



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH MAGNESIUM TERHADAP PROSES
ELECTROLESS PLATING PADA PARTIKEL PENGUAT Al_2O_3**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ANDHIKA INSAN ADIYATMA
0606074565**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Andhika Insan Adiyatma
NPM : 0606074565
Tanda Tangan :
Tanggal : 1 Juli 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Andhika Insan Adiyatma
NPM : 0606074565
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Magnesium Terhadap Proses
Electroless Plating Pada Partikel Penguat
 Al_2O_3

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia S., M.Sc. ()
Penguji 1 : Dr. Ir. Sutopo, M.Sc. ()
Penguji 2 : Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 1 Juli 2010

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi dan Material pada Fakultas Teknik universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai penyusunan skripsi ini, sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia S., M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. PT. A yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
3. Orang tua dan adik saya yang selalu menyayangi dengan setulus hati;
4. Harumi Samya yang selalu memberikan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Sahabat Kontrakan, Alm. Ari Azhari, Tri Sutrisno, Adidjaya Chandra, Indra Kusuma, dan Ghufran Mahfuzh yang selalu mengerjakan tugas bersama-sama; dan
6. Tatu Mas'udah, Maman Kartaman, dan Syukron Lutfi yang telah banyak memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu dalam pengerjaan skripsi ini dibalas oleh Allah SWT. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Depok, Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Andhika Insan Adiyatma
NPM : 0606074565
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

Pengaruh Magnesium Terhadap Proses *Electroless Plating* Pada Partikel Penguat Al₂O₃

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

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

(Andhika Insan Adiyatma)

ABSTRAK

Nama : Andhika Insan Adiyatma
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Pengaruh Magnesium Terhadap Proses *Electroless Plating*
Pada Partikel Penguat Al_2O_3

Proses *Electroless Plating* partikel Al_2O_3 dengan larutan elektrolit ($\text{HNO}_3+\text{Al}+\text{Mg}$) dapat meningkatkan *wettability* dari Al_2O_3 dengan membentuk fasa *spinel* (MgAl_2O_4). Pada penelitian ini dilakukan variasi penambahan magnesium dengan konsentrasi 0.002 mol, 0.004 mol, 0.006 mol, 0,008 mol, dan 0.012 mol dengan konsentrasi aluminium tetap 0.018 mol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan magnesium dengan konsentrasi 0,004 mol pada larutan *electroless plating* menghasilkan lapisan *spinel* tipis pada permukaan partikel Al_2O_3 secara merata. Al_2O_3 hasil proses *electroless plating* dijadikan bahan penguat untuk membuat *Aluminum Matrix Composite* (AMC) dengan volum fraksi 22,5%.

kata kunci:

electroless plating, Al_2O_3 , *wettability*, *spinel* (MgAl_2O_4), AMC

ABSTRACT

Name : Andhika Insan Adiyatma
Study Program : Metallurgy & Materials Engineering
Title : Influence of Magnesium to The Electroless Plating process on Al_2O_3 Reinforced Particles

Electroless plating process of Al_2O_3 particles with electrolyte solution ($\text{HNO}_3+\text{Al}+\text{Mg}$) could improve the wettability of the Al_2O_3 to form the spinel (MgAl_2O_4) phase. In this research, the addition of magnesium to the variation of concentration was 0.002 mol, 0.004 mol, 0.006 mol, 0.008 mol, and 0.012 mol with a fixed concentration of 0.018 mol of aluminum. It was shown that the addition of 0.004 mol of magnesium concentration in the electroless plating solution produce a thin layer of spinel on the surface of Al_2O_3 particles evenly. The Al_2O_3 plated, used as a reinforcement material for Aluminum Matrix Composite (AMC) with the volume fraction of 22.5%.

Keyword:

Electroless plating, Al_2O_3 , wettability, spinel (MgAl_2O_4), AMC

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan Penelitian	2
I.4. Batasan Penelitian	3
I.5. Sistematika penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 <i>Rekayasa Interface MMC</i>	6
II.1.1 Penambahan Elemen Magnesium	6
II.1.2 Perlakuan Panas Penguat Keramik	7
II.1.3 <i>Electroless Plating</i> Permukaan Keramik	7
II.2 <i>Interface dan Wettability</i> Komposit	9
II.2.1 <i>Interface</i> pada matriks dan penguat	9
II.2.2 <i>Wettability</i> pada matriks dan penguat	10
II.3 Komposit	12
II.3.1 <i>Metal Matrix Composite</i>	13
II.3.2 <i>Aluminum Matrix Composite</i>	15
II.3.3 Komposit Penguat Partikel	15
II.4 <i>Stir Casting</i>	16
II.5 Material	18
II.5.1 Aluminium	18
II.5.1.1 Paduan Aluminium Silikon	20
II.5.2 Alumina (Al_2O_3)	21
II.5.3 Magnesium	22
III. METODOLOGI PENELITIAN	23
III.1 Diagram Alir Penelitian	23
III.2 Alat & Bahan	24
III.2.1 Alat	24
III.2.2 Bahan	26
III.3 Proses <i>Electroless Plating</i> Al_2O_3	26

III.3.1 Pembuatan Larutan <i>Plating</i>	26
III.3.2 Proses Pelapisan Permukaan Al ₂ O ₃	27
III.4 Pembuatan Komposit Al/Al ₂ O ₃	27
III.5 Karakterisasi Material	29
III.5.1 Karakterisasi Al ₂ O ₃ hasil <i>electroless plating</i>	29
III.5.1.1 Pengujian SEM dan EDX	29
III.5.1.2 Pengujian XRD	29
III.5.2 Karakterisasi Komposit Al/Al ₂ O ₃	29
III.5.2.1 Pengujian Kekerasan	29
III.5.2.2 Pengujian Aus	30
III.5.2.3 Pengujian Tarik	31
III.5.2.4 Pengamatan Struktur Mikro	32
III.5.2.5 Pengujian densitas Porositas	32
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
IV.1 Karakterisasi Permukaan Partikel Al ₂ O ₃	34
IV.1.1 Analisa Bentuk dan Pkuran Partikel Al ₂ O ₃	34
IV.1.2 Analisa Elemen dan Fasa Permukaan Partikel Al ₂ O ₃	35
IV.2 Karakterisasi Permukaan Partikel Al ₂ O ₃ Hasil <i>Electroless Plating</i>	37
IV.2.1 Analisa Bentuk dan Ukuran Partikel Al ₂ O ₃	37
IV.2.2 Analisa Elemen dan Fasa Permukaan Partikel Al ₂ O ₃	38
IV.3 Karakterisasi Komposit Al-22,5%Al ₂ O ₃	42
IV.3.1 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al ₂ O ₃ Terhadap Kekerasan	42
IV.3.2 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al ₂ O ₃ Terhadap Keausan	43
IV.3.3 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al ₂ O ₃ Terhadap Kekuatan Tarik	44
IV.3.4 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al ₂ O ₃ Terhadap Porositas komposit Al/Al ₂ O ₃	45
IV.3.5 Pengamatan Struktur Mikro Komposit Al-22,5%Al ₂ O ₃	46
IV.3.6 Pengamatan SEM dan EDS Pada Komposit Al-22,5%Al ₂ O ₃	47
V. KESIMPULAN	48
VI. DAFTAR ACUAN	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sudut Kontak dan <i>Wettability</i>	11
Tabel 2.2 Penguat Pada MMC	14
Tabel 2.3 Aplikasi MMC pada bidang <i>aerospace</i>	15
Tabel 2.4 Sifat-sifat Logam Aluminium	19
Tabel 2.5 Penandaan Paduan <i>Cast-Aluminum</i>	20
Tabel 2.6 Sifat-sifat Alumina	22
Tabel 2.7 Sifat-sifat Magnesium	22
Tabel 3.1 Komposisi Kimia Padan AC8H <i>as-received</i>	28



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Mekanisme Pelapisan $MgAl_2O_4$ pada permukaan penguat Al_2O_3	8
Gambar 2.2	Ilustrasi Al_2O_3 yang terlapis $MgAl_2O_4$	9
Gambar 2.3	Hasil Foto SEM, (a) Daerah antar muka yang baik dan (b) Daerah antar muka yang buruk	10
Gambar 2.4	Pembasahan pada tiga jenis cairan yang berbeda	11
Gambar 2.5	Sudut kontak antara permukaan padatan dan cairan	12
Gambar 2.6	Klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat	13
Gambar 2.7	Pembuatan komposit dengan metode <i>stir casting</i>	18
Gambar 2.8	Diagram fasa Al-Si	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2	Proses Pelapisan Al_2O_3	24
Gambar 3.3	Alat Measuring Microscope	30
Gambar 3.4	Prinsip pengujian keausan metode Ogoshi	31
Gambar 4.1	Bentuk Partikel Al_2O_3	34
Gambar 4.2	Distribusi ukuran partikel Al_2O_3 ; (A) ukuran partikel Al_2O_3 (58,53-68,16 μm), (B) ukuran partikel Al_2O_3 (91,86-94,83 μm), (C) ukuran partikel Al_2O_3 (112,61-117,79 μm)	35
Gambar 4.3	Hasil pengujian EDS partikel Al_2O_3	36
Gambar 4.4	Hasil pengujian XRD partikel Al_2O_3	36
Gambar 4.5	Perbandingan bentuk Al_2O_3 yang telah dilakukan <i>electroless plating</i> (A) dan Al_2O_3 tanpa <i>electroless plating</i>	37
Gambar 4.6	Hasil pengujian EDS sampel Al_2O_3 hasil <i>electroless plating</i> dengan variasi penambahan Mg ; (A) 0,002 mol (B) 0,004 mol ; (C) 0,006 mol	39
Gambar 4.7	Hasil pengujian EDS sampel Al_2O_3 hasil <i>electroless Plating</i> dengan variasi penambahan Mg ; (D) 0,008 mol (E) 0,012 mol	40
Gambar 4.8	Hasil pengujian XRD partikel Al_2O_3 yang telah dilapisi: (a) 0,002 mol Mg (b) 0,004 mol Mg (c) 0,006 mol Mg (d) 0,008 mol Mg (e) 0,012 mol Mg	41
Gambar 4.9	Hasil pengujian XRD partikel Al_2O_3 (0,004 mol)	41
Gambar 4.10	Grafik kekerasan <i>brinell</i> komposit Al-22,5% Al_2O_3 dan material AC8H	42
Gambar 4.11	Grafik ketahanan aus komposit Al-22,5% Al_2O_3 dan material AC8H	43
Gambar 4.12	Grafik kekuatan tarik komposit Al-22,5% Al_2O_3 dan Material AC8H	44
Gambar 4.13	Grafik porositas komposit Al-22,5% Al_2O_3 dan material AC8H	45

Gambar 4.14 Struktur mikro ; (A) Material AC8H dengan perbesaran 100x, (B) Material AC8H dengan perbesaran 500x, (C) komposit Al-22,5%Al₂O₃ dengan perbesaran 100x, (D) komposit Al-22,5%Al₂O₃ dengan perbesaran 500x

46

Gambar 4.15 Hasil Foto SEM dan EDS komposit Al-22,5%Al₂O₃

47



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Foto SEM Partikel Al_2O_3 <i>as-received</i>	52
Lampiran B. Hasil EDS dan XRD Partikel Al_2O_3 <i>as-received</i>	53
Lampiran C. Hasil SEM dan EDS Partikel Al_2O_3 <i>plating</i>	54
Lampiran D. Data Uji Kekerasan	62
Lampiran E. Data Uji Keausan	63
Lampiran F. Data Uji Tarik	64
Lampiran G. Data Uji Porositas	65
Lampiran H. Hasil SEM dan EDS komposit Al-22,5% Al_2O_3	66



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin pesat memungkinkan terciptanya teknologi baru yang dapat mendukung kehidupan manusia. Seiring dengan kemajuan teknologi tersebut dibutuhkan material yang tidak hanya memiliki sifat mekanis yang baik, tetapi juga memiliki keunggulan lain yakni murah dan ringan sehingga didapatkan kualitas kerja yang maksimal.

Dalam perkembangannya diperlukan material dengan karakteristik tertentu yang tidak dapat dipenuhi oleh material-material *monolith* berbasis logam, keramik atau polimer. Sifat seperti ini dapat diperoleh dengan mengkombinasikan beberapa jenis material *monolith* tersebut, sehingga dikembangkanlah material komposit. Komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbeda menjadi suatu material baru yang memiliki karakteristik yang lebih unggul dibandingkan dengan sifat material dasar penyusunnya^[1].

Penggunaan material komposit pada produk otomotif akan dapat mengurangi bobot namun memiliki sifat mekanis yang lebih baik, sehingga performa produk tersebut dapat meningkat dan juga dapat mengurangi konsumsi bahan bakar. Salah satunya adalah *Aluminum Matrix Composite* (AMC).

AMC adalah komposit dengan matriks aluminium yang dikombinasikan dengan penguat berupa material yang berbasis keramik untuk meningkatkan *properties* dari material tersebut^[2]. AMC memiliki sifat *tailorability*, sehingga sifat mekanik yang diinginkan dapat diatur tergantung dari kombinasi matriks, penguat dan *interface*. Material berbasis keramik yang sering digunakan sebagai penguat pada AMC adalah SiC dan Al₂O₃. Material Al₂O₃ merupakan salah satu material keramik yang sangat penting, karena memiliki banyak kegunaan^[3].

Pembuatan AMC memiliki kendala yang cukup signifikan terutama dalam aspek *wettability* material pembentuknya. Salah satu metode untuk meningkatkan *wettability* antara penguat (Al₂O₃) terhadap matriks (Al) adalah metode *electroless plating*. Metode *electroless plating* pada permukaan partikel Al₂O₃ adalah dengan

cara mendeposisikan logam pada sebuah substrat dengan media larutan polar sebagai agen pereduksinya.

Pada awalnya AMC digunakan untuk keperluan pertahanan dan industri pesawat terbang, namun kini aplikasi-aplikasi dalam bidang otomotif telah menggunakan material ini untuk mengurangi bobot kendaraan^[2]. Sebagai contoh, AMC telah digunakan untuk *rotor, brake drum, dan driveshaft*.

Perkembangan teknologi yang sangat cepat mendorong terciptanya berbagai macam metode pengecoran (*casting*), salah satunya adalah *stir casting*. *Stir casting* merupakan metode fabrikasi fasa cair yang berbiaya rendah (murah) jika dibandingkan dengan metode fabrikasi yang lain^[4]. Proses ini dapat meminimalisir terjadinya *cluster-cluster* partikel penguat selama proses pengecoran karena dilakukan proses pengadukan (*stirring*). Dengan melakukan modifikasi *stir casting* konvensional, kekuatan dari AMC yang dihasilkan khususnya kekuatan tarik dapat diperbandingkan dengan berbagai metode fabrikasi yang lainnya^[5].

Pada penelitian ini, akan dianalisa pengaruh persen berat Mg terhadap proses *electroless plating* pada permukaan partikel Al_2O_3 . Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian SEM, XRD, HRSEM untuk mengkarakterisasi partikel Al_2O_3 hasil *plating* serta dilakukan pengujian tarik, kekerasan, aus serta pengamatan struktur mikro untuk mengkarakterisasi material komposit.

I.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama pada pembuatan material komposit yang diperkuat dengan material keramik adalah *wettability* yang rendah antar material yang dipadukan. Berbagai macam metode telah dikembangkan untuk meningkatkan kebasahan dengan merekayasa permukaan dari material keramik^[6].

Hal diatas dapat terjadi pula pada pembuatan AMC yang diperkuat dengan Al_2O_3 . Tingkat *wettability* yang rendah menjadi masalah utama yang terjadi dalam memadukan kedua jenis material tersebut. Untuk itulah ditambahkan Mg sebagai *wetting agent*^[7] untuk melapisi Al_2O_3 agar memiliki kualitas ikatan *interface* yang lebih baik. Sehingga terdapat ikatan yang kuat antara matriks (Al) dan penguatnya (Al_2O_3).

Interface antara matriks dan penguat akan sangat mempengaruhi sifat akhir dari komposit yang dibentuk^[8], baik sifat fisik maupun mekanik. *Interface* merupakan suatu media yang terdapat pada komposit yang berfungsi untuk mentransfer beban antara matriks dan penguatnya.

Mengingat pentingnya aspek tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan variasi penambahan magnesium melalui proses *electroless plating* untuk mendapatkan *interface* yang baik sehingga meningkatkan sifat mekanis dari AMC. Kemudian untuk menghindari terjadinya *cluster-cluster* penguat dalam matriks alumunium pada saat proses casting, maka digunakan metode *stir casting* untuk meminimalisir terjadinya *cluster-cluster* Al₂O₃ pada matriks alumunium.

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mempelajari variasi penambahan magnesium pada *electroless plating* Al₂O₃.
2. Menganalisa partikel Al₂O₃ hasil *electroless plating* dengan XRD, SEM/EDS dan HRSEM
3. Meningkatkan *wettability* antara matriks aluminum dengan penguat Al₂O₃ pada proses pembuatan komposit.
4. Membuat produk komposit Al/Al₂O₃ dengan menggunakan metode *stir casting* dengan penguat Al₂O₃ hasil *plating* dengan kandungan Mg terbaik.

I.4 Batasan Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah :

1. Bahan baku yang digunakan adalah sebagai berikut :
 - Material serbuk Alumina (Al₂O₃), sebagai penguat
 - Material Aluminum AC8H, sebagai matriks
 - HNO₃ 65% sebagai media larutan polar
 - Serbuk Al dan Mg, sebagai logam pelapis alumina
2. Proses *electroless plating* 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 plating* (HNO₃ 65% 40 ml + serbuk aluminum 0.5 gr).

3. Karakterisasi yang dilakukan terhadap serbuk Al_2O_3 hasil proses *electroless plating*, yaitu :
 - Pengamatan struktur mikro serbuk Al_2O_3 hasil *plating* dengan SEM
 - Pengamatan kuantitatif dengan menggunakan EDS
 - Pengamatan fasa yang terbentuk dengan menggunakan XRD
4. Proses yang digunakan untuk pembuatan komposit menggunakan metode *stir casting* dengan penguat serbuk Al_2O_3 hasil *plating* dengan kandungan Mg terbaik.
5. Karakterisasi yang dilakukan terhadap komposit Al/ Al_2O_3 , yaitu :
 - Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM
 - Pengamatan kuantitatif dengan menggunakan EDS
 - Pengujian kekerasan
 - Pengujian aus
 - Pengujian tarik
 - Pengujian densitas dan porositas

I.5 Sistematika Penulisan

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

Bab I Pendahuluan

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

Bab II Tinjauan Pustaka

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

Bab III Metodologi Penelitian

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

Bab IV Data dan Pembahasan

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

Bab V Kesimpulan

Berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

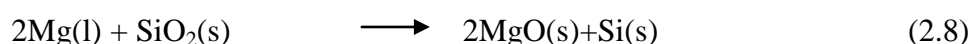
II.1 Rekayasa pada *Interface* MMC

Kombinasi dari dua material yang berbeda sifat dan jenisnya karena adanya ikatan permukaan antara keduanya merupakan syarat mutlak sebagai material komposit. Masalah utama pada pembuatan material komposit adalah interaksi antar muka antara matriks dan penguatnya, yang biasanya memiliki tingkat kemampuan pembasahan yang rendah. Untuk meningkatkan *wettability* pada MMC dapat dilakukan beberapa metode rekayasa, diantaranya adalah :

- Penambahan elemen Magnesium
- Perlakuan panas pada penguat keramik
- *Electroless plating* permukaan keramik

II.1.1 Penambahan Elemen Magnesium

Penambahan paduan pada pembuatan MMC dengan penguat keramik dapat meningkatkan *wettability* dan daya lekat antara matriks dan penguatnya. Penambahan elemen Magnesium pada pembuatan komposit Al-Al₂O₃ dengan metode cair dapat meningkatkan *wettability* antara matriks dan penguat akibat terbentuknya fasa *spinel* MgAl₂O₄ dan MgO pada daerah antar muka. Fasa *spinel* tersebut dapat mereduksi tegangan permukaan antara matriks dan penguat sehingga dapat meningkatkan daya lekat antara keduanya. Reaksi kimia pada Al-Mg/Al₂O₃ dalam pembentukan fasa MgAl₂O₄ dan MgO sebagai berikut^[9] :



II.1.2 Perlakuan Panas Penguat Keramik

Salah satu cara untuk meningkatkan *wettability* pada MMC adalah dengan melakukan pemanasan pada material keramik. Pada pembuatan komposit Al-SiC_p, mula-mula partikel SiC dilakukan pemanasan pada temperatur tinggi agar pada permukaan partikel tersebut terbentuk SiO₂. Lapisan tersebut dapat mencegah terbentuknya fasa aluminium karbida, sehingga daya ikat antara matriks dan penguat dapat meningkat^[6].

II.1.3 *Electroless Plating* Permukaan Keramik

Rekayasa permukaan yang lain adalah dengan melakukan pelapisan material logam pada penguat keramik (SiC dan Al₂O₃). Pelapisan dengan elemen Ni^[10], Ag^[11] dan Cu^[12] dapat meningkatkan kekuatan ikatan *interface* komposit yang ditunjukkan dengan meningkatnya sifat mekanik. Pelapisan penguat dengan elemen Cu dan Ni membutuhkan biaya yang cukup besar, karena itulah pelapisan penguat partikel dengan larutan *electroless plating* seperti yang dilakukan oleh Zainuri^[6] menjadi acuan dalam perlakuan rekayasa partikel penguat pada penelitian ini.

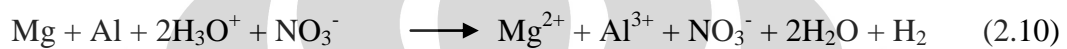
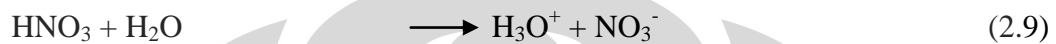
Interface memainkan peranan penting terhadap sifat-sifat MMC. *Interface* dapat berupa ikatan atom sederhana, reaksi antar matriks, atau penguatan pada pelapisan. *Interface* yang lemah akan menyebabkan terjadinya perambatan retak pada permukaan. Untuk meningkatkan kekuatan *interface*, dapat dilakukan rekayasa pada permukaan partikel penguat dengan metode *electroless plating*.

Electroless plating merupakan suatu metode pelapisan dengan cara mendeposisikan logam pada sebuah substrat dengan menggunakan media larutan polar sebagai agen pereduksinya dan menghasilkan lapisan oksida tipis yang berperan sebagai pengikat. Selain berfungsi untuk meningkatkan kemampuan *wettability*, penggunaan metode *electroless plating* pada partikel penguat dapat mengurangi penggumpalan. Kelebihan dari proses *electroless plating* antara lain :

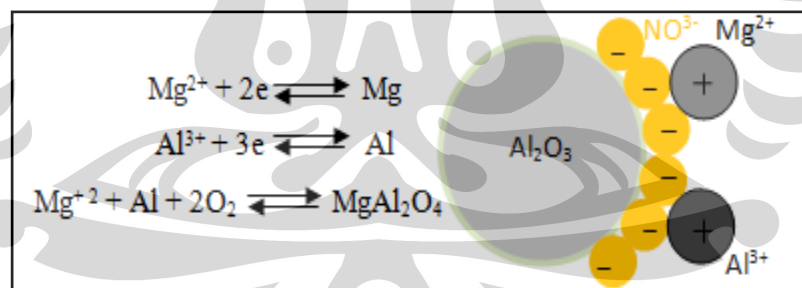
- Biaya cukup murah
- Penggunaan pada temperature rendah
- Mengurangi terjadinya oksidasi pada substrat
- Prosesnya tidak bergantung pada geometri specimen substrat

Metode *electroless plating* dapat digunakan untuk melapisi partikel keramik yang sulit dibasahi oleh logam aluminium sehingga sifat kemampuan pembasahannya dapat ditingkatkan. Rekayasa ini dilakukan agar pada permukaan partikel keramik terbentuk lapisan logam oksida yang berikatan dengan logam aluminium.

