



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH Mg TERHADAP PROSES *ELECTROLESS*  
*COATING* PADA PARTIKEL PENGUAT SiC**

**SKRIPSI**

**SYUKRON LUTFI  
0606031925**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH Mg TERHADAP PROSES *ELECTROLESS*  
*COATING* PADA PARTIKEL PENGUAT SiC**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik**

**SYUKRON LUTFI  
0606031925**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL  
DEPOK  
JULI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Syukron Lutfi**  
**NPM : 0606031925**  
**Tanda Tangan : .....**  
**Tanggal : 1 Juli 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Syukron Lutfi  
NPM : 0606031925  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul Skripsi : Pengaruh Magenesium Terhadap Proses Electroless Coating Pada Partikel Penguat SiC

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, M.Sc (.....)  
Penguji 1 : Dr. Ir. Sutopo, M.Sc (.....)  
Penguji 2 : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 1 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan limpahan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Magnesium Terhadap Proses Electroless Coating Pada Partikel Penguat SiC”** 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) Mbak Tatu, Mas Maman, Andhika teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (5) Metalurgi dan Material angkatan 2006 yang telah memberikan dorongan semangat.
- (6) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

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

Depok, 1 Juli 2010

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Syukron Lutfi  
NPM : 0606031925  
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 Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

### **Pengaruh Magnesium Terhadap Proses Electroless Coating Pada Partikel Penguat SiC**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 1 Juli 2010  
Yang menyatakan

(Syukron Lutfi)

## ABSTRAK

Nama : Syukron Lutfi  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Pengaruh Magnesium Terhadap Proses *Electroless Coating*  
Pada Partikel Penguat SiC

Proses pelapisan pada permukaan keramik SiC dengan oksida logam (ion Mg dan Al) dengan metode *electroless coating* di dalam larutan HNO<sub>3</sub> dapat meningkatkan kemampubasahan dari SiC, seiring dengan terbentuknya fasa spinel MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ataupun SiO<sub>2</sub> pada permukaan SiC yang dapat mempromosi fasa spinel pada saat oksidasi. Dengan meningkatnya kemampubasahan dari partikel SiC maka kedepannya partikel ini bisa dilakukan pembuatan material Metal Matrix Composites (MMCs). Variabel yang diberikan adalah dengan memvariasikan %berat Mg yaitu 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3 gr dengan %berat Al tetap yaitu 0.5 gr. Hasil pengujian EDX menunjukkan adanya sebaran Mg dan Al pada permukaan SiC. Pengujian X-RD didapatkan hasil pada variable Mg 0.1 gr, intensitas terbentuknya lapisan spinel paling besar diantara semua variable %berat Mg, yaitu MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> pada sudut 2θ: 34.82 dan fasa SiO<sub>2</sub> pada 59.94. Lapisan spinel ini terdistribusi merata dan memberikan karakteristik yang baik. Sebagai gambaran dari hasil TEM, terdapat lapisan pada permukaan SiC dengan ketebalan yang tipis dan merata yang menyelimuti permukaan SiC dengan ketebalan sebesar 27.3-123 nm. Lapisan tersebut dari hasil X-RD menunjukkan terbentuknya lapisan SiO<sub>2</sub>, dan MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

**Kata kunci:**

*Electroless coating*, fasa spinel MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, SiC, kemampubasahan, komposit.

## ABSTRACT

Name : Syukron Lutfi  
Study Program : Metallurgy and Materials Engineering.  
Title : The Effect of Magnesium in Electroless Coating Process  
on Surface of SiC Particles Reinforced

The process of coating on the surface of SiC ceramics with metal oxide (Mg and Al ions) with the method of electroless coating in  $\text{HNO}_3$  solution can increase wettability of SiC, accordance with the formation of spinel phase  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$  or  $\text{SiO}_2$  on SiC surface that can promote spinel phase during oxidation. This increase could ease the process of manufacture of Metal Matrix Composites (MMCs) materials. Variable is given by varying the weight% of Mg is 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3gr with weight% of 0.5 grams of Al fixed. EDX testing showed the existence of Mg and Al particles dispersed on the surface of SiC. X-RD testing showed the highest intensity of spinel phase with variable wt% Mg 0.1gr among all variables. Spinel phase formed at  $2\theta$  angle: 34.82 and  $\text{SiO}_2$  phase at 59.94. Spinel layer is distributed evenly and gives good characteristics. As an illustration of the results of TEM testing, there is a layer on the surface of SiC with a thickness of the thin and evenly covering the surface of SiC with a thickness of 27.3-123 nm. These layers are from X-RD results showed the formation of  $\text{SiO}_2$  layer, and  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ .

**Key Words:**

Electroless coating, spinel phase  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , SiC, wettability, composite material.

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	ii
<b>PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tempat Penelitian .....	3
<b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Rekayasa Permukaan Terhadap SiC .....	5
2.1.1 <i>Electroless Coating</i> .....	6
2.1.2 <i>Interfacial</i> dari Partikel SiC .....	7
2.1.3 Kemampubasahan ( <i>Wet ability</i> ) .....	8
2.2 Material Penyusun dari Aluminum Matrix Composite (AMCs) .....	10
2.2.1 Aluminum (Al) .....	10
2.2.2 Silikon Karbida (SiC) .....	12
2.2.3 Magnesium .....	14
2.3 Efek Penambahan Penguat Keramik Terhadap Aluminum Matrix Composites (AMCs) .....	15
2.4 Komposit Aluminum .....	16
2.4.1 Tipe Komposit Aluminum .....	17
2.4.1.1 <i>Particle Reinforced</i> (PAMCs) .....	17
2.4.1.2 <i>Whisker-or Short Fiber-Reinforced</i> (SFAMCs) .....	18
2.4.1.3 <i>Continuous Fiber-Reinforced</i> (CFAMCs) .....	19
2.4.1.4 <i>Mono Filament-Reinforced</i> (MFAMCs) .....	20
2.4.2 Proses Pembuatan Komposit Aluminum .....	20
2.4.2.1 <i>Solid State Processes</i> .....	21
2.4.2.1.1 <i>Powder Metallurgy Metal Matrix Composites</i> .....	21
2.4.2.1.2 <i>Diffusion Bonding</i> .....	22
2.4.2.1.3 <i>Physical Vapour Deposition</i> .....	23
2.4.2.2 <i>Liquid State Processes</i> .....	24
2.4.2.2.1 <i>Stir Casting</i> .....	24
2.4.2.2.2 <i>Infiltration</i> .....	25
2.4.2.2.3 <i>Spray Deposition</i> .....	26

2.4.2.2.4 <i>In-Situ (Reactive Processing)</i> .....	27
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	28
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	28
3.2 Peralatan dan Bahan .....	29
3.3 Proses <i>Electroless Coating</i> SiC .....	31
3.3.1 Pembersihan Partikel SiC .....	31
3.3.2 Pembuatan Larutan Elektrolit .....	31
3.3.3 Proses Pelapisan Partikel SiC .....	32
3.4 Pembuatan Komposit Al/SiC .....	33
3.5 Karakterisasi Material .....	36
3.5.1 Karakterisasi SiC hasil <i>electroless coating</i> .....	36
3.5.1.1 Pengujian SEM dan EDX .....	36
3.5.1.2 Pengujian XRD .....	37
3.5.1.3 Pengujian TEM .....	37
3.5.2 Karakterisasi Komposit Al/SiC .....	37
3.5.2.1 Pengujian Kuat Tarik .....	37
3.5.2.2 Pengujian Kekerasan .....	38
3.5.2.3 Pengujian Aus .....	39
3.5.2.4 Pengujian Metalografi .....	40
3.5.2.5 Pengujian Densitas dan Porositas .....	41
<b>BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b> .....	43
4.1 Karakterisasi Serbuk SiC .....	43
4.1.1 Serbuk SiC Sebelum Proses <i>Electroless Coating (as-received)</i> .....	43
4.1.2 Serbuk SiC Setelah Proses <i>Electroless Coating</i> .....	44
4.2 Pengaruh Penambahan 15% Fraksi Volume SiC di Dalam Komposit Al/SiC .....	52
4.2.1 Pengaruh Terhadap Kuat Tarik .....	52
4.2.2 Pengaruh Terhadap Kekerasan .....	54
4.2.3 Pengaruh Terhadap Laju Aus .....	55
4.2.4 Pengaruh Terhadap Porositas .....	56
4.3 Metalografi dari Al/SiC <i>coating</i> .....	57
<b>BAB 5 KESIMPULAN</b> .....	58
<b>DAFTAR REFERENSI</b> .....	60
<b>LAMPIRAN</b> .....	62

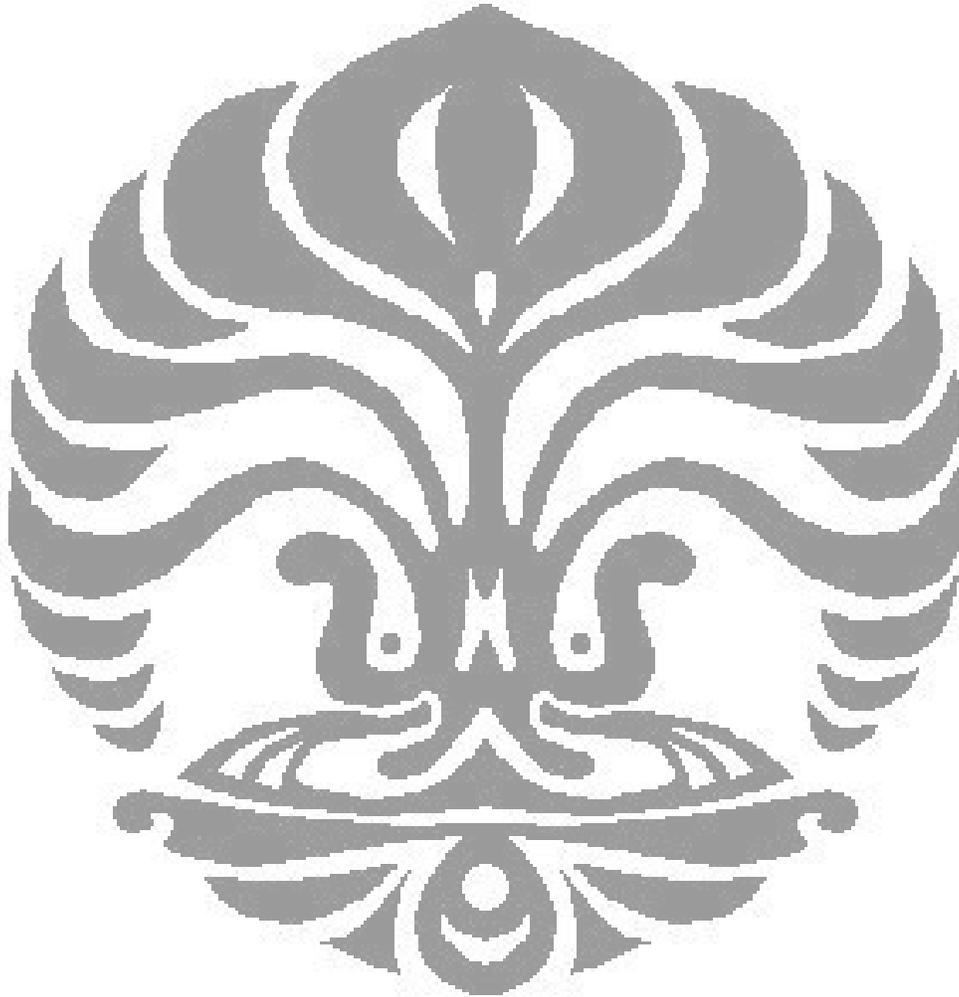
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Mekanisme Pelapisan $MgAl_2O_4$ Pada Permukaan SiC .....	7
Gambar 2.2.	Ilustrasi Permukaan SiC yang Telah Terlapisasi oleh $MgAl_2O_4$ .....	7
Gambar 2.3.	Ilustrasi Skematik Sudut Kontak (a)Terjadi Pembasahan, (b)Tidak Terjadi Pembasahanq.....	9
Gambar 2.4.	Perbandingan Laju Aus Komposit Al-9Si-20 vol% SiC <sub>p</sub> , Al- <i>Unreinforced</i> , dan <i>Cast Iron</i> .....	16
Gambar 2.5.	Aluminum Matrix Composite dengan Fraksi Volume 40% .....	18
Gambar 2.6.	<i>Short Fiber-Reinforced</i> (SFAMCs).....	19
Gambar 2.7.	Mikrostruktur dari <i>Continous Fiber</i> (alumina) <i>Reinforced</i> AMCs.....	19
Gambar 2.8.	Mikrostruktur dari <i>Hybrid</i> AMC dengan Penguat SiC dan <i>Soft Graphite Particles</i> .....	20
Gambar 2.9.	Proses Pembuatan Komposit dengan <i>Powder Metallurgy</i> .....	22
Gambar 2.10.	Prose <i>Foil-Fiber-Foil Diffusion Bonding</i> .....	23
Gambar 2.11.	Mikrostruktur dari Komposit Nanolayer Al/SiC Hasil Pengamatan SEM .....	24
Gambar 2.12.	Metode <i>Stir Casting</i> Dalam Proses Pembuatan Material Komposit Metode <i>Stir Casting</i> Dalam Proses Pembuatan Material Komposit.....	25
Gambar 2.13.	Komposit Bermatrik Logam yang Dibuat Melalui Proses <i>Pressureless Infiltration</i> .....	26
Gambar 2.14.	<i>Spray Co-Deposition</i> dari Partikel SiC dan Logam Cair Al Untuk Membentuk Komposit Dengan Penguat Partikel.....	27
Gambar 2.15.	Skematis dari Proses <i>Directional Solidification</i> Untuk Memperoleh Komposit <i>In-Situ</i> .....	27
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian .....	28
Gambar 3.2.	Diagram Alir Penelitian (lanjutan) .....	29
Gambar 3.3.	<i>Ultrasonic Cleaner</i> .....	31
Gambar 3.4.	Larutan Elektrolit yang Mengandung Ion Al dan Mg .....	32
Gambar 3.5.	Proses <i>Electroless Coating</i> pada SiC. (a) Serbuk SiC di Dalam Larutan Elektrolit. (b) <i>Furnace</i> yang digunakan untuk proses oksidasi .....	33
Gambar 3.6.	(a) Proses GBF aluminium cair di dalam <i>holding furnace</i> (b) Pengadukan Mg di dalam <i>ladle</i> (c) Penuangan SiC ke dalam <i>ladle</i> (d) Hasil cetakan logam .....	36
Gambar 3.7.	Alat SEM .....	36
Gambar 3.8.	Alat XRD .....	37
Gambar 3.9.	Alat Uji Tarik .....	38
Gambar 3.10.	Alat pengujian kekerasan (a) mesin uji kekerasan metode Brinell Hoytom (b) <i>Measuring Microscope</i> .....	38
Gambar 3.11.	Mesin Ogoshi .....	39
Gambar 3.12.	Skema Pengujian Ketahanan Aus dengan Metode Ogoshi.....	40
Gambar 3.13.	Peralatan Pengujian Metalografi, (a) Mesin Amplas, (b) Mesin Poles,(c)MikroskopOptik.....	42
Gambar 4.1.	Morfologi Serbuk SiC <i>As-received</i> Dengan Perbesaran 50x.....	43

Gambar 4.2.	Gambaran Hasil Scanning Electron Microscope Untuk Serbuk SiC 220 Mesh. (a) Ukuran Serbuk 63.71 – 80.01 $\mu\text{m}$ (b) Ukuran Serbuk 117.39 – 130.39 $\mu\text{m}$ .....	44
Gambar 4.3.	Mikrograf dan Spektrum EDS Serbuk SiC.....	44
Gambar 4.4.	Perbandingan Bentuk Permukaan Antara SiC Setelah Proses <i>Electroless Coating</i> Dengan SiC <i>As-Received</i> . (a) SiC dengan Pelapis 0.05gr Mg dengan Ukuran 80.1-111.13 $\mu\text{m}$ . (b) SiC <i>As-received</i> dengan ukuran 100.75-114.83 $\mu\text{m}$ .....	45
Gambar 4.5.	Mikrostruktur Permukaan SiC dan Perbandingan Komposisi Unsur yang Telah Terlapisi Oksida Logam Dengan Perbesaran Tinggi Menggunakan EDX. (a) SiC 0.05 gr Mg, (b) SiC 0.01 gr Mg, (c) SiC 0.15 gr Mg, (d) SiC 0.2 gr Mg, (e) SiC 0.3 gr Mg....	46
Gambar 4.6.	Mikrostruktur permukaan SiC. (a) dengan pelapis Mg (b) dengan pelapis Al.....	47
Gambar 4.7.	Layer $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ Pada Permukaan partikel SiC dengan waktu Inkubasi 5 Menit.....	48
Gambar 4.8.	Nukleasi MgO di Permukaan SiC Menyelimuti Fasa $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ .....	48
Gambar 4.9.	Pengamatan Kandungan Elemen dengan EDS Pada Permukaan Partikel SiC yang Terlapisi AlMg Oksida dengan Konsentrasi (a) Mg (0,25 gr) (b) Mg (0,02 gr).....	49
Gambar 4.10.	Analisa Metal-Oksida yang Terbentuk Pada Permukaan Partikel SiC Dalam Tiga Kondisi Yaitu (SiC) Tanpa Pelapis dan Dua Keadaan yang Terlapis dengan konsentrasi Mg yang berbeda.....	50
Gambar 4.11.	Perbandingan Hasil Pengujian XRD dari Hasil SiC <i>Coating</i> . (a) Pelapis dengan 0.05gr Mg, (b) Pelapis dengan 0.1gr Mg, (c) Pelapis dengan 0.15gr Mg, (d) Pelapis dengan 0.2gr Mg, (e) Pelapis dengan 0.3gr Mg.....	50
Gambar 4.12.	Hasil Analisa TEM Pada SiC dengan Pelapis 0.1gr Mg.....	51
Gambar 4.13.	Perbandingan Grafik Hasil Uji Tarik Al/SiC dengan AC8H.....	53
Gambar 4.14.	Data Hasil Uji Tarik.....	54
Gambar 4.15.	Perbandingan Grafik Hasil Uji Kekerasan Al/SiC dengan AC8H.....	54
Gambar 4.16.	Perbandingan Grafik Hasil Uji Aus Al/SiC dengan AC8H.....	55
Gambar 4.17.	Perbandingan Grafik Hasil Uji Porositas Al/SiC dengan AC8H..	56
Gambar 4.18.	Poros Pada SiC Akibat Terlepasnya SiC.....	57
Gambar 4.19.	Hasil Foto SEM Pada Permukaan Al/SiC Hasil Uji Tarik.....	57

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b>	Karakteristik Aluminium .....	10
<b>Tabel 2.2.</b>	Komposisi AC8A berdasarkan JIS .....	12
<b>Tabel 2.3.</b>	Komposisi AC8H berdasarkan JIS .....	12
<b>Tabel 2.4.</b>	Karakteristik dari Penguat SiC .....	13
<b>Tabel 2.5.</b>	Karakteristik dari Mg .....	14
<b>Tabel 3.4.1.</b>	Penggunaan Bahan Pengecoran.....	34
<b>Tabel 3.4.2.</b>	Komposisi Kimia AC8H <i>as-recieved</i> .....	34



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Semenjak fenomena pemanasan global mencuat, isu-isu mengenai lingkungan menjadi perhatian yang sangat serius, termasuk penggunaan material-material yang ramah lingkungan dan *low energy* yang bisa mengurangi dampak dari pemanasan global tersebut. Efek dari pemanasan global ini salah satunya disebabkan karena meningkatnya polusi udara, dimana salah satu faktor penyumbangannya adalah polusi asap dari kendaraan bermotor, untuk itu perlu dikembangkan suatu teknologi baru yang bisa mengurangi polusi dan pemanasan global tersebut, diantaranya adalah pengembangan material Al komposit.

Material komposit memiliki keunggulan dibandingkan dengan material monolith, diantaranya memiliki densitas yang lebih rendah, tahan korosi, kekuatan dan elastisitas yang baik[1]. Material komposit khususnya AMC (*Aluminum Matrix Composites*) memiliki sifat *tailorability*, sehingga sifat mekanik yang diinginkan dapat diatur tergantung dari kombinasi matrik, penguat dan *interface*. Selain keunggulan tersebut, AMC (*Aluminum Matrix Composites*) memiliki kelemahan dalam proses fabrikasi yang cenderung lebih mahal dibandingkan dengan fabrikasi material monolith. Namun dengan proses fabrikasi *stir casting* biaya fabrikasi menjadi lebih rendah.

Pada industri otomotif, penggunaan baja atau besi tuang mencapai 70% dan 30% lagi untuk material aluminium[2]. Di tengah lonjakan harga baja di pasar dunia, maka Industri otomotif harus mulai mencari alternatif bahan baku pengganti baja yang lebih murah. Salah satu bahan baku yang menjadi alternatif pengganti peran besi tuang atau baja untuk industri komponen otomotif adalah komposit aluminium.

Dengan hadirnya material komposit dengan berat jenis yang lebih rendah sebagai kandidat material pengganti di otomotif bisa mengurangi dominasi dari berat baja. Dengan adanya pengurangan berat ini, tentunya bisa meredusir penggunaan bahan bakar, dengan penghematan bahan bakar penggunaan energi dan polusi gas pun bisa semakin diperkecil.

Aluminum komposit sudah banyak diaplikasikan baik di bidang otomotif, dirgantara, industri pesawat terbang, maupun perusahaan minyak dan gas. Ada banyak tipe dari aluminum yang diaplikasikan, namun dari semua komposit itu mekanisme terjadinya ikatan antara penguat dan matriks menjadi suatu isu yang kritikal untuk dibahas. Maka didalam memproduksi material komposit *interface* dan *wetting* merupakan parameter yang penting, jika performa dari *interface* antara *reinforce* dan *matrix* bisa ditingkatkan maka akan didapatkan suatu sifat material komposit yang bagus pula, karena ikatan pada *interface* yang baik akan mampu mentransfer dan mendistribusikan beban dari *matrik* ke penguat[3].

Pada penelitian ini penulis akan mencoba membuat suatu material komposit matrik aluminum (Al) dengan penguat silikon karbida (SiC) yang dielectroless coating dengan parameter kadar magnesium (Mg) terhadap sifat kemampubasahan (*wettability*) dari penguat SiC dengan matriknya Al.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berbagai metode dan penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan sifat kemampubasahan SiC dengan cara merekayasa permukaannya agar bisa berikatan dengan logam Al. Salah satu metode untuk meningkatkan kemampubasahan dari SiC adalah dengan melapisi permukaannya dengan logam atau oksida logam, metode pelapisan ini adalah dengan *electroless coating*. Jika kita berhasil untuk memodifikasi permukaan dari pengikatnya, maka karakteristik dari material komposit yang dibuat akan menjadi lebih baik karena kuatnya *interfacial bonding* antara SiC dan Al.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Meningkatkan kemampubasahan penguat SiC terhadap matriks aluminum pada proses pembuatan komposit.
2. Mempelajari pengaruh kadar magnesium (Mg) di dalam pelapisan permukaan partikel penguat SiC melalui metode *electroless coating*.
3. Menganalisa partikel SiC hasil *electroless coating* dengan XRD, SEM/EDX, HRSEM, dan TEM.

4. Mengetahui perbandingan sifat mekanis dari komposit Al/SiC yang telah di coating terhadap material *unreinforced*.

#### 1.4 Batasan Masalah

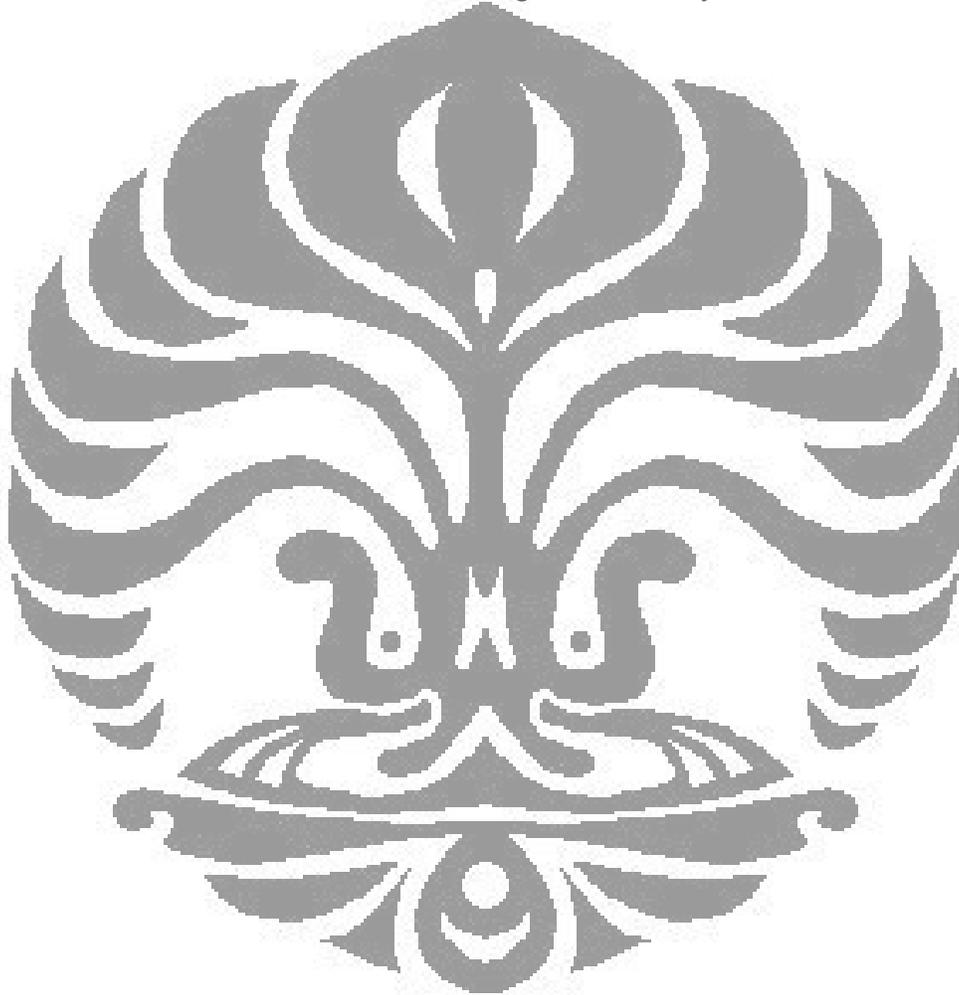
Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Bahan baku yang digunakan adalah sebagai berikut :
  - Material serbuk silicon karbida (SiC), sebagai penguat
  - Material Aluminium AC8H, sebagai matriks
  - HNO<sub>3</sub> 65% sebagai media larutan polar
  - Serbuk Al dan Mg, sebagai logam pelapis SiC
2. Proses *electroless coating* dilakukan dengan variable penambahan persen berat Magnesium (0.05 gr, 0.10 gr, 0.15 gr, 0.20 gr, 0.30 gr) ke dalam larutan *electroless coating* (HNO<sub>3</sub> 65% 40 ml + serbuk aluminium 0.5 gr).
3. Proses yang digunakan untuk pembuatan komposit menggunakan metode *stir casting* dengan memodifikasi bentuk dari *ladle*.
4. Karakterisasi yang dilakukan, yaitu :
  - a. SiC yang mengalami proses *electroless coating*
    - Karakterisasi serbuk SiC dan komposit dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM.
    - Pengamatan kuantitatif dengan menggunakan EDAX.
    - Pengamatan fasa yang terbentuk dengan menggunakan XRD.
    - Pengamatan *interface* SiC dan Al dengan menggunakan TEM
  - b. Komposit Al/SiC
    - Pengujian kekerasan
    - Pengujian tarik
    - Pengujian aus
    - Pengujian impak
    - Pengujian metallografi

#### 1.5 Tempat Penelitian

Proses *electroless coating*, karakterisasi serbuk SiC dengan menggunakan mikroskop optik dan SEM, pengamatan kuantitatif menggunakan EDX, serta

pengujian sifat mekanik komposit Al/SiC seperti uji kekerasan, tarik, aus, impak dan metallografi dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material FTUI Depok. Proses pengecoran serta pembuatan dan preparasi sampel uji tarik, kekerasan, dan aus dilakukan di PT. X kawasan industri Pegangsaan. Untuk pengamatan fasa yang terbentuk dengan menggunakan XRD dilakukan di BATAN, Serpong Banten. Sedangkan pengamatan *interface* SiC dan Al dengan menggunakan TEM dilakukan di Lab Material Science Yeungnam University Korea selatan.



## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1. Rekayasa Permukaan Terhadap SiC

Aplikasi dari *protection barrier* pada penguat keramik di dalam memproduksi *metal matrix composites* sudah banyak dilakukan, namun bagaimanapun juga kebanyakan dari penelitian di bidang ini lebih mengarah kepada *continuous reinforcement* (SiC fibers) dan matriks dengan reaksi tinggi (paduan Ti atau fasa intermetalik seperti TiAl<sub>3</sub>). Penelitian terakhir telah berhasil menghasilkan sistem Ti/SiC<sub>f</sub> dengan pengembangan dari sebuah *duplex barrier* dari C/TiBx[4] atau Ti/C[5], *duplex metallic coating* dari Cu/Mo, Cu/W o Ag-Ta[6,7], atau *ceramic coating* dari yttrium dan magnesium oxide[8,9]. Di semua penelitian ini menggunakan CVD, PVD, dan proses lainnya untuk menghasilkan *barrier*. Namun pengembangan-pengembangan ini masih terlalu kompleks dan biaya produksi yang tinggi, sehingga cara ini tidak dapat diterapkan untuk komposit dengan *discontinuous reinforcement* (partikel atau *whiskers*).

Interaksi kimia dari *discontinuous reinforcement* selama proses cair dari komposit telah banyak dipelajari secara dalam olah banyak ahli, berbagai macam telah dilakukan untuk meningkatkan kemampubasahan dari SiC terhadap Al, diantaranya seperti *surface treatment* dengan K<sub>2</sub>ZrF<sub>6</sub> pada larutan cair untuk meningkatkan pembasahannya dengan logam Al pada temperatur 600-900°C, memproduksi lapisan keramik *inert* (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>) pada SiC dengan metode sol-gel untuk mengurangi degradasi permukaan oleh aluminium karbida, pelapisan partikel SiC dengan *metallic barrier* seperti Ni, NiP, atau Cu dengan tujuan untuk mengontrol reaktifitas dan meningkatkan kemampubasahan sejalan dengan terbentuknya reaksi permukaan *intermediate*, meskipun pada kebanyakan kasus terdapat pengurangan *ductility* pada komposit[10].

