	77
Tabel 4. 5. Tabel hasil pengujian EDX pada spektrum 6	78
Tabel 4. 6. Tabel hasil pengujian EDX di 6 titik pada komposit Al/SiC 10% wt	79

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Data Pengujian Kekerasan.....	86
Lampiran B. Data Pengujian Aus	87
Lampiran C. Data Pengujian Densitas / Porositas	88
Lampiran D. Lampiran Pengujian XRD	89
Lampiran E. Lampiran Hasil Pengujian SEM / EDX	91



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mobilitas manusia di zaman modern amat ditentukan oleh perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Untuk dapat mengaplikasikan teknologi baru ini maka amat dibutuhkan sebuah material yang memiliki sifat mekanis di atas rata-rata material sebelumnya namun lebih ringan dalam kaitannya dengan penghematan bahan bakar, sehingga dapat menunjang kebutuhan manusia melalui kinerja yang berkualitas tanpa melupakan aspek lingkungan dengan memperpanjang umur pemakaian bagian tersebut, sehingga akan dibutuhkan sebuah material yang memiliki keunggulan dari ketiga jenis *monolith* yang bisa dicapai melalui pembuatan material komposit. Di samping hal tersebut, dewasa ini industri otomotif di Indonesia berkembang dengan pesat, sehingga diperlukan penyediaan suku cadang yang berkualitas baik dengan harga yang murah. Penggunaan bagian otomotif berbasis baja memang memiliki sifat mekanis yang baik, namun ketahanan korosinya kurang baik. Untuk itu diperlukan material yang memiliki sifat mekanis dan ketahanan korosi yang baik. Fabrikasi komposit dengan menggunakan matriks aluminium ditambah penguat keramik merupakan solusi yang tepat. Selain itu keunggulan komposit aluminium ini terletak pada massanya yang ringan dibanding baja, sehingga mendukung konsumsi bahan bakar pada kendaraan bermotor.

Material komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua jenis material atau lebih yang berbeda fasa menjadi sebuah material baru yang memiliki sifat berupa gabungan keunggulan-keunggulan dari material-material penyusunnya, dengan syarat adanya ikatan permukaan^[1]. Salah satu jenis aplikasinya adalah pada Komposit matriks aluminium (AMC). MMC kini berada pada pemahaman sebagai kandidat material yang berpotensi pada berbagai macam aplikasi struktural seperti pada bidang pesawat luar angkasa, transportasi, militer, bahkan industri olahraga karena sifat mekanik yang dimilikinya^[2].

Aluminium merupakan jenis logam yang lebih ulet dan memiliki ketahanan korosi yang lebih baik dibanding baja, sedangkan SiC memiliki tingkat kekerasan yang tinggi. Diantara penggunaan aluminium tuang, jenis aluminium Al-Si-Cu-

Mg paling banyak digunakan karena sifat mampu tuangnya yang baik dan sifat mekanik yang baik pada kondisi perlakuan panas-nya^[3]. Dengan menggunakan aluminium sebagai matriks dan serbuk SiC sebagai penguat dari bahan komposit, diharapkan komposit memiliki sifat kekerasan relatif tinggi dan keuletan relatif besar dari baja dan memiliki ketahanan korosi yang baik.

AMC adalah komposit dengan matriks aluminium yang dikombinasikan dengan penguat (penguat) berupa material berbasis keramik untuk meningkatkan sifat dari bagian otomotif tersebut^[4]. Komposit matriks aluminium adalah material gabungan yang kekakuan, kekuatan, densitas, sifat panas dan sifat elektriknya bisa diatur^[5]. Material penguat berbasis keramik yang sering digunakan pada AMC adalah SiC (silikon karbida). MMC memiliki keunggulan dari sifat terhadap panas, seperti kestabilan sifat di suhu tinggi dan koefisien ekspansi suhu yang rendah sehingga cocok diaplikasikan untuk kondisi dengan suhu operasi tinggi^[6].

Proses pencampuran matriks dan penguat dilakukan dengan metode *stir casting*, yaitu metode fabrikasi komposit yang lebih murah dibanding metode lainnya yaitu dengan mengaduk penguat, matriks aluminium, dan daerah antar-muka dengan waktu dan kecepatan pengadukan yang telah diatur untuk mencapai homogenitas yang diinginkan. Teknik metalurgi cair adalah teknik fabrikasi komposit yang paling ekonomis jika dibandingkan dengan metode lain (metalurgi serbuk, kompaksi, ekstrusi, dll)^[5].

Proses ini dapat meminimalisir terbentuknya *cluster-cluster* partikel penguat selama proses pengecoran karena dilakukan proses pengadukan sehingga diharapkan distribusi penguat (SiC) akan merata pada matriks aluminium. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam membuat komposit matriks aluminium menggunakan metode *stir casting* seperti kesulitan memperoleh distribusi yang seragam dari penguat dalam matriks logam, pembasahan antara matriks dan penguat, porositas yang terbentuk saat pengecoran, dan reaksi kimia antara matriks dan penguat^[5]. Cacat pada material komposit seperti porositas, inklusi oksida, penyusutan, dan degradasi dari penguat akan mempengaruhi sifat mekanis dari komposit^[6].

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama pada pembuatan material komposit matriks aluminium yang diperkuat keramik adalah kemampuan aluminium untuk membasahi penguat SiC, oleh karena itu diperlukan *wetting agent* dalam hal ini magnesium. Kemampubasahan ini menentukan sifat mekanik dari komposit aluminium karena berfungsi sebagai penyalur beban luar menuju matriks kemudian penguat SiC. Selain itu kadar penguat SiC juga mempengaruhi sifat mekanis dari komposit aluminium. Menurut literatur, nilai kekerasan dari sebuah material akan sebanding dengan kadar penguat yang dimasukkan dalam matriks. Hal yang perlu diperhatikan adalah nilai kekerasan namun jangan sampai material tersebut terlalu getas dan banyak porositas sehingga justru menurunkan kinerja material komposit pada aplikasinya nanti^[16].

Pada penelitian ini akan dilakukan variasi penambahan kadar penguat SiC. Variasi kadar ini diperlukan untuk mencari titik optimum sifat mekanis dari material terhadap penambahan penguat SiC. Sebagai *wetting agent*, digunakan serbuk magnesium (Mg) untuk melapisi permukaan penguat dengan kadar yang sudah ditetapkan yang bertujuan untuk meningkatkan ikatan antar-muka antara matriks (aluminium) dengan penguat (SiC) agar keduanya dapat terikat^[7]. Kemudian untuk menghindari terjadinya *cluster-cluster* penguat dalam matriks aluminium pada saat proses pengecoran, maka digunakan metode *stir casting* untuk meminimalisir terjadinya *cluster-cluster* SiC pada matriks aluminium sehingga penguat SiC dapat terdistribusi dengan baik dalam matriks aluminium dengan beberapa parameter yang telah ditentukan..

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian mengenai AMC yang dilakukan Penulis adalah :

1. Meneliti pengaruh penambahan penguat SiC terhadap sifat mekanik dari komposit matriks aluminium pada pengecoran piston kendaraan bermotor (material aluminium AC8H).
2. Meneliti kadar maksimum penambahan penguat pada komposit matriks aluminium AC8H dengan parameter Mg yang telah ditentukan oleh penelitian sebelumnya.

3. Mengamati dan menganalisis mikrostruktur dari komposit AMC dengan penguat SiC.

1.4. Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Bahan baku yang digunakan adalah sebagai berikut :
 - Material serbuk silikon karbida (SiC) sebagai penguat.
 - Material aluminium AC8H sebagai matriks.
 - Mg sebagai bahan untuk meningkatkan pembasahan Al.
2. Proses yang digunakan pada percobaan ini adalah menggunakan proses *stir casting* pada *ladle* yang dimodifikasi dengan kecepatan putar 1000rpm selama 3 menit.
3. Komposit yang dibandingkan memiliki variasi % fraksi berat 5%, 10% dan 15%.
4. Diberikan Mg sebagai *wetting agent* sebanyak 1,5% wt matriks.
5. Memberikan perlakuan panas 400-500°C selama 15 menit pada penguat SiC.
6. Karakterisasi terhadap komposit Al/SiC yang dilakukan, yaitu :
 - Pengujian kekerasan
 - Pengujian aus
 - Pengujian metalografi (pengamatan mikrostruktur)
 - Pengamatan fasa yang terbentuk dengan menggunakan XRD.
 - Karakterisasi komposit dengan menggunakan SEM/ EDX.
 - Pengujian densitas / porositas

1.5. Tempat Penelitian

Untuk membuat sampel pengujian, dilakukan di PT. X. sehingga bisa didapatkan sampel untuk karakterisasi komposit tersebut. Sedangkan tempat untuk mengkarakterisasi sifat mekanis dan pengamatan mikro dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok. Untuk pengujian XRD dilakukan di UIN Syarif Hidayatullah.

1.6. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun agar penulisan skripsi ini menjadi runut sehingga kerangka alur penelitian mudah dimengerti, sistematis dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling terpartisi dan saling berkaitan satu sama lain, yaitu sebagai berikut :

Bab 1 Pendahuluan

Membahas latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

Bab 2 Tinjauan Pustaka

Membahas dasar teori penunjang tentang material komposit, MMC, pembasahan, dan proses peleburan dengan menggunakan metode *stir casting*.

Bab 3 Metodologi Penelitian

Membahas diagram alir penelitian, alat dan bahan, prosedur penelitian dan pengujian sampel.

Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Membahas hasil yang didapat dari hasil pengujian yang telah dilakukan serta membandingkan dengan teori yang berlaku.

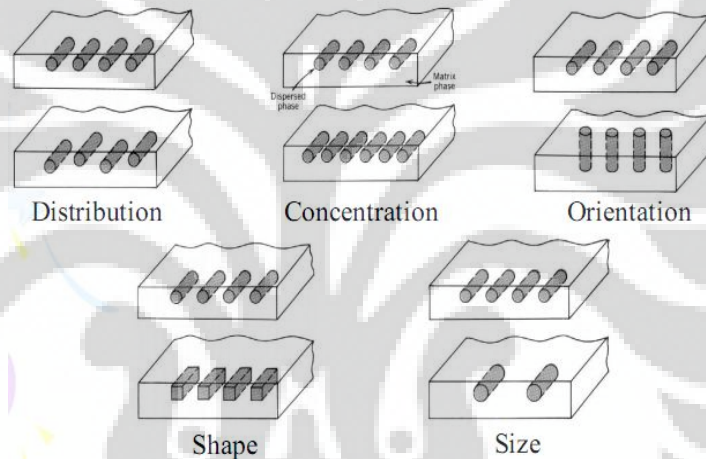
Bab 5 Kesimpulan

Berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2. 1. Komposit Matriks Aluminium

Material komposit adalah material yang terdiri dari gabungan dua atau lebih fasa yang berbeda baik secara fisika ataupun kimia dan memiliki karakteristik yang lebih unggul dari masing-masing komponen penyusunnya. Material komposit tersusun dari dua fasa, satu disebut sebagai matriks dengan fasa *continuous* dan penguat dengan fasa *discontinuous*^[8]. Terdapat 5 faktor umum dari penguat yang mempengaruhi sifat dari material komposit yaitu konsentrasi, ukuran, bentuk, distribusi, dan orientasi^[9] sesuai Gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2. 1. Skema representasi penguat terhadap matriks pada material komposit^[9].

Dalam komposit matriks logam, maka kombinasi yang terjadi berupa material fasa logam (yang harus bersifat ulet) dengan material penguat berupa keramik (senyawa oksida, karbida dan nitrida) yang biasanya berbentuk partikulat dengan kadar antara 10 - 60% fraksi volum^[9]. Pada penelitian ini penulis hanya membahas komposit matriks logam (MMC) atau yang lebih spesifik lagi yaitu komposit matriks aluminium (AMC).

MMC memiliki keunggulan dibandingkan dengan logam tunggalnya karena MMC dapat memiliki sifat yang diinginkan, seperti peningkatan kekuatan dengan berat yang lebih rendah. Beberapa keunggulan MMC dibandingkan dengan logam tunggalnya, yaitu :

1. Kombinasi kekuatan dan modulus yang baik.

2. Berat jenis cenderung lebih rendah.
3. Rasio kekerasan dengan berat dan modulus dengan berat lebih baik dari logam.
4. Nilai koefisien muai panasnya lebih rendah dibandingkan logam.
5. Kekuatan fatik cukup baik.

Peningkatan volume penguat pada komposit dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik seperti modulus elastis, kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan pada kasus tertentu dapat menurunkan densitas dari komposit^[10]. Peningkatan volume penguat juga akan menurunkan keuletan dan ketahanan patah dari komposit^[11]. Berdasarkan pada efisiensi biaya, sifat mekanis, dan aplikasinya, partikel penguat yang umum digunakan sebagai penguat dalam aluminium matriks komposit adalah partikel SiC atau Al₂O₃.

2.2. Material Penyusun dari Komposit Matriks Aluminium (AMC)

Terdapat tiga elemen penting pada fabrikasi komposit matriks aluminium yang dibuat oleh Penulis yaitu logam aluminium sebagai matriks, partikel SiC (silikon karbida) sebagai penguat, dan logam magnesium sebagai *wetting agent* yang berfungsi meningkatkan pembasahan antara matriks aluminium dengan penguat SiC. Ketiga elemen ini akan dibahas pada subbab dibawah ini.

2.2.1. Aluminium (Al)

Aluminium dan paduannya merupakan logam ringan dengan massa jenis yang rendah (2,7 g/cm³) dibandingkan dengan baja (7,9 g/cm³). Dengan struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) yang dimiliki aluminium dan paduannya, cenderung memiliki sifat keuletan yang tinggi^[9]. Pada aplikasi aluminium matriks komposit, logam aluminium berperan sebagai matriks yang berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat, karena hanya sedikit beban yang diterima komposit yang mampu ditahan oleh matriks^[9] sehingga matriks pada komposit haruslah material yang ulet dan melindungi penguat dari lingkungan^[12]. Sifat-sifat fisik, mekanik, dan panas yang dimiliki oleh aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah :

Tabel 2. 1. Data sifat fisik, sifat mekanis, dan sifat panas logam aluminium^[13]

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa Jenis	g/cm ³	2,7
Nomor Atom	-	13
Berat Atom	g/mol	26,67
Warna	-	Putih Keperakan
Struktur Kristal	-	FCC
Titik Lebur	°C	660,4
Titik Didih	°C	2467
Jari-jari Atom	nm	0,143
Jari-jari Ionik	nm	0,053
Nomor Valensi	-	3
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Modulus Elastisitas	Gpa	72
Poisson's Ratio	-	0,35
Kekerasan	VHN	3500
Kekuatan Luluh	MPa	450
Ketangguhan	Mpa m	4,5
Sifat Panas	Satuan	Nilai
Konduktivitas Panas	W/m°K	237
Kapasitas Panas	J/Kg.K	917

Aluminium dan paduannya ditandai berdasarkan produknya, apakah *cast product* (produk hasil pengecoran) atau *wrought product* (produk hasil tempa)^[14]. Sistem penandaan aluminium tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2 dibawah ini untuk *wrought product* dan Tabel 2.3 untuk *cast product* :

Tabel 2. 2. Penandaan paduan aluminium hasil tempa^[14]

Penamaan	Elemen Paduan Mayor
1XXX	99,00% min. Aluminium
2XXX	Copper (Cu)
3XXX	Manganese (Mn)
4XXX	Silicon (Si)
5XXX	Magnesium (Mg)
6XXX	Magnesium dan Silicon
7XXX	Zinc (Zn)
8XXX	Elemen lain
9XXX	Seri yang tidak digunakan

Tabel 2. 3. Penandaan paduan aluminium hasil cor^[14]

Penamaan	Elemen Paduan Mayor
1XX.Y	99,00% min. Aluminium
2XX.Y	Copper (Cu)
3XX.Y	Si-Mg, Si-Cu, Si-Cu-Mg
4XX.Y	Silicon (Si)
5XX.Y	Magnesium (Mg)
7XX.Y	Zinc (Zn)
8XX.Y	Tin (Sn)
9XX.Y	Elemen lain
6XX.Y	Seri yang tidak digunakan

Keterangan :

- a) Angka pertama : kelompok paduan
- b) Angka kedua dan ketiga : kemurnian aluminium
- c) Angka desimal : bentuk produk (0 untuk produk pengecoran, 1 dan 2 untuk ingot produk hasil peleburan ulang).

Sifat mekanis, sifat fisik, dan sifat kimia dari aluminium paduan sangat dipengaruhi oleh komposisi dan struktur mikro^[15]. Penambahan unsur-unsur tertentu ke dalam aluminium sangat memberikan pengaruh besar terhadap sifat-sifat aluminium serta kegunaannya. Hal inilah yang membuat aluminium yang

digunakan untuk aplikasi memerlukan penambahan unsur paduan lebih dari satu jenis. Berikut ini adalah pengaruh beberapa jenis unsur terhadap sifat aluminium^[14] :

a) Tembaga (Cu)

Tembaga adalah salah satu paduan penting pada aluminium. Melalui *age-hardening*, dapat membentuk endapan CuAl_2 yang sangat membantu peningkatan kekuatan mekanik aluminium. Kadar Cu pada paduan aluminium biasanya berkisar dari 1 – 10%.

b) Mangan (Mn)

Pada dasarnya unsur mangan dianggap sebagai unsur pengotor dalam paduan Al-Si. Kelarutan unsur Mn dalam paduan aluminium sebesar 1,82% pada temperatur 658°C . Mangan tidak akan memberikan efek yang signifikan pada coran paduan aluminium jika tidak mendapat perlakuan pengerasan regang. Efek penambahan unsur ini yaitu meningkatkan kekuatan dan kekerasan, meningkatkan ketahanan terhadap temperatur tinggi.

c) Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur yang umum digunakan dalam paduan aluminium. Hal ini dikarenakan penambahan unsur silikon meningkatkan karakteristik pengecoran seperti meningkatkan mampu alir (fluiditas), ketahanan terhadap retak panas.

d) Magnesium (Mg)

Magnesium adalah unsur yang dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada kondisi perlakuan panas Al-Si dan umumnya digunakan pada paduan Al-Si kompleks yang mengandung Cu, Ni, dan elemen lain yang berfungsi sama. Magnesium memiliki kelarutan 17,4% pada temperatur 450°C . Magnesium bersama-sama dengan Si membentuk fasa Mg_2Si yang mengendap pada perlakuan panasnya. Mekanisme penguatannya adalah melalui mekanisme pengerasan presipitat. Selain meningkatkan kekuatan dan kekerasan, unsur Mg juga meningkatkan ketahanan terhadap korosi paduannya namun menurunkan sifat mampu cor.

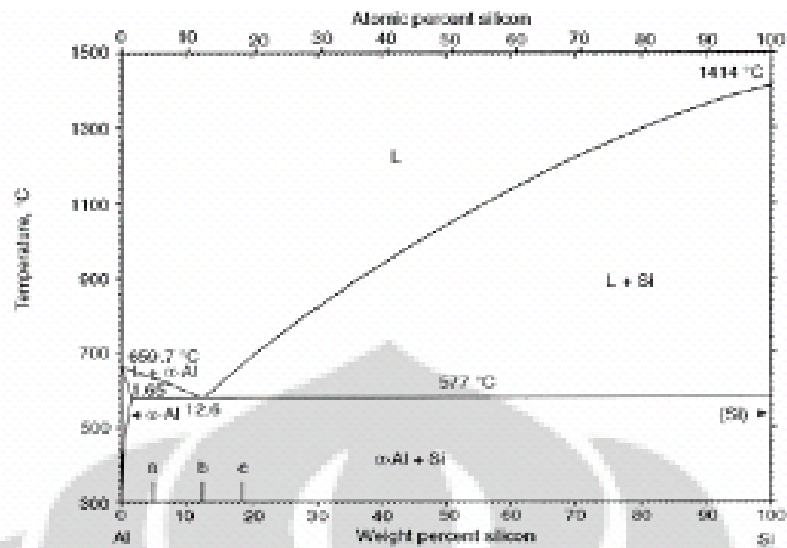
e) Seng (Zn)

Seng memiliki kelarutan pada 443°C dapat mencapai 88,8%. Penambahan unsur seng pada paduan Al-Si tidak akan memiliki pengaruh yang signifikan. Namun, jika dipadu dengan tembaga (Cu) dan atau magnesium (Mg) dapat meningkatkan sifat kekerasan dan kekuatan karena menghasilkan paduan yang mampu diperlakukan panas dan terbentuknya presipitat $MgZn_2$ dan $CuAl_2$. Dalam kadar yang berlebih, unsur Zn dapat meningkatkan kegetasan, menurunkan ketangguhan, dan menurunkan ketahanan terhadap korosi. Oleh sebab itu, kandungannya dibatasi dari 0,1% sampai 1%.

f) Besi (Fe)

Besi merupakan pengotor yang sering ditemukan di aluminium. Kelarutan unsur ini cukup kecil pada aluminium cair yaitu 0,05% pada 655°C. Efek penambahannya yaitu meningkatkan ketahanan terhadap retak panas, menurunkan tingkat terjadinya *die sticking* atau *soldering* pada proses *die casting*. Peningkatan kadar Fe dalam paduan akan meningkatkan kekuatan terutama pada suhu tinggi. Namun akan menurunkan keuletan dan mampu alir. Penambahan kadar Fe kurang dari 0,05% mengakibatkan terbentuknya fasa-fasa tidak larut seperti $FeAl_3$, $FeMnAl_6$, dan $\alpha-AlFeSi$. Oleh karena itu, umumnya peningkatan kadar Fe dalam paduan aluminium dibatasi maksimum hanya 1% saja.

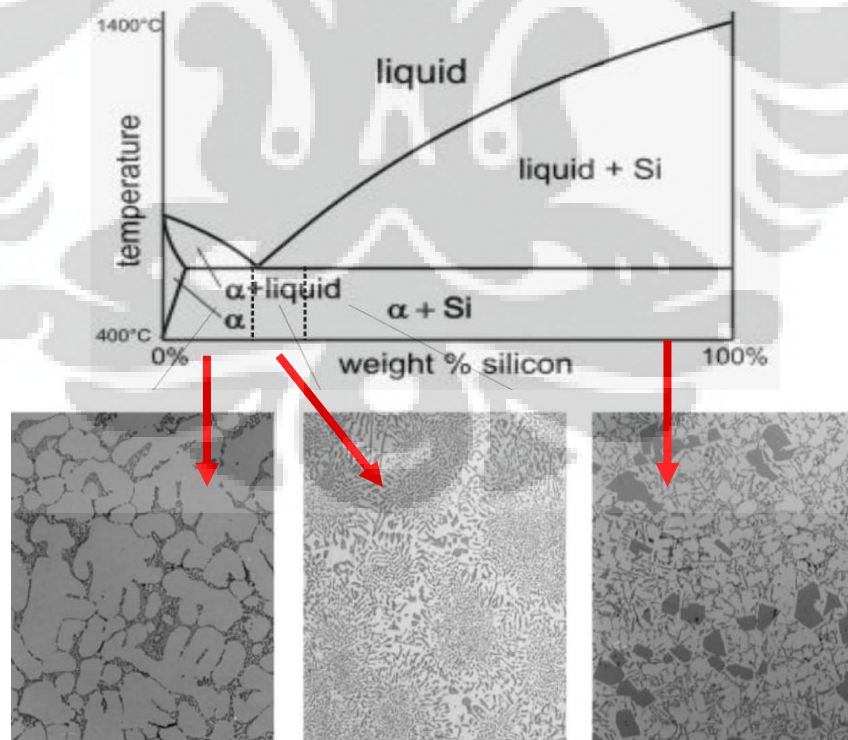
Pada penelitian ini, penulis menggunakan matriks berupa aluminium AC8H (standar JIS) yang memiliki kesamaan komposisi dengan AA 336.0 pada penamaan Aluminium Association (AA). Paduan utama pada aluminium adalah unsur silikon. Pada paduan aluminium silikon, titik eutektik berada pada temperatur 577°C pada kandungan silikon 11,7%. Diagram fasa Al-Si dapat dilihat pada Gambar 2.2 dibawah :



Gambar 2. 2. Diagram fasa Al-Si^[16]

Paduan aluminium-silikon (Al-Si) memiliki tingkat fluiditas dan mampu cor yang baik. Paduan ini dibagi menjadi tiga^[16], yaitu:

- Paduan hipoeutektik, memiliki kandungan silikon 5-10%
- Paduan eutektik, memiliki kandungan silikon 11-13%
- Paduan hipereutektik, memiliki kandungan silikon 14-25%



Gambar 2. 3. Diagram fasa Al-Si dengan struktur mikro dari a) Al-Si Hipoeutektik, b) Al-Si Eutektik, dan c) Al-Si Hipereutektik^[17]

Kondisi eutektik pada proses pengecoran sangat diinginkan karena 2 hal, yaitu :

a) kondisi eutektik menghindari fasa lumpur, sehingga pada saat solidifikasi tidak ada material yang membeku terlebih dahulu, sehingga memiliki fluiditas yang baik^[16].

b) kondisi eutektik memiliki titik lebur terendah dibanding kadar Si lainnya (dengan mengacu pada diagram fasa Al-Si), sehingga efisien dalam bahan bakar pada tahap peleburan^[16].

Pada penelitian ini, penulis menggunakan matriks berupa aluminium AC8H (standar JIS) yang memiliki kesamaan komposisi dengan AA 336.0 pada penamaan Aluminium Association (AA). Tabel 2.4 dibawah ini merupakan tabel komposisi aluminium AA 336.0 :

Tabel 2. 4. Standar Komposisi Material Aluminium AA 336.0, AC8A, dan AC8H^[13]

	AA 336.0	AC8A	AC8H
Si	11,00 - 13,00	11,00 - 13,00	10,50 - 11,50
Mg	0,7 - 1,3	0,7 - 1,3	0,7 - 1,3
Cu	0,5 - 1,5	0,8 - 1,3	2,50 - 3,50
Zn	0,35 - max	0,1 - max	0,1 - max
Ni	2,00 - 3,00	1,0 - 2,5	0,1 - max
Fe	1,2 - max	0,8 - max	0,4 - max

AC 8H menunjukkan kandungan unsur Cu sebesar 2,50 - 3,50 % yang artinya kandungan Cu berada diatas standar AA 336.0 (0,5 – 1,5) dan kadar Ni yang berada pada 0,1 – max berada pada standar AA 336.0 (0,1 – max).

Kandungan AC8H yang tidak memenuhi semua standar AA 336.0 diperkirakan tidak mempengaruhi secara signifikan karena kandungan Cu hanya berada sedikit diatas standar dan kandungan Ni juga sedikit dibawah standar, sehingga sifat mekanisnya antara AC8H aktual akan mirip dengan material AA 336.0

Penamaan AC8H menunjukkan sistem penamaan dengan menggunakan standar JIS yang dipakai oleh negara Jepang. Komponen otomotif seperti piston merupakan contoh aplikasi dari paduan AC8A. AC8A memiliki nama dagang AC8H, merupakan material yang cocok digunakan sebagai piston kendaraan bermotor. Penggunaan AC8H sebagai piston tidak terlepas

dari komposisi kimia pada material tersebut. Tabel 2.5 berikut adalah komposisi kimia dari AC8A :

Tabel 2. 5. Komposisi Kimia Aluminium *Ingot* AC8A^[13]

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr
% Berat	11- 13	0,8- 1,3	0,8- 1,3	0,7 max	0,15 max	0,8- 1,5	0,15 max	0,2 max	0,10 max

AC8H memiliki sedikit perbedaan pada komposisinya. Dengan memodifikasi komposisi kimia dari standar AC8A.

Tabel 2. 6. Komposisi Kimia Aluminium *Ingot* AC8H^[13]

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr	Pb	Sn
% Berat	10,5- 11,5	2,5- 3,5	0,7- 1,3	0,05 -0,4	0,1 max	0,1 max	0,1 max	0,2- 0,3	0,05 max	0,05 max	0,05 max

2.2.2. Silikon Karbida (SiC)

Silikon karbida (SiC) merupakan salah satu jenis keramik yang sering digunakan sebagai penguat dalam komposit. Silikon karbida diproduksi dengan silika reaktif dari tanah dan karbon dari proses pemanasan pada temperatur 2400°C di dalam dapur listrik serta memiliki kekerasan dan modulus elastisitas yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis pada aplikasi material komposit (dalam hal ini aluminium matriks komposit).

SiC hijau adalah salah satu jenis silikon karbida dengan kadar pengotor yang sangat kecil (memiliki tingkat kemurnian yang relatif tinggi), berbeda dengan SiC hitam yang memiliki SiO₂ bebas sebagai pengotornya^[18]. Pada penelitian ini Penulis menggunakan partikel SiC hijau sebagai penguat. Sifat-sifat fisik, mekanik, dan panas dari SiC secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut ini:

Tabel 2. 7. Data Sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat panas silikon karbida^[13]

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa Jenis	g/cm ³	3,15
Berat Atom	g/mol	40,1
Warna	-	Hitam
Struktur Kristal	-	Hexagonal
Titik Lebur	°C	2700
Titik Didih	°C	2972
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Modulus Elastisitas	Gpa	410
Poisson's Ratio	-	0,14
Kekuatan Tekan	Mpa	3900
Kekerasan	VHN	3500
Kekuatan Luluh	MPa	450
Ketangguhan	Mpa m	4,5
Sifat Panas	Satuan	Nilai
Konduktivitas Panas	W/m°K	120
Koefisien Ekspansi Panas	10 ⁶ /°C	4
<i>Spesific Heat</i>	J/Kg.K	750
Kapasitas Panas	J/Kg.K	628

Dengan meningkatnya fraksi volume partikel SiC pada matriks aluminum, dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan MMC sesuai dengan hukum pencampuran (*Rule Of Mixture*)^[11].

2.2.3. Magnesium (Mg)

Dalam pembuatan komposit, Mg digunakan sebagai *wetting agent*, yaitu untuk meningkatkan pembasahan antara matriks dan penguat, dengan cara menurunkan tegangan permukaan antara keduanya. Sifat-sifat fisik, mekanik, dan panas dari magnesium secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.8 dibawah :

Tabel 2. 8. Data sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat panas magnesium^[13]

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa Jenis	g/cm ³	1,74
Berat Atom	g/mol	24,305
Warna	-	Putih Keperakan
Struktur Kristal	-	Hexagonal
Titik Lebur	°C	650
Titik Didih	°C	1090
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Poisson's Ratio	-	0,22
Kekuatan Luluh	MPa	45
Kekerasan	BHN	260
Sifat Panas	Satuan	Nilai
Konduktivitas Panas	W/m°K	35
Koefisien Ekspansi Panas	10 ⁶ /°C	24,8
<i>Specific Heat</i>	J/Kg.K	24,87

2.3. Efek Penambahan Penguat Keramik SiC Terhadap Komposit Matriks Aluminium

Viskositas dari lelehan logam akan menurun saat temperatur peleburannya dinaikkan, namun saat serbuk penguat dimasukkan maka viskositasnya akan meningkat secara signifikan, sehingga leburan logam akan membentuk lumpur^[2]. Penambahan dari penguat SiC yang memiliki kekuatan tinggi dan modulus kekakuan yang tinggi pada matriks logam aluminium yang ulet akan menghasilkan material komposit dengan sifat mekanis berada di antara matriks logam dan penguat keramik tersebut^[5].