Electroless plating yang dilakukan pada partikel penguat menghasilkan lapisan *spinel* (MgAl_2O_4). Lapisan MgAl_2O_4 dibuat dengan cara melarutkan serbuk Mg dan Al ke dalam larutan polar HNO_3 . Reaksi yang terjadi adalah :

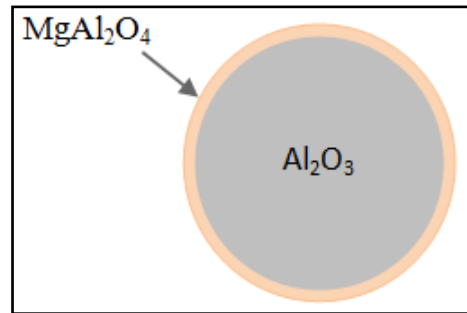


Partikel penguat Al_2O_3 dimasukkan ke dalam larutan elektrolit dengan ion Mg^{2+} dan Al^{3+} yang bergerak bebas untuk dilakukan pendeposisian pada permukaan partikel. Partikel Al_2O_3 yang bersifat *inert* tidak bereaksi atau larut dalam larutan asam maupun alkali kemudian akan termuati oleh sisa asam NO_3^- . Hal ini akan mengakibatkan terjadinya gaya elektrostatik antar ion Mg^{2+} , Al^{3+} dan Al_2O_3 yang telah termuati, seperti yang diperlihatkan gambar 2.1.



Gambar 2.1. Mekanisme pelapisan MgAl_2O_4 pada permukaan penguat Al_2O_3

Partikel Al_2O_3 kemudian terlapisi oleh lapisan *spinel* MgAl_2O_4 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Ilustrasi Al_2O_3 yang terlapis MgAl_2O_4

II.2 Daerah Antar Muka (*interface*) dan Kemampuan Pembasahan (*Wettability*) Pada Komposit

II.2.1 *Interface* pada Matriks dan Penguat

Interface merupakan suatu daerah antara matriks dan penguat yang berfungsi untuk mentransfer beban dari matriks ke penguat^[13]. Daerah ini sangat berpengaruh terhadap sifat dari komposit yang dibentuk sehingga harus tercipta ikatan yang baik yang memungkinkan transfer beban dari matriks ke penguat. Apabila *interface* yang terbentuk antara matriks dan penguat buruk maka kekuatan mekanisnya pun akan rendah seperti terlihat pada gambar 2.3. Beberapa jenis ikatan yang mungkin terjadi pada *interfacial bonding* antara lain :

1. Ikatan Mekanik (*Mechanical Bonding*)

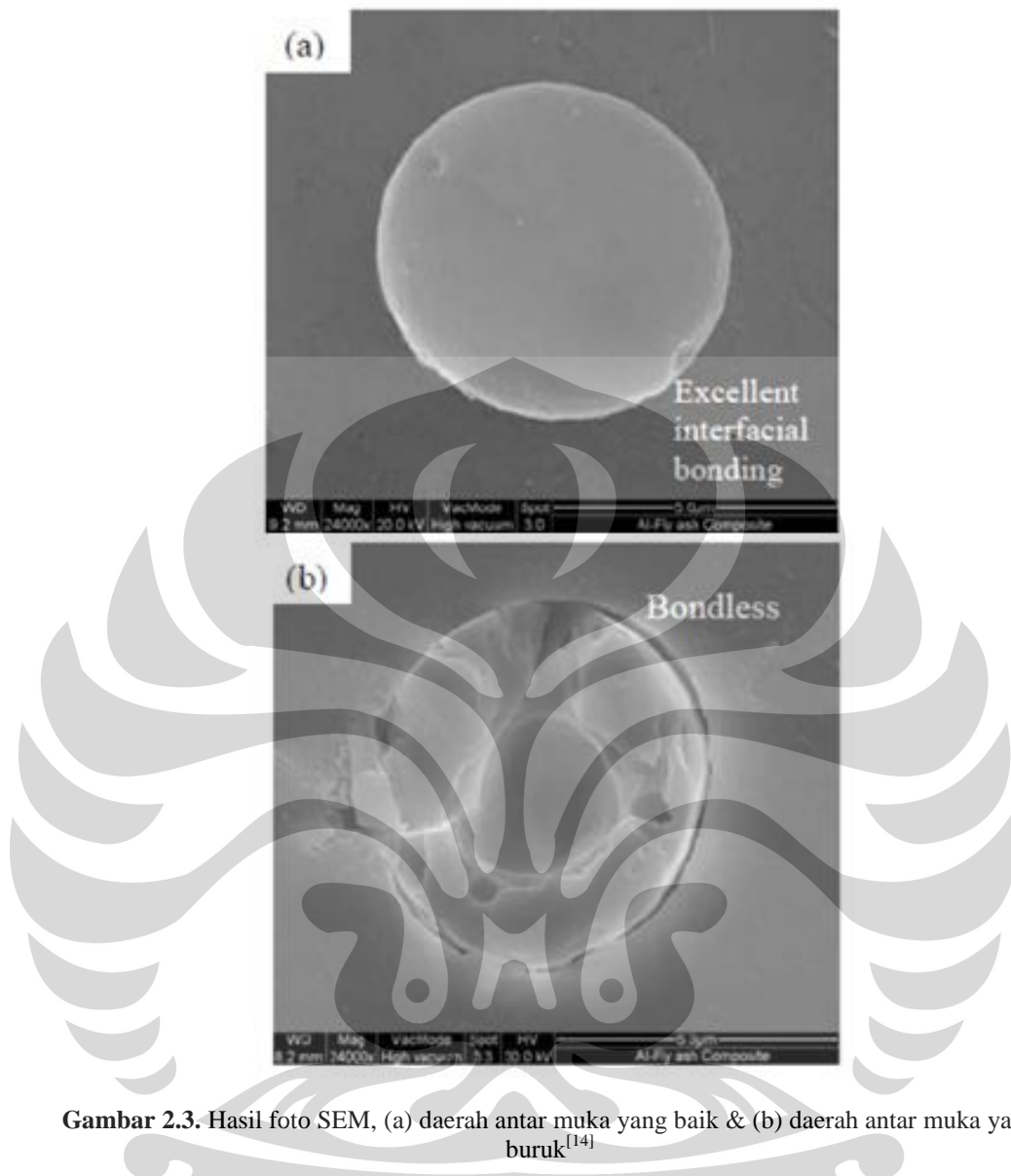
Mekanisme penguncian (*interlocking*) antara dua permukaan, matriks dan penguat. Permukaan yang kasar dapat menyebabkan *interlocking* terjadi semakin banyak dan ikatan mekanik menjadi lebih efektif. Ikatan menjadi efektif jika beban yang diberikan paralel terhadap daerah antar muka.

2. Ikatan Elektrostatis (*Electrostatic Bonding*)

Proses tarik-menarik antara permukaan yang berbeda tingkat kelistrikkannya dan terjadi pada skala atomic. Efektivitas ikatan ini akan menurun jika ada kontaminasi dan keberadaan gas yang terperangkap.

3. Ikatan kimia (*Chemical bonding*)

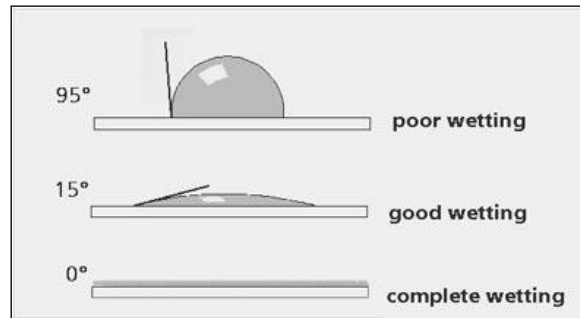
Ikatan yang dibentuk oleh grup yang bersifat kimiawi pada permukaan matriks dan penguat. Ikatan ini dapat terbentuk karena adanya *wetting agent*.



Gambar 2.3. Hasil foto SEM, (a) daerah antar muka yang baik & (b) daerah antar muka yang buruk^[14]

II.2.2 *Wettability* pada Matriks dan Penguat

Wettability adalah kemampuan cairan untuk tersebar merata ke permukaan suatu padatan yang dihasilkan dari interaksi antar molekul ketika keduanya terbawa secara bersamaan. Derajat pembasahan dijelaskan dengan sudut kontak (*contact angle*), yaitu sudut antar muka fasa *liquid-gas* bertemu dengan antarmuka fasa *solid-liquid*. Pembasahan dapat dikatakan baik apabila cairan dapat menyebar di seluruh permukaan padatan seperti yang tertera pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Pembasahan pada tiga jenis cairan yang berbeda^[15]

Sudut kontak dengan besar lebih atau sama dengan 90° memiliki karakteristik permukaan yang tidak membasahi (*non-wettable*), sedangkan sudut kontak dengan besar kurang dari 90° bersifat membasahi (*wettable*). Pembasahan juga berperan penting dalam ikatan daya lekat antar material (*adherence*). Keterangan lebih lengkap dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sudut kontak dan kemampuan pembasahan^[16]

Contact Angle	Degree of Wetting	Strength of :	
		S/L Interactions	L/L Interactions
$\theta = 0^\circ$	Perfect wetting	Strong	Weak
$0^\circ < \theta < 90^\circ$	High wettability	Strong	Strong
$90^\circ \leq \theta < 180^\circ$	Low wettability	Weak	Weak
$\theta = 180^\circ$	Perfectly non-wetting	Weak	Strong

Kesetimbangan energi pada gambar 2.5 dapat dijelaskan dalam persamaan Young, yaitu :

$$\gamma_{SG} = \gamma_{SL} + \gamma_{LG} \cos \theta \quad (2.11)$$

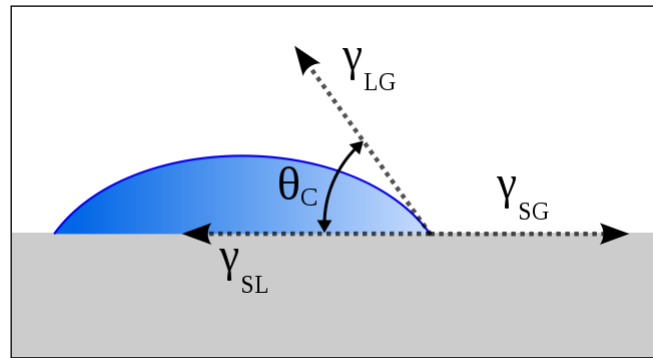
Dimana :

γ_{SG} = tegangan permukaan *solid-gas*

γ_{SL} = tegangan permukaan *solid-liquid*

γ_{LG} = tegangan permukaan *liquid-gas*

θ = sudut kontak



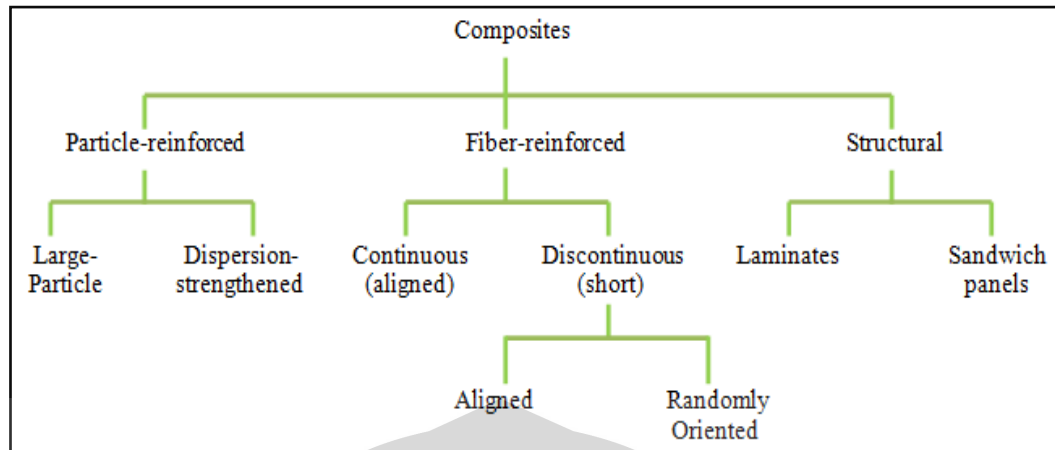
Gambar 2.5. Sudut kontak antara permukaan padatan dan cairan^[16]

Dengan menggunakan persamaan Young, maka nilai sudut kontak (θ) $< 90^\circ$ akan menghasilkan nilai $\cos \theta$ yang semakin besar (mendekati 1), sehingga nilai tegangan permukaan *liquid-gas* (γ_{LG}) dijumlah dengan nilai tegangan permukaan *solid-liquid* (γ_{SL}) akan bernilai sama dengan nilai tegangan permukaan *solid-gas* (γ_{SG}). Hal ini menandakan terjadi pembasahan antara permukaan fasa *liquid* dan fasa *solid* pada sudut kontak (θ) $< 90^\circ$. Kondisi pembasahan sempurna didapatkan jika sudut kontak (θ) $= 0^\circ$. Kemampuan pembasahan yang baik berarti bahwa cairan akan menyebar pada permukaan padatan dan menutupi seluruh permukaan padatan.

II.3 Komposit

Material komposit merupakan perpaduan makroskopis dari sekurang-kurangnya dua komponen yang berbeda untuk mendapatkan karakteristik yang lebih baik dari masing-masing komponen penyusunnya^[1,17].

Material komposit terdiri dari dua fasa yaitu matriks dan penguat. Matriks merupakan fasa dalam komposit yang mempunyai fraksi volume dominan yang berfungsi sebagai media transfer beban, sedangkan penguat merupakan fasa dalam komposit yang umumnya jauh lebih kuat dari matriks dan berfungsi untuk meningkatkan sifat-sifat mekanis dari komposit. Material komposit berdasarkan jenis penguatnya dibagi menjadi 3 macam, yaitu komposit dengan penguat partikel, fiber, dan struktural, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.6. klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguat^[17]

Berdasarkan sifat dari penguatnya, komposit dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Komposit isotropik, merupakan komposit yang penguatnya memberikan efek penguatan yang sama untuk arah transversal dan longitudinal sehingga pengaruh tegangan dan regangan dari luar akan memiliki penguatan yang sama.
2. Komposit anisotropik, merupakan komposit yang penguatnya memberikan efek penguatan yang berbeda untuk arah transversal dan longitudinal.

Berdasarkan jenis matriksnya, komposit dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. *Metal Matrix Composite*, komposit dengan logam sebagai matriksnya.
2. *Polimer Matrix Composite*, komposit dengan polimer sebagai matriksnya.
3. *Ceramic Matrix Composite*, komposit dengan keramik sebagai matriksnya.

II.3.1 *Metal Matrix Composite*

Metal Matrix Composite (MMC) merupakan komposit dengan logam sebagai matriksnya. Pada MMC, kombinasi yang terjadi dapat berupa material logam dengan penguat berupa logam (*lead, tungsten, molybdenum*) maupun dengan penguat berupa keramik (senyawa oksida, karbida dan nitrida).

Penguat merupakan fasa lain penyusun MMC yang memiliki fraksi volume yang lebih rendah dibandingkan dengan matriks. Penguat pada MMC berdasarkan aspek rasio panjang dan diameter terbagi atas tiga jenis, yaitu penguat *fiber, short fiber* dan partikel. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Penguat pada MMC^[18]

Type	Aspect Ratio	Diameter, μm	Examples
Particle	1-4	1-25	SiC, Al ₂ O ₃ , BN, B ₄ C, WC
Short Fiber or Whisker	10-10000	1-5	C, SiC, Al ₂ O ₃ , SiO ₂
Continuous Fiber	>10000	3-150	SiC, Al ₂ O ₃ , C, B, W, Nb-Ti, Nb ₃ Sn

Matriks pada MMC dapat berupa paduan aluminium (AMC), paduan magnesium, paduan titanium, dan juga paduan tembaga^[17]. Masing-masing jenis MMC memiliki kelebihan yang berbeda-beda dan digunakan pada aplikasi yang berbeda-beda pula. MMC memiliki keunggulan dibandingkan dengan logam *monolith* karena MMC dapat memiliki *properties* yang diinginkan, seperti peningkatan kekuatan (*strength*) dengan berat yang lebih rendah. Beberapa keunggulan MMC dibandingkan dengan logam *monolith*, yaitu :

1. Kombinasi kekuatan dan modulus yang baik.
2. Berat jenis cenderung lebih rendah.
3. Rasio kekerasan dengan berat dan modulus dengan berat lebih baik dari logam.
4. Nilai koefisien muai panasnya lebih rendah dibandingkan logam.
5. Memiliki *internal damping* yang tinggi.
6. Kekuatan fatik cukup baik.
7. Konduktivitas panas dan listrik baik.

Aplikasi MMC mencakup berbagai bidang seperti aplikasi *aerospace* dan *non-aerospace*. Dalam aplikasi *aerospace*, aluminium banyak digunakan sebagai matriks karena lebih ditekankan untuk mengurangi bobot dan juga untuk meningkatkan ketahanan pada temperatur tinggi seperti yang terlihat pada tabel 2.3.

Pada aplikasi *non-aerospace*, MMC lebih ditekankan kepada *cost* dan *performance*^[19]. MMC banyak digunakan pada industri otomotif, misalnya *cylinder liners*, *brake rotors*, *drums*, *driveshaft*, *engine block*, *valves* dan masih banyak lagi.

Tabel 2.3. Aplikasi MMC pada bidang *aerospace*^[20]

Fiber	Matrix	Potensial Aplikasi
Graphite	Aluminum	Satellite, missile, helicopter structure
	Magnesium	Space and satellite structure
	Lead	Storage-battery plates
	Copper	Electrical contacts and bearings
Boron	Aluminum	Compressor blades and structural supports
	Magnesium	Antenna structures
	Titanium	Jet engine fan blades
Borsic	Aluminum	Jet engine fan blades
	Titanium	High-temperature structures and fan blades
Alumina	Aluminum	Transmission housings
	Magnesium	Helicopter transmission structure
Silicon carbide	Aluminum, Titanium	High-temperature structures
	Superalloy (cobalt-based)	High-temperature engine components
	Superalloy	High-temperature engine components
Molybdenum, Tungsten	Superalloy	High-temperature engine components

Data from Kelly (1998).

II.3.2 *Aluminum Matrix Composite*

Aluminum merupakan matriks yang umum digunakan sebagai MMC. Aluminum merupakan logam yang banyak digunakan pada industri manufaktur. Aluminum umum digunakan sebagai matriks pada MMC dikarenakan sifatnya yang ringan dan mudah di kombinasikan dengan unsur paduan lain untuk mengatur sifat-sifat yang dimilikinya. Keramik ditambahkan pada paduan aluminum untuk meningkatkan kekuatan dan modulus elastisitasnya sehingga dengan keunggulan tersebut, material AMC sangat potensial untuk dikembangkan sebagai material pengganti besi dan baja dalam aplikasi industri transportasi, khususnya industri otomotif.

II.3.3 *Komposit Penguat Partikel*

Komposit dengan penguat partikel sangat umum digunakan untuk berbagai macam aplikasi industri. Komposit ini menghasilkan sifat-sifat material yang sangat menarik dengan rentang yang luas, baik sifat mekanik maupun sifat fisik, yang tidak dapat dihasilkan dari suatu logam paduan konvensional. Sifat-sifat ini dihasilkan dari interaksi antara matriks logam dengan penguatnya.

MMC dengan penguat partikel mulai mendapat perhatian dari dunia industri otomotif dibandingkan dengan MMC dengan penguat *fiber continuous* karena memiliki *specific strength* dan *stiffness* yang tinggi, ketahanan aus yang baik, koefisien ekspansi termal rendah, mudah dalam permesinan dan memiliki sifat mekanik yang isotropik^[21]. MMC dengan penguat partikel juga dapat difabrikasi menggunakan teknik metalurgi konvensional seperti *powder metallurgy* dan *casting*.

Pada komposit dengan penguat partikel, penguat meningkatkan kekuatan dari matriks logam dengan adanya transfer beban dari matriks ke penguatnya dan meningkatkan kepadatan dislokasi. Interaksi antara penguat partikel dan matriks logam memainkan peranan penting dalam meningkatkan sifat-sifat material. Sifat-sifat material komposit dapat diatur (*tailorable*) untuk mendapatkan persyaratan dari suatu aplikasi rekayasa dengan memilih jenis partikel penguat dan melakukan variasi jumlah penguat yang dimasukkan ke dalam matriks logam. Peningkatan volume penguat pada komposit dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik, seperti *elastic modulus*, *ultimate strength*, *yield strength*, dan pada kasus tertentu dapat menurunkan *density* dari komposit. Peningkatan volume penguat juga akan menurunkan keuletan dan *fracture toughness* dari komposit.

Dalam pemilihan partikel penguat pada MMC, ditekankan kepada bentuk partikel, metode pembuatan komposit, biaya dan aplikasi komposit. Berdasarkan pada hal-hal tersebut, partikel yang umum digunakan adalah SiC dan Al₂O₃. Partikel tersebut digunakan karena memiliki kekuatan yang tinggi serta *cost effective*^[2].

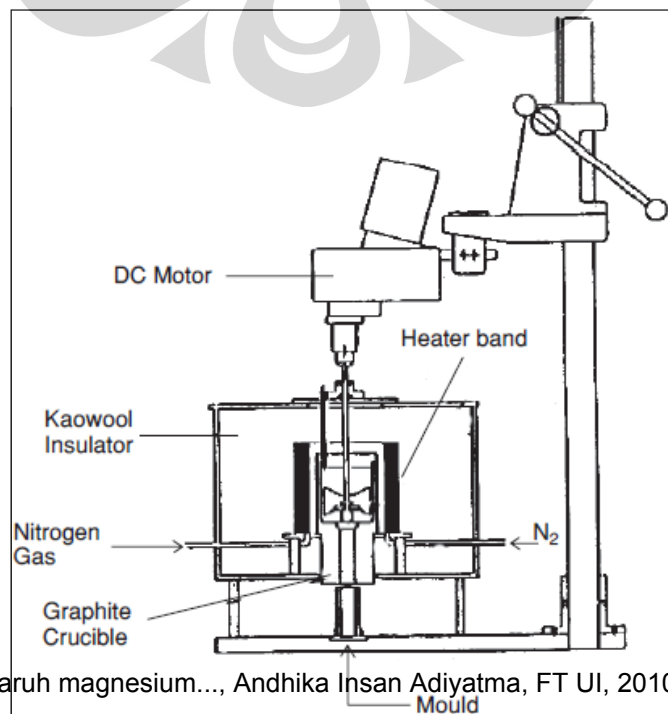
II.4 *Stir Casting*

Stir casting merupakan salah satu metode pembuatan komposit dengan melakukan pengadukan pada logam yang berfungsi sebagai matriks diatas temperatur leburnya kemudian dituang ke dalam cetakan. Pada proses ini partikel penguat dimasukkan ke dalam logam cair, kemudian dilakukan pengadukan dengan menggunakan batang pengaduk (*impeller*), kemudian dituang ke dalam suatu cetakan. Keuntungan dari proses ini yaitu mampu menggabungkan partikel penguat oleh adanya gaya pengadukan secara mekanik yang menyebabkan partikel paduan terperangkap dalam logam cair^[22].

Pembuatan komposit MMCs dimulai dengan peleburan matriks aluminium dengan memanaskannya pada temperatur tertentu. Setelah peleburan, *degassing* dilakukan agar pengotor dapat diambil dari leburan aluminium. Proses *degassing* sangat penting dilakukan dalam peleburan aluminium, karena hidrogen sangat mudah larut dalam aluminium cair khususnya pada temperatur tinggi yang menghasilkan lapisan Al_2O_3 . *Degassing* dapat dilakukan dengan menggunakan *plugging degasser* maupun dengan injeksi gas. Setelah peleburan aluminium, kemudian mencampurkan partikel penguat keramik dalam lelehan. Proses pengadukan dilakukan untuk menggabungkan partikel penguat yang tidak dibasahi oleh lelehan logam dan mendapatkan distribusi partikel yang merata.