Untuk mengontrol terbentuknya *interfacial* yang dapat meningkatkan kemampubasahan SiC, maka penulis melakukan penelitian dengan mendeposisikan ion logam Al dan Mg ke permukaan SiC dengan metode *electroless coating* dengan tujuan akan terbentuknya *protection barrier*.

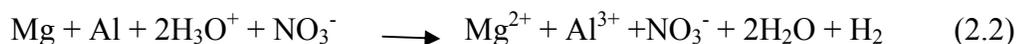
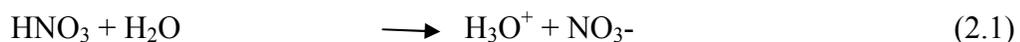
### 2.1.1. *Electroless Coating*

*Electroless coating* merupakan suatu metode pelapisan dengan cara mendeposisikan logam pada sebuah substrat dengan media larutan polar sebagai agen pereduksinya tanpa adanya sumber arus listrik. Metode ini mempunyai keunggulan dibandingkan dengan metode pelapisan yang lain seperti evaporasi vakum dan *sputtering*, karena biaya yang relatif murah, penggunaan temperatur rendah dalam proses pelapisannya sehingga mengurangi terjadinya oksidasi pada substrat, dan juga proses pelapisan ini tidak tergantung bentuk geometri substrat[3].

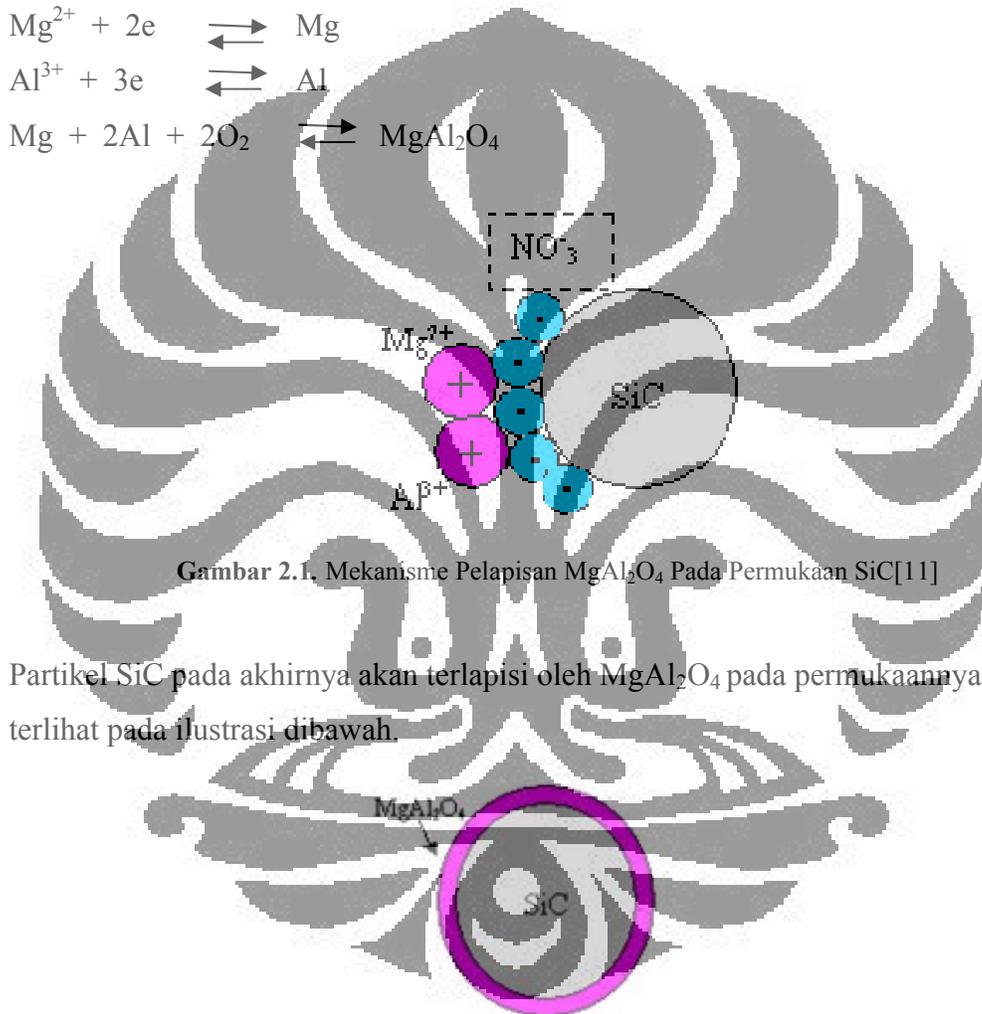
Metode *electroless coating* dapat digunakan dalam melapisi partikel keramik SiC sebagai penguat didalam komposit aluminum. Namun salah satu masalah yang timbul pada saat membuat komposit Al/SiC adalah sulitnya terjadi pembasahan atau ikatan antara penguat SiC dan matriks Al. Oleh karena itu metode *electroless coating* ini dapat meningkatkan sifat kemampubasahan penguat SiC dengan cara merekayasa permukaannya agar bisa berikatan dengan matriks Al, yaitu dengan melapisi permukaannya dengan logam atau oksida logam

Menurut Zainuri[11], metode *electroless coating* pada SiC dapat dilakukan dengan membuat larutan elektrolit HNO<sub>3</sub> yang dicampur dengan logam aluminum dan magnesium sehingga membentuk senyawa metal oksida pada permukaan partikel SiC. Lapisan metal oksida yang terbentuk selain meningkatkan kemampubasahan partikel SiC, lapisan ini juga dapat mengurangi pengelompokan partikel SiC saat digabungkan dengan logam aluminum. Pengelompokan SiC terjadi karena adanya gaya elektrostatik yang dibangun oleh muatan di sekeliling permukaan SiC. Setelah dilakukan pelapisan pada permukaan SiC, diharapkan menjadi langkah awal penyebaran SiC yang merata pada komposit.

Lapisan metal oksida yang diharapkan terbentuk pada permukaan partikel SiC adalah MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, karena reaksi yang terjadi antara larutan elektrolit (HNO<sub>3</sub>) dengan ion Mg dan Al.



Dimana  $H_2$  dan  $H_2O$  akan menguap karena adanya faktor pemanasan, sehingga dalam larutan elektrolit tersebut hanya tersisa asam  $NO_3^-$  dan  $Mg^{2+}$  dan  $Al^{3+}$  yang bergerak bebas. Serbuk SiC akan terdeposisi oleh ion Mg dan Al, kemudian akan termuati oleh sisa asam  $NO_3^-$  yang mengakibatkan terjadinya gaya elektrostatis antar ion-ion  $Mg^{2+}$  dan  $Al^{3+}$ , seperti yang terlihat pada gambar 2.1 dan 2.2.



Gambar 2.1. Mekanisme Pelapisan  $MgAl_2O_4$  Pada Permukaan SiC[11]

Partikel SiC pada akhirnya akan terlapis oleh  $MgAl_2O_4$  pada permukaannya, seperti terlihat pada ilustrasi dibawah.

Gambar 2.2. Ilustrasi Permukaan SiC yang Telah Terlapis oleh  $MgAl_2O_4$  [11]

### 2.1.2. Interfacial dari partikel SiC

Didalam meningkatkan kemampubasahan dari SiC, peran *interface* merupakan faktor yang sangat krusial, karena *interface* pada *metal matrix composite*

(MMCs) memiliki pengaruh yang penting dalam menentukan sifat mekanis MMCs, seperti *stiffness*, *fracture toughness*, *fatigue*, *coefficient thermal expansion*, *creep* dan konduktivitas panas. Penguatan di komposit dengan partikel penguat bergantung pada kekuatan ikatan yang baik antara matrik dan partikel penguat. Ikatan pada interface yang baik akan mampu mentransfer dan mendistribusikan beban dari matrik ke penguat.

Pada MMCs Al/SiC, sangat potensial untuk digunakan pada aplikasi struktural pada industri transportasi. Akan tetapi material tersebut memiliki keuletan dan ketangguhan yang rendah untuk diaplikasikan. Kelemahan tersebut diduga berhubungan dengan struktur pada daerah *interface* dan faktor fabrikasi. Masalah utama dalam proses fabrikasi MMCs ini karena SiC bereaksi dengan lelehan aluminium (Al) membentuk aluminium carbide yang *brittle* ( $Al_4C_3$ )[12]. Pada penelitian Jae chul Lee, Jae Pyoung Ahn, Zhongliang Shi, Youngman Kim, dan Ho In Lee[13] menyebutkan bahwa dalam pembuatan komposit Al/SiC harus menghindari terbentuknya lapisan  $Al_4C_3$  yang bisa merusak sifat *wettability* dari SiC terhadap logam Al. Reaksi antara SiC dan Al yang mungkin terjadi adalah:



Reaksi di atas terjadi karena padatan SiC terlarut dalam lelehan aluminium, membentuk fasa  $Al_4C_3$  pada *interface*. Pada reaksi yang mengikuti persamaan reaksi diatas, konsentrasi Si (silikon) dalam lelehan meningkat pada temperatur *liquidus*. Keberadaan Si memberikan dampak positif dalam menurunkan pembentukan fasa  $Al_4C_3$ , 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.

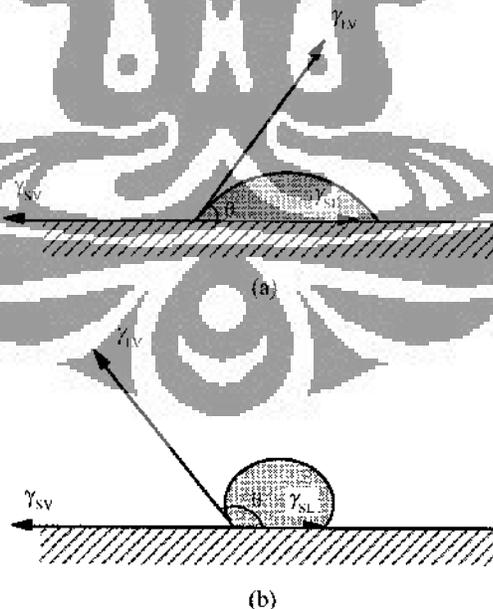
### 2.1.3. Kemampubasahan (*wettability*)

Aspek kemampubasahan antara *reinforcement* terhadap matriks logam merupakan aspek penting yang menentukan kekuatan material komposit.

Kemampubasahan penguat terhadap matriks dapat dilakukan dengan pembentukan ikatan kimia yang kuat pada *interface* (terjadi ikatan primer seperti: ikatan metalik, ionik dan kovalen). Perilaku kemampubasahan dapat diketahui dengan menghitung sudut kontak dan energi permukaannya. Pembasahan permukaan padat terhadap permukaan cair dapat diketahui berdasarkan persamaan Young:

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

Dimana  $\gamma_{SV}$  energi bebas per unit area pada permukaan padat dan gas,  $\gamma_{LV}$  tegangan permukaan antara permukaan cair dan gas,  $\gamma_{SL}$  energi interfacial dan  $\theta$  adalah sudut kontak. Berdasarkan persamaan di atas, sudut kontak ( $\theta$ ) menurun apabila terjadi peningkatan energi permukaan padatan ( $\gamma_{SL}$ ), penurunan energi interfasial padat/cair atau dengan penurunan tegangan permukaan cairan ( $\gamma_{LV}$ ). Jadi lelehan logam dikatakan membasahi partikel penguat apabila  $\theta < 90^\circ$ , yaitu ketika  $\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$ . Untuk mengetahui pembasahan yang baik, dapat dideteksi dengan melakukan uji *sessile drop*, dimana lelehan logam ditetaskan pada permukaan substrat (penguat). Skematik diagram pengujian pembasahan dengan *sessile drop* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.3.** Ilustrasi Skematik Sudut Kontak (a)Terjadi Pembasahan, (b)Tidak Terjadi Pembasahan[14]

## 2.2. Material Penyusun dari Aluminum Matrix Composite (AMCs)

### 2.2.1. Aluminum (Al)

Aluminium adalah logam yang sering dipakai pada industri pengecoran logam karena persediaannya yang banyak terkandung didalam bumi. Pada industri tersebut pemakaian aluminium sebagai bahan baku selalu digunakan tambahan unsur lain sebagai paduan karena paduan dapat menambah dan memperbaiki sifat logam aluminium. Aluminium dan paduannya merupakan logam ringan dengan *density* yang rendah (2,7 g/cm<sup>3</sup>) dibandingkan dengan baja (7,9 g/cm<sup>3</sup>). Memiliki ketahanan yang baik terhadap korosi lingkungan pada aluminium karena memiliki kemampuan membentuk lapisan oksida Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang pasif, keras, dan tahan lingkungan *ambient* (normal). Selain itu, aluminium memiliki konduktivitas listrik dan panas yang tinggi. Dengan struktur kristal FCC yang dimiliki, aluminium dan paduannya cenderung memiliki sifat keuletan yang tinggi[15].

Logam aluminium berperan sebagai matrik yang berfungsi sebagai media transfer beban ke penguat dan melindungi penguat dari lingkungan. Sifat-sifat fisik dan mekanik yang dimiliki oleh aluminium dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Karakteristik Aluminum[16]

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas (T = 20°C)	gram/cm <sup>3</sup>	2,7
Nomor Atom	-	13
Berat Atom	gram/mol	26,67
Warna	-	Putih keperakan
Sruktur 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 SI	Nilai
Modulus Elastis	GPa	72
Poisson's Ratio	-	0,35
Kekerasan	VHN	19
Kekuatan Luluh	Mpa	25
Ketangguhan	Mpa m	33
Sifat Thermal	Satuan SI	Nilai
Konduktivitas Panas	W/mK	237
Kapasitas Panas	J/Kg °C	917

Dalam sistem penamaan aluminium tuang, sistem penamaan dari *Aluminium Association* (AA) digunakan di negara Amerika Serikat. Dalam sistem penamaan AA, terdapat empat angka yang memiliki arti, yaitu:

- Angka pertama: paduan yang utama
- Angka kedua dan ketiga: kandungan minimum aluminium
- Angka keempat: menandakan bentuk produk. Batas komposisi kimia untuk coran, batas komposisi kimia untuk ingot.

Sistem penamaan aluminium tuang dengan unsur paduan utama menurut AA adalah sebagai berikut[17]:

- 1xx.x, aluminium murni (99.00% atau lebih)
- 2xx.x, aluminium-paduan tembaga
- 3xx.x, aluminium-silikon ditambahkan tembaga dan/atau magnesium
- 4xx.x, aluminium-silikon
- 5xx.x, aluminium-magnesium
- 7xx.x, aluminium-zinc
- 8xx.x, aluminium-timah
- 9xx.x, aluminium ditambahkan elemen lain
- 6xx.x, seri yang sudah tidak digunakan

Sistem penamaan lainnya yaitu JIS, dapat diperbandingkan dengan penamaan AA, dilihat dari kesamaan komposisi kimianya. Seperti dalam material aluminum casting seri 3 paduan Al-Si-Cu, AA 336.0 memiliki kesamaan komposisi dengan AC8A pada penamaan JIS. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah AC8H.

Penamaan AC8A menunjukkan sistem penamaan dengan menggunakan standar JIS yang dipakai oleh negara Jepang. Paduan AC8A merupakan tipe Al-Si tuang yang banyak dipakai pada industri pengecoran komponen otomotif. Komponen-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 material ini sebagai piston tidak terlepas dari komposisi kimia pada material tersebut. Berikut adalah komposisi kimia dari AC8A.

Tabel 2.2. Komposisi AC8A berdasarkan JIS[18]

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr
%	11-13	0.8-	0.8-	0.7	0.15	0.8-	0.15	0.2	0.10
Berat		1.3	1.3	max	max	1.5	max	max	max

Berdasarkan dengan AC8A, AC8H memiliki sedikit perbedaan pada komposisinya. AC8H didapat memodifikasi komposisi kimia dari standar AC8A. Berikut adalah komposisi kimia dari AC8H.

Tabel 2.3. Komposisi AC8H berdasarkan JIS[Standard HES C-102-08]

Unsur	Si	Cu	Mg	Fe	Mn	Ni	Zn	Ti	Cr	Pb	Sn
%	10.50-	2.50-	0.70-	0.05-	0-	0-	0-	0.20-	0-	0-	0-
Berat	11.50	3.50	1.30	0.40	0.10	0.10	0.10	0.30	0.05	0.05	0.05

### 2.2.2. Silikon Karbida (SiC)

Silikon karbida (SiC) merupakan salah satu jenis keramik yang sering digunakan sebagai penguat dalam komposit. Material ini relatif murah dan sering

digunakan pada material abrasif, refraktori, dan kegunaan di bidang kimia. 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[14]. Sifat-sifat dari SiC secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Karakteristik dari Penguat SiC [19]

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas	g/cm <sup>3</sup>	3,15
Berat Atom	g/mol	40,1
Warna	-	Hitam
Struktur Kristal	-	Hexagonal
Titik Lebur	°C	2700
Titik Didih	°C	2972
Sifat Mekanik	Satuan SI	Nilai
Modulus Elastisitas	GPa	410
Ratio Poisson	-	0,14
Kekuatan Tekan	MPa	3900
Kekerasan	VHN	3500
Kekuatan Luluh	MPa	450
Ketangguhan	MPa m	4,5
Sifat Thermal	Satuan SI	Nilai
Konduktivitas Panas	W/m °K	120
Koefisien Muai Thermal	10 <sup>6</sup> /°C	4,0
Specific Heat	J/kg.K	750
Kapasitas Panas	J/kg °C	628

Dengan ditambahkan penguat partikel keramik (SiC) pada MMCs, mampu meningkatkan sifat mekanisnya sehingga menjadi material yang unggul dibandingkan dengan besi tuang dan baja. Dengan meningkatnya fraksi volume partikel SiC pada

matriks aluminum, dapat meningkatkan kekuatan dan kekakuan MMCs sesuai dengan hukum pencampuran (ROM).

### 2.2.3. Magnesium (Mg)

Dalam pembuatan komposit, Mg digunakan sebagai *wetting agent*, yaitu untuk menurunkan tegangan permukaan antara matriks dan penguat. Sifat-sifat dari magnesium secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.5.

**Tabel 2.5.** Karakteristik dari Mg[20]

Sifat Fisik	Satuan SI	Nilai
Densitas	g/cm <sup>3</sup>	1,738
Berat Atom	g/mol	24,305
Warna	-	Putih keperakan
Struktur Kristal	-	Hexagonal
Titik Lebur	°C	650
Titik Didih	°C	1090
Sifat Mekanik	Satuan SI	Nilai
Ratio Poisson	-	0,29
Kekerasan	BHN	260
Kekuatan Luluh	MPa	45
Sifat Thermal	Satuan SI	Nilai
Konduktivitas Panas	W/m °K	156
Koefisien Ekspansi Thermal	µm/(m·K)	24.8
Kapasitas Panas	J/(mol·K)	24,869

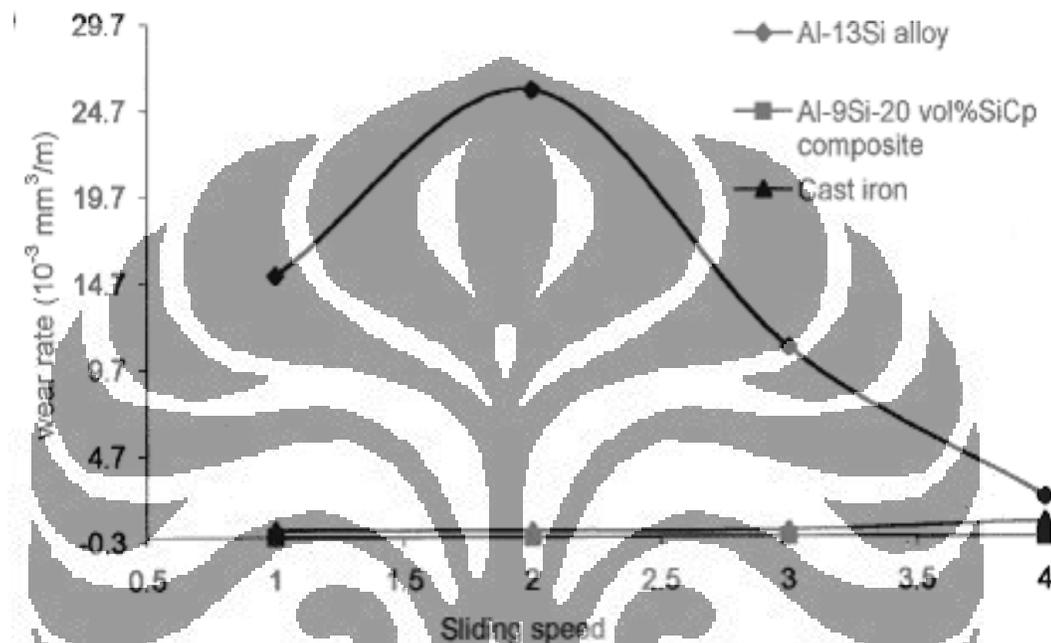
### 2.3. Efek Penambahan Penguat Keramik Terhadap Aluminum Matrix Composites (AMCs)

Dengan hadirnya penguat keramik (*whisker/particle/short fiber/continuous*) dalam jumlah fraksi volume lebih dari 10% akan memberikan pengaruh kepada sifat karakteristik dari matriks aluminum di dalam AMCs selama proses manufaktur. Perubahan ini meliputi perubahan sifat intrinsik dan ekstrinsik dari aluminum[21].

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

- Struktur solidifikasi dari AMCs: dengan hadirnya keramik sebagai penguat bisa merubah sifat dari pendinginan dari aluminum alloy, yaitu dengan keramik akan menjadi *barrier* untuk terjadinya difusi dari panas ke pendinginan, sebagai katalis nukleasi *heterogeneous* dari proses kristalisasi dari leburan, membatasi konveksi fluida, dan instabilitas morfologi didalam *solid-liquid* dari leburan.
- Efek *age hardening*: modifikasi ini tergantung kepada komposisi, ukuran, dan morfologi matriks, dan besar fraksi volume dari penguat serta metode pembuatannya. Sebagai contoh komposit bermatriks Al-Cu-Mg alloy bisa menghambat percepatan *ageing* jika dibandingkan dengan *unreinforced alloy*, puncak temperatur dari presipitat S1 menurun seiring meningkatnya fraksi volume, dan sebagainya.
- *Thermal residual stress*: AMCs pada saat fabrikasi pada temperatur lebih dari 500°C, dan *thermal residual stress* yang besar terdapat pada saat pendinginan. Besarnya *thermal residual stress* ini berhubungan dengan jenis dari penguatnya, fraksi volume, diameter dan *aspect ratio*. Sebagai contoh, *thermal residual stress (tensile)* lebih dari 200 MPa didapat pada komposit bermatriks Al dengan 30% fraksi volume SiC<sub>p</sub>. Kehadiran *thermal residual stress* ini simetris dengan nilai *yield*, dan juga mempengaruhi sifat *fatigue* dan *creep* dari AMCs.

Pengaruh unsur ekstrinsik dari penguat keramik dapat berupa peningkatan ketahanan aus dari komposit. Contoh ini bisa dilihat pada aplikasi AMCs yang diaplikasikan pada Al MMC *brake disc*. Dapat dilihat pada gambar 2.4, komposit Al-9Si-20 vol %SiC<sub>p</sub> menunjukkan laju aus yang rendah jika dibandingkan dengan Al *unreinforced* dan *cast iron*.



Gambar 2.4. Perbandingan Laju Aus Komposit Al-9Si-20 vol% SiC<sub>p</sub>, Al-*Unreinforced*, dan *Cast Iron*[21]

#### 2.4. Komposit 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. Gabungan material ini terjadi dalam skala makroskopis. Material komposit tersusun dari dua fasa, satu disebut sebagai matriks (*matrix*), dimana matriks bersifat kontinyu dan mengelilingi fasa yang satunya, yang disebut penguat (*reinforcement*)[1].

Klasifikasi dari material ini berdasarkan bentuk dasar dari sifat fisika atau kimia dari fasa matrik, seperti *metal matrix composite* (MMCs), *polymer matrix composite* (PMCs), *ceramic matrix composite* (CMCs), dan sebagai tambahan adalah

dengan hadirnya *intermetallic-matrix*, dan *carbon matrix composite*. Dalam komposit matriks logam, maka kombinasi yang terjadi berupa material fasa logam dengan material penguat (*reinforcement*) dapat berupa logam (lead, tungsten, molybdenum) maupun keramik (senyawa oksida, karbida dan nitrida). Pada penelitian ini penulis hanya konsen kepada *metal matrix composite* atau yang lebih spesifik lagi yaitu aluminum matrix composite (AMCs).

Aluminum merupakan matriks paling populer yang digunakan untuk MMCs. Aluminum sendiri, dalam penggunaannya di industri manufaktur menempati posisi kedua setelah besi dan baja karena ringan dan mudah dikombinasikan dengan unsur lain (*alloying*) untuk mengatur sifatnya, seperti sifat mekanis, *castability*, *machinability*, *surface finish*, dan ketahanan korosi. Paduan aluminum banyak digunakan karena memiliki densitas sekitar sepertiga dari densitas baja ( $2.7 \text{ Kg/m}^3$  VS  $7.8 \text{ Kg/m}^3$ )[22], namun kekuatan dan modulus elastisitasnya lebih rendah dari baja. Dengan ditambahkan penguat (*reinforcement*) keramik pada aluminum, kekuatan dan modulusnya dapat ditingkatkan sehingga rasio kekuatan dan modulus spesifiknya melebihi besi tuang dan baja. Dengan keunggulannya tersebut, maka material AMCs sangat potensial untuk dikembangkan sebagai material pengganti besi tuang dan baja dalam aplikasi industri transportasi, khususnya industri otomotif.

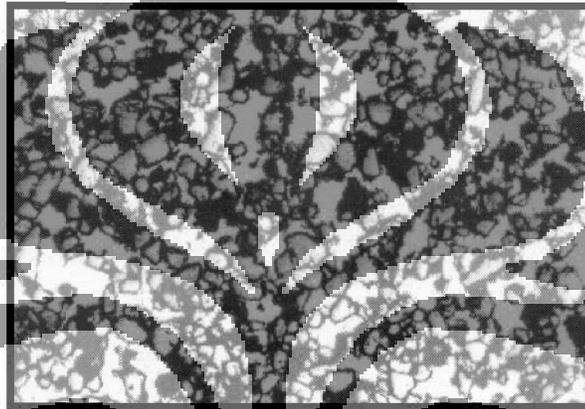
#### 2.4.1. Tipe dari Komposit Aluminum

Komposit aluminum dibagi atas empat bagian berdasarkan jenis dari penguatnya, yaitu *particle-reinforced* (PAMCs), *whisker-or short fiber-reinforced* (SFAMCs), *continuous fiber-reinforced* (CFAMCs), dan *mono filament-reinforced* (MFAMCs)[21].

##### 2.4.1.1. Particle-Reinforced (PAMCs)

Komposit jenis ini pada umumnya terdiri dari penguat *ceramic*, penguat *ceramic* yang sering digunakan adalah senyawa oksida, karbida, atau *boride* ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , SiC,  $\text{TiB}_2$ ) dengan jumlah fraksi volume kurang dari 30% ketika digunakan untuk aplikasi *structural* dan ketahanan aus yang tinggi. Namun pada aplikasi penyimpanan peralatan elektronik fraksi volume dari penguat bisa hingga 70%. Secara umum

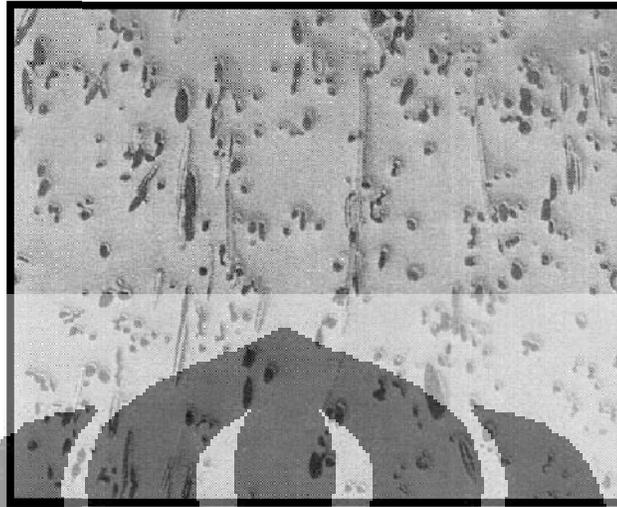
material ini dibuat melalui proses *solid state (powder metallurgy processing)* atau *liquid state (stir casting, infiltration, dan in-situ)*. Secara umum PAMCs lebih murah jika dibandingkan dengan CFAMCs. Memang sifat mekanik dari PAMCs rendah jika dibandingkan pada *whisker/short fiber/continuous fiber reinforced* AMCs, akan tetapi sifat material jauh lebih baik jika dibandingkan dengan material aluminum alloy tanpa penguat. Gambar 2.5 menunjukkan foto mikrostruktur dari hasil pengecoran AMCs dengan fraksi volume 40% dengan SiC sebagai partikel penguat.