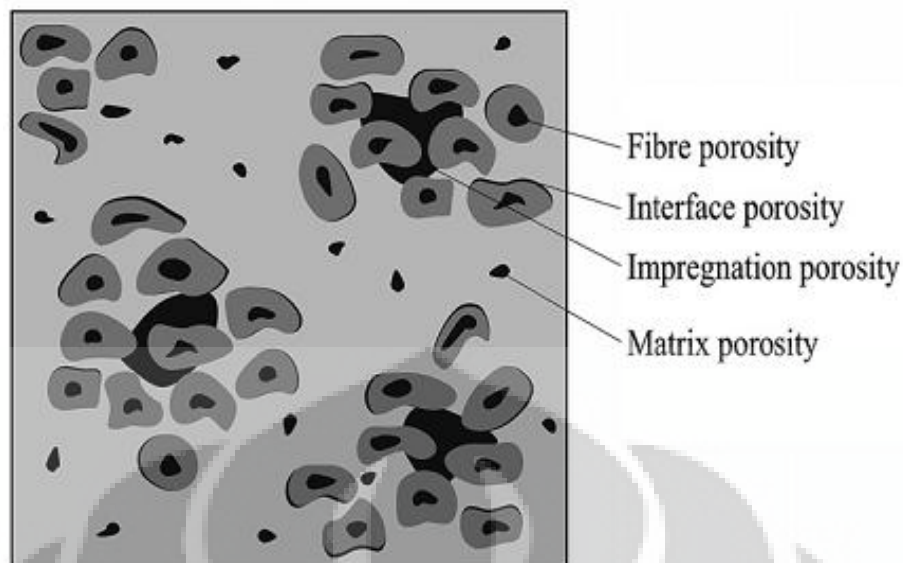
Dengan penambahan penguat keramik dalam jumlah fraksi volume lebih dari 10% akan memberikan pengaruh kepada sifat karakteristik dari matriks

aluminum di dalam AMC^[1], seperti meningkatkan modulus elastis, kekuatan tarik, dan kekuatan luluh^[10] namun juga akan menurunkan densitas, keuletan dan ketahanan patah^[11]. Pengurangan densitas ini bisa disebabkan karena terbentuknya porositas pada material komposit. Keberadaan porositas bisa disebabkan 2 hal, akibat gas yang terperangkap dan *particle pull-out*. *Particle pull-out void* disebabkan antarmuka yang tidak terbentuk optimal sehingga saat dilakukan pengujian metalografi (pengamplasan dan pemolesan), partikel SiC bisa lepas dari matriks aluminium^[6]. Peningkatan kadar penguat pada komposit juga sebanding dengan level porositasnya^[6] sesuai Gambar 2.4 :

Starting powder	Porosity (%)	SiC (vol.%) in the coating	Hardness (HV ₃₀₀)	Shear force/bond strength
Al-12%Si alloy	0.78 ± 0.52	N/A	112 ± 5	(1522 ± 266) N/ (21.7 ± 3.8) MPa
Al-12%S + 20% SiC _p	1.30 ± 0.74	14.5 ± 2.7	158 ± 12	(1465 ± 303) N/ (20.9 ± 4.3) MPa
Al-12%S + 40% SiC _p	2.10 ± 0.85	27.7 ± 3.5	212 ± 16	(1167 ± 233) N/ (16.7 ± 3.6) MPa
Al-12%S + 60% SiC _p	6.30 ± 2.15	41.0 ± 4.3	198 ± 27	-

Gambar 2. 4. Perbandingan kadar penguat SiC dengan porositas komposit Al-SiC^[6]

Pengaruh porositas terhadap kekuatan mekanik komposit bisa dijelaskan melalui berkurangnya daerah penahan beban dari luar dan adanya konsentrasi tegangan di daerah sekitar poros tersebut, sehingga mengurangi kemampuan komposit akan gaya luar^[19]. Prediksi secara tepat kekuatan mekanik dari material dapat dilakukan dengan mempertimbangkan bentuk poros, orientasi poros, dan volume poros. Analisa poros pada umumnya hanya mempertimbangkan efek fraksi volume porositas dalam kaitannya dengan kekuatan komposit^[20].



Gambar 2. 5. Jenis-jenis porositas yang mungkin terjadi pada komposit^[21]

Jika kita bisa meminimalisir porositas pada material komposit, seperti Gambar 2.5 diatas maka seharusnya densitas dari komposit tersebut meningkat. Variasi fraksi volume juga sebanding dengan densitas komposit, makin besar fraksi volume penguat maka nilai densitas komposit semakin naik, dan semakin rendah nilai fraksi volume penguat maka densitas komposit juga semakin turun^[20].

Pengaruh terhadap unsur intrinsik meliputi perubahan struktur mikro, karakteristik perlakuan panas dan panastekanan. Perubahan-perubahan ini secara signifikan merubah sifat fisik, mekanik, dan tribologi dari paduan aluminum.

- Struktur solidifikasi dari AMCs: dengan hadirnya keramik sebagai penguat bisa merubah sifat dari pendinginan dari paduan aluminum , yaitu dengan keramik akan menjadi penghalang untuk terjadinya difusi dari panas ke pendinginan.

- Efek *age hardening*: modifikasi ini tergantung kepada komposisi, ukuran, dan morfologi matriks, dan besar fraksi volume dari penguat serta metode pembuatannya^[10].

- Tekanan pelepasan panas: AMC pada saat fabrikasi pada temperatur lebih dari 500°C, dan panas tegangan sisayang besar terdapat pada saat pendinginan. Besarnya panas sisategangan ini berhubungan dengan jenis dari penguatnya, fraksi volume, diameter dan aspek rasio.

Sebagai contoh, tegangan sisa panas (uji tarik) lebih dari 200 MPa didapat pada komposit bermatriks Al dengan 30% fraksi volume SiC_p. Kehadiran panas sisa tegangan ini simetris dengan nilai luluh, dan juga mempengaruhi sifat *fatigue* dan *creep* dari AMCs.

Distribusi partikel penguat yang didapat sangat ditentukan oleh beberapa parameter saat peleburan, pengadukan, sampai tahap solidifikasi. Parameter yang dimaksud seperti viskositas lelehan logam (dalam hal ini aluminium), kecepatan transfer panas, pembasahan material, metode pengadukan, agglomerasi partikel sebelum dan sesudah pengadukan, bentuk cetakan, dan suhu pencampuran^[2].

Secara umum, penguat keramik yang digunakan pada pembuatan MMC bersifat tidak mampu terbasah oleh lelehan logam (dalam hal ini SiC), sehingga membutuhkan energi pendorong eksternal untuk membuat keduanya berikatan. Pembasahan antara keduanya ini dipengaruhi oleh reaksi kimia yang terjadi, temperatur saat penambahan penguat, dan kecepatan pengadukan. Ketika energi yang dibutuhkan untuk berikatan telah tercapai, maka antarmuka antar keduanya akan terbentuk dengan stabil^[2].

Pengaruh ukuran partikel penguat terhadap perilakunya dalam lelehan logam^[2]:

- a) partikel dengan ukuran dibawah 10 mikrometer akan terbawa oleh lelehan dan gravitasi bisa diabaikan.
- b) partikel dengan ukuran antara 10-100 mikrometer tidak dapat mengabaikan pengaruh gravitasi dan kecenderungan untuk membentuk agglomerat akan meningkat.
- c) partikel dengan ukuran 100-1000 mikrometer sangat dipengaruhi gravitasi dan memiliki kecenderungan untuk turun kebawah sehingga untuk mendistribusi partikel ini diperlukan kecepatan pengadukan yang lebih.

Massa jenis partikel penguat, ukuran, bentuk, dan volum fraksinya akan mempengaruhi kemungkinan partikel untuk membentuk agglomerat^[2]. Nilai dari kekerasan suatu komposit dipengaruhi volume fraksi penguat dan distribusinya, tanpa dipengaruhi oleh ukuran partikel penguat^[22].

Kondisi partikel penguat yang akan ditambahkan ke komposit juga memiliki pengaruh terhadap sifat mekanik komposit, hal yang sering terjadi adalah retak mikropada partikel penguat yang menyebabkan turunnya kekuatan mekanik^[19].

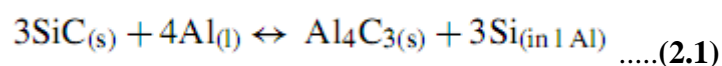
2.4. Rekayasa Permukaan Terhadap SiC di Komposit Matriks Aluminium

2.4.1. AntarMuka pada Matriks dan Penguat

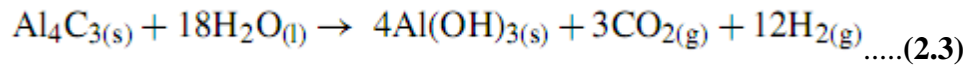
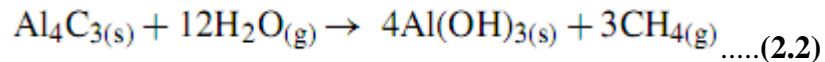
Peran antarmuka pada komposit matriks aluminium sangat krusial karena menentukan sifat mekanis MMC, seperti kekakuan, ketahanan patah, *fatigue*, koefisien ekspansi panas, *creep*, dan konduktivitas panas. Penguatan di komposit dengan partikel penguat bergantung pada kekuatan ikatan yang baik antara matriks dan penguat^[23]. Telah dapat dipahami bahwa sifat pada daerah antar muka komposit memainkan peranan yang amat penting pada sifat mekanik komposit^[24]. Persyaratan dasar kekuatan komposit terletak pada kualitas antarmuka matriks dan penguat, karena antarmuka ini menjadi sarana transmisi tegangan dari luar, menuju matriks kemudian penguat^[20].

Ikatan yang kuat antara matriks dan penguat SiC akan dapat menahan indentasi pada pengujian kekerasan dengan lebih baik sehingga nilai kekerasan komposit meningkat, sedangkan ikatan yang buruk antara matriks dan penguat tidak memiliki kekuatan yang cukup dalam menahan beban indentasi^[25].

Ikatan pada antarmuka yang baik akan mampu mentransfer dan mendistribusikan beban dari matriks ke penguat. komposit matriks aluminium Al/SiC sangat potensial untuk digunakan pada aplikasi struktural di industri transportasi. Akan tetapi material tersebut memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah untuk diaplikasikan. Kelemahan tersebut diduga berhubungan dengan struktur pada daerah antar-muka dan faktor fabrikasi. Masalah utama dalam proses fabrikasi MMC ini karena SiC bereaksi dengan lelehan aluminium (Al) membentuk aluminium karbida yang getas (Al_4C_3). Pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa dalam pembuatan komposit Al/SiC harus menghindari terbentuknya lapisan Al_4C_3 yang bisa merusak sifat pembasahan dari SiC terhadap logam Al^{[7][18]}. Reaksi antara SiC dan Al yang mungkin terjadi adalah:



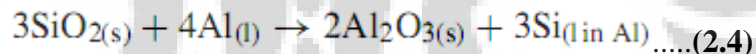
Setelah itu, ketika Al_4C_3 ini terbentuk, maka akan bereaksi menjadi :



Reaksi di atas terjadi karena padatan SiC terlarut dalam lelehan aluminium membentuk fasa Al_4C_3 pada antarmuka. Pada reaksi yang mengikuti persamaan reaksi diatas, konsentrasi Si (silikon) dalam lelehan meningkat pada temperatur cair. Pembentukan aluminium karbida ini menghambat pembasahan dari penguat SiC. Untuk itu diperlukan pra-oksidasi buatan untuk memperoleh lapisan SiO_2 pada penguat SiC^[18].

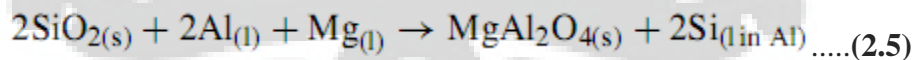
Keberadaan Si memberikan dampak positif dalam menurunkan pembentukan fasa Al_4C_3 dengan membentuk SiO_2 , akan tetapi dengan meningkatnya kadar Si (silikon) kekuatan dan keuletan material komposit Al/SiC menurun, sehingga hal tersebut tidak diinginkan dalam aplikasi struktural yang menginginkan ketangguhan dan kekuatan pada material komposit.

Lapisan SiO_2 ini yang nantinya akan bereaksi dengan Mg membentuk fasa spinel MgAl_2O_4 pada permukaan serbuk SiC yang meningkatkan nilai pembasahan pada permukaan^[7]. Reaksi yang terjadi adalah :

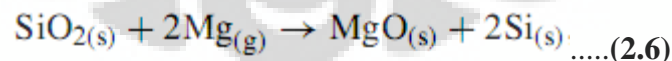


Reaksi antara SiO_2 dan aluminium tidak meningkatkan pembasahan aluminium pada serbuk penguat SiC^[26].

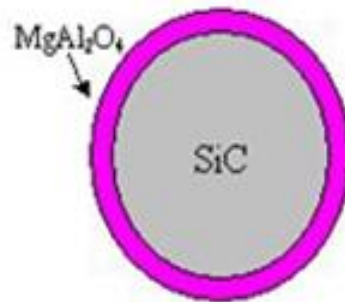
Dan dengan adanya Mg, maka akan terbentuk fasa spinel dengan reaksi :



Silika juga bereaksi dengan Mg yang telah menguap (pada fase gas):



Lapisan MgAl_2O_4 yang terbentuk seperti Gambar 2.6 pada antarmuka matriks aluminium dengan penguat SiC ini sangat menentukan sifat mekanis komposit bergantung pada ketebalannya^[18].



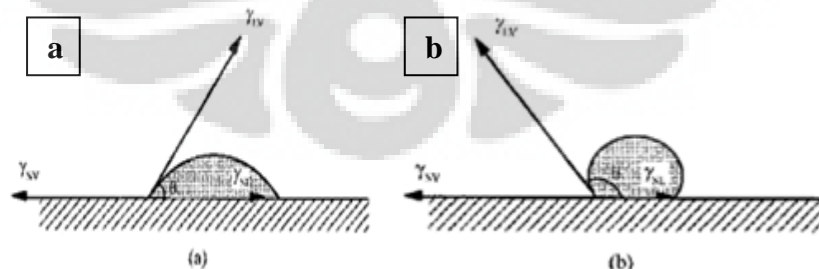
Gambar 2. 6. Pembasahan penguat SiC oleh magnesium pada fasa spinel^[34]

2.4.2. Kemampuan Pembasahan (*Wettability*) Pada Komposit

Aspek kemampubasahan antara penguat terhadap matriks aluminium merupakan aspek penting yang menentukan kekuatan material komposit^[24]. Kemampubasahan penguat terhadap matriks dapat dilakukan dengan pembentukan ikatan kimia yang kuat pada antar-muka. Perilaku kemampubasahan dapat diketahui dengan menghitung sudut kontak dan tegangan permukaannya, seperti Gambar 2.7. Pembasahan permukaan padat terhadap permukaan cair dapat diketahui berdasarkan persamaan Young:

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_{LV} \cos \theta \dots (2.7)$$

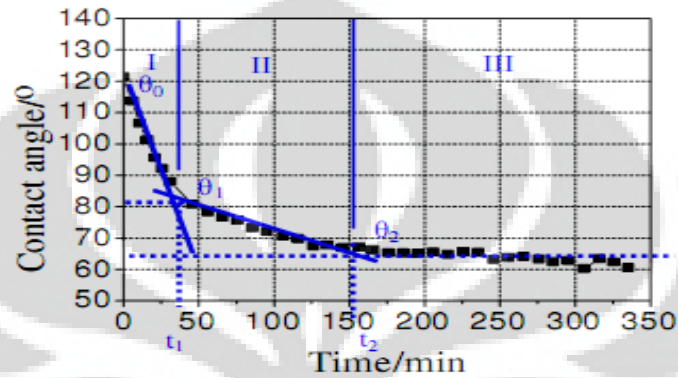
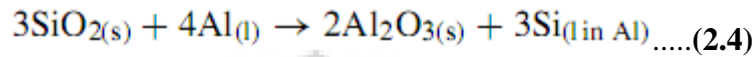
Dimana γ_{SV} energi bebas per unit area pada permukaan padat dan gas, γ_{LV} tegangan permukaan antara permukaan cair dan gas, γ_{LV} energi *interfacial* dan θ adalah sudut kontak. Berdasarkan persamaan di atas, sudut kontak (θ) menurun apabila terjadi peningkatan energi permukaan padatan (γ_{SL}), penurunan energi interfasial padat/cair atau dengan penurunan tegangan permukaan cairan (γ_{LV}). Jadi lelehan logam dikatakan membasahi partikel penguat apabila $\theta < 90^\circ$, yaitu ketika $\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$.



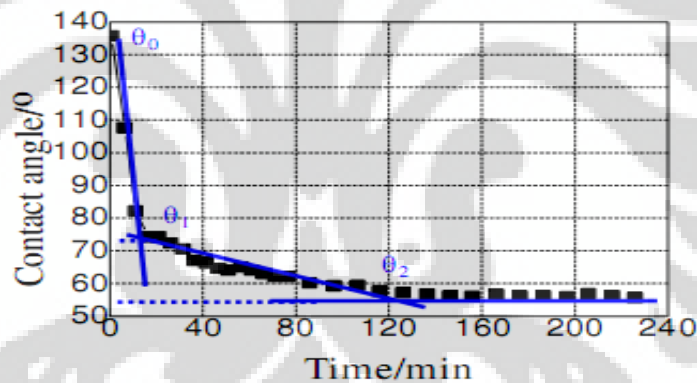
Gambar 2. 7. Ilustrasi skematik sudut kontak (a) terjadi pembasahan (b) tidak terjadi pembasahan^[13]

Preheating pada penguat SiC juga memiliki pengaruh terhadap pembasahan dari komposit (seperti Gambar 2.8 – 2.10). Semakin tinggi suhu

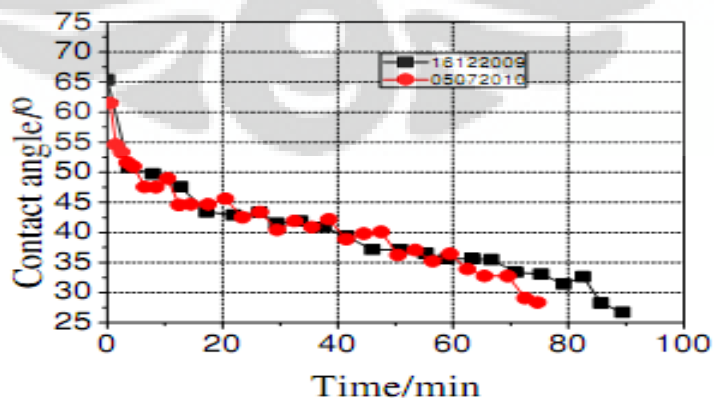
preheating penguat dan lamanya *preheating* (dalam hal ini partikel SiC) akan mempermudah pembasahan atau memperkecil sudut kontak antara matriks dan penguat^[26]. *Preheating* pada penguat SiC ini berguna untuk membentuk lapisan SiO₂ sesuai persamaan 2.4 dan mencegah pembentukan fasa Al₄C₃ yang bersifat getas.



Gambar 2. 8. Sudut kontak vs. waktu untuk aluminium pada SiC pada *preheating* suhu 1000°C^[26]



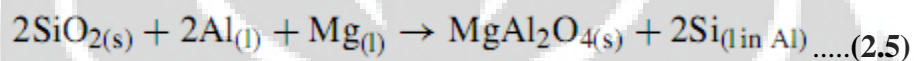
Gambar 2. 9. Sudut kontak vs. waktu untuk aluminium pada SiC pada *preheating* suhu 1100°C^[26]



Gambar 2. 10. Sudut kontak vs. waktu untuk aluminium pada SiC pada *preheating* suhu 1200°C^[26]

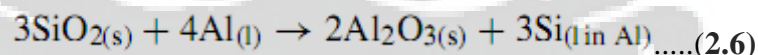
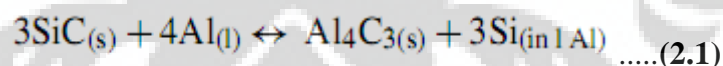
2.4.3. Penambahan Elemen Magnesium (Mg)

Penambahan magnesium pada pembuatan komposit matriks aluminium dengan penguat keramik dapat meningkatkan pembasahan dan daya lekat antara matriks dan penguat-nya dengan membentuk fasa spinel $MgAl_2O_4$ dan MgO pada daerah antarmuka matriks aluminium dengan penguat SiC ^[23]. Fasa spinel tersebut dapat mereduksi tegangan permukaan antara matriks dan penguat sehingga dapat meningkatkan daya lekat antara keduanya. Daya lekat yang baik antara matriks dan penguat ini berhubungan dengan kemampuan komposit dalam mendistribusikan gaya luar dari matriks menuju penguat secara merata. Dengan kata lain, penambahan Mg dapat meningkatkan sifat mekanis dari material komposit^[7].



2.4.4. Perlakuan Panas pada Penguat SiC

Salah satu cara untuk meningkatkan pembasahan pada komposit matriks aluminium adalah dengan melakukan pemanasan (*preheating*) pada material keramik. Pada pembuatan komposit Al/SiC, mula-mula partikel SiC dilakukan pemanasan pada temperatur tinggi ($400-500^{\circ}C$) agar pada permukaan partikel tersebut terbentuk SiO_2 yang nantinya bereaksi dengan Mg membentuk fasa spinel $MgAlO_4$ ^[7].



Lapisan tersebut dapat mencegah terbentuknya fasa aluminium karbida (Al_4C_3), sehingga daya ikat antara matriks dan penguat dapat meningkat.

Preheating partikel penguat SiC memiliki 3 tujuan, yaitu^[27] :

- a) membersihkan permukaan penguat
- b) mengeringkan penguat dari uap gas yang ada
- c) memperbaiki permukaan penguat untuk memperbaiki pembasahan

Partikel penguat SiC yang teroksidasi meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus suatu komposit, namun dispersinya masih tidak sebaik partikel penguat yang

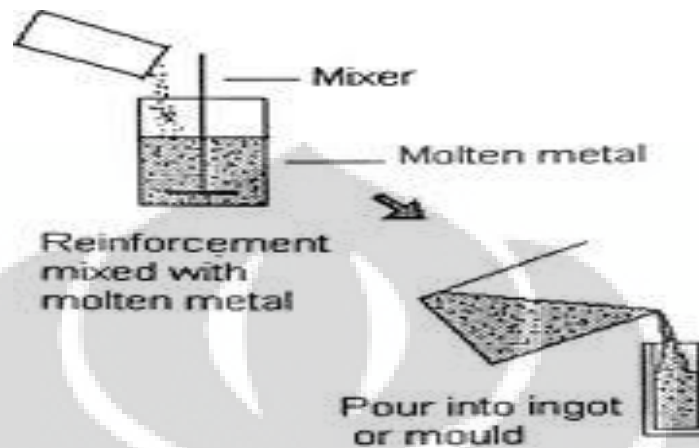
dilapisi^[25]. Ketebalan dari suatu antarmuka sangat mempengaruhi kekuatan mekanik komposit (*fracture strength*). Menurut penelitian Ochiai, et.al didapat bahwa ketebalan kritis lapisan antar-muka pada serat SiC berada pada kisaran 0.17-0.62 mikrometer^[24]. Meningkatnya waktu *preheating* untuk partikel penguat meningkatkan kekuatan antarmuka-nya dalam matriks dan meningkatkan distribusi partikel penguat karena mencegah partikel untuk bertemu satu sama lain akibat fasa spinel yang terbentuk^[25]. Menurut penelitian Lee et,al^[18] lapisan SiO² setebal 100nm dapat dibentuk pada permukaan SiC jika melakukan *preheating* pada suhu 1100⁰C selama 2 jam dan lapisan setebal 1000nm pada *preheating* di suhu 1300⁰C selama 40 jam. Ketebalan lapisan ini juga bergantung pada ukuran partikel SiC dan lamanya waktu *preheating*. Urena et, al melakukan penelitian dan mendapat hasil bahwa dengan suhu pemanasan 1500⁰C dengan partikel berukuran 18mikrometer didapat lapisan setebal 50nm dan dengan partikel berukuran 43 mikrometer didapat lapisansetebal 160nm^[18].

2.5. *Stir Casting*

Ada beberapa kendala dalam proses pembuatan komposit matriks aluminium, yang pertama adalah masalah distribusi partikel penguat dalam matriks (homogenitas) yang sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik MMC tersebut. Permasalahan tersebut kini bisa diminimalisir melalui metode produksi, yaitu *stir casting*. Namun untuk memperoleh produk komposit yang baik melalui metode ini, maka harus dilakukan identifikasi mengenai parameter yang optimum dalam metode *stir casting* ini^[2].

Stir casting merupakan salah satu metode pembuatan komposit dengan melakukan pengadukan mekanik pada logam yang berfungsi sebagai matriks diatas temperatur leburnya kemudian dituang ke dalam cetakan^[10] sesuai Gambar 2.11. Pada proses ini partikel penguat dimasukkan ke dalam logam cair, kemudian dilakukan pengadukan dengan menggunakan batang pengaduk, kemudian dituang ke dalam suatu cetakan dan meminimalisir terbentuknya *cluster-cluster* penguat SiC, yang merupakan sifat alami dari partikulat dalam lelehan^[28]. Menurut literatur, posisi pengaduk saat proses pengadukan adalah tenggelam dalam lelehan dengan 35% material berada dibawah dan 65% material berada di

atasnya^[5]. Porositas pada komposit Al/SiC ini juga dapat terbentuk akibat *clustering* partikel penguat. Akibatnya, lelehan logam aluminium tidak dapat masuk / menginfiltrasi celah di tengah *cluster* penguat SiC tersebut sehingga terbentuk poros^[27].



Gambar 2. 11. Skema proses *stir casting*^[2]

Berdasarkan penelitian sebelumnya, telah didapat bukti bahwa sebuah partikel penguat dalam matriks logamnya memiliki kecenderungan untuk mengikat satu suatu lelehan logam, maka makin cepat terbentuk agglomerat^[2]. Menurut penelitian Manoj Sangla^[20], jika kita memasukkan serbuk penguat SiC pada lelehan aluminium tanpa proses pengadukan maka pada pengamatan struktur mikro akan ditemukan daerah yang sama lain, atau yang disebut agglomerasi / *clustering* dibanding terdistribusi merata per-partikelnya pada lelehan logam. Semakin tinggi volume fraksi penguat dalam memiliki *cluster* SiC dan ada daerah yang tanpa inklusi SiC^[5]. Hal ini harus dihindari karena distribusi penguat yang homogen menyebabkan tidak adanya lagi agglomerasi penguat, yang akan memicu konsentrasi tegangan dan *thermal shock* dengan matriks sekitar.

Sangat penting untuk memiliki distribusi partikel penguat yang merata dalam pembuatan komposit melalui metode *stir casting*, namun harus diperhatikan jangan sampai ada gas yang terperangkap karena selain menimbulkan poros gas tersebut juga dapat menyelubungi partikel penguat^[2]. Proses *degassing* dilakukan dalam peleburan aluminium karena gas hidrogen sangat mudah larut dalam aluminium cair khususnya pada temperatur tinggi yang menghasilkan lapisan Al₂O₃. *Degassing* dapat dilakukan dengan menggunakan *plugging degasser* maupun dengan injeksi gas. Setelah peleburan aluminium,

kemudian mencampurkan partikel penguat keramik dalam lelehan aluminium tersebut.

Pengadukan dilakukan karena perbedaan massa jenis antara partikel penguat dengan matriks aluminium, dimana massa jenis penguat SiC yaitu $3,2 \text{ gr/cm}^3$, lebih besar dibandingkan dengan massa jenis Al yang berada pada kisaran $2,7 \text{ gr/cm}^3$, sehingga kemungkinan partikel akan mengendap pada bagian bawah *ladle*. Oleh karena itu dilakukan pengadukan agar penyebaran penguat SiC merata dalam matriksnya. Pengaduk yang digunakan diusahakan tidak ikut bereaksi serta dilakukan pelapisan dan *preheating* untuk menghindari keberadaan gas hidrogen yang dapat menyebabkan adanya porositas setelah solidifikasi.

2.6. Perlakuan Panas Aluminium

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu paduan adalah komposisi kimia, perlakuan panas, proses pengecoran, dan proses pengerjaan. Jadi dengan mengubah komposisi kimia sampai batas tertentu dan memberi perlakuan panas maka sifat mekanik paduan akan menjadi lebih baik sesuai dengan yang diinginkan^[15]. Paduan aluminium baik hasil tempa maupun cor dapat ditingkatkan kekuatannya dengan cara perlakuan panas (untuk paduan yang mampu diperlakukan panas) namun jika tidak, dapat dilakukan dengan pengerjaan dingin. Proses perlakuan panas aluminium hasil pengecoran memiliki beberapa tujuan, seperti meningkatkan kekuatan mekanis, untuk menstabilkan properti fisik atau dimensi, dan yang paling penting untuk menghilangkan tegangan sisa dari aluminium tersebut.

Ada beberapa jenis proses perlakuan panas yang biasa dilakukan pada paduan aluminium yang mampu diberi perlakuan-panas, yang biasanya diawali dengan penandaan huruf W dan T. Penandaan W biasanya menyatakan kondisi tidak stabil dan tidak umum digunakan. Penandaan T yang diikuti angka 1 sampai 10 menyatakan proses yang diberikan pada logam cor dan paduan. Penjelasan mengenai proses perlakuan panas dengan penandaan T dijelaskan sebagai berikut^[16] :

- a. T1, didinginkan dari proses pembentukan dengan kenaikan suhu dan *natural ageing* sampai kondisi substansi stabil. Penandaan ini

diberikan pada produk yang tidak mengalami pengerjaan dingin setelah proses pembentukan dengan kenaikan suhu seperti proses pencetakan dan proses ekstrusi dan untuk sifat mekanis setelah distabilisasi dengan *ageing* pada suhu ruang. Penandaan ini juga diberikan untuk produk yang diratakan dan diluruskan setelah proses pendinginan dari proses pembentukan.