Proses pengadukan dilakukan untuk pembuatan komposit aluminium dengan penguat berupa partikel. Pengadukan dilakukan karena perbedaan massa jenis antara partikel penguat dengan matriks aluminium, dimana massa jenis Al_2O_3 yaitu $3,96 \text{ gr/cm}^3$ lebih besar dibandingkan dengan massa jenis Al yang berada pada kisaran $2,7 \text{ gr/cm}^3$, sehingga partikel akan mengendap pada bagian bawah *crucible*. Oleh karena itu dilakukan pengadukan agar penyebaran Al_2O_3 merata dalam matriksnya. Pengaduk yang digunakan diusahakan tidak ikut bereaksi serta dilakukan *coating* dan *preheating* untuk menghindari keberadaan gas hydrogen yang dapat menyebabkan adanya porositas setelah solidifikasi.

Pengadukan dilakukan dengan kecepatan lambat untuk mencegah terperangkapnya gas dan juga jangan memecahkan permukaan terlalu sering karena dapat mengkontaminasi leburan dengan *dross*. Macam-macam bentuk pengaduk dan konstruksi dari *stir casting* dapat dilihat pada gambar 2.7 berikut ini :



sitas Indonesia



Gambar 2.7. Pembuatan komposit dengan metode *stir casting* ^[5]

Komposit dengan penguat partikel keramik dapat dituang dengan berbagai macam metode *casting* seperti : *gravity casting*, *die casting*, *centrifugal casting*, atau *squeeze casting*. Partikel penguat cenderung mengambang diatas leburan atau berada pada dasar leburan karena adanya perbedaan berat jenis antara partikel keramik dengan matriks Al, sehingga pemilihan teknik *casting* secara hati-hati merupakan hal penting dalam mendapatkan distribusi penguatan yang seragam dalam MMC.

II.5 Material

II.5.1 Aluminum

Aluminum merupakan logam *non-ferrous* yang paling banyak digunakan, atau berada dibawah besi dan baja secara keseluruhan. Aluminum ditemukan oleh Sir Humphrey Davy pada tahun 1809 sebagai unsur dan kemudian direduksi pertama kali sebagai logam oleh H.C Oersted, dan kemudian Hall dan Heroult berhasil memisahkan logam aluminum dan alumina. Proses Hall-Heroult sampai saat ini masih digunakan untuk memproduksi aluminum.

Aluminum banyak digunakan pada aplikasi industri, khususnya industri manufaktur, karena aluminum merupakan jenis logam ringan, sangat mudah dikombinasikan dengan unsur lain (*alloying*) untuk menghasilkan karakteristik

tertentu, seperti sifat mekanis, sifat mampu mesin (*machinability*), ketahanan korosi, sifat mampu cor (*castability*), dan ketahanan terhadap *hot tear*.

Aluminum secara garis besar digolongkan dalam dua kategori yaitu *wrought aluminum* dan *cast aluminum*. Kedua kategori tersebut dapat dibagi lagi menjadi kategori yang dapat di *heat treatment* dan dapat di *work hardening*. Pada *wrought aluminum* dan *cast aluminum* sifat-sifatnya ditentukan oleh unsur-unsur paduan yang ada pada aluminium tersebut. Unsur-unsur tersebut diantaranya adalah :

- Unsur paduan utama, didefinisikan sebagai elemen yang mengontrol kemampucoran dan sifat-sifat aluminium, yaitu Si, Mg, Cu, Mn.
- Unsur paduan minor, berfungsi untuk mengontrol perilaku solidifikasi, modifikasi struktur, memperbaiki fasa primer, memperhalus ukuran dan bentuk butir, meningkatkan pembentukan fasa, dan mengurangi oksidasi. Unsur-unsur tersebut antara lain Ti, Cr, B, Pb.
- Elemen pengotor, mempengaruhi kemampucoran dan pembentukan *insoluble phases*, yang dapat membatasi maupun meningkatkan sifat yang diinginkan.

Tabel 2.4. Sifat-Sifat Logam Aluminium^[8]

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa jenis (T = 20° C)	g/cm ³	2,7
Nomor Atom	-	13
Berat Atom	gram/mol	26,67
Warna	-	Putih Keperakan
Struktur Kristal	-	FCC
Titik lebur	°C	660
Titik didih	°C	2467
Jari-jari Atom	nm	0,143
Jari-jari ionic	nm	0,053
Nomor Valensi	-	3
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Modulus Elastisitas	GPa	71
<i>Poisson's Ratio</i>	-	0,35
Kekerasan	VHN	19
Kekuatan Luluh	MPa	25
Ketangguhan	MPa m	33
Konduktivitas Panas	W/mK	237

Koefisien Ekspansi termal	10-5/ ^o C	2,4
Sifat-sifat Lain	Satuan	Nilai
Ketahanan Korosi	-	Baik
Formability dan Machinability		Baik

Tabel 2.5. Penandaan paduan Cast Aluminum^[23]

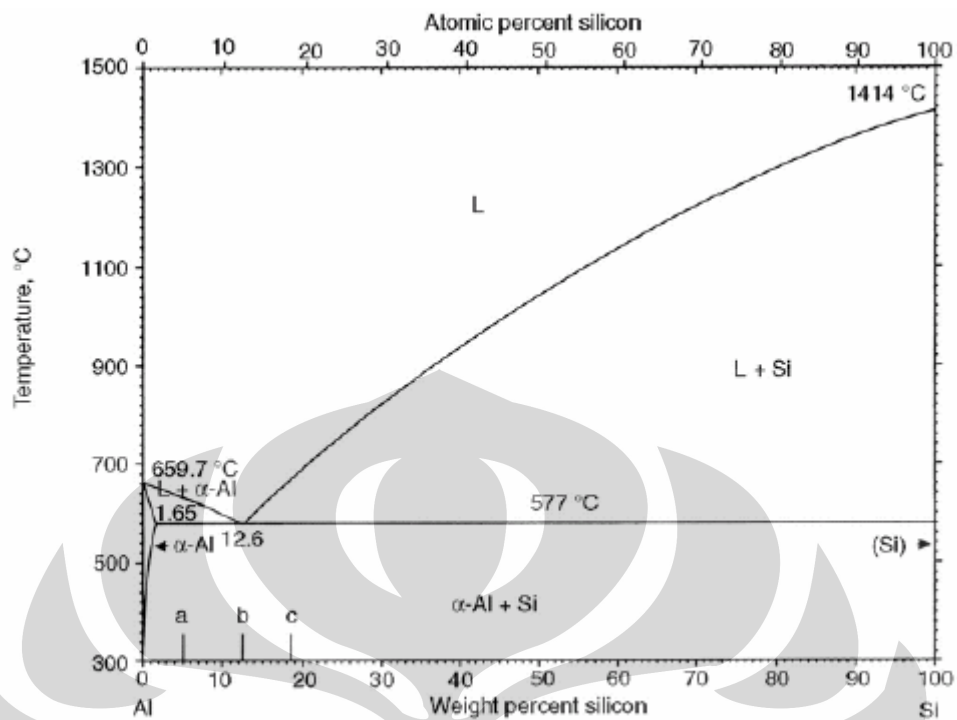
Designation	Major Alloying element
1XX.Y	None, 99.00% min. aluminum
2XX.Y	Copper (Cu)
3XX.Y	Si-Mg, Si-Cu, Si-Cu-Mg
4XX.Y	Silicon (Si)
5XX.Y	Magnesium (Mg)
7XX.Y	Zinc (Zn)
8XX.Y	Tin (Sn)
9XX.Y	Other elements from those above
6XX.Y	Unused

II.5.1.1 Paduan Aluminum Silikon

Diantara logam paduan aluminum, paduan aluminum-silikon merupakan jenis paduan yang banyak digunakan dalam proses pengecoran, karena memiliki banyak kelebihan dibandingkan dengan paduan aluminum lainnya. Paduan aluminum silikon memiliki tingkat fluiditas, kemampucoran dan ketahanan korosi yang sangat baik, hanya saja kekuatannya tergolong rendah dan sulit untuk dilakukan permesinan. Paduan ini dibagi menjadi tiga, yaitu ^[24]:

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

Pada paduan aluminum silikon, titik eutektik berada pada temperatur 577^oC pada kandungan silikon 11,7 %. Pengerasan penuaan pada material ini sulit dilakukan karena batas kelarutan padat sangat kecil. Diagram fasa Al-Si dapat dilihat pada gambar 2.8.



Gambar 2.8. Diagram fasa Al-Si^[17]

Salah satu aplikasi paduan aluminum silikon (Al-Si) adalah piston kendaraan bermotor. Penggunaan paduan aluminum silikon yang umum digunakan untuk aplikasi piston tersebut adalah AC8H, dengan kandungan silikonnya 11-13 wt%.

II.5.2 Alumina (Al_2O_3)

Alumina umum digunakan sebagai penguat pada material komposit. Penambahan penguat alumina bertujuan untuk meningkatkan kekuatan, kekakuan dan ketahanan material komposit. Alumina merupakan salah satu jenis keramik oksida yang sangat keras.

Sifat-sifat mekanik alumina :

- Daya hantar panas yang baik
- Ketahanan terhadap api baik
- Tahan aus dan tahan terhadap serangan korosi
- Kekerasan Tinggi

Sifat-sifat alumina secara umum dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6. Sifat-sifat Alumina^[8]

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa jenis	g/cm ³	3,89
Warna	-	Ivory
Struktur kristal	-	Polikristalin
Titik Lebur	°C	1750
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Modulus Elastisitas	GPa	375
Poisson's Ratio	-	0,22
Kekuatan Tekan	MPa	379
Kekerasan	Kg/mm ²	1440
Sifat Thermal	Satuan	Nilai
Konduktivitas Panas	W/mK	35
koefisien Ekspansi Termal	10 ⁶ /°C	8,4
Specific Heat	J/kg.K	880

II.5.3 Magnesium

Magnesium di dalam material komposit digunakan sebagai *wetting agent* yang berfungsi sebagai pengikat *interface* antara matriks dan penguat dengan membentuk lapisan *spinel*. Logam ini berfungsi untuk meningkatkan kekuatan ikatan adhesi diantara unsure-unsur pembentuk komposit.

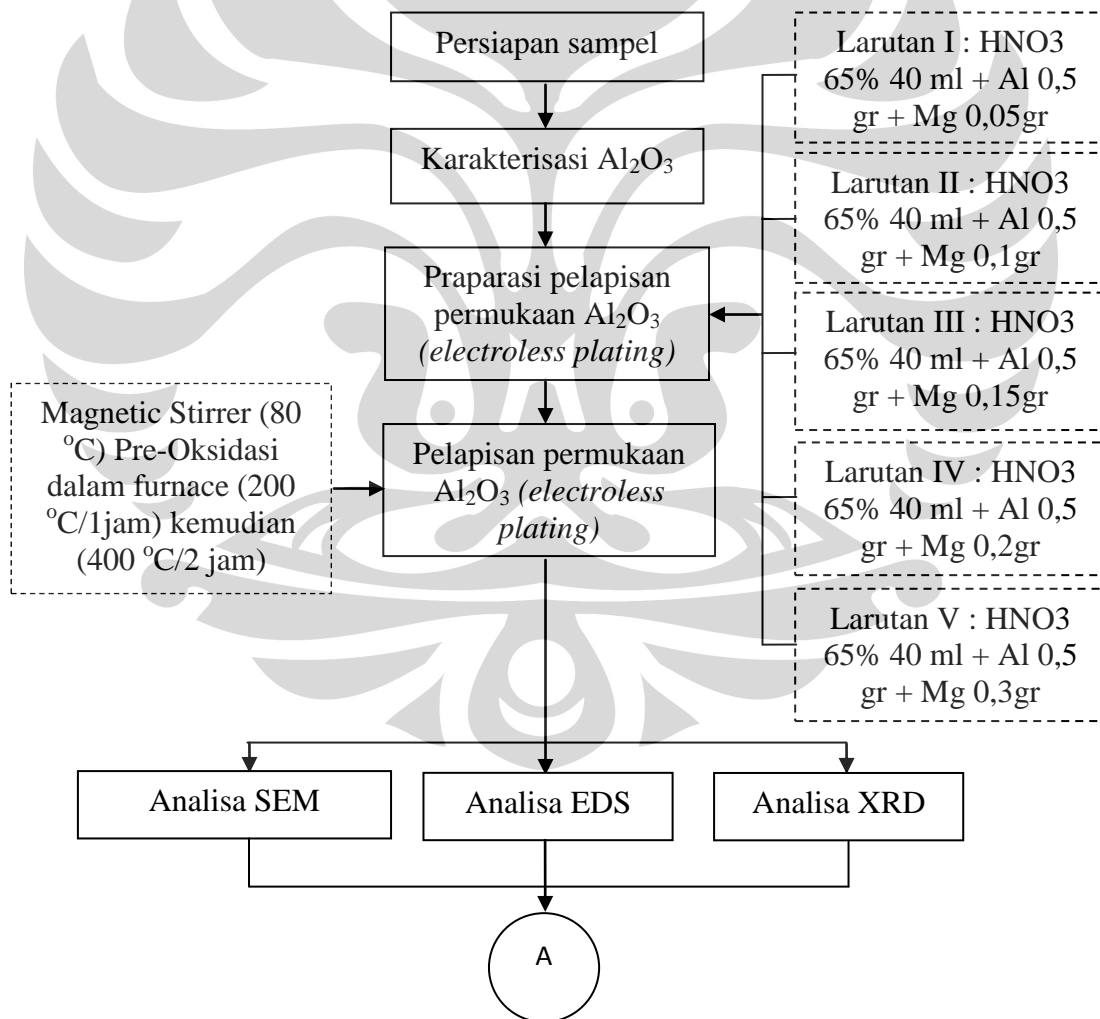
Tabel 2.7. Sifat-sifat Magnesium^[8]

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Densitas	g/cm ³	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	Nilai
Ratio Poisson	-	0,29
Kekerasan	BHN	260
Kekuatan Luluh	MPa	45
Sifat Thermal	Satuan	Nilai
Konduktivitas Panas	W/m °K	156
Koefisien Ekspansi Thermal	µm/(m·K)	24.8
Kapasitas Panas	J/(mol·K)	24,869

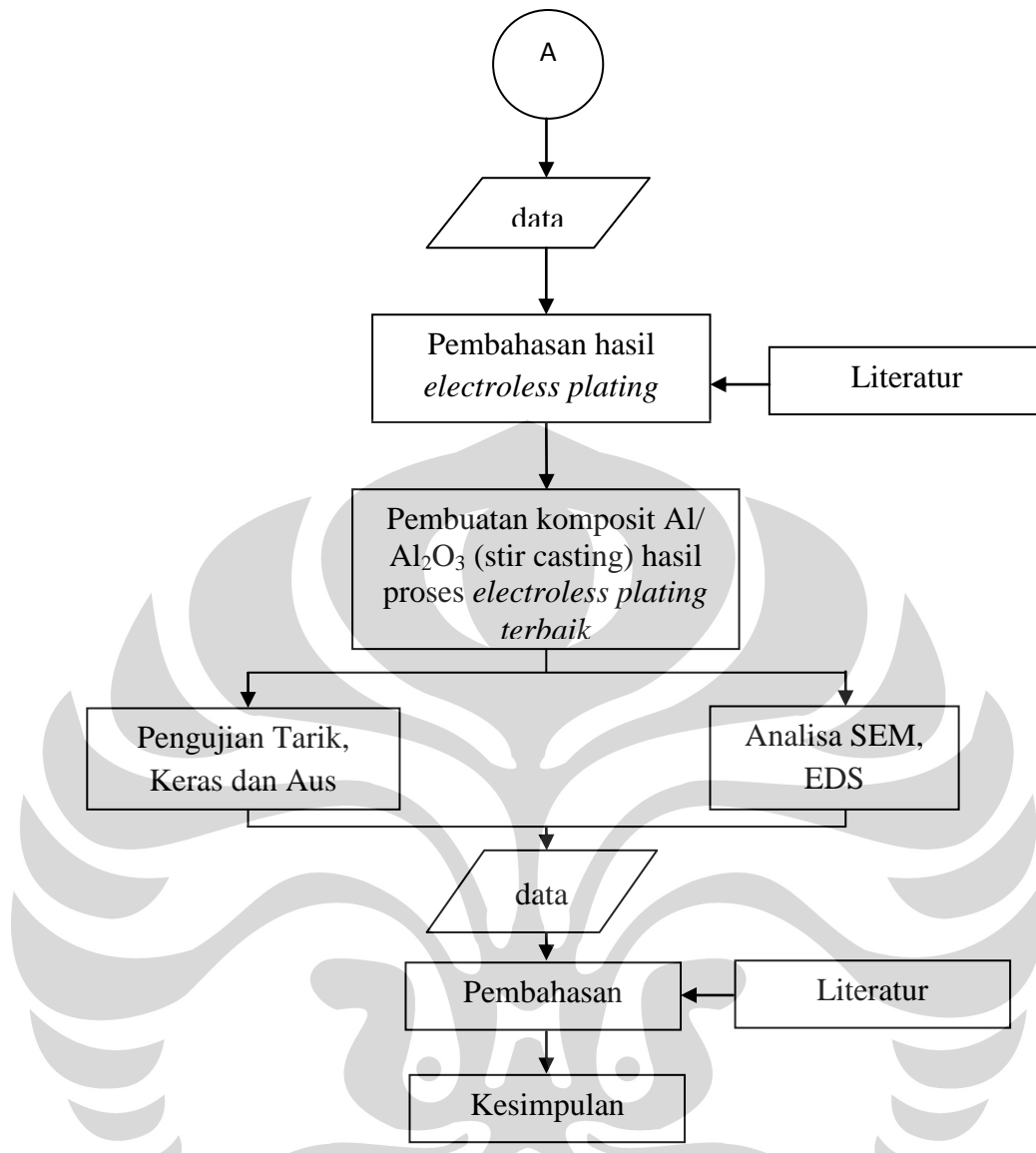
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini akan dibuat komposit Al/Al₂O_{3p} dengan menggunakan metode *stir casting* dengan penuangan *gravity casting*, dimana partikel Al₂O₃ yang digunakan terlebih dahulu dilakukan proses *electroless plating* dengan oksida logam Mg dan Al untuk meningkatkan kemampuan pembasahan. Variabel yang dilakukan adalah penambahan persen berat Mg yaitu 0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30 gram pada larutan *electroless plating*. Secara umum, diagram alir dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian (lanjutan)

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama mencakup peralatan selama proses *electroless plating* permukaan Al_2O_3 . Bagian kedua mencakup peralatan selama fabrikasi komposit $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Bagian ketiga mencakup peralatan untuk karakterisasi sebuk Al_2O_3 dan komposit $\text{Al}/\text{Al}_2\text{O}_3$.

- a. Peralatan yang digunakan untuk proses *electroless plating* :
 - a. Timbangan analitik untuk penimbangan massa bahan
 - b. *Magnetic stirrer* untuk pencampuran partikel Al_2O_3

- c. *Stirrer Bar* 4 cm sebagai pengaduk pada *magnetic stirrer*
 - d. Tabung *erlenmeyer* 1 liter untuk proses pencampuran
 - e. *Beaker glass* 1 liter
 - f. Spatula sebagai alat pengaduk
 - g. *crucible* keramik sebagai wadah di dalam *furnace*
 - h. *Ultrasonic cleaner* sebagai alat untuk membersihkan partikel SiC
 - i. *Naberterm furnace* sebagai tempat oksidasi
- b. Peralatan yang digunakan untuk fabrikasi komposit Al/Al₂O₃
- a. Tungku peleburan
 - b. *Ladle* kapasitas 5 kg
 - c. *Drilling Machine* yang dimodifikasi menjadi mesin pengaduk
 - d. Gas argon
 - e. Pipa SS 304L dengan diameter ¼ in untuk saluran gas argon.
 - f. Batang SS304L sebagai batang pengaduk
 - g. Cetakan logam sampel uji tarik
 - h. Masker dan sarung tangan
 - i. Palu dan obeng untuk membuka cetakan
 - j. Kaul
- c. Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi serbuk Al₂O₃ dan komposit Al/Al₂O₃
- a. Alat XRD
 - b. SEM dan EDX
 - c. HRSEM dan TEM
 - d. Alat uji tarik
 - e. Alat uji kekerasan
 - f. Alat uji keausan
 - g. Mikroskop optik
 - h. Mikroskop ukur
 - i. Kertas amplas *grid* 80-2500
 - j. Mesin amplas dan poles
 - k. Spidol dan label nama

III.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada proses *electroless plating* dan pembuatan komposit Al/Al₂O₃ adalah :

- a. Serbuk Al₂O₃ Merck
- b. Serbuk Aluminium Merck
- c. Serbuk Magnesium Merck
- d. Larutan HNO₃ sebagai media proses *electroless plating*
- e. Aluminium jenis AC8H

III.3 Proses *Electroless Plating* Al₂O₃

III.3.1 Pembuatan Larutan *Plating*

Media yang digunakan untuk proses *electroless plating* adalah larutan ion Al dan Mg yang terlarut dalam larutan HNO₃ dengan konsentrasi 65% dengan variasi Mg . Tahapan proses pembuatannya adalah sebagai berikut:

- a. Mempersiapkan larutan HNO₃ 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 HNO₃ 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 dan Al kedalam larutan HNO₃ untuk pembuatan larutan pertama hingga larutan menjadi bening.



Gambar 3.2. Proses pelapisan Al₂O₃

III.3.2 Proses Pelapisan Permukaan Al₂O₃

Proses pelapisan Al₂O₃ pada gambar 3.2 dilakukan di dalam larutan elektrolit yang mengandung ion Al dan Mg, tahapan prosesnya yaitu sebagai berikut:

- Menimbang Al₂O₃ yang akan di-*plating* seberat 16 gr.
- Mencampurkan Al₂O₃ ke dalam larutan elektrolit yang mengandung variasi ion Mg.
- Melakukan pengadukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* pada temperature 70-80°C hingga larutan agak mengering.
- Serbuk Al₂O₃ yang sudah terlapisi oleh ion Mg dan Al disaring, dan dimasukkan ke dalam *crusible* dari keramik.
- Melakukan proses oksidasi di dalam furnace 200°C selama 1 jam kemudian 400°C selama 2 jam agar terbentuk fasa *spinel* pada permukaan Al₂O₃.

III.4 Pembuatan komposit Al/Al₂O₃

Dalam pembuatan komposit Al/Al₂O₃ dilakukan melalui tahap pengecoran di PT. X, dimana komposit Al/Al₂O₃ dicetak ke dalam cetakan sampel uji tarik dengan dengan kebutuhan total komposit seberat 2 kg. Fraksi volume dari Al₂O₃ yang ingin ditambahkan ke dalam komposit adalah sebesar 22,5%. Al₂O₃ 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)

ρ_f : Berat jenis penguat (gr/cm³)

ρ_m : Berat jenis matriks (gr/cm³)

Proses pengocaran komposit ini dilakukan di PT.A dengan menggunakan aluminum AC8H yang telah dilebur didalam *holding furnace* kapasitas 200 kg dengan temperature $700\pm 20^{\circ}\text{C}$. Komposisi dari aluminum AC8H adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 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/Al₂O₃ adalah sebagai berikut:

- Menimbang Al₂O₃ yang telah di-*plating* seberat 633 gr.
- Mempersiapkan leburan aluminum cair yang telah dilakukan proses *degassing* dengan menggunakan *Gas Bubble Floatation* (GBF) untuk mengurangi pengotor dan gas hydrogen yang terjebak dalam aluminium 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.
- Melakukan *pre-heating* peralatan cetakan seperti cetakan logam, *ladle* dan batang pengaduk.
- Pengambilan aluminium cair dengan *ladle* ukuran 2 kg, kemudian diletakkan diatas permukaan *holding furnace*.
- Memasukkan Mg ke dalam *ladle* dengan menggunakan penjempit untuk menurunkan tegangan permukaan aluminum terhadap Al₂O₃ yang akan dicampurkan. Mg yang diberikan sebanyak 50 gr.
- Memasukkan serbuk Al₂O₃ yang ke dalam *ladle* secara sedikit demi sedikit sambil diaduk dengan *drilling machine* yang telah dimodifikasi menjadi alat pengaduk 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.