Gambar 2.5. Aluminum Matrix Composite dengan Fraksi Volume 40%[21]

#### 2.4.1.2. *Whisker-or Short Fiber-Reinforced* (SFAMCs)

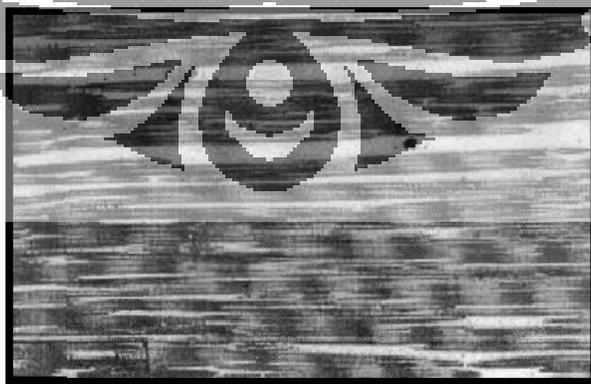
*Short alumina fiber reinforced aluminum matrix composite* adalah salah satu yang pertama dan yang paling populer dalam AMCs yang dikembangkan untuk aplikasi *pistons*. Material ini diproduksi melalui proses *squeeze infiltration*. Gambar 2.6 dibawah menunjukkan mikrostruktur dari *short fiber reinforced* AMCs. Sedangkan untuk *whisker reinforced composite* diproduksi melalui proses *powder metallurgy* atau proses infiltrasi, sifat mekanik dari material ini jauh lebih superior jika dibandingkan dengan *short fiber reinforced composite*. Namun seiring dengan perkembangan teknologi penggunaan dari *whisker* sebagai penguat di dalam AMCs sudah mulai berkurang karena bahaya kesehatan. Karakteristik dari *short fiber reinforced AMCs* ini berada diantara *continuous fiber* dan *particle reinforced AMCs*



**Gambar 2.6.** *Short Fiber-Reinforced (SFAMCs)*[21]

#### **2.4.1.3. *Continuous Fiber-Reinforced (CFAMCs)***

Penguatnya dibentuk dari *continuous fiber* (alumina, SiC, atau carbon) dengan diameter kurang dari 20  $\mu\text{m}$ . *Fiber* bisa dalam bentuk *parallel* atau *pre woven*, dengan dijalin sebelumnya untuk memproduksi komposit. AMCs memiliki *fiber* 40% *volume fraction* diproduksi dengan proses *squeeze infiltration*. Perusahaan 3M<sup>™</sup> telah mengembangkan 60% *volume fraction alumina fiber (continuous fiber) reinforced composite* dengan *tensile strength* dan *elastic stiffness* sebesar 1500 Mpa dan 240 GPa. Komposit ini diproduksi dengan proses *pressure infiltration*. Gambar 2.7 menunjukkan foto mikrostruktur dari *continuous fiber (alumina) reinforced AMCs*.

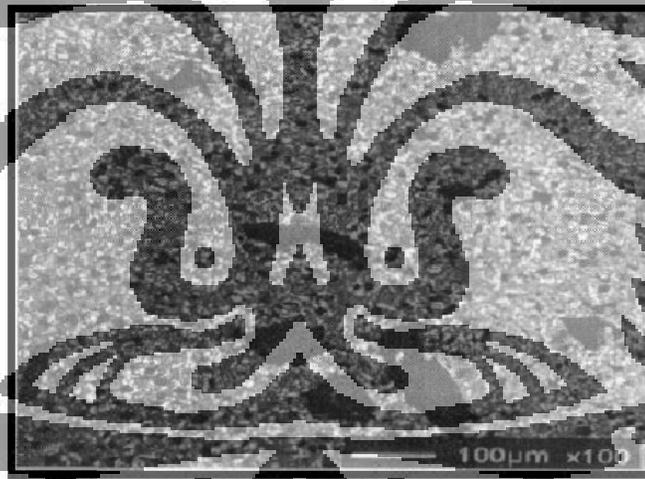


**Gambar 2.7.** Mikrostruktur dari *Continuous Fiber (alumina) Reinforced AMCs* [21]

#### 2.4.1.4. *Mono Filament-Reinforced (MFAMCs)*

Komposit jenis ini memiliki fiber dengan diameter yang besar (100 – 150  $\mu\text{m}$ ), biasanya diproduksi melalui *chemical vapour deposition (CVD)* dari SiC atau B kedalam sebuah *carbon fiber* atau *W wire*. *Bending flexibility* dari material ini rendah jika dibandingkan dengan komposit dengan *multifilament*. *Monofilament reinforced AMC*s diproduksi dengan proses *diffusion bonding*, dan ini terbatas untuk *super plastic forming aluminum alloy matrices*.

Sebagai tambahan dari 4 jenis AMC's yang telah disebutkan diatas, jenis AMC's lainnya dikenal dengan *hybrid AMC*s. Pada dasarnya material ini terdiri dari lebih dari satu jenis penguat. Sebagai contoh, campuran dari partikel dan *whisker*, atau campuran dari *fiber* dan partikel atau campuran dari penguat yang keras dan lunak. Gambar 2.8 menunjukkan mikrostruktur dari *hybrid AMC* dengan penguat SiC dan *soft graphite particles*.



Gambar 2.8. Mikrostruktur dari *Hybrid AMC* dengan Penguat SiC dan *Soft Graphite Particles*[21]

#### 2.4.2. Proses Pembuatan Komposit Aluminium

Dalam industri, proses manufaktur dari komposit Al/SiC dapat digolongkan dalam 2 (dua) kelompok utama, yaitu:

- a. *Solid state processes* (Proses padat).
- b. *Liquid state processes* (Proses cair).

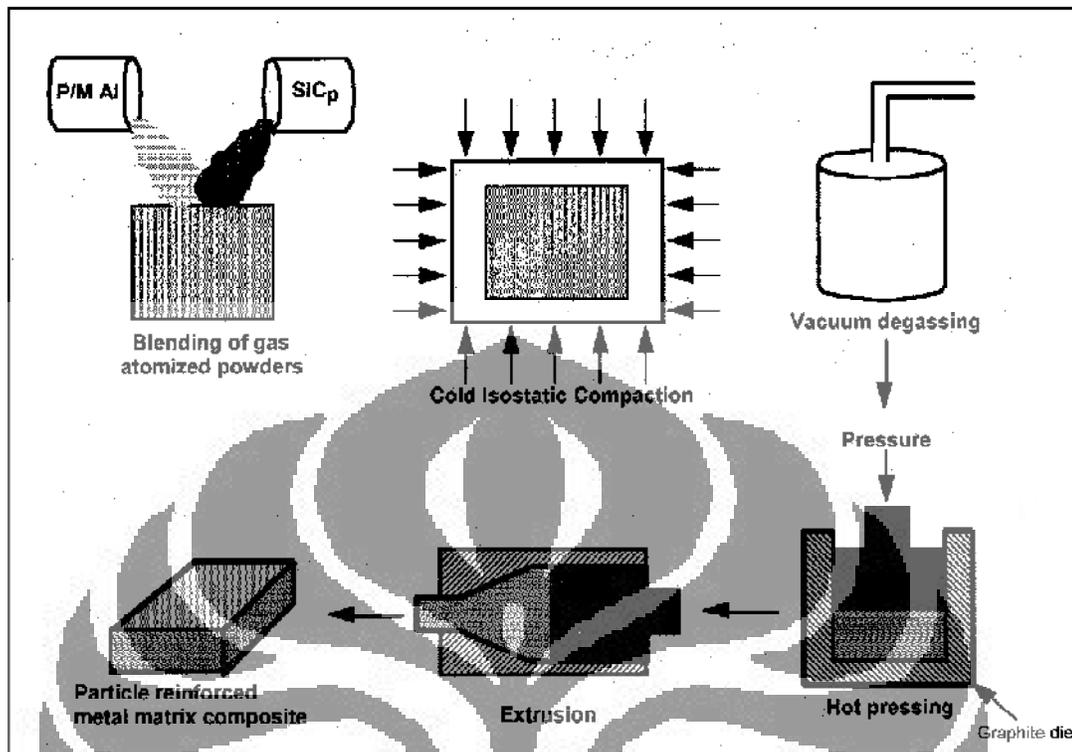
Pencampuran serbuk yang diikuti dengan penggabungan (*Powder Metallurgy/PM Processing*), *diffusion bonding*, dan teknik *physical vapour deposition* dimasukkan dalam *solid state processing*. Sedangkan *Liquid state process*, meliputi *stir casting* atau *compocasting*, *infiltration*, *spray deposition*, dan proses *insitu* (reaktif) [14]. Pemilihan dari tahapan proses, tergantung dari banyak faktor, termasuk jenis dan tingkatan pembebanan pada penguat serta struktur mikro yang diinginkan.

#### **2.4.2.1. Solid State Processes**

##### **2.4.2.1.1. Powder Metallurgy Metal Matrix Composites**

Pencampuran dari aluminum alloy powder dengan ceramic short fiber/whisker particle masih merupakan salah satu proses yang baik untuk memproduksi AMCs. Partikel oksida yang kecil cenderung bertindak sebagai agen dispersion-strengthening dan sering memiliki pengaruh yang kuat kepada sifat matrix selama proses heat treatment[14].

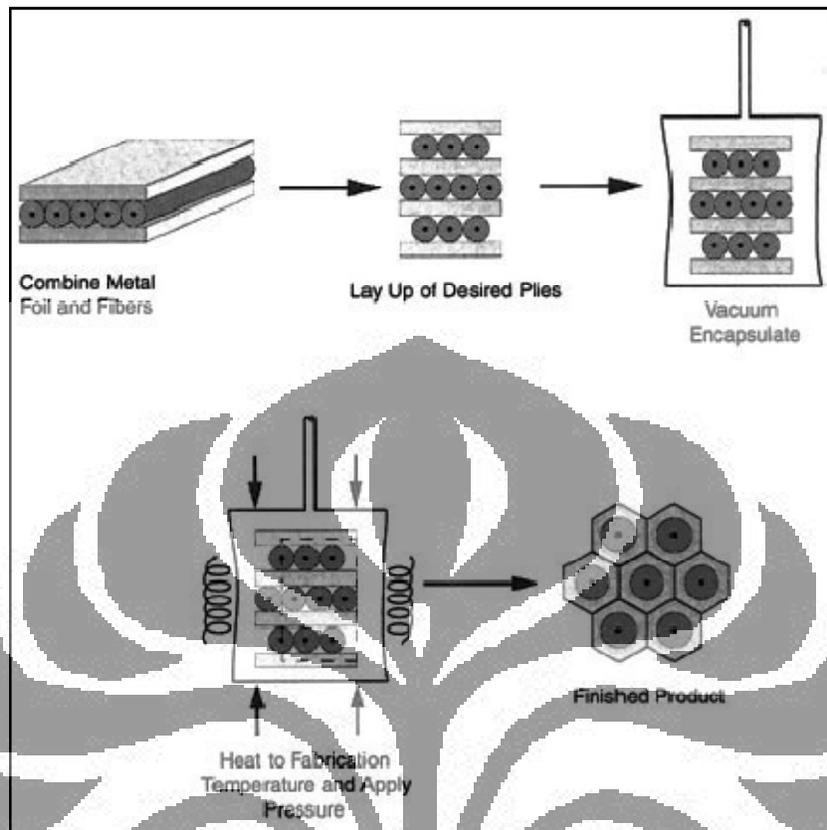
Pada proses padat memiliki beberapa kelebihan, diantaranya: temperatur proses yang rendah, penguat terdistribusi secara merata sehingga sifat mekanis yang diperoleh baik. Proses padat yang umum digunakan adalah proses metalurgi serbuk. Pada proses metalurgi serbuk biaya produksi lebih mahal dari proses cair (pengecoran) sehingga tidak ekonomis. Walaupun proses padat memiliki keunggulan dibandingkan dengan proses cair, perkembangan proses padat ini kurang signifikan dibandingkan dengan proses cair. Proses pembuatan material komposit dengan jalur powder metallurgy dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9. Proses Pembuatan Komposit dengan *Powder Metallurgy*[14]

#### 2.4.2.1.2. *Diffusion Bonding*

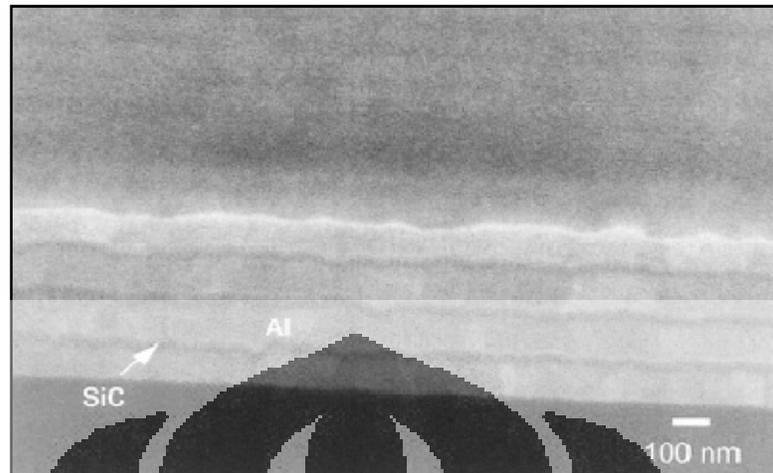
*Mono filament-reinforced* AMCs adalah contoh komposit yang diproduksi dengan cara ini yaitu dengan jalur (foil-fiber-foil) atau dengan evaporasi dari lapisan tipis aluminium pada permukaan *fiber*. 6061 Al-boron *fiber composite* telah diproduksi dengan *diffusion bonding* dengan proses jalur foil-fiber-foil. Namun cara ini umumnya digunakan untuk memproduksi *Ti based fiber reinforced composite*. Proses ini sulit untuk dilakukan karena berisi *fiber* dengan faksi volume yang tinggi dan distribusi dari *homogeneous fiber* nya sangat sulit. Proses ini tidak cocok untuk memproduksi komponen dengan bentuk yang kompleks. Proses *foil-fiber-foil diffusion bonding* dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Prose *Foil-Fiber-Foil Diffusion Bonding*[14]

#### 2.4.2.1.3. *Physical Vapour Deposition*

Proses ini meliputi bagian dari fiber melalui sebuah daerah dengan tekanan yang besar dari logam untuk deposisikan, dimana terjadi kondensasi sehingga produknya menghasilkan lapisan tipis pada *fiber*. *Vapour* diproduksi langsung dengan *high power electron beam* ke dalam sebuah *solid bar feed stock*. Laju pendeposisiannya adalah 5-10 $\mu$ m per menit. Fabrikasi komposit ini biasanya dilakukan pelapisan *fiber* ke dalam sebuah *bundle* atau susunan dan membentuk gabungan di dalam *hot press* atau *HIP operation*. Komposit dengan distribusi *fiber* dengan fraksi volume tinggi hingga 80% bisa diproduksi dengan cara ini[14]. Gambar 2.11 memperlihatkan mikrostruktur dari komposit nanolayer Al/SiC .



Gambar 2.11. Mikrostruktur dari Komposit Nanolayer Al/SiC Hasil Pengamatan SEM[14]

## 2.4.2.2. Liquid State Processes

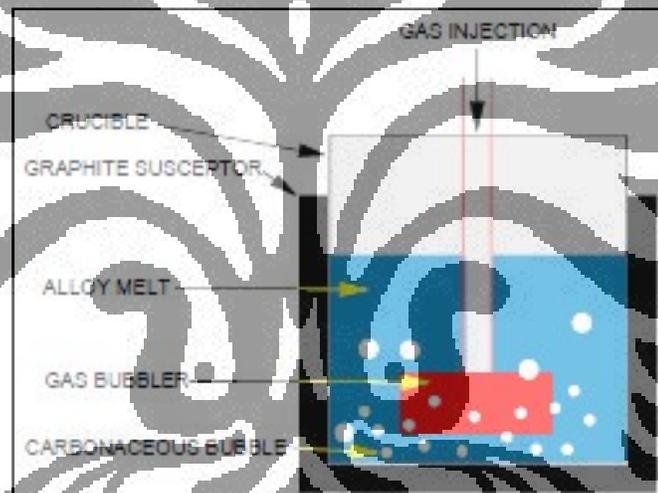
### 2.4.2.2.1. Stir Casting

Metode *stir casting* mampu menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh logam cair. Bahan yang tidak dibasahi tersebut terdistribusi oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel penguat terperangkap dalam logam cair. Metode pembuatan ini merupakan metode yang paling sederhana, relatif lebih murah dan tidak memerlukan tambahan peralatan.

Proses pembuatan komposit dimulai dengan peleburan matriks aluminum dengan memanasakannya pada temperatur lebur. Pengendalian temperatur secara ketat dilakukan untuk menghindari terjadinya *over heating* dan terbentuknya aluminum karbida. Setelah peleburan, *degassing* dilakukan agar pengotor dapat diambil dari leburan aluminum. Proses *Degassing* sangat penting dilakukan dalam peleburan aluminum, karena hidrogen sangat mudah larut dalam aluminum cair khususnya pada temperatur tinggi yang menghasilkan lapisan  $Al_2O_3$ . *Degassing* dapat dilakukan dengan menggunakan *plugging degasser* maupun dengan injeksi gas. Setelah peleburan aluminum, kemudian mencampurkan partikel penguat SiC dalam lelehan. Proses pengadukan dilakukan untuk menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh lelehan logam dan mendapatkan distribusi partikel yang merata.

Dengan penambahan proses pengadukan tersebut maka metode pengecoran tersebut dinamakan *stir casting*, Seperti yang terlihat pada gambar 2.12.

Pada contoh komposit Al-SiC, teknik pencampuran lelehan logam dengan pengadukan merupakan proses produksi yang mudah. Proses pengadukan sangat penting karena berat jenis aluminum ( $2,7 \text{ gr/cm}^3$ ) lebih kecil dibandingkan dengan berat penguat partikel SiC ( $3,2 \text{ gr/cm}^3$ ). Sehingga menyebabkan terjadinya pengendapan partikel dalam lelehan aluminum. Pengadukan dapat dilakukan secara mekanik, metode elektromagnet atau dengan injeksi gas. Masalah lain pada pengecoran komposit adalah terjadinya aglomerasi atau pengelompokan partikel dan penolakan partikel penguat oleh lelehan logam karena *wettability* aluminum terhadap partikel keramik SiC yang kurang baik[23].

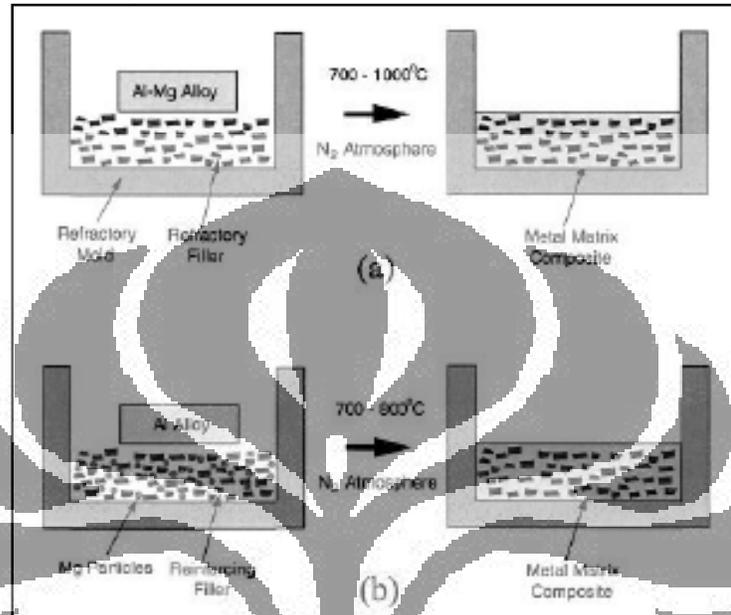


Gambar 2.12. Metode *Stir Casting* Dalam Proses Pembuatan Material Komposit[24]

#### 2.4.2.2.2. Infiltration

Paduan aluminum cair diinjeksikan ke dalam celah dari *porous pre-form* dari *continuous fiber/short fiber* atau *whisker* atau partikel untuk memproduksi AMCs. Komposit ini bergantung pada sifat alami dari penguat dan fraksi volume *preform* yang bisa diinjeksikan, dengan atau tanpa kondisi vakum. AMCs ini memiliki penguat dengan rentang fraksi volume dari 10-70% yang bisa diproduksi dengan teknik ini. Untuk mempertahankan integritas dan bentuk *preform*, perlu digunakan silica dan aluminum based dicampurkan sebagai pengikat atau *binder*. Poros yang

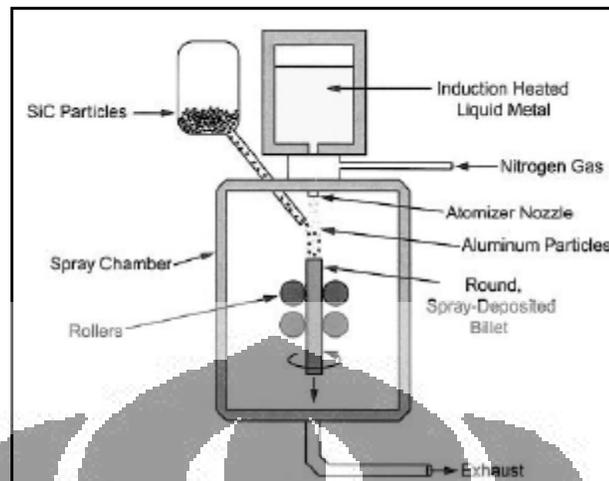
terjadi harus benar-benar diperhatikan dalam proses ini. Proses ini banyak digunakan untuk memproduksi AMCs dengan penguat *particle/whisker/short fiber/continuous fiber*[6].



Gambar 2.13. Komposit Bermatrik Logam yang Dibuat Melalui Proses *Pressureless Infiltration*[14]

#### 2.4.2.2.3. *Spray Deposition*

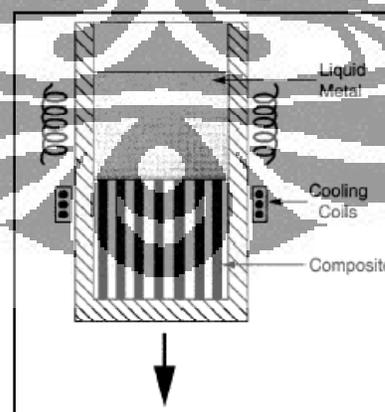
Proses ini dibagi menjadi dua kelas yang berbeda, yaitu tergantung bagaimana *droplet stream* diproduksi dari *molten bath* (*Osprey process*) atau dengan *continuous feeding* dari *cold metal* ke dalam sebuah *zona rapid heat injection* (*thermal spray process*). Proses ini telah dikembangkan untuk memproduksi AMCs dengan injeksi *ceramic particle/whisker/short fiber* ke dalam *spray*. Porositas pada saat penyemprotan biasanya sekitar 5-10%. Proses ini relatif murah dengan biaya diantara biaya proses *stir casting* dan *powder metallurgy* (PM)[14].



Gambar 2.14. *Spray Co-Deposition* dari Partikel SiC dan Logam Cair Al Untuk Membentuk Komposit Dengan Penguat Partikel[14]

#### 2.4.2.2.4. *In-Situ (Reactive Processing)*

Ada banyak perbedaan proses yang termasuk kedalam katagori ini yaitu termasuk liquid-gas, liquid-solid, liquid-liquid dan bermacam reaksi garam. Salah satu proses yang dikenal adalah prose DIMOX. Pada proses ini alloy Al-Mg ditempatkan pada bagian atas ceramic perform di dalam sebuah crucible. Lalu dipanaskan dengan dengan mensituasikan temperature ruangan crucible free nitrogen. Setelah Al-Mg alloy meleleh maka akan terjadi infiltrasi logam cair ke dalam perform dan komposit terbentuk [14].

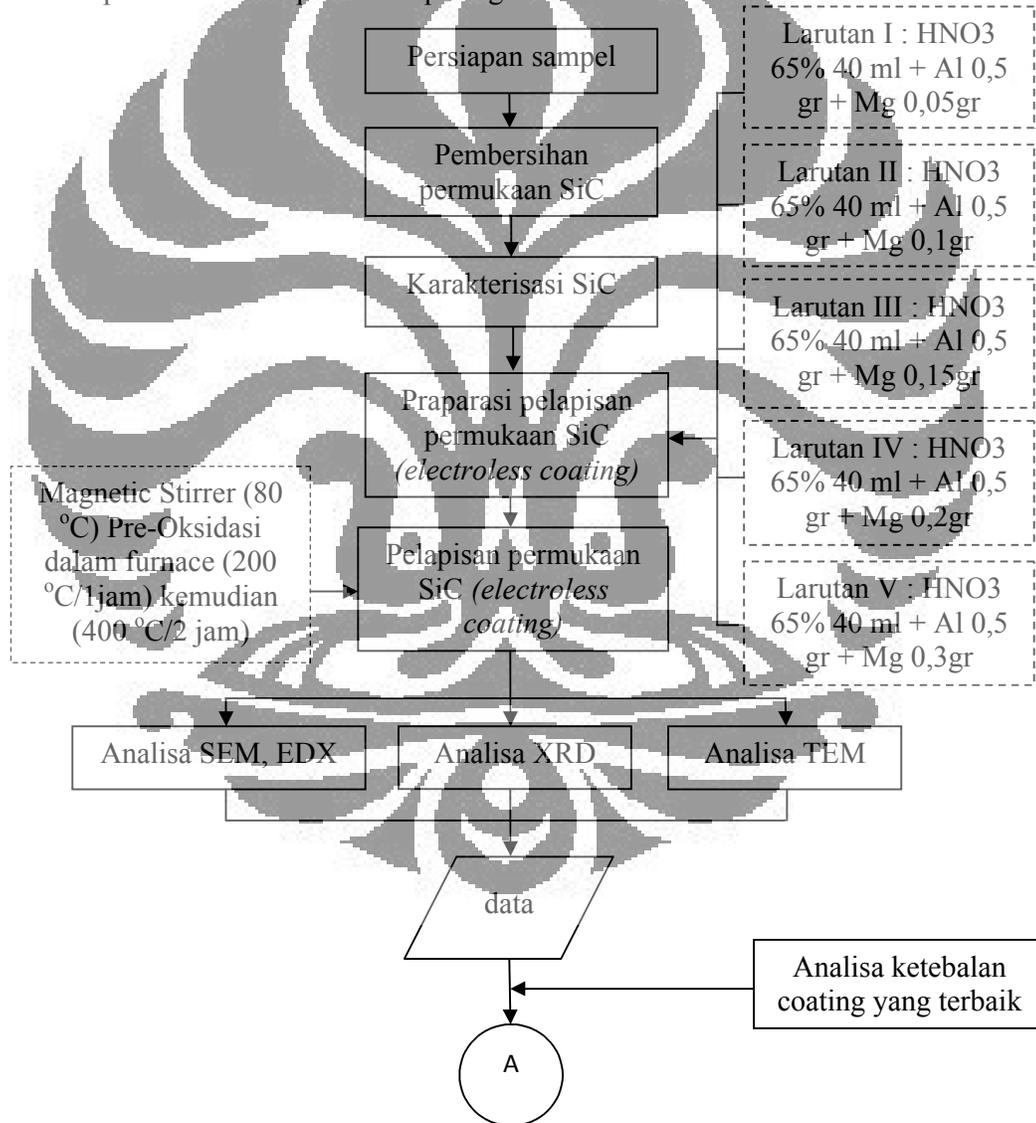


Gambar 2.15. Skematis dari Proses Directional Solidification Untuk Memperoleh Komposit *In-Situ*[14].

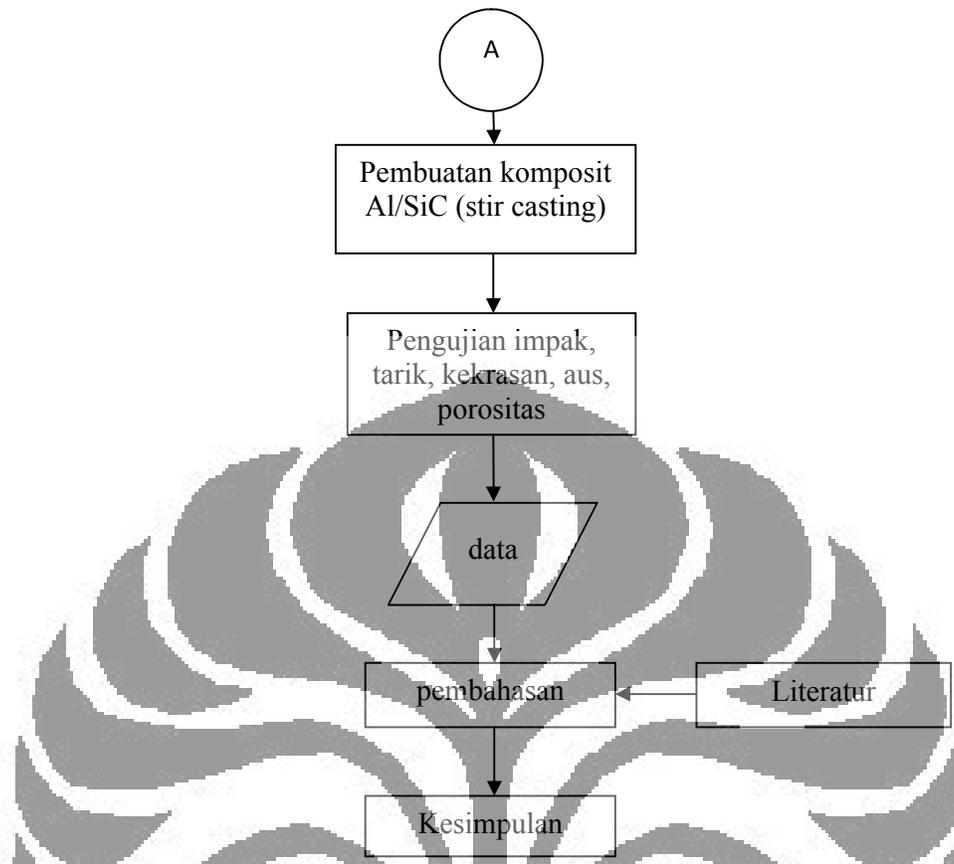
### BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat material Aluminum komposit dengan penguat SiC, dimana partikel SiC yang telah dilakukan perlakuan *electroless coating* dengan oksida logam Mg dan Al. variabel yang digunakan adalah %berat dari Mg yaitu 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 dan 0.3 gram. Maka secara umum diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

### 3.2. Peralatan dan Bahan

Seperti yang telah disebutkan diatas, peralatan yang digunakan dibagi atas tiga bagian, yaitu peralatan untuk proses electroless coating pada permukaan SiC, pembuatan komposit Al yang dilakukan di PT X, dan karakteristik hasil electroless coating serta komposit Al/SiC yang dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia dan BATAN Serpong.