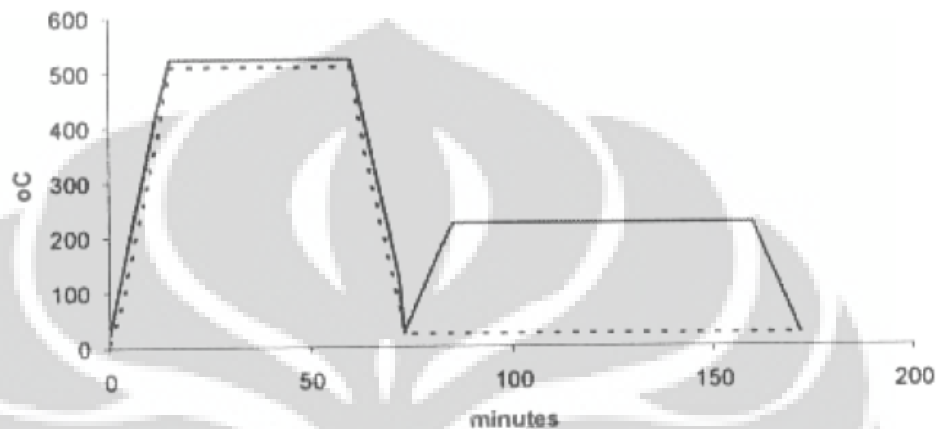
- b. T2, didinginkan dari proses pembentukan dengan kenaikan suhu, pengerjaan dingin, *natural ageing* sampai kondisi substansi stabil. Penandaan ini diberikan pada produk yang tidak mengalami pengerjaan dingin untuk meningkatkan kekuatan setelah pendinginan dari proses pengerjaan panas seperti canai atau ekstrusi dan untuk properti mekanis yang telah distabilisasi dengan *ageing* pada suhu ruang.
- c. T3, *solution heat-treated, cold work, and naturally aged* sampai kondisi substansi stabil. T3 diberikan untuk produk yang mengalami pengerjaan dingin untuk meningkatkan kekuatan setelah *solution heat-treatment* dan untuk sifat mekanis yang telah distabilisasi dengan *ageing* pada suhu ruang.
- d. T4, *solution heat-treated and naturally aged* sampai kondisi substansi stabil. Penandaan ini diberikan pada produk yang tidak mengalami pengerjaan dingin setelah *solution heat-treatment* dan untuk properti mekanis yang telah distabilisasi dengan *ageing* pada suhu ruang.
- e. T5, didinginkan dari proses pembentukan dengan kenaikan temperatur dan *artificially aged*. Penandaan ini diberikan pada produk yang tidak mengalami pengerjaan dingin setelah didinginkan dari proses pembentukan dengan kenaikan suhu, seperti pencetakan dan ekstrusi, dan untuk sifat mekanis yang telah dikembangkan dengan *artificial ageing*.
- f. T6, *solution heat-treatment dan artificially aged*. Penandaan ini diberikan pada produk yang mengalami pendinginan setelah *solution heat-treatment* dan untuk properti mekanis, atau kestabilan

dimensi atau keduanya, yang substannya dikembangkan dengan *artificial ageing*.

- g. T7, *solution heat-treated and overaged or stabilized*. Penandaan ini diberikan pada produk *wrought* yang telah mengalami *artificial ageing* setelah *solution heat-treatment* diluar puncak kekuatan agar dihasilkan karakter spesial, seperti meningkatkan ketahanan korosi retak tegang atau pengelupasan. Penandaan ini juga diberikan pada produk *cast* yang telah mengalami *artificial ageing* setelah *solution heat-treatment* untuk mendapatkan stabilitas kekuatan dan dimensional.
- h. T8, *solution heat-treated, cold work, and artificial aged*. Penandaan ini diberikan pada produk yang mengalami pengerjaan dingin, setelah *solution heat-treatment*, yang secara spesifik untuk meningkatkan kekuatan dan untuk meningkatkan kekuatan dan untuk sifat mekanis, atau kestabilan dimensional, atau keduanya, yang substannya dikembangkan dengan *artificial ageing*.
- i. T9, *solution heat-treated, artificial ageing*, dan pengerjaan dingin. Penandaan ini diberikan pada produk yang mengalami pengerjaan dingin setelah *artificial ageing* yang secara spesifik untuk meningkatkan kekuatan.
- j. T10, didinginkan dari proses pembentukan kenaikan suhu, pengerjaan dingin, dan *artificial ageing*. Penandaan ini diberikan untuk produk yang mengalami pengerjaan dingin yang secara spesifik untuk meningkatkan kekuatan setelah proses pendinginan dari proses pembentukan dengan kenaikan suhu, seperti *rolling* atau ekstrusi, dan untuk properti mekanis yang telah dikembangkan oleh *artificial ageing*.

Pada umumnya aluminium diberi perlakuan panas T4 dan T6 seperti Gambar 2.12. Pada PT. X. Proses T4 (*natural ageing*) adalah sebuah rekayasa yang dilakukan dengan memanaskan material pada *solution heat-treated* (suhu 530⁰C) kemudian di-*quench* (suhu 60⁰C) dan dilanjutkan dengan *ageing* pada suhu kamar. Sedangkan pada proses T6 (*artificial ageing*), *ageing* dilakukan pada suhu

220⁰C selama 2 jam dengan suhu *solution treatment* 530⁰C selama 4 jam dan *quenching* pada suhu 60⁰C selama 20 detik. Sedangkan menurut literatur^[29], untuk material aluminium yang Penulis gunakan (A 336.0), proses perlakuan panas T6 seharusnya dilakukan pada *solution treatment* 515⁰C selama 8 jam, *quench* air, kemudian *ageing* pada suhu 205⁰C selama 7-9 jam. Perbandingan siklus T4 dan T6 ada pada gambar 2.10:



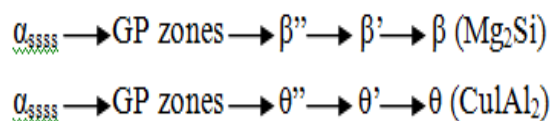
Gambar 2. 12. Contoh siklus *ageing*, dengan garis lurus adalah T6^[16]

Pada proses perlakuan panas yang dilakukan Penulis adalah T6. Proses T6 digunakan demi tujuan efisiensi waktu dalam hal kecepatan mencapai kekerasan. Proses T6 dapat mencapai kekerasan yang tinggi dalam waktu yang singkat, sedangkan T4 dapat melebihi tingkat kekerasan tersebut namun dalam waktu yang lama. Oleh karena itu, untuk kegiatan industri T6 sangat diperlukan. *Ageing treatment* merupakan suatu metode yang efektif dalam memperoleh mikrostruktur yang stabil dan peningkatan kekuatan serta kekerasan. Efektivitas dari *age hardening* ini tergantung dari bentuk, ukuran, dan volume fraksi penguat, distribusi partikel dan suhu *ageing*^[30]. Pada material aluminium hasil perlakuan panas, ada beberapa endapan yang mungkin terbentuk seperti fasa β (Mg_2Si), θ ($CuAl_2$), S ($CuMgAl_2$), atau Q ($Cu_2Mg_8Si_6Al_5$)^[39]. Pada aluminium hasil cor, sebenarnya telah terbentuk endapan yang merupakan hasil difusi^[14] dan ketika diberi perlakuan panas T6, endapan ini akan larut kembali saat tahap *solution treatment*, kemudian terbentuk kembali pada tahap *artificial ageing*. Perbedaannya dengan endapan hasil cor, endapan hasil perlakuan panas T6 ini lebih terdispersi dan sepuluh kali lebih kecil^[31].

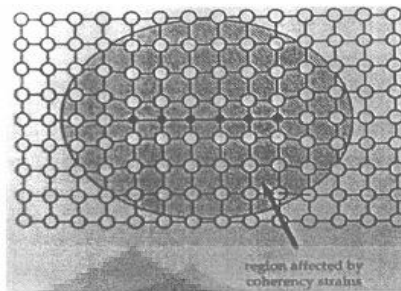
Mekanisme penguatan yang terjadi pada aluminium paduan adalah pengerasan presipitat dengan terbentuknya beberapa endapan sebagai pengeras hasil dari proses perlakuan panas^[15]. Terjadinya peningkatan nilai kekerasan setelah mengalami proses T6 dapat dijelaskan dengan terbentuknya presipitat-presipitat dalam matriks aluminium yang berfungsi sebagai penghalang atas pergerakan dislokasi ketika material diberi gaya luar. Akibatnya akan didapatkan kekerasan paduan Al-Si-Mg-Cu yang tinggi dengan mekanisme pengerasan presipitat.

Persyaratan utama dalam pengerasan presipitat adalah terbentuknya presipitat yang terdispersi secara merata selama proses *aging* akibat turunnya kelarutan paduan-paduan dalam aluminium ketika suhu diturunkan secara cepat (*rapid cooling*) saat di-*quench*. Pertama, ketika proses perlakuan panas T6 tahap pertama, yaitu *solution treatment* (suhu 530°C selama 4 jam) seluruh unsur paduan yang terdapat pada aluminium tunggal maupun komposisinya larut secara homogen dalam matriks aluminium. Kemudian ketika di-*quench* (media air di suhu 60°C selama 20 detik) terbentuk Larutan Padat Lewat Jenuh / *Super Saturation Solid Solution* (SSSS) dengan kondisi paduan yang terperangkap dalam matriks aluminium, kemudian ketika dilanjutkan ke tahap *artificial ageing* (suhu 220°C selama 2 jam), maka terbentuklah endapan dan endapan tersebut membesar sesuai dengan waktu *ageing*. Mekanismenya adalah dengan terbentuknya *cluster-cluster* yang koheren dari atom terlarut namun strukturnya masih sama dengan matriks (*GP Zone*) seperti Gambar 2.13. *GP Zone* ini hanya dapat dilihat dengan menggunakan TEM. Area regangan dari matriks yang mengelilingi presipitat koheren inilah yang menghambat laju dari dislokasi sehingga kekuatan dan kekerasan material bertambah.

Pada paduan Al-Si yang mengandung Cu dan Mg, maka ada 2 jenis endapan yang mayoritas terbentuk, yaitu Mg₂Si dan CuAl₂ dengan tahapannya sebagai berikut :



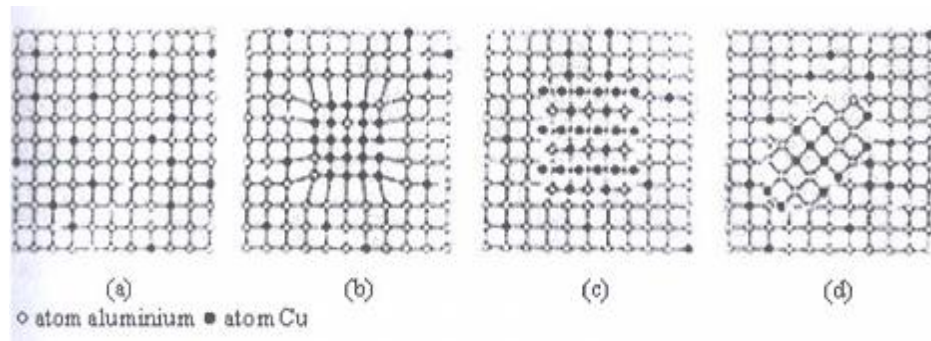
Dimana *GP zones* adalah *Guinier-Prestonzones*, β''/θ'' dan β'/θ' adalah fase metastabil, dan β/θ adalah fasa equilibrium^[32].



Gambar 2. 13. Ilustrasi dari GP Zone^[16]

Contoh dari presipitat yang mungkin terbentuk dari aluminium tipe AC 8H adalah Al_2Cu , Mg_2Si , bahkan MgAl_2CuMg . Presipitat inilah yang kemudian masuk ke tempat-tempat diantara atom-atom aluminium sehingga susunan atom akan menjadi lebih rapat dan menimbulkan ikatan yang lebih kuat, yang berarti meningkatnya nilai kekuatan dan kekerasan material.

Ukuran, bentuk, dan distribusi dari *GP Zone* ini tergantung dari unsur paduannya, perlakuan panas dan mekanik sebelumnya. Dikarenakan sifatnya yang metastabil, maka proses perlakuan panas yang dilakukan haruslah pada suhu dan rentang waktu yang optimum. Zona proses pengerasan presipitasi ini meliputi perubahan fasa, ukuran, bentuk, dan struktur. Transisi fasa yang terjadi merupakan akibat dari semakin tingginya difusi yang terjadi sehingga terjadi pembesaran ukuran zona yang memiliki struktur kristal sendiri. Perubahan fasa GP menjadi θ'' membuat struktur kristal berubah menjadi tetragonal dan memiliki ukuran *cluster* yang lebih besar. Perubahan ini tidak mengubah derajat koherensi (lihat pada gambar 2.12) dari susunan atom sehingga kekerasan akan terus meningkat. Seiring dalam proses difusi menuju keadaan setimbang, terbentuklah fasa θ' yang berasal dari fasa θ'' . Fasa ini termasuk fasa semi-koheren karena susunan atomnya sudah mulai berubah. Fasa ini juga belum stabil sehingga akan berubah menjadi fasa θ yang stabil. Fasa θ adalah CuAl_2 yang memiliki struktur kristal BCT (*Body Centered Tetragonal*). Fasa ini sudah kehilangan koherensinya sehingga atom-atom kembali terlarut secara acak yang menyebabkan regangan pada kisi menghilang dan dislokasi dapat bergerak dengan bebas kembali.



Gambar 2. 14. Derajat koherensi presipitat a) acak, b) koheren, c) semi-koheren, d) inkoheren^[16]

Untuk memperoleh tingkat kekerasan yang diinginkan maka harus dilakukan kombinasi pemanasan, pendinginan, waktu, jenis, fraksi volume, ukuran, dan distribusi partikel presipitat yang terbentuk. Syaratnya adalah adanya unsur yang dapat membentuk fasa kedua (baik dengan aluminium maupun dengan silikon), kelarutan unsur yang cukup besar dalam aluminium, dan penurunan kelarutan yang signifikan seiring penurunan temperatur.

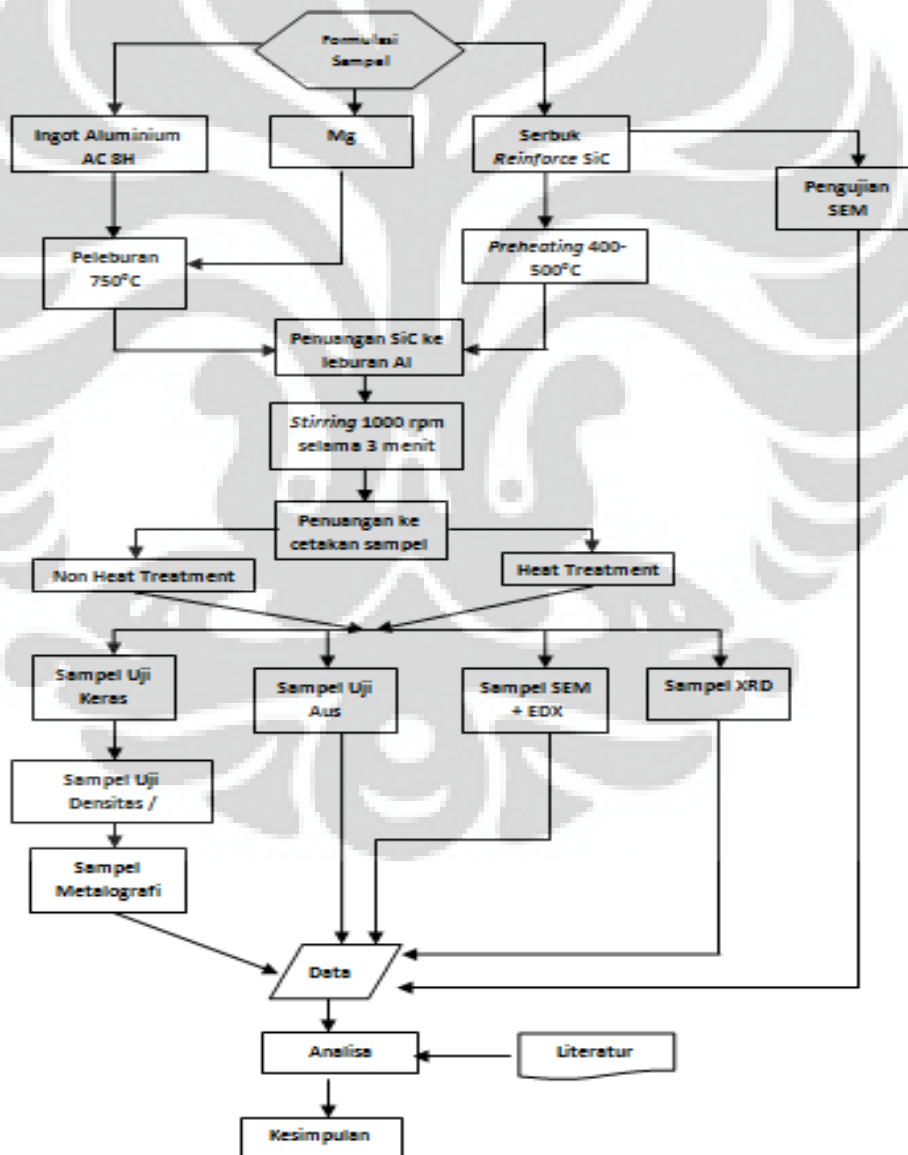
Perbedaan utama mikrostruktur *as-cast* dan *T6 heat-treated* terlihat dari adanya endapan Si, Mg, Cu, bahkan Zn. Pada komposit *T6 heat-treated*, endapan ini terbentuk dan membantu meningkatkan sifat mekanis dari komposit aluminium^[33]. Perbedaan mendasar mikrostruktur dari material aluminium paduan (tanpa penguat) dengan kompositnya adalah kehadiran porositas. Porositas hadir pada tiap pengecoran aluminium, baik tanpa penguat maupun dengan penguat. Yang membedakannya adalah kadar porositas. Aluminium paduan (tanpa penguat) biasanya memiliki level porositas sebesar 1 %, dan material aluminium komposit memiliki level porositas sebesar 7.9 %^[19].

Porositas juga hadir disekitar partikel penguat. Hal ini selain disebabkan oleh pembasahan yang kurang baik antara matriks dan penguat juga karena ketidakmampuan lelehan logam aluminium untuk ‘mengelilingi’ partikel SiC yang tidak teratur dan memiliki banyak sudut lancip. Daerah di sekitar sudut lancip inilah yang disebut ‘zona bebas logam’^[19] yang nanti dapat dilihat pada hasil pengujian metalografi berupa foto mikro material komposit.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini Penulis membuat material aluminium matriks komposit dengan matriksaluminium AC 8H, penguat serbuk SiC pada 3 variasi kadar (5%, 10%, dan 15% wt) yang telah di *preheating* dan menggunakan 1,5% wt Mg sebagai *wetting agent*, kemudian dilakukan karakterisasi seperti yang disebutkan pada subbab 1.4. Sub bagian dibawah ini akan menjelaskan mengenai diagram alir yang dilakukan Penulis pada penelitian ini dari alat bahan, karakterisasi, sampai memperoleh data, analisa berdasarkan literatur kemudian penarikan kesimpulan.



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi dua bagian. Bagian pertama mencakup peralatan selama fabrikasi komposit Al/SiC dengan kadar 5%, 10%, dan 15% wt. Bagian kedua mencakup peralatan untuk karakterisasi serbuk SiC dan komposit Al/SiC.

- a. Peralatan yang digunakan untuk fabrikasi komposit Al/SiC :
 - a. Tungku peleburan dan *ladle* kapasitas 1,6 kg dan 5 kg
 - b. Batang pengaduk
 - c. Gas argon
 - d. Cetakan logam sampel uji tarik
 - e. Masker, sarung tangan, palu, obeng
- b. Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi serbuk SiC dan komposit Al/SiC :
 - a. Alat pengujian mekanik (keras, aus, tarik)
 - b. Mikroskop optik
 - c. SEM / EDX
 - d. XRD
 - e. Mesin amplas dan poles
 - f. Dapur Nabertherm

3.2.2. Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada proses pembuatan komposit Al/SiC adalah :

- a. Serbuk SiC
- b. Serbuk Magnesium
- c. Aluminium batang jenis AC8H dengan hasil uji spektrometer sebagai berikut :

Unsur	wt%
Cu	2,7374
Si	11,054
Mg	1,0678
Zn	0,0006
Fe	0,143
Mn	0,0113
Ti	0,26
Pb	0,0068
Sn	0,003
Cr	0,004
Ni	0,003
Al	Balanced

Tabel 3. 1. Tabel hasil pengujian spektrometer aluminium ingot AC8H

3.3. Proses Pembuatan Komposit Al/SiC

Dalam pembuatan komposit Al/SiC dilakukan melalui tahap pengecoran di PT. X, dimana komposit Al/SiC dicetak ke dalam cetakan sampel uji tarik dengan dengan kebutuhan total komposit seberat 1,6 kg. Fraksi berat dari SiC yang ingin ditambahkan ke dalam komposit adalah sebesar 5%, 10%, dan 15% wt SiC yang dibutuhkan ditentukan melalui rumus berikut:

$$V_f = \frac{M_f / \rho_f}{(M_m / \rho_m) + (M_f / \rho_f)}$$

Dimana:

V_f : Fraksi volume penguat (%)

V_m : Fraksi volume matriks (%)

M_f : Massa penguat (gr)

M_m : Massa matriks (gr)

ρ_f : Berat jenis penguat (gr/cm³)

ρ_m : Berat jenis matriks (gr/cm³)

Proses pengecoran komposit ini dilakukan di PT.X dengan menggunakan aluminium AC8H yang telah dilebur didalam *holding furnace* kapasitas 200 kg dengan temperatur $700 \pm 20^\circ\text{C}$.

Langkah-langkah untuk membuat Al/SiC adalah sebagai berikut:

- a. Menimbang SiC untuk fraksi berat 5%, 10%, 15%
- b. Mempersiapkan leburan aluminium cair yang telah dilakukan proses *degassing Gas Bubble Flootation* (GBF) untuk mengurangi pengotor dan gas hidrogen yang terjebak dalam aluminium cair.
- c. Melakukan *preheating* peralatan cetakan seperti cetakan logam, *ladle* dan batang pengaduk agar kandungan uap air dapat dihilangkan
- d. Pengambilan aluminium cair dengan *ladle* ukuran 1,6 kg, kemudian diletakkan diatas permukaan dapur tahan agar suhu dapat terjaga disekitar suhu leleh aluminium
- e. Memasukkan Mg ke dalam *ladle* untuk menurunkan tegangan permukaan aluminium terhadap SiC yang akan dicampurkan. Mg yang diberikan sebanyak 1,5% fraksi berat
- f. Memasukkan serbuk SiC yang ke dalam *ladle* secara sedikit demi sedikit sambil diaduk dengan mesin pengaduk yang telah dimodifikasi menjadi alat pengaduk selama 3 menit.

3.4. Proses Perlakuan Panas Komposit Al/SiC

Komposit Al/SiC hasil pengecoran diberi perlakuan panas T6 (*artificial ageing*) di Departemen Metalurgi dan Material FTUI menggunakan dapur *Nabertherm*, yaitu *solution heat treatment* pada suhu 530⁰C selama 4 jam kemudian di-*quench* pada suhu 70⁰C pada media air selama 20 detik dilanjutkan proses *ageing* pada suhu 220⁰C selama 2 jam.

3.5. Karakterisasi Al/SiC

3.5.1. Pengujian Kekerasan

Indentor yang digunakan pada metode Brinell. Variasi beban dan indentor yang digunakan membuat metode ini memiliki banyak macamnya. Metode paling umum dipakai adalah Rockwell B (dengan indentor bola baja berdiameter 1/6 inci dan beban 100 kg) dan Rockwell C (dengan indentor intan dan beban 150 kg). Penulis akan menggunakan metode Rockwell B yang terdapat pada Departemen

Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Standard pengujian kekerasan dari metode Rockwell terdapat di ASTM E-18 seperti Gambar 3.2

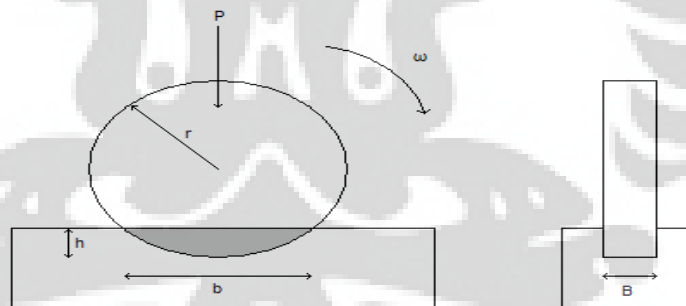


Gambar 3. 2. Alat *hardness* test Rockwell

3.5.2. Pengujian Aus

Pengujian aus dilakukan dengan menggunakan beban gesek dari piringan yang berputar (*revolving disk*) sesuai Gambar 3.4. Pembebanan ini menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak yang dihasilkan itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan suatu material.

Skema pengujian keausan dengan metode Ogoshi ialah sebagai berikut :



Gambar 5.1 Ilustrasi skematis pengujian keausan metode Ogoshi

Gambar 3. 3. Skema pengujian aus metode ogoshi

Dengan B adalah tebal piringan pemutar (mm), r jari-jari disc (mm), b lebar celah material yang terabrasi (mm), maka dapat diturunkan besarnya volume material yang terabrasi (W) :

$$W = B \cdot b^3 / 12r$$

Laju keausan (V) dapat ditentukan sebagai perbandingan volume terabrasi (W) dengan jarak luncur x (setting pada mesin uji):

$$V = W/x = B.b^3/12r.x$$



Gambar 3. 4. Alat pengujian aus metode Ogoshi

3.5.3. Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro sampel komposit Al/SiC. Sebelum dilakukan pengamatan struktur mikro, benda uji terlebih dahulu dilakukan preparasi dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Pemotongan sampel dengan menggunakan gergaji
- b. Pengamplasan dimulai dari grit #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500 sampai permukaan rata dan orientasinya searah.
- c. Pemolesan, dengan menggunakan kain beludru dan larutan alumina
- d. Pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengamati persebaran penguat yang diberikan.

3.5.4. Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM C 373-88 yang mengacu pada hukum Archimedes^[5]. Tahapan pengujian densitas dan porositas adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan sampel yang akan diuji
- b. Menyiapkan timbangan, *beaker glass* 1000 ml, benang dan aquadest
- c. Menimbang berat kering sampel dengan terlebih dahulu

d. Menimbang berat sampel dalam air, dengan cara memasukkan sampel yang digantung dengan benang ke dalam air sampai seluruh permukaan tercelup di dalam air

e. Mencatat berat sampel dalam air kemudian menghitung berat sampel dengan rumus sebagai berikut

$$V = \frac{W}{D}$$

Dimana,

V = volume sampel (cm³)

W = berat sampel dalam air (gram)

D = densitas air (gram/cm³)

f. Menghitung densitas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus:

$$D_B = \frac{W_D}{V}$$

Dimana,

D_B = densitas sampel (gram/cm³)

W_D = berat sampel dalam air (gram)

V = volume sampel (cm³)

g. Menghitung nilai porositas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus berikut :

$$\%porositas = \frac{D_{teoritis} - D_{percobaan}}{D_{teoritis}} \times 100\%$$

Dimana,

D_{teoritis} = densitas teoritis (gram/cm³)

D_{percobaan} = densitas percobaan (gram/cm³)

h. Dengan D teoritis yang didapat melalui Hukum Pencampuran :

$$D_{\text{teoritis}} = (\rho_{\text{aluminium}} \times V_{\text{aluminium}}) + (\rho_{\text{SiC}} \times V_{\text{SiC}}) + (\rho_{\text{magnesium}} \times V_{\text{magnesium}})$$

Untuk komposit Al/SiC 5% wt, perhitungan nilai densitas teoritis dilakukan dengan cara sebagai berikut :

➤ **Menghitung volume teoritis masing-masing komponen**

komposit :

• Aluminium

$$\text{Massa} = 1600 \text{ gram}$$

$$\text{Densitas} = 2,7 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{massa}}{\text{densitas}} = \frac{1600 \text{ gram}}{2,7 \text{ gram/cm}^3} = 592,592 \text{ cm}^3$$

• SiC

$$\text{Massa} = 5\% \text{ wt} \times 1600 \text{ gram} = 80 \text{ gram}$$

$$\text{Densitas} = 3,216 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{massa}}{\text{densitas}} = \frac{80 \text{ gram}}{3,216 \text{ gram/cm}^3} = 24,87 \text{ cm}^3$$

• Magnesium

$$\text{Massa} = 1,5\% \text{ wt} \times 1600 \text{ gram} = 24 \text{ gram}$$

$$\text{Densitas} = 1,738 \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Volume} = \frac{\text{massa}}{\text{densitas}} = \frac{24 \text{ gram}}{1,738 \text{ gram/cm}^3} = 13,808 \text{ cm}^3$$

➤ **Total volume sampel :**

$$= \text{Volume aluminium} + \text{volume SiC} + \text{volume magnesium}$$

$$= 592,592 \text{ cm}^3 + 24,87 \text{ cm}^3 + 13,808 \text{ cm}^3$$

$$= 631,27 \text{ cm}^3$$

➤ **Densitas teoritis sampel komposit Al/SiC 5% wt:**

$$= (\rho_{\text{aluminium}} \times V_{\text{aluminium}}) + (\rho_{\text{SiC}} \times V_{\text{SiC}}) + (\rho_{\text{magnesium}} \times V_{\text{magnesium}})$$

$$= \left(\frac{592,592}{631,27} \times 2,7 \right) + \left(\frac{24,87}{631,27} \times 3,216 \right) + \left(\frac{13,808}{631,27} \times 1,738 \right)$$

$$= 2,699 \text{ gram/cm}^3$$

- Dengan menggunakan rumus yang sama, nilai densitas teoritis dari komposit Al/SiC 10% wt dan Al/SiC 15% wt adalah 2,72 gram/cm³ dan 2,73 gram/cm³.

3.5.5. Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang digunakan untuk studi langsung permukaan benda padat dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikroskop optik sesuai Gambar 3.5. Ketika sebuah berkas elektron berinteraksi dengan atom di dalam sampel, elektron secara individu menjalani dua jenis hamburan yaitu elastis dan inelastis. *Back-Scattered electrons* (BSE) adalah jenis hamburan elastis, sedangkan *Secondary Electrons* (SE) adalah jenis hamburan inelastis.

Sampel permukaan yang telah dipersiapkan sebelumnya dimasukkan ke dalam *sample chamber*, kemudian ditutup dan menunggu kondisi filamen siap (dinaikkan dayanya perlahan-lahan) selama kurang lebih 20 menit. Setelah mesin siap kemudian ditembakkan SE sebanyak 3 kali di tempat yang sama dengan perbesaran berbeda. Lalu BSE ditembakkan sebanyak 3 kali di tempat yang sama dengan perbesaran berbeda, dan terakhir di cek komposisi menggunakan EDAX.



Gambar 3. 5. Alat pengujian SEM / EDX

3.5.6. Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD)

Pengujian *x-ray diffraction* (XRD) menggunakan konsep pemantulan dari sinar-x yang dipancarkan sesuai Gambar 3.6. Pantulan-pantulan pada sudut tertentu dapat digunakan sebagai identifikasi dari senyawa yang terbentuk pada

suatu material. Pengujian ini ditujukan untuk mengetahui fasa-fasa yang terdapat pada komposit Al/SiC.