III.5 Karakterisasi Material

III.5.1 Karakterisasi Al₂O₃ hasil *electroless plating*

III.5.1.1 Pengujian SEM dan EDX

Pengujian SEM dilakukan untuk mengamati ukuran dan bentuk partikel Al₂O₃ sebelum dan sesudah *plating* sehingga bisa dilihat apakah terdapat perbedaan topografi pada permukaan Al₂O₃ *plating* dan *as-received*. Selanjutnya dilakukan pengujian EDX untuk mengetahui unsur apa saja yang terdapat di permukaan Al₂O₃.

Pada pengujian ini serbuk Al₂O₃ sebelumnya dihaluskan dengan cara ditumbuk dengan menggunakan lumpang dan alu, agar data yang didapatkan baik. Alat SEM dan EDX yang digunakan adalah alat LEO 420 yang ada di lab NDT Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia dan SEM 410 di *School of Material Science and Engineering Yeungnam University*.

III.5.1.2 Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui lapisan metal oksida yang terbentuk pada permukaan Al₂O₃, dan mendeteksi apakah fasa spinel terbentuk pada Al₂O₃ hasil *electroless plating* dengan menggunakan *X-Ray diffraction* dengan cakupan sudut difraksi 2θ antara 0-100°. 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.

III.5.2 Karakterisasi komposit Al/Al₂O₃

III.5.2.1 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan Hoytom di Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia dengan menggunakan metode *Brinell* (ASTM Standard E10) dengan menggunakan beban

(P) 31,25 kg dan diameter indentor 3,2 mm selama 15 detik. Pada pengujian ini nilai kekerasan suatu bahan ditentukan dari diameter jejak pada *specimen*. Hasil pengujian adalah jejak dengan berbentuk lingkaran bulat, yang kemudian dihitung diameternya dengan menggunakan alat *measuring microscope*. Pengukuran nilai kekerasan Brinnel ditentukan dengan rumus :

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

dimana,

P = beban (kg)

D= diameter indentor (mm)

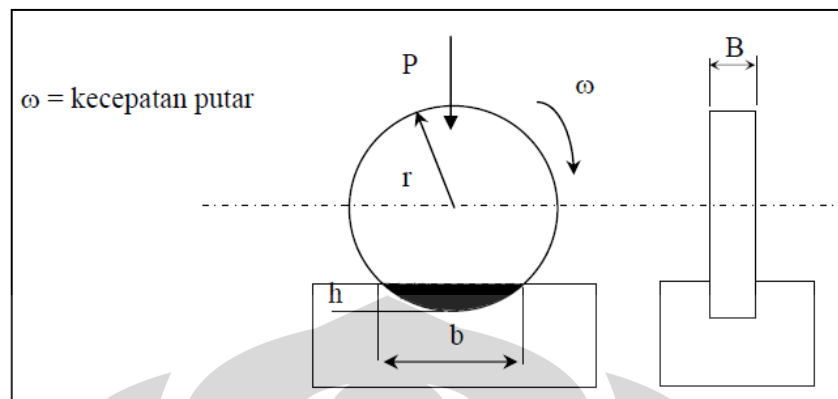
d = diameter jejak (mm)



Gambar 3.3. Alat Measuring Microscope

III.5.2.2 Pengujian Aus

Pengujian aus dilakukan di Departemen metalurgi dan Material Universitas Indonesia dengan menggunakan metode ogoshi dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disk*). Pembebanan ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya akan mengambil sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak yang dihasilkan itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan suatu material. Semakin luas daerah jejak, maka semakin banyak volume material yang terlepas dari specimen uji.



Gambar 3.4. Prinsip pengujian keausan metode Ogoshi

Pada gambar 3.4, B adalah tebal *revolving disk* (mm), r adalah jari-jari (mm), b adalah lebar celah material yang terabrasi (mm), maka untuk menentukan volume material yang terabrasi (W) dan laju keausan (LA) menggunakan persamaan berikut :

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

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

Dimana parameter yang digunakan jarak luncur (x) 66,6 m; tebal cincin putar (B) 3 mm dan diameter cincin putar 30 mm. Jejak yang didapat dari percobaan dilihat menggunakan mikroskop optik ukur untuk mengukur lebar celah abrasi.

III.5.2.3 Pengujian Tarik

Uji tarik dilakukan dengan mesin uji tarik Shimadzu Servopulser di Departemen Metalurgi dan Material FTUI dengan menggunakan standar JIS Z2210. Sampel ditarik dengan beban kontinyu dan didapatkan data berupa perubahan panjang dan perubahan beban yang selanjutnya ditampilkan dalam bentuk kurva tegangan-regangan.

III.5.2.4 Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro sampel komposit Al/Al₂O₃. 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.

III.5.2.5 Pengujian Densitas dan Porositas

Pengujian densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM C 373-88. 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 (cm^3)

W = berat sampel dalam air (gram)

D = densitas air (gram/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 (gram/cm^3)

W_D = berat sampel dalam air (gram)

V = volume sampel (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_{teoritis} = densitas teoritis (gram/cm^3)

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

j. Perhitungan nilai densitas teoritis dari sampel percobaan dengan

$$D_{\text{komposit}} = (V_f \text{Aluminium} \cdot D_{\text{Aluminium}}) + (V_f \text{Alumina} \cdot D_{\text{Alumina}})$$

menggunakan rumus berikut :

$$(3.8)$$

Dimana,

V_f = volume fraksi (%)

D = densitas (gram/cm^3)



BAB IV

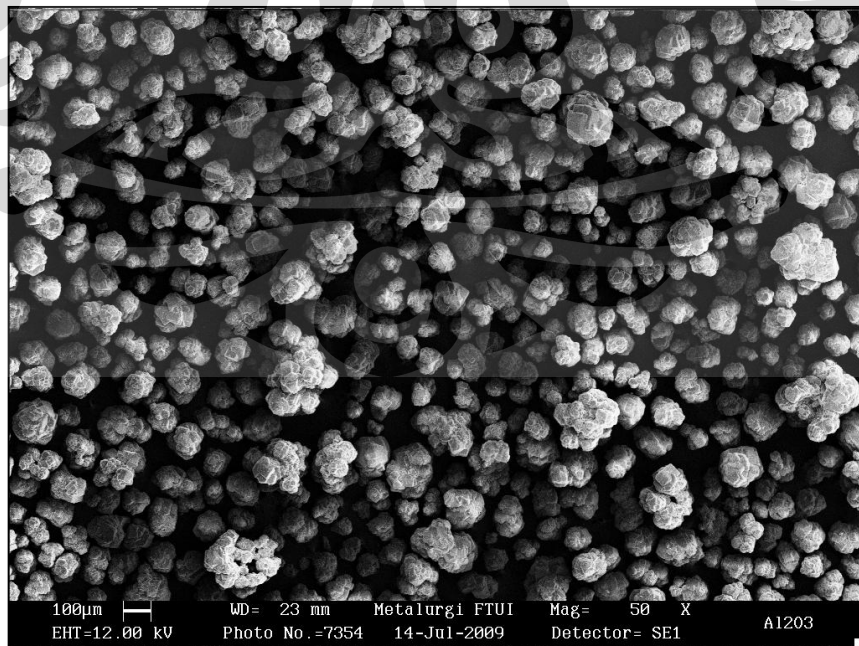
HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Karakterisasi Permukaan Partikel Al_2O_3

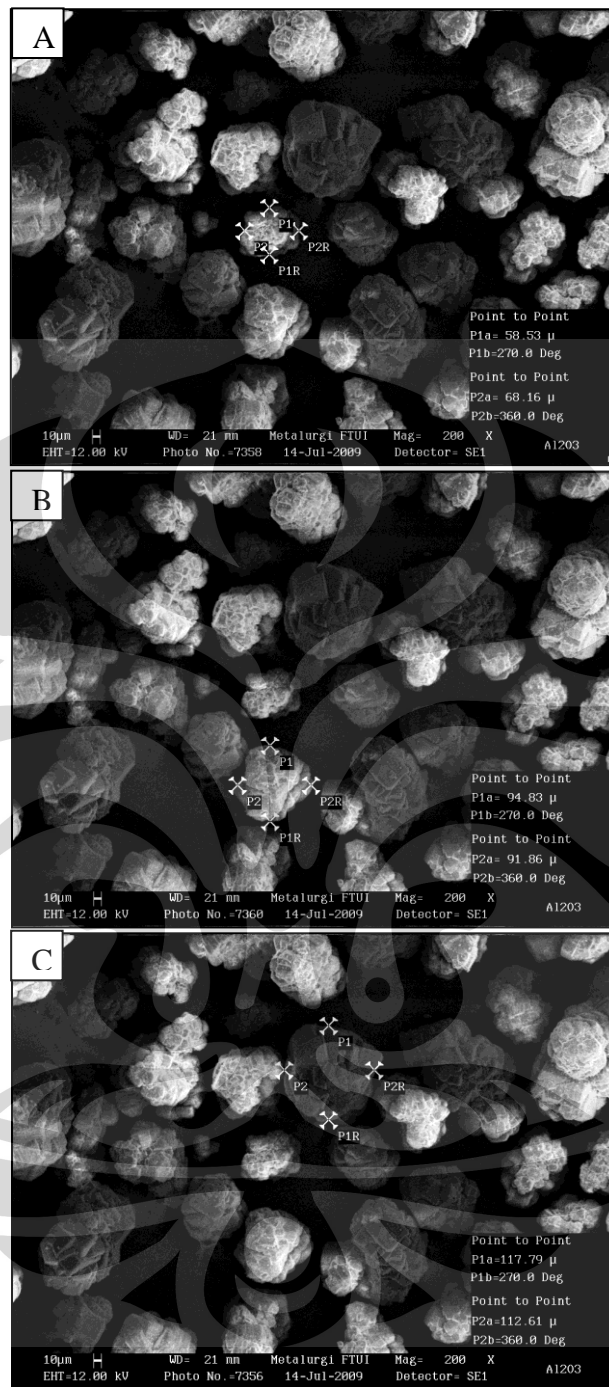
Pada penelitian ini dilakukan rekayasa permukaan partikel Al_2O_3 dengan cara melapisi permukaan partikel Al_2O_3 dengan ion Mg dan Al. Metode pelapisan yang dilakukan adalah dengan menggunakan *electroless plating* dengan menggunakan larutan HNO_3 . Analisa bentuk dan ukuran Al_2O_3 dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan identifikasi elemen pada permukaan Al_2O_3 tersebut dianalisa dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectrometry* (EDS). Fasa pada daerah antarmuka yang terbentuk diamati dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD).

IV.1.1 Analisa Bentuk dan Ukuran Partikel Al_2O_3 *As-received*

Partikel serbuk Al_2O_3 *as-received* yang dianalisa dengan SEM pada umumnya terlihat berbentuk *rounded* dan aglomerat seperti yang terlihat pada gambar 4.1 dan memiliki ukuran antara $50\mu\text{m}$ – $180\mu\text{m}$ seperti yang terlihat pada gambar 4.2. Dari hasil foto SEM tersebut diketahui bahwa Al_2O_3 yang digunakan memiliki ukuran kurang dari $200\mu\text{m}$.



Gambar 4.1. Bentuk partikel Al_2O_3

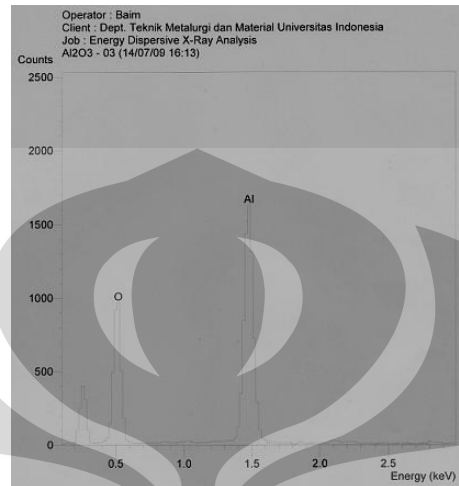


Gambar 4.2. Distribusi ukuran partikel Al_2O_3 ; (A) ukuran partikel Al_2O_3 (58,53-68,16μm), (B) ukuran partikel Al_2O_3 (91,86-94,83 μm), (C) ukuran partikel Al_2O_3 (112,61-117,79 μm)

IV.1.2 Analisa Elemen dan Fasa Partikel Al_2O_3

Elemen dan fasa pada permukaan partikel Al_2O_3 diketahui dengan melakukan pengujian EDS dan XRD. Pengujian EDS dilakukan untuk

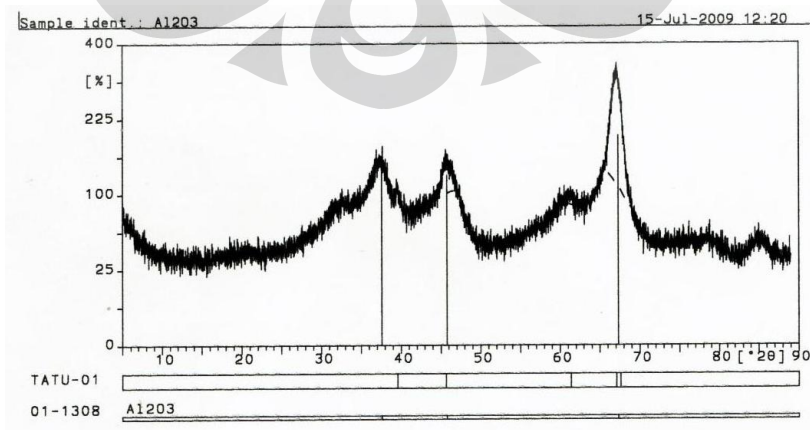
mendukung secara kuantitatif pengujian SEM. Pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui adanya unsur pengotor yang terdapat pada Al_2O_3 , kemungkinan terdapatnya unsur pengotor yang lain sangat mungkin terjadi karena pengaruh lingkungan maupun bawaan dari pabrik pembuatannya.



Gambar 4.3. Hasil pengujian EDS pada partikel Al_2O_3

Pada hasil pengujian EDS yang dilakukan seperti pada gambar 4.3, tidak terdeteksi adanya pengotor akibat dari pengaruh lingkungan maupun bawaan pabrik. Hal ini membuktikan bahwa serbuk Al_2O_3 yang digunakan adalah murni dan dapat dikonfirmasi dengan hasil XRD.

Untuk menguji terbentuknya fasa baru pada Al_2O_3 maka dilakukan pengujian XRD untuk mendapatkan data secara kualitatif. Dari hasil pengujian XRD pada gambar 4.4 menunjukkan tidak ada fasa baru pada serbuk Al_2O_3 . Semua puncak dari hasil pengujian XRD menunjukkan fasa Al_2O_3 .



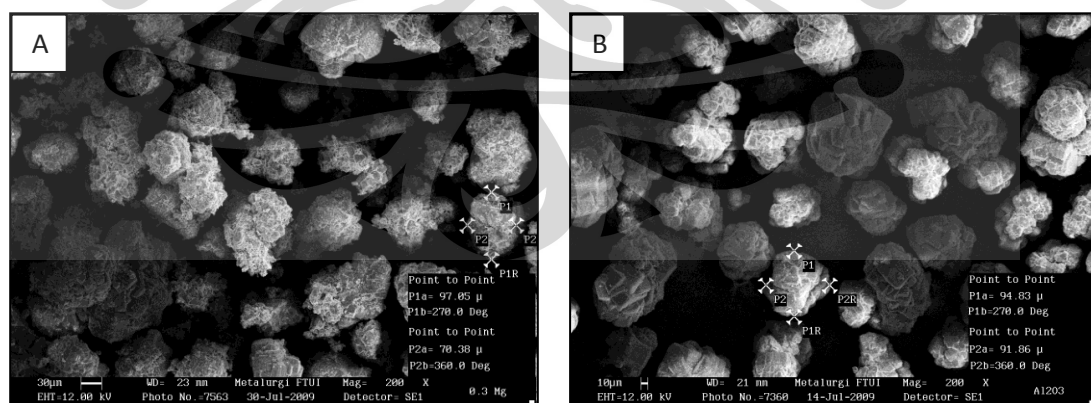
Gambar 4.4. Hasil pengujian XRD partikel Al_2O_3

IV.2 Karakterisasi Permukaan Partikel Al_2O_3 Hasil *Electroless Plating*

Pada penelitian ini permukaan partikel Al_2O_3 dilakukan proses *electroless plating* mengikuti prosedur yang dilakukan M. Zainuri^[6] dimana partikel Al_2O_3 dimasukkan ke dalam larutan elektrolit HNO_3 65% sebanyak 40 ml yang telah ditambahkan serbuk aluminum dan magnesium. Serbuk aluminum digunakan dengan konsentrasi yang tetap 0,018 mol (0,5 gr) sedangkan penambahan magnesium divariasikan dengan konsentrasi 0,002 mol (0,05 gr); 0,004 mol (0,1 gr); 0,006 mol (0,15 gr); 0,008 mol (0,2 gr); (0,012 gr). Semakin tinggi konsentrasi magnesium akan semakin membuat larutan berwarna kecoklatan. Pada penelitian Souton^[22], penambahan magnesium pada aluminum matriks komposit dapat membentuk fasa spinel antara matriks dan penguatnya sehingga meningkatkan *wettability*. Pemanasan pada temperatur 200 C selama 1 jam dilanjutkan dengan pemanasan 400 C selama 2 jam dapat membentuk fasa spinel (MgAl_2O_4) yang dapat meningkatkan *wettability* antara matriks dan penguat.

IV.2.1 Analisa Bentuk dan Permukaan Al_2O_3

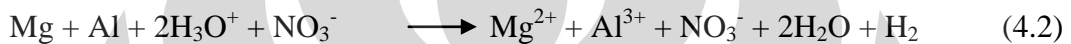
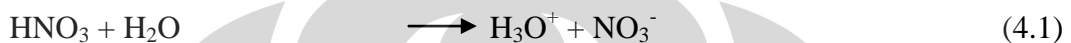
Partikel Al_2O_3 hasil *electroless plating* diamati dengan menggunakan SEM. Partikel Al_2O_3 hasil *elektroless plating* memiliki bentuk permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan partikel Al_2O_3 *as-received* seperti yang terlihat pada gambar 4.5. Permukaan yang lebih kasar tersebut dihasilkan akibat adanya material logam oksida yang terdeposisi pada permukaan partikel Al_2O_3 .



Gambar 4.5. Perbandingan bentuk Al_2O_3 yang telah dilakukan *electroless plating* (A) dan Al_2O_3 tanpa *electroless plating* (B)

IV.2.2 Analisa Elemen dan Fasa Pada Permukaan Partikel Al₂O₃ Hasil Proses *Electroless plating*

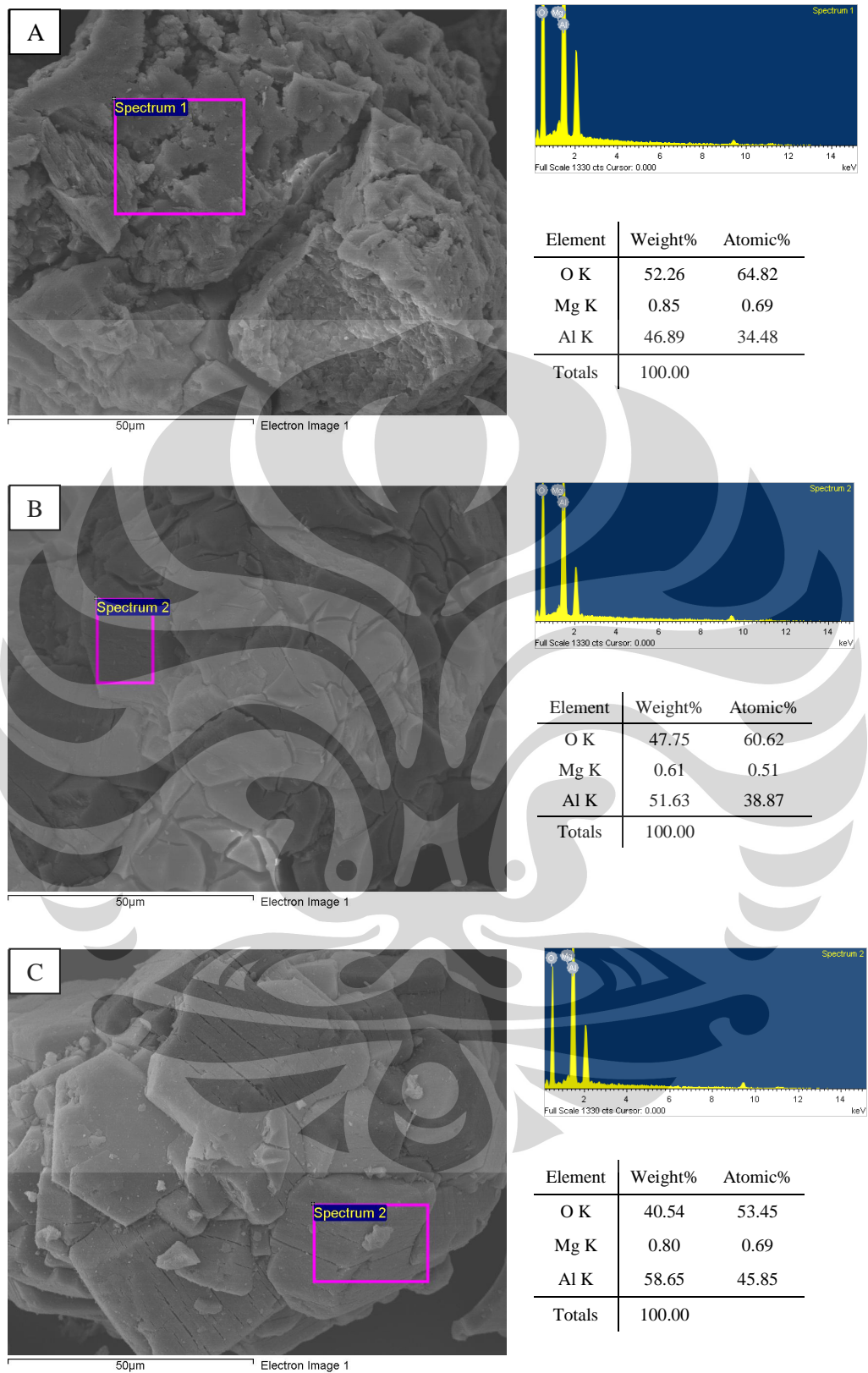
Proses *electroless plating* pada permukaan partikel Al₂O₃ dilakukan untuk meningkatkan *wettability* antara matriks dan penguat pada AMC. Proses ini akan membentuk suatu fasa baru, yaitu lapisan oksida logam tipis yang berperan sebagai pengikat dan dapat menurunkan sudut kontak antara matriks dan penguat pada AMC. *Electroless plating* yang dilakukan pada permukaan Al₂O₃ merupakan pelapisan *spinel* (MgAl₂O₄), reaksi yang terjadi adalah :



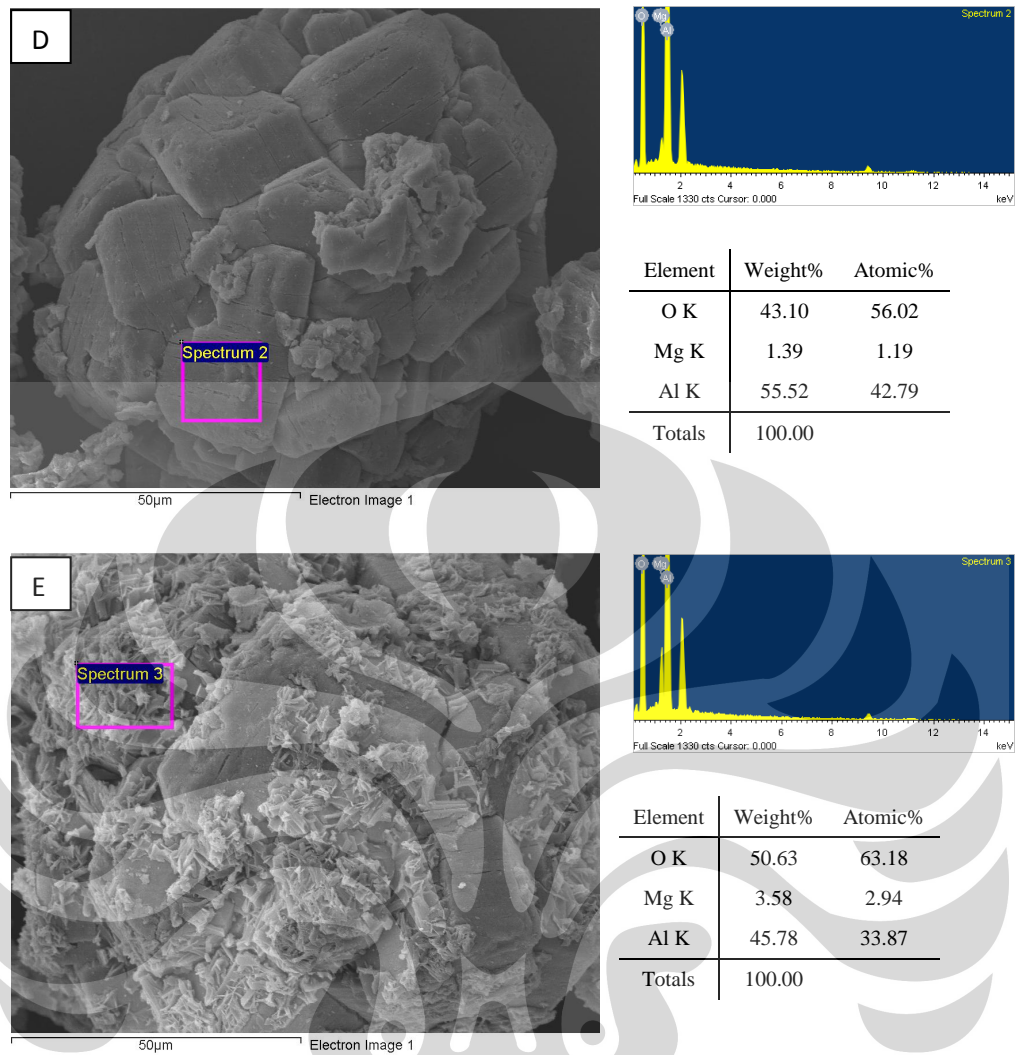
Reaksi 4.1 dan 4.2 terjadi selama proses pembuatan larutan *electroless plating*. Proses ini dilakukan dengan melibatkan proses pemanasan, sehingga H₂ yang terbentuk pada reaksi di atas akan menguap. Proses ini akan menghasilkan larutan elektrolit dengan kandungan ion Mg²⁺ dan Al³⁺ yang bergerak bebas. Proses *electroless plating* dilakukan dengan memasukkan serbuk Al₂O₃ sehingga termuati oleh sisa asam NO₃⁻. Hal ini akan mengakibatkan terjadinya gaya elektrostatis antara ion-ion Mg²⁺, Al³⁺ dan Al₂O₃ yang telah termuati oleh NO₃⁻. Partikel Al₂O₃ yang terdeposisi selanjutnya dikeringkan dalam furnace pada temperature 200 °C untuk menguapkan sisa asam NO₃⁻ yang masih terdapat pada Al₂O₃. Selanjutnya dilakukan pemanasan pada temperature 400 °C untuk membentuk lapisan fasa metastabil MgAl₂O₄.