#### 3.2.1. Peralatan

a. Alat yang digunakan pada proses electroless coating:

- *Magnetic stirrer* untuk pencampuran partikel SiC
- *Stirrer Bar* 4 cm sebagai pengaduk pada *magnetic stirrer*
- Tabung erlenmeyer 1 liter untuk mengukur larutan  $\text{HNO}_3$
- Beaker glass 500 ml sebagai tempat pembersihan SiC dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*.
- Spatula sebagai alat pengasuk

- *Crucible* sebagai tempat oksidasi SiC pada dapur panas
- Timbangan analitik untuk penimbangan massa bahan
- *Ultrasonic cleaner* sebagai alat untuk membersihkan partikel SiC
- *Naberterm furnace* sebagai tempat oksidasi

b. Alat yang digunakan pada proses pembuatan komposit

- Tungku peleburan
- Ladle kapasitas 5 kg
- Mesin bor yang dimodifikasi menjadi mesin pengaduk
- Impeller
- Gas argon
- Pipa SS 304L dengan diameter  $\frac{1}{4}$  in untuk saluran gas argon.
- Batang SS304L sebagai batang pengaduk
- Cetakan logam sampel uji tarik
- Masker dan sarung tangan
- Palu dan obeng untuk membuka cetakan

c. Alat yang digunakan untuk karakteristik serbuk SiC dan komposit Al/SiC

- Alat XRD
- SEM dan EDX
- HRSEM dan TEM
- Alat uji tarik
- Alat uji kekerasan
- Alat uji keausan
- Mikroskop optic
- Mikroskop ukur
- Kertas amplas grid 80-2500
- Mesin amplas dan poles
- Spidol dan label nama

### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada proses electroless coating dan pembuatan komposit aluminium:

- Serbuk SiC 220 mesh
- Serbuk Al (Merck) dan serbuk Mg (Merck) sebagai sumber ion positif pada proses electroless coating.
- Larutan HNO<sub>3</sub> (65%) sebagai media pelarut pada pelapisan
- Alkohol 70% sebagai larutan pembersih pada SiC dengan menggunakan *ultrasonic cleaner*.
- Aluminum cair AC8H.
- Batangan Mg sebagai bahan untuk menurunkan tegangan permukaan pada aluminum cair.
- Serbuk coating untuk melapisi ladle, impeller dan pengaduk

### 3.3. Proses *Electroless Coating* SiC

#### 3.3.1. Pembersihan Partikel SiC

Pembersihan SiC dilakukan dengan menggunakan alat *ultrasonic cleaner*. Tahapan prosesnya yaitu dengan mencampurkan SiC dan cairan alkohol konsentrasi 75% ke dalam *beaker glass* 500 ml, selanjutnya mengatur lamanya pembersihan selama 15 menit. Proses pembersihan tersebut dilakukan secara berulang hingga SiC benar-benar bersih dan larutan alkohol sudah tidak terlalu keruh. Setelah pembersihan SiC dilakukan, serbuk SiC dikeringkan pada furnace dengan temperature 100°C selama 1 jam



Gambar 3.3. *Ultrasonic Cleaner*

#### 3.3.2. Pembuatan Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan HNO<sub>3</sub> dengan konsentarsi 65% dan dibuat lima larutan dengan kandungan konsentrasi Mg yang berbeda. tahapan proses pembuatannya adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan larutan HNO<sub>3</sub> pada tabung erlenmeyer sebanyak 40 ml, dan diletakkan pada alat *magnetic stirrer*.
- b. Menimbang serbuk Al pada timbangan digital (0.5 gr) atau 0.018 mol dan kemudian dicampurkan kedalam larutan HNO<sub>3</sub>. Sambil diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* dengan temperatur 70-80°C.
- c. Menimbang serbuk Mg (0.05 gr) atau 0.002 mol untuk larutan pertama, Mg (0.1 gr) atau 0.004 mol untuk larutan kedua, Mg (0.15 gr) atau 0.006 mol untuk larutan ketiga, Mg (0.2 gr) atau 0.008 mol untuk larutan keempat, Mg (0.3 gr) atau 0.012 mol untuk larutan kelima.
- d. Mencampurkan serbuk Mg kedalam larutan HNO<sub>3</sub> untuk pembuatan larutan pertama hingga larutan menjadi bening.



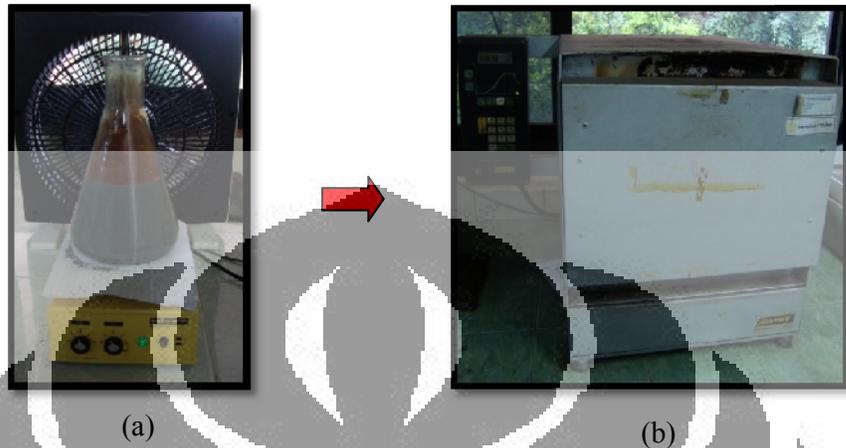
Gambar 3.4. Larutan Elektrolit yang Mengandung Ion Al dan Mg

### 3.3.3. Proses Pelapisan Partikel SiC

Proses pelapisan SiC dilakukan didalam larutan elektrolit yang mengandung ion Al dan Mg, tahapan prosesnya yaitu sebagai berikut:

- a. Menimbang SiC yang akan di-*coating* seberat 16 gr.
- b. Mencampurkan SiC kesetiap larutan elektrolit yang mengandung ion Mg yang berbeda-beda.
- c. Dilakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperature 70-80°C hingga larutan agak mengering.
- d. Serbuk SiC yang sudah terlapisi oleh ion Mg dan Al disaring, dan dimasukkan ke dalam *crucible*.

- e. Melakukan proses oksidasi di dalam furnace 200°C selama 1 jam kemudian 400°C selama 2 jam agar terbentuk fasa *spinel* pada permukaan SiC.



Gambar 3.5. Proses *Electroless Coating* pada SiC. (a) Serbuk SiC di Dalam Larutan Elektrolit. (b) *Furnace* yang digunakan untuk proses oksidasi

### 3.4. Pembuatan Komposit Al/SiC

Dalam pembuatan komposit Al/SiC dilakukan melalui tahap pengecoran, dimana komposit Al/SiC dicetak ke dalam cetakan uji tarik dengan dengan kebutuhan total komposit seberat 1.8 kg. Fraksi volume dari SiC yang ingin ditambahkan ke dalam komposit adalah sebesar 15%. SiC yang dibutuhkan ditentukan melalui rumus berikut:

$$V_f = \frac{M_f / \rho_f}{(M_m / \rho_m) + (M_f / \rho_f)} \quad (3.1)$$

Dimana:

- $V_f$  : Fraksi volume penguat (%)
- $V_m$  : Fraksi volume matriks (%)
- $M_f$  : Massa penguat (gr)
- $M_m$  : Massa matriks (gr)
- $\rho_f$  : Berat jenis penguat ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )
- $\rho_m$  : Berat jenis matriks ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

**Tabel 3.4.1.** Penggunaan Bahan Pengecoran

Vm (%)	Massa Al (gr)	Vf (%)	Massa SiC (gr)
85	1800	15	376

Proses pengocoran komposit ini dilakukan di PT.X dengan menggunakan aluminum AC8H yang telah dilebur didalam *holding furnace* kapasitas 200 kg dengan temperature  $725\pm 20^{\circ}\text{C}$ . Komposisi dari aluminum AC8H adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.4.2.** Komposisi Kimia AC8H *as-recieved*

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

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

- Menimbang SiC yang telah di-*coating* seberat 376 gr.
- Memperisiapkan leburan aluminum cair yang telah dilakukan proses *degassing* dengan menggunakan *Gas Bubble Flootation* (GBF) untuk mengurangi pengotor dan gas hydrogen yang terjebak dalam aluminum cair. Adanya gas hidrogen dalam aluminium cair nantinya akan menyebabkan *gas defect* berupa porositas dalam produk cor. Gas yang digunakan pada mesin GBF berupa gas argon yang bersifat inert.

- c. Memanaskan peralatan cetakan seperti cetakan logam, ladle, impeller, pengaduk.
- d. Pengambilan aluminum cair dengan *ladle* ukuran 2 kg, dan diletakkan di permukaan aluminum cair agar temperatur aluminum yang ada didalam *ladle* tidak cepat turun.
- e. Memasukkan Mg ke dalam *ladle* dengan menggunakan penjempit untuk menurunkan tegangan permukaan aluminum terhadap SiC yang akan dicampurkan. Mg yang diberikan sebanyak 72-80 gr.
- f. Memasukkan serbuk SiC yang ke dalam *ladle* secara sedikit demi sedikit sambil diaduk dengan mesin bor duduk yang telah dimodifikasi menjadi alat pengaduk dengan impeller selama 5 menit. Selama proses pengadukan gas argon selalu dialirkan agar tidak ada pengotor yang terperangkap dan mengurangi hidrogen di dalam logam cair.
- g. Membuang kotoran yang mengapung dipermukaan, selanjutnya menuangkan logam cair ke dalam cetakan logam uji tarik.
- h. Setelah logam cair benar-benar membeku, hasil cetakan dikeluarkan dan dibiarkan hingga dingin.



(a)

(b)



Gambar 3.6. (a) Proses GBF aluminum cair di dalam *holding furnace* (b) Pengadukan Mg di dalam *ladle* (c) Penuangan SiC ke dalam *ladle* (d) Hasil cetakan logam

### 3.5. Karakterisasi Material

#### 3.5.1. Karakterisasi SiC hasil *electroless coating*

##### 3.5.1.1. Pengujian SEM dan EDX

Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati ukuran dan bentuk partikel SiC sebelum dan sesudah coating sehingga bisa dilihat apakah terdapat perbedaan topografi pada permukaan SiC *coating* dan *as-received*. Selanjutnya dilakukan pengujian EDX untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat di permukaan SiC.

Pada pengujian ini serbuk SiC sebelumnya dihaluskan dengan cara ditumbuk dengan menggunakan lumpang dan alu, agar data yang didapatkan baik. Alat SEM dan EDX yang digunakan adalah alat LEO 420i yang ada di Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia.



Gambar 3.7. Alat SEM

### 3.5.1.2. Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi senyawa metal oksida yang terbentuk pada permukaan SiC, dan mendeteksi apakah fasa spinel terbentuk pada SiC hasil *electroless coating* dengan menggunakan X-Ray *diffraction* dengan cakupan sudut difraksi  $2\theta$  antara  $0-100^\circ$ . Interpretasi puncak-puncak dari bidang kristal yang terbentuk disesuaikan dengan *data base crystallography*. Mesin XRD yang digunakan adalah merk *Philips Type PW 1710* di lembaga BATAN serpong.



Gambar 3.8. Alat XRD

### 3.5.1.3. Pengujian TEM

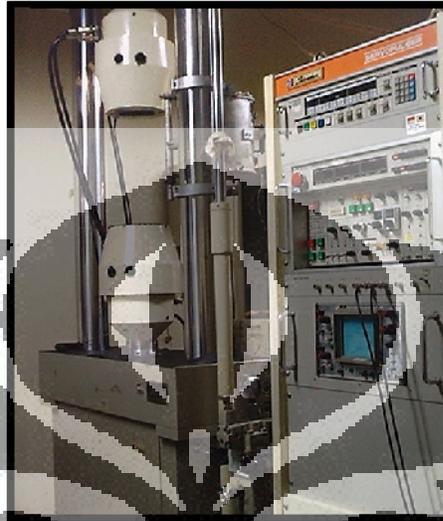
Pengamatan dengan menggunakan TEM dilakukan untuk melihat lebih detail adanya lapisan tipis yang menyelimuti permukaan SiC akibat dari dilakukannya proses *electroless coating*. Dari pengujian ini akan bisa dilihat apakah fasa spinel yang diharapkan terbentuk melapisi permukaan SiC dengan merata atau tidak. Pengujian TEM dilakukan di Yeungnam University, Korea Selatan.

## 3.5.2. Karakterisasi komposit Al/SiC

### 3.5.2.1. Pengujian Kuat Tarik

Uji tarik dilakukan dengan mesin tarik Shimadzu di Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Prinsip dari uji tarik ini yaitu sampel atau benda uji dengan

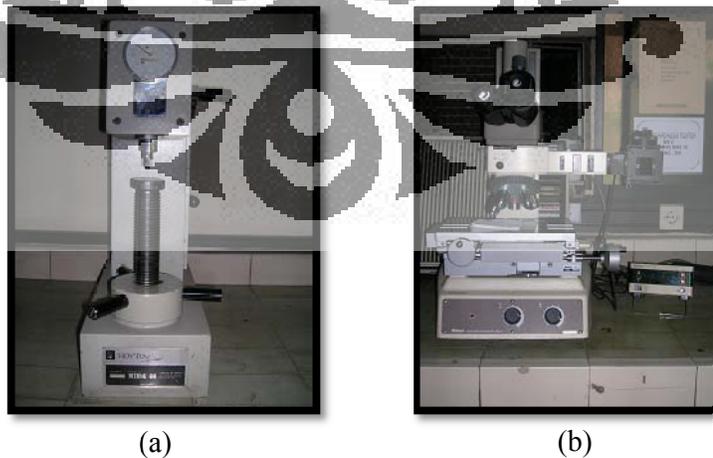
ukuran tertentu ditarik dengan beban kontinyu sambil diukur pertambahan panjangnya. Sampel diberikan beban sebesar 200 kg kemudian ditarik sampai putus. Standar yang digunakan adalah JIS Z2210.



Gambar 3.9. Alat Uji Tarik

### 3.5.2.2. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan yang dilakukan berdasarkan standar ASTM E-10 (*Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*). Pengujian dilakukan dengan memberikan penjejakan pada sampel dengan menggunakan mesin uji kekerasan Hoytom seperti pada Gambar 3.6. Indentor terbuat dari bola baja berdiameter ( $D$ ) = 1,8 mm dan beban ( $P$ ) = 31,25 kg.



Gambar 3.10. Alat pengujian kekerasan (a) mesin uji kekerasan metode Brinell Hoytom (b) *measuring microscope*

Penjejakan dilakukan tiga kali per pengukuran. Selanjutnya, diameter jejak diukur dengan *measuring microscope* dan di konversikan ke dalam harga BHN (*Brinnel Hardness Number*), sesuai persamaan 3.2 :

$$\text{BHN} = \frac{2 \times P}{(\pi \times D) \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (3.2)$$

P = beban (kg)

D = diameter indenter (mm)

d = lebar indentasi (mm)

### 3.5.2.3. Pengujian Aus

Pengujian ketahanan aus dapat dilakukan dengan berbagai macam metode dan teknik, yang semuanya bertujuan untuk mensimulasikan kondisi keausan aktual. Metode pengujian ketahanan aus yang dilakukan pada penelitian ini adalah metode Ogoshi.

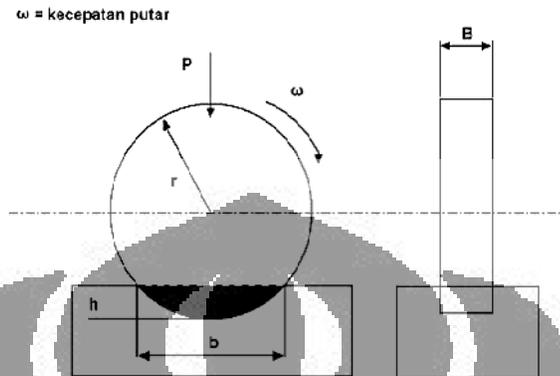
Pada metode ini, benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disc*). Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji.



**Gambar 3.11.** Mesin Ogoshi

Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Semakin besar dan dalam jejak

keausan maka semakin tinggi volume material yang terkelupas dari benda uji. Ilustrasi skematis dari kontak permukaan antara *revolving disc* dan benda uji diberikan oleh gambar.....



Gambar 3.12. Skema Pengujian Ketahanan Aus dengan Metode Ogoshi

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

$$W = \frac{B \cdot b^3}{12r} \quad (3.3)$$

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

$$V = \frac{W}{x} = \frac{B \cdot b^3}{12r \cdot x} \quad (3.4)$$

#### 3.5.2.4. Pengujian Metalografi

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. *Mounting* sampel
- c. Pengamplasan, dengan menggunakan amplas mulai dari grit #80, #120, #240, #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500 sampai permukaan rata dan orientasinya searah.

- d. Poles, dengan menggunakan kain beludru dan larutan alumina
- e. Etsa dengan menggunakan larutan HF 0,5%

kemudian dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop optik untuk mengamati persebaran penguat yang diberikan.



**Gambar 3.13.** Peralatan Pengujian Metalografi, (a) Mesin Amplas, (b) Mesin Poles, (c) Mikroskop Optik

#### 3.5.2.5. Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM 378-88. Tahapan pengujian densitas dan porositas adalah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan sampel yang akan diuji
- b. Menyiapkan timbangan digital, *beaker glass* 1000 ml, benang dan *aquadest*
- c. Menimbang berat kering sampel dengan terlebih dahulu dilakukan pemanasan pada temperature 150°C selama 45 menit untuk menghilangkan uap air
- d. Mencatat berat kering sampel
- e. Menimbang berat air yang sudah terisi di dalam *beaker glass* 1000 ml untuk mencari nilai densitas air yang akan digunakan untuk pengujian
- f. Menimbang berat sampel dalam air, dengan cara memasukkan sampel yang digantung dengan benang ke dalam air sampai seluruh permukaan tercelup di dalam air
- g. Mencatat berat sampel dalam air kemudian menghitung berat sampel dengan rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{W}{D} \quad (3.5)$$

Dimana,

V = volume sampel ( $\text{cm}^3$ )

W = berat sampel dalam air (gram)

D = densitas air ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

h. Menghitung densitas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus:

$$D_B = \frac{W_D}{V} \quad (3.6)$$

Dimana,

$D_B$  = densitas sampel ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

$W_D$  = berat sampel dalam air (gram)

V = volume sampel ( $\text{cm}^3$ )

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

$$\% \text{Porositas} = \frac{D_{\text{teoritis}} - D_{\text{percobaan}}}{D_{\text{teoritis}}} \times 100\% \quad (3.7)$$

Dimana,

$D_{\text{teoritis}}$  = Densitas teoritis ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

$D_{\text{percobaan}}$  = Densitas percobaan ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

j. Perhitungan nilai densitas teoritis dari sampel percobaan dengan menggunakan rumus berikut :

$$D_{\text{komposit}} = (Vf_{\text{aluminium}} \cdot D_{\text{aluminium}}) + (Vf_{\text{SiC}} \cdot D_{\text{SiC}}) \quad (3.8)$$

Dimana,

$D_{\text{komposit}}$  = Densitas komposit ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

$D_{\text{aluminium}}$  = Densitas aluminium ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

$D_{\text{SiC}}$  = Densitas SiC ( $\text{gram}/\text{cm}^3$ )

$Vf_{\text{aluminium}}$  = Volume fraksi aluminium (%)

$Vf_{\text{SiC}}$  = Volume fraksi SiC (%)

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

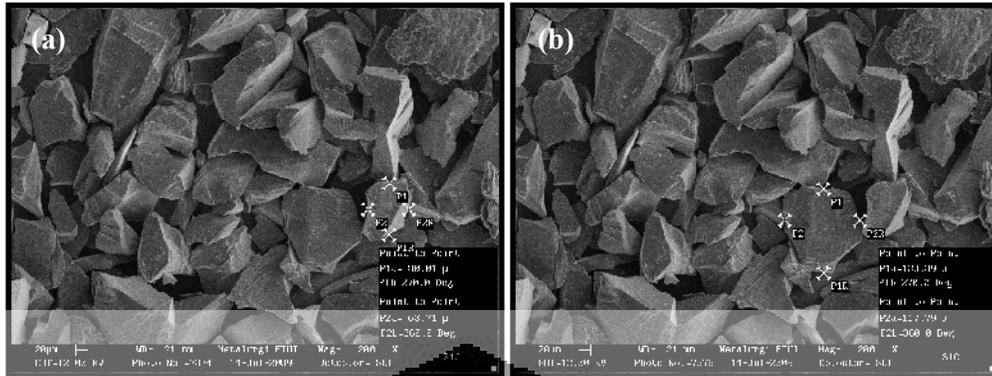
#### 4.1. Karakterisasi Serbuk SiC

##### 4.1.1. Serbuk SiC Sebelum Proses *Electroless Coating* (*as-recieved*)

Bentuk dan ukuran serbuk SiC *as-recieved* dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) yang dilengkapi dengan analisa EDX. Dengan menggunakan SEM dan EDX akan diketahui bentuk, ukuran, distribusi, morfologi, dan unsur-unsur pada permukaan serbuk SiC yang digunakan. Dari hasil ini didapat bentuk ukuran SiC yang tidak beraturan seperti terlihat pada Gambar 4.1. Sedangkan untuk ukuran partikel SiC memiliki rentang ukuran tertentu. Dari pengujian SEM ini rentang ukuran partikel SiC didapat dengan mengukur panjang diagonalnya, dari hasil rata-rata ukuran partikel SiC didapat ukuran antara 63.7– 130.39 $\mu\text{m}$ , seperti terlihat pada gambar 4.2. Dari hasil tersebut diketahui partikel SiC termasuk di dalam katagori serbuk kasar dengan ukuran < 140 $\mu\text{m}$ .

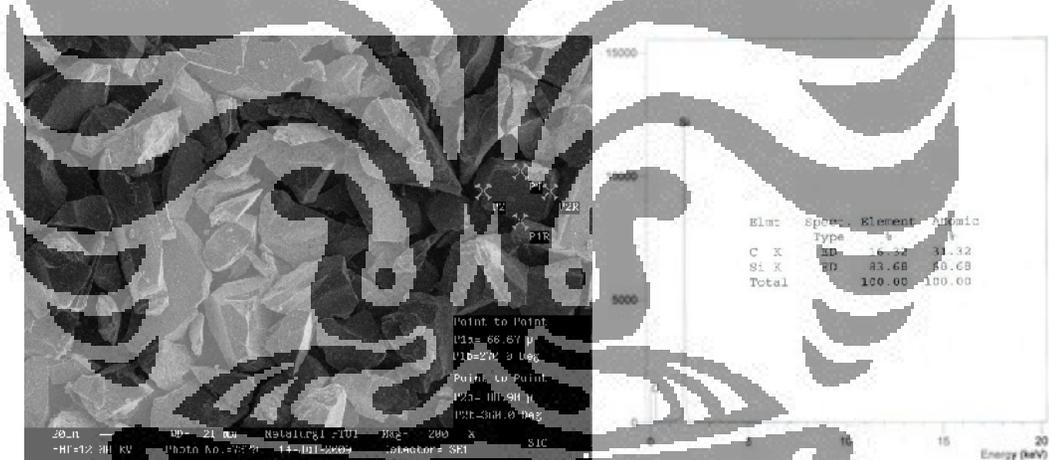


**Gambar 4.1.** Morfologi Serbuk SiC *As-received* Dengan Perbesaran 50x



**Gambar 4.2.** Gambaran Hasil Scanning Electron Microscope Untuk Serbuk SiC 220 Mesh. (a) Ukuran Serbuk 63.71 – 80.01  $\mu\text{m}$  (b) Ukuran Serbuk 117.39 – 130.39  $\mu\text{m}$

Hasil pengujian EDX ditunjukkan pada Gambar 4.3. Pada gambar tersebut memperlihatkan bahwa serbuk atau partikel SiC adalah serbuk murni atau memiliki kemurnian tinggi karena tidak terdeteksi unsur pengotor lain. Pada gambar tersebut puncak energi yang ada hanyalah puncak energi unsur Si dan C.

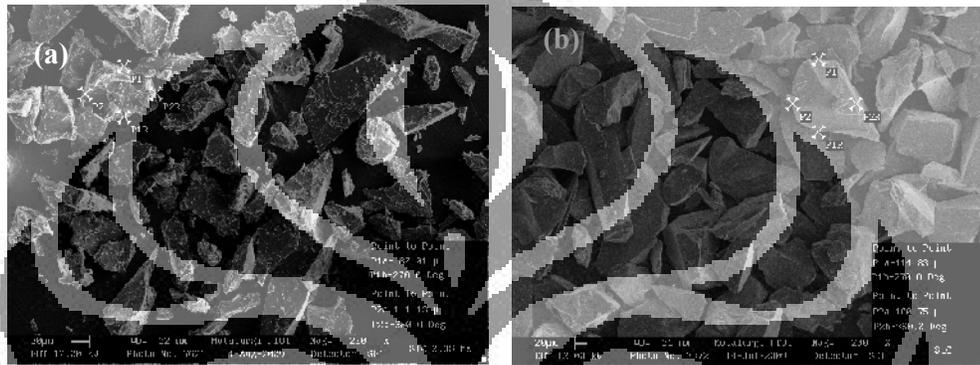


**Gambar 4.3.** Mikrograf dan Spektrum EDS Serbuk SiC

#### 4.1.2. Serbuk SiC Setelah Proses *Electroless Coating*

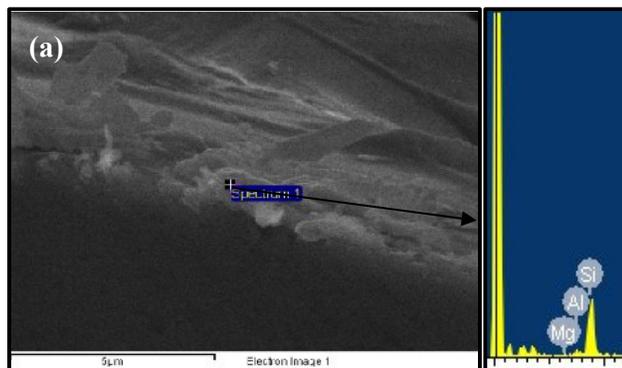
Serbuk SiC yang telah dilakukan proses pendeposisian partikel oksida logam (Mg dan Al) dengan cara *electroless coating* dapat merubah bentuk permukaan SiC secara signifikan. Diharapkan dari *coating* ini adalah adanya logam Mg dan Al yang akan melapisi atau menempel pada permukaan partikel SiC.

Dari hasil pengamatan menggunakan SEM pada SiC *coating* dengan persentase Mg 0.05 gr, terdapat perbedaan bentuk topografi pada permukaan SiC yang dilakukan proses *coating* dengan SiC *as-received*, seperti yang terlihat pada Gambar 4.4. Pada SiC *coating* terlihat permukaan banyak terdeposisi oleh partikel-partikel kecil yang terdispersi secara merata ke seluruh permukaan SiC. Selanjutnya partikel yang tersebar pada permukaan SiC tersebut akan dipastikan dengan menggunakan pengujian EDX.

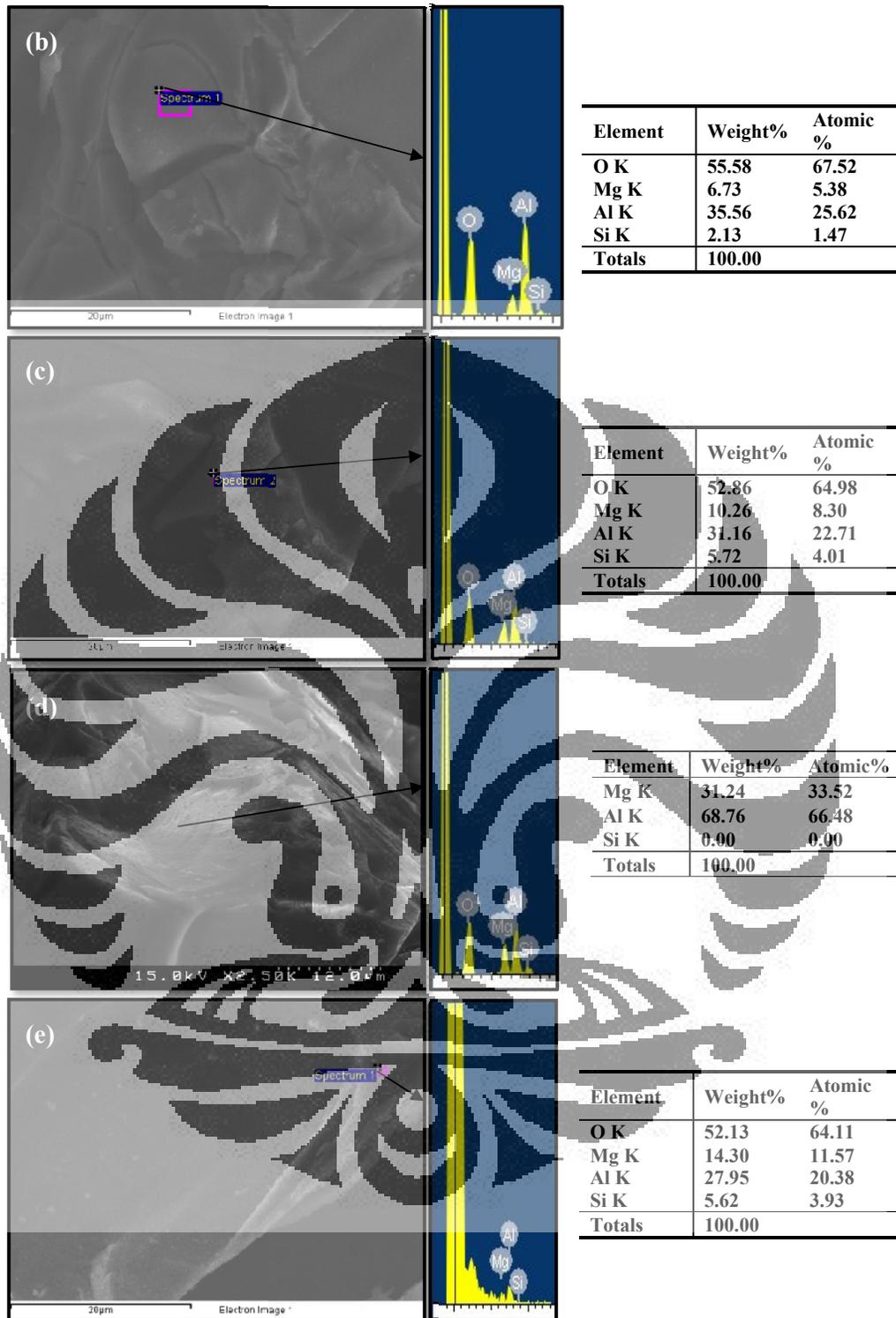


**Gambar 4.4.** Perbandingan Bentuk Permukaan Antara SiC Setelah Proses *Electroless Coating* Dengan SiC *As-Received*. (a) SiC dengan Pelapis 0.05gr Mg dengan Ukuran 80.1-111.13µm. (b) SiC *As-received* dengan ukuran 100.75-114.83µm

Merujuk dari hasil SEM, terdapat partikel-partikel yang menempel pada permukaan SiC, sehingga perlu dilakukan pengamatan dengan menggunakan EDX untuk mendapatkan analisa unsur yang terdapat pada permukaan SiC (*spot analysis*) seperti yang terlihat pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa puncak elemen Mg, Al, dan oksigen sebagai elemen pengotor pada permukaan partikel SiC. Persentase elemen Mg dan Al pada setiap variabel beragam, sehingga perlu diketahui senyawa apa saja yang terbentuk pada permukaan tersebut. Dari hasil pengujian EDX ini menandakan bahwa Mg dan Al tersebar merata di permukaan SiC.