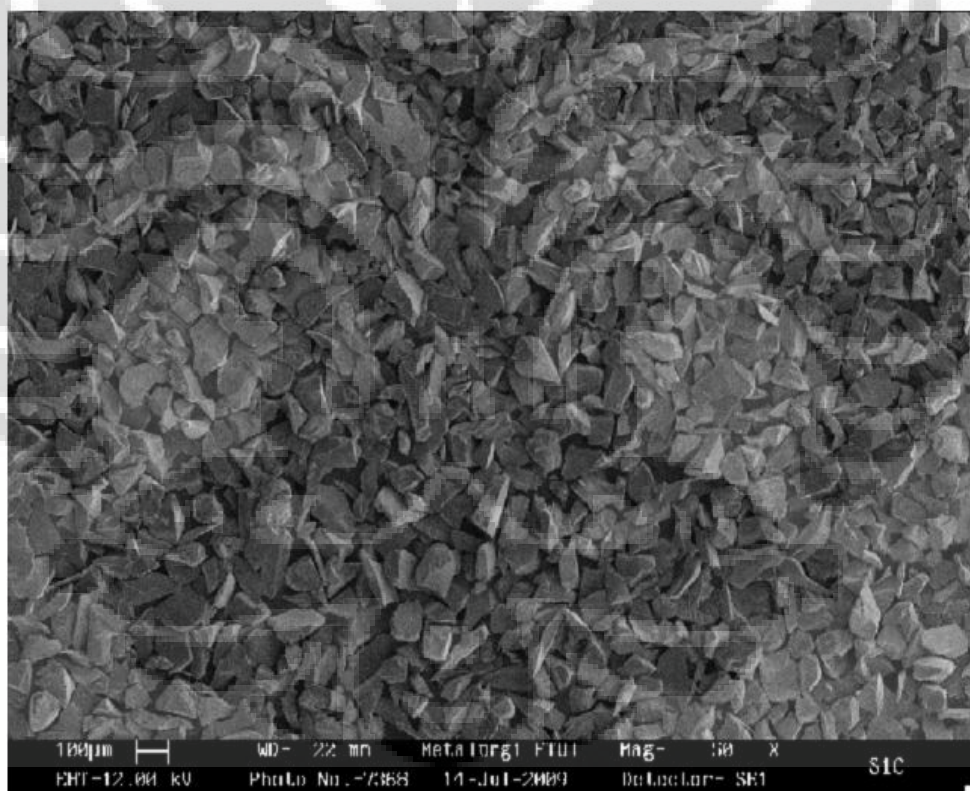
Gambar 3. 6. Alat pengujian XRD



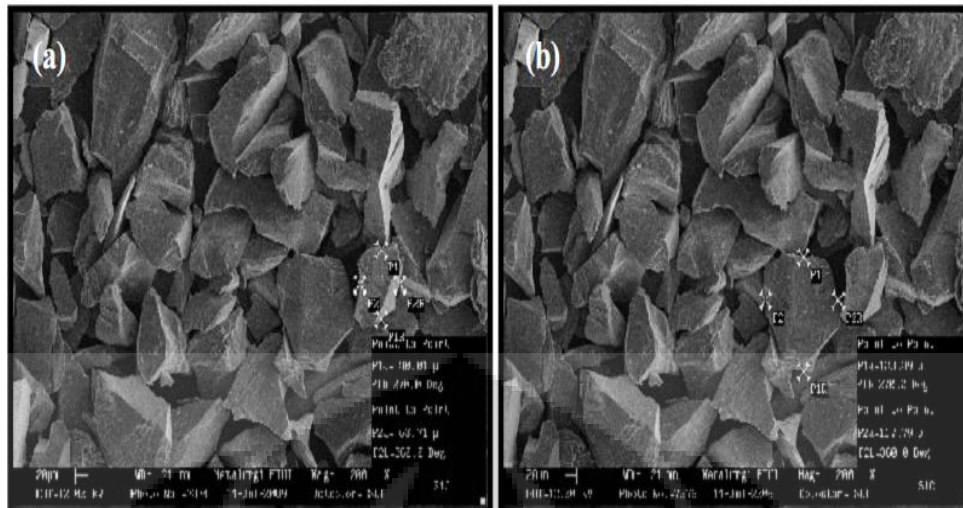
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Serbuk Penguat SiC

Karakterisasi serbuk SiC yang digunakan Penulis pada penelitian kali ini menggunakan data pada penelitian sebelumnya melalui pengamatan SEM dan EDX. Melalui karakterisasi SEM dan EDX sesuai Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 akan diketahui bentuk, ukuran, distribusi, morfologi, dan unsur pada permukaan SiC yang digunakan. Dengan mengukur panjang diagonalnya didapat bahwa rata-rata ukuran partikel SiC berada pada ukuran 63,7-130,39 mikrometer. Menurut literatur, untuk ukuran partikel penguat SiC yang Penulis gunakan termasuk dalam kelompok partikel besar (diatas 0,1 mikrometer)^[9].



Gambar 4. 1. Morfologi serbuk SiC *as-received* dengan perbesaran 50x



Gambar 4. 2. Gambar hasil SEM untuk serbuk SiC 220 mesh a) ukuran 63-80 mikrometer b) ukuran 117- 130 mikrometer



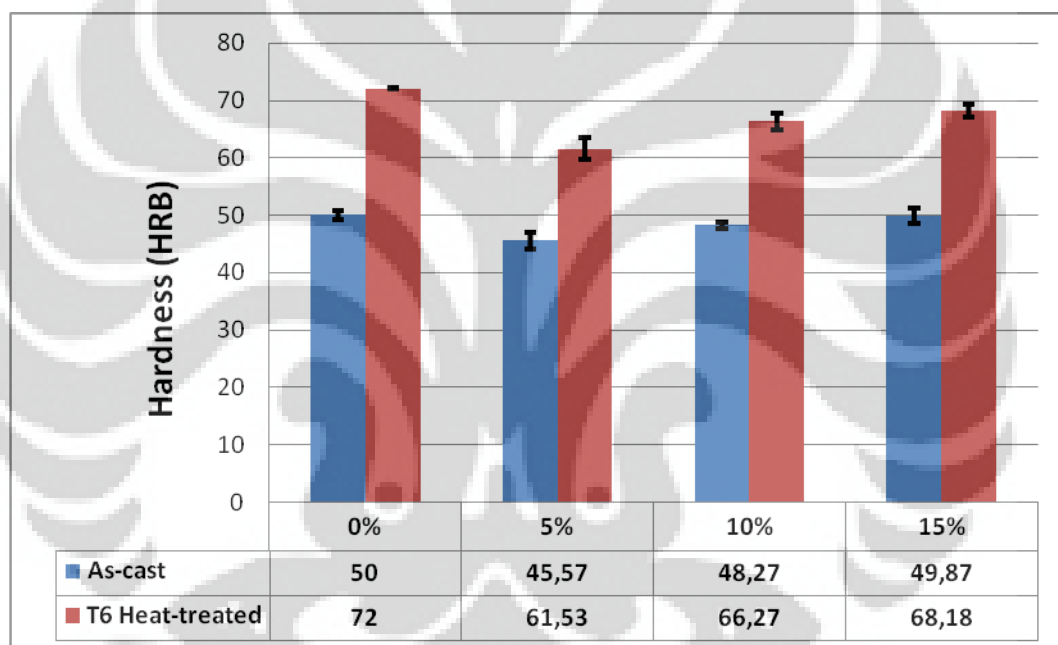
Gambar 4. 3. Hasil EDX serbuk SiC

Melalui hasil pengujian EDX (Gambar 4.3) pada penelitian sebelumnya dapat dilihat bahwa serbuk atau partikel SiC yang digunakan adalah serbuk murni atau memiliki kemurnian tinggi karena tidak terdeteksi unsur pengotor lain. Melalui pengujian EDX dapat dilihat bahwa puncak energi yang ada hanyalah puncak energi Si dan C, yang berarti bahwa jenis serbuk SiC yang digunakan adalah SiC hijau yang memiliki tingkat kemurnian tinggi dan bukan serbuk SiC hitam yang memiliki tingkat kemurnian rendah (SiC hitam memiliki O_2 pada permukaannya).

4.2. Pengujian Mekanik Komposit Al/SiC

4. 2. 1. Pengujian Kekerasan Komposit Al/SiC

Hasil pengujian kekerasan dari komposit Al/SiC ditunjukkan pada Gambar 4.4. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengukur ketahanan material terhadap deformasi plastis yang terlokalisir. Selain itu, pengujian kekerasan juga dilakukan untuk mengukur nilai kekerasan material serta untuk memberikan indikasi dari kekuatan tarik dan kemampuan material terhadap ketahanan aus. Karena, kekerasan suatu material merupakan ketahanan material terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras, maka dilakukan penekanan kepada benda uji untuk menghitung nilai kekerasannya.



Gambar 4. 4. Grafik kekerasan komposit Al/SiC vs % wt. penguat SiC

Melalui grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan penguat justru mengurangi nilai kekerasan dari komposit. Pada kondisi *as-cast* didapat bahwa nilai kekerasannya 50 HRB dan mengalami peningkatan menjadi 72 HRB setelah mengalami perlakuan panas T6 (mengalami peningkatan sebesar 44%). Namun ketika ditambah 5% penguat SiC nilai kekerasannya justru turun menjadi 45,57 HRB dan mengalami peningkatan setelah diberiperlakuan panasT6 menjadi 61,53 HRB (mengalami peningkatan sebesar 35%). Sedangkan untuk material komposit Al/SiC dengan penambahan 10% dan 15% wt penguat SiC mengalami peningkatan nilai

kekerasan sebesar 37% dan 36,7%. Nilai kekerasan yang didapat meningkat seiring dengan penambahan serbuk penguat SiC dan meningkat setelah mengalami perlakuan panas T6. Dengan demikian terdapat 3 hal penting yang dapat ditarik melalui data diatas:

- a) Material aluminium komposit Al/SiC memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibanding *monolith* aluminiumnya (tanpa penguat).
- b) Proses perlakuan panas T6 meningkatkan nilai kekerasan dari material, baik *monolith* maupun komposit Al/SiC.
- c) Nilai kekerasan material komposit Al/SiC meningkat seiring dengan penambahan serbuk penguat SiC.

Hal ini dapat disebabkan melalui beberapa hal sesuai dengan literatur yang didapat penulis dan akan dijelaskan sebagai berikut.

Nilai kekerasan komposit aluminium yang lebih rendah dibandingkan *monolith*-nya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti pembasahan yang kurang baik pada material komposit^[24], terbentuknya porositas pada matriks aluminium komposit^[6], dan distribusi yang kurang merata dari penguat SiC^[2]. Pembasahan yang kurang baik antara matriks dan penguat dapat dibuktikan melalui pengamatan mikrostruktur. Antarmuka (fasa spinel $MgAl_2O_4$) yang terbentuk juga tidak optimum akibat suhu *preheating* penguat SiC yang tidak optimum, sehingga kemungkinan tidak terbentuk SiO_2 pada permukaan serbuk penguat SiC. Dalam fabrikasi komposit, sebenarnya antarmuka memiliki peranan penting karena berfungsi sebagai penyalur gaya dari luar, menuju matriks, dan akhirnya penguat. Apabila antarmuka yang terbentuk kurang baik, maka kekuatan komposit juga rendah^[23].

Analisa berikutnya adalah mengenai porositas. Menurut literatur^[6], nilai porositas *monolith* aluminium jauh lebih rendah dibandingkan aluminium kompositnya. Hal ini berkaitan dengan metode pembuatan aluminium komposit Al/SiC (*stir casting*) yang berpotensi menyerap gas luar^[2] (jika tidak melakukan metode perlindungan nitrogen), partikel penguat SiC yang terabrasi saat preparasi beberapa pengujian (*particle pull-out*)^[19] sehingga menimbulkan poros, pembasahan / antar-muka yang kurang baik antara matriks aluminium dengan penguat SiC sehingga tidak semua permukaan partikel penguat SiC terbasahi dan menimbulkan poros^[19], maupun *clustering* penguat SiC yang menyebabkan lelehan matriks

aluminium tidak mampu daerah di tengah *clustering* tersebut dan menimbulkan poros di bagian tengah^[21]. Porositas yang terbentuk dalam fabrikasi komposit Al/SiC ini dapat menjadi tempat terjadinya konsentrasi tegangan ketika mendapat gaya luar. Pembahasan lebih lanjut mengenai porositas ini dapat dilihat di Subbab 4.3 (Pengujian Densitas / Porositas Komposit Al/SiC).

Penyebab berikutnya yang menyebabkan nilai kekerasan komposit lebih rendah dibandingkan *monolith*-nya adalah distribusi dari penguat SiC yang tidak merata. Distribusi penguat dapat dilihat pada subbab pengujian metalografi dengan melakukan pengamatan foto mikro. Distribusi penguat memegang pengaruh penting terhadap sifat mekanik dari komposit^[2]. Persebaran yang merata akan memberi efek yang baik terhadap sifat mekanik komposit jika dibandingkan terbentuknya *clustering* / agglomerasi penguat SiC. *Clustering* SiC ini akan menimbulkan konsentrasi tegangan di daerah yang memiliki penguat sedikit^[20]. Konsentrasi tegangan ini dapat menimbulkan retak pada matriks komposit sehingga kekuatannya menurun. Selain tidak meratanya beban yang diterima matriks, *clustering* dari penguat SiC juga menyebabkan porositas seperti yang telah Penulis jelaskan diatas.

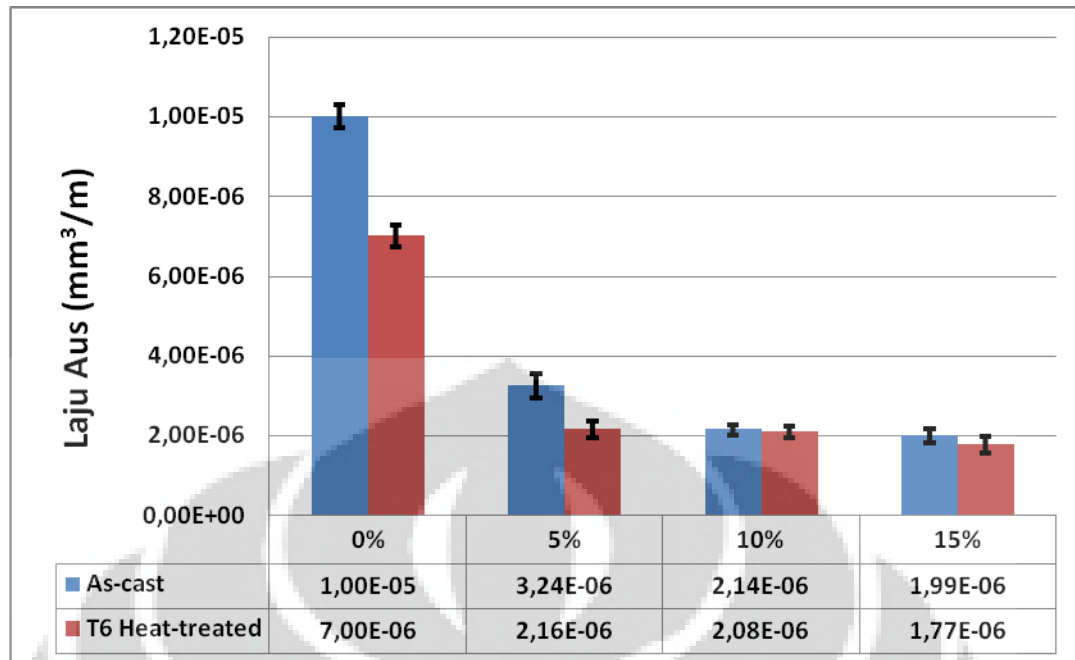
Poin penting lain yang didapat melalui data diatas adalah bahwa proses perlakuan panas T6 meningkatkan nilai kekerasan dari material, baik *monolith* maupun kompositnya^[11] (mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 44%, 35%, 37%, dan 36,7%). Hal ini dapat dijelaskan melalui mekanisme pengerasan dari aluminium, yaitu pengerasan presipitat. Proses perlakuan panas T6 yang dilakukan Penulis pada penelitian ini terdiri dari 3 tahap, yaitu *solution treatment* pada suhu 720⁰C selama 4 jam, kemudian di-*quench* pada media air di suhu 60⁰C selama 20 detik, dan dilanjutkan *ageing* pada suhu 220⁰C selama 2 jam. Proses perlakuan panas T6 yang dilakukan Penulis ini mengikuti standar di perusahaan PT. Astra Honda Motor pada wilayah pembuatan piston motor sport. Meningkatnya kekuatan keras tersebut disebabkan senyawa-senyawa yang terbentuk tersebut memasuki tempat diantara atom aluminium sehingga susunan atom akan menjadi lebih rapat dan gaya yang diperlukan dislokasi untuk bergerak menjadi lebih besar, yang berarti bahwa nilai kekerasan material aluminium hasil T6 meningkat dibanding kondisi *as-cast*^[15].

Hasil berikutnya yang didapat Penulis adalah nilai kekerasan material komposit meningkat seiring dengan penambahan serbuk penguat SiC^[20]. Hal ini telah sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa penambahan partikel keramik sebagai penguat akan menambah nilai kekerasan dari material komposit. Pada kondisi *as-cast* dengan penambahan penguat dari 5%, 10%, dan 15% memiliki nilai kekerasan yang meningkat yaitu 45,57 HRB, 48,27 HRB, dan 49,87 HRB. Sedangkan pada kondisi T6 *heat-treated* memiliki nilai kekerasan yaitu 61,53 HRB, 66,27 HRB, dan 68,18 HRB. Penambahan nilai kekerasan yang sebanding dengan penambahan serbuk penguat dapat dijelaskan dengan bertambahnya partikel penahan beban dalam komposit sehingga menambah kekuatan komposit. Seiring penambahan penguat dalam komposit, maka tingkat kekakuan material akan meningkat^[10] dan kemampuan material komposit menahan beban semakin besar. Selain itu antarmuka juga mempengaruhi nilai kekerasan dari suatu komposit^[23]. Ikatan yang kuat antara matriks dan penguat SiC akan dapat menahan indentasi pada pengujian kekerasan dengan lebih baik sehingga nilai kekerasan komposit meningkat, sedangkan ikatan yang buruk antara matriks dan penguat tidak memiliki kekuatan yang cukup dalam menahan beban indentasi^[25].

4. 2. 2. Pengujian Aus Komposit Al/SiC

Hasil pengujian laju aus dari komposit Al/SiC dapat dilihat pada Gambar 4.5. Penguat pada paduan aluminium seperti SiC dan Al₂O₃ telah terbukti mampu meningkatkan ketahanan aus dan abrasi^[22]. Pengujian aus bertujuan untuk mengetahui bagaimana kecepatan material untuk terabrasi. Telah diteliti bahwa laju aus material sebanding dengan beban, namun untuk material komposit nilai laju aus tersebut tetap lebih rendah dibandingkan *monolith* logamnya^[34].

Berdasarkan data yang diperoleh, laju aus komposit Al/SiC dipengaruhi oleh kadar penguat SiC dengan hasil pengujian seperti pada Gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5. Grafik laju aus komposit Al/SiC vs %wt. penguat SiC

Melalui grafik diatas dapat dilihat bahwa penambahan kadar penguat SiC berbanding terbalik dengan nilai laju aus. Pada penambahan kadar 5%, 10%, dan 15% penguat SiC pada komposit Al/SiC dalam kondisi *as-cast*, maka nilai laju ausnya masing-masing adalah 3,24E-06; 2,14E-06; dan 1,99E-06. Sedangkan setelah mengalami proses perlakuan panas T6 nilai laju ausnya menurun menjadi 2,16E-06 ;2,08E-06; dan 1,77E-06 untuk penambahan penguat sebesar 5%, 10%, dan 15% wt. Semakin tinggi kadar penguat dalam komposit, maka semakin rendah nilai laju aus material tersebut. Kesimpulan ini juga berlaku bagi kondisi *as-cast* dan T6 *heat-treated*. Hasil ini telah sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa penambahan penguat keramik dalam suatu komposit matriks aluminium akan menurunkan nilai laju ausnya. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Manoj Sangla^[34] dengan hasil bahwa laju aus aluminium komposit menurun seiring dengan penambahan fraksi berat penguat silikon karbida (SiC). Namun nilai laju aus ini memiliki batas tertentu dalam kaitannya dengan *clustering* dan antar-muka SiC pada komposit, yang justru jika penambahan SiC terus dilakukan, maka nilai laju aus justru semakin bertambah.

Penelitian serupa juga pernah dilakukan Yust, et.al^[35] menggunakan metode *pin-on-disc* dengan menguji komposit Al₂O₃ berpenguat serbuk SiC dan didapat bahwa seiring penambahan serbuk SiC maka jejak yang dihasilkan

semakin mengecil. Peningkatan kadar penguat dalam suatu komposit meningkatkan sifat mekanik dari komposit tersebut^[27]. Penguat ini bekerja sebagai penahan gaya luar yang diberikan, sehingga gaya tersebut dapat tersalurkan dari matriks menuju penguat^[20]. Cara kerja penguat SiC pada aluminium komposit dalam kaitannya dengan reduksi laju aus adalah mengurangi area kontak cakram baja dengan aluminium. Semakin banyak fraksi penguat SiC dalam komposit aluminium, maka cakram baja akan semakin sering bertemu dengan SiC yang memiliki kekerasan jauh diatas cakram baja tersebut sehingga laju aus aluminium berkurang^[34].

Pada kondisi T6 *heat-treated* nilai laju aus yang didapat lebih kecil dibanding pada kondisi *as-cast*. Dalam hal ini yang berperan adalah adanya endapan pada kondisi T6 *heat-treated*. Mekanisme pengerasan pada aluminium adalah pengerasan presipitat^[16], yaitu mekanisme pengerasan logam yang mengandalkan adanya endapan pada material sehingga meningkatkan nilai mekanis logam, dalam hal ini aluminium. Jadi, hal terpenting pada pembentukan endapan adalah kandungan paduan dan perlakuan panas terhadap material. Endapan dapat terbentuk ketika melewati tahapan *solution treatment*, *quench*, dan *ageing*. Pada tahap *solution treatment* seluruh unsur paduan pada aluminium akan larut dan merata. Ketika di tahap *quench*, maka seluruh unsur paduan yang ada akan diam dan pada tahap *ageing*, maka unsur paduan tersebut akan menyatu dan membentuk fasa intermetalik akhirnya membentuk endapan. Seiring lamanya waktu *ageing* yang telah ditentukan, maka endapan ini akan tumbuh membesar sehingga menimbulkan tegangan di daerah di sekelilingnya. Inilah yang membuat material aluminium tersebut memiliki nilai kekuatan mekanis yang lebih baik dibanding pada kondisi *as-cast*, begitu juga berlaku bagi material komposit.

Selain itu, nilai ketahanan aus dari suatu material komposit juga dipengaruhi oleh ikatan yang kuat antara matriks dan penguat, sebagaimana mempengaruhi nilai kekuatan mekanis lainnya^[25]. Kekuatan ikatan matriks dan penguat pada wilayah antarmuka sangat penting karena pada pengujian aus ini material akan dikenakan gaya erosi. Apabila gaya ikatan pada antarmuka ini tidak kuat maka akan terjadi *particle pull-out*, yaitu partikel keluar dari matriks akibat gaya gesek dan ikatan antar-muka yang lemah, sehingga nilai laju aus

berkurang. Selain itu, melalui penelitiannya, Zhang et, al^[36] mendapat hasil bahwa ada kemungkinan partikel SiC terlepas dari matriksnya saat dilakukan pengujian aus. Hal ini dapat terjadi akibat beban putaran yang tinggi atau antarmuka yang lemah antara matriks aluminium dengan penguat SiC. Serpihan SiC yang terlepas ini bisa menyebabkan nilai ketahanan aus komposit menurun akibat abrasi dari serpihan SiC ini pada material uji komposit^[36]. Dalam penelitian ini sampel yang digunakan dianggap memiliki kekuatan ikatan antarmuka yang relatif sama. Selain itu juga distribusi atau agglomerasi partikel penguat SiC juga mempengaruhi nilai ketahanan aus komposit aluminium^[25] sehingga distribusi penguat SiC juga dispersinya juga relatif sama. Lee et al dalam penelitiannya^[22] juga menyebutkan bahwa ketahanan abrasi dari paduan aluminium berkurang drastis seiring dengan meningkatnya porositas, namun pada aluminium komposit hal tersebut tidak terlalu berpengaruh. Bagi komposit, ketahanan ausnya lebih ditentukan oleh ukuran partikel penguat. Semakin besar ukuran partikel penguat dalam komposit maka ketahanan ausnya semakin baik, begitu juga sebaliknya.

Jika dilakukan pengujian aus dibawah kondisi temperatur tinggi, maka laju aus komposit Al/SiC tetap sebanding dengan kenaikan suhu namun nilainya tetap berada dibawah *monolith* aluminiumnya^[35]. Oleh karena itu, komposit matriks aluminium dengan penguat SiC ini sangat cocok digunakan sebagai material pengganti komponen piston kendaraan bermotor yang dalam kinerjanya memerlukan ketahanan aus pada temperatur tinggi yang lebih baik dibanding aluminium paduan-nya.

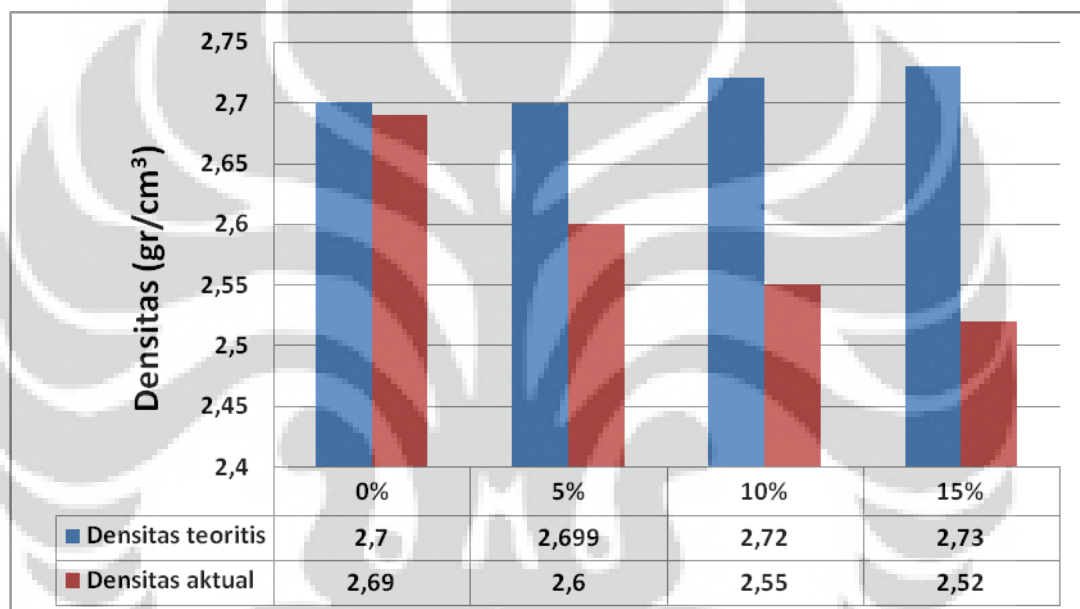
4. 3. Pengujian Densitas / Porositas Komposit Al/SiC

Pengujian densitas / porositas dilakukan untuk mengetahui perbandingan antara densitas teoritis dan densitas aktual aluminium AC8H serta komposit Al/SiC. Densitas aktual biasanya lebih kecil dibandingkan densitas teoritis. Perbedaan nilai densitas ini bisa disebabkan oleh adanya porositas gas pada material aktual, distribusi penguat SiC yang kurang merata (*clustering*) atau daerah di sekitar penguat yang tidak terbasahi aluminium. Tabel 4.1 dan Gambar 4.6 berikut adalah tabel nilai densitas teoritis dan densitas aktual dari material

aluminium AC8H (tak diberi penguat) dan material komposit Al/SiC dengan penambahan penguat SiC dari 5%, 10%, dan 15% wt.

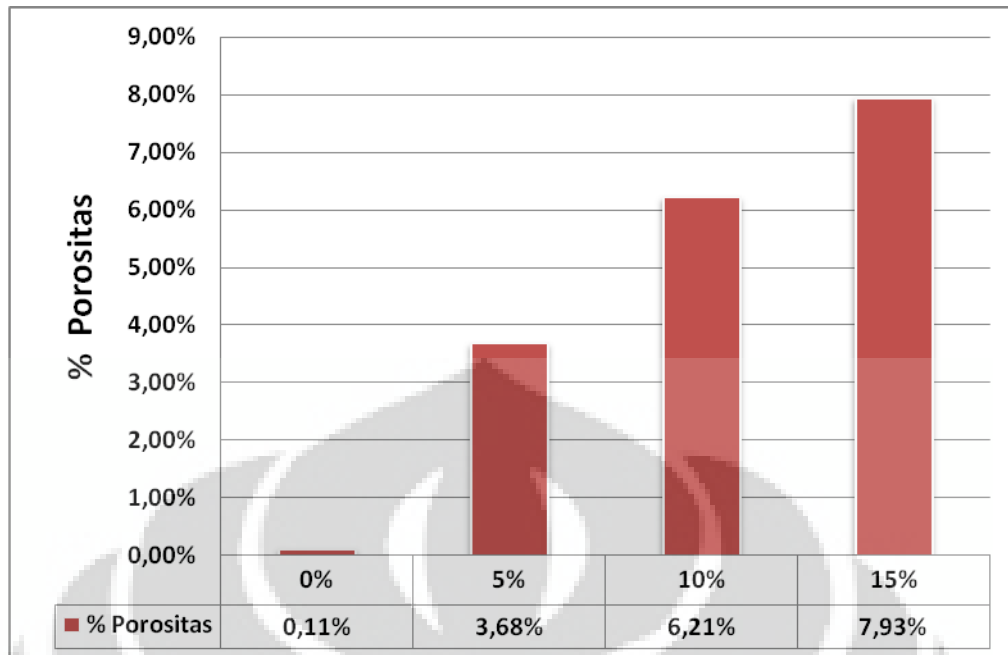
Tabel 4. 1. Tabel data densitas teoritis dan aktual material dengan penambahan penguat SiC

Penambahan SiC (%wt)	Densitas teoritis (gr/cm ³)	Densitas aktual (gr/cm ³)	Selisih densitas (gr/cm ³)
0%	2,7	2,69	0,01
5%	2,699	2,6	0,099
10%	2,72	2,55	0,17
15%	2,73	2,52	0,21



Gambar 4. 6. Grafik penambahan penguat SiC vs densitas teoritis dan densitas aktual komposit Al/SiC

Melalui Tabel 4.1 dan Gambar 4.6 diatas dapat dilihat bahwa semakin banyak penambahan penguat SiC maka selisih densitas teoritis dan aktual juga semakin besar. Selisih dari densitas teoritis dan densitas aktual ini disebabkan oleh porositas yang terbentuk pada sampel pengujian, baik aluminium AC8H maupun komposit Al/SiC. Gambar 4.7 Dibawah ini adalah grafik perbandingan porositas dari material aluminium AC8H (tak diberi penguat) dan komposit Al/SiC.