Reaksi 4.3 dibuktikan dengan pengujian EDS dan XRD. Pengujian EDS pada Al₂O₃ hasil proses *electroless plating* menunjukkan adanya elemen-elemen lain selain elemen Al dan O dari serbuk partikel Al₂O₃. Hasil pengujian EDS dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6. Hasil Pengujian EDS sampel Al_2O_3 hasil electroless plating dengan variasi penambahan Mg : (A) 0,002 mol; (B) 0,004 mol; (C) 0,006 mol

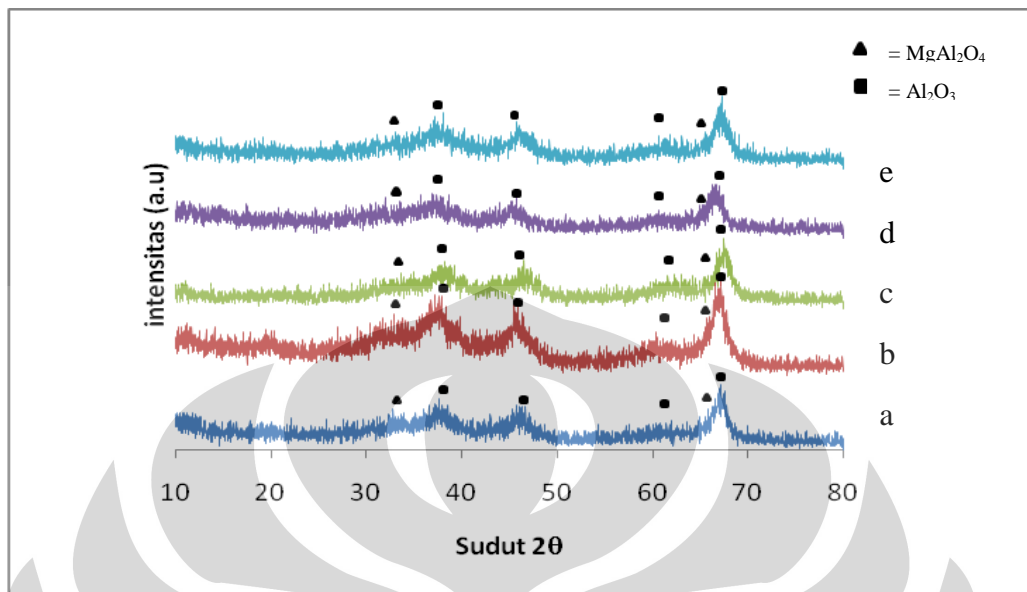


Gambar 4.7. Hasil Pengujian EDS sampel Al_2O_3 hasil electroless plating dengan variasi penambahan Mg : (D) 0,008 mol; (E) 0,012 mol

Pada gambar 4.6 dan 4.7, menunjukkan pelapisan pada permukaan Al_2O_3 dengan konsentrasi Mg yang lebih tinggi terlihat pelapisan yang kurang merata, dan cenderung terbentuk aglomerasi oksida logam pada permukaan partikel bila dibandingkan dengan permukaan yang memiliki konsentrasi Mg yang lebih rendah terlihat lebih merata. Untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang kemungkinan terbentuk pada permukaan partikel Al_2O_3 , dilakukan pengujian EDS yang berperan untuk menentukan elemen-elemen pada permukaan partikel Al_2O_3 .

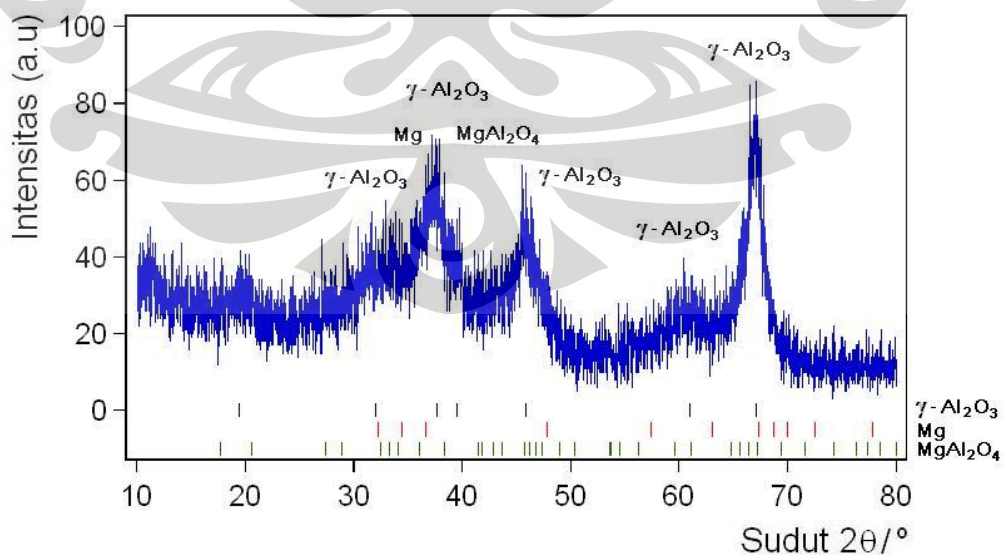
Dari hasil pengujian EDS tersebut, terlihat bahwa puncak tertinggi dimiliki oleh O, dimana elemen tersebut merupakan penyusun dari senyawa Al_2O_3 . Untuk elemen Al, selain karena penambahan sebanyak 0,5 gr serbuk Al untuk pelapisan, elemen tersebut juga merupakan penyusun utama senyawa Al_2O_3 . Elemen Mg

dihasilkan dari penambahan untuk proses pelapisan. Untuk menentukan fasa yang terbentuk pada permukaan partikel Al_2O_3 maka dilakukan pengujian XRD.



Gambar 4.8. Hasil pengujian XRD partikel Al_2O_3 yang telah dilapisi: (a) 0,002 mol Mg (b) 0,004 mol Mg (c) 0,006 mol Mg (d) 0,008 mol Mg (e) 0,012 mol Mg

Dengan membandingkan 5 variasi penambahan Mg pada gambar 4.8, didapatkan intensitas tertinggi fasa oksida logam pada gambar 4.8b (0,004 mol Mg).



Gambar 4.9. Hasil pengujian XRD partikel Al_2O_3 (0,004 mol Mg)

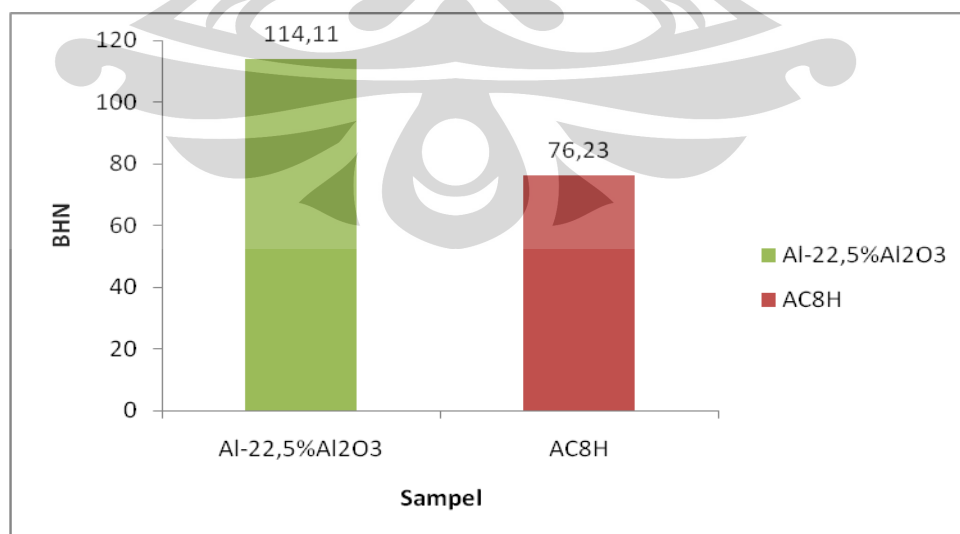
Dari hasil pengujian XRD pada gambar 4.9 terbentuk fasa metastabil $MgAl_2O_4$. Puncak intensitas tertinggi terdapat pada nilai 2θ masing-masing $32,88^\circ$ dan $66,02^\circ$. Keberadaan fasa tersebut dapat meningkatkan *wettability* antara penguat Al_2O_3 dan matriks Al sebagai material komposit Al- Al_2O_3 . Serbuk Al_2O_3 dengan konsentrasi magnesium 0,004 mol selanjutnya dijadikan bahan penguat untuk pembuatan komposit Al- Al_2O_3 .

IV.3 Karakterisasi Komposit Al-22,5% Al_2O_3

Setelah dilakukan proses *electroless plating*, sampel Al_2O_3 dengan intensitas tertinggi dijadikan bahan penguat untuk dibuat material komposit matriks aluminum dengan metode *stir casting*. Fraksi volum penguat yang digunakan untuk membuat komposit Al- Al_2O_3 adalah sebesar 22,5%. Produk komposit yang dibuat kemudian dibandingkan dengan sifat mekanis dari material AC8H yang digunakan sebagai matriks. Pada penelitian Souton^[22], kekuatan mekanis akan bertambah seiring dengan penambahan penguat Al_2O_3 pada matriks aluminum karena penguat Al_2O_3 memiliki nilai kekerasan yang tinggi sehingga semakin banyak penambahan alumina akan menaikkan sifat mekanis.

IV.3.1 Pengaruh Penambahan 22,5%Vf Al_2O_3 Terhadap Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan dengan metode *brinell* pada gambar 4.10, diperoleh bahwa hasil pengujian kekerasan komposit Al-22,5% Al_2O_3 memiliki kekerasan diatas material AC8H.



Gambar 4.10. Grafik uji kekerasan *brinell* komposit Al-22,5% Al_2O_3 dan material AC8H

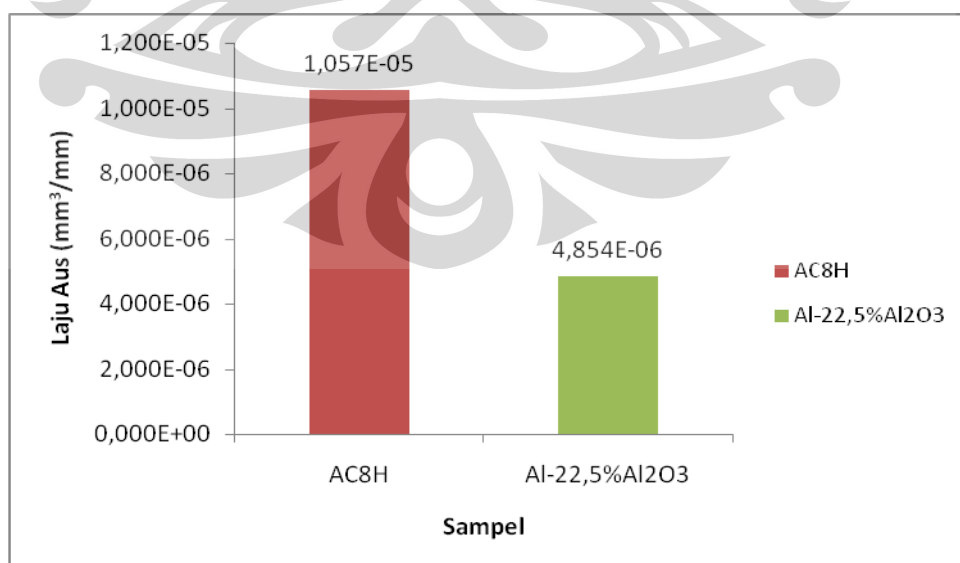
Sampel komposit Al-22,5% Al₂O₃ memiliki kekerasan sebesar 114,11 BHN, sedangkan material AC8H sendiri memiliki kekerasan 76,23 BHN. Dari hasil tersebut didapatkan dengan penambahan 22,5% Vf Al₂O₃ dapat meningkatkan kekerasan dari material AC8H.

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui sifat material terhadap deformasi plastis secara terlokalisir dengan melakukan penjejakan pada permukaan material tersebut.

IV.3.2 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al₂O₃ Terhadap Keausan

Hasil pengujian keausan dengan metode ogoshi pada gambar 4.11 diperoleh bahwa laju keausan komposit Al-22,5%Al₂O₃ memiliki laju aus yang lebih rendah dibandingkan dengan material AC8H. Hal ini menunjukkan bahwa ketahanan aus komposit Al-22,5%Al₂O₃ lebih baik jika dibandingkan dengan material AC8H.

Pada pengujian ini, sampel uji mendapatkan beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disk*) yang terbuat dari bahan *crude steel*. Pembebanan ini akan menghasilkan kontak antar permukaan yang berulang-ulang yang pada akhirnya mengambel sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak yang dihasilkan pada permukaan material uji dijadikan dasar penentuan tingkat keausan suatu material. Semakin luas daerah yang terabrasi, maka semakin banyak volume material yang terlepas dari specimen uji.

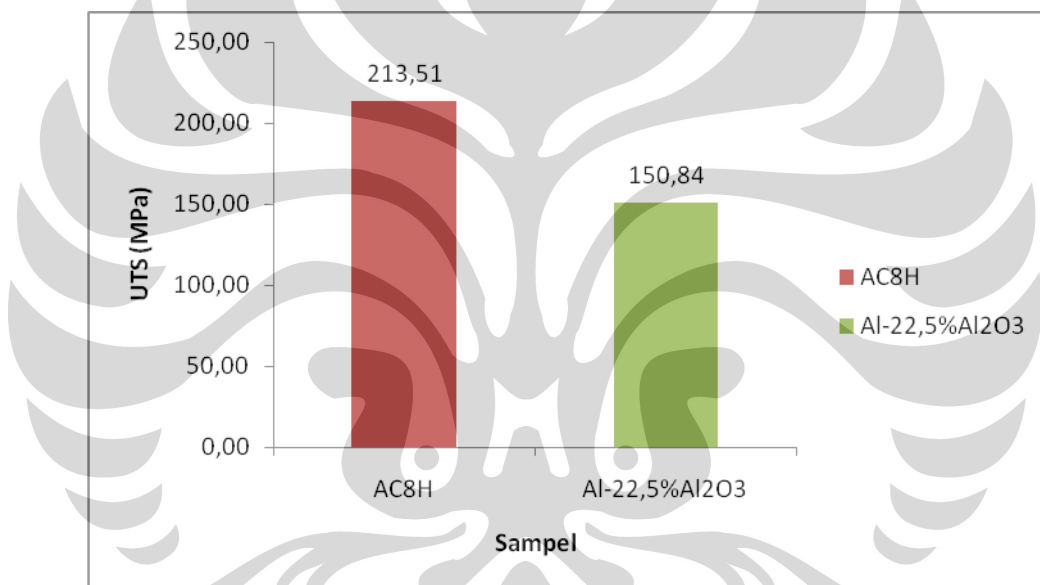


Gambar 4.11. Grafik ketahanan aus komposit Al-22,5% Al₂O₃ dan material AC8H

Dari gambar 4.11, terlihat bahwa laju keausan material Al-22,5%Al₂O₃ lebih rendah dibandingkan dengan material AC8H. Keausan material sangat dipengaruhi oleh kekerasan material, semakin keras suatu material maka akan menurunkan laju aus. Dengan penambahan 22,5% Vf Al₂O₃ pada material AC8H didapatkan laju aus sebesar $4,854 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$, sedangkan laju aus material AC8H didapatkan sebesar $1,057 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$.

IV.3.3 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al₂O₃ Terhadap Kekuatan Tarik

Hasil pengujian terhadap kekuatan tarik pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit Al-22,5% Al₂O₃ memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan kekuatan material AC8H.



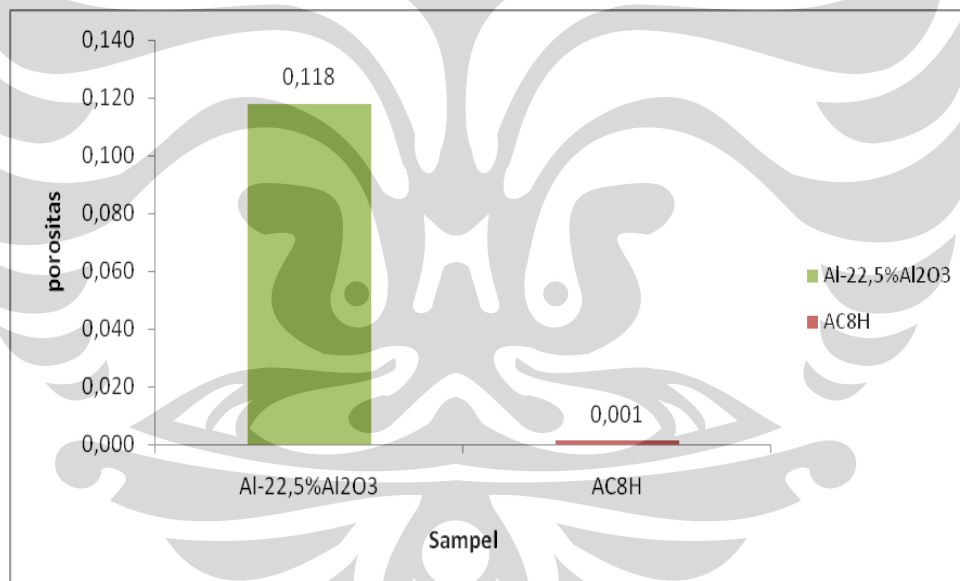
Gambar 4.12. Grafik kekuatan tarik pada komposit Al-22,5%Al₂O₃ dan material AC8H

Pada gambar 4.12 menunjukkan bahwa kekuatan tarik material AC8H mencapai 213,51 MPa sedangkan komposit Al-22,5%Al₂O₃ hanya 150,84 MPa. Pada penelitian Kang dan Youn ^[25], paduan A357 yang diperkuat dengan penguat penguat partikel SiC menunjukkan bahwa penambahan diatas 10 % penguat mengalami penurunan kekuatan tarik. Hal tersebut dikarenakan terbentuknya porositas yang cukup banyak sehingga porositas tersebut dapat menjadi inisiasi retak pada saat dilakukan pengujian tarik dan akhirnya menurunkan kekuatan material. Selain itu, penyebaran partikel penguat yang tidak homogen

menyebabkan timbulnya clustering partikel penguat pada sampel komposit. Hal ini juga dapat mengakibatkan penurunan kekuatan tarik.

IV.3.4 Pengaruh Penambahan 22,5% Vf Al₂O₃ Terhadap Porositas Komposit Al-Al₂O₃

Hasil pengujian porositas dengan menggunakan hukum Archimedes pada gambar 4.13 diperoleh bahwa porositas komposit Al-22,5% Al₂O₃ cukup tinggi jika dibandingkan dengan material AC8H as-received. Porositas pada produk pengecoran merupakan cacat yang biasa terjadi akibat adanya gas yang terperangkap dalam aluminum cair. Kelarutan gas pada aluminum cair akan semakin meningkat dengan semakin tingginya temperatur aluminum cair. Porositas akan meningkat seiring dengan penambahan fraksi volume penguat dan proses pengadukan yang semakin cepat^[21]. Terbentuknya porositas pada komposit Al- Al₂O₃ sangat mempengaruhi sifat mekanis material.



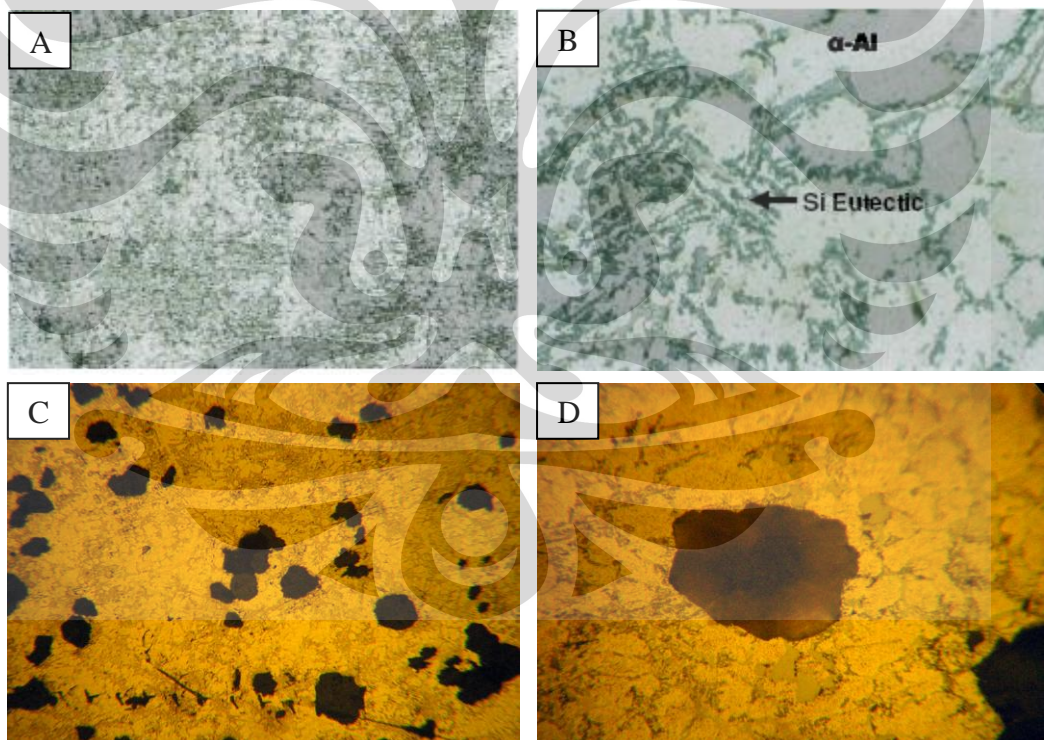
Gambar 4.13. Grafik porositas pada komposit Al-22,5% Al₂O₃ dan material AC8H

Dari gambar 4.13 diketahui bahwa penambahan 22,5% volume Al₂O₃ dapat meningkatkan terjadinya porositas pada sampel. Pada penelitian Tatu^[21], peningkatan porositas pada komposit Al-SiC terjadi seiring dengan peningkatan persen volum SiC. Dengan semakin meningkatnya persen volum dari partikel penguat, fluiditas cairan matriks aluminum akan semakin rendah. Fluiditas yang rendah pada pengecoran komposit dapat mempengaruhi

terbentuknya porositas. Semakin rendah fluiditas, maka cairan aluminum akan semakin sulit mengisi rongga cetakan sehingga dapat menyebabkan porositas.