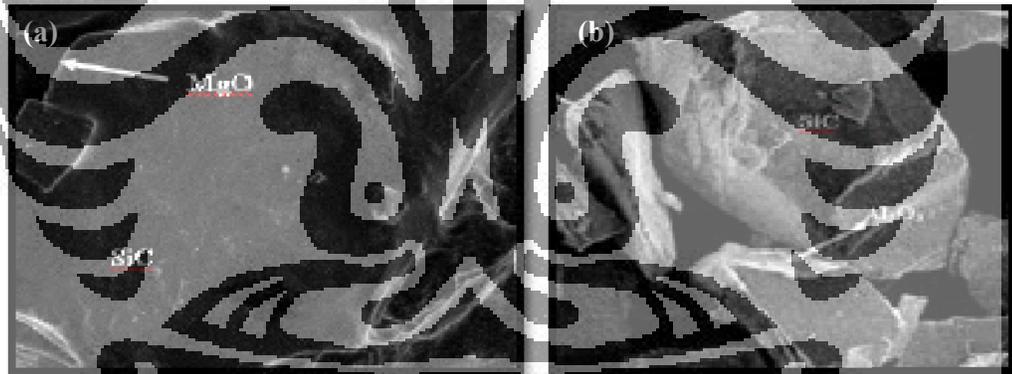
Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	0.00	0.00
Si K	100.00	100.00
<b>Totals</b>	<b>100.00</b>	



**Gambar 4.5.** Mikrostruktur Permukaan SiC dan Perbandingan Komposisi Unsur yang Telah Terlapisi Oksida Logam Dengan Perbesaran Tinggi Menggunakan EDX. (a) SiC 0.05 gr Mg, (b) SiC 0.01 gr Mg, (c) SiC 0.15 gr Mg, (d) SiC 0.2 gr Mg, (e) SiC 0.3 gr Mg

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa puncak oksigen pada gambar 4.4(b), (c), dan (e) mengandung persen berat atom yang tinggi yaitu 55.58%, 52.86%, dan 52,13%, hal ini mengindikasikan bahwa pada permukaan SiC cenderung terbentuk senyawa oksida.

Seperti yang telah disampaikan oleh M. Zainuri[11] yang membahas pengaruh pelapisan SiC dengan logam Cu, Mg, dan Al, bahwa logam tersebut dapat mempromosi terbentuknya metal oksida seperti  $MgAl_2O_4$  dan  $MgO$ , ataupun  $SiO_2$ . Dari penelitian M. Zainuri didapat bahwa SiC yang menggunakan Al sebagai pelapis akan menghasilkan lapisan  $Al_2O_3$  dan beberapa fasa yaitu aluminum karbida ( $Al_2C_3$ ), dan  $SiO_2$ . Fasa-fasa ini bersifat konstruktif dan dapat meningkatkan kemampubasahan antara penguat SiC di dalam komposit bermatrik aluminum. Begitu juga dengan SiC yang menggunakan pelapis Mg, pada permukaan SiC akan terbentuk fasa oksida magnesium ( $MgO$ ), seperti yang terlihat pada gambar 4.6 dan fasa intermetalik  $MgSi$  yang tidak stabil dalam lingkungan oksida.

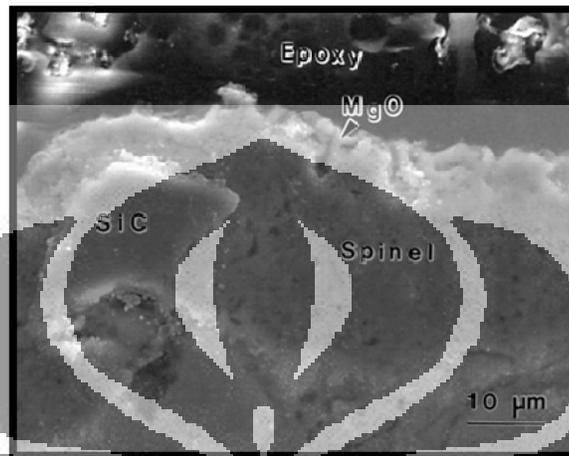


Gambar 4.6. Mikrostruktur permukaan SiC. (a) dengan pelapis Mg (b) dengan pelapis Al [11]

Gambar 4.5(c) dan (e) menunjukkan bahwa pesen elemen Mg lebih tinggi dibandingkan dengan gambar 4.4(b), hal ini belum bisa menyebutkan bahwa pelapis yang baik yaitu pada persentase Mg tersebut. Harus dilakukan pengujian menggunakan XRD, Sehingga dari pengujian ini fasa-fasa yang terbentuk di permukaan SiC bisa diketahui

M. Guermazi dan R. A. L. Drew[25] menyampikan bahwa oksidasi yang terjadi pada permukaan SiC dengan menggunakan waktu inkubasi selama 2 menit dengan temperatur  $1150^{\circ}C$  tidak memperlihatkan adanya fasa  $MgAl_2O_4$  atau

MgO, ini menunjukkan bahwa ketebalan fasa  $MgAl_2O_4$  sangat tipis (sekitar 1-5 $\mu m$ ). Selanjutnya dengan masa inkubasi selama 5 menit, lapisan SiC terselubung oleh fasa  $MgAl_2O_4$ , seperti yang terlihat pada gambar 4.7, dan kemudian fasa MgO bernukleasi di bagian luar lapisan  $MgAl_2O_4$ , seperti yang terlihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.7.** Layer  $MgAl_2O_4$  Pada Permukaan partikel SiC dengan waktu Inkubasi 5 Menit [25]

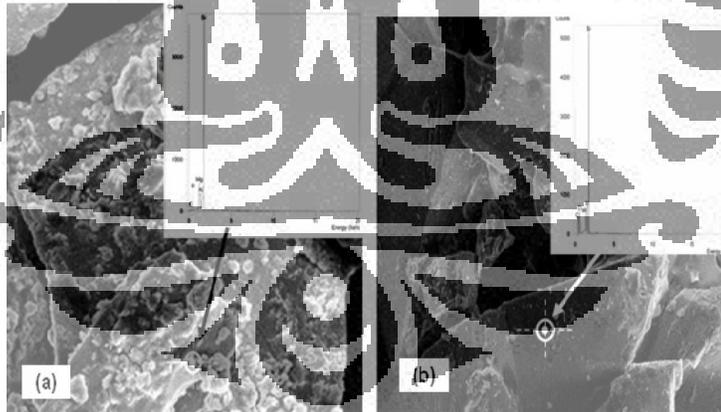


**Gambar 4.8.** Nukleasi MgO di Permukaan SiC Menyelimuti Fasa  $MgAl_2O_4$  [25]

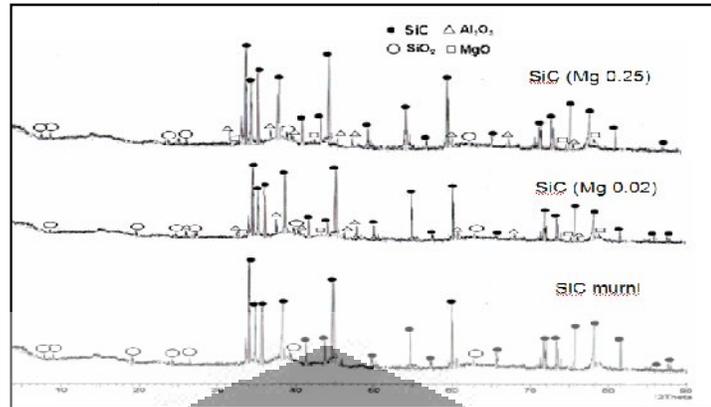
Kualitas lapisan oksida logam yang terdapat di permukaan SiC dapat meningkatkan kemampubasahan dari SiC dengan aluminum pada pembuatan material komposit Al/SiC, namun kualitasnya tidak dapat dilihat dari dimensi lapisan saja, namun dari fasa-fasa yang terbentuk yang mampu meningkatkan kemampubasahan serta maksimalnya fasa tersebut.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dari hasil konfirmasi pengujian EDX, bahwa terdapat perubahan pada struktur permukaan SiC dan tingginya persen atomik Mg, Al, dan oksigen pada permukaan SiC, maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan XRD. Dari pengamatan XRD dapat dianalisa senyawa apa saja yang terbentuk di permukaan partikel SiC serta baik atau tidaknya lapisan tersebut dapat ditinjau dari tingginya intensitas fasa tersebut

Pada penelitian sebelumnya M. Zainuri[11], menerangkan bahwa kehomogenan lapisan *coating* tergantung pada konsentrasi Mg. Pada penelitiannya, Zainuri menggunakan Mg dengan persentase 0.02 dan 0.25 gr, dan didapat hasil bahwa pada konsentrasi Mg 0.02 gr lebih merata lapisan oksida metal yang terjadi dibandingkan konsentrasi Mg 0.25 pada permukaan partikel SiC, seperti yang terlihat pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa lapisan tebal pada Mg 0.25 yang tebal namun tidak merata, sedangkan untuk Mg 0.02 terlihat lapisan yang tidak terlalu tebal. Perbandingan fasa yang terbentuk dari pelapis Mg 0.02 gr dan Mg 0.25 dapat dilihat pada gambar 4.10 yang memperlihatkan bahwa fasa yang terbentuk pada permukaan partikel SiC adalah  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan MgO pada semua konsentrasi Mg dan yang optimum didapat pada konsentrasi Mg dengan 0.02 gr.

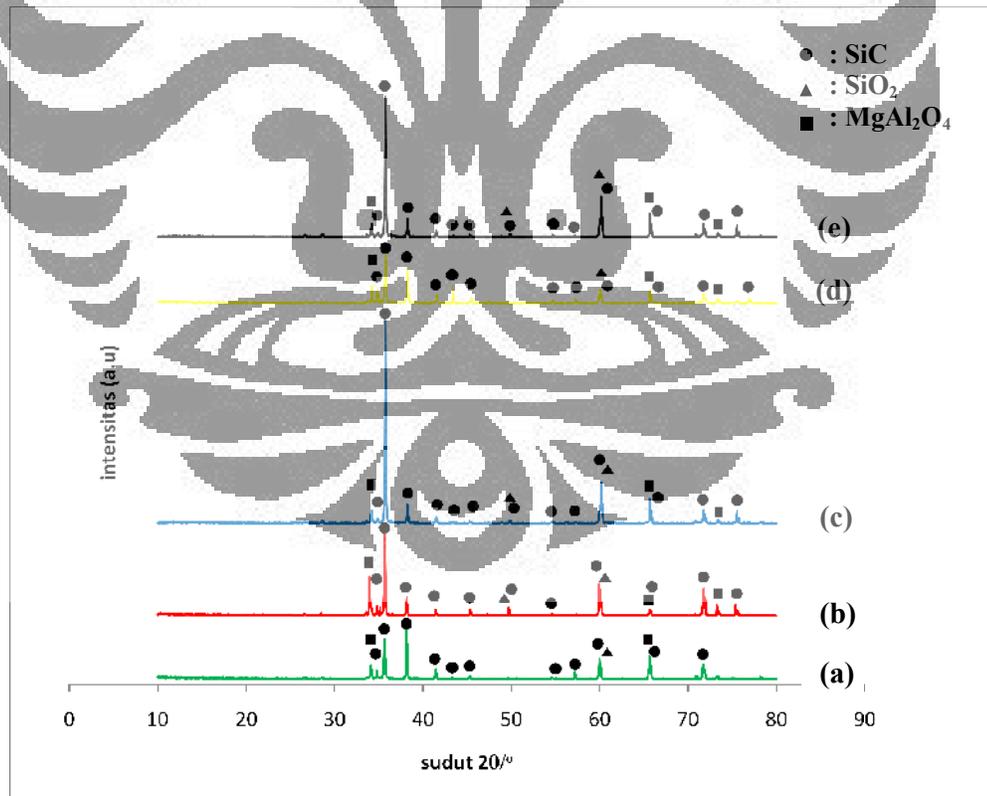


**Gambar 4.9.** Pengamatan Kandungan Elemen dengan EDS Pada Permukaan Partikel SiC yang Terlapis AlMg Oksida dengan Konsentrasi (a) Mg (0,25 gr) (b) Mg (0,02 gr) [11]



**Gambar 4.10.** Analisa Metal-Oksida yang Terbentuk Pada Permukaan Partikel SiC Dalam Tiga Kondisi Yaitu (SiC) Tanpa Pelapis dan Dua Keadaan yang Terlapisi dengan konsentrasi Mg yang berbeda [11]

Penelitian Zainuri ini belum diketahui berapa konsentrasi optimum dari Mg di dalam melapisi partikel SiC. Gambar 4.11 di bawah memperlihatkan hasil dari pengujian XRD pada partikel SiC yang dilapisi dengan persen Mg yang berbeda-beda, yaitu 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, dan 0.3 gr.



**Gambar 4.11.** Perbandingan Hasil Pengujian XRD dari Hasil SiC Coating. (a) Pelapis dengan 0.05gr Mg, (b) Pelapis dengan 0.1gr Mg, (c) Pelapis dengan 0.15gr Mg, (d) Pelapis dengan 0.2gr Mg, (e) Pelapis dengan 0.3gr Mg

Berdasarkan analisa XRD pada partikel SiC yang telah dilapisi oleh ion Mg dan Al (Gambar 4.11), teidentifikasi bahwa senyawa yang terbentuk adalah  $MgAl_2O_4$  dan  $SiO_2$ , hal ini mendukung dari hasil EDX bahwa tingginya persentase Mg dan O bisa mempromosi terbentuknya senyawa  $MgAl_2O_4$  dan  $SiO_2$ . Pada sampel SiC dengan 0.1gr Mg menunjukkan fasa  $MgAl_2O_4$  dan  $SiO_2$  lebih stabil dengan intensitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan komposisi yang lain. Intensitas fasa  $MgAl_2O_4$  tertinggi pada sampel ini terdeteksi pada sudut  $2\theta$ : adalah 34.82, sedangkan fasa  $SiO_2$  terdeteksi pada 59.94.

Hal ini sudah sejalan dengan hipotesa awal, bahwa akan terbentuk suatu lapisan Spinel  $MgAl_2O_4$  pada permukaan SiC. Fasa spinel terbentuk secara simultan di permukaan SiC, namun tingkat intensitas dari fasa  $MgAl_2O_4$  yang terbentuk akan menentukan baik atau tidaknya permukaan SiC berikatan dengan matriknya.

Untuk mengetahui bentuk morfologi lapisan metal oksida yang terbentuk di permukaan partikel SiC serta mengukur tebal dari lapisan tersebut, maka perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan Transmission Electron Microscope (TEM). Pengujian dilakukan pada partikel SiC dengan kadar Mg optimum, yaitu SiC dengan pelapis Mg 0.1 gr. Hasil pengujian TEM ini ditunjukkan pada Gambar 4.12.



**Gambar 4.12.** Hasil Analisa TEM Pada SiC dengan pelapis 0.1 gr Mg

Sebagai gambaran dari hasil TEM tersebut, terdapat lapisan pada permukaan SiC dengan ketebalan yang tipis yang menyelimuti permukaan SiC dengan ketebalan sebesar 27.3-123 nm. Lapisan tersebut telah dikonfirmasi sebelumnya dengan pengujian XRD yang menunjukkan terbentuknya lapisan SiO<sub>2</sub>, dan MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.

#### 4.2. Pengaruh Penambahan 15% Fraksi Volume SiC di Dalam Komposit Al/SiC

SiC yang dilapisi dengan 0.1gr Mg merupakan pelapis yang optimum, oleh karena itu dilakukan proses pembuatan komposit Al/SiC dengan penambahan 15% fraksi volume melalui metode *stir casting*. Setelah material komposit diperoleh, maka dilakukan perbandingan sifat mekanis dari komposit aluminium dan material *un-reinforced* (AC8H).

Xu Xiang-yang [26] menjelaskan bahwa sifat mekanik yang didapat di berbagai material komposit aluminium dengan menggunakan partikel sebagai penguat bisa meningkatkan kekuatan dan kekerasan dari paduan aluminium, namun sejalan dengan hadirnya partikel sebagai penguat ternyata dapat menurunkan keuletan dari komposit aluminium.

Selanjutnya dapat dilihat bagaimana perbedaan yang diperoleh setelah paduan aluminium AC8H dicampur dengan penguat partikel, yaitu bisa dilihat dari kuat tarik, perbedaan kekerasan, laju aus, porositas, maupun struktur mikro.

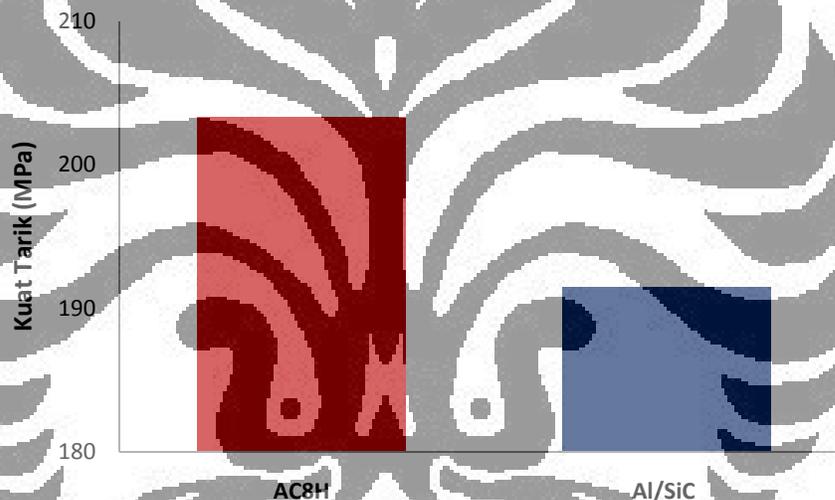
##### 4.2.1. Pengaruh Terhadap Kuat Tarik

Hasil pengujian Tarik dari komposit Al/SiC dapat dilihat pada gambar 4.13. Berdasarkan data yang diperoleh kuat tarik aluminium Al/SiC lebih rendah daripada material AC8H.

Besarnya nilai kuat tarik suatu material tergantung kepada berbagai sifat (karakteristik) yang dimiliki oleh material, seperti struktur kristal dan jari-jari atom. Selain itu, perlakuan yang diberikan, seperti perlakuan panas (*heat treatment*), dan mekanisme penguatan (*strengthening mechanism*), serta campuran (*alloy*) yang diberikan pada logam juga akan mempengaruhi sifat mekanik dari logam tersebut[15].

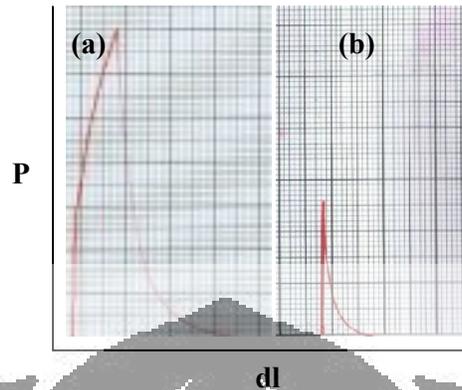
Struktur kristal pada logam akan mempengaruhi (menentukan) mekanisme penguatan yang dilakukan. Perlakuan panas yang diberikan akan mempengaruhi struktur mikro yang dimiliki oleh logam, sehingga akan menghasilkan nilai yang berbeda pada satu jenis logam dengan perlakuan panas yang berbeda. Jenis dan kadar campuran yang diberikan kepada suatu logam juga akan mempengaruhi sifat mekaniknya karena campuran tersebut juga memiliki sifat yang berbeda-beda.

Dengan sifat mekanik yang berbeda, maka patahan yang terjadi dari pengujian tarik dari logam satu dengan logam lainnya juga akan berbeda-beda. Dengan mengamati karakteristik perpatahan yang terjadi, maka dapat ditentukan jenis perpatahan yang terjadi, apakah ulet atau getas.



**Gambar 4.13.** Perbandingan Grafik Hasil Uji Tarik Al/SiC dengan AC8H

Dari gambar 4.13 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuat tarik paduan aluminium dari 203.31 MPa menjadi 191.49 MPa. Hal ini mungkin terjadi karena kurang meratanya penyebaran dari SiC di dalam aluminium. Data hasil uji Tarik memperlihatkan bentuk patahan material Al/SiC bersifat getas, karena tidak adanya elongasi yang besar sesaat sebelum terjadinya perpatahan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.14.

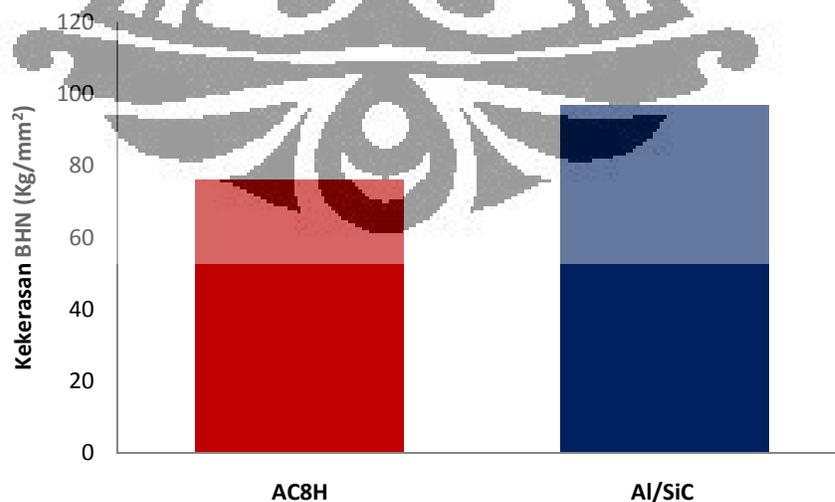


Gambar 4.14. Data Hasil Uji Tarik (a) AC8H, (b) Al/SiC

#### 4.2.2. Pengaruh Terhadap Kekerasan

Hasil pengujian kekerasan dari komposit Al/SiC ditunjukkan pada gambar 4.13. Berdasarkan data yang diperoleh Kekerasan komposit Al/SiC lebih tinggi daripada material aluminium AC8H.

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 4.15. Perbandingan Grafik Hasil Uji Kekerasan Al/SiC dengan AC8H

Dari gambar 4.15 ditunjukkan bahwa dengan penambahan SiC 15% fraksi volume kedalam Al dapat meningkatkan kekerasan dari paduan Al dari 76.23 BHN menjadi 96.82 BHN. Hal ini terjadi karena dengan adanya SiC yang memiliki kekerasan lebih besar dari Al memberikan kontribusi dalam meningkatkan kekerasan komposit Al/SiC.

#### 4.2.3. Pengaruh Terhadap Laju Aus

Hasil pengujian laju aus dari komposit Al/SiC dapat dilihat pada gambar 4.16. Berdasarkan data yang diperoleh laju aus komposit Al/SiC lebih rendah daripada material aluminum AC8H, ini menandakan bahwa ketahanan aus dari komposit Al/SiC lebih baik dari AC8H.

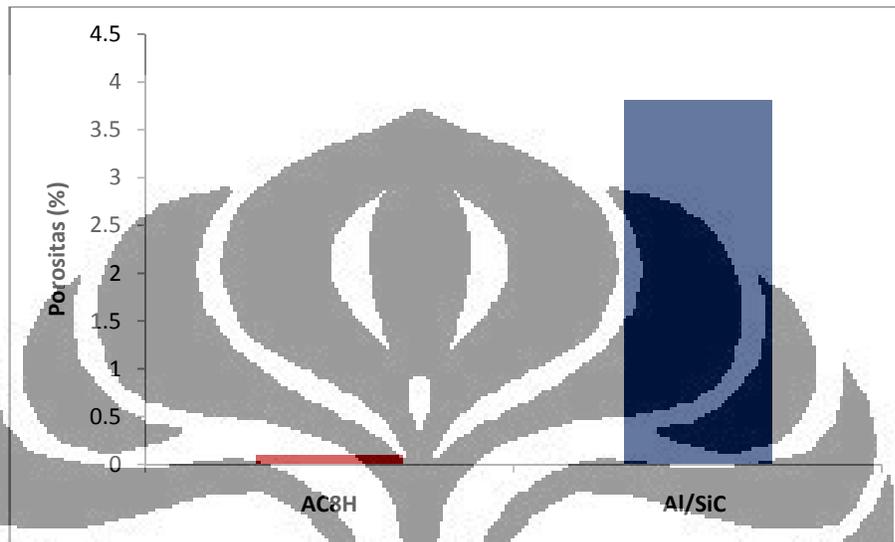


Gambar 4.16. Perbandingan Grafik Hasil Uji Aus Al/SiC dengan AC8H

Pada gambar 4.16, menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju aus dari komposit Al/SiC dari  $1.06 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$  menjadi  $2.64 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Faktor lain yang dapat mempengaruhi laju aus adalah Kondisi struktur mikro. Kondisi struktur mikro yang dimaksud adalah besar butir, paduan dan *impurities*. Semakin kecil dan banyak butir-butir, semakin banyak paduan dan *impurities*, maka kekerasan material akan meningkat yang menyebabkan ketahanan *abrasive wear* semakin meningkat.

#### 4.2.4. Pengaruh Terhadap Porositas

Hasil pengukuran porositas dari komposit Al/SiC dapat dilihat pada gambar 4.17. Berdasarkan data yang diperoleh persentase porositas komposit Al/SiC lebih tinggi daripada material aluminum AC8H.



Gambar 4.17. Perbandingan Grafik Hasil Uji Porositas Al/SiC dengan AC8H

Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan partikel SiC ke dalam logam Al maka akan menaikkan persentase porositas yaitu dari 0.1% menjadi 3.81%. Hal ini memang sudah banyak dibahas dari penelitian-penelitian para ahli, yaitu dengan bertambahnya fraksi volume di dalam komposit Al akan dapat meningkatkan persentase porositas, namun dalam penelitian kali ini penulis tidak membahas perbedaan persentase porositas dengan bertambahnya fraksi volume.

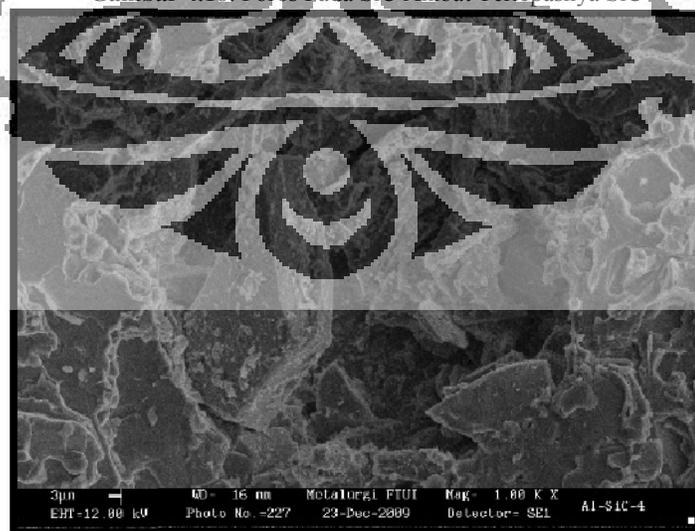
Banyak faktor yang dapat meningkatkan porositas di dalam logam Al, salah satunya seperti pada saat pengecoran logam aluminum, dengan semakin tingginya temperatur lebur maka kelarutan hidrogen akan semakin tinggi, sehingga potensi untuk terbentuknya porositas akan semakin tinggi pula, dan masih banyak lagi faktor-faktor lain yang dapat meimbulkan porositas. Secara umum dengan meningkatnya persentase porositas maka akan dapat menurunkan sifat mekanis dari komposit Al/SiC, karena pori-pori yang ada akan menjadi tempat konsentrasi tegangan terjadi.

### 4.3. Analisa Metalografi dari Al/SiC *coating*

Distribusi serbuk SiC sebagai penguat pada komposit Al/SiC dapat dilihat pada gambar 4.18. Hasil foto mikro Al/SiC menunjukkan bahwa paduan Al akan mengalami perubahan bentuk struktur mikro, seperti penghalusan struktur dendrit akibat adanya partikel SiC sebagai penguat, dan poros yang diakibatkan hadirnya SiC ataupun gas-gas yang terperangkap di dalam sistem Al/SiC. Lingkaran pada gambar 4.18 menunjukkan adanya poros akibat terlepasnya SiC dari matrik aluminum. Bentuk mikrostruktur dari permukaan perpatahan hasil uji tarik Al/SiC dapat dilihat pada gambar 4.19, dari gambar tersebut terlihat adanya SiC yang tidak berikatan dengan logam Al, hal ini mungkin terjadinya karena tidak terjadi pembahasan yang baik pada serbuk SiC.