Gambar 4. 7. Grafik perbandingan persentase porositas vs penambahan penguat SiC

Melalui Gambar 4.7 diatas dapat dilihat bahwa penambahan penguat SiC akan meningkatkan persentase porositas dari material komposit Al/SiC. Perbedaan nilai densitas teoritis dan densitas aktual dari material aluminium AC8H relatif kecil ($0,01\text{gr/cm}^3$) dengan persentase porositas hanya 0,11%. Sedangkan untuk penambahan penguat SiC dari 5%, 10%, dan 15% wt memiliki selisih densitas (antara teoritis dan aktual) yang lebih besar dengan persentase porositas yang semakin besar juga. Hal ini telah sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa persentase porositas pada material komposit Al/SiC sebanding dengan persentase penguat SiC yang ditambahkan^[6].

Porositas yang terdapat pada material aluminium komposit Al/SiC terbentuk akibat beberapa hal, seperti :

a) Porositas Gas

Porositas gas / terperangkapnya gas yang dimaksud adalah ketika melakukan proses pengadukan dalam fabrikasi komposit. Proses pengadukan yang dilakukan pada lelehan aluminium dan serbuk penguat ini dapat menyerap gas pada atmosfer dan masuk ke lelehan komposit. Gas yang terjebak ini menyebabkan timbulnya porositas gas pada komposit dan porositas ini menurunkan nilai mekanis dari komposit karena daerah ini bertindak sebagai daerah konsentrasi tegangan yang menjadi awal penyebab

retak^[2]. Pada fabrikasi komposit Al/SiC dengan metode *stir casting*, seharusnya menggunakan perlindungan nitrogen agar pada saat proses pengadukan tidak ada udara atmosfer yang masuk ke lelehan komposit Al/SiC dimana Penulis tidak melakukannya.

b) Particle pull-out

Particle pull-out ini terjadi karena pembasahan dan kekuatan antarmuka (fasa spinel $MgAl_2O_4$) yang kurang baik antara matriks dan penguat, sehingga partikel penguat ini rawan untuk terlepas (*pull-out*) dari matriksnya sehingga meninggalkan lubang / poros sehingga menjadi tempat bagi konsentrasi tegangan. Menurut literatur^[36], *particle pull-out* ini sering terjadi saat proses pengamplasan. Pada proses ini, partikel penguat SiC yang kurang berikatan baik dengan matriks dapat terlepas dan terbuang sehingga meninggalkan poros pada matriks. Proses pengamplasan adalah prosedur yang harus dilakukan Penulis sebelum melakukan pengujian kekerasan agar permukaan komposit Al/SiC rata dan data kekerasan yang diperoleh valid. *Particle pull-out* ini dibuktikan pada pengujian metalografi / pengamatan mikrostruktur.

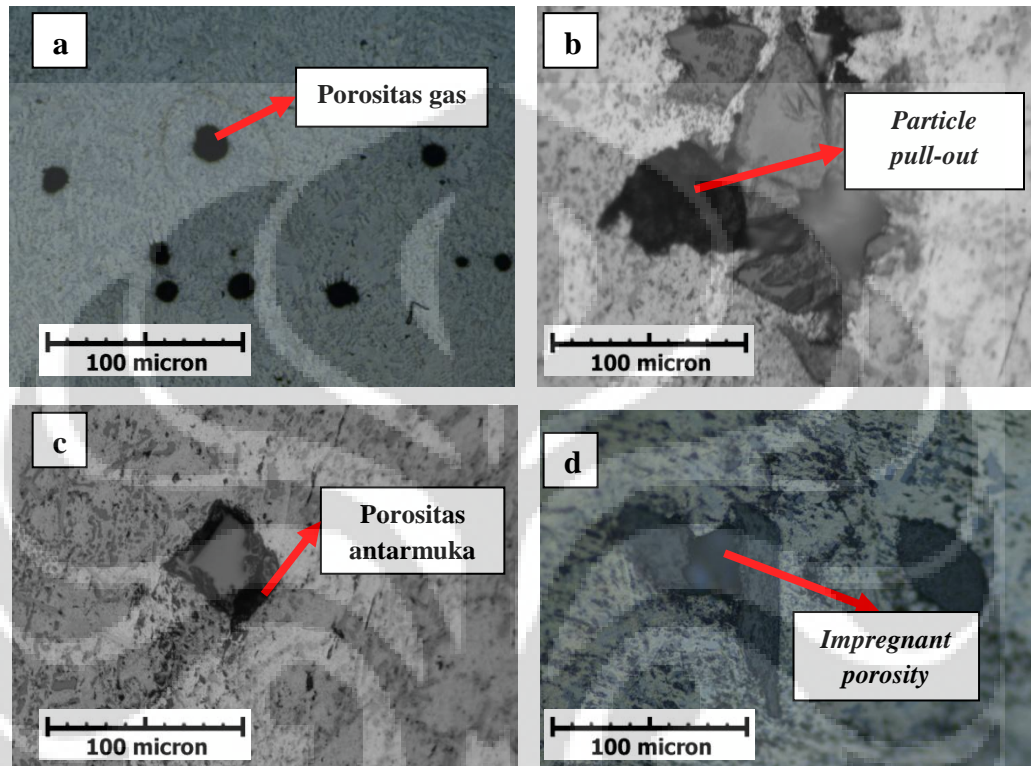
c) Porositas antarmuka / Daerah bebas logam

Porositas antarmuka / daerah bebas logam adalah daerah di sekeliling partikel komposit yang tidak terbasahi oleh lelehan logam aluminium. Partikel penguat SiC adalah partikel dengan bentuk irregular yang bersudut. Menurut literatur, partikel SiC memiliki kemungkinan tidak terbasahi seluruhnya oleh matriks aluminium akibat bentuknya yang bersudut ini^[19]. Dengan demikian pada daerah ini tidak terbentuk antarmuka dan meninggalkan poros di daerah yang tidak terbasahi aluminium.

d) Impregnant porosity akibat clustering

Clustering juga dapat menyebabkan porositas dengan cara berkumpulnya beberapa partikel penguat SiC yang menyebabkan wilayah di tengah *cluster* tersebut tidak dapat terbasahi oleh matriks aluminium. Menurut literatur, partikel penguat dalam suatu lelehan logam pada fabrikasi komposit cenderung untuk membentuk *cluster*^[2]. Pembentukan *cluster* ini

diminimalisir oleh Penulis dengan menggunakan metode *stir casting*. Namun pada pengujian metalografi, Penulis tetap menemui adanya *cluster* penguat. *Cluster* penguat ini memiliki daerah yang tidak mampu terbasahi matriks aluminium (biasanya di tengah *cluster*), sehingga pada daerah inilah terbentuk poros dan tidak memiliki antarmuka.



Gambar 4. 8. Foto mikro berbagai jenis porositas a) porositas gas; b) *particle pull-out*; c) porositas antarmuka; d) *impregnant porosity*.

Nilai porositas yang meningkat ini menyebabkan nilai kekerasan (Gambar 4.4) dari material komposit Al/SiC lebih rendah dibanding aluminium AC8H. Porositas merupakan pusat konsentrasi tegangan eksternal yang dapat menurunkan kemampuan material komposit dalam menahan beban. Keberadaan porositas menyebabkan penurunan sifat mekanik material^[20]. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa persentase porositas memiliki pengaruh pada nilai kekerasan material komposit Al/SiC. Hal ini terbukti dari menurunnya nilai kekerasan komposit Al/SiC dibanding aluminium AC8H (tanpa diberi penguat). Namun efek dari tiap penambahan 5% wt penguat SiC (5%, 10%, dan 15% wt) terhadap nilai kekerasan masih lebih berpengaruh dibanding bertambahnya

porositas untuk material komposit Al/SiC (meningkat 3% porositas tiap penambahan 5% wt penguat SiC).

Melalui grafik pengujian aus (Gambar 4.5) dapat dilihat bahwa peningkatan persen porositas tidak mempengaruhi nilai laju aus material komposit Al/SiC (semakin banyak penambahan penguat SiC – yang menyebabkan peningkatan nilai persen porositas pada komposit Al/SiC – akan tetap menurunkan nilai laju aus material komposit Al/SiC). Hasil ini diperkuat oleh Lee et al^[22] dalam penelitiannya yang menyebutkan bahwa ketahanan abrasi dari aluminium paduan berkurang drastis seiring dengan meningkatnya porositas, namun pada aluminium komposit hal tersebut tidak terlalu berpengaruh karena bagi komposit, ketahanan ausnya lebih ditentukan oleh jumlah penguat, distribusi, dan ukuran partikel penguat. Semakin besar ukuran partikel penguat dalam komposit, maka ketahanan ausnya semakin baik, begitu juga sebaliknya^[22]. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa pengujian aus material komposit Al/SiC hanya dipengaruhi oleh penambahan penguat SiC tanpa dipengaruhi oleh nilai persen porositas.

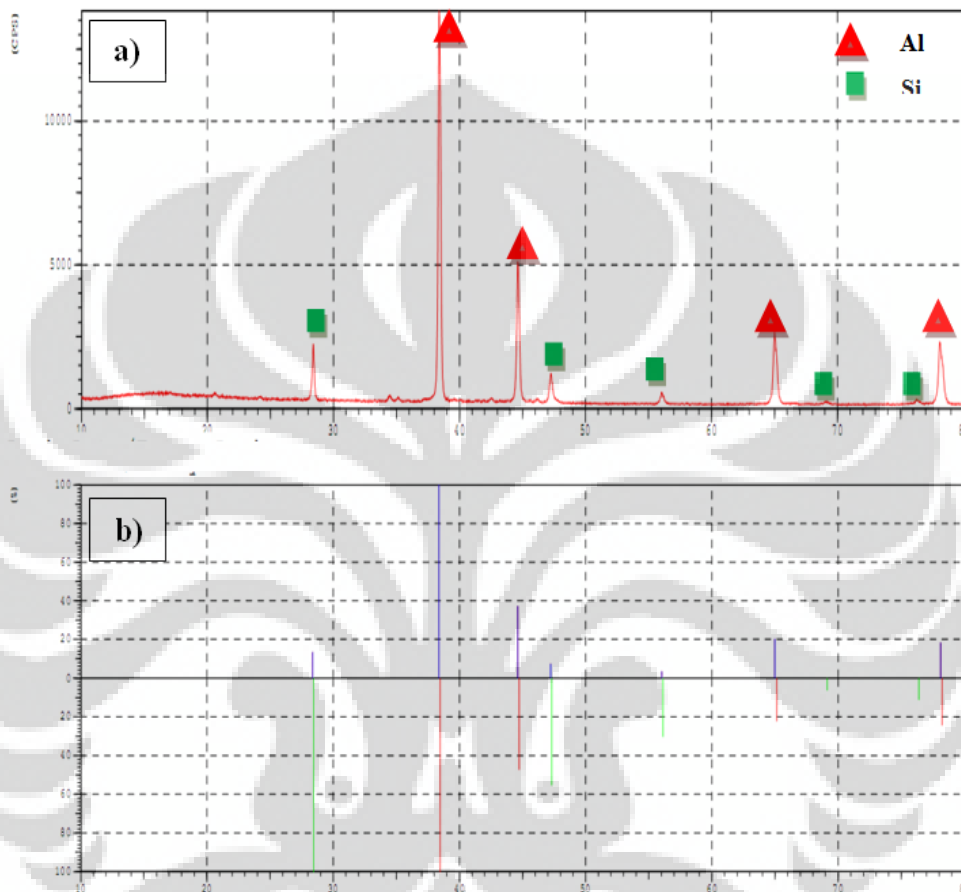
Porositas pada komposit matriks aluminium juga memiliki pengaruh dengan kemampuan material untuk perlakuan panas (dalam penelitian ini digunakan T6). Semakin banyak porositas dari material, maka makin butuh waktu lebih lama untuk mencapai puncak *age* dibanding material dengan porositas yang lebih sedikit. Hal ini terkait dengan mobilitas atom pada tahap *ageing* yang akan membentuk endapan / presipitat namun terhalang porositas sehingga memerlukan waktu lebih lama.

Untuk mencapai puncak *age*, parameter perlakuan panas (suhu dan waktu *ageing*) material dengan nilai porositas yang lebih besar tidak bisa disamakan dengan material dengan nilai porositas yang lebih kecil^[30]. Hal ini dapat menjelaskan mengenai peningkatan yang lebih signifikan dari nilai kekerasan (Gambar 4.4) dan nilai ketahanan aus (Gambar 4.5) aluminium AC8H (tanpa penguat) dibanding komposit Al/SiC pada kondisi T6 *heat-treated* dari kondisi *as-cast*.

4. 4. Pengujian *X-Ray Diffraction* Komposit Al/SiC

4. 4.1. Pengujian XRD Komposit Al/SiC Hasil *as-cast*

Pada pengujian XRD ini, Penulis menggunakan sampel komposit Al/SiC 10% wt. Sampel komposit Al/SiC 10% wt dianggap representatif untuk sampel dengan kadar SiC 5% wt dan 15% wt.

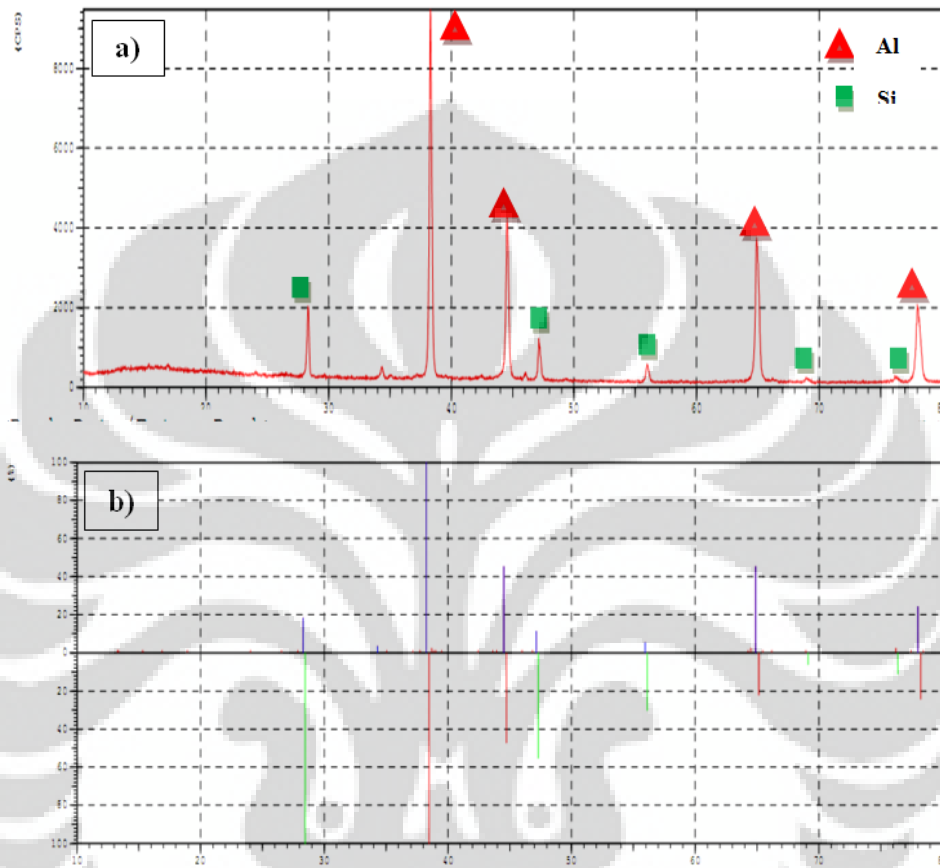


Gambar 4. 9. Pola difraksi sinar-x, puncak intensitas dari sampel komposit Al/SiC 10% wt. hasil *as-cast* dan b) perbandingan dengan *card data*.

Dapat disimpulkan bahwa fasa yang terbaca pada sampel komposit Al/SiC 10% wt. *as-cast* adalah fasa Al dan Si. Melalui hasil yang didapat dengan perbandingan dengan *database* dapat dilihat bahwa tidak ada puncak penguat SiC dan puncak fasa endapan (CuAl_2 atau Mg_2Si). Namun, jika melihat grafik hasil pengujian XRD diatas, ada beberapa puncak kecil yang tidak teridentifikasi pada *database*. Kemungkinan puncak-puncak kecil ini merupakan fasa penguat SiC atau endapan (dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan Gambar 4.15).

4. 4. 2. Pengujian XRD Komposit Al/SiC Hasil T6 *heat-treated*

Pada pengujian XRD ini, Penulis menggunakan sampel komposit Al/SiC 10% wt. Sampel komposit Al/SiC 10% wt dianggap representatif untuk sampel dengan kadar SiC 5% wt dan 15% wt;



Gambar 4. 10. Pola difraksi sinar-x, puncak intensitas a) sampel Al/SiC 10% hasil T6 *heat-treated* dan b) perbandingan dengan *card data*

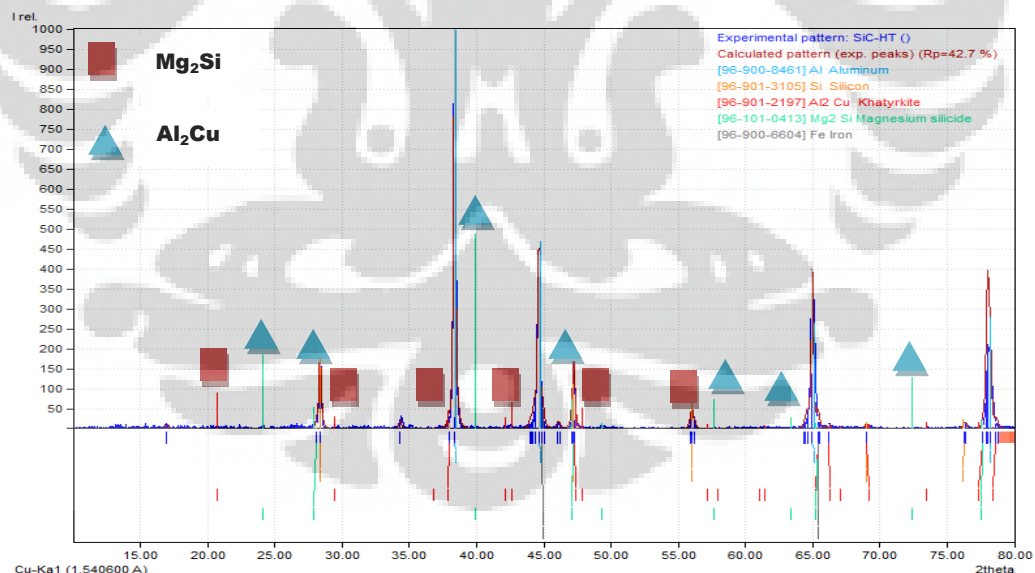
Pada Gambar 4.10 diatas, merupakan perbandingan data puncak hasil pengujian dengan *card data* material. Garis berwarna merah merupakan garis aluminium dan garis hijau merupakan garis silikon. Jadi dapat disimpulkan bahwa fasa yang terbaca pada sampel T6 *heat-treated* adalah fasa Al dan Si.

4. 4. 3. Analisa Perbedaan Grafik XRD Komposit Al/SiC *As-cast* dan T6 *Heat-treated*.

Melalui perbandingan grafik XRD komposit Al/SiC hasil *as-cast* dan T6 *heat-treated* terdapat perbedaan yaitu intensitas yang berubah pada beberapa

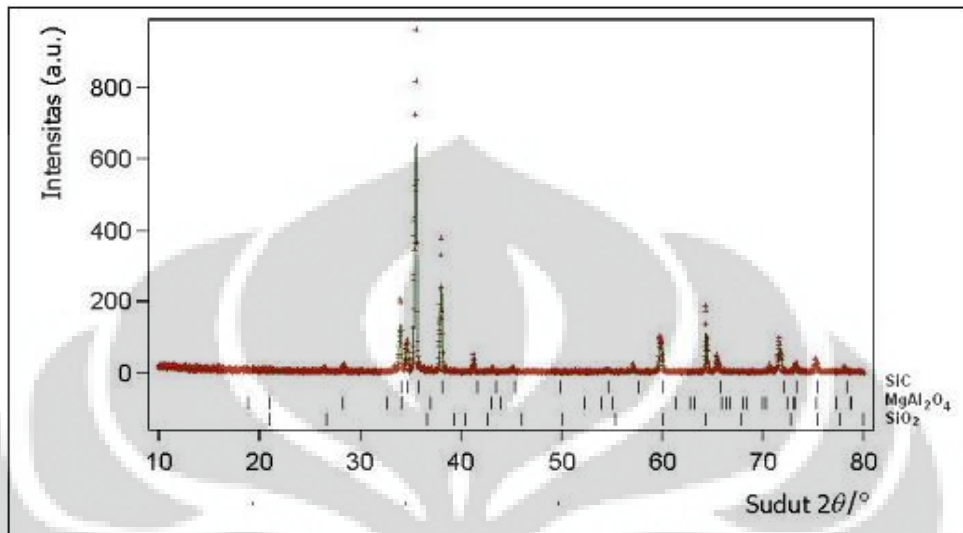
puncak. Perubahan tinggi puncak untuk material yang sama (komposit Al/SiC 10% wt) pada proses *as-cast* dan T6 *heat-treated* disebabkan perubahan kisi atom setelah proses T6 *heat-treated*. Namun ada persamaan yang didapat pada kedua hasil pengujian XRD, yaitu tidak terbacanya endapan / presipitat dan penguat SiC pada hasil pengujian XRD namun ada beberapa puncak kecil yang tidak teridentifikasi.

Pada material komposit Al/SiC yang memiliki matriks aluminium seharusnya ditemukan adanya endapan, seperti Al_2Cu atau Mg_2Si yang berperan sebagai pengerasan presipitat, namun yang terbaca pada hasil pengujian hanya fasa Al dan fasa Si. Tidak terbacanya fasa endapan pada pembacaan grafik XRD kemungkinan diakibatkan oleh absorpsi matriks Al dan Si yang mendominasi detektor pada pembacaan pola difraksi^[37]. Ada kemungkinan fasa Al_2Cu mengalami penghamburan dari fasa matriks Al dan fasa Mg_2Si mengalami penghamburan dari fasa Si eutektik sehingga sulit terbaca detektor. Gambar dibawah ini adalah *card data* dari lokasi 2θ fasa Al_2Cu dan Mg_2Si . Ada beberapa lokasi puncak endapan Al_2Cu atau Mg_2Si yang memiliki 2θ sama dengan puncak-puncak kecil yang tidak teridentifikasi hasil pengujian XRD sesuai Gambar 4.11.



Gambar 4. 11. Pola difraksi XRD Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan perbandingan terhadap puncak Al_2Cu dan Mg_2Si

Penguat SiC yang tidak terbaca pada pengujian XRD kemungkinan disebabkan karena intensitasnya kecil. Gambar 4.12 dibawah ini adalah grafik hasil XRD serbuk penguat SiC dari pengujian sebelumnya.



Gambar 4. 12. Pola difraksi XRD serbuk SiC *electroless coating* dengan Mg[13].

Dapat dilihat bahwa penguat SiC memiliki intensitas dibawah 200 a.u, sementara pada grafik hasil XRD komposit Al/SiC 10% wt intensitas berada pada wilayah 10.000 a.u -15.000 a.u. Hal ini tentu mempengaruhi pembacaan penguat SiC pada detektor. Perbedaan intensitas yang cukup besar ini mengakibatkan puncakpenguat SiC yang seharusnya muncul menjadi tidak terlihat dan hanya berupa garis lurus. Melalui perbandingan dengan gambar diatas, ada beberapa puncak SiC yang terletak pada 2θ yang hampir sama dengan grafik hasil XRD material komposit Al/SiC namun tidak terbaca pada *database* material. Jadi kemungkinan beberapa puncak rendah yang tidak terbaca pada *database* hasil pengujian XRD Penulis merupakan puncak dari penguat SiC.

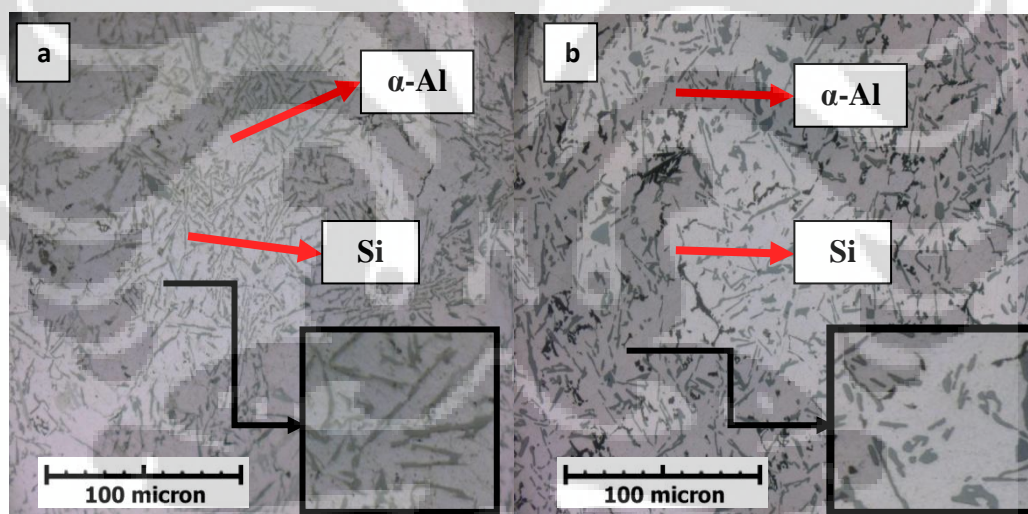
Selain itu pembacaan pola difraksi juga dipengaruhi oleh koefisien absorpsi dari masing-masing partikel^[37]. Namun dapat dipastikan bahwa penguat SiC memang ada pada tiap sampel pengujian yang dapat dilihat melalui pengamatan mikrostruktur (pada Subbab 4.6) dan pengujian SEM / EDX (pada Subbab 4.7) komposit Al/SiC *as-cast* dan T6 *heat-treated* dengan mengamati bentuk, *clustering*, kandungan elemen Si dan C, serta porositas yang terdapat di daerah sekeliling penguat SiC.

4. 5. Pengamatan Mikrostruktur Komposit Al/SiC

Pada pengamatan struktur mikro aluminium AC8H dan komposit Al/SiC dengan variasi penambahan kadar penguat SiC (5%, 10%, dan 15% wt) hasil *as-cast* dan T6 *heat-treated* dapat dilihat terdapat beberapa perbedaan yaitu bentuk silikon, persebaran penguat, dan endapan.

4. 5. 1. Foto Mikrostruktur Aluminium AC8H (tanpa penguat) *as-cast* dan T6 *heat-treated*.

Gambar 4.13 dibawah ini merupakan perbandingan mikrostruktur dari aluminium AC8H (tanpa diberi penguat) hasil *as-cast* dan T6 *heat-treated*. Material aluminium AC8H ini adalah matriks yang digunakan Penulis dalam pembuatan komposit Al/SiC. Jadi mikrostruktur aluminium AC8H (tanpa diberi penguat) ini juga mewakili mikrostruktur dari komposit Al/SiC pada kondisi *as-cast* maupun T6 *heat-treated*.



Gambar 4. 13. Perbandingan mikrostruktur dari aluminium AC8H (*unpenguat*) a) hasil *as-cast* dan b) hasil T6 *heat-treated* dengan perbesaran 200x

Perbedaan yang dapat dilihat dari kedua gambar dibawah adalah struktur Si pada hasil *as-cast* yang lebih panjang, runcing, tajam, dan relatif belum terpecah dibanding hasil T6 *heat-treated* yang telah terpecah lebih pendek (globular) namun menyebar. Perbedaan ini akan dibahas pada paragraf dibawah.

Pada Gambar 4.13 (a) diatas (AC8H *as-cast*) dapat dilihat bahwa fasa Si juga terlihat rapat dan runcing dengan wilayah hitam (fasa Si) yang banyak dan

mendesak wilayah putih (fasa α -Al). Mikrostruktur ini identik dengan mikrostruktur Al-Si eutektik menurut literatur^[17]. Bentuk silikon yang cenderung runcing ini (Gambar 4.13 (a)) sangat mempengaruhi sifat mekanis dari paduan aluminium AC8H. Menurut literatur^[14], fungsi silikon pada paduan aluminium adalah untuk meningkatkan kekuatan. Namun jika silikon berada dalam bentuk seperti ini maka sifat mekanis material aluminium AC8H maupun komposit Al/SiC cenderung lemah karena apabila material ini mendapat gaya dari luar maka gaya tersebut akan terpusat pada ujung-ujung silikon (yang bersifat runcing dan tajam) sehingga menjadi daerah konsentrasi teganganyang menurunkan sifat mekanis. Namun kondisi mikrostruktur ini masih akan diperbaiki melalui proses perlakuan panas yang berujung pada peningkatan sifat mekanis, seperti kekerasan dan ketahanan aus yang bisa meningkat.

Pada Gambar 4.13 (b) diatas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan mikrostruktur pada aluminium AC8H T6 *heat-treated*. Wilayah α -Al terlihat lebih luas (lebih tumbuh) jika dibanding fasa α -Al pada kondisi *as-cast* dan menjadi lebih lonjong. Selain itu fasa Si yang terbentuk juga telah terpecah menjadi lebih tersebar dan lebih globular dibanding bentuk sebelumnya (Gambar 4.13 (b)). Bentuk Si yang lebih globular dan terdispersi inilah yang menyebabkan nilai sifat mekanis (nilai kekerasan dan ketahanan aus) dari aluminium AC8H maupun komposit Al/SiC mengalami peningkatan dari kondisi *as-cast* dibanding kondisi T6 *heat-treated*.