IV.3.5 Pengamatan Struktur Mikro Komposit Al-22,5%Al₂O₃

Hasil pengamatan struktur mikro komposit Al-22,5%Al₂O₃ dengan perbesaran 100x dan 500x pada gambar 4.14 diperoleh bahwa adanya partikel penguat pada matriks Al berpengaruh terhadap struktur mikro. Struktur mikro komposit Al-22,5%Al₂O₃ lebih halus dibandingkan dengan paduan AC8H. Dendrit komposit Al-22,5%Al₂O₃ lebih halus jika dibandingkan dengan dendrit AC8H. Penghalusan struktur mikro disebabkan karena adanya partikel penguat yang menghalangi atau menghambat pertumbuhan dendrit. Penghalusan struktur ini juga dapat terjadi akibat kecepatan pembekuan yang tinggi. Kecepatan pembekuan yang semakin tinggi akan menghasilkan struktur yang lebih halus dibandingkan dengan kecepatan pendinginan lambat.

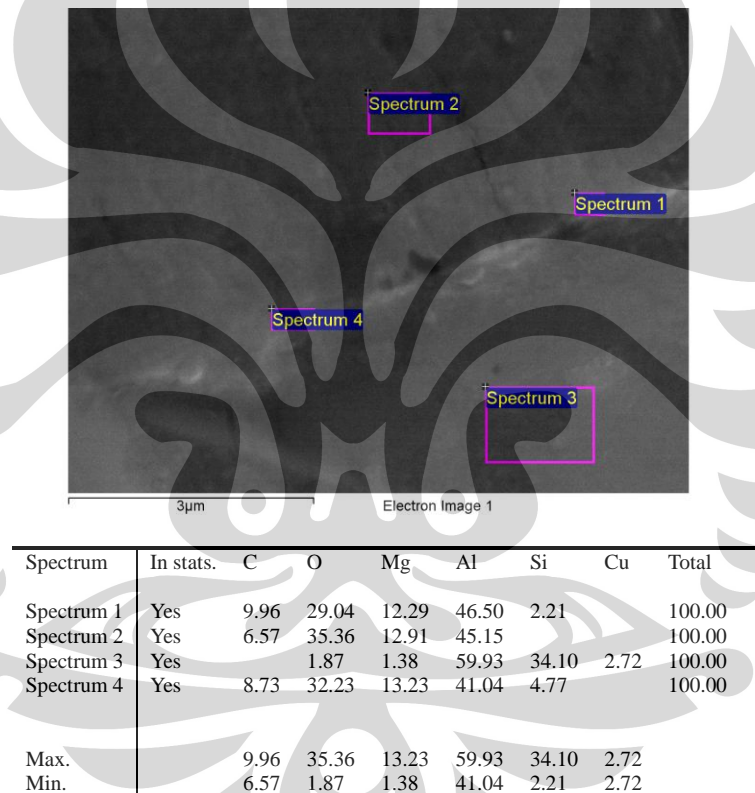


Gambar 4.14. Struktur mikro ; (A) Paduan AC8H dengan perbesaran 100x , (B) Paduan AC8H dengan perbesaran 500x, (C) Komposit Al-22,5%Al₂O₃ dengan perbesaran 100x, (D) Komposit Al-22,5%Al₂O₃ dengan perbesaran 500x

Pada gambar 4.14 terlihat adanya *clustering* partikel Al_2O_3 dan juga porositas pada komposit Al-22,5% Al_2O_3 . Hal ini disebabkan oleh wetting yang kurang baik dan selama pengadukan menyebabkan gas masuk ke dalam logam cair dan terperangkap pada saat pendinginan.

IV.3.6 Pengamatan SEM dan EDS Komposit Al-22,5% Al_2O_3

Pengamatan SEM, EDS dan XRD dilakukan untuk mengetahui keberadaan elemen dan fasa pada komposit Al-22,5% Al_2O_3 . Pada gambar 4.15 terlihat keberadaan elemen yang berada pada interface antara matriks aluminum dan penguat Al_2O_3 .



Gambar 4.15. Hasil SEM dan EDS komposit Al-22,5% Al_2O_3

Dari hasil pengamatan SEM dan EDS pada gambar 4.15 terlihat daerah interface antara matriks aluminum dan penguat Al_2O_3 hasil *plating*. Daerah pada spectrum 3 menunjukkan matriks aluminum AC8H. Gambar 4.15 juga menunjukkan kemungkinan terbentuknya fasa baru pada interface komposit tersebut.

BAB V

KESIMPULAN

1. Proses *electroless plating* partikel Al_2O_3 dengan larutan elektrolit ($\text{HNO}_3+\text{Al}+\text{Mg}$) merupakan salah satu bentuk rekayasa interfasial permukaan partikel Al_2O_3 dalam meningkatkan aspek *wettability* antara matriks dan penguat.
2. Proses *electroless plating* partikel Al_2O_3 dengan larutan elektrolit ($\text{HNO}_3+\text{Al}+\text{Mg}$) menghasilkan lapisan *metal* oksida (MgAl_2O_4) yang berfungsi untuk memperbaiki *interface* antara matriks dan penguat.
3. Lapisan *metal* oksida yang merata pada permukaan Al_2O_3 diperoleh dengan penambahan kandungan 0,004 mol (0,1 gr) magnesium ke dalam larutan *electroless plating*.
4. Secara umum pada komposit Al-22,5% Al_2O_3 terjadi peningkatan sifat mekanik seperti kekerasan dan keausan jika dibandingkan dengan material AC8H. Nilai kekerasan komposit Al-22,5% Al_2O_3 114,11 BHN dan AC8H 76,23 BHN. Nilai laju aus komposit Al-22,5% Al_2O_3 $4,854 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{mm}$ dan AC8H $1,057 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/\text{mm}$.
5. Kekuatan tarik komposit Al-22,5% Al_2O_3 menurun jika dibandingkan dengan material AC8H karena porositas cukup tinggi. Nilai kekuatan tarik komposit Al-22,5% Al_2O_3 150,84 MPa dan AC8H 213,51 MPa.
6. Porositas komposit Al-22,5% Al_2O_3 cukup tinggi, yakni sebesar 11,8 %.

DAFTAR ACUAN

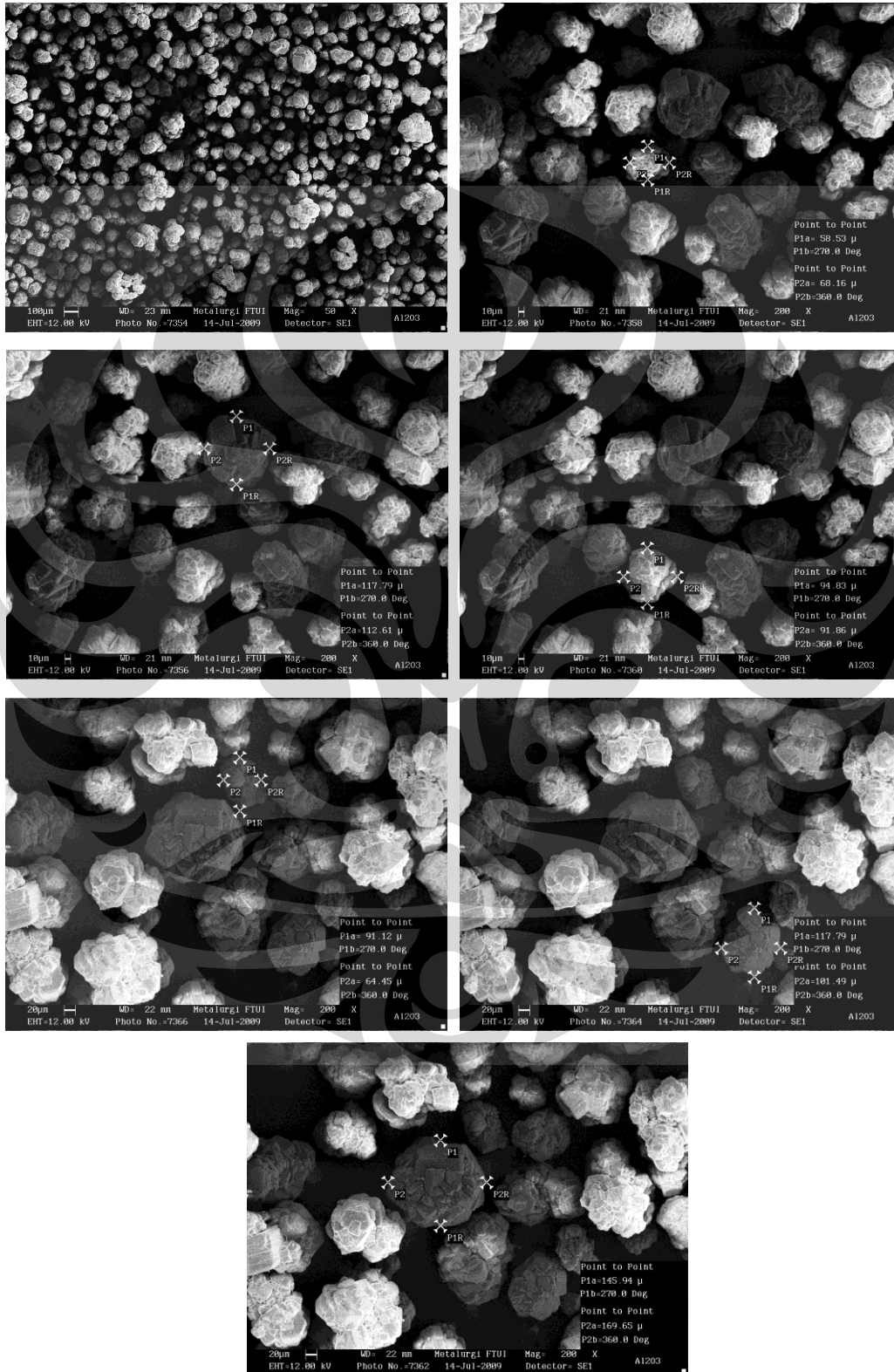
1. Cawla, Nikilesh., and Cawla, Krishan.K. (2006). Metal Matrix Composites. *Springer*, pp.1 .
2. http://www.secat.net/answers_view_article.php?article=Aluminum_Matrix_Composites.html (di download tanggal 28/10/2009 16:30)
3. Doremus, Robert H. "Alumina". <http://www.springerlink.com-content-j30j54w385q278q0-fulltext.pdf>. (didownload 22-07-2009)
4. Reddy, Sudheer et.al. "An Attempt to Understand Stir Casting Process."International Conference on Advanced Materials and Composites (ICAMC-2007), Oct 24-26, 2007.
5. Hashim, Jasmi. "The Production of Cast Metal Matrix Composite by A Modifier Stir Casting Method", 35(A) Dis. 2001: 9-20, Universiti Teknologi Malaysia.
6. Zainuri, M., et.al., "Pengaruh Pelapisan Permukaan Partikel SiC dengan Oksida Metal Terhadap Modulus Elastisitas Komposit Al/SiC." MAKARA, SAINS, Vol 12, NO. 2, November 2008.
7. Hull, D. & Clyne, T.W. "An Introduction to Composite Materials." Second Edition. Cambridge University Press, 1996,pp.135-137.
8. Pramuji L. Franciska et al, "Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al₂O₃ Terhadap Karakteristik Komposit Laminat Hybrid Al/SiC-Al/Al₂O₃ Produk Metalurgi Serbuk." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2007.
9. Zhong, W.M., L'Esperance, G. & Suery, M. *Interfacial reactions in Al-Mg (5083) /Al₂O₃p composites during fabrication and remelting*. Metall. Mater. Trans. 26A, 2625-2635. (1995).
10. Ketz, F., et.al. (2004). The Electroless Deposition of Nickel on SiC Particles for Aluminum Matrix Composites. *Surface and coating technology vol 180-181*, pp. 575-579.
11. Chang, Shou-Yi., et.al. (1999). Processing Copper and Silver Matrix Composites by Electroless Plating and Hot Pressing. *Metallurgical and material transaction A vol 30A*, pp. 1119-1136.

12. Gao, H. Q., Wang L. D., and Fei, W. D. (2007, Dec). Electroless Plating Copper Coating of Al18B4O33 Whisker for Interface Improvement Whiskers Reinforced Aluminium Matrix Composites. *Materials Science and Technology*, 23 (12), pp. 1497-1504. *ProQuest Science Journals*.
13. Zulfia, Anne. Materi Kuliah Komposit.2009.
14. Rizam, S.S., et.al. (2007) Effect Particle Coating on Matrix-reinforcement Bonding, *ICoSM*.
15. <http://www.face-kyowa.com/en/learning/learning1.html> (didownload pada 29/05/2010 pukul 16.00).
16. <http://www.kruss.de/en/theory/measurements/contact-angle/wetting-envelope.html> (didownload pada 29/05/2010 pukul 16.00)
17. Callister, jr. William D. "Material Science and Engineering an Introduction.", John Wiley & Sons, Inc. 2003.
18. Cawla, Nikilesh., and Cawla, Krishan.K. (2006). Metal Matrix Composites. *Springer*, pp.3 .
19. ASM Handbook Volume 21, Composites. USA: ASM Internasional.2001.
20. Koczak, Michael J., et.al. (1993). Chapter 16. Metal-Matrix Composites for Ground Vehicle, Aerospace, and Industrial Applications . *Fundamental of Metal Matrix Composite*, pp. 309.
21. Mas'udah, Tatu. "Pengaruh Volume Percent SiC Coating Terhadap Karakterisasi Komposit Al/SiCp Produk Gravity Casting". Tesis. Program Pascasarjana Departemen Metalurgi dan Material Universitas Indonesia. Desember. 2009.
22. Sulton, M. Fauzi et.al., "Pengaruh Temperatur Pengadukan dan % Volum Fraksi Al₂O₃ Terhadap Sifat Mekanik Paduan Al+10%Mg Hasil Stir Casting." Thesis. Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik Universitas Indonesia. Juni. 2007.
23. Kaufman, J. Gilbert., Rooy, Elwin L. (2004). Aluminum Alloy Castings Properties, Processes, and Applications. *ASM International*, pp.8.
24. Surdia, Tata., and Saito, Shinroku. (1985). Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: PT. Pradnya Paramita. pp. 137.

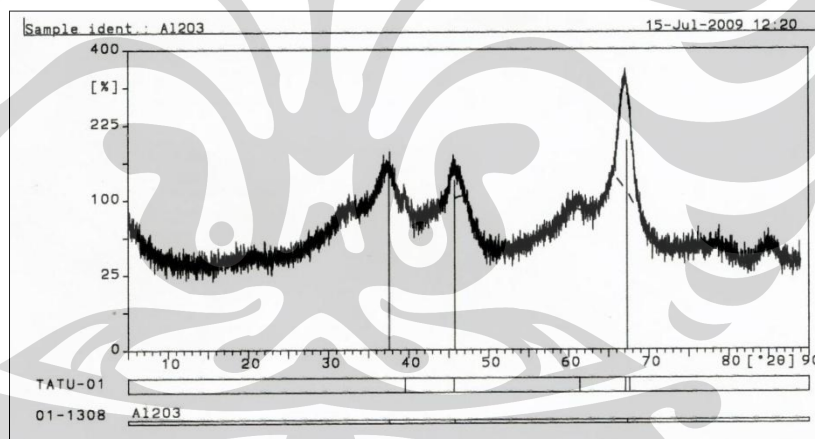
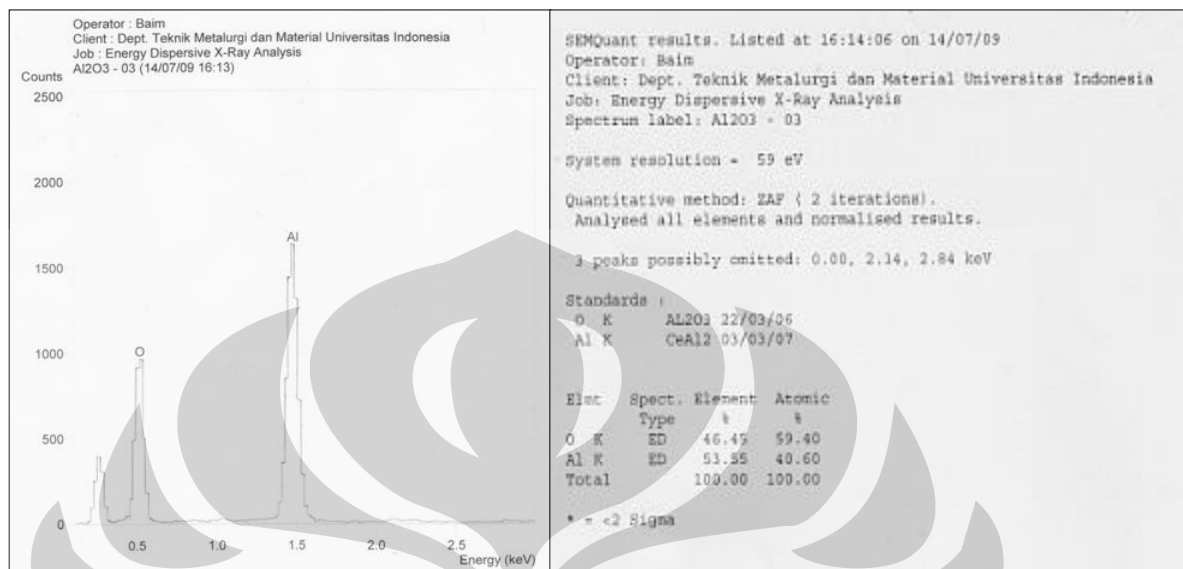
25. Kang, C.G. and Youn, S.W. et.al., "Mechanical Properties of Particulate Reinforced Metal matrix Composites by Electromagnetic and Mechanical Stirring and Reheating Process for Thixoforming. Elsevier.



LAMPIRAN A
Foto SEM Al₂O₃ as-received

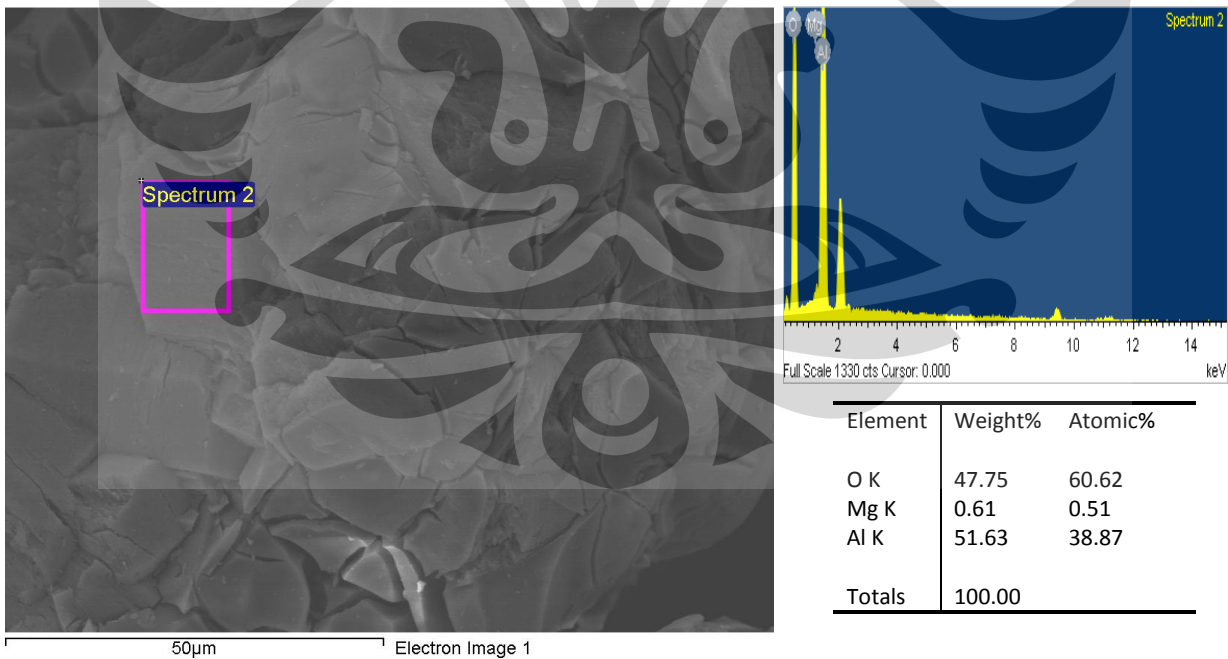
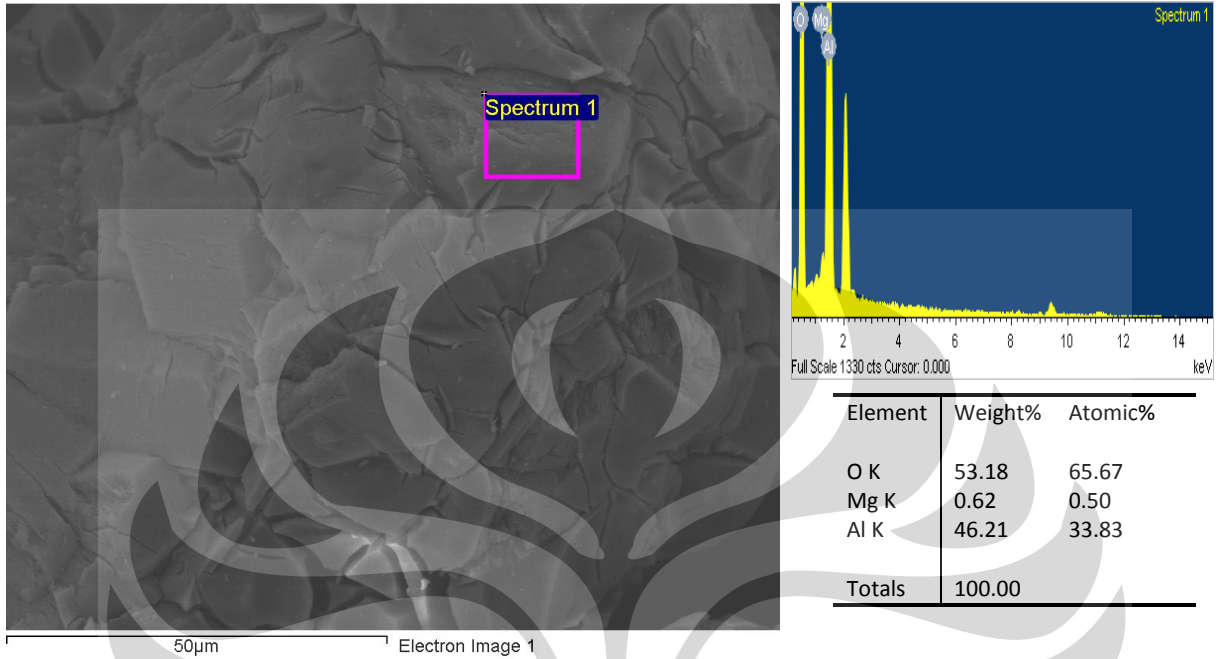