Gambar 4.18. Poros Pada SiC Akibat Terlepasnya SiC



Gambar 4.19. Hasil Foto SEM Pada Permukaan Al/SiC Hasil Uji Tarik

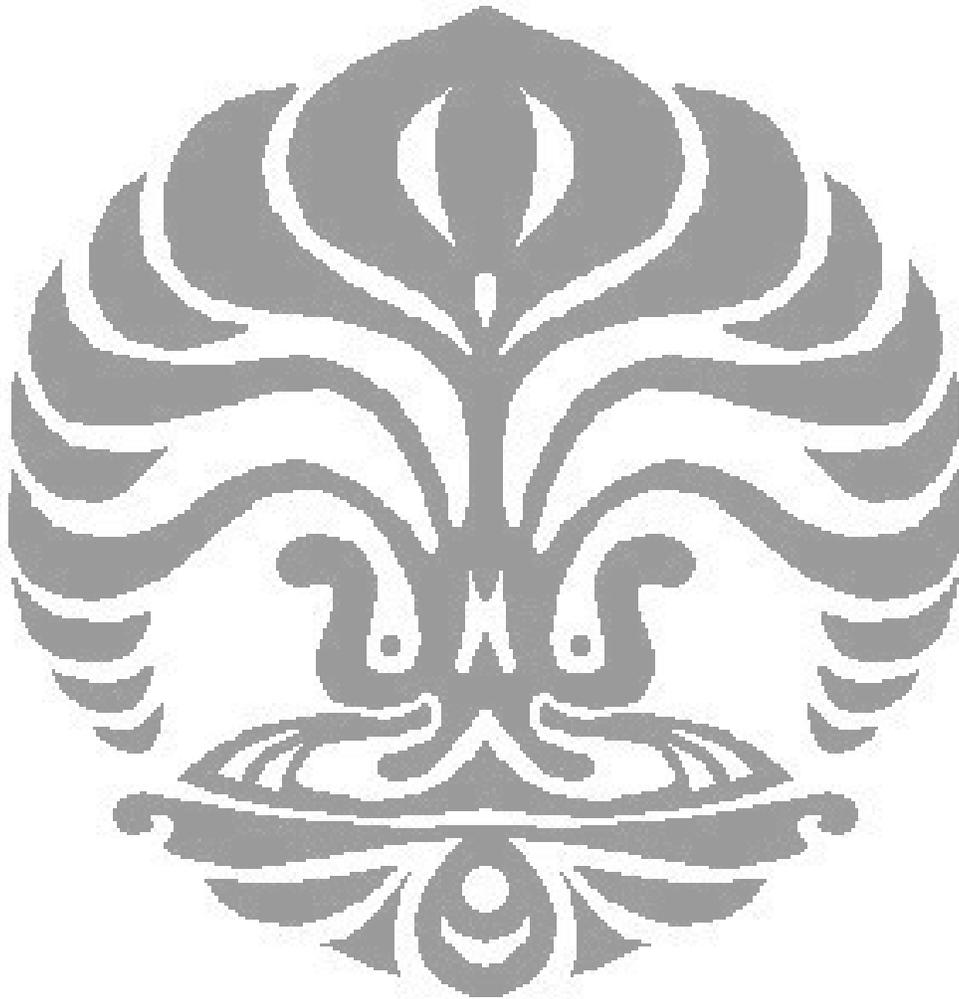
## BAB 5

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang pengaruh Mg terhadap proses *electroless coating* pada partikel SiC, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Terdapat perbedaan bentuk topografi pada permukaan SiC yang dilakukan proses *coating* dengan SiC *as-received*.
2. Dari pengujian EDX memperlihatkan bahwa kadar oksigen yang tinggi disemua variabel % Mg, hal ini menandakan bahwa pada permukaan SiC cenderung terbentuk senyawa oksida.
3. Analisa XRD pada partikel SiC yang telah dilapisi oleh ion Mg dan Al, teidentifikasi bahwa senyawa yang terbentuk adalah fasa  $MgAl_2O_4$  dan  $SiO_2$ , hal ini mendukung dari hasil EDX bahwa tingginya persentase Mg dan O bisa mempromosi terbentuknya senyawa  $MgAl_2O_4$  dan  $SiO_2$ .
4. Pada sampel SiC dengan 0.1gr Mg menunjukkan fasa  $MgAl_2O_4$  dan  $SiO_2$  lebih stabil dan intensitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan komposisi yang lain. Intensitas fasa  $MgAl_2O_4$  tertinggi pada sampel ini terdeteksi pada sudut  $2\theta$  yaitu 34.82, sedangkan fasa  $SiO_2$  terdeteksi pada 59.94.
5. Hasil pengujian TEM memperlihatkan bahwa terdapat lapisan pada permukaan SiC dengan ketebalan yang tipis yang menyelimuti permukaan SiC dengan ketebalan sebesar 27.3 - 123 nm.
6. Pengaruh 15% fraksi volume SiC di dalam komposit Al/SiC terhadap sifat mekanis:
  - a. Kuat tarik Al/SiC lebih rendah daripada material aluminum AC8H, yaitu 191.49 MPa sedangkan AC8H 203.31 MPa.
  - b. Kekerasan komposit Al/SiC lebih tinggi daripada material aluminum AC8H, yaitu 76.23 BHN sedangkan AC8H 96.82 BHN.
  - c. Laju aus komposit Al/SiC lebih rendah daripada material aluminum AC8H, yaitu  $1.06 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$  sedangkan AC8H  $2.64 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ . Ini menandakan bahwa ketahanan aus dari komposit Al/SiC lebih baik dari AC8H.

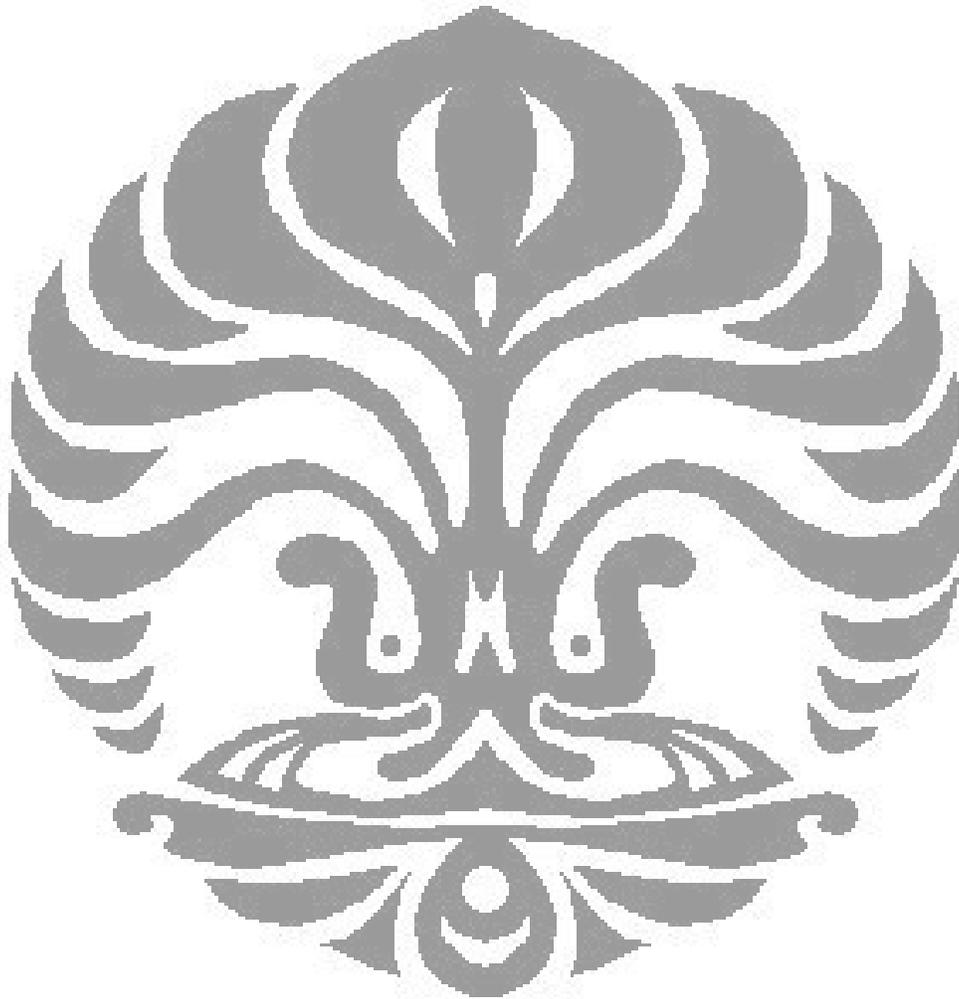
- d. Persentase porositas komposit Al/SiC lebih tinggi daripada material aluminum AC8H, yaitu dari 0.1% sedangkan AC8H 3.81%.



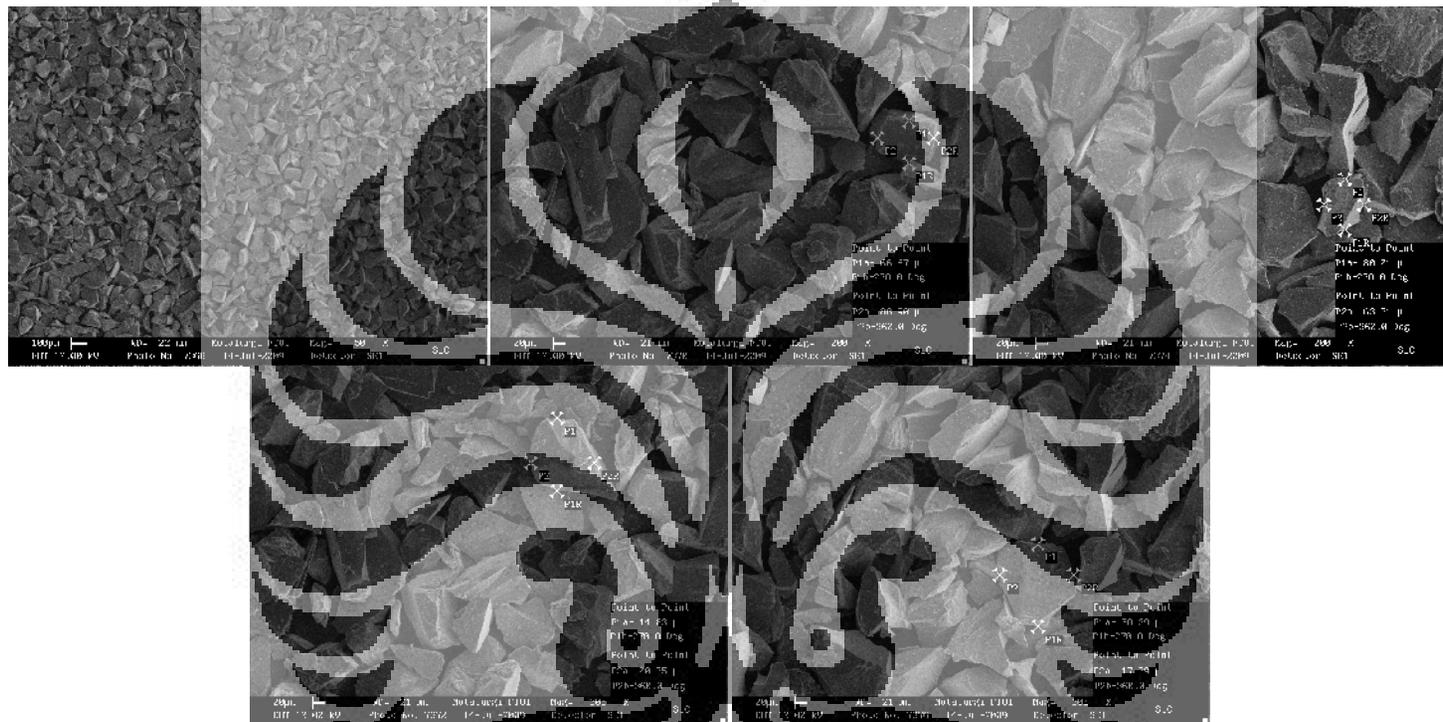
## DAFTAR REFERENSI

1. Zulfia, Anne. "Pengantar Kuliah Komposit", Teknik Metalurgi dan Material FTUI, 2009
2. Suharno, Bambang. "Pengantar Kuliah Pengolahan Besi Baja", Teknik Metalurgi dan Material FTUI, 2009
3. Witjens, Laurens C (2005). "Improving the control of the electroless plating synthesis of Pd/Ag membranes for hydrogen separation using Rutherford backscattering. *Journal of Membrane Science* vol 254, pp. 241-248.
4. Z. Fan, Z. X. Guo and B. Cantor, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 28 (1997) pp, 131.
5. L. C. Kwang and B. Derby, In Proceedings of Topical Symposium III Advanced fiber Composites of the 8<sup>th</sup> CIMTEC-World Ceramic Congress and Forum on New Materials, 1994. Italy, pp. 179
6. S. Q. Guo, Y. Kagawa, Y. Tanaka and C. Masuda, *Acta Materialia*, 46 (1998) 4941.
7. S. M. Jeng, J. M. Yang and J. A. Gravs, *J. Mater. Res.* 8 (1993) 905
8. T. D. McGarry, M. J. Pindera and F. E. Wawner, *Composites Engineering*. 5 (1995) 951
9. B. S. Majumdar, *Materials Science and Engineering*. 259 (1997) 171.
10. Urena, A., M.D. Escalera., L. Gil. (2002). Oxidation barriers on SiC particles for use in aluminum matrix composites manufactured by casting route: Mechanisms of interfacial protection. *Journal of Material Science*, pp. 37.
11. Zainuri, M., et.al. (2008, November). Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/SiC. *Makara Sains* vol 12, No. 2, pp. 126-133.
12. Agarwala, R.C, and Vijaya Agarwala. (2003). Electroless alloy/composite coatings. *Sadhana* vol. 28, part 3 & 4, pp. 475-493.
13. Lee, Jae-Chul, et.al. (2001). Methodology to Design the Interface in SiC/Al Composites. *Metallurgical and material transaction A Vol 32A*, pp. 1541-1550.
14. Chawla, Nikilesh., and Chawla, Krishan.K. (2006). Metal Matrix Composites. *Springer*.
15. William D. Callister, jr, *Material Science and Engineering* (Utah: John Wiley & son, inc, 1997), pp. 347, 124-133.
16. <http://www.composites-by-design.com/metal-matrix.htm>
17. Kaufman, J. Gilbert., Rooy, Elwin L. (2004). Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications. *ASM International*, pp. 8.
18. <http://www.tik.com.tw/pdf/japanese.pdf>
19. Randall M. German, *Sintering Theory and Practice* (New York: John Wiley&Son, Inc., 1996)
20. <http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium> (didownload pada 5 Juni 2010 pukul 13:54 WIB)
21. Surappa, M. K. *Aluminium Matrix Composites: Challenges and Opportunities*. *Sadhana* Vol. 28, Parts 1 & 2. ( 2003 ), pp. 319–334.
22. [www.visionlearning.com](http://www.visionlearning.com).
23. Rohatgi, P.K., Asthana, R., and Das, S. (1986). *Int. Met. Rev.*, vol. 31 (3), pp. 115-39.
24. Froyen, L., B. Verlinden. Aluminum Matrix Composites Material, TALAT Lecture 1402, pp. 24

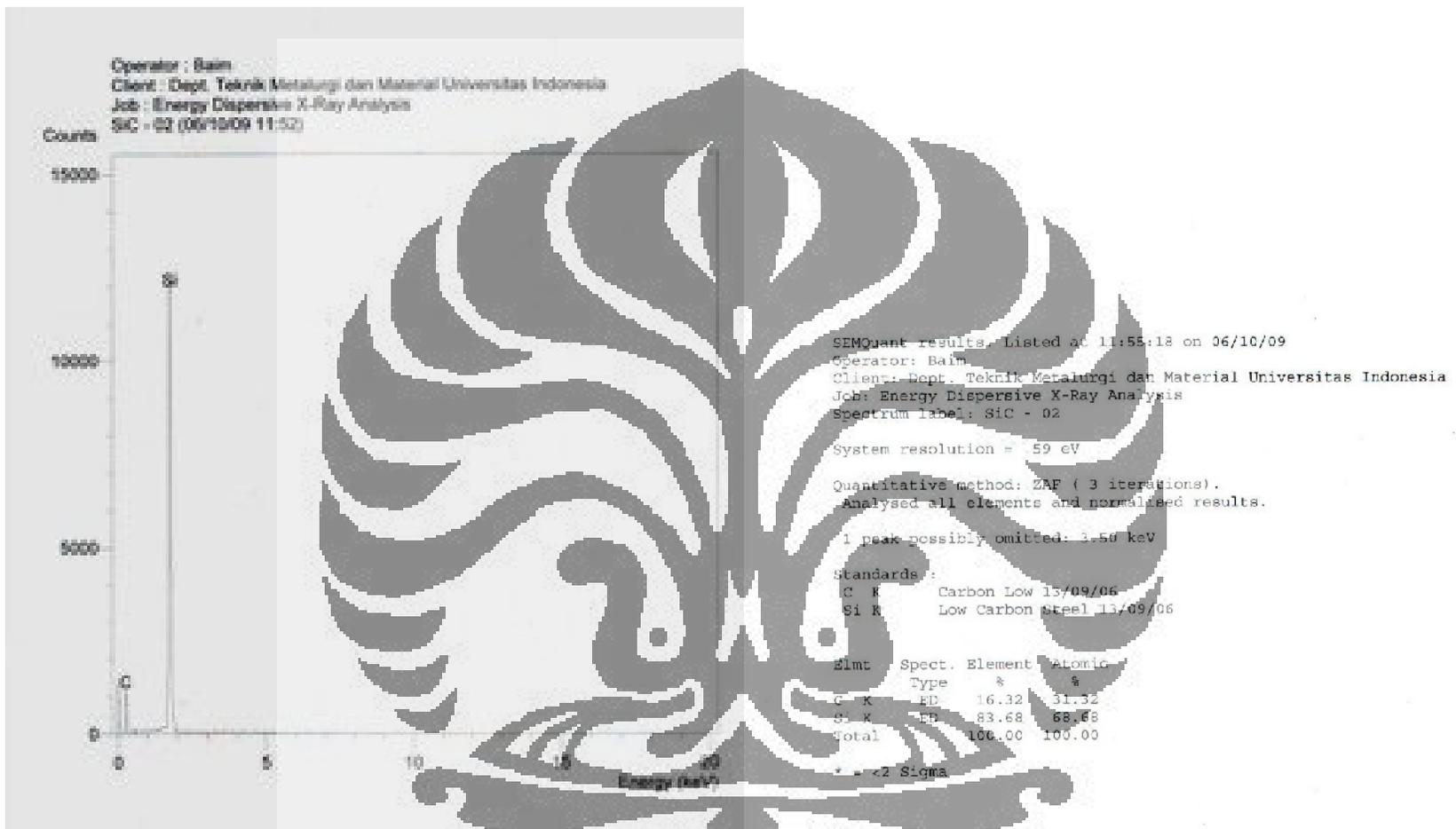
25. Guermazi, M. and R. A. L. Drew. (1998). Microstructural Evolution of Silicon Carbide / Aluminum Oxide Composites Processed by Melt Oxidation. *Journal of Material Science*. Vol. 33, pp.3
26. Xu Xiang-yang, Han Jian-min, Li Wei-jing, Liu Yuan-fu and Liu Long-mei. (2006). SiC particulate reinforced aluminum matrix composite coatings prepared by laser powder deposition. *Journal of Ceramic Processing Research*. Vol. 7, No. 2, pp. 167-171.



## LAMPIRAN 1. HASIL FOTO SEM & EDX PADA PARTIKEL SiC AS-RECIIVED

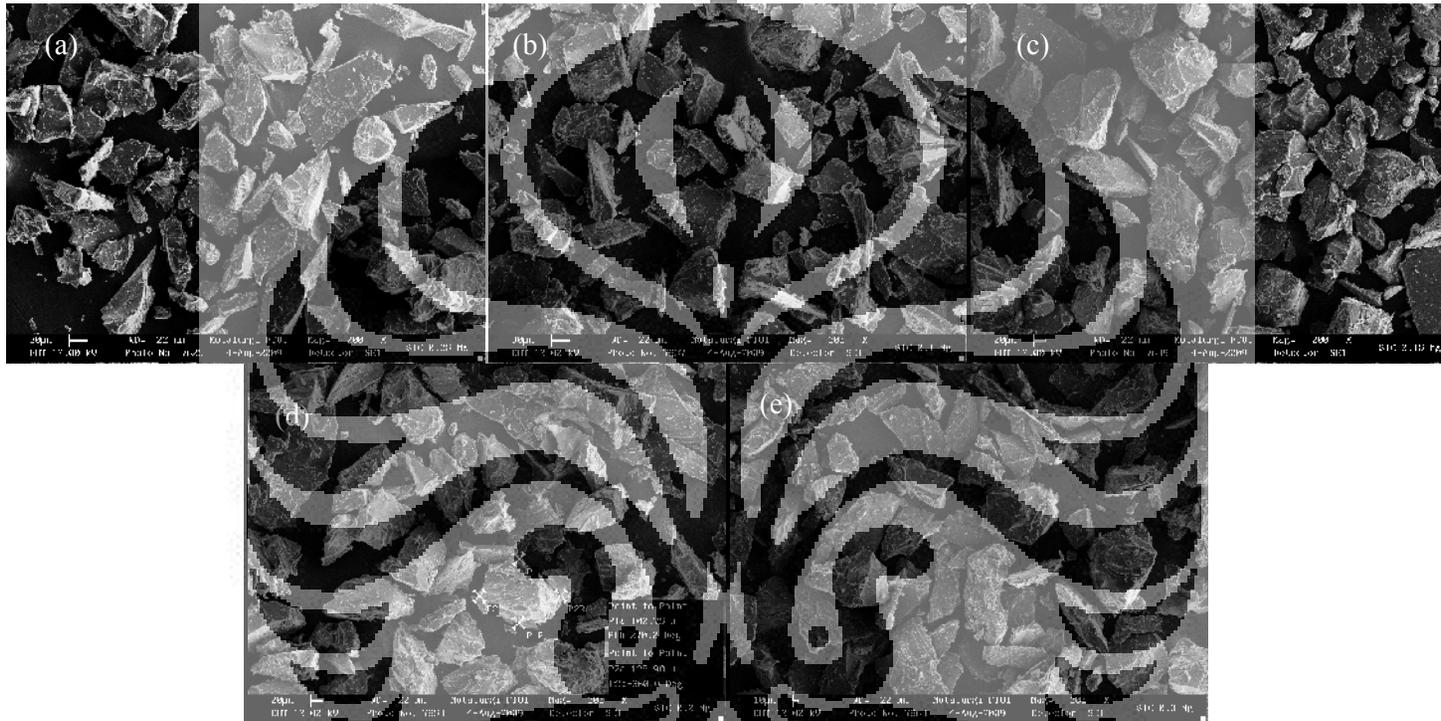


Gamabr 1.1 Hasil Pengukuran Partikel SiC As-reeived



Gambar 1.2. Analisa EDX Pada Serbuk SiC As-received

## LAMPIRAN 2. HASIL FOTO SEM DAN EDX PADA PARTIKEL SiC COATING



**Gamabr 2.1.** (a) SiC Dengan Pelapis 0.05gr Mg, (b) 0,1gr Mg, (c) 0.15gr Mg, (d) 0.2gr Mg, (e) 0.3gr Mg

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 5.413, 6.403 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 1

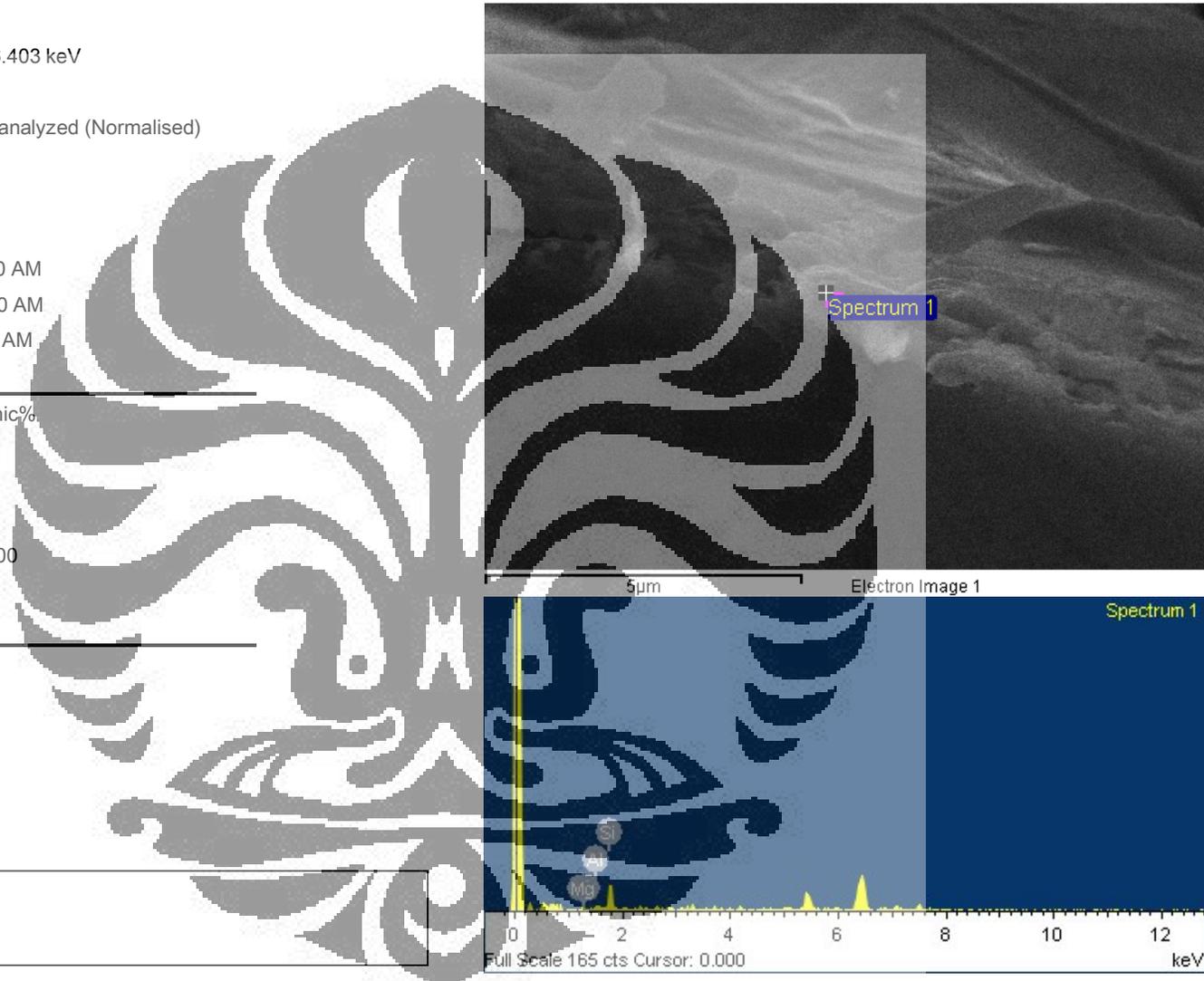
Standard :

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	0.00	0.00
Si K	100.00	100.00
Totals	100.00	



Comment: SiC 1

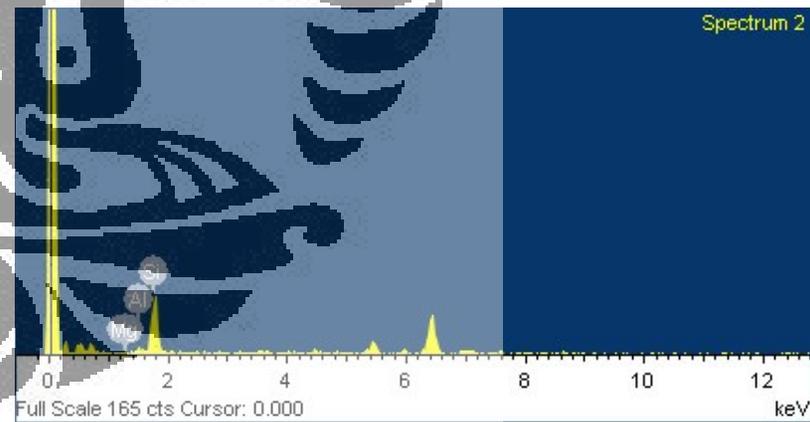
Spectrum processing :  
 Peak possibly omitted : 6.405 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 1

Standard :

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	0.00	0.00
Si K	100.00	100.00
Totals	100.00	



Comment: SiC 1



# Project 1

2009-11-24 • • 10:48:28

Spectrum processing :

Peaks possibly omitted : 0.719, 6.416 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Number of iterations = 1