Pada aluminium AC8H kondisi T6 *heat-treated* juga telah terbentuk endapan hasil *ageing* (CuAl_2 atau Mg_2Si)^[16]. Endapan hasil *ageing* ini berbeda dari endapan pada material aluminium AC8H *as-cast* yang terbentuk akibat difusi atom saat solidifikasi. Endapan hasil *ageing* memiliki daerah yang kaya akan endapan dan tersebar merata didalam butir. Endapan hasil *ageing* ini memiliki koherensi yang baik terhadap matriks dalam kaitannya untuk menghalangi pergerakan dislokasi dibanding endapan pada kondisi *as-cast*. Endapan ini berfungsi untuk menghalangi pergerakan dislokasi melalui efek distorsi kisi yang ditimbulkannya. Endapan / presipitat ini juga menjadi alasan mengapa nilai sifat mekanis, yaitu nilai kekerasan (Subbab 4.2.1) dan nilai ketahanan aus (Subbab

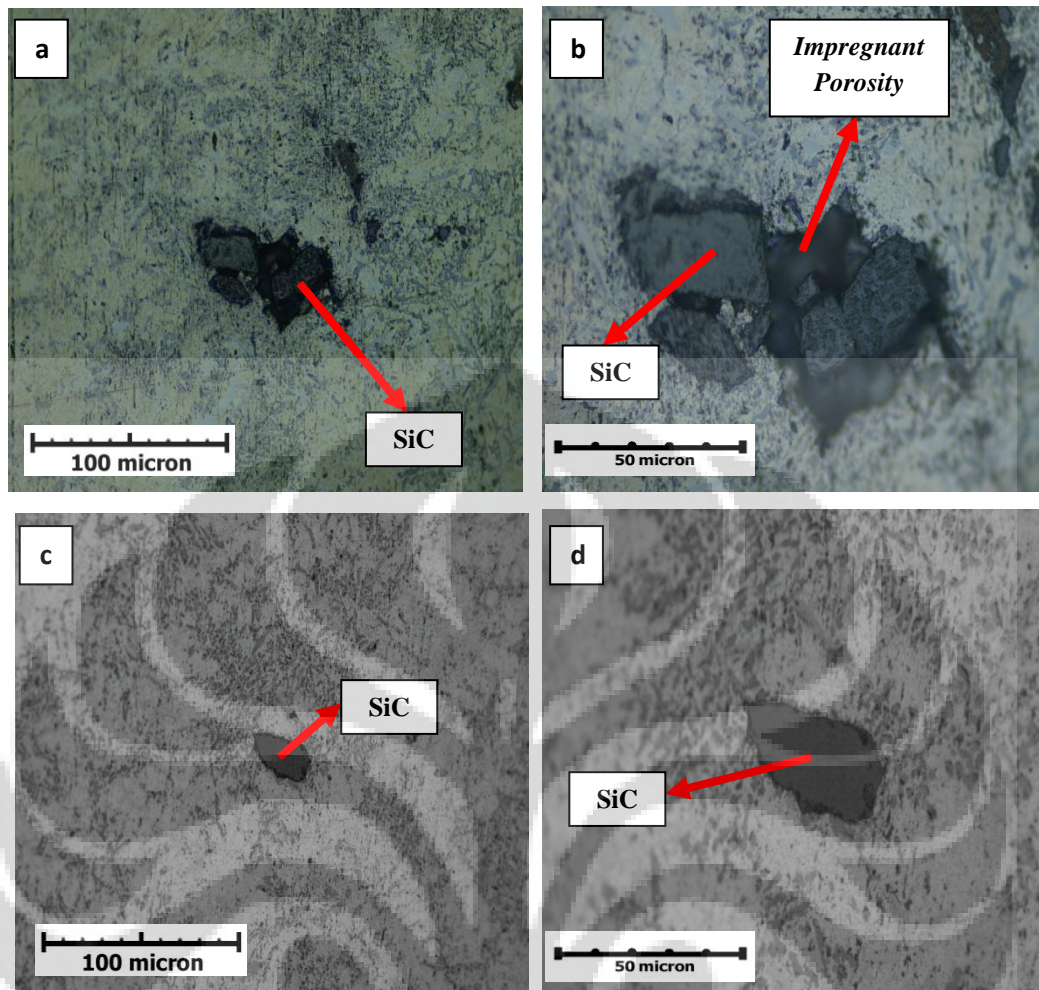
4.2.2) dari aluminium AC8H maupun komposit Al/SiC meningkat setelah mengalami perlakuan panas T6.

Dengan membandingkan mikrostruktur aluminium AC8H (tak diberi penguat) kondisi *as-cast* dan T6 *heat-treated* dapat disimpulkan bahwa terdapat beberapa perbedaan yang menjadi penyebab meningkatnya sifat mekanis setelah material aluminium AC8H (atau komposit Al/SiC) setelah mengalami proses perlakuan panas T6, yaitu :

- a) Setelah mengalami perlakuan panas T6, struktur silikon terpecah dari bentuk tajam dan runcing menjadi lebih pendek, globular, dan dalam kondisi lebih terdispersi yang berujung pada peningkatan sifat mekanis (Subbab 4.2).
- b) Setelah mengalami perlakuan panas T6, terbentuk endapan hasil *ageing* yang meningkatkan sifat mekanis dibanding pada kondisi *as-cast* dengan endapan yang terbentuk dari hasil difusi atom yang berujung pada peningkatan sifat mekanis (Subbab 4.2).
- c) Sedikitnya porositas yang tampak pada mikrostruktur aluminium AC8H juga menyebabkan efektivitas perlakuan panas T6 meningkat dalam kaitannya dengan pembentukan endapan, dapat dilihat dari peningkatan nilai sifat mekanis dari hasil perlakuan panas T6.

4. 5. 2. Foto Mikrostruktur Komposit Al/SiC 5% wt *as-cast* dan T6 *heat-treated*.

Foto mikro komposit Al/SiC *as-cast* dan T6 *heat-treated* menunjukkan adanya perbedaan mikrostruktur dari aluminium AC8H, seperti pada penguat (*clustering* dan retak mikro), level porositas, serta endapan yang terbentuk hasil proses perlakuan panas T6 dan *as-cast*. Gambar 4.14 dibawah adalah perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 5% wt *as-cast* dan kondisi T6 *heat-treated*.

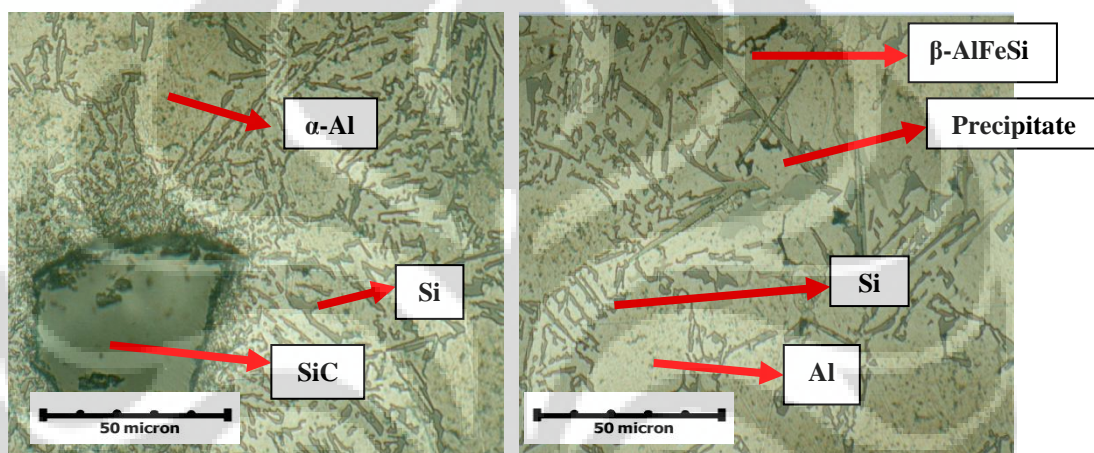


Gambar 4. 14. Perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 5% wt a) *as-cast* perbesaran 200x ; b) *as-cast* perbesaran 500x ; c) T6 *heat-treated* perbesaran 200x ; d) T6 *heat-treated* perbesaran 500x.

Pada foto mikro diatas (Gambar 4.14 (a) dan (b)) dapat dilihat bahwa pada kandungan SiC 5% wt telah terjadi *clustering* antar partikel penguat SiC. *Clustering* terjadi karena merupakan sifat alami partikel dalam suatu lelehan logam. Selain itu disebabkan juga adanya interval waktu antara proses pengadukan dan penuangan sehingga partikel penguat memiliki waktu untuk membentuk *cluster*. Menurut literatur seharusnya proses pengadukan tidak memiliki interval waktu dengan proses penuangan untuk meminimalisir *clustering*. Selain itu cara efektif untuk meminimalisir *clustering* adalah dengan mixing saat keadaan logam *semi-solid*, sehingga pergerakan partikel dalam lelehan untuk membentuk *cluster* terhambat oleh viskositas lelehan logam yang tinggi. *Clustering* partikel penguat tersebut mengakibatkan adanya celah di bagian

tengah yang tidak mampu terbasahi logam aluminium. Celah ini tidak mampu terbasahi oleh lelehan aluminium karena adanya sudut dari penguat SiC sehingga daerah ini tidak terisi aluminium dan membentuk porositas yang disebut *impregnant porosity*.

Pada mikrostruktur komposit Al/SiC juga dapat dilihat melalui gambar dibawah bahwa penguat SiC menjadi tempat awal pertumbuhan dendrit. Selain itu juga pada gambar dibawah ini dapat dibedakan fasa / endapan yang mungkin terbentuk pada komposit Al/SiC.

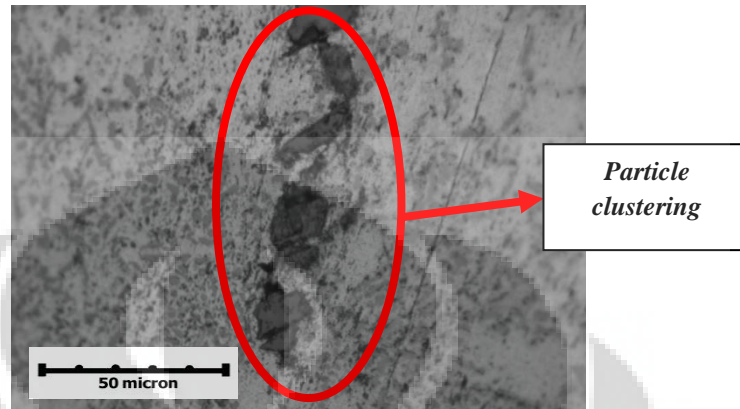


Gambar 4. 15. Mikrostruktur material komposit Al/SiC 5% wt T6 *heat-treated* dengan perbesaran 500x.

Melalui Gambar 4.15 diatas juga dapat dilihat adanya endapan dan fasa intermetalik yang terbentuk pada komposit Al/SiC, selain fasa α -Al dan Si. Melalui perbandingan dengan literatur, endapan yang terbentuk kemungkinan adalah Mg_2Si dan fasa intermetalik yang ada pada gambar diatas adalah β -AlFeSi yang berupa garis / jarum dengan warna yang berbeda dari fasa Si. Melalui gambar diatas dapat dilihat juga bahwa struktur Si yang terbentuk pada sampel komposit T6 *heat-treated* lebih pendek dan nodular jika dibandingkan dengan komposit hasil *as-cast*. Melalui gambar dibawah, Penulis juga menemukan adanya fasa α -AlFeSi yang terdapat pada komposit hasil T6 *heat-treated*. Pada gambar diatas juga dapat dilihat bahwa daerah di sekitar penguat SiC cenderung menjadi awal pembentukan dari dendrit.

Dibawah ini adalah gambar dari foto mikro komposit Al/SiC 5% wt dengan perbesaran 500x. Dapat dilihat bahwa partikel penguat SiC berada berdekatan sehingga membentuk *clustering*. *Clustering* dari partikel penguat SiC sebenarnya

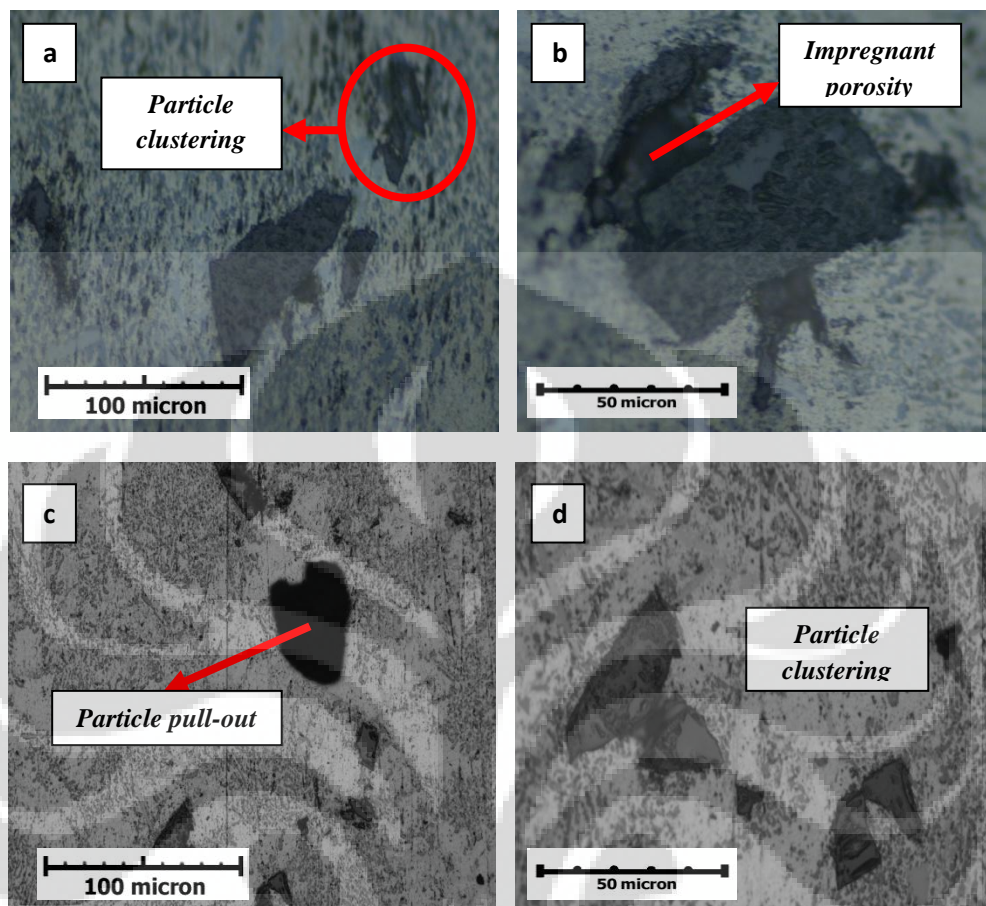
tidak menguntungkan bagi sifat mekanis komposit, karena hal ini berarti distribusi dari penguatkurang merata dan daerah penahan beban pada matriks semakin berkurang dan terkonsentrasi, sehingga nilai sifat mekanis dari komposit berkurang / tidak optimum.



Gambar 4. 16. Foto mikro Al/SiC 5% wt T6 *heat-treated* perbesaran 500x yang membentuk *clustering*.

Melalui Gambar 4.16 di atas dapat diambil kesimpulan bahwa *clustering* particle penguat SiC telah terjadi bahkan untuk komposit Al/SiC dengan kadar penguat SiC 5% wt. Hal ini menunjukkan bahwa untuk penambahan kadar SiC berikutnya (10% dan 15% wt) tetap akan terjadi *clustering*. Kondisi mikrostruktur ini menjelaskan mengapa nilai kekerasan dari komposit Al/SiC 5% wt lebih rendah dibanding aluminium AC8H (tak diberi penguat). Penambahan penguat SiC ini menyebabkan beberapa cacat yang dapat dilihat pada mikrostruktur (porositas dan *clustering*) dengan efek cacat yang lebih besar dibanding penambahan penguat SiC itu sendiri. Untuk memperbaiki hal ini diperlukan metode fabrikasi yang lebih baik dengan parameter yang lebih terjaga. Porositas ini juga berpengaruh pada efektivitas dari perlakuan panas T6. Semakin banyak porositas dari material, maka makin butuh waktu lebih untuk mencapai *peak-age* dibanding material dengan porositas lebih sedikit.

4. 5. 3. Foto Mikrostruktur Komposit Al/SiC 10% wt *as-cast* dan T6 *heat-treated*.



Gambar 4. 17. Perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 10% wt a) *as-cast* perbesaran 200x ; b) *as-cast* perbesaran 500x ; c) T6 *heat-treated* perbesaran 200x ; d) T6 *heat-treated* perbesaran 500x.

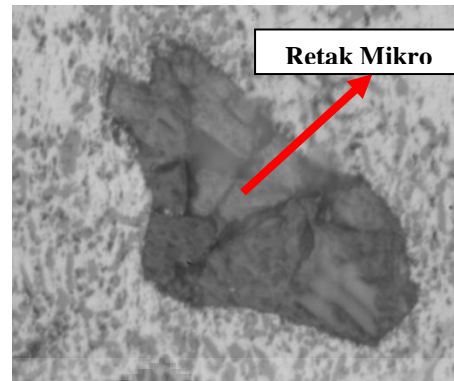
Melalui Gambar 4.17 diatas dapat dilihat perbedaan persebaran penguat SiC dari komposit Al/SiC 10% wt. Pada perbesaran 200x dapat dilihat perbedaan jumlah penguat SiC antara komposit Al/SiC 5% wt (Gambar 4.14) dengan komposit Al/SiC 10% wt (Gambar 4.17). Penguat SiC terlihat lebih banyak pada foto mikro komposit Al/SiC 10% wt.

Pada komposit Al/SiC 10% wt hasil *as-cast* (Gambar 4.17 (a) dan (b)) juga dapat dilihat terbentuknya *clustering* partikel SiC seperti Al/SiC 5% wt. Pada kedua tersebut menunjukkan terbentuknya *cluster* partikel SiC dan membentuk *impregnant porosity* akibat lelehan logam aluminium yang tidak mampu masuk ke dalam *cluster* partikel SiC tersebut. Penelitian yang dilakukan Murphy et al^[38]

menunjukkan bahwa pada komposit dengan 20% penguat SiC namun dengan derajat *clustering* yang berbeda memerlukan tindak lanjut pengerasan mekanik (pengerasan kerja) yang berbeda sehingga nilai keuletannya pasti berkurang.

Gambar 4.17 (c) diatas yaitu komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* perbesaran 200x juga menunjukkan porositas. Porositas ini bukan disebabkan oleh gas, melainkan *particle pull-out* karena bentuk poros cenderung bersudut mengikuti bentuk penguat SiC. *Particle pull-out* ini terjadi akibat antarmuka yang terbentuk antara matriks aluminium dan penguat SiC kurang baik, sehingga penguat mungkin untuk terlepas.

Untuk Gambar 4.17 (d) yaitu komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan perbesaran 500x dapat dilihat bahwa konsekuensi dari kandungan penguat yang lebih banyak akan menyebabkan *clustering* dari partikel penguat SiC. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa partikel-partikel penguat yang ada cenderung berkumpul (*clustering*) dengan sesama partikel karena tingkat energinya yang lebih rendah. Hal ini adalah bukti dari Subbab 4.3 yang menjelaskan mengenai densitas dan porositas komposit Al/SiC meningkat seiring dengan penambahan penguat SiC ke dalam komposit Al/SiC. Porositas di komposit Al/SiC 10% wt dipastikan lebih banyak dibanding pada aluminium AC8H (tak diberi penguat) maupun komposit Al/SiC 5% wt. Banyaknya porositas ini menurunkan nilai mekanis komposit dibanding aluminium AC8H (tak diberi penguat) yang porositasnya sedikit karena distribusinya yang kurang merata, namun nilai kekerasan maupun ketahanan aus dari komposit Al/SiC 10% wt tetap meningkat dibanding komposit Al/SiC 5% wt yang disebabkan semakin banyak partikel penguat SiC yang berfungsi sebagai penahan beban luar (melalui perbandingan Gambar 4.14 dan Gambar 4.17).

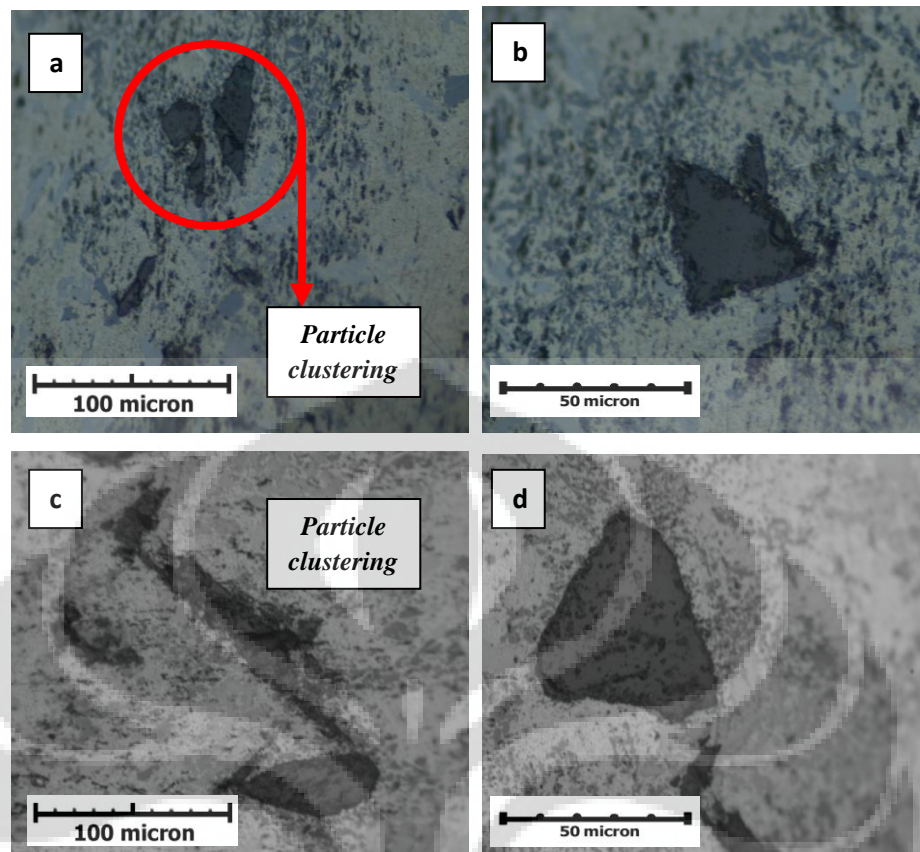


Gambar 4. 18. Foto mikro Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan adanya retak mikro pada permukaannya melalui perbesaran 1000x.

Pada Gambar 4.18 diatas yaitu komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan perbesaran 1000x dapat dilihat karakter permukaan dari serbuk penguat SiC. Serbuk penguat SiC memiliki cacat retak mikro pada permukaannya. Menurut literatur, partikel penguat SiC terkadang memiliki cacat retak mikropada permukaannya yang terjadi pada proses *preheating* dan *solution treatment* pada proses perlakuan panas. Retak mikro pada permukaan partikel penguat ini (degradasi partikel) menyebabkan nilai kekuatan mekanis dari suatu komposit dapat menurun^[19]. Namun tidak semua partikel penguat SiC yang ditemui Penulis melalui pengamatan mikrostruktur mengalami cacat retak mikro ini.

4. 5. 4. Foto Mikrostruktur Komposit Al/SiC 15% wt *as-cast* dan T6 *heat-treated*.

Pada foto mikro Al/SiC 15% wt *as-cast* dibawah (Gambar 4.19) dapat dilihat bahwa persebaran penguat SiC lebih banyak dibanding komposit Al/SiC 5% wt dan komposit Al/SiC 10% wt. Namun material komposit Al/SiC tetap mengalami *clustering* penguat SiC, sama seperti pada komposit Al/SiC 5% wt dan Al/SiC 10% wt. Dapat dipastikan bahwa jumlah *clustering* pada komposit Al/SiC 15% wt ini lebih besar dibanding komposit Al/SiC 5% wt dan komposit Al/SiC 10% wt, dan dengan demikian dapat dipastikan bahwa jumlah *clustering* dan porositas pada komposit Al/SiC 15% wt juga lebih banyak dibanding komposit Al/SiC 5% wt dan komposit Al/SiC 10% wt (sesuai Subbab 4.3 Gambar 4.6).



Gambar 4.19. Perbandingan mikrostruktur komposit Al/SiC 15% wt a) *as-cast* perbesaran 200x ; b) *as-cast* perbesaran 500x ; c) T6 *heat-treated* perbesaran 200x ; d) T6 *heat-treated* perbesaran 500x.

Melalui Gambar 4.19 di atas dapat dilihat perbedaan persebaran penguat SiC dari komposit Al/SiC 5% dan komposit Al/SiC 10% wt. Pada perbesaran 200x dapat dilihat perbedaan jumlah penguat SiC antara komposit Al/SiC 5% wt (Gambar 4.14) dan komposit Al/SiC 10% wt (Gambar 4.17) dengan komposit Al/SiC 15% wt. Penguat SiC terlihat lebih banyak pada foto mikro komposit Al/SiC 15% wt. Semakin tinggi volume fraksi penguat dalam suatu lelehan logam, maka makin cepat terbentuk agglomerat^[2].

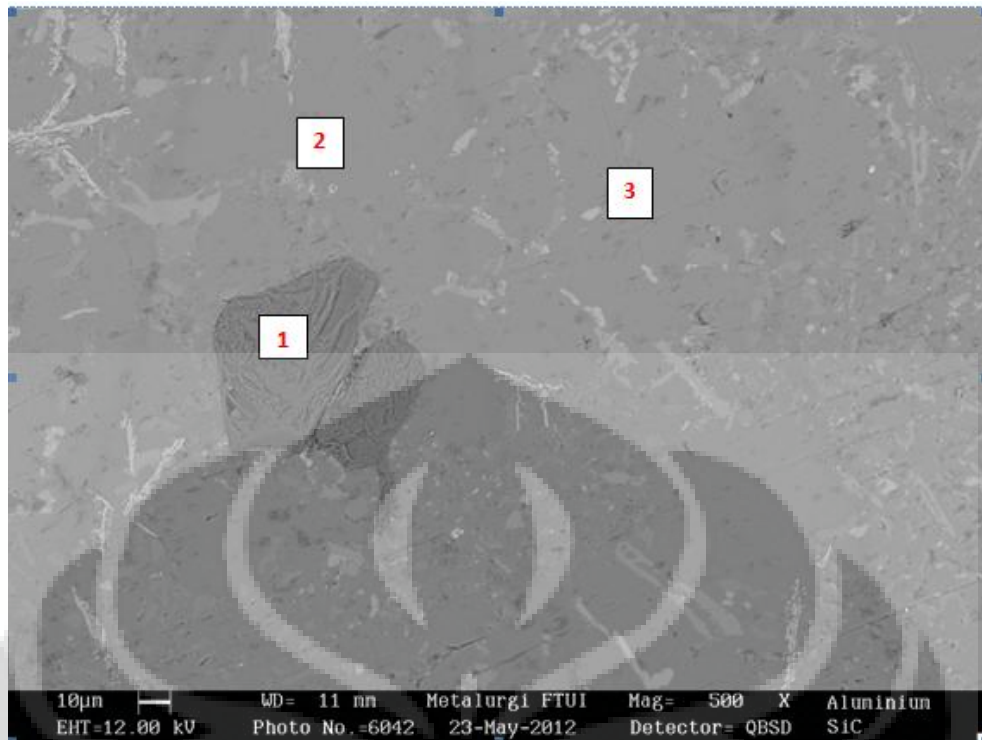
Jumlah *clustering* penguat SiC dan porositas juga meningkat. Hal ini menyebabkan nilai kekerasan dari komposit Al/SiC 15% wt tetap lebih kecil dibanding nilai kekerasan aluminium AC8H (tak diberi penguat) sesuai Subbab 4.2.1, namun nilai sifat mekanis komposit Al/SiC 15% wt lebih besar dibanding komposit Al/SiC 5% dan komposit Al/SiC 10% wt akibat bertambahnya fraksi berat penguat SiC yang berfungsi sebagai penahan gaya luar. Efektivitas dari hasil perlakuan panaspada komposit Al/SiC 15% wt terhadap sifat mekanis (nilai

kekerasan dan nilai ketahanan aus) juga berkurang dibanding aluminium AC8H (tanpa penguat), dilihat dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.

Peningkatan nilai *clustering* pada tiap penambahan penguat SiC juga dipengaruhi oleh antarmuka / pembasahan yang kurang baik dari penguat SiC terhadap matriks aluminium sehingga partikel penguat SiC cenderung berikatan satu sama lain akibat tegangan permukaan antara keduanya yang hampir sama. Dalam hal ini ketebalan antarmuka / pembasahan (fasa spinel $MgAl_2O_4$) kurang baik karena daya ikat antar penguat SiC cenderung lebih kuat dibanding daya ikat penguat SiC dengan matriks aluminium yang seharusnya dibantu dengan fasa spinel $MgAl_2O_4$. Waktu *preheating* penguat SiC juga berpengaruh pada pembasahan antara penguat SiC dengan matriks aluminium. Meningkatnya waktu *preheating* untuk partikel penguat meningkatkan kekuatan antarmuka-nya dalam matriks dan meningkatkan distribusi partikel penguat, karena mencegah partikel untuk bertemu satu sama lain akibat fasa spinel yang terbentuk^[25].

4. 6. Pengujian SEM / EDX Komposit Al/SiC

Pada pengujian SEM / EDX, Penulis melakukan pengamatan SEM dan penembakan elektron untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat pada komposit Al-SiC 10% wt T6 *heat-treated* dan kemungkinan fasa yang terbentuk. Komposisi SiC 10% wt dianggap representatif untuk komposit dengan kadar 5% dan 10%. Gambar dibawah ini adalah hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan perbesaran 500x. Dapat dilihat selain adanya penguat SiC, terdapat pula spektrum warna lain yang kemungkinan adalah endapan (presipitat).



Gambar 4. 20. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* perbesaran 500x dengan penembakan pada 3 titik

Pada pengamatan SEM Gambar 4.20 diatas, Penulis melakukan 3 kali penembakan elektron pada 3 titik berbeda dan pada tabel dibawah dapat dilihat hasil dari penembakan pada 3 titik tersebut melalui analisa EDX.

Tabel 4. 2. Tabel pengujian EDX spektrum 1, 2, dan 3.