LAMPIRAN B
 Hasil EDS dan XRD Al₂O₃ as received

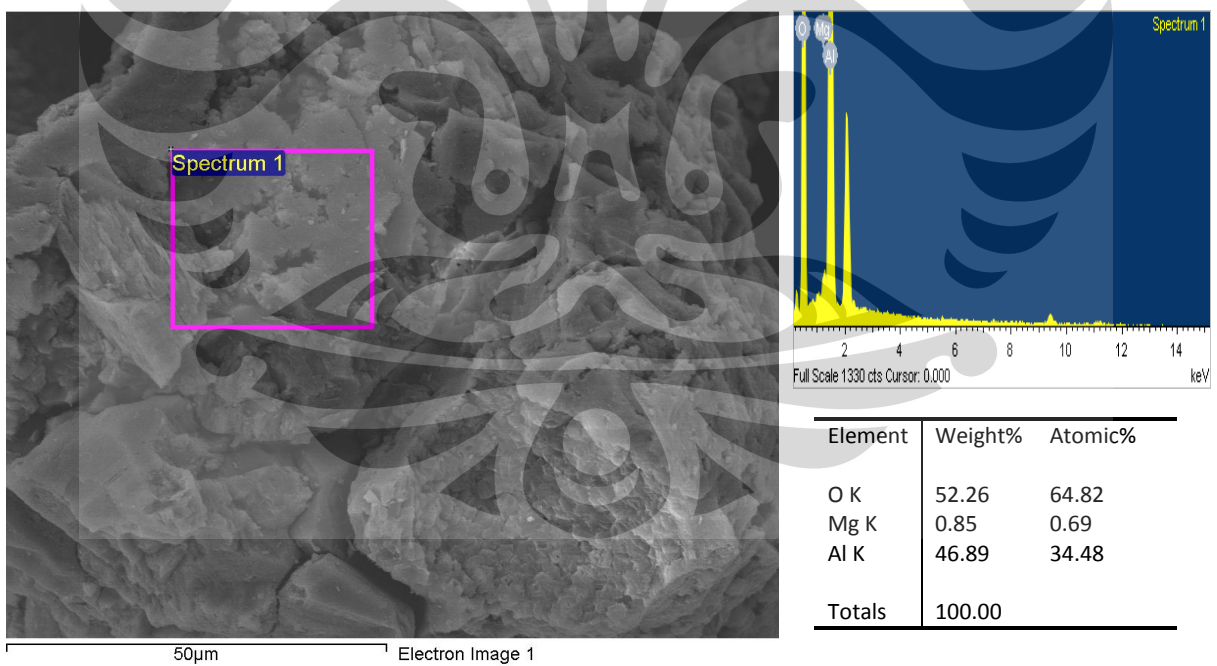
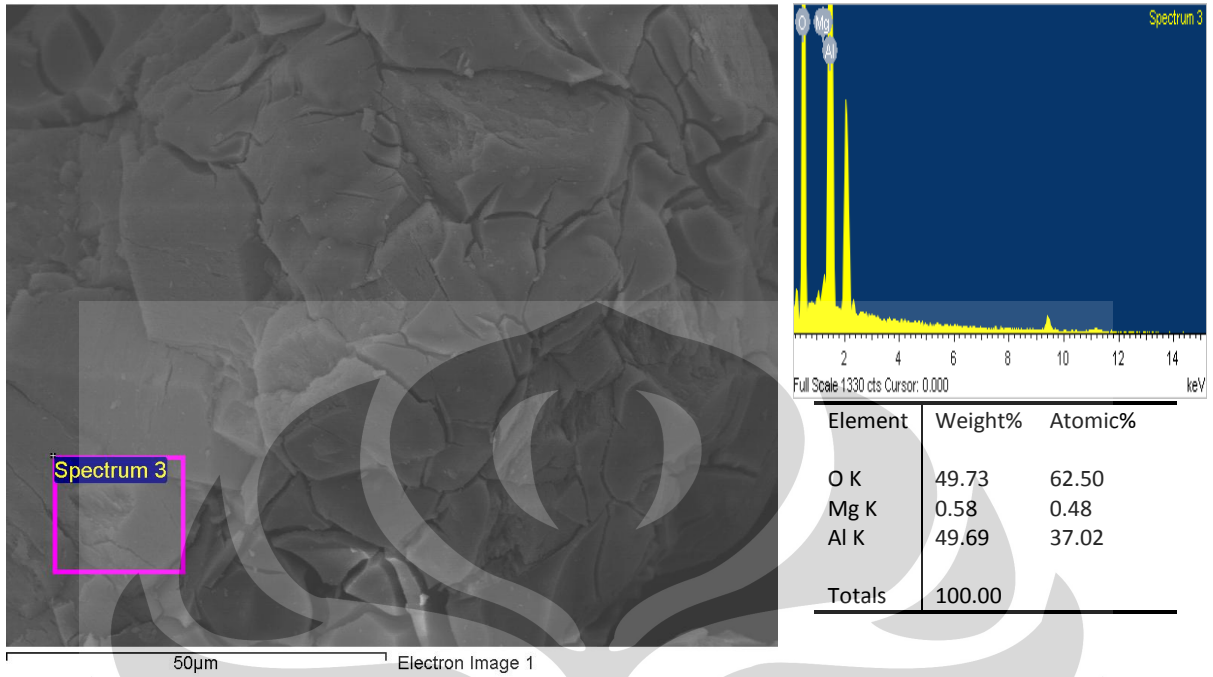


LAMPIRAN C
 Hasil SEM dan EDS Al_2O_3 *electroless plating*

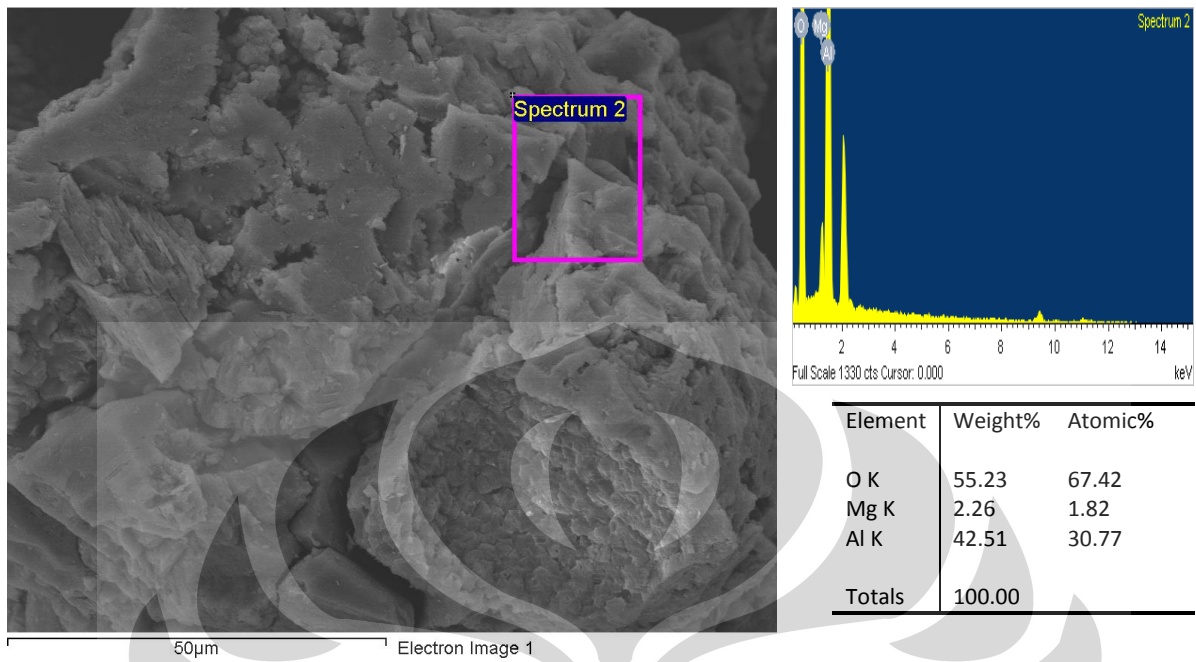
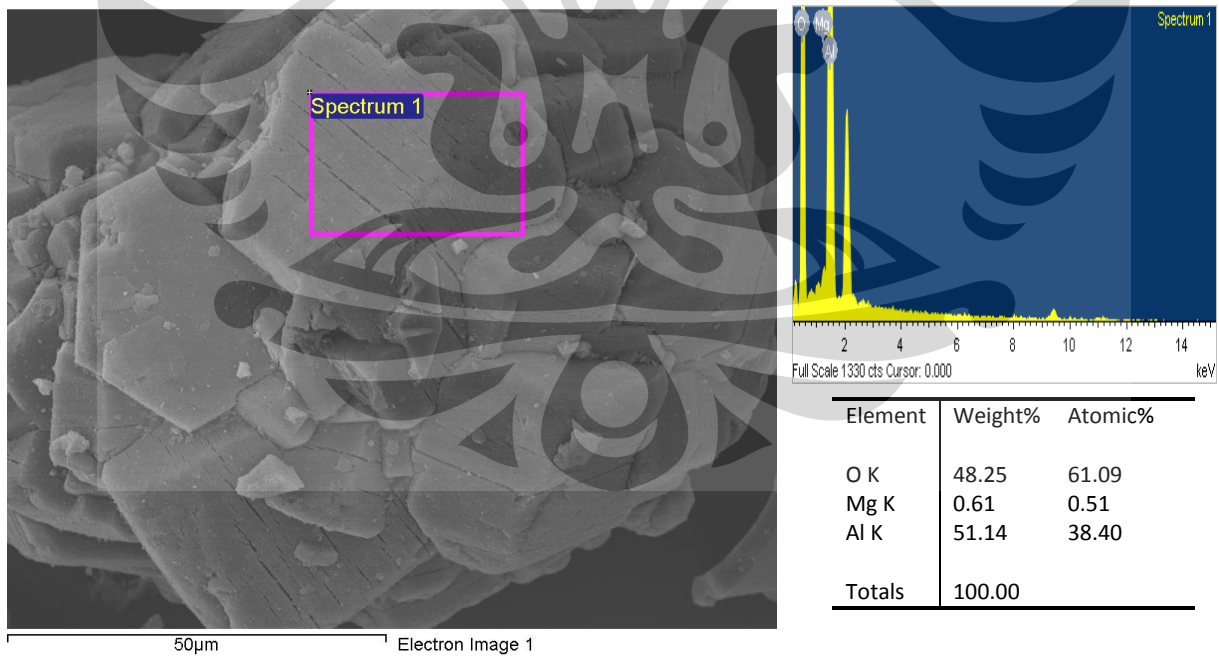
Sampel 2



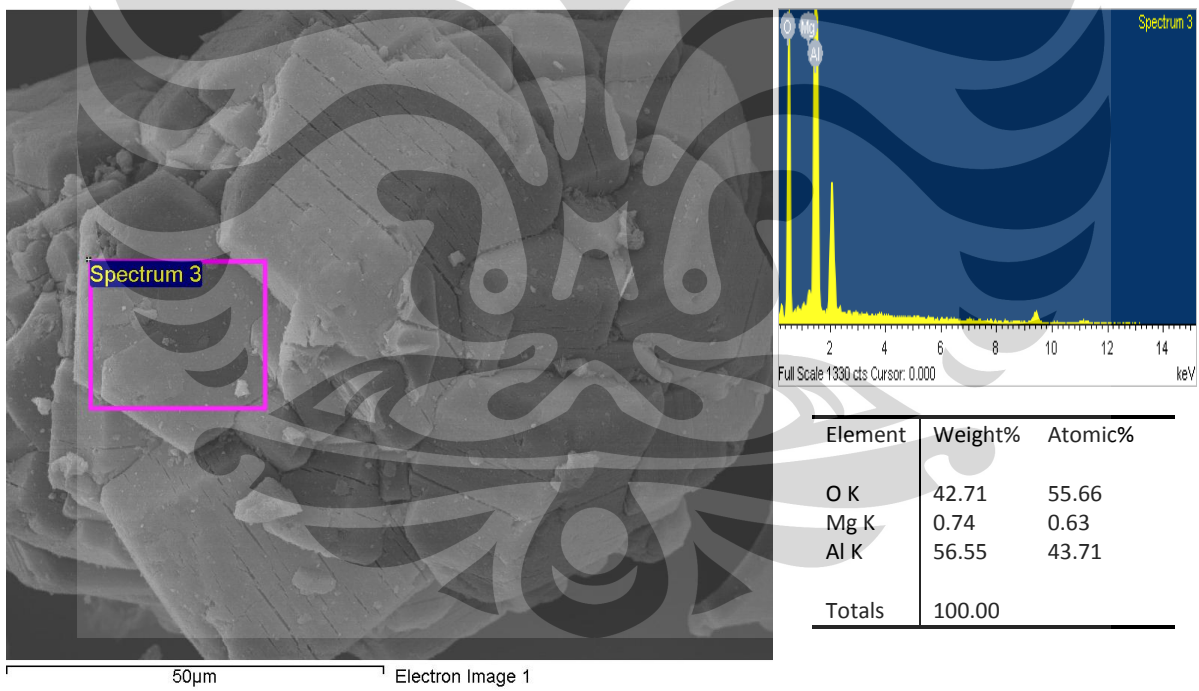
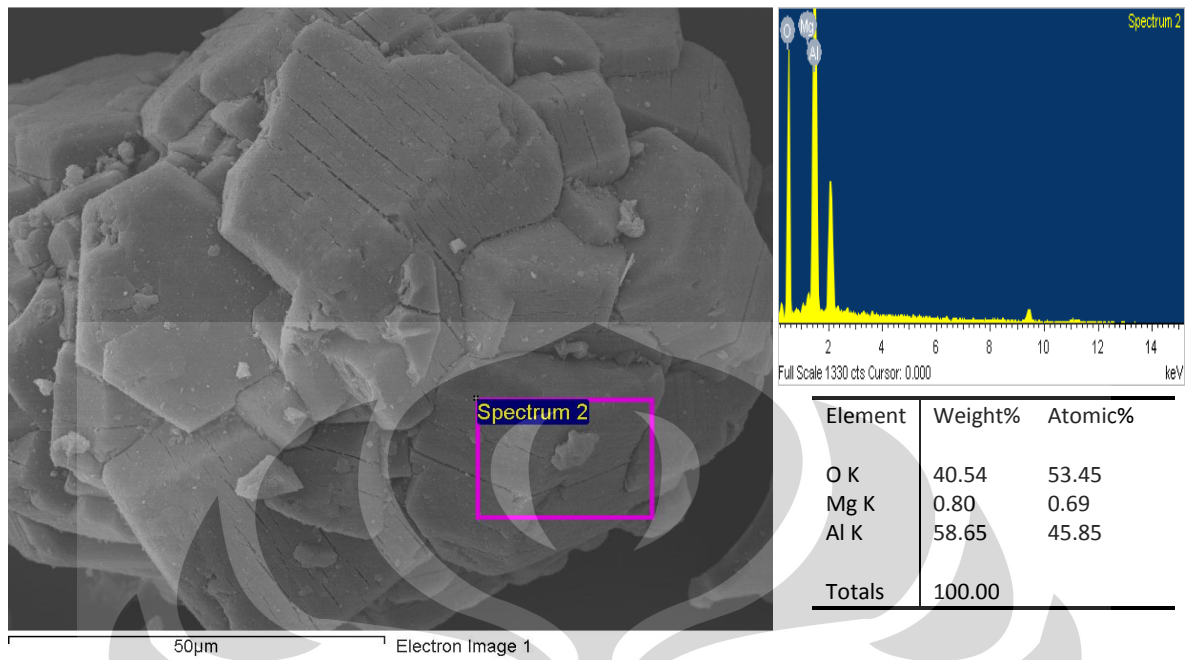
Lanjutan



Lanjutan

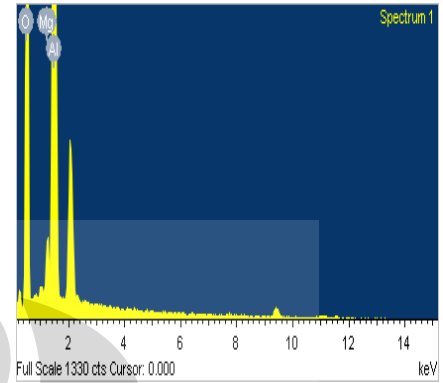
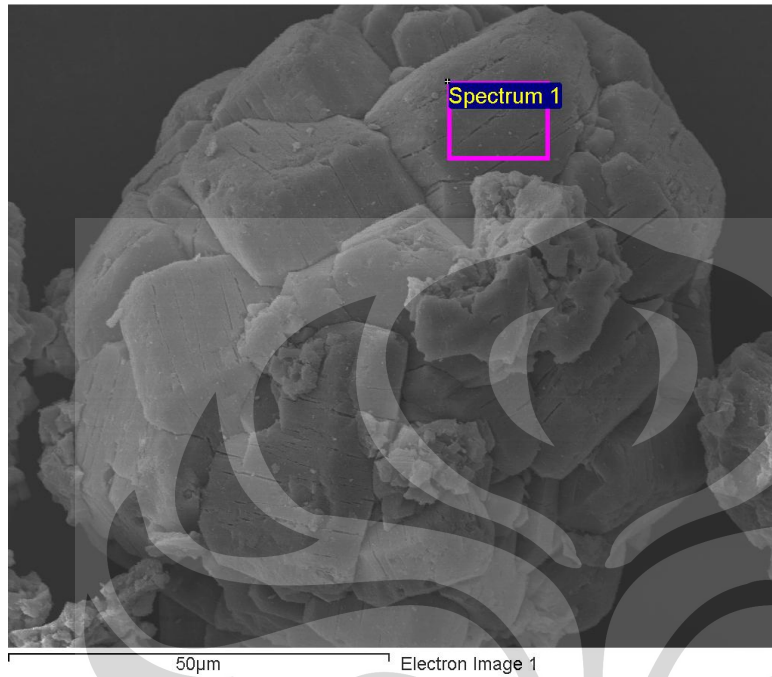
*Sampel 3*

Lanjutan

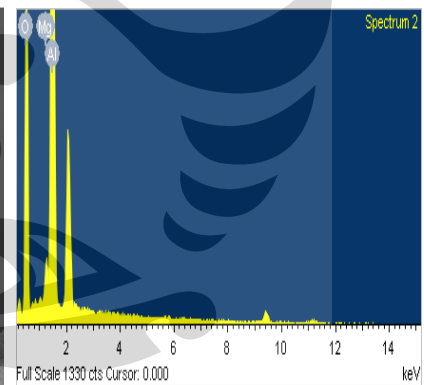
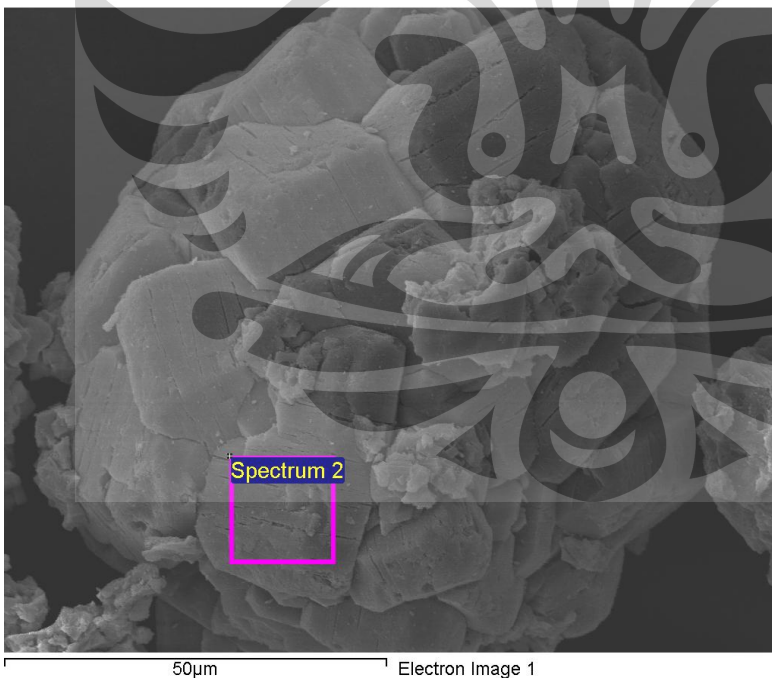


Lanjutan

Sampel 4

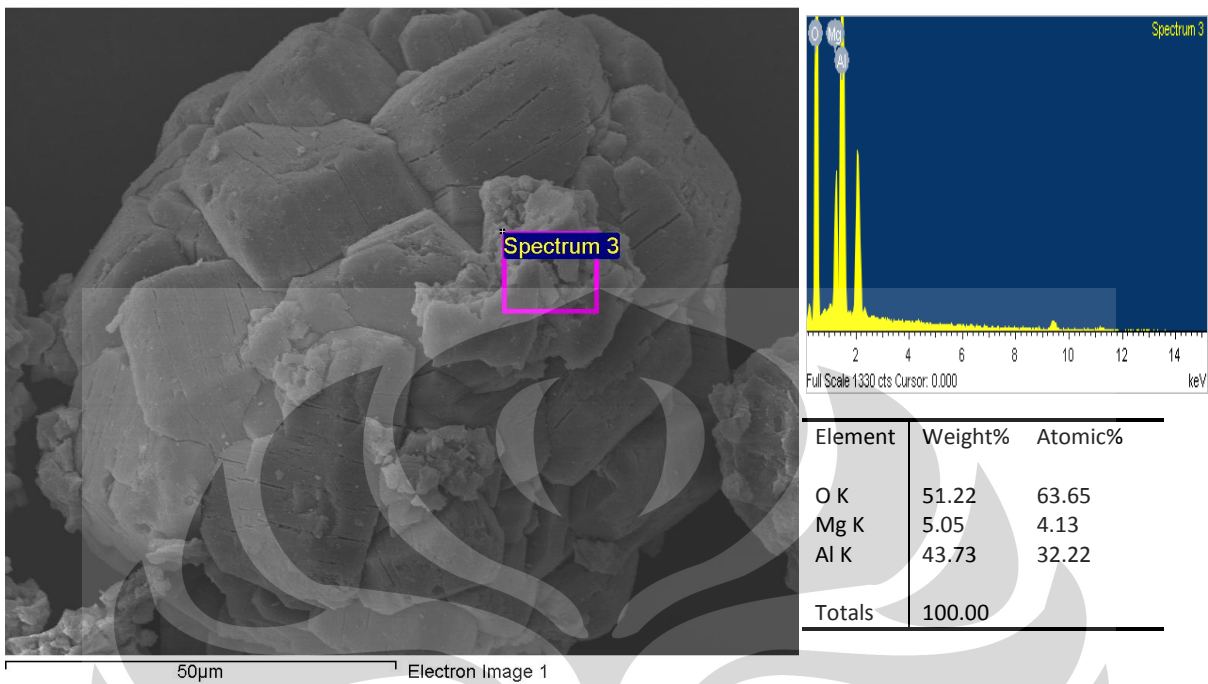
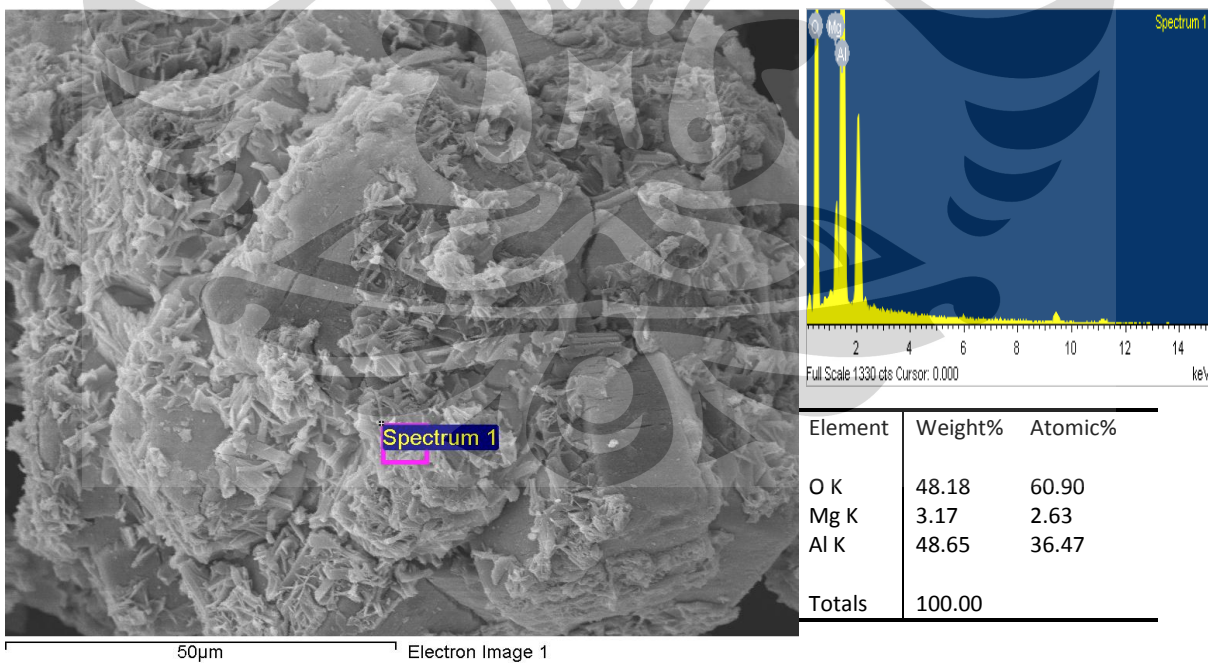