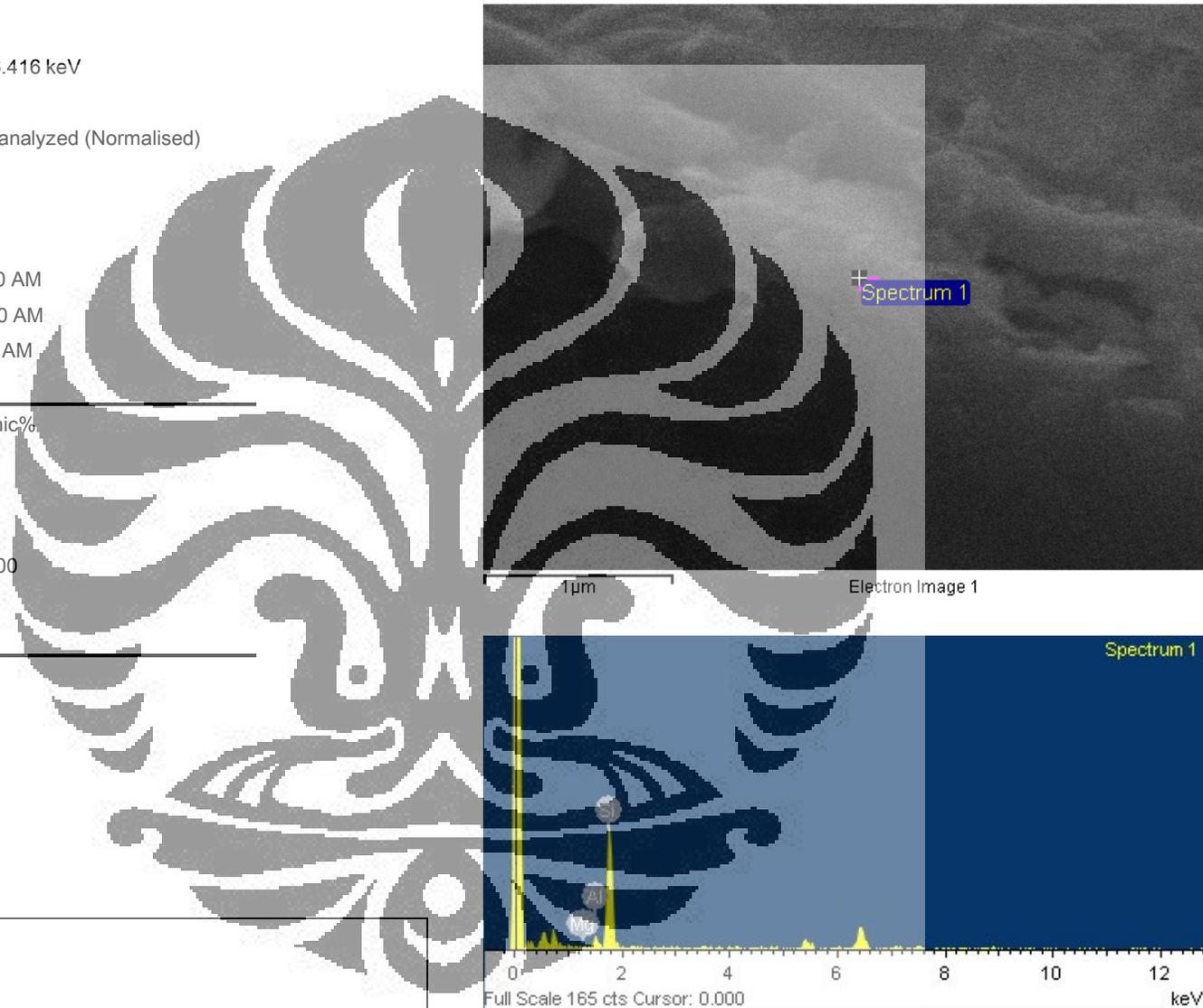
Standard :

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM

Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	0.00	0.00
Si K	100.00	100.00
Totals	100.00	



Comment: SiC 1

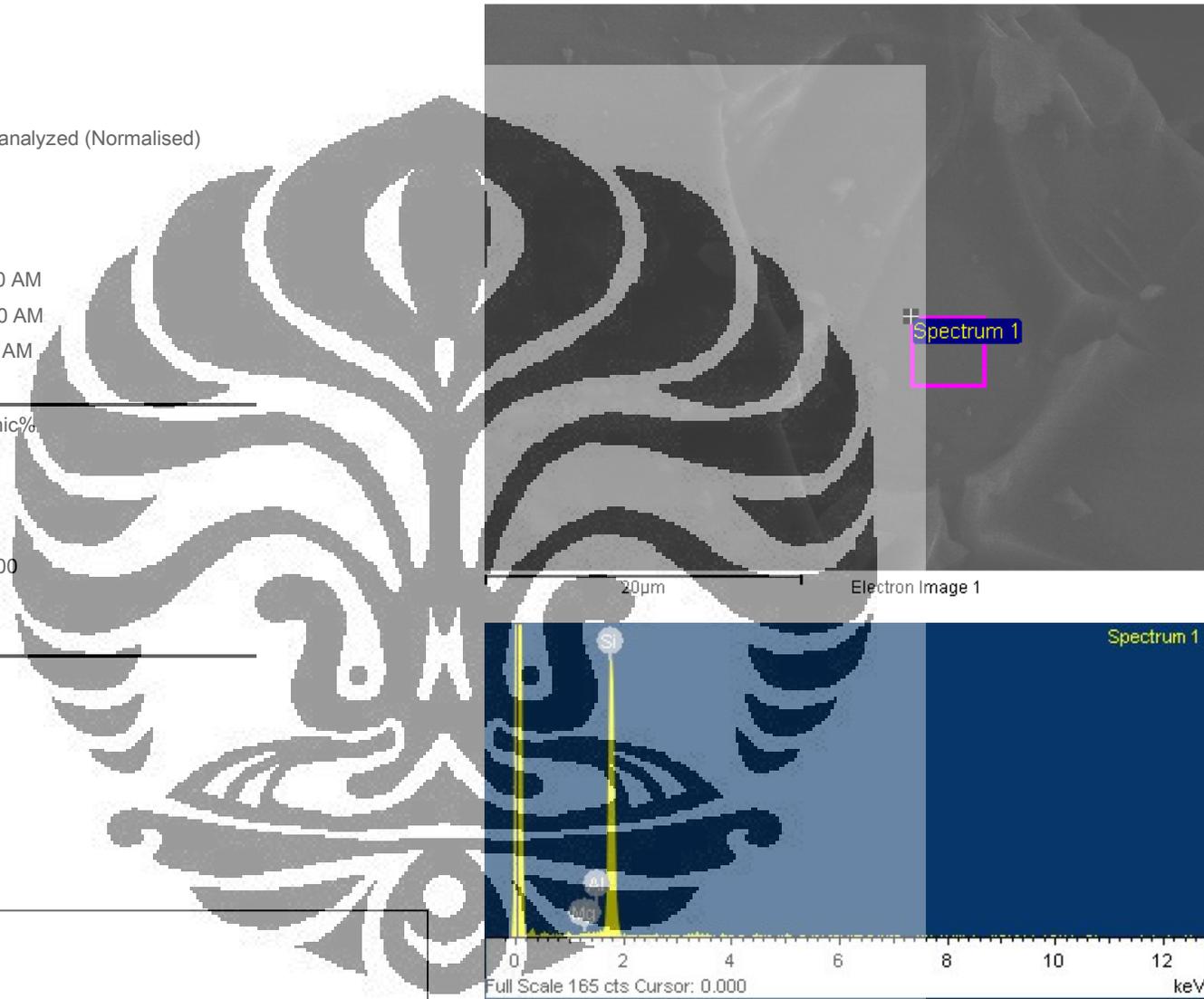
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 1

Standard :

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	0.00	0.00
Si K	100.00	100.00
Totals	100.00	



Comment: SiC 2

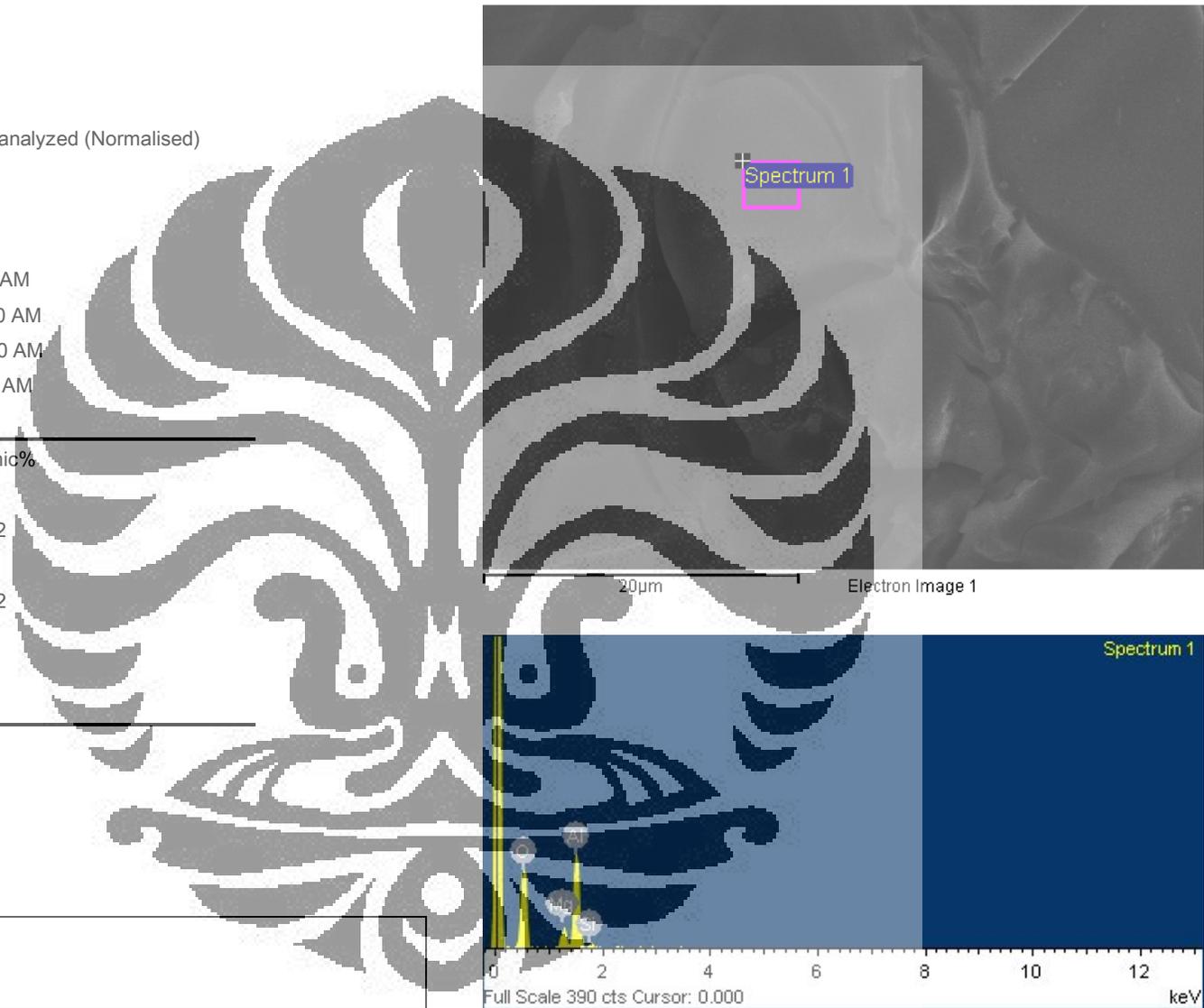
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 2

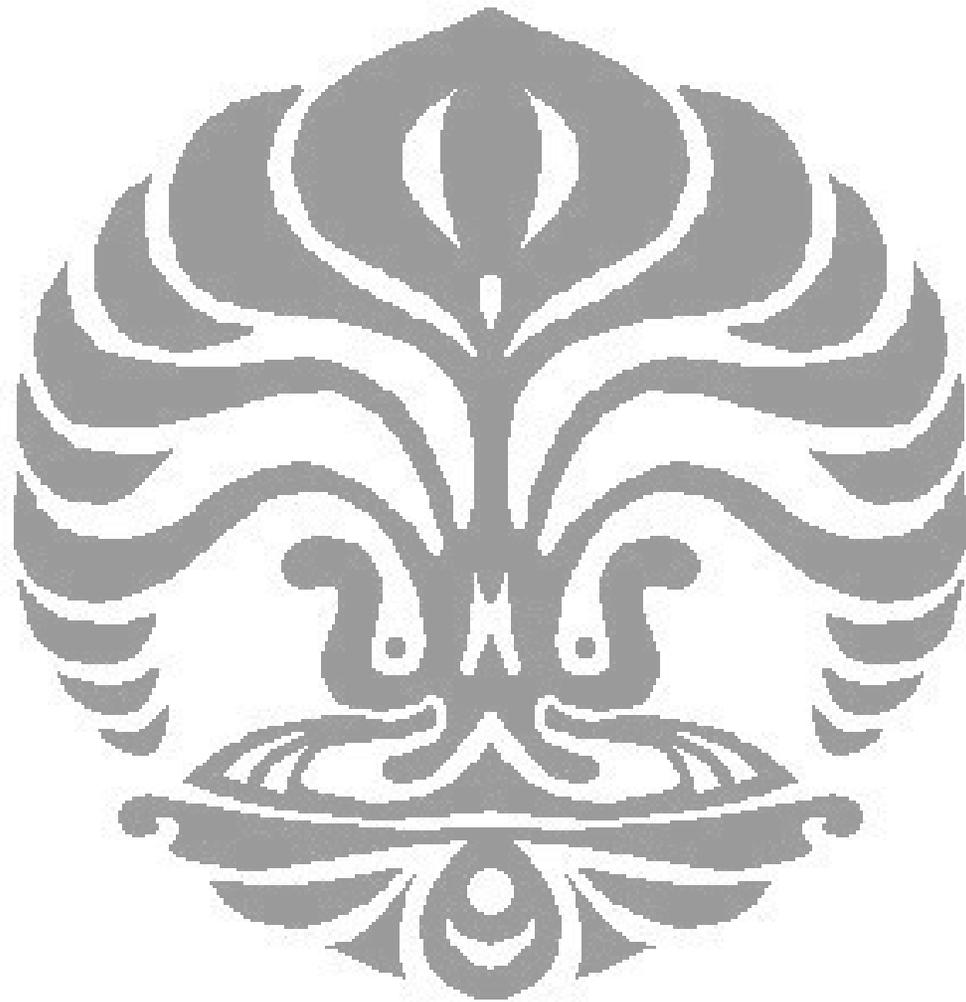
Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	55.58	67.52
Mg K	6.73	5.38
Al K	35.56	25.62
Si K	2.13	1.47
Totals	100.00	



Comment: SiC 2



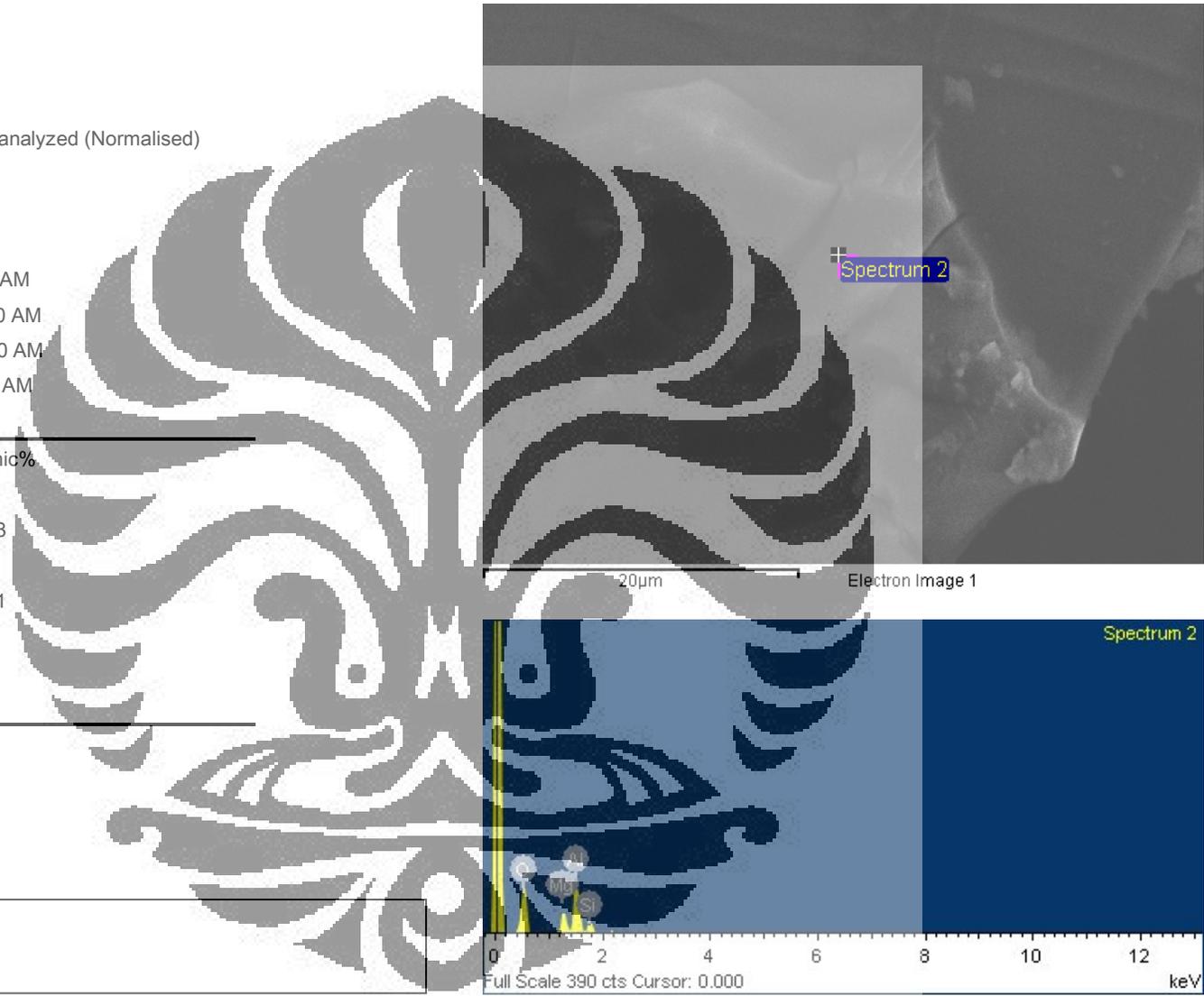
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 2

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	52.86	64.98
Mg K	10.26	8.30
Al K	31.16	22.71
Si K	5.72	4.01
Totals	100.00	



Comment: SiC3



## Project 1

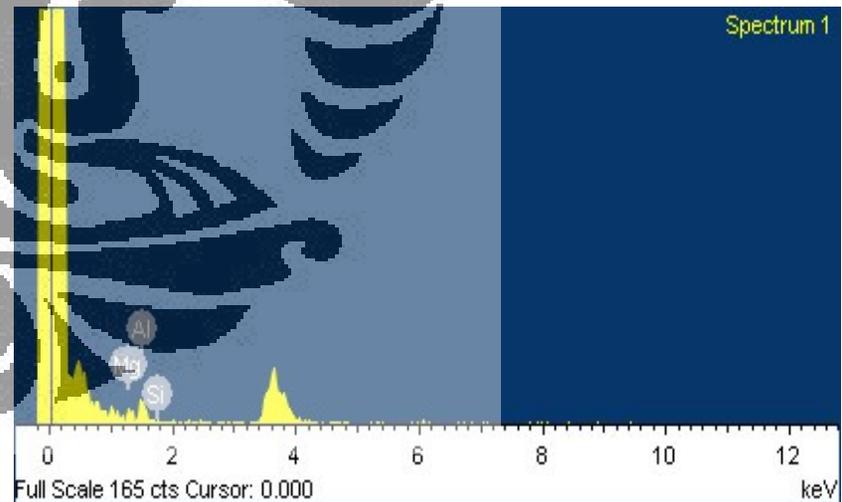
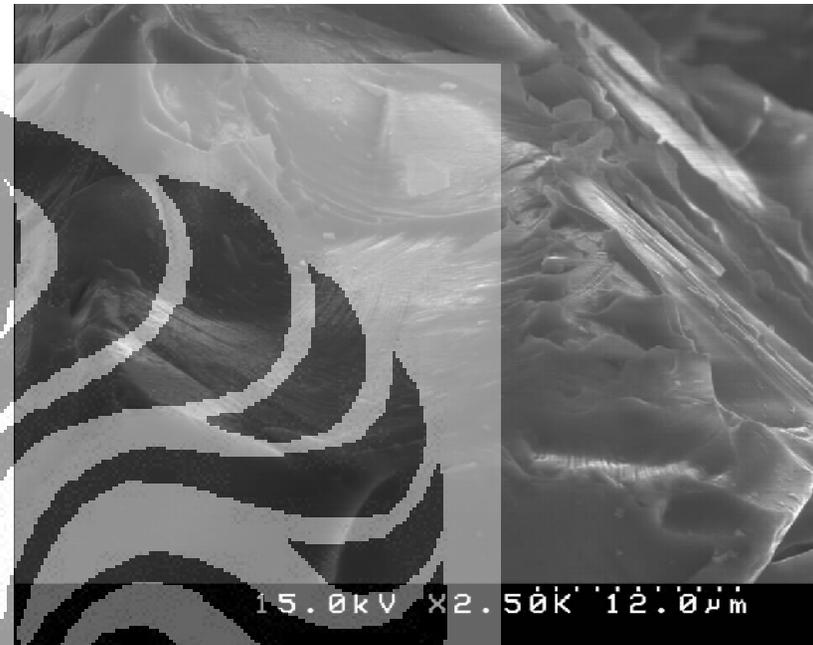
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 2

Standard :

O SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO<sub>2</sub> 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	31.24	33.52
Al K	68.76	66.48
Si K	0.00	0.00
<b>Totals</b>	<b>100.00</b>	



Comment: SiC4

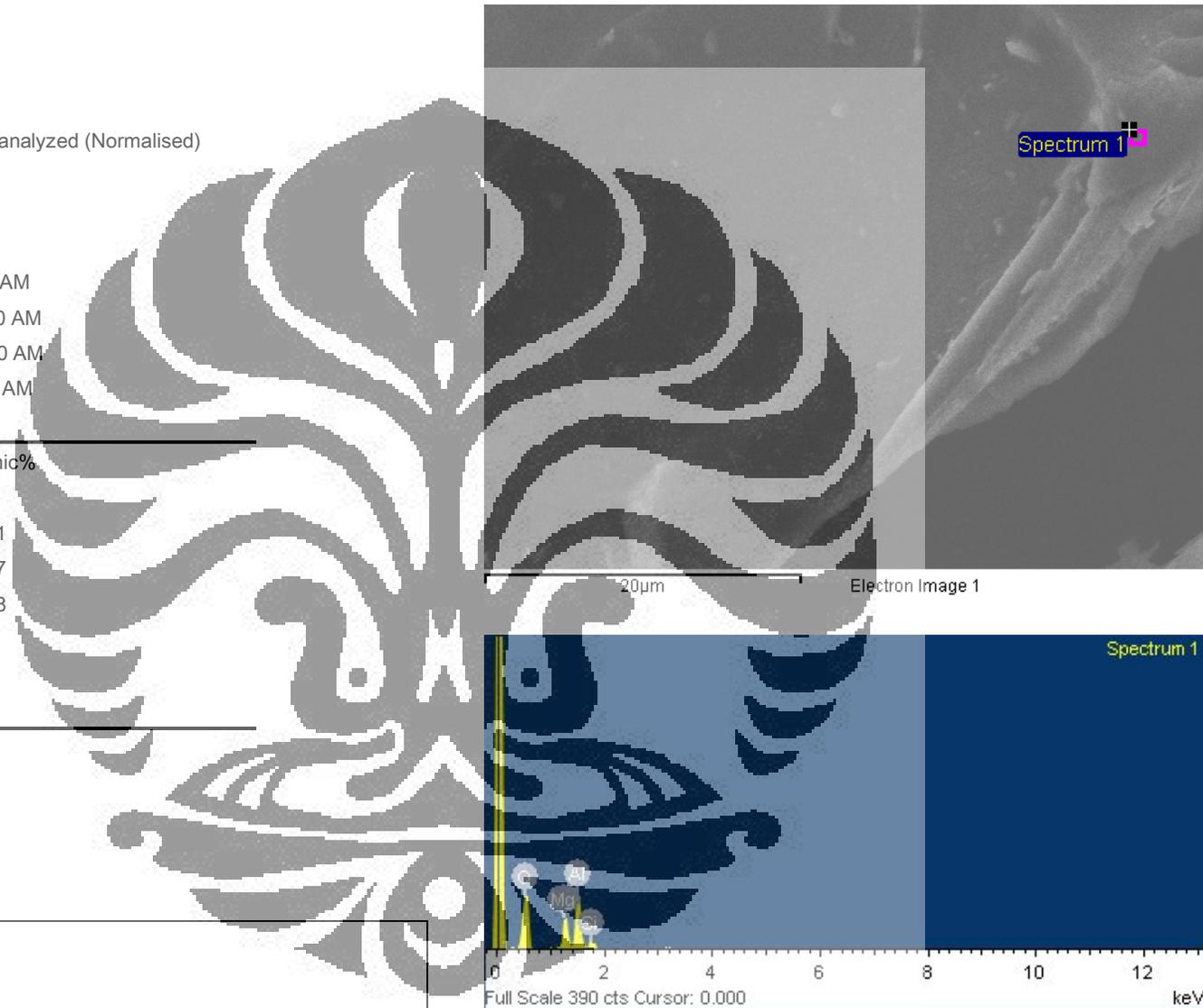
Spectrum processing :  
No peaks omitted

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
Number of iterations = 2

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM  
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
O K	52.13	64.11
Mg K	14.30	11.57
Al K	27.95	20.38
Si K	5.62	3.93
Totals	100.00	



Comment: SiC 5



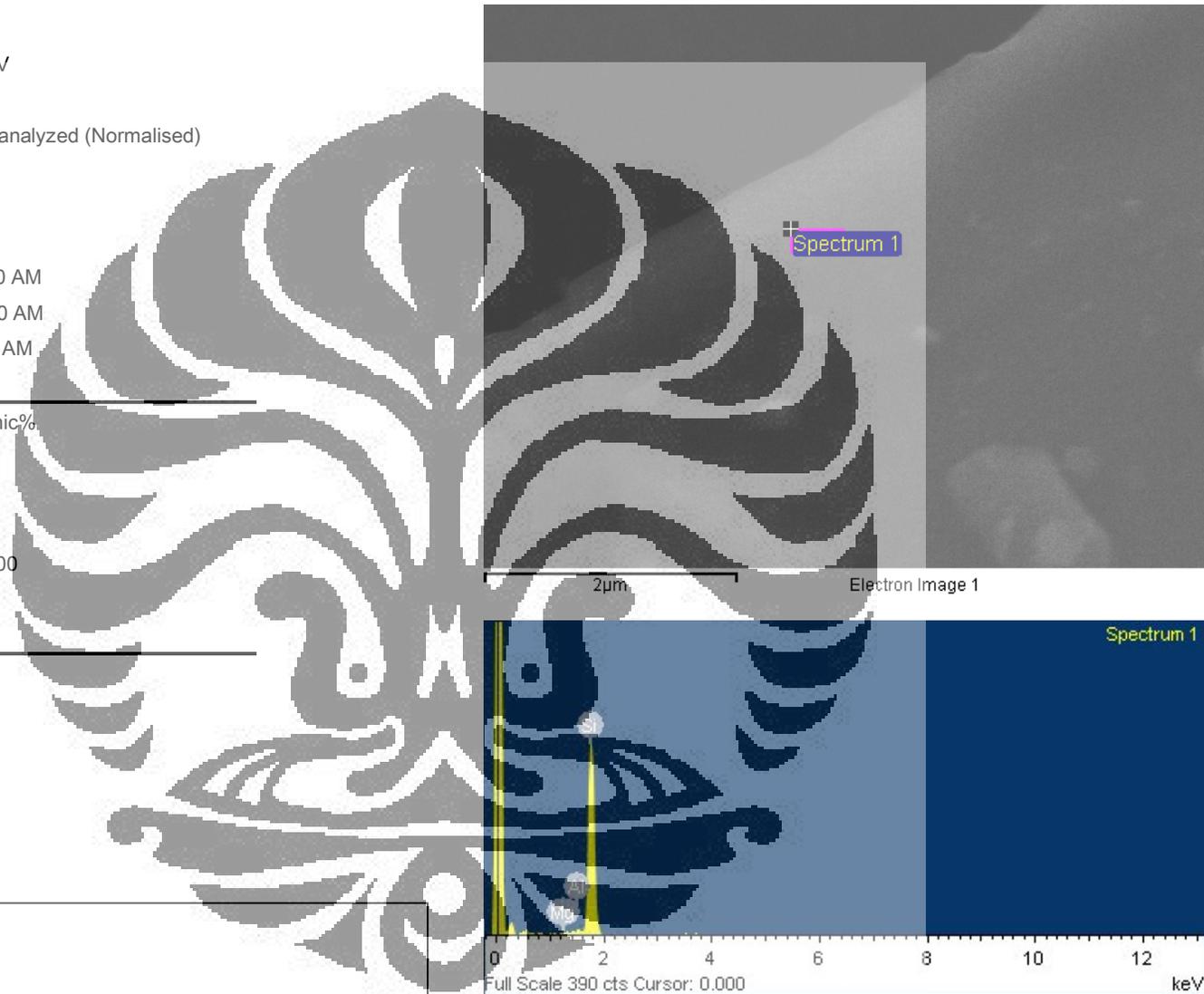
Spectrum processing :  
 Peak possibly omitted : 0.260 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 1

Standard :

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	0.00	0.00
Si K	100.00	100.00
Totals	100.00	



Comment: SiC 5

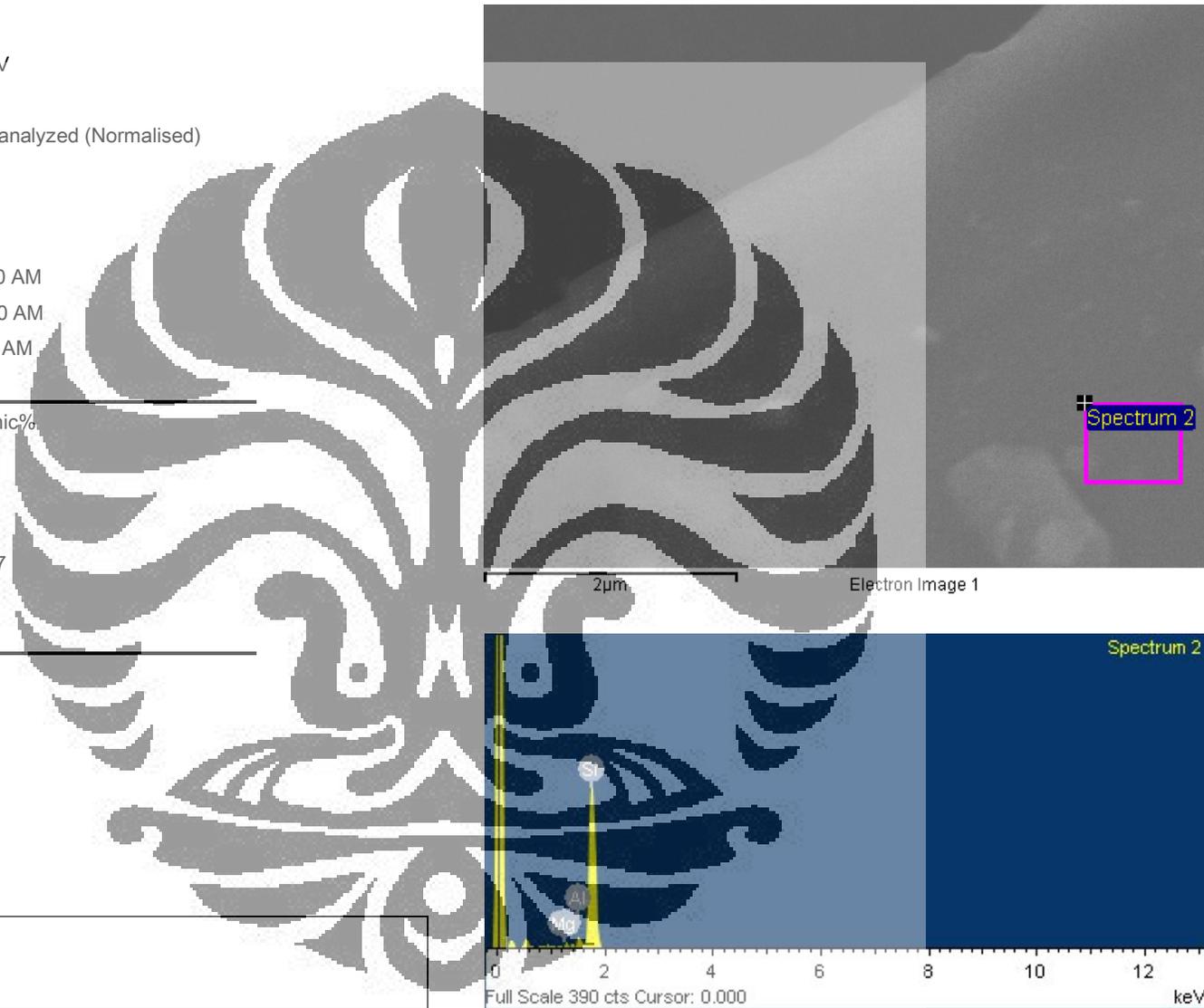
Spectrum processing :  
 Peak possibly omitted : 0.510 keV