Spektrum	% Elements							Total	Indikasi Fasa
	Si	C	Mg	Al	Cu	Fe	O		
1	79,65	4,09		4,8			11,46	100%	SiC
2	16,31	1,27	8,91	66,96		6,55		100%	Mg ₂ Si
3	2,16	1,22	0,69	57,42	38,51			100%	CuAl ₂

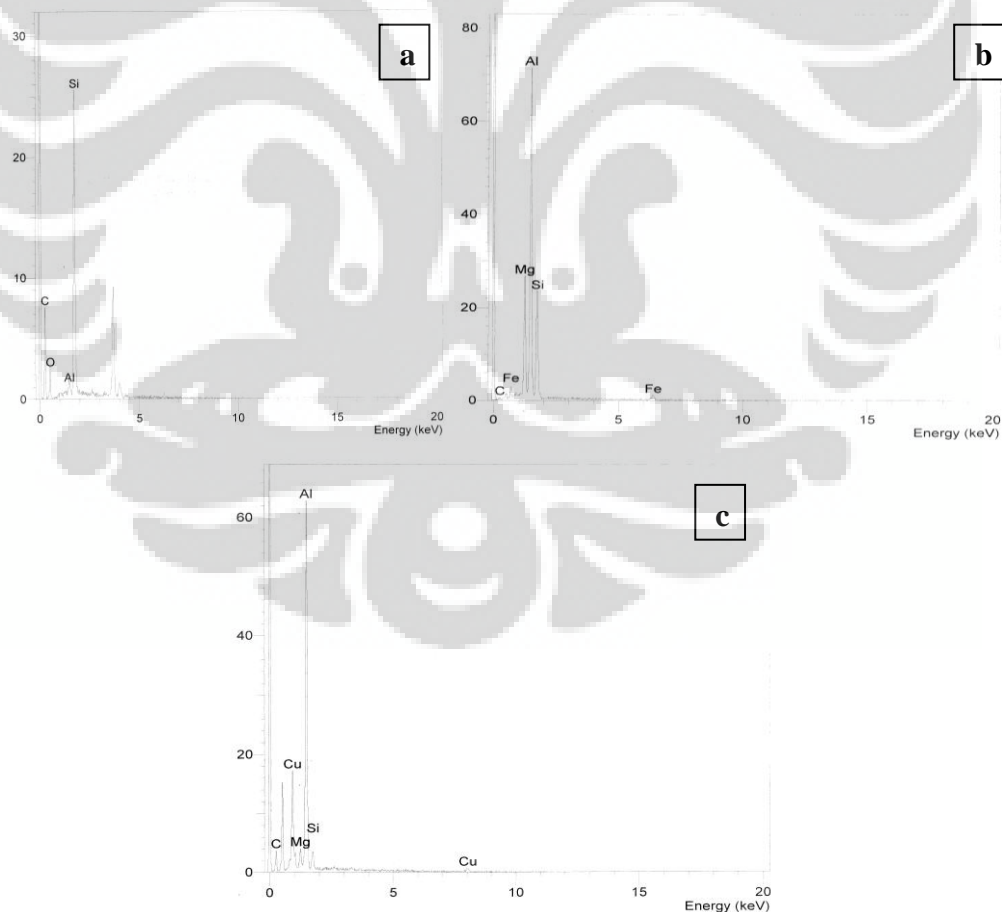
Pada spektrum 1 dapat dilihat bahwa pada penembakan EDX penguat SiC melalui pengamatan SEM didapat hasil bahwa % unsur Si sangat jauh diatas % unsur C. Namun melalui pengamatan serbuk penguat SiC (Subbab 4.1) dan pengamatan mikrostruktur (Subbab 4.5) dapat dilihat bahwa spektrum 1 pada

pengujian EDX adalah memang benar penguat SiC melalui analisa bentuk dan kontur permukaan serbuk SiC.

Pada spektrum 2 Penulis mengindikasikan bahwa fasa yang mungkin terbentuk adalah Mg_2Si . Menurut literatur^[17], untuk membentuk Mg_2Si syarat % unsur yang harus dipenuhi adalah 64% Mg dan 36% Si. % unsur yang diperoleh Penulis tidak mencukupi untuk memenuhi standar % fasa Mg_2Si karena unsur yang dominan pada spektrum 2 adalah fasa matriks Al.

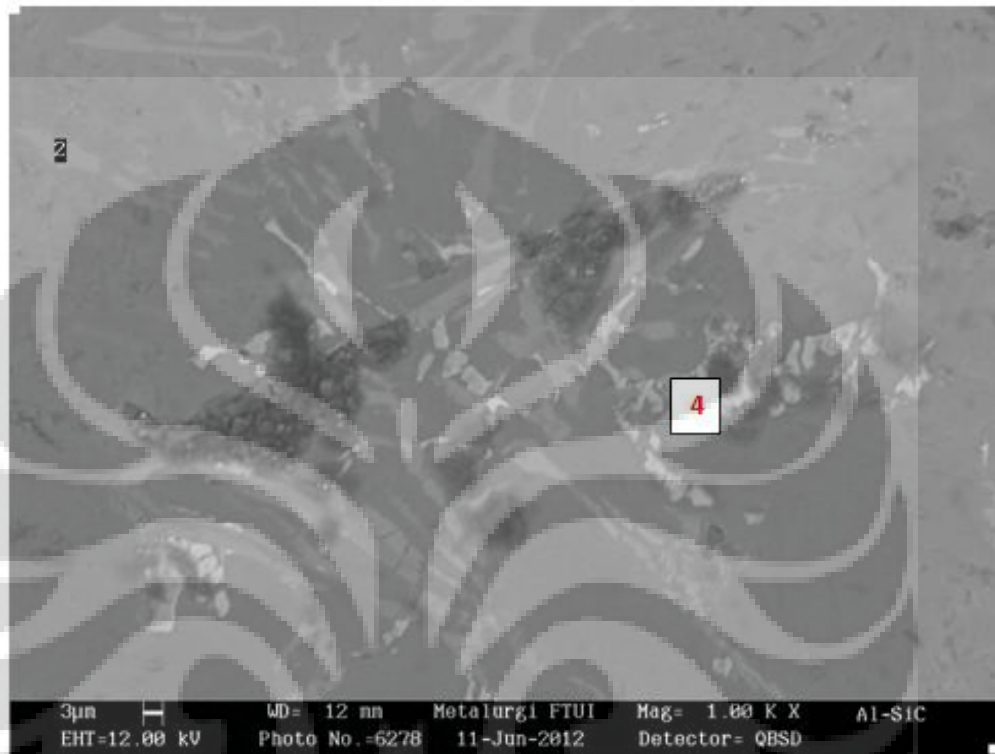
Pada spektrum 3 Penulis mengindikasikan bahwa fasa yang terbentuk adalah $CuAl_2$. Menurut literatur^[17], untuk membentuk $CuAl_2$ syarat % unsur Cu adalah 52% dan sisanya (48%) adalah unsur Al. Pada spektrum 3 Penulis mengindikasikan bahwa fasa yang terbentuk adalah $CuAl_2$ karena unsur yang dominan adalah unsur Al (57,42%) dan unsur Cu (38,51%) dengan persentase mencapai 96% dari total unsur yang ada.

Hasil EDX pada Spektrum 1, 2, dan 3 :



Gambar 4. 21. Grafik hasil pengujian EDX a) Spektrum 1 ; b) Spektrum 2, ; dan c) Spektrum 3

Pada gambar 4.22 dibawah adalah gambar pengamatan SEM komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan perbesaran 1000 x. Melalui perbesaran ini, Penulis ingin melihat adanya endapan yang terbentuk. Pada pengamatan kali ini, Penulis melakukan penembakan pada 1 titik yang berwarna putih dan tabel 4.3 dibawah ini adalah tabel hasil penembakan EDX pada spektrum 4.



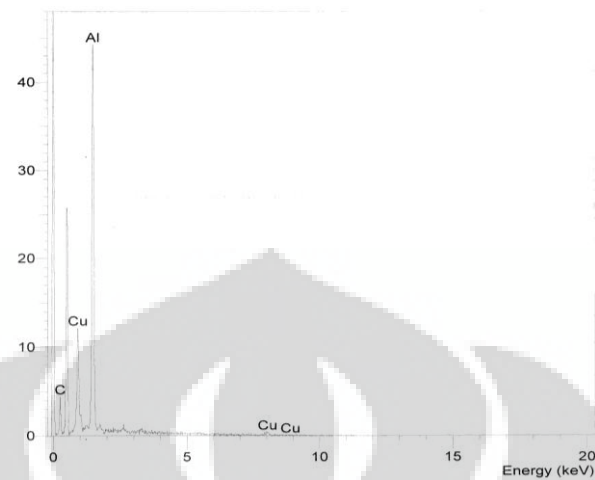
Gambar 4. 22. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 heat-treated perbesaran 1000x dengan penembakan pada 1 titik

Tabel 4. 3. Tabel pengujian EDX spektrum 4.

Spektrum	% Elements			Total	Indikasi Fasa
	C	Al	Cu		
4	2,02	63,79	34,19	100%	CuAl ₂

Pada pengujian EDX spektrum 4 dengan mengambil titik berwarna putih (warna yang hampir sama dengan spektrum 3) dengan perbesaran 1000x dapat dilihat bahwa terdapat unsur Al (63,79%) dan Cu (34,19%) sehingga Penulis mengindikasikan bahwa fasa pada spektrum 4 ini adalah CuAl₂ yang memiliki kesamaan warna dengan spektrum 3. Menurut literatur^[17], untuk membentuk CuAl₂ syarat % unsur Cu adalah 52% dan sisanya (48%) adalah unsur Al.

Walaupun kadar elemen tidak memenuhi standar namun unsur dominan pada spektrum 4 adalah Al dan Cu dengan total hampir mencapai 98% dari total unsur.



Gambar 4. 23. Grafik hasil pengujian EDX pada Spektrum 4

Pada gambar 4.24 dibawah adalah gambar pengamatan SEM komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* dengan perbesaran 2500 x. Melalui perbesaran ini, Penulis ingin melihat adanya endapan yang terbentuk. Pada pengamatan kali ini, Penulis melakukan penembakan pada 1 titik yang berwarna abu-abu dan tabel 4.4 dibawah ini adalah tabel hasil penembakan EDX pada spektrum 5.

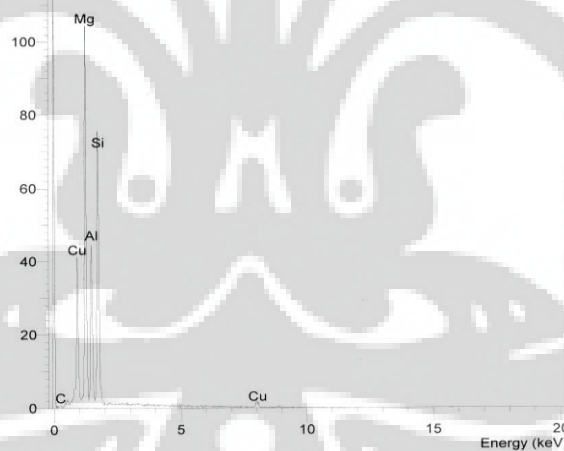


Gambar 4. 24. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* perbesaran 2500x dengan penembakan pada 1 titik

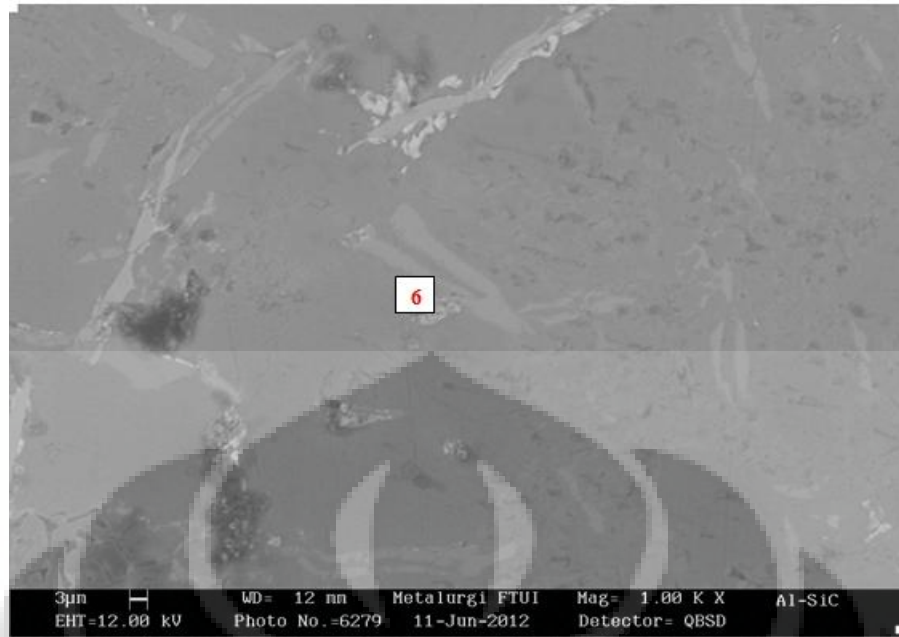
Tabel 4. 4. Tabel pengujian EDX spektrum 5.

Spektrum	% Elements					Total	Indikasi Fasa
	Si	C	Mg	Al	Cu		
5	17,23	0,33	18,51	18,12	45,81	100%	CuAl ₂ Mg

Pada pengujian EDX spektrum 5 dengan mengambil titik berwarna abu-abu dengan perbesaran 2500x dapat dilihat bahwa terdapat unsur Si (17,23%), Mg (18,51%), Al (18,12%) dan Cu (45,81%) sehingga Penulis mengindikasikan bahwa fasa pada spektrum 5 ini adalah CuAl₂Mg. Menurut literatur^[17], untuk membentuk CuAl₂Mg syarat % unsur Cu adalah 55%, unsur Mg 20% dan sisanya (25%) adalah unsur Al. Walaupun kadar unsur tidak memenuhi standar namun unsur dominan pada spektrum 5 adalah Al,Cu, dan Mg dengan total hampir mencapai 83% dari total unsur dan sesuai literatur^[17] bahwa fasa CuAl₂Mg berupa 'partikel terdispersi' dimana sesuai dengan gambar 4.24.

**Gambar 4. 25.** Grafik hasil pengujian EDX pada Spektrum 5

Sedangkan gambar 4.26 dibawah adalah gambar pengamatan SEM komposit Al/SiC 10% wt T6 heat-treated dengan perbesaran 1000x. Pada pengamatan kali ini, Penulis melakukan penembakan pada 1 titik yang merupakan fasa Si eutektik dengan bentuk yang telah terpecah / globular akibat proses perlakuan panas T6 dimana sebelumnya fasa Si ini berbentuk panjang, runcing dan tajam.



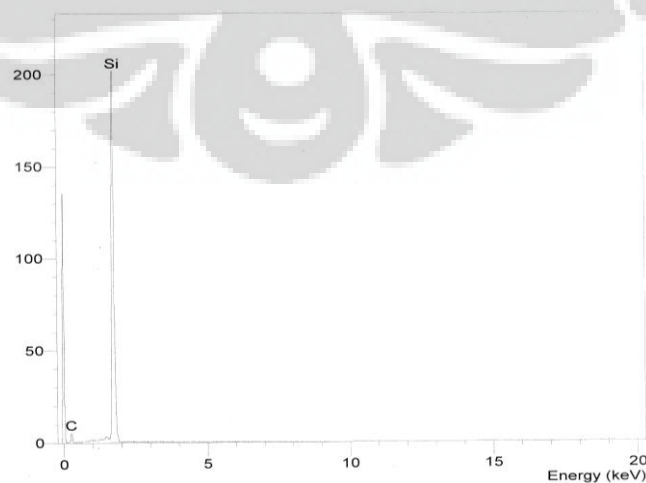
Gambar 4. 26. Hasil pengamatan SEM pada komposit Al/SiC 10% wt T6 *heat-treated* perbesaran 1000x dengan penembakan pada 1 titik.

Pada pengamatan SEM diatas, Penulis melakukan 1 kali penembakan elektron dan pada tabel dibawah dapat dilihat hasil dari penembakan tersebut melalui analisa EDX.

Tabel 4. 5. Tabel hasil Pengujian EDX pada spektrum 6

Spektrum	% Elements		Total	Indikasi Fasa
	Si	C		
6	99,47	0,53	100%	Si

Hasil EDX pada Spektrum 6:



Gambar 4. 27. Grafik hasil pengujian EDX pada Spektrum 6

Sebagai kesimpulan pada pengujian ini, Penulis melakukan 6 kali penembakan elektron (EDX) untuk mengetahui unsur yang terdapat pada 6 titik tersebut dan mengindikasikan fasa apa yang terbentuk dengan melihat hasil kuantitatif EDX dengan hasil seperti pada Tabel 4.6 dibawah ini :

Tabel 4. 6. Tabel hasil pengujian EDX di 6 titik pada komposit Al/SiC 10% wt

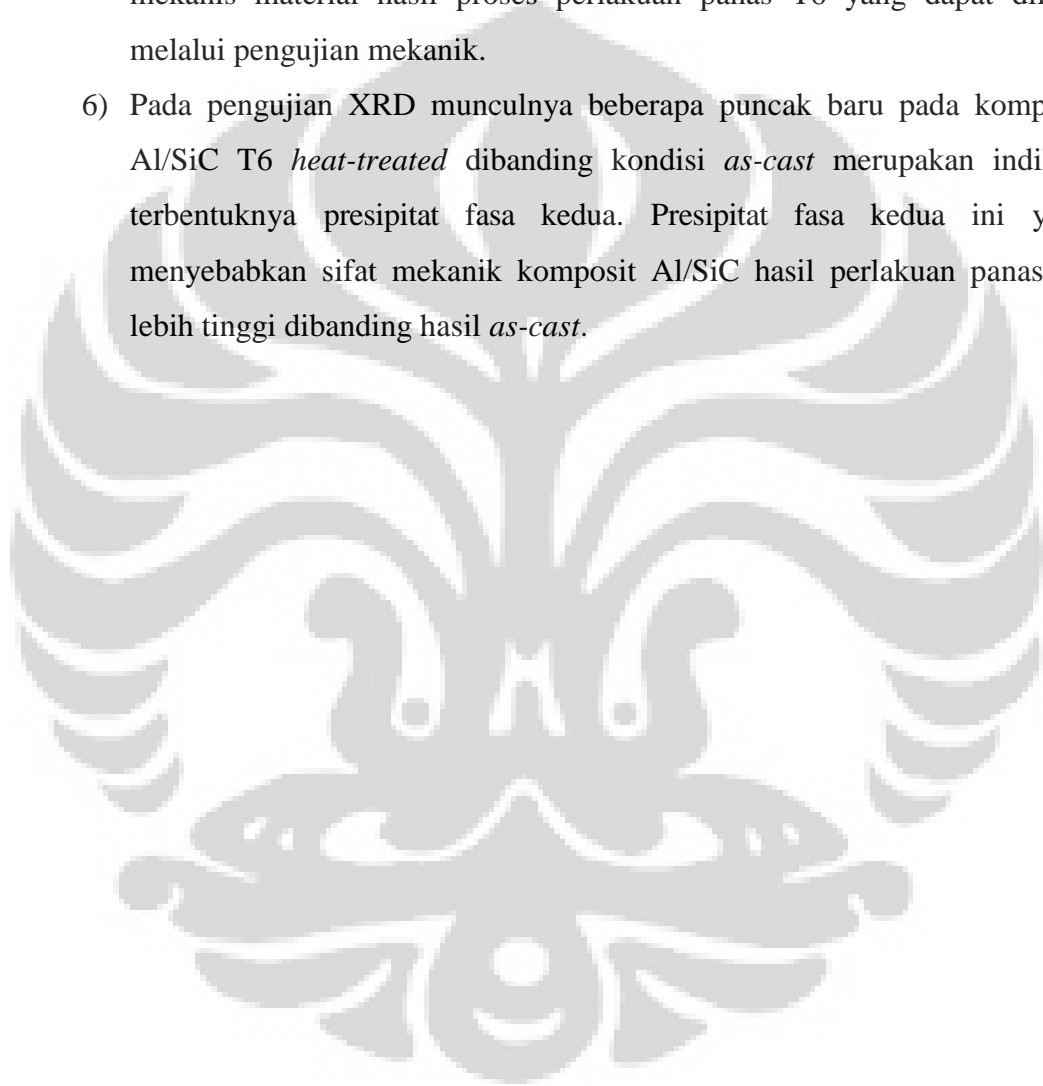
Spektrum	% Elements							Total	Indikasi Fasa
	Si	C	Mg	Al	Cu	Fe	O		
1	79,65	4,09		4,8			11,46	100 %	SiC
2	16,31	1,27	8,91	66,96		6,55		100 %	Mg₂Si
3	2,16	1,22	0,69	57,42	38,51			100 %	CuAl₂
4		2,02		63,79	34,19			100 %	CuAl₂
5	17,23	0,33	18,51	18,12	45,81			100 %	CuAl₂Mg
6	99,47	0,53							Si

BAB 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang karakteristik komposit Al/SiC dengan metode *stir casting* didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Partikel penguat SiC yang digunakan sebagai penguat dalam komposit Al/SiC termasuk dalam kelompok partikel besar karena memiliki ukuran diatas 10 mikrometer.
- 2) Pengaruh penambahan penguat SiC dari 5% wt, 10% wt, dan 15% wt terhadap nilai kekerasan komposit Al/SiC adalah terjadi penurunan dari kondisi tanpa penguat dengan nilai kekerasan 50 HRB (menjadi 72 HRB pada kondisi T6 *heat-treated*) turun menjadi 45,57 HRB (menjadi 61,53 HRB pada kondisi T6 *heat-treated*) kemudian mengalami peningkatan menjadi 48,27 HRB (menjadi 66,27 HRB pada kondisi T6 *heat-treated*); dan meningkat lagi menjadi 49,87 HRB (menjadi 68,18 HRB pada kondisi T6 *heat-treated*). Proses perlakuan panas T6 meningkatkan nilai kekerasan aluminium tanpa penguat sebesar 44%, komposit Al/SiC 5% wt mengalami peningkatan sebesar 35% dan dengan penambahan 10% dan 15% wt penguat SiC masing-masing mengalami peningkatan nilai kekerasan sebesar 37% dan 36,7%.
- 3) Pengaruh penambahan penguat SiC dari 5% wt, 10%, dan 15% wt terhadap nilai laju aus komposit Al/SiC adalah terjadi penurunan dari kondisi tanpa penguat dengan laju aus 10^{-5} mm³/m (menjadi 7×10^{-6} mm³/m pada kondisi T6 *heat-treated*) menjadi $3,24 \times 10^{-6}$ mm³/m (menjadi $2,16 \times 10^{-6}$ mm³/m pada kondisi T6 *heat-treated*) mengalami penurunan menjadi $2,14 \times 10^{-6}$ mm³/m (menjadi $2,08 \times 10^{-6}$ mm³/m pada kondisi T6 *heat-treated*); dan menurun lagi menjadi $1,99 \times 10^{-6}$ mm³/m (menjadi $1,77 \times 10^{-6}$ mm³/m pada kondisi T6 *heat-treated*).
- 4) Proses perlakuan panas T6 meningkatkan nilai kekerasan dan ketahanan aus karena terjadi perubahan struktur mikro silikon dari runcing (pada kondisi *as-cast*) menjadi globular (pada kondisi T6 *heat-treated*) dan terbentuknya presipitat fasa kedua pada komposit Al/SiC hasil perlakuan panas T6.

- 5) Penambahan penguat SiC dari 5% wt, 10% wt, dan 15% wt meningkatkan porositas komposit Al/SiC dari kondisi aluminium tanpa penguat dengan nilai porositas 0,1% menjadi 3,68%,; 6,21%; dan meningkat lagi menjadi 7,93%. Peningkatan persen porositas ini berkaitan dengan peningkatan selisih nilai densitas teoritis dan densitas aktual seiring dengan penambahan penguat SiC dan mempengaruhi peningkatan kekuatan mekanis material hasil proses perlakuan panas T6 yang dapat dilihat melalui pengujian mekanik.
- 6) Pada pengujian XRD munculnya beberapa puncak baru pada komposit Al/SiC T6 *heat-treated* dibanding kondisi *as-cast* merupakan indikasi terbentuknya presipitat fasa kedua. Presipitat fasa kedua ini yang menyebabkan sifat mekanik komposit Al/SiC hasil perlakuan panas T6 lebih tinggi dibanding hasil *as-cast*.



DAFTAR ACUAN

- [1] Zainuri, M., Eddy S Siradj, Dedi Priadi, Anne Zulfia, dan Darminto. "Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/SiC". Makara, Sains, Volume 12, No 2, November 2008. 126-133.
- [2] Hashim, J., L. Looney, M.S.J. Hashmi. "Particle distribution in cast metal matrikskomposit—Part I". Journal of Materials Processing Technology 123 (2002) 251-257.
- [3] Runxia, L., Chen Yujian, Yuan Xiaoguang, Qu Yingdong, and Li Rongde. "Effects of Cd and Sn on Double-Puncak Age-Hardening Behaviour of Al-Si-Cu-Mg Cast Alloys". Institute of Materials Science and Engineering. Shenyang University of Technology. China. Vol 7 No 1. 2010.
- [4] Palanikumar, K., R Karthikeyan. "Assesment of Factors Influencing Surface Roughness on the Machining of Al/SiC Particulate Komposit". Material and Design 28. 2007. 1584-1591.
- [5] Singla, Manoj., D. Deepak Dwivedi, Lakhvir Singh, Vikas Chawla. "Development of Aluminium Based Silicon Carbide Particulate Metal MatriksKomposit". Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. 2009. Vol 8 No 6. 455-467.
- [6] Yandouzi, M., P. Richer, P, B. Jodoin. "SiC Particulate Penguatd Al-12Si Alloy Komposit Coatings Produced by the Pulsed Gas Dynamic Spray Process : Microstructure and Properties". 2009. Surface and Coating Technology 203. 2009. 3260-3270.
- [7] Geng Lin, Zhang Hong-wei, Li Hao-ze, Guan Li-Na, Huang Lu-Jun. "Effects of Mg Content on Microstructure and mechanical Properties of SiC/Al-Mg Komposit". Trans, Nonferrous Met. Sos. China 20. 2010. 1851-1855.
- [8] Reddy, Chennakesava.A and Essa Zitoun. "Matriks Al-Alloy for Silicon Carbide Particle Penguatd Metal MatriksKomposit". Indian Journal of Science and Technology Vol 3 No 12. 2010. ISSN : 0974-6846.1184-1187.
- [9] Callister, jr. William D. *Materials Science and Engineering : An Introduction 7th Edition*. John Wiley and Sons, Inc. 2003.

- [10] Jit, Nrip, Anand K Tyagi, Nirmal Singh, Dayal Chand. "Properties of $(\text{Al}_{1-x}\text{Si}_x)_m(\text{SiC})_n$ Komposit by Keeping Particle Size at 0.220 Micrometer". Proceeding of the World Congress on Engineering Vol III. 2011. ISSN : 2078-0966.
- [11] Devi, C. Neelima, Mahesh.V, Selvaraj.N. "Mechanical Characterization of Aluminium Silicon Carbide Komposit". International Journal of Applied Engineering Research, Dindigul Volume 1, No 4.2011. ISSN-0976-4259.
- [12] Brooks, Charlie. R. *Heat Treatment, Structure and Properties of Nonferrous Alloys*. American Society for Metal. 1982.
- [13] Lutfi, Syukron. *Pengaruh Magnesium terhadap Proses Electroless Coating pada Partikel Penguat SiC*. 2010. Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- [14] Altenpohl, D. *Aluminium Viewed from Within*. Aluminium Verlag. Dusseldorf. 1982.
- [15] Djatmiko, Eddy., dan Budiarto. "Pengaruh Perlakuan Panas T6 terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Paduan Al-Si-Mg". 2007. Jurnal Sains Materi Indonesia. ISSN : 1411-1098.
- [16] Eifelson. "Efek Perlakuan Panas dengan Mengganti Proses T6 (Artificial Ageing) dengan T4 (Natural Ageing) pada Proses Pembuatan Piston dengan Material AC8H". 2008. Departemen Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.
- [17] *Metallography and Microstructure*. Engineered Material Handbook. Vol 9. ASM Internasional, Ohio : Metal Park, 2004.
- [18] Ortega-Celaya, F., M.I. Pech Canul, J. Lopez-Cuevas, J.C. Rendon-Angeles, M.A. Pech-Canul. "Microstructure and Impact Behaviour of Al/SiC Komposit Fabricated by Pressureless Infiltration with Different Type of SiCp". Journal of Materials Processing Technology 183. 2007. 368-373.
- [19] Gupta, M., L. Lu, O. Lai, and S.E. Ang. "Effects of Type of Processing on the Microstructural Features and Mechanical Properties of Al-Cu/SiC Metal MatriksKomposit". Department of Mechanical and Production Engineering National University of Singapore Volume 16 No 2. 1995. 75-81.

- [20] Widyastuti, Anne Zulfia, Dedi Priadi, Eddy S. Siradj, dan Sulistijono. (2008, November). *Struktur Mikro Daerah Laminasi Komposit Laminat Hibrid Al/Al₂O₃-Al/SiC Dengan Variasi Waktu Tahan Sinter*. Paper presented at Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung. 116-131.
- [21] Madsen, Bo., Anders Thygesen, and Hans Lilholt. "Plant Fibre Komposit-Porosity and Volumetric Interaction". *Komposit Science and Technology* 67. 2006.1584-1600.
- [22] Al-Rubaie, Kassim. S., Humberto N. Yoshimura, Jose Daniel Biasoli de Mello. "Two-body Abrasive Wear of Al-SiC Komposits". *Wear* 233-235. 1999. 444-454.
- [23] Sanggahaleh, Ali and Mohammad Halali. "Effect of Magnesium Addition on the Wetting of Alumina by Aluminium". *Applied Surface Science* 255. 2009. 8202-8206.
- [24] Vahlas, Constantin., Ian W. Hall, and Isabelle Haurie. "Investigation of Reactivity in Komposit Materials". *Materials Science and Engineering A259*. 1999. 269-278.
- [25] Thakur, Sanjay Kumar., Brij Kumar Dhindaw. "The Influence of Interfacial Characteristics Between SiCp and Mg/Al Metal Matriks on Wear, Coefficient of Friction and Microhardness". *Wear* 247. 2000. 191-201.
- [26] Bao, Sarina., Anne Kvithlyd, Thorvald Abel Engh, and Merete Tangstad. "Wettability of Aluminium with SiC and Graphite in Aluminium Filtration". *The Minerals, Metals, and Materials Society*. 2011. 775-782.
- [27] Gupta, M., S. Qin, and L. W. Chin. "Effect of Particulate Type on the Microstructure and Heat Treatment Response of Al-Cu Based Metal MatriksKomposits". *Journals of Materials Processing Technology* 65. 1995. 245-251.
- [28] Vugt van L and L. Froyen. "Gravity and Temperature Effects on Particle Distribution in Al-Si/SiC Komposits". *Journal of Materials Processing Technology* 104. 2000. 133-144.
- [29] *Heat Treating*. Engineered Material Handbook. Vol 4. ASM Internasional, Ohio : Metal Park. 1991.