Element	Weight%	Atomic%
O K	43.69	56.61
Mg K	1.56	1.33
Al K	54.74	42.06
Totals	100.00	

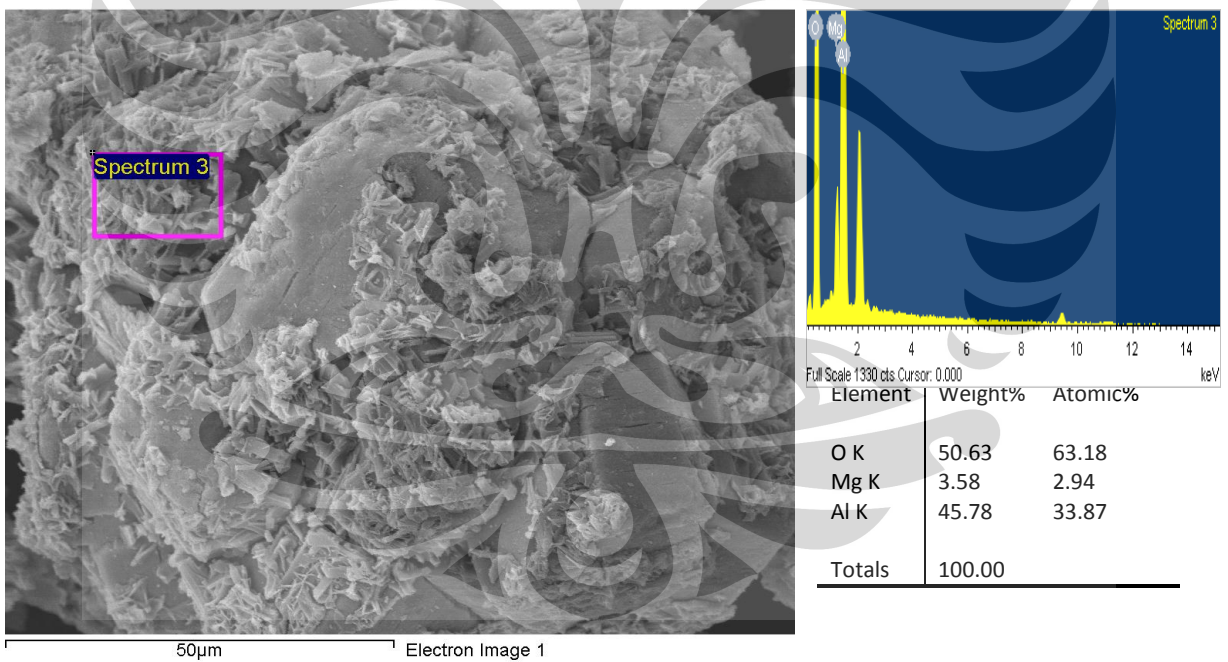
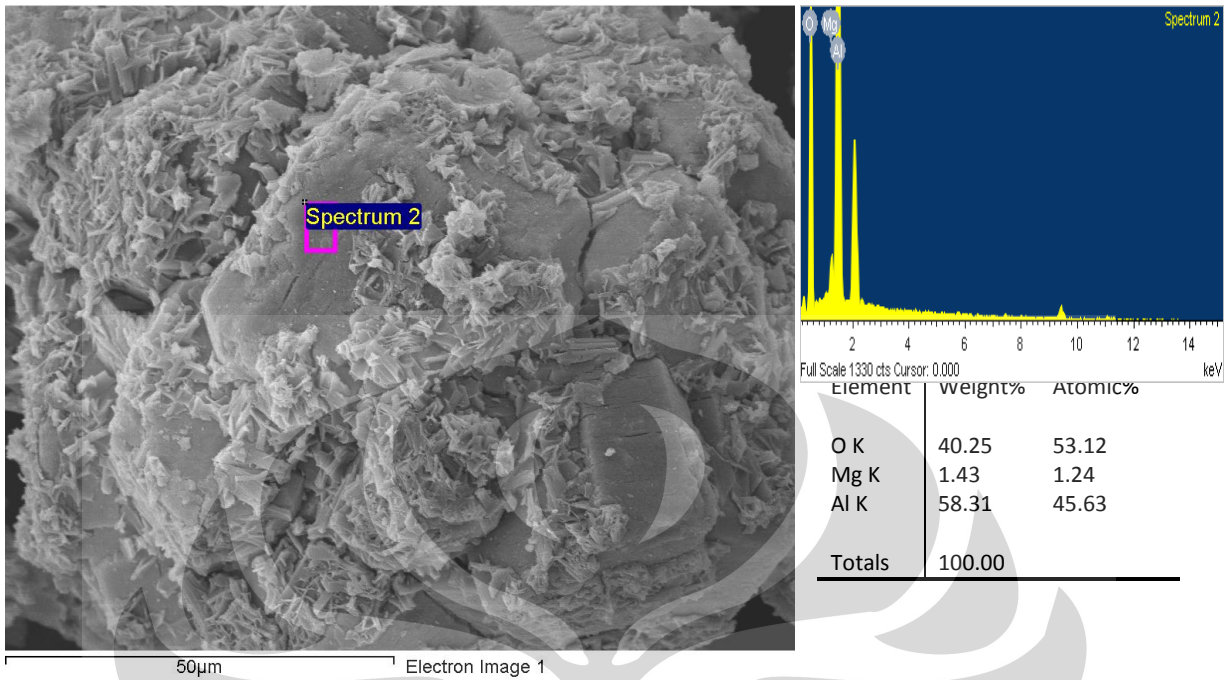


Element	Weight%	Atomic%
O K	43.10	56.02
Mg K	1.39	1.19
Al K	55.52	42.79
Totals	100.00	

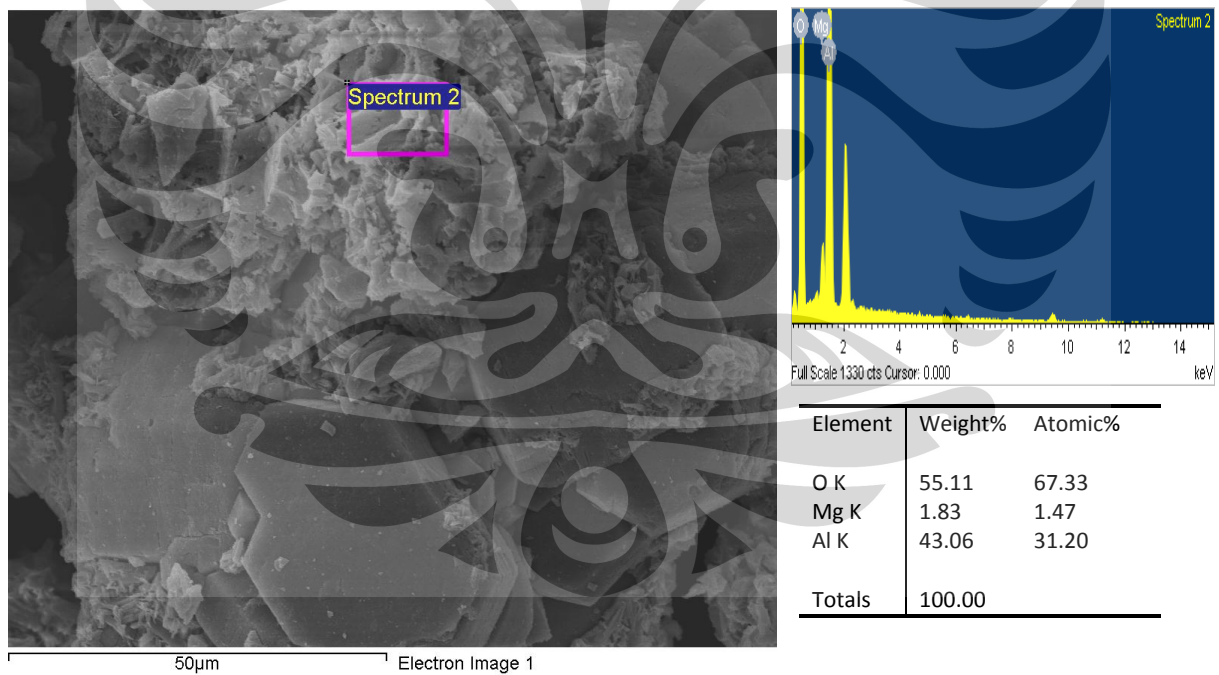
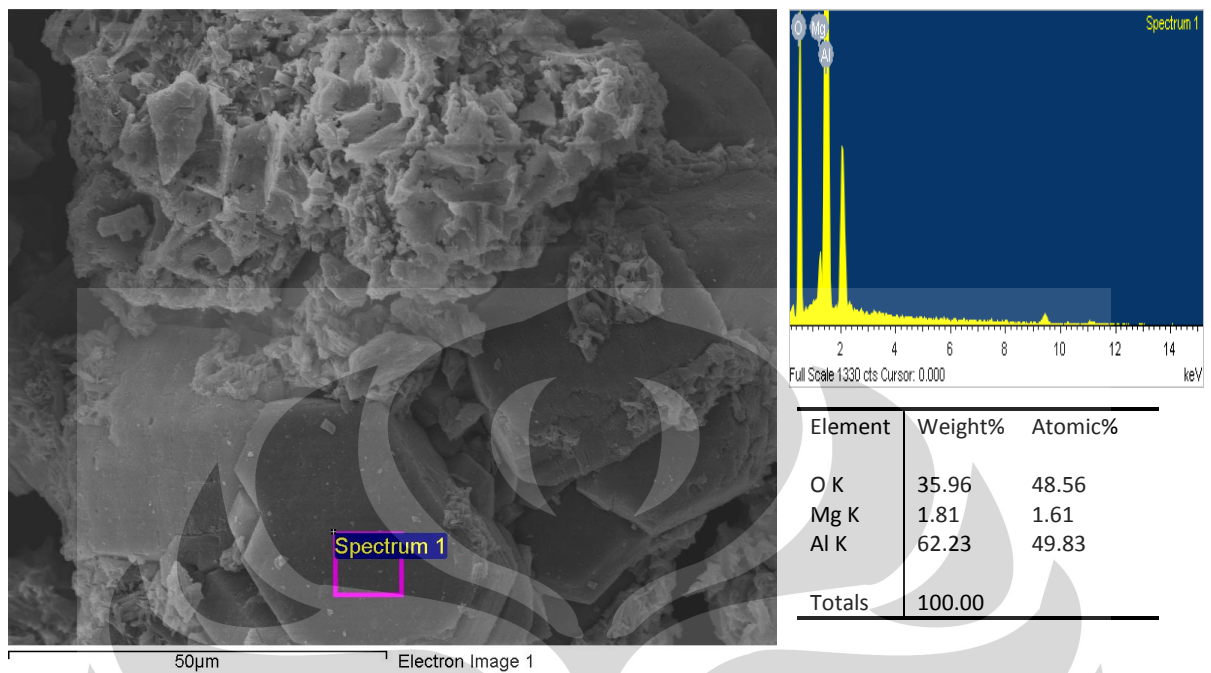
Lanjutan

*Sampel 5*

Lanjutan



Lanjutan



LAMPIRAN D
Data uji kekerasan

Tabel D.1 Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

SAMPEL	P (Kg)	D (mm)	Diameter Jejak										d avg (mm)	BHN
			d1		d2		d3		d4		d5			
			x	y	x	y	x	y	x	y	x	y		
Al-22,5%Al ₂ O ₃	31,25	3,2	0,544	0,556	0,62	0,632	0,537	0,543	0,639	0,58	0,633	0,596	0,588	114,11
AC8H	31,25	3,2	0,716	0,705	0,735	0,721	0,714	0,717	0,714	0,722	0,723	0,713	0,718	76,23

Dimana :

P = Beban yang diberikan (Kg)

D = Diameter indentor (mm)

d = Diameter jejak (mm)

BHN = Tingkat kekerasan brinell

LAMPIRAN E
Data Uji Keausan

Tabel E.1 Hasil Pengujian Aus

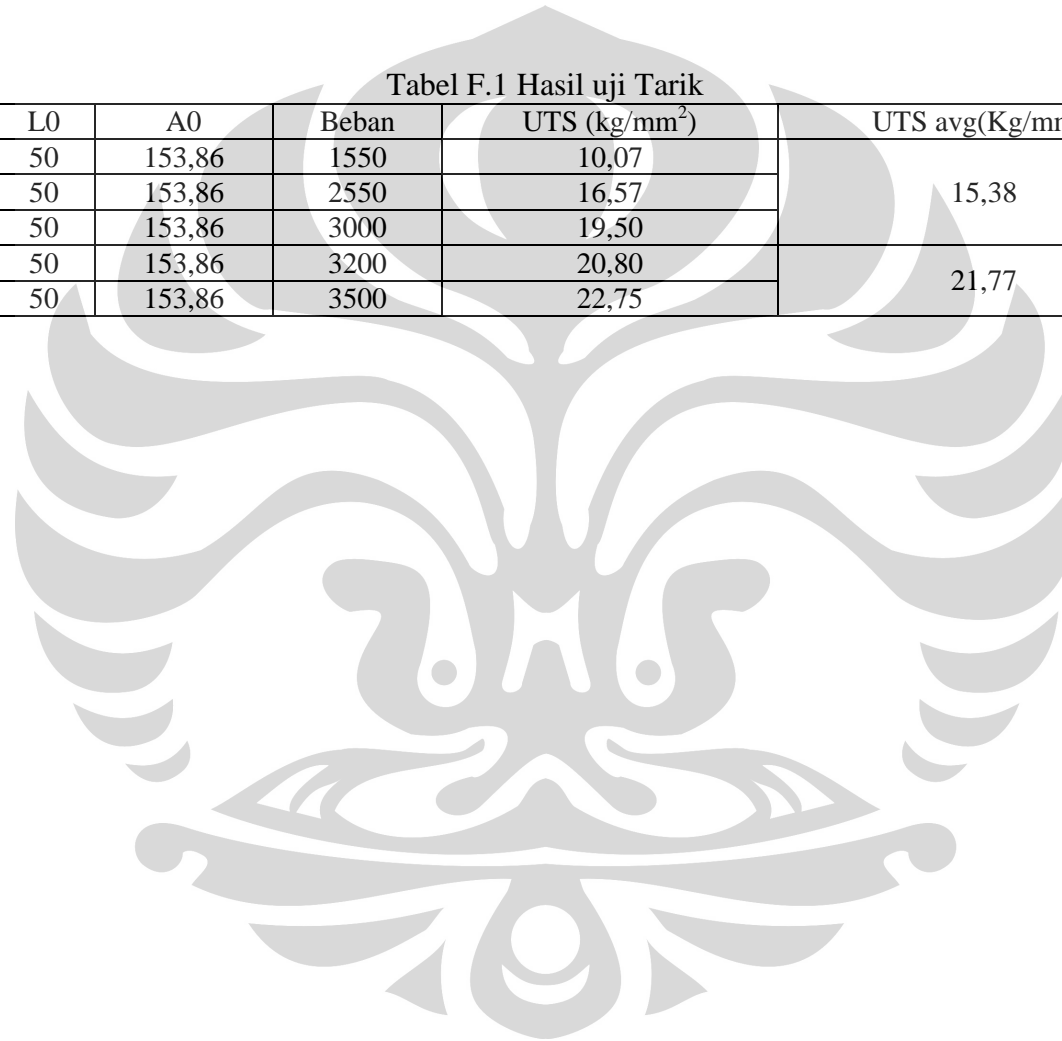
SAMPPEL	Lebar Celah Terabrasi				X (mm)	P(Kg)	V (m/s)	(W(mm ³))	LA (mm ²)
	b1 (mm)	b2 (mm)	b3 (mm)	bavg (mm)					
Al-22,5%Al ₂ O ₃	2,647	2,554	1,93	2,687	66600	6,32	2,38	0,32329417	4,854E-06
	2,887	2,915	2,51						
	2,824	2,998	2,917						
AC8H	3,559	3,198	3,464	3,482	66600	6,32	2,38	0,70381703	1,0568E-05
	3,177	3,564	3,244						
	3,711	3,657	3,767						

Dengan :
 P (beban) = 6,32 Kg
 B (tebal cincin) = 3 mm
 X (jarak luncur) = 66600 mm
 V (kecepatan) = 2,38 m/s
 R (jari-jari cincin) = 15 mm

LAMPIRAN F
Data Uji Tarik

Tabel F.1 Hasil uji Tarik

SAMPEL	L0	A0	Beban	UTS (kg/mm ²)	UTS avg(Kg/mm ²)	UTS (Mpa)
Al-22,5% Al ₂ O ₃	50	153,86	1550	10,07	15,38	150,84
	50	153,86	2550	16,57		
	50	153,86	3000	19,50		
AC8H	50	153,86	3200	20,80	21,77	213,51
	50	153,86	3500	22,75		

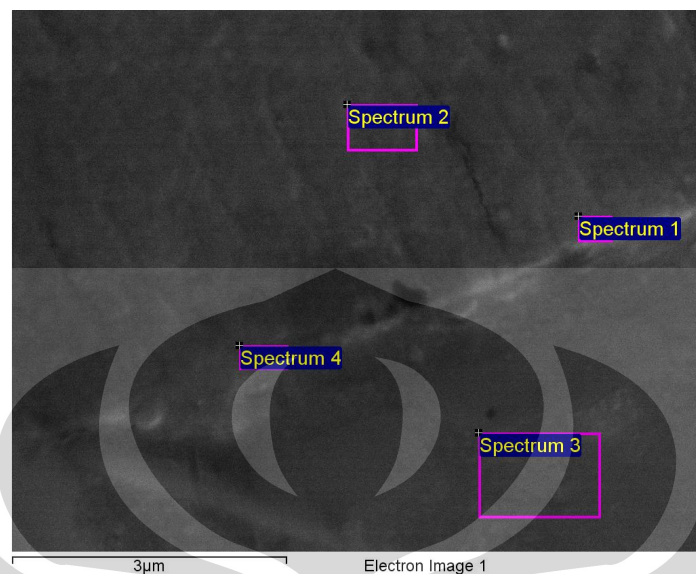


LAMPIRAN G
Data Uji Porositas

Tabel G.1 Hasil Uji porositas

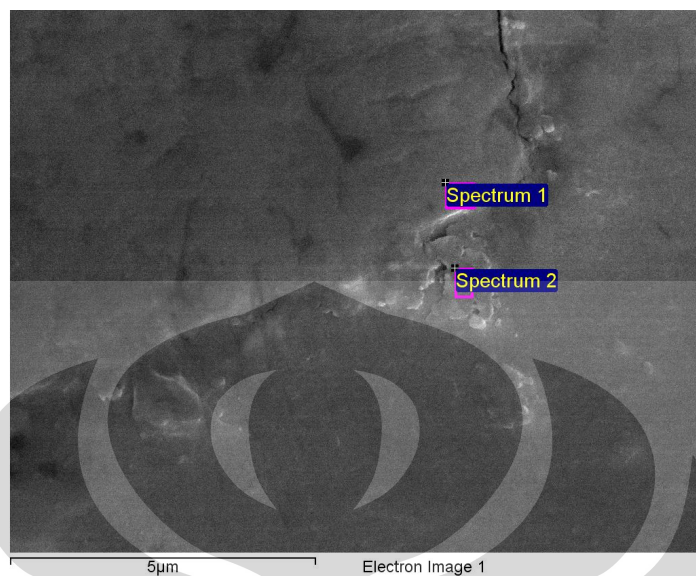
SAMPEL	Berat Kering (gram)	Berat dalam Air (gram)	Density Air (gr/cm ³)	Volume Sampel (cm ³)	Densitas Sampel (gr/cm ³)	Densitas Sampel avg (gr/mm ³)	Densitas Teoritis (gr/mm ³)	Porositas
Al- 22,5% Al ₂ O 3	9,81	3,82	1	3,82	2,568062827	2,559690618	2,902032136	0,117
	8,59	3,3	1	3,3	2,603030303			
	9,43	3,76	1	3,76	2,507978723			
AC8H	20,45	7,54	1	7,54	2,712201592	2,696882063	2,7	0,001
	14,51	5,33	1	5,33	2,722326454			
	12,59	4,74	1	4,74	2,656118143			

LAMPIRAN H
 Hasil SEM dan EDS komposit Al-22,5%Al₂O₃



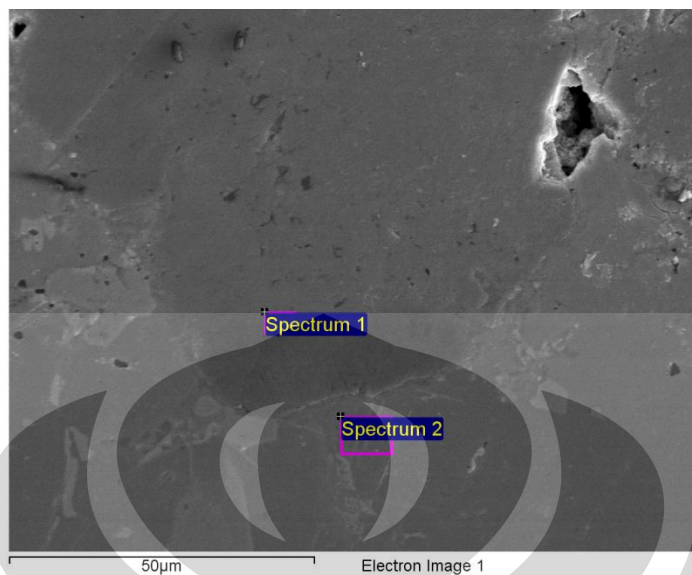
Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	Cu	Total
Spectrum 1	Yes	9.96	29.04	12.29	46.50	2.21		100.00
Spectrum 2	Yes	6.57	35.36	12.91	45.15			100.00
Spectrum 3	Yes		1.87	1.38	59.93	34.10	2.72	100.00
Spectrum 4	Yes	8.73	32.23	13.23	41.04	4.77		100.00
Max.		9.96	35.36	13.23	59.93	34.10	2.72	
Min.		6.57	1.87	1.38	41.04	2.21	2.72	

Lanjutan



Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	Cu	Total
Spectrum 1	Yes	6.96	33.98	15.17	40.71	3.18		100.00
Spectrum 2	Yes	11.34	16.21	13.38	45.13	11.80	2.14	100.00
Max.		11.34	33.98	15.17	45.13	11.80	2.14	
Min.		6.96	16.21	13.38	40.71	3.18	2.14	

Lanjutan



Spectrum	In stats.	C	O	Mg	Al	Si	Cu	Pt	Total
Spectrum 1	Yes	5.73	32.58	8.05	35.81			17.83	100.00
Spectrum 2	Yes	7.11	2.38	1.70	77.91	9.70	1.20		100.00
Max.		7.11	32.58	8.05	77.91	9.70	1.20	17.83	
Min.		5.73	2.38	1.70	35.81	9.70	1.20	17.83	