Processing option : All elements analyzed (Normalised)  
 Number of iterations = 1

Standard :

Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM  
 Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM

Element	Weight%	Atomic%
Mg K	0.00	0.00
Al K	2.05	2.13
Si K	97.95	
Totals	100.00	

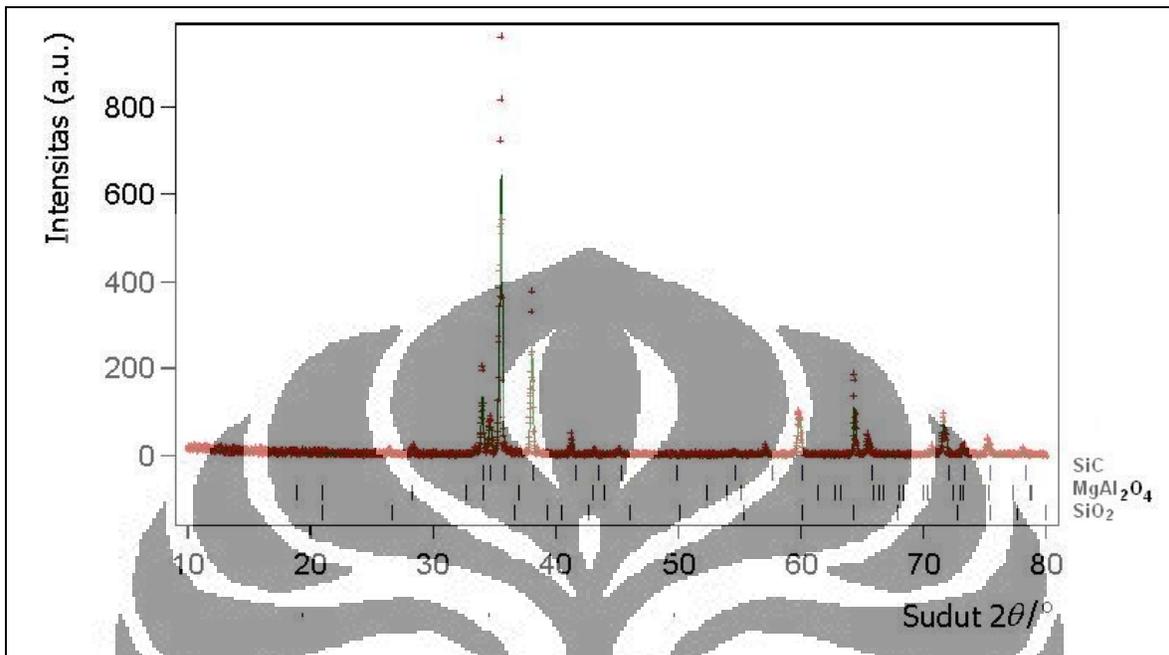


Comment: SiC 5



### LAMPIRAN 3. HASIL PENGUJIAN XRD

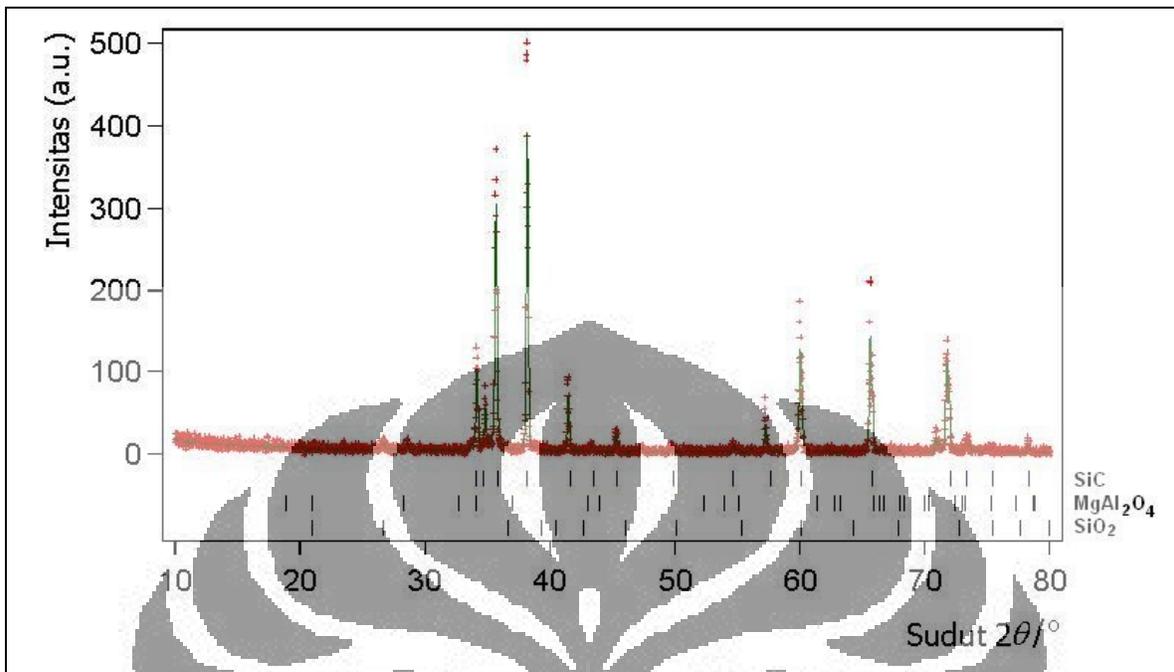
Profil difraksi sinar-x sampel S1-SiC  
*x-ray diffraction profile sample of S1-SiC*



Analisis peaks sample S1-SiC  
*Peaks analysis sample S1-SiC*

No.	Pos. [°2Th.]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr.[cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	26.3383	0.2362	1.97	3	3.38388	8.44	2.45
2	28.3976	0.1574	2.95	3	3.143	19.02	5.53
3	34.0181	0.1574	23.51	2	2.63548	151.39	44.01
4	34.6165	0.2362	19	3	2.59128	81.57	23.71
5	35.3702	0.0934	33.39	3	2.53777	344.03	100
6	38.049	0.1968	51.12	3	2.36504	263.35	76.55
7	41.2718	0.1574	4.83	2	2.1875	31.12	9.05
8	43.0709	0.2362	2.5	2	2.10021	10.72	3.12
9	45.0955	0.4723	4.24	1	2.01051	9.09	2.64
10	54.4978	0.3149	2.68	1	1.68379	8.62	2.51
11	57.0734	0.1574	2.29	1	1.61378	14.73	4.28
12	59.7587	0.1181	12.02	2	1.54752	103.22	30
13	64.3652	0.3149	25.67	1	1.44745	82.63	24.02
14	65.3933	0.1181	5.65	1	1.42716	48.53	14.11
15	70.6841	0.1181	1.81	1	1.33275	15.51	4.51
16	71.5781	0.12	15.63	1	1.31719	97.69	28.4
17	71.8158	0.12	9.13	1	1.31668	57.03	16.58
18	73.2664	0.144	4.18	1	1.29095	21.76	6.32
19	75.1791	0.144	4.59	2	1.26278	23.91	6.95
20	78.0234	0.144	2.56	2	1.22371	13.34	3.88

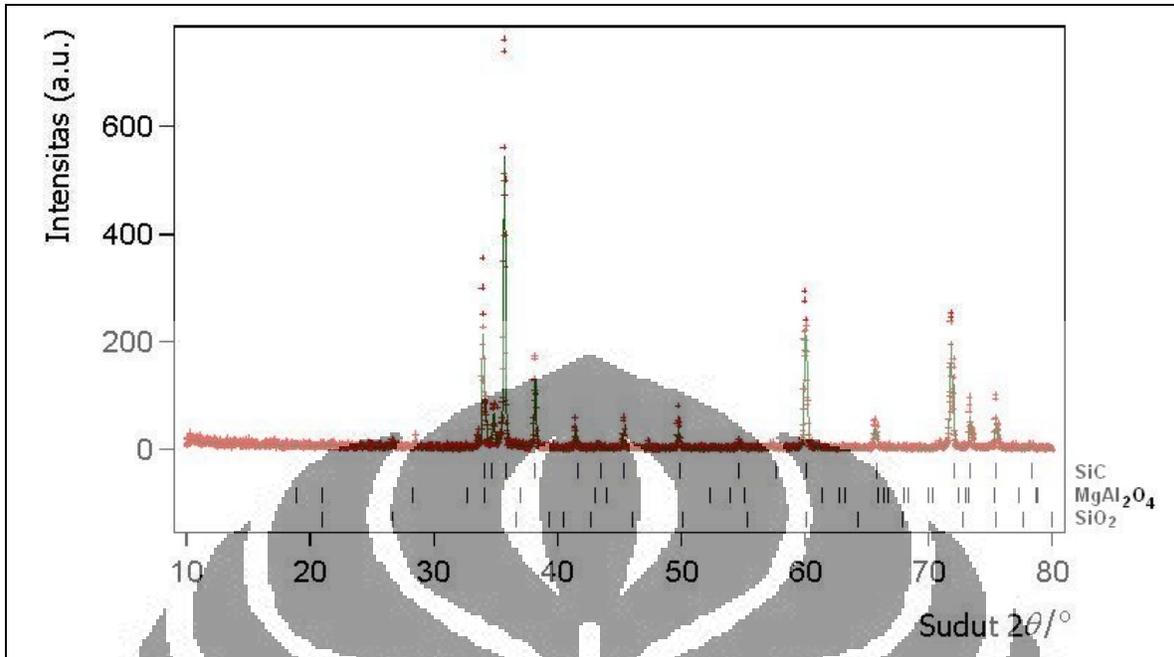
Profil difraksi sinar-x sampel S2-SiC  
*x-ray diffraction profile sample of S2-SiC*



Analisis peaks sample S2-SiC  
*Peaks analysis sample S2-SiC*

No.	Pos. [°2Th.]	FWHM [°2Th.]	Area [cts*°2Th.]	Backgr. [cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	26.5886	0.3149	2.4	4	3.35259	7.73	1.86
2	28.5272	0.1968	2.32	3	3.12902	11.97	2.88
3	34.1008	0.0984	11.53	4	2.62927	118.82	28.54
4	34.8009	0.1181	6.66	4	2.57797	57.14	13.73
5	35.6313	0.0984	32.3	4	2.51977	332.79	79.95
6	38.1572	0.1574	64.65	4	2.35858	416.26	100
7	41.4328	0.1574	11.11	3	2.17937	71.52	17.18
8	43.3093	0.2362	1.97	3	2.0892	8.44	2.03
9	45.2438	0.1574	3.52	3	2.00427	22.65	5.44
10	46.163	0.1181	0.5	2	1.96647	4.27	1.03
11	49.7456	0.4723	2.03	2	1.83292	4.35	1.05
12	54.5783	0.1574	1.67	2	1.6815	10.72	2.58
13	57.1693	0.1181	5.99	2	1.6113	51.4	12.35
14	59.9653	0.1181	16.92	2	1.54268	145.28	34.9
15	65.6388	0.3149	37.95	2	1.42241	122.19	29.35
16	69.3429	0.3936	1.12	2	1.35521	2.88	0.69
17	70.8347	0.1181	2.81	2	1.33028	24.1	5.79
18	71.6966	0.144	22.5	2	1.31531	117.17	28.15
19	71.9669	0.144	10.59	2	1.31429	55.15	13.25
20	73.2855	0.24	5.16	2	1.29066	16.11	3.87
21	75.0995	0.96	5.56	2	1.26392	4.34	1.04
22	78.2451	0.384	2.34	2	1.2208	4.57	1.1

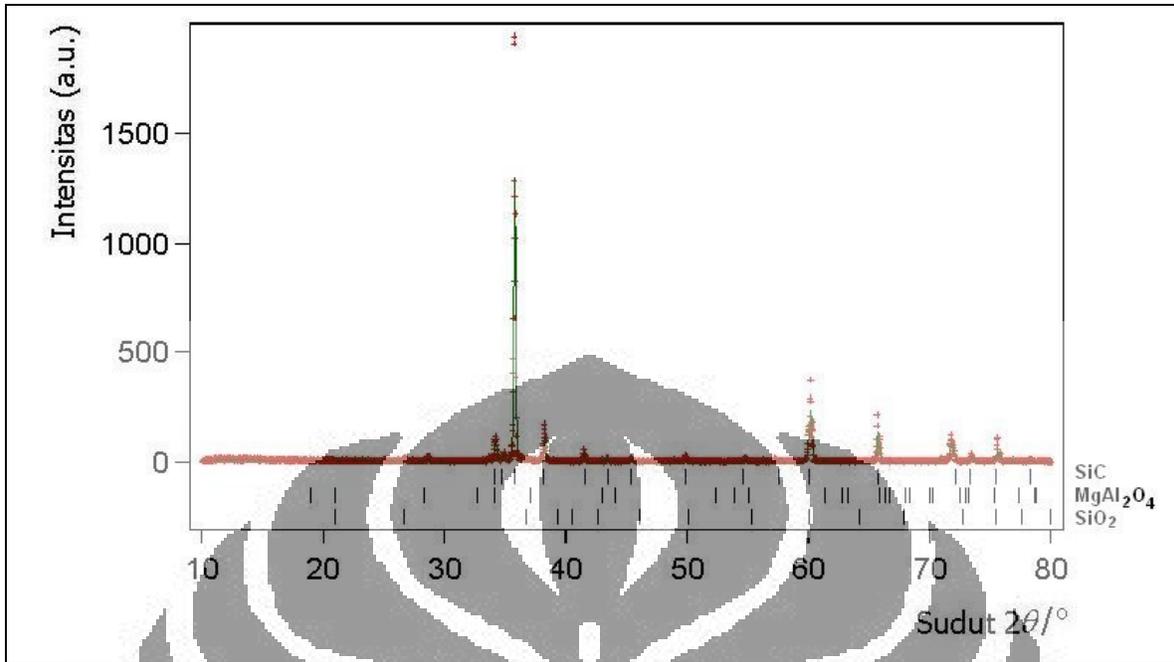
Profil difraksi sinar-x sampel S3-SiC  
*x-ray diffraction profile sample of S3-SiC*



Analisis peaks sample S3-SiC  
*Peaks analysis sample S3-SiC*

No.	Pos. [°2Th.]	FWHM [°2Th.]	Area [cts°2Th.]	Backgr.[cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	26.6419	0.2362	1.84	4	3.346	7.9	1.37
2	28.4965	0.1181	2.54	3	3.13232	21.81	3.77
3	33.5713	0.1181	2.18	2	2.66952	18.73	3.24
4	33.9337	0.1181	26.69	2	2.64184	229.17	39.6
5	34.8169	0.1574	12.43	2	2.57682	80.02	13.83
6	35.6839	0.1574	89.87	2	2.51617	578.67	100
7	38.1393	0.0984	13.85	2	2.35965	142.69	24.66
8	41.4104	0.1574	7.2	2	2.1805	46.37	8.01
9	43.2922	0.2755	1.62	2	2.08998	5.97	1.03
10	45.3248	0.1574	5.48	2	2.00087	35.29	6.1
11	47.3396	0.2362	1.6	2	1.92031	6.85	1.18
12	49.7041	0.1574	8.73	2	1.83436	56.2	9.71
13	54.6696	0.3149	3.56	2	1.67891	11.45	1.98
14	57.2316	0.2362	1.66	2	1.60969	7.13	1.23
15	59.9415	0.1574	41.6	2	1.54324	267.85	46.29
16	65.5887	0.1181	5.75	1	1.42338	49.38	8.53
17	70.8804	0.2362	2.2	1	1.32954	9.45	1.63
18	71.7538	0.144	44.68	1	1.3144	232.71	40.21
19	71.9845	0.144	28.1	1	1.31401	146.35	25.29
20	73.2945	0.144	14.71	1	1.29053	76.63	13.24
21	75.4523	0.384	17.27	1	1.25889	33.73	5.83
22	78.2241	0.576	4.43	0	1.22107	5.77	1

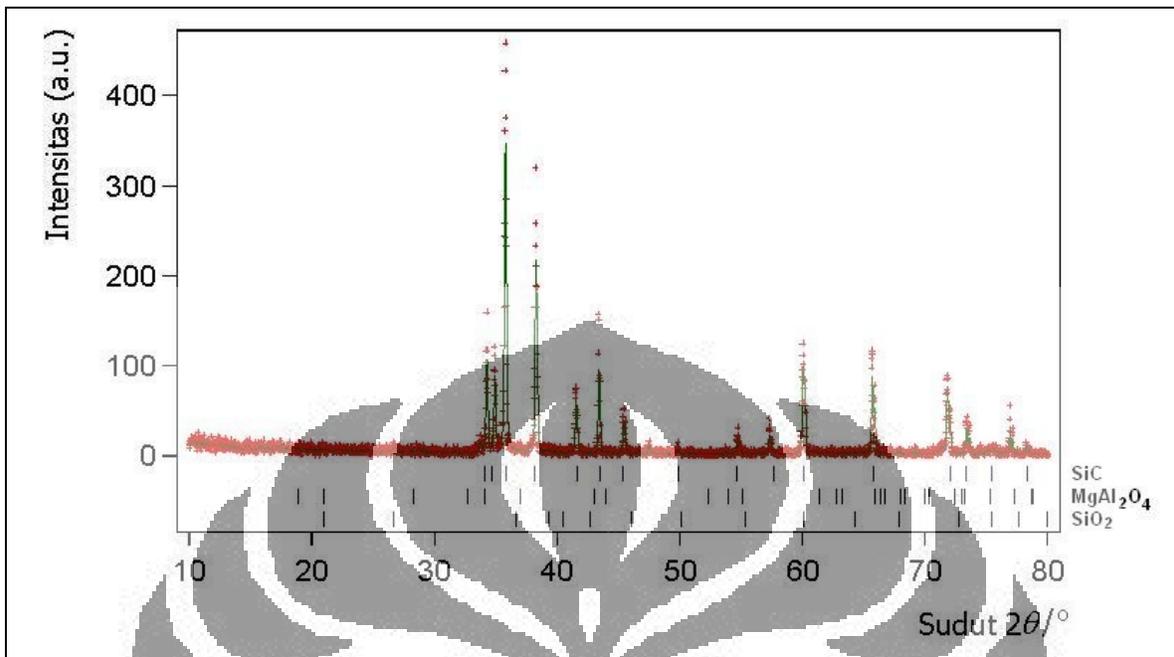
Profil difraksi sinar-x sampel S4-SiC  
*x-ray diffraction profile sample of S4-SiC*



Analisis peaks sample S4-SiC  
*Peaks analysis sample S4-SiC*

No.	Pos. [°2 $\theta$ .]	FWHM [°2 $\theta$ .]	Area [cts*°2 $\theta$ .]	Backgr. [cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	11.7208	0.9446	2.75	10	7.55043	2.95	0.22
2	26.7239	0.2362	2.52	4	3.33592	10.84	0.8
3	28.6753	0.1181	2.6	3	3.11319	22.33	1.64
4	33.6549	0.1181	1.7	2	2.66308	14.61	1.07
5	34.2107	0.1574	18.1	2	2.62108	116.57	8.57
6	34.8899	0.0984	4.05	2	2.5716	41.67	3.06
7	35.7677	0.1574	211.3	2	2.51047	1360.56	100
8	38.2542	0.1574	20.16	2	2.35283	129.83	9.54
9	40.2003	0.4723	2.72	2	2.2433	5.83	0.43
10	41.4874	0.2362	9.52	2	2.17663	40.88	3
11	43.3887	0.1968	2.85	2	2.08556	14.69	1.08
12	45.3251	0.1968	2.84	1	2.00086	14.63	1.08
13	49.7855	0.2755	4.61	1	1.83155	16.96	1.25
14	54.8074	0.2362	2.34	1	1.67501	10.05	0.74
15	56.2715	0.3149	1.5	1	1.63486	4.84	0.36
16	57.2914	0.1574	1.17	1	1.60816	7.54	0.55
17	59.9951	0.12	24.57	1	1.54071	153.57	11.29
18	60.1582	0.1181	36.41	1	1.5382	312.57	22.97
19	65.735	0.3149	24.42	1	1.42056	78.63	5.78
20	70.8633	0.1181	1.92	1	1.32982	16.52	1.21
21	71.7397	0.1181	12.26	1	1.31571	105.28	7.74
22	73.3917	0.1181	3.74	1	1.29013	32.13	2.36
23	75.5524	0.144	18.94	1	1.25747	98.66	7.25
24	75.7726	0.12	7.5	1	1.25748	46.86	3.44
25	78.2416	0.48	2.65	1	1.22084	4.15	0.3

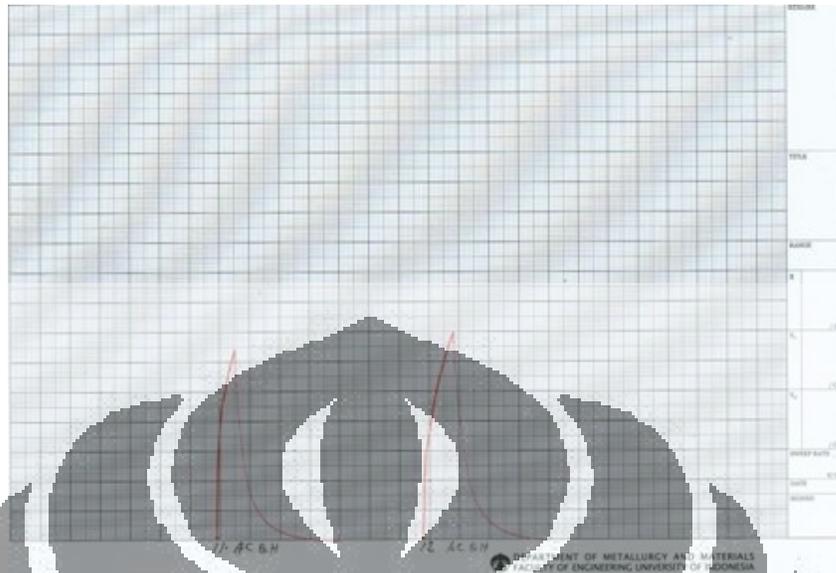
Profil difraksi sinar-x sampel S5-SiC  
*x-ray diffraction profile sample of S5-SiC*



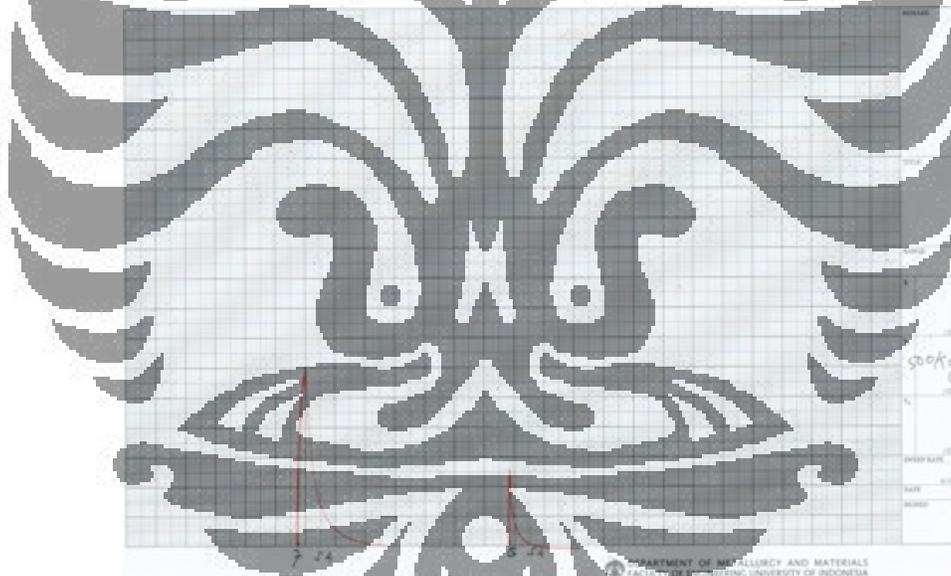
Analisis peaks sample S5-SiC  
*Peaks analysis sample S5-SiC*

No.	Pos. [°2Th.]	FWHM [°2Th.]	Area [cts°2Th.]	Backgr.[cts]	d-spacing [Å]	Height [cts]	Rel. Int. [%]
1	33.6925	0.1574	1.82	3	2.6602	11.75	2.84
2	34.2413	0.1181	14.1	3	2.61881	121.08	29.3
3	34.8839	0.1574	15.02	3	2.57203	96.68	23.39
4	35.7691	0.1574	64.19	3	2.51038	413.3	100
5	38.2524	0.1574	39.43	3	2.35293	253.87	61.43
6	41.5207	0.1968	12.81	2	2.17496	65.99	15.97
7	43.3796	0.2362	25.6	2	2.08597	109.87	26.58
8	45.3844	0.1968	8.86	2	1.99838	45.66	11.05
9	47.4626	0.2362	2.2	2	1.91562	9.42	2.28
10	54.7065	0.1968	4.83	2	1.67786	24.9	6.02
11	57.2627	0.1181	3.39	2	1.60889	29.13	7.05
12	60.0452	0.1181	12.11	2	1.54082	103.95	25.15
13	65.6573	0.0984	10.57	2	1.42206	108.94	26.36
14	71.7679	0.144	14.82	2	1.31418	77.17	18.67
15	72.0097	0.12	7.98	2	1.31361	49.9	12.07
16	73.3616	0.144	7.75	2	1.28951	40.36	9.77
17	75.5742	0.768	5.39	2	1.25716	5.26	1.27
18	76.9684	0.288	3.19	2	1.23783	8.3	2.01
19	78.2016	0.12	2.06	2	1.22137	12.88	3.12

## LAMPIRAN 4. DATA UJI TARIK



Gambar 4.1. Kuat Tarik AC8H



Gambar 4.2. Kuat Tarik Al/SiC

Tabel 4.1. Data Pengujian

No.	Kode Sampel	Dimensi sampel	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Panjang ukur (mm)	Pu (Kg)	$\Delta L$ (mm)	$\Sigma u$ (Kg/mm <sup>2</sup> )	e (%)
1.	AC8H	14.35	161.65	50	3200	1.5	19.8	3
2.	AC8H	14.35	161.65	50	3200	1.75	21.65	3.5
3.	Al/SiC	14.05	154.96	50	3025	1	19.52	2
4.	Al/SiC	14.35	161.65	50	1055	0.25	6.53	0.5

**LAMPIRAN 5. DATA UJI KEKERASAN**

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Kekerasan Brinell**

SAMPel	P (Kg)	D (mm)	Diameter Jejak						d rata-rata (mm)	BHN (kg/mm <sup>2</sup> )
			d1		d2		d3			
			x	y	x	y	x	y		
Al/SiC	31,25	3,2	0.658	0.647	0.625	0.634	0.63	0.634	0.638	96.82
AC8H	31,25	3,2	0.716	0.705	0.735	0.721	0.714	0.717	0.718	76.23

Dimana :

P = Beban yang diberikan (Kg)

D = Diameter indenter (mm)

d = Diameter jejak (mm)

BHN = Tingkat kekerasan brinell

**LAMPIRAN 6. DATA UJI AUS**

**Tabel 6.1. Hasil Pengujian Aus**

SAMPSEL	Lebar Celah Terabrasi				X (mm)	P(Kg)	V (m/s)	(W(mm <sup>3</sup> ))	LA (mm <sup>2</sup> )
	b1 (mm)	b2 (mm)	b3 (mm)	bavg (mm)					
Al/SiC	2.089	2.09	2.394	2.19	66600	6.32	0.94	0.175	2.63E-06
AC8H	3.177	3.559	3.711	3.482	66600	6.32	0.94	0.704	10.57E-06

Dengan :

P (beban) = 6,32 Kg

B (tebal cincin) = 3 mm

X (jarak luncur) = 66600 mm

V (kecepatan) = 0.94 m/s

R (jari-jari cincin) = 15 mm

**LAMPIRAN 7. DATA UJI POROSITAS**

**Tabel 7.1 Hasil Uji porositas**

SAMPEL	Berat Kering (gram)	Berat dalam Air (gram)	Density Air (gr/cm <sup>3</sup> )	Volume Sampel (cm <sup>3</sup> )	Densitas Sampel (gr/cm <sup>3</sup> )	Densitas Sampel avg (gr/mm <sup>3</sup> )	Densitas Teoritis (gr/mm <sup>3</sup> )	Porositas
Al/SiC	67,51	25,29	1	25,29	2,67	2,67	2,78	3,81
AC8H	20,45	7,54	1	7,54	2,712201592	2,696882063	2,7	0,001154791
	14,51	5,33	1	5,33	2,722326454			
	12,59	4,74	1	4,74	2,656118143			