- [30] Badkul, Anshul., Nidhi Jha, D.P Mondal. S. Das, and M.S. Yadav. "Age Hardening Behaviour of 2014 Al Alloy-SiC Komposits : Effects of Porosity and Strontium Addition". Indian Journal of Engineering & Materials Sciences. Vol 18. 2011. 79-85.
- [31] Ran, G., J.E. Zhou, and Q.G. Wang. "Precipitates and Tensile Fracture Mechanism in a Sand Cast A356 Aluminium Alloy". Journal of Materials Processing Technology 207. 2008. 46-52.
- [32] R.X. Li, R.D. Li, Y.H. Zhao, L.Z. He, C.X. Li, H.R. Guan, and Z.Q. Hu. "Age Hardening Behaviour of Cast Al-Si Base Alloy". Materials Letters 58. 2004. 2096-2101.
- [33] S, Rajasekaran., N.K. Udayashankar, dan Jagannath Nayak. "T4 and T6 Treatment of 6061 Al-15Vol% SiCp Komposit". Department of Metallurgical & Materials Engineering. NITK. India.
- [34] Singla, Manoj., Lakhvir Singh, and Vikas Chawla. "Study of Wear Properties of Al-SiC Komposits". Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. Vol. 8, no 10. 2009. 813-819.
- [35] Belmonte, M., M.I. Nieto, M.I. Osendi, and P. Miranzo. "Influence of the SiC Grain Size on the Wear Behaviour of Al₂O₃/SiC Komposits". Journal of the European Ceramic Society 26. 2005. 1273-1279.
- [36] Kwok, JKM dan S.C. Lim. "High-speed Tribological Properties of Some Al/SiCp Komposits : II. Wear Mechanisms". Komposit Science and Technology 59. 1999. 65-75.
- [37] *Materials Characterization*. Engineered Material Handbook. Vol 10. ASM International, Ohio : Metal Park. 1992.
- [38] Deng, X., and N. Chawla. "Modelling the Effect of Particle Clustering on the Mechanical Behaviour of SiC Particle Penguatd Al Matriks Komposits". J. Mater Sci. 2006.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data Pengujian Kekerasan

% Penguat	<i>Hardness Al/SiC (HRB)</i>	
	<i>As-Cast</i>	<i>T6 Heat-treated</i>
0%	50,9	72
	49,3	72
	50,1	71,8
5%	44,6	61,1
	46,7	59,9
	43,8	63,6
10%	47,9	66,6
	48,0	67,3
	48,9	64,4
15%	48,5	69,2
	51,1	69,1
	50,0	67,2

Lampiran B. Data Pengujian Aus

Al-SiC (NHT)								
	B	b	b ³	x	r	W	v aus	v aus rata ²
0%	3	7,125	360,9441	600000	15	6,01573546	1,00E-05	1,00E-05
	3	7,220	376,367	600000	15	6,2727841	1,05E-05	
	3	7,09	356,4008	600000	15	5,94001381	9,90E-06	
5%	3	5,053	129,0173	600000	15	2,150288	3,58381E-06	3,24196E-06
	3	4,799	110,5229	600000	15	1,842048	3,07008E-06	
	3	4,8	110,592	600000	15	1,8432	0,000003072	
10%	3	4,292	79,06407	600000	15	1,317734	2,19622E-06	2,14125E-06
	3	4,217	74,99129	600000	15	1,249855	2,08309E-06	
	3	4,258	77,19994	600000	15	1,286666	2,14444E-06	
15%	3	4,086	68,21739	600000	15	1,136956	1,89493E-06	1,98818E-06
	3	4,066	67,22056	600000	15	1,120343	1,86724E-06	
	3	4,296	79,28533	600000	15	1,321422	2,20237E-06	

Al-SiC (HT)								
	B	b	b ³	x	r	W	v aus	v aus rata ²
0%	3	6,401	262,2669	600000	15	4,37111499	7,29E-06	7,00E-06
	3	6,244	243,4382	600000	15	4,05730291	6,76E-06	
	3	6,306	250,7621	600000	15	4,1793683	6,97E-06	
5%	3	4,236	76,0095	600000	15	1,266825	2,11E-06	2,1661E-06
	3	4,151	71,52505	600000	15	1,192084	1,99E-06	
	3	4,421	86,40951	600000	15	1,440159	2,4E-06	
10%	3	4,16	71,9913	600000	15	1,199855	2E-06	2,0275E-06
	3	4,159	71,93939	600000	15	1,19899	2E-06	
	3	4,218	75,04465	600000	15	1,250744	2,08E-06	
15%	3	3,908	59,68479	600000	15	0,994746	1,66E-06	1,7751E-06
	3	4,164	72,19916	600000	15	1,203319	2,01E-06	
	3	3,911	59,82235	600000	15	0,997039	1,66E-06	

Keterangan :

P = beban (Kg)

B = lebar celah (mm)

X = jarak luncur (mm)

r = jari-jari pin (mm)

W = volume material terabrasi (mm³)

V = laju aus (m/s)

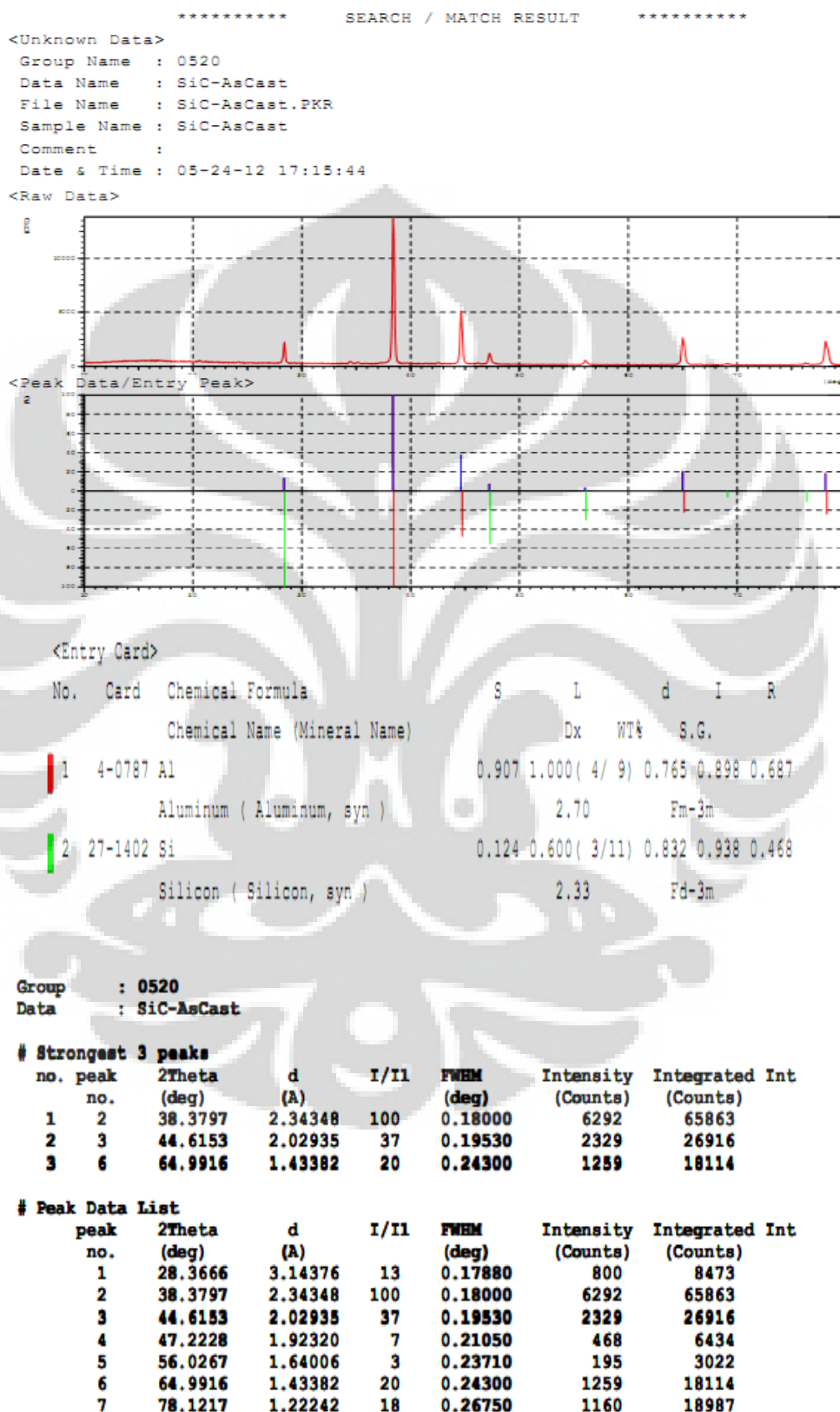
Lampiran C. Data Pengujian Densitas / Porositas

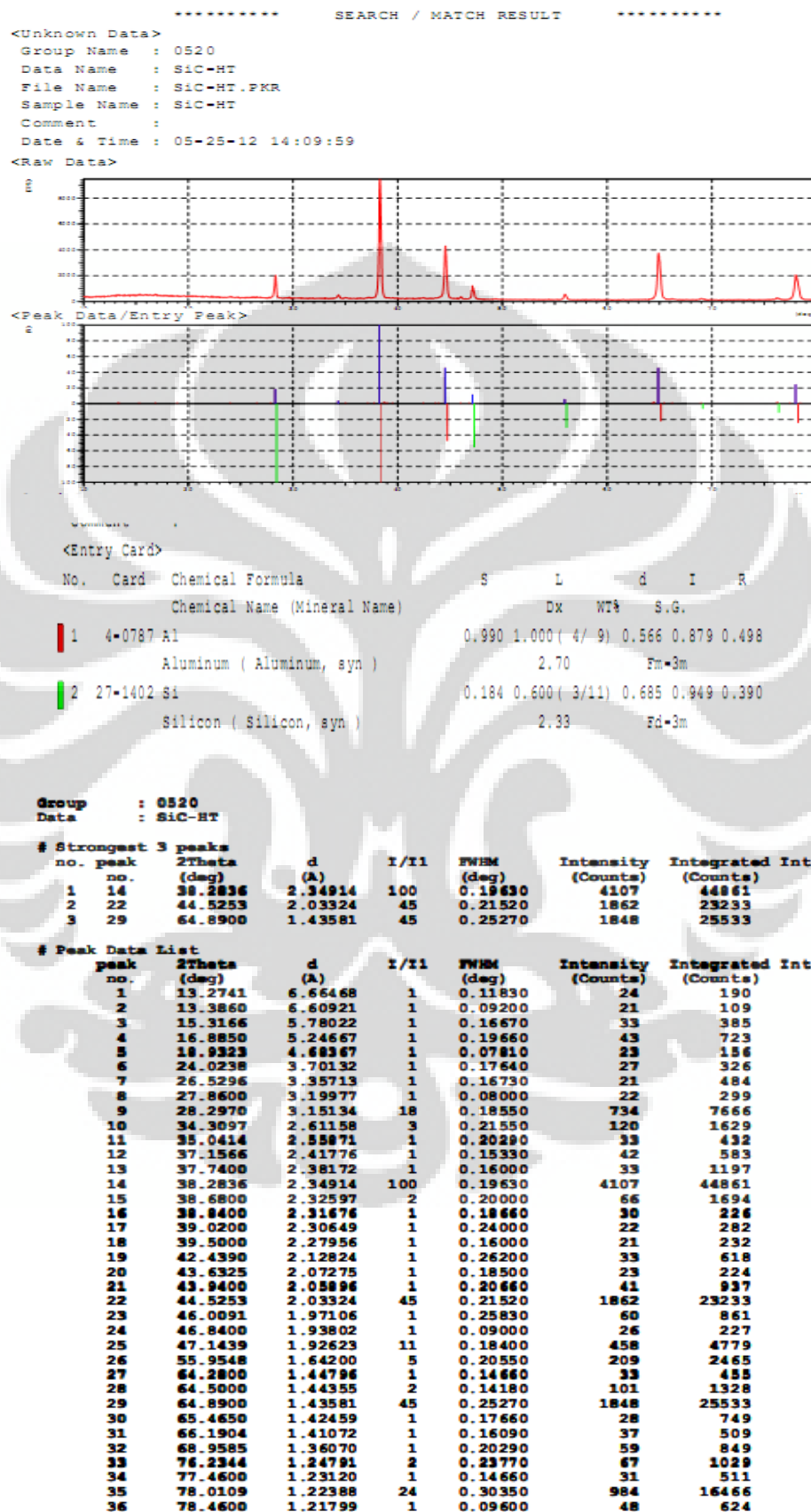
% SiC	Massa di Udara (gram)	Massa di Air (gram)	Densitas Teoritis (gr/cm³)	Densitas Percobaan (gr/cm³)	Selisih Densitas (gr/cm³)	Persen Porositas (%)
0%	24,63	9,15	2,7	2,69	0,01	0,1
5%	23,42	9	2,683550618	2,602222222	0,081328396	3,030626503
10%	23,54	9,2	2,707521978	2,558695652	0,148826326	5,496772596
15%	19,94	7,9	2,730031821	2,524050633	0,205981188	7,545010506



Lampiran D. Lampiran Pengujian XRD

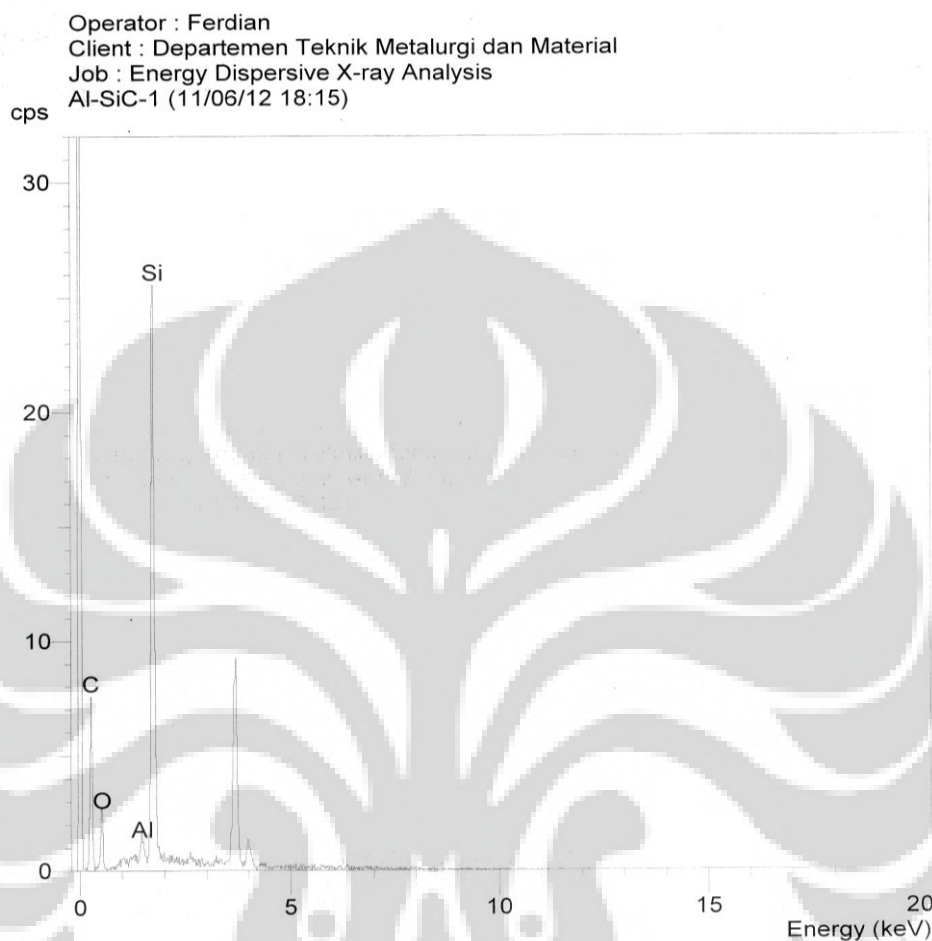
Komposit Al/SiC 10 % wt *as-cast*



Komposit Al/SiC 10 % wt T6 *heat-treated*

Lampiran E. Lampiran Hasil Pengujian SEM / EDX

Spektrum 1



SEMQuant results. Listed at 19:08:38 on 11/06/12
 Operator: Ferdian
 Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: Al-SiC-1

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

2 peaks possibly omitted: 3.68, 4.02 keV

Standards :

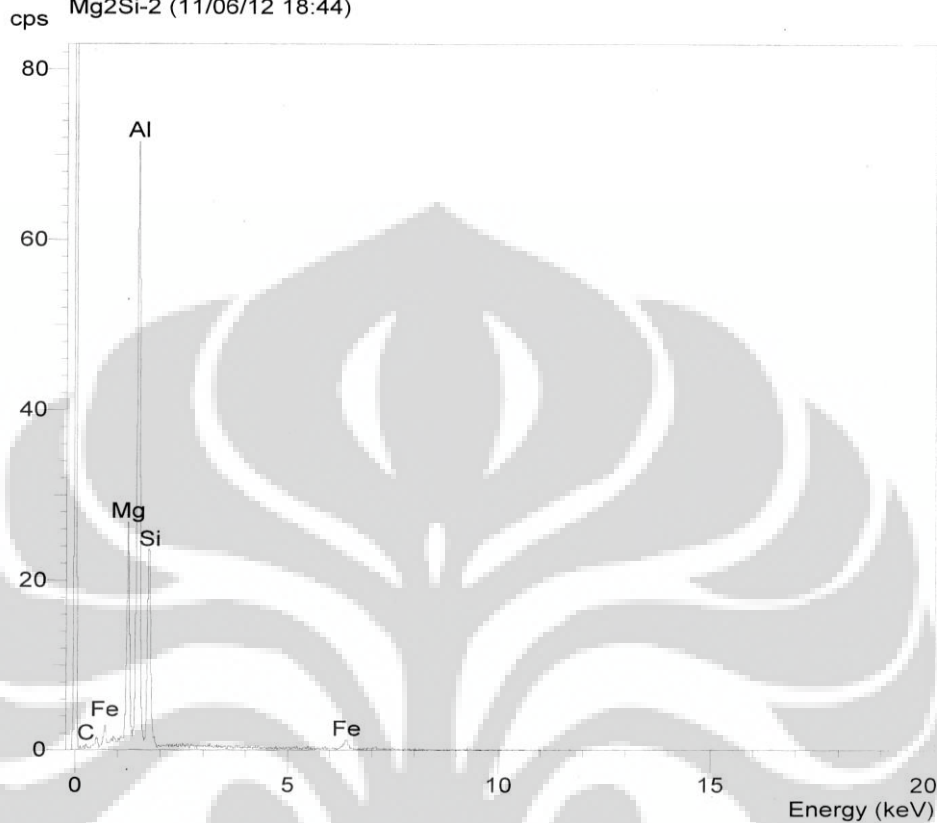
C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 20/05/11
 Al K AL2O3 20/05/11
 Si K Jadeite 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	4.09	8.36
O K	ED	11.46	17.59
Al K	ED	4.80	4.37
Si K	ED	79.65	69.67
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum 2

Operator : Ferdian
 Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
 Mg2Si-2 (11/06/12 18:44)



SEMQuant results. Listed at 19:09:31 on 11/06/12
 Operator: Ferdian
 Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: Mg2Si-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (3 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

Standards :

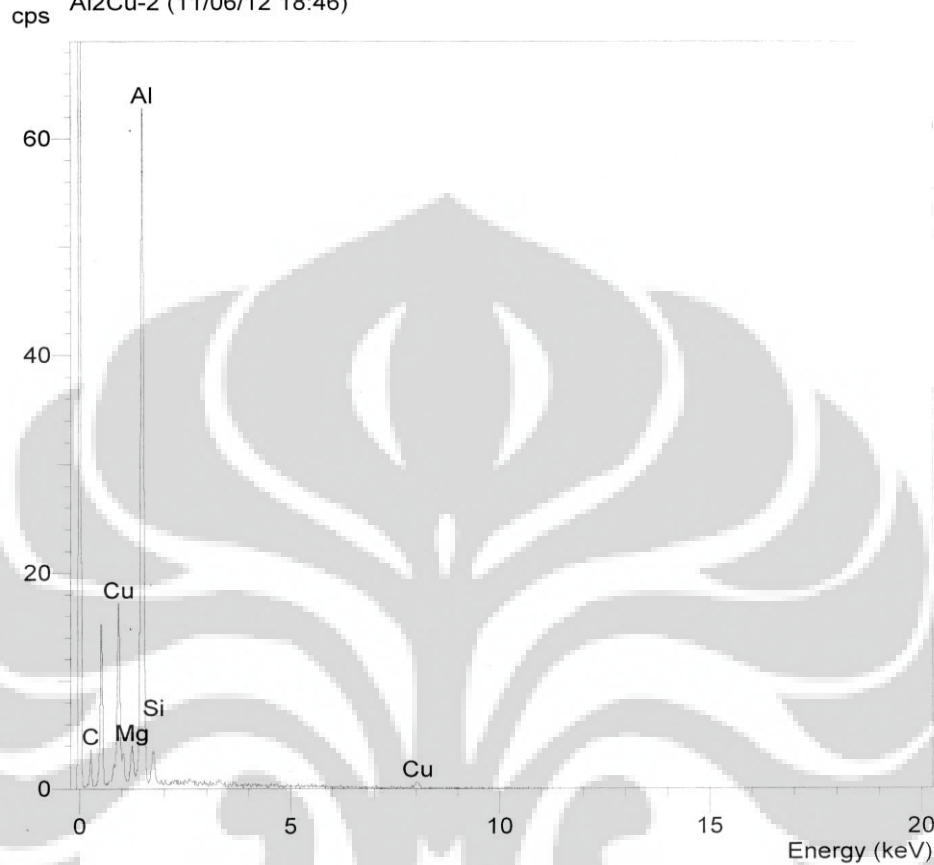
C K	Carbon Low	13/09/06
Mg K	Magnesium Oxide	20/05/11
Al K	AL2O3	20/05/11
Si K	Jadeite	18/05/11
Fe K	FeS2	18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.27	2.89
Mg K	ED	8.91	10.04
Al K	ED	66.96	67.96
Si K	ED	16.31	15.90
Fe K	ED	6.55	3.21
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum 3

Operator : Ferdian
 Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
 Al2Cu-2 (11/06/12 18:46)



SEMQuant results. Listed at 19:10:11 on 11/06/12
 Operator: Ferdian
 Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: Al2Cu-2

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 3.32 keV

Standards :

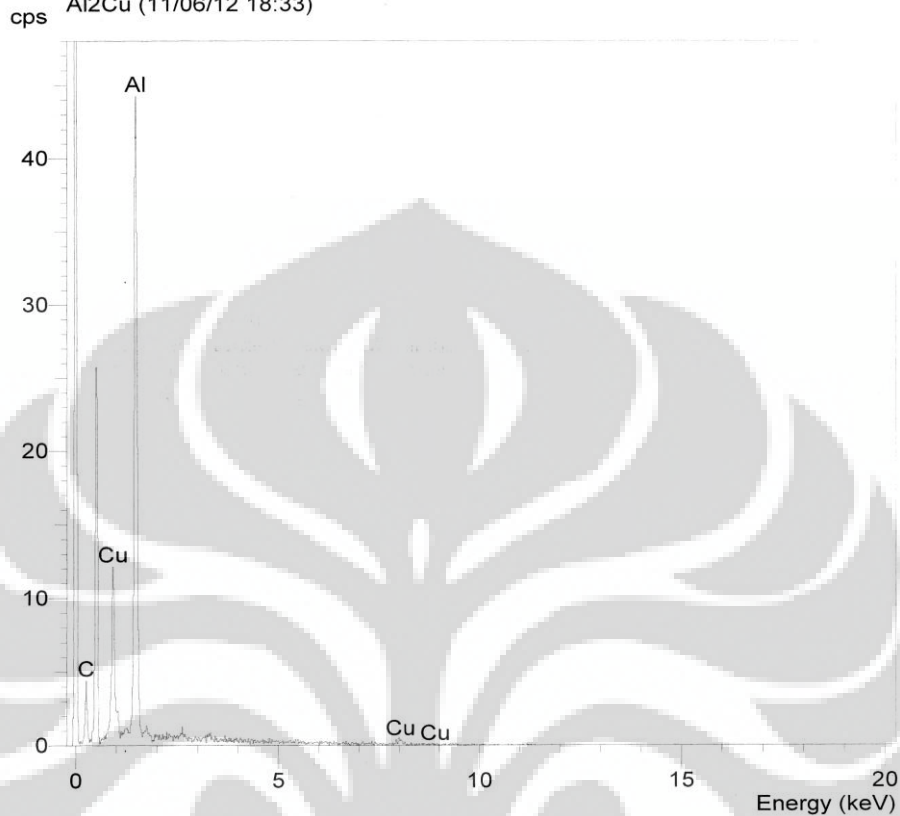
C K Carbon Low 13/09/06
 Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
 Al K AL2O3 20/05/11
 Si K Jadeite 18/05/11
 Cu K Copper 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.22	3.46
Mg K	ED	0.69	0.97
Al K	ED	57.42	72.36
Si K	ED	2.16	2.61
Cu K	ED	38.51	20.60
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum 4

Operator : Ferdian
 Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
 Al2Cu (11/06/12 18:33)



SEMQuant results. Listed at 19:09:00 on 11/06/12
 Operator: Ferdian
 Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: Al2Cu

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 2.64 keV

Standards :

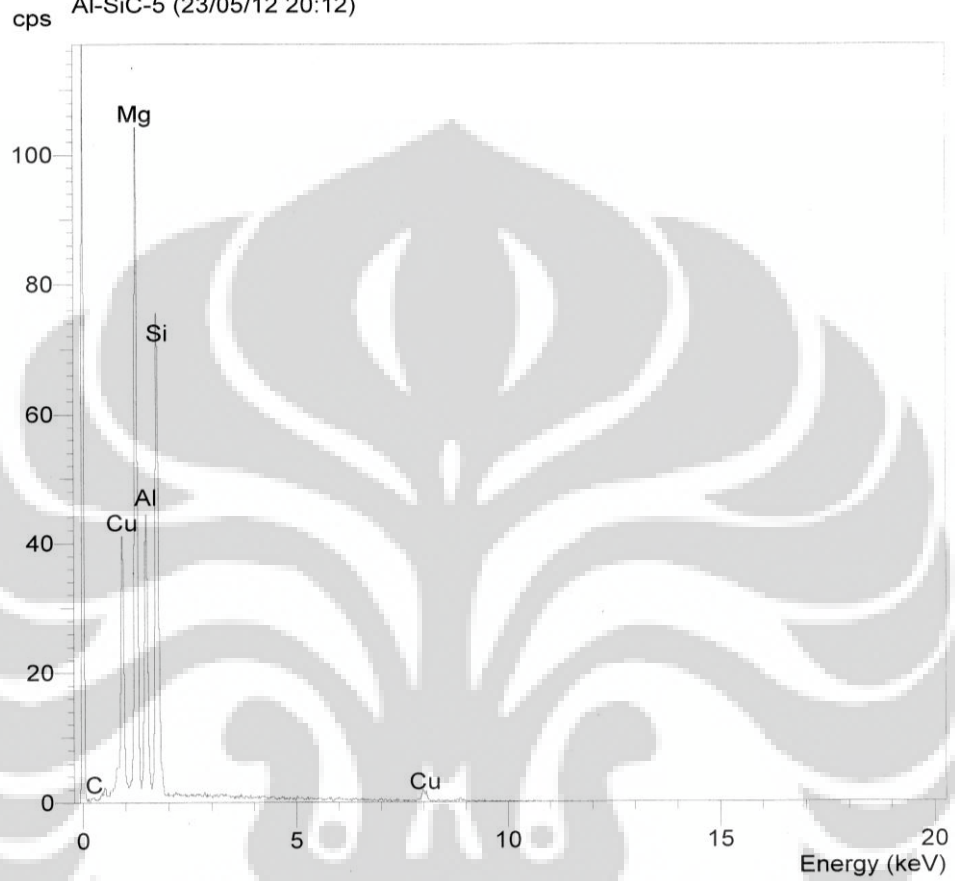
C K Carbon Low 13/09/06
 Al K AL2O3 20/05/11
 Cu K Copper 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.02	5.47
Al K	ED	63.79	77.00
Cu K	ED	34.19	17.53
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum 5

Operator : Ferdian
Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
Al-SiC-5 (23/05/12 20:12)



SEMQuant results. Listed at 18:34:17 on 24/05/12
Operator: Ferdian
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: Al-SiC-5

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

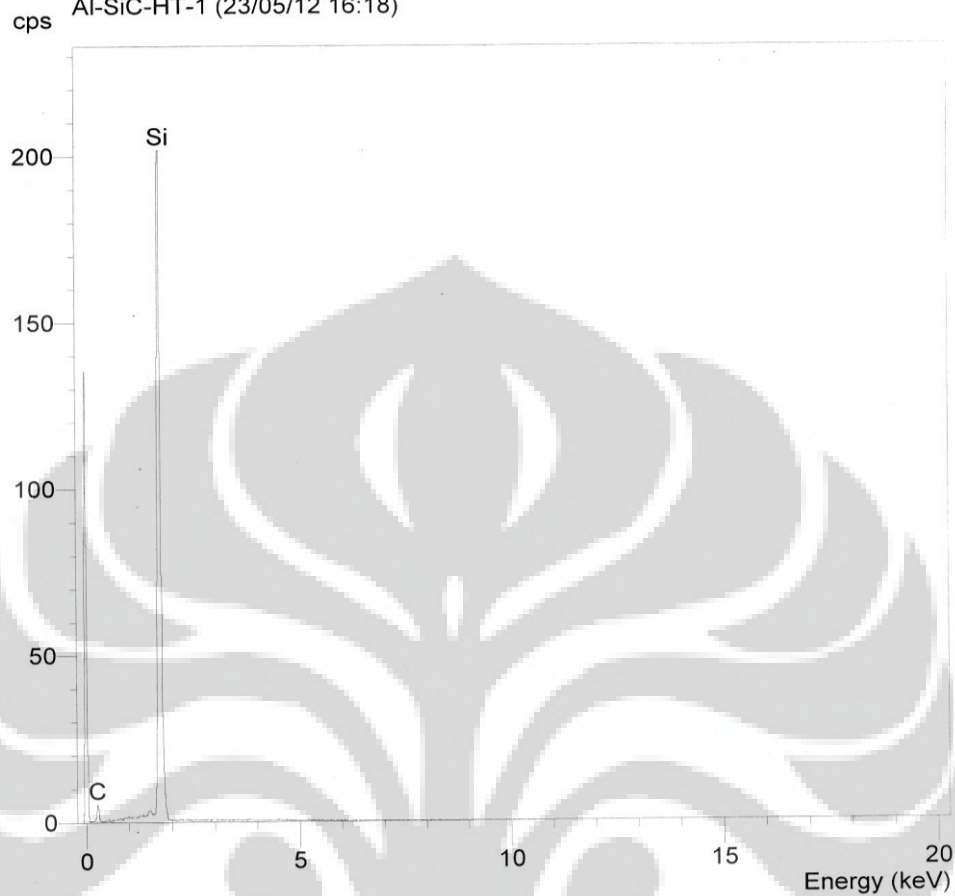
C K	Carbon Low	13/09/06
Mg K	Magnesium Oxide	20/05/11
Al K	AL2O3	20/05/11
Si K	Jadeite	18/05/11
Cu K	Copper	18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.33	0.98
Mg K	ED	18.51	27.24
Al K	ED	18.12	24.03
Si K	ED	17.23	21.95
Cu K	ED	45.81	25.80
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Spektrum 6

Operator : Ferdian
 Client : Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
 Al-SiC-HT-1 (23/05/12 16:18)



SEMQuant results. Listed at 18:32:48 on 24/05/12
 Operator: Ferdian
 Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material
 Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
 Spectrum label: Al-SiC-HT-1

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).
 Analysed all elements and normalised results.

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 Si K Jadeite 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.53	1.24
Si K	ED	99.47	98.76
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma