



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM AC8A/GRAFIT  
DENGAN PROSES *STIR CASTING***

**SKRIPSI**

**INDRA SEPTIAWAN  
0806331645**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**KARAKTERISTIK KOMPOSIT ALUMINIUM AC8A/GRAFIT  
DENGAN PROSES *STIR CASTING***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**INDRA SEPTIAWAN  
0806331645**

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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,**

**dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk**

**telah saya nyatakan dengan benar**

**Nama : Indra Septiawan**

**NPM : 0806331645**

**Tanda Tangan : **

**Tanggal : 13 Juli 2012**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Indra Septiawan

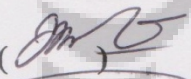
NPM : 0806331645

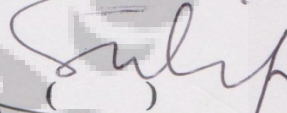
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

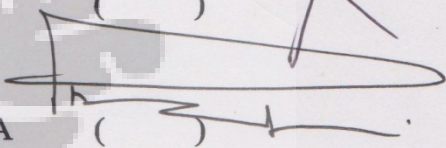
Judul Skripsi : Karakteristik Komposit Aluminium AC8A/Grafit  
Dengan Proses *Stir Casting*

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

### DEWAN PENGUJI

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

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

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :



## KATA PENGANTAR

Pertama-tama penulis ucapkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikah rahmat dan berkahNya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. 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) Tissa Nandaris Yuwono, yang menemani melewati waktu selama pembuatan skripsi ini
- (5) Yosia Samuel Manurung dan Muhammad Fahmi Hadar, teman seperjuangan dalam menyelesaikan skripsi ini.
- (6) Metalurgi dan Material angkatan 2008 yang telah memberikan bantuan moral dan dorongan semangat.
- (7) 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 dan material ke depan.

Depok, Juli 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS

### AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Indra Septiawan  
NPM : 0806331645  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

#### **Karakteristik Komposit Aluminium AC8A/Grafit Dengan Proses *Stir Casting***

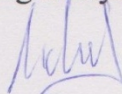
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 12 Juli 2012

Yang menyatakan



(Indra Septiawan)



## ABSTRAK

Nama : Indra Septiawan  
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material  
Judul : Karakteristik Komposit Aluminium AC8A/Grafit  
Dengan Proses *Stir Casting*

*Aluminium matrix composite* (AMC) ialah sebuah kelas komposit logam dengan berbagai potensi aplikasi struktur dan termal yang sedang berkembang. AMC dapat menyediakan tambahan sifat mekanis, ketahanan termal, ketahanan aus, stabilitas dimensi, dan berat yang lebih ringan.

Dalam penelitian kali ini digunakan grafit sebagai penguat dalam matriks Al-Si dengan menggunakan proses fabrikasi pengecoran aduk. Variasi penambahan kadar dari grafit yang ditambahkan ialah 1%, 3%, dan 5% fraksi berat dimana hal ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan grafit pada sifat sifat dari AMC tersebut. Untuk meningkatkan kemampubasahan alulminium terhadap grafit, digunakan magnesium untuk mengurangi sudut kontak antara grafit dengan aluminium dengan kadar grafit yang digunakan ialah 3,3% fraksi berat.

Aluminium memiliki sifat mekanis yang bertambah baik saat dilakukan proses perlakuan panas. Hal ini karena pengaruh pengerasan dari presipitat yang terbentuk saat proses perlakuan panas. AMC pada penelitian ini akan diberikan proses perlakuan panas T6 dimana hasilnya akan dibandingkan dengan AMC pada keadaan setelah pengecoran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar grafit pada aluminium memberikan nilai kekerasan yang menurun. Tetapi di lain hal, ketahanan aus semakin meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan grafit. Porositas dari komposit meningkat seiring dengan penambahan penguat grafit. Sementara komposit dengan perlakuan panas T6 memiliki kekerasan yang lebih tinggi dan juga ketahanan aus yang lebih baik dari keadaan setelah pengecoran.

Kata kunci :

*aluminium matrix composite*, pengecoran aduk, grafit, kemampubasahan, sifat mekanik, setelah pengecoran, perlakuan panas T6

## ABSTRACT

Name : Indra Septiawan  
Major : Metallurgy and Material Engineering  
Theme Title : Characteristics of Aluminium AC8A/Graphite  
Composite Fabricated with Stir Casting Process

Aluminium matrix composite (AMC) is a developing metal composite class with vast structural and thermal application. AMC provide a better mechanical properties, thermal resistance, dimensional stability, and lighter weight.

In this research graphite was used as a reinforce on aluminium silicon matrix and fabricated with stir casting. Graphite is varied from 1%, 3%, and 5% by weight percent in order to investigate the effect of increasing graphite percentage in the AMC. To increase the aluminium wettability to graphite, magnesium used to decrease the contact angle of graphite in aluminium and the percentage of magnesium used is 3,3% by weight percentage.

Aluminium is a heat treatable, in particular condition, and gain a better mechanical properties through heat treatment. The reason is the birth of precipitate because of heat treatment. The AMC on this research was treated in T6 and then compared with as-cast AMC.

The results show that increasing of graphite content in aluminium matrix give a decreasing hardness value. In the other hand, the wear resistances is increasing. Composite porosity increasing by increasing of graphite content. Meanwhile, T6 perlakuan panas composite have a higher hardness value and better wear resistance than the as-cast condition

Keywords :

Aluminium matrix composite, stir casting, graphite, wettability, mechanical properties, as-cast, T6 heat treatment



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	1
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS .....	v
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	v
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i> .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan penelitian.....	3
1.4. Ruang lingkup penelitian.....	3
1.5. Tempat Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penelitian .....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1. Aluminium.....	5
2.2. Paduan Aluminium-Silikon.....	6
2.3. Komposit .....	8
2.4. Metal Matrix Composite .....	9
2.5. Aluminium Matrix Composite .....	12
2.6. Particle Reinforced Composite.....	12
2.7. Komposit Aluminium/Grafit .....	13
2.8. Antarmuka dan Pembasahan .....	14
2.9. Pengecoran Aduk .....	16
2.10. Perlakuan panas.....	17
2.11. Material .....	19
2.11.1 Aluminium.....	19
2.11.2 Magnesium.....	20
2.11.3 Grafit.....	20
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>22</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	22
3.2. Peralatan .....	23
3.3. Bahan.....	23
3.3.1. Serbuk Grafit.....	24

3.3.2. Magnesium Blok.....	24
3.3.3. Aluminium AC8A.....	24
3.4. Proses Pembuatan Komposit Al/Grafit .....	24
3.5. Proses Perlakuan panas.....	26
3.6. Karakterisasi Komposit Al/Grafit .....	26
3.6.1. Pengujian Kekerasan.....	26
3.6.2. Pengujian Aus .....	27
3.6.3. Pengamatan Struktur Mikro.....	28
3.6.4. Pengujian Densitas Porositas .....	28
3.6.5. Pengujian Scanning Electron Microscope dan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy .....	30
3.6.6. Pengujian X-Ray Diffraction.....	31
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
4.1. Karakterisasi Partikel Grafit.....	33
4.1.1. Analisa Bentuk & Permukaan Grafit.....	33
4.1.2. Karakterisasi Elemen Grafit.....	35
4. 2. Karakterisasi Komposit Aluminium/Grafit .....	35
4.2.1. Pengujian Kekerasan.....	35
4.2.2. Pengujian Laju Aus .....	37
4.2.3. Pengujian Densitas dan Porositas.....	38
4.2.4. Pengujian XRD .....	39
4.2.5. Pengamatan Struktur Mikro .....	41
4.2.6. Pengamatan SEM dan EDS.....	44
<b>BAB 5 KESIMPULAN .....</b>	<b>48</b>
<b>DAFTAR ACUAN.....</b>	<b>49</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>52</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penandaan Paduan Wrought Aluminium <sup>[7]</sup> .....	5
Tabel 2. 2 Penandaan Paduan Cast Aluminium <sup>[7]</sup> .....	6
Tabel 2. 3 Penguat pada MMC <sup>[9]</sup> .....	10
Tabel 2. 4 Aplikasi dari <i>Metal Matrix Composite</i> <sup>[5]</sup> .....	11
Tabel 2. 5 Sifat Sifat Magnesium <sup>[22]</sup> .....	20
Tabel 2. 6 Sifat Sifat Grafit <sup>[23]</sup> .....	21
Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Aluminium AC8A <sup>[20]</sup> .....	24
Tabel 4. 1 Tabel hasil pengujian EDS dan kandungan unsur unsurnya.....	<b>Error!</b>

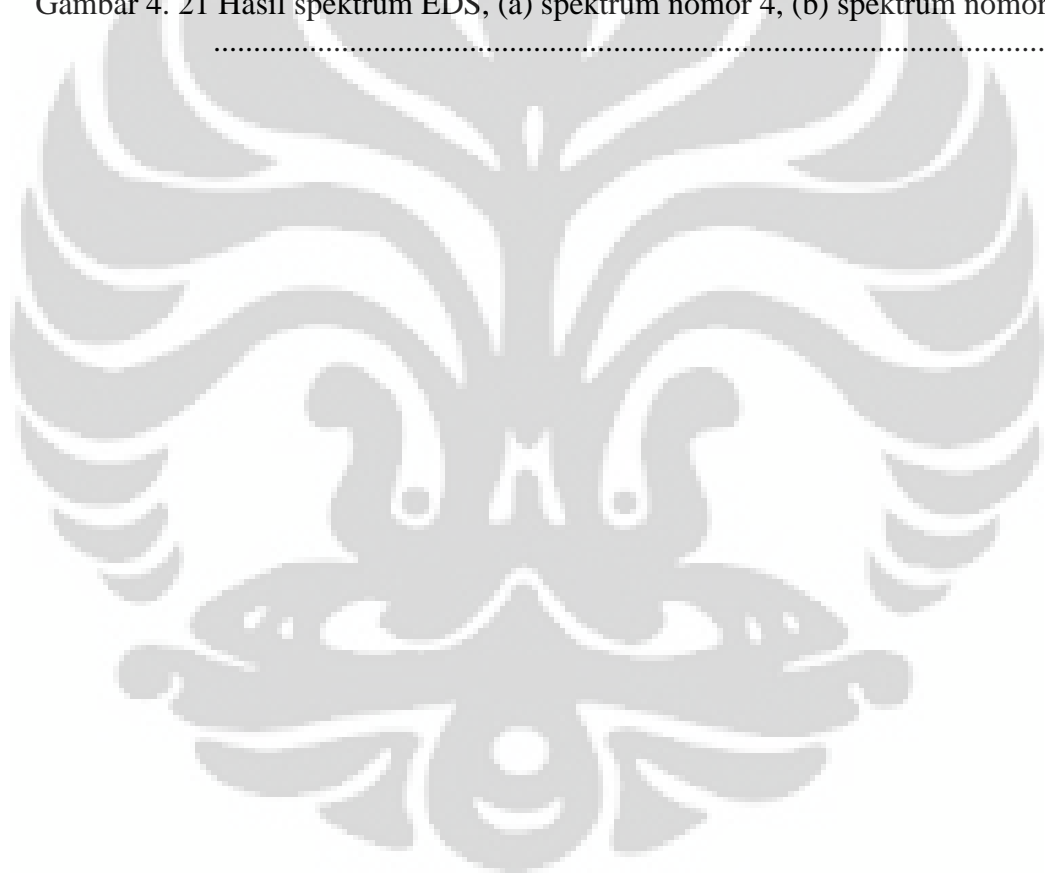
**Bookmark not defined.**



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) diagram fasa ekulibrium dari Al-Si , (b) mikrostruktur dari paduan hipoeutektik (1,65-12,6 wt% Si), (c) mikrostruktur dari paduan eutektik (12,6% Si), (d) mikrostruktur dari paduan hipereutektik (>12,6% Si). 150X <sup>[8]</sup> .....	7
Gambar 2. 2 Skema klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya <sup>[1]</sup> .....	9
Gambar 2. 3 Ilustrasi dari jenis jenis penguat pada MMC <sup>[9]</sup> .....	10
Gambar 2. 4 Jenis cacat porositas yang dihasilkan dari penambahan penguat kedalam matriks <sup>[12]</sup> .....	14
Gambar 2. 5 Sudut kontak pada dua permukaan <sup>[14]</sup> .....	14
Gambar 2. 6 Ilustrasi Skematik Sudut Kontak (a) terjadi pembasahan (b) tidak terjadi pembasahan <sup>[15]</sup> .....	15
Gambar 2. 7 Grafik yang menunjukkan sudut kontak dengan lama kontak matriks aluminium dengan penguat grafit (a) pada suhu 1100 °C dan (b) pada suhu 1200 °C. <sup>[28]</sup> .....	16
Gambar 2. 8 Skema alat pengecoran aduk <sup>[3]</sup> .....	17
Gambar 2. 9 (a) Skema heat treatment aluminium, (b) Plot kekerasan dengan lama penuaan <sup>[6]</sup> .....	17
Gambar 2. 10 Derajat koherensi presipitat a) acak, b) koheren, c) semi-koheren, d) inkoheren <sup>[16]</sup> .....	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian .....	23
Gambar 3. 2 Alat uji kekerasan Rockwell .....	26
Gambar 3. 3 Alat uji aus metode Ogoshi .....	27
Gambar 3. 4 Skema percobaan uji aus .....	27
Gambar 3. 5 Gambar alat amplas dan poles .....	28
Gambar 3. 6 Alat mikroskop elektron LEO 420 .....	31
Gambar 3. 7 Alat pengujian XRD .....	32
Gambar 4. 1 Bentuk partikel grafit .....	33
Gambar 4. 2 Foto pengukuran ukuran dari partikel grafit dengan menggunakan SEM .....	34
Gambar 4. 3 Hasil pengujian EDS dari serbuk grafit .....	35
Gambar 4. 4 Grafik uji kekerasan Rockwell B dari komposit setelah pengecoran dan perlakuan panas T6 .....	36
Gambar 4. 5 Grafik uji keausan pada komposit setelah pengecoran dan perlakuan panas T6 .....	37
Gambar 4. 6. Grafik densitas percobaan pada komposit AC8A/grafit .....	38
Gambar 4. 7. Grafik uji porositas pada komposit AC8A/grafit .....	38
Gambar 4. 8 Foto mikro yang menunjukkan (a) porositas karena gas dan (b) porositas karena pembasahan yang buruk dan klaster .....	39
Gambar 4. 9 Grafik puncak hasil XRD dari (a) AC8A/grafit 3% T6 (b) AC8A/grafit 3% setelah pengecoran .....	40
Gambar 4. 10 Grafik pengujian XRD dengan data card grafit .....	40
Gambar 4. 11 Foto mikro aluminium AC8A perbesaran 200x ; (a) setelah pengecoran (b) T6 Heat-Treated .....	41

Gambar 4. 12 Foto mikro komposit AC8A/grafit 1% setelah pengecoran ; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x .....	42
Gambar 4. 13 Foto mikro komposit AC8A/grafit 3% setelah pengecoran ; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x .....	42
Gambar 4. 14 Foto mikro komposit AC8A/grafit 5% setelah pengecoran ; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x .....	42
Gambar 4. 15 Foto mikro komposit AC8A/grafit 1% perlakuan panas T6; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x .....	43
Gambar 4. 16 Foto mikro komposit AC8A/grafit 3% perlakuan panas T6; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x .....	43
Gambar 4. 17 Foto mikro komposit AC8A/grafit 5% perlakuan panas T6; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x .....	43
Gambar 4. 18 Foto pengujian SEM dan EDS .....	45
Gambar 4. 19 Spektrum nomor 1 dengan puncak yang terbaca ialah karbon.....	46
Gambar 4. 20 spektrum EDS, (a) spektrum nomor 2, (b) spektrum nomor 3.....	47
Gambar 4. 21 Hasil spektrum EDS, (a) spektrum nomor 4, (b) spektrum nomor 5 .....	47





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini membuat peralatan yang digunakan manusia semakin maju dan sangat membantu manusia dalam kehidupan sehari-hari. Dengan meningkatnya kebutuhan akan teknologi maka diperlukan material penunjang yang memiliki sifat mekanis yang unggul dan efisien untuk penggunaan dalam aplikasinya

Dalam perkembangannya akan dibutuhkan suatu material yang tidak hanya terdiri dari satu jenis monolit seperti logam, keramik, atau polimer. Manusia akan membutuhkan material yang memiliki keunggulan dari ketiga jenis monolit tersebut yang bisa dicapai melalui material komposit. Material komposit adalah kombinasi makroskopik dari dua jenis material atau lebih yang berbeda fasa menjadi sebuah material baru yang memiliki sifat berupa gabungan keunggulan-keunggulan dari material-material penyusunnya.<sup>[1]</sup>

Salah satu teknologi temuan manusia yang berperan besar dalam menunjang kehidupan sehari-hari ialah mesin bakar. Material mesin bakar belakangan ini didominasi oleh aluminium dimana logam ini relatif ringan sehingga dapat meningkatkan efisiensi penggunaan mesin bakar. *Aluminium matrix composites* (AMC) adalah jenis komposit logam yang sering digunakan dan dapat menguntungkan apabila digunakan pada aplikasi permesinan. AMC menyediakan kombinasi sifat yang baik dibanding material monolit atau paduannya.<sup>[2]</sup> Salah satu bagian mesin bakar yang penting ialah piston, yaitu bagian yang berfungsi untuk menggerakkan poros sehingga kendaraan atau mesin dapat bergerak. Piston merupakan bagian dari mesin yang banyak diteliti dengan menggunakan material *aluminium matrix composite* (AMC) sebagai pengganti dari paduan aluminium monolit.

Perkembangan teknologi yang sangat cepat mendorong terciptanya berbagai macam metode pengecoran (*casting*), salah satunya adalah pengecoran aduk. Pengecoran aduk adalah metode fabrikasi fasa cair yang lebih murah dibanding metode lainnya.. Pada umumnya pengecoran aduk ialah produksi komposit dengan cara melelehkan matriks kemudian memasukkan material

penguat kedalam lelehan dan penguat didispersikan dengan cara diaduk (*stirring*).<sup>[3]</sup>

Pada penelitian ini penulis akan mencoba membuat suatu material komposit matriks aluminium (AMC) dengan partikel penguat berupa grafit. Karena sifat grafit yang unik yaitu mampu memberikan pelumasan, maka penambahan grafit pada produk aluminium yang digunakan pada komponen otomotif merupakan sebuah gagasan menarik. Selain matriks dan penguat hal yang penting pada pembuatan komposit material adalah antarmuka antara matriks dan penguat yang dimaksimalkan oleh magnesium (kemampubasahan). Sifat kemampubasahan ini berpengaruh pada kemampuan matriks mentransfer dan mendistribusikan beban ke penguat.

## 1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan utama pada pembuatan material komposit yang diperkuat keramik adalah penentuan kadar penguat yang optimal. Menurut literatur, nilai laju aus dari sebuah material akan sebanding dengan kadar penguat yang dimasukkan dalam matriks<sup>[4]</sup>. Hal yang perlu diperhatikan adalah nilai kekerasan namun jangan sampai material tersebut terlalu getas sehingga justru menurunkan kinerja material.

Penelitian ini juga berfokus pada penambahan penguat tanpa pelapisan dimana hal ini merupakan terobosan yang dapat mengurangi biaya pembuatan komposit. Perlakuan yang diberikan untuk menggantikan penambahan lapisan ialah *preheating* dari grafit sebagai penguat.

Mengingat pentingnya aspek tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan variasi penambahan kadar penguat grafit. Variasi kadar ini diperlukan untuk mencari titik optimum sifat mekanis dari material. Sebagai agen kemampubasahan, digunakan serbuk magnesium (Mg) untuk melapisi permukaan penguat dengan kadar yang sudah ditetapkan. Kemudian untuk menghindari terjadinya klaster-klaster penguat dalam matriks aluminium pada saat proses *casting*, maka digunakan metode pengecoran aduk untuk meminimalisir terjadinya klaster-klaster pada matriks aluminium.

### 1.3. Tujuan penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat komposit AC8A/Grafit dengan metode pengecoran aduk.
2. Meneliti efek penambahan penguat grafit pada sifat mekanis dan tribologi dari aluminium yang digunakan pada material AC8A.
3. Meneliti penambahan komposisi grafit maksimum pada paduan AC8A
4. Menganalisis mikrostruktur komposit aluminium dengan penguat grafit pada 1%, 3%, dan 5%

### 1.4. Ruang lingkup penelitian

Ruang lingkup penelitian komposit Al-Grafit kali ini ialah :

- Pembuatan komposit aluminium-grafit dengan menggunakan metode pengecoran aduk dengan penguat grafit yang di *preheat* dan *uncoated* yang diberikan pengadukan dengan kecepatan 1000 rpm selama 3 menit
- Variasi kandungan grafit yang diberikan kedalam paduan aluminium ialah 1%, 3%, dan 5% fraksi berat
- Karakterisasi sampel dengan melakukan pengujian mekanis, diantaranya uji tarik, uji kekerasan, uji aus lalu melakukan uji densitas prositas, uji mikrostruktur dengan mikroskop optik dan SEM, komposisi kimia dengan metode XRD dan EDX.

### 1.5. Tempat Penelitian

Pembuatan sampel pengujian dilakukan di Kawasan Industri Pulogadung di salah satu perusahaan manufaktur kendaraan bermotor terkemuka di Indonesia dan kemudian pengujian mekanis, metalografi, dan mikroskopi elektron dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material FTUI.

### 1.6. Sistematika Penelitian

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun agar penulisan skripsi ini menjadi runut sehingga kerangka alur penelitian mudah dimengerti, sistematis dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk



bab-bab yang saling terpartisi dan saling berkaitan satu sama lain, yaitu sebagai berikut :

*Bab 1 Pendahuluan*

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

*Bab 2 Tinjauan Pustaka*

Membahas dasar teori penunjang tentang material komposit, *metal matrix composites*, kemampubasahan, dan proses pembuatan komposit dengan pengecoran aduk.

*Bab 3 Metodologi Penelitian*

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

*Bab 4 Data dan Pembahasan*

Membahas data dari hasil pengujian yang telah dilakukan serta menganalisa data dari teori yang ada.

*Bab 5 Kesimpulan*

Membahas kesimpulan dari penelitian yang dilakukan.

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Aluminium

Aluminium merupakan material yang relatif lunak, ringan, dan melimpah di bumi – sekitar 8,07% dari kandungan kerak bumi, dibanding besi yang kandungannya 5,06%.<sup>[6]</sup> Aluminium secara historis relatif baru berkembang, hal ini diakibatkan kesulitan untuk mengekstrak aluminium dari kerak bumi menjadi barang-barang yang berguna. Afinitas yang besar dengan oksigen membuat aluminium membentuk oksida pada keadaan stabilnya di kerak bumi. Tantangan untuk mengekstraksi alumina (aluminium oksida) dijawab dengan pengembangan proses Bayer dan proses Hall-Heroult untuk mengekstraksi aluminium dari alumina.

Aluminium murni yang dijual secara komersial mengandung level pengotor yang rendah, biasanya kurang dari 1%, dan berat jenis dari aluminium relatif ringan,  $2,70 \text{ kg/m}^{-3}$  dibanding dengan besi yang memiliki berat jenis  $7,87 \text{ kg/m}^{-3}$  dan memiliki titik lebur di suhu  $660^\circ\text{C}$ . Aluminium memiliki ikatan logam dan struktur kristal dari logam ini ialah FCC.

Aluminium sangat sensitif terhadap hadirnya hidrogen yang kebanyakan didapat dari kelembaban atau kandungan air dari suatu material. Kehadiran hidrogen menyebabkan porositas pada aluminium meningkat dan dapat menyebabkan turunnya sifat mekanis dari material aluminium itu. Karena itu perlu dilakukan *preheating* untuk menghilangkan kandungan air pada alat-alat yang digunakan.

Aluminium dan paduannya dibagi menjadi *wrought* aluminium dan setelah pengecoran aluminium dimana pada tiap kelas diberi kode nomor untuk tiap-tiap unsur paduan mayor yang ada di dalamnya. Aluminium *wrought* merupakan aluminium hasil proses seperti pencanaian, ekstrusi, dan proses-proses lainnya serta memiliki bentuk seperti plat, rod, billet, dan sejenisnya. Sementara pada aluminium setelah pengecoran merupakan aluminium tuang yang biasanya merupakan ingot. Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 ialah klasifikasi dari aluminium dan paduannya :

**Tabel 2.1** Penandaan Paduan Wrought Aluminium<sup>[7]</sup>

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

**Tabel 2.2** Penandaan Paduan Cast Aluminium<sup>[7]</sup>

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

## 2.2. Paduan Aluminium-Silikon

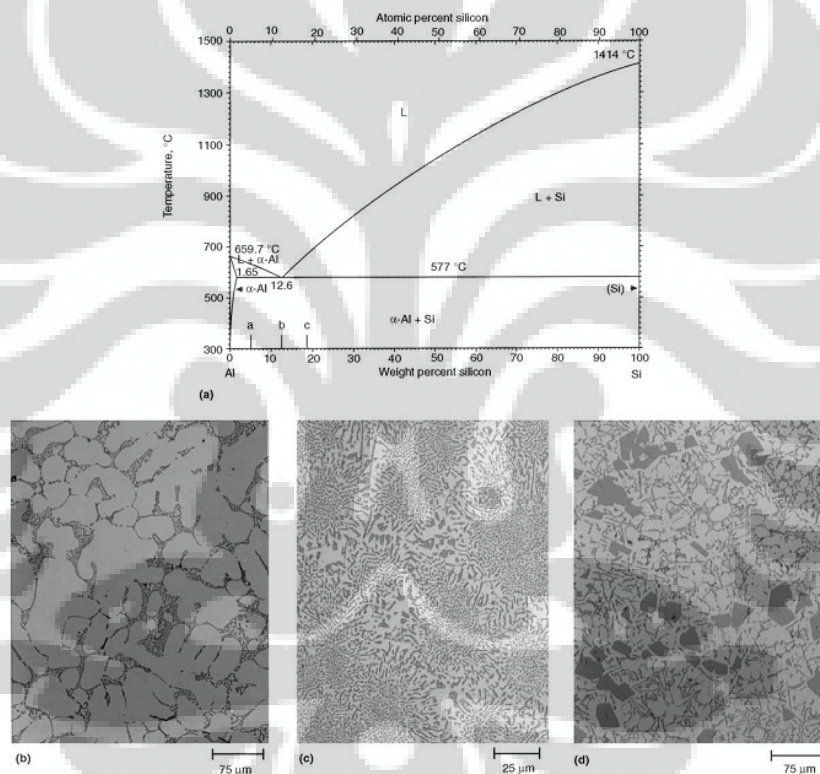
Aluminium-silikon merupakan paduan aluminium yang banyak digunakan pada industri otomotif. Paduan ini banyak digunakan karena sifat mampu cornya baik. Aluminium-silikon dipakai pada berbagai metode pengecoran aluminium, baik *sand casting*, *centrifugal casting*, dan *investment casting*.

Sebagai material yang digunakan untuk pengecoran, sifat aluminium-silikon yang diinginkan ialah sebagai berikut :

- Fluiditas yang baik,

- Titik lebur yang rendah,
- Transfer panas yang cepat,
- Kelarutan gas dapat dikontrol dengan proses yang tepat,
- Relatif bebas dari retak panas,
- Stabilitas kimia yang relatif baik, dan
- Permukaan akhir coran baik.

Silikon merupakan pengotoryang banyak kandungannya selain besi pada saat elektrolisis dari aluminium. Sifat yang diberikan silikon pada aluminium antara lain ialah meningkatkan fluiditas, ketahanan korosi, sifat mampu permesinan, dan meningkatkan mampu las aluminium itu sendiri.



**Gambar 2.1**(a) diagram fasa ekulibrum dari Al-Si , (b) mikrostruktur dari paduan hipoeutektik (1,65-12,6 wt% Si), (c) mikrostruktur dari paduan eutektik (12,6% Si), (d) mikrostruktur dari paduan hipereutektik (>12,6% Si). 150X <sup>[8]</sup>

Pada Gambar 2.1 diagram fasa titik eutektik pada paduan aluminium silikon berada pada kandungan silikon sebesar 12,6% dan memiliki titik lebur 577°C. Struktur mikro dari kadar hipoeutektik dan hipereutektik serta pada kandungan eutektik memiliki ciri khas yang berbeda beda. Pada paduan hipoeutektik lebih



banyak aluminium primer yang terbentuk dan struktur silikon berbentuk runcing dan panjang, sementara pada paduan hipereutektik dapat dilihat banyak terdapat kristal silikon primer dengan bentuk kotak kotak, dan pada paduan eutektik terdapat ciri khas yaitu kristal silikon dan aluminium berselang seling.

### 2.3. Komposit

Komposit ialah gabungan dari dua material atau lebih yang memiliki fasa yang berbedamenjadi suatu material baru yang memiliki sifat lebih baik dari keduanya. Sementara itu Callister, William D. mendefinisikan komposit sebagai material dengan banyak fasa yang mempengaruhi sifat mekanis secara signifikan sehingga sifat sifat positif dari masing masing fasa bisa didapatkan.<sup>[1]</sup>

Klasifikasi dari komposit berdasarkan materialnya ialah :

#### 1. Material logam.

Sifat sifat dari material induk logam umumnya yaitu memiliki ikatan logam, memiliki struktur kristal, memiliki konduktivitas baik, ulet, dan secara kimia tidak stabil.

#### 2. Material keramik

Sifat sifat dari material induk keramik umumnya yaitu dapat kristalin atau amorf, memiliki konduktivitas yang buruk, tidak ulet bahkan relatif getas, dan stabil secara kimia.

#### 3. Material polimer

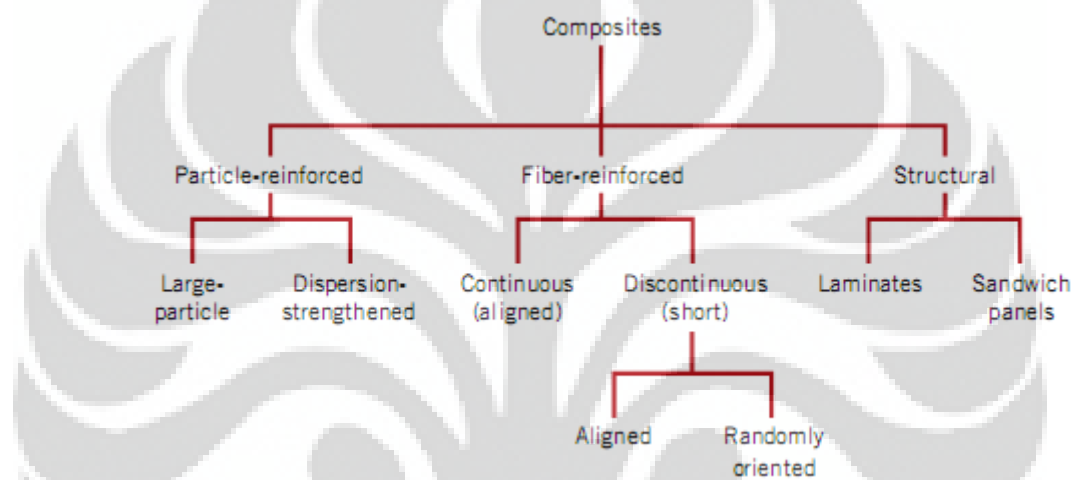
Sifat sifat dari material induk polimer umumnya yaitu ikatan dari kutub karena awan elektron, memiliki struktur amorf, memiliki konduktivitas yang buruk, ulet pada temperatur tinggi, dan secara kimia stabil.

Komposit yang banyak dikembangkan salah satunya ialah komposit logam. Tujuan dari pengembangan komposit logam ialah :<sup>[5]</sup>

- Meningkatkan kekuatan luluh dan kekuatan tarik pada suhu ruang maupun suhu tinggi
- Meningkatkan ketahanan luluh pada suhu tinggi dibanding dengan paduan monolitnya
- Meningkatkan kekuatan fatik, terutama di suhu yang lebih tinggi
- Meningkatkan ketahanan syok termal

- Meningkatkan ketahanan korosi
- Meningkatkan modulus kekakuan
- Menurunkan elongasi termal

Peran yang penting dalam komposit salah satunya adalah penguat. Jenis jenis penguat memiliki pemahaman dan pendekatan teori yang berbeda beda dan karena itu digunakan dalam aplikasi yang berbeda misalnya pada komposit struktural digunakan panelsandwich untuk mendapatkan kekuatan diberbagai arah yang diinginkan. Pada Gambar 2.2 dijelaskan klasifikasi komposit berdasarkan jenis penguatnya



Gambar 2.2 Skema klasifikasi komposit berdasarkan penguatnya<sup>[1]</sup>

Komposit yang digunakan pada bagian bagian mesin banyak terbuat dari aluminium komposit karena beratnya yang relatif rendah daripada besi atau baja. Aluminium komposit dapat diperkuat dengan beberapa metode diantaranya dengan penambahan serbuk penguat atau *particle reinforced composite*.

#### 2.4 Metal Matrix Composite

*Metal Matrix Composite* (MMC) ialah komposit dengan matriks logam. Kombinasi dapat dengan menggabungkan material logam (timbal, molibdenum, tungsten) atau dengan material keramik (oksida, karbida, dan nitrida).

Penguat merupakan fasa lain penyusun komposit dengan nilai fraksi yang biasanya lebih kecil dari matriks itu sendiri. MMC dapat diklasifikasikan dalam berbagai jenis, salah satu yang biasanya dipakai ialah klasifikasi berdasarkan

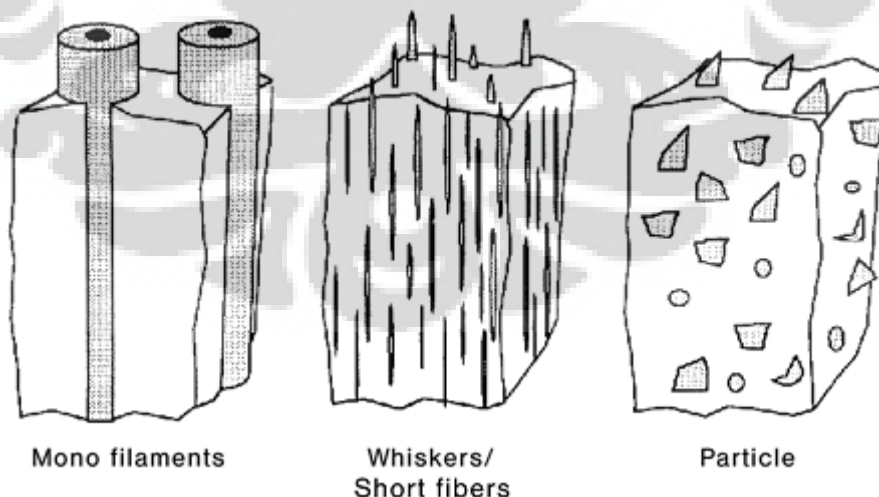
penguat yang terbagi menjadi tiga, yaitu dengan penguat partikulat, serat kontinyu, dan serat. Tabel 2.3 menjelaskan penguat penguat pada MMC dan Gambar 2.3 merupakan ilustrasi dari jenis penguat pada MMC.

**Tabel 2.3** Penguat pada MMC<sup>[9]</sup>

Tipe	<i>Aspect Ratio</i>	Diameter, $\mu\text{m}$	Contoh
Partikel	1-4	1-25	SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<i>Whisker</i> atau serat pendek	10-10.000	1-5	C, SiO <sub>2</sub> , SiC, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Serat <i>continous</i>	>10.000	2-150	SiC, B, W, Nb <sub>2</sub> Sn

Penguatan pada MMC memiliki beberapa karakteristik tertentu, dimana sifat atau karakteristik ini ditentukan dari produksi dan proses pembuatan dari sistem matriks material komposit. Karakteristik yang ingin dicapai antara lain ialah :<sup>[5]</sup>

- Densitas yang rendah,
- Koefisien termal yang rendah,
- Stabilitas termal yang baik,
- Kekakuan yang tinggi,
- Kemudahan pemrosesan,
- Kekuatan tarik dan tekan yang tinggi, dan
- Efisien secara ekonomi.



**Gambar 2.3** Ilustrasi dari jenis-jenis penguat pada MMC<sup>[9]</sup>

Berdasarkan Tabel 2.4., MMC memiliki potensi aplikasi yang besar, terutama pada dunia otomotif. Kebutuhan akan material yang sifat mekanis yang

baik dan sifat tribologi yang baik serta densitas yang rendah dari material komposit juga dibutuhkan pada bagian bagian mesin seperti batang piston, piston, *bearing* utama *crankshaft*, blok mesin, dan lain lain.

**Tabel 2.4** Aplikasi dari *Metal Matrix Composite*<sup>[5]</sup>

No.	Aplikasi	Material	Pemrosesan	Tujuan Pengembangan
1.	<i>Drive shaft</i> pada kendaraan bermotor	AlMg1SiCu + 20 vol.% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> P	ekstrusi dari <i>cast feed material</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilitas dinamis, kekauan tinggi</li> <li>- Densitas rendah</li> <li>- Kekuatan fatik tinggi</li> <li>- Ketangguhan yang mencukupi</li> <li>- Pengganti baja</li> </ul>
2	Rem cakram berventilasi pada kendaraan bermotor	G-AlSi <sub>12</sub> Mg + 20 vol.% SiC <sub>p</sub>	<i>Sand</i> atau <i>gravity die casting</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ketahanan aus yang baik</li> <li>- Konduktivitas panas yang rendah</li> <li>- Pengganti material besi</li> </ul>
3	<i>Stringer</i> longitudinal untuk pesawat	AlCu <sub>4</sub> Mg <sub>2</sub> Zr + 15 vol.% SiC <sub>p</sub>	Ekstrusi dan penempaan dari <i>casted feed material</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stabilitas dinamis, kekauan tinggi</li> <li>- Densitas rendah</li> <li>- Kekuatan fatik tinggi</li> <li>- Ketangguhan yang mencukupi</li> <li>- Kekuatan tinggi</li> </ul>
4	Kaliper rem cakram pada kendaraan bermotor	<i>Aluminium alloy</i> dengan <i>Nextel ceramic fibre 610</i>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengurangan beban hingga 55% dari besi tuang</li> </ul>



## 2.5 *Aluminium Matrix Composite*

*Aluminium Matrix Composite* (AMC) ialah komposit logam yang sudah banyak diteliti dan digunakan dalam berbagai aplikasi. AMC ditargetkan menggantikan material yang saat ini menggunakan monolit seperti paduan aluminium, paduan besi, paduan titanium dan komposit berbasis polimer. Keramik merupakan penguat yang sering diteliti pengaruhnya dalam AMC. Kekuatan, densitas, dan sifat tribologi yang dimiliki AMC membuat material komposit ini banyak dikembangkan. Aplikasi dari AMC sangat luas, mulai dari keberhasilan dalam bidang militer hingga pada kehidupan sehari-hari terutama pada bidang otomotif dan permesinan.

## 2.6 *Particle Reinforced Composite*

*Particle reinforced composite* atau komposit yang memiliki penguat yang ukurannya relatif kecil dan tidak kontinu. Penguat yang biasanya digunakan sebagai partikel ialah keramik dan senyawa keramik yang biasa digunakan ialah oksida seperti alumina, karbida seperti silikon karbida, borida seperti  $TiB_2$ , dan karbon atau grafit. *Particle reinforced composite* banyak digunakan pada aplikasi struktural dimana pada penggunaan struktural dan aplikasi keausan fraksi volum dari penguat biasanya kurang dari 30%<sup>[2]</sup> karena penambahan penguat diatas 30% akan mengurangi efisiensi dari komposit itu sendiri. Komposit dengan penguat partikel juga biasa difabrikasi dengan metalurgi serbuk dan *casting*. MMC dengan penguat partikel mulai mendapat perhatian dari dunia industri otomotif dibandingkan dengan MMC dengan penguat fiber continuous karena memiliki kekuatan spesifik dan kekakuan yang tinggi, ketahanan aus yang baik, koefisien ekspansi termal rendah, kemampuan permesinan yang baik dan memiliki sifat mekanik yang isotropik<sup>[10]</sup>.

. Mekanisme penguatan dari penambahan partikel pada matriks ialah beban yang diterima matriks kemudian ditransfer menuju penguatnya dan meningkatkan kepadatan dislokasi sehingga umumnya kekuatan dari material meningkat. Interaksi antara matriks dengan penguat sangat penting karena menjadi faktor yang mempengaruhi transfer beban dari matriks menuju penguat.

Pada *particle reinforced composite*, peningkatan volum fraksi dari penguat umumnya memberikan sifat-sifat seperti peningkatan kekuatan tarik, kekuatan luluh, kekakuan, dan meningkatkan ketahanan aus serta menurunkan kepadatan dari material.

## 2.7 Komposit Aluminium/Grafit

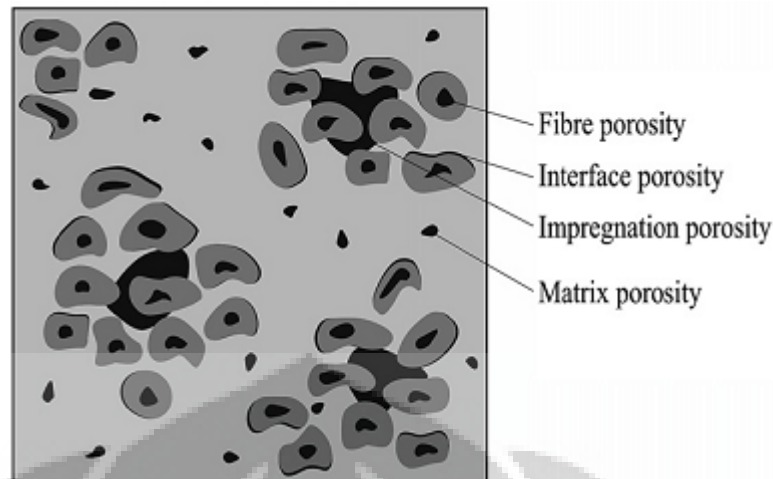
Grafit pada dunia lubrikasi sering digunakan sebagai pelumas hal ini dikarenakan sifat dari susunan lapisannya yang mudah tergelincir memberikan grafit sifat pelumasan yang baik. Karena itu grafit biasa digunakan sebagai pelumas padat dalam dunia industri.

Kedua sifat dari aluminium dan grafit ini ingin dikombinasikan agar menghasilkan material yang dapat meningkatkan standar dari material pada bagian mesin kedepannya. Ketika komposit aluminium-grafit ini digunakan grafit dapat memberikan lubrikasi dengan membentuk lapisan diantara bagian yang mengalami gesekan, hal ini akan menurunkan laju aus dari bagian mesin tersebut sehingga umur pakainya juga meningkat.<sup>[11]</sup>

Pengaruh penambahan grafit pada sifat mekanis kurang diinginkan. Antarmuka antara grafit dengan aluminium memiliki kekuatan yang rendah dan porositas yang terdapat pada antarmuka membuat partikel grafit mudah mengalami perpatahan dan mengelupas sepanjang bidang gesek dan meninggalkan kekosongan pada permukaan gesek.<sup>[4]</sup>

Penambahan penguat kedalam matriks dari komposit logam dapat menghasilkan beberapa cacat porositas yang diklasifikasikan menjadi tiga komponen seperti pada Gambar 2.4. Berikut ialah klasifikasinya<sup>[12]</sup>:

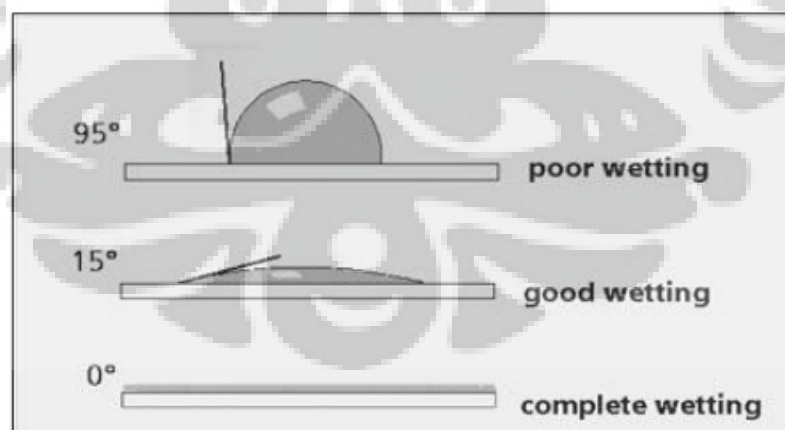
- Porositas pada fiber, dimana porositas ini dapat seperti cacat yang terdapat pada penguat,
- Porositas pada antarmuka, porositas ini ialah akibat dari masuknya udara pada daerah antarmuka. Porositas jenis ini terjadi selama proses pembuatan komposit dan dikarenakan pembasahan yang kurang baik antara matriks dengan penguat. Porositas ini juga dapat muncul setelah pemberian beban mekanis dan membuat interface menjadi cacat,
- *Impregnation porosity*, porositas jenis ini disebabkan karena adanya udara pada kumpulan penguat, misalnya terklaster.



Gambar 2.4 Jenis cacat porositas yang dihasilkan dari penambahan penguat kedalam matriks<sup>[12]</sup>

## 2.8 Antarmuka dan Pembasahan

Antarmuka ialah salah satu faktor penting dalam menghasilkan sifat mekanis yang diinginkan. Grafit memiliki sudut kontak yang besar dengan aluminium cair. Preparasi dari penguat perlu dilakukan untuk meningkatkan kemampubasahan penguat sehingga terbentuk antarmukayang baik antara matriks dan penguat. Preparasi dari grafit sebagai penguat adalah dengan metode *preheat*. *Preheat* berfungsi untuk menghilangkan zat yang mudah menguap dan gas gas yang teradsorpsi pada grafit.<sup>[13]</sup> *Preheat* dilakukan pada suhu  $400^{\circ}\text{C}$  selama 1 jam. Ilustrasi dari pembasahan yang buruk hingga baik dapat dilihat dari Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sudut kontak pada dua permukaan<sup>[14]</sup>

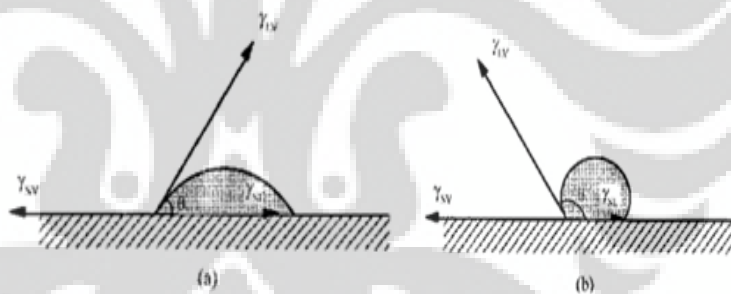
Perlakuan lain yang dilakukan untuk meningkatkan kemampubasahan penguat ialah dengan menambahkan Mg pada komposit. Penambahan magnesium pada aluminium akan menurunkan sudut kontak antara aluminium dengan grafit

sehingga pembasahan penguat lebih baik. Dengan pembasahan yang baik maka diharapkan terbentuk antarmukayang baik pula dan penyebaran beban dari matriks menuju penguat menjadi efektif.

Kemampubasahan penguat terhadap matriks dapat dilakukan dengan pembentukan ikatan kimia yang kuat pada antarmuka. Perilaku kemampubasahan dapat diketahui dengan menghitung sudut kontak dan tegangan permukaannya. Pembasahan permukaan padat terhadap permukaan cair dapat diketahui berdasarkan persamaan Young:

$$\gamma_{SL} = \gamma_{SV} - \gamma_{LV} \cos \theta \dots (2.1)$$

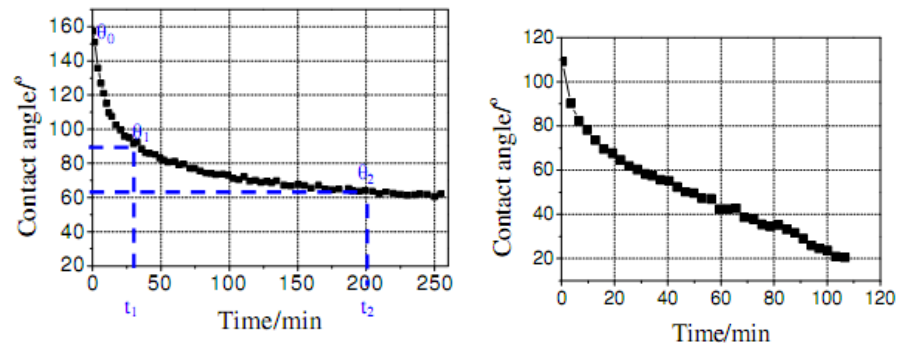
Dimana  $\gamma_{SV}$  energi bebas per unit area pada permukaan padat dan gas,  $\gamma_{LV}$  tegangan permukaan antara permukaan cair dan gas,  $\gamma_{SL}$  energi interfasial dan  $\theta$  adalah sudut kontak. Berdasarkan persamaan di atas, sudut kontak ( $\theta$ ) menurun apabila terjadi peningkatan energi permukaan padatan ( $\gamma_{SL}$ ), penurunan energi interfasial padat/cair atau dengan penurunan tegangan permukaan cairan ( $\gamma_{LV}$ ). Pembasahan partikel yang baik dapat disimpulkan bila sudut kontak  $\theta < 90^\circ$  atau jika  $\gamma_{SV} > \gamma_{SL}$  seperti diilustrasikan pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Ilustrasi Skematik Sudut Kontak (a) terjadi pembasahan (b) tidak terjadi pembasahan<sup>[15]</sup>

Lama kontak pada penguat grafit dengan lelehan aluminium sebagai matriks juga memiliki pengaruh terhadap kemampubasahan dari komposit seperti yang direpresentasikan pada Gambar 2.7. Semakin tinggi suhu kontak penguat dengan lelehan matriks dan lamanya kontak penguat dengan lelehan matriks akan mempermudah kemampubasahan atau memperkecil sudut kontak antara matriks dan penguat.<sup>[16]</sup>





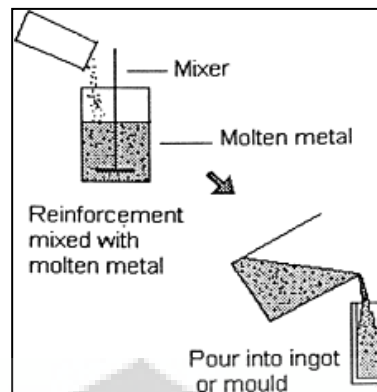
**Gambar 2.7** Grafik yang menunjukkan sudut kontak dengan lama kontak matriks aluminium dengan penguat grafit (a) pada suhu 1100 °C dan (b) pada suhu 1200 °C.<sup>[28]</sup>

## 2.9 Pengecoran Aduk

Proses pembuatan komposit aluminium/grafit pada penelitian kali ini menggunakan metode pengecoran aduk. Metode ini ialah metode yang tergolong mudah dan murah untuk membuat komposit. Pengecoran aduk ialah metode pengecoran komposit dimana matriksnya dalam fasa cair pada saat penambahan penguat dan dilakukan pengadukan agar tidak terbentuk kluster-kluster dari penguat yang dapat menurunkan sifat dari komposit yang ingin dibentuk. Pada pengecoran aduk diperlukan baling baling yang berfungsi sebagai pembuat pusaran dan memperbaiki dispersi dan distribusi dari partikel penguat yang ditambahkan seperti dilustrasikan pada Gambar 2.8.

Pada proses pengecoran aduk pengadukan yang cepat membentuk pusaran dimana partikel dimasukkan kedalam pusaran tersebut. Pembentukan pusaran tidak hanya berpengaruh pada masuknya penguat, tetapi udara juga dapat terperangkap didalamnya. Sulit untuk menghilangkan udara yang terperangkap dimana viskositas cairan terus meningkat.<sup>[3]</sup> Kecepatan putar dari pengaduk juga mempengaruhi baik buruknya dispersi dari penguat, semakin cepat putarannya maka dispersi dari penguat semakin baik. Tetapi kecepatan putar yang tinggi menyebabkan masuknya udara semakin banyak karena kontak antara udara dengan lelehan dan sebab lain dari kecepatan putar yang tinggi juga menyebabkan naiknya tinggi dari lelehan semakin naik.

Proses pembuatan komposit dengan metode pengecoran aduk diusahakan menggunakan turbin yang inert atau dengan menambahkan pelapisan pada turbin. Material dari turbin yang larut dapat membentuk intermetalik yang menyebabkan penurunan sifat mekanis dari komposit yang akan dibuat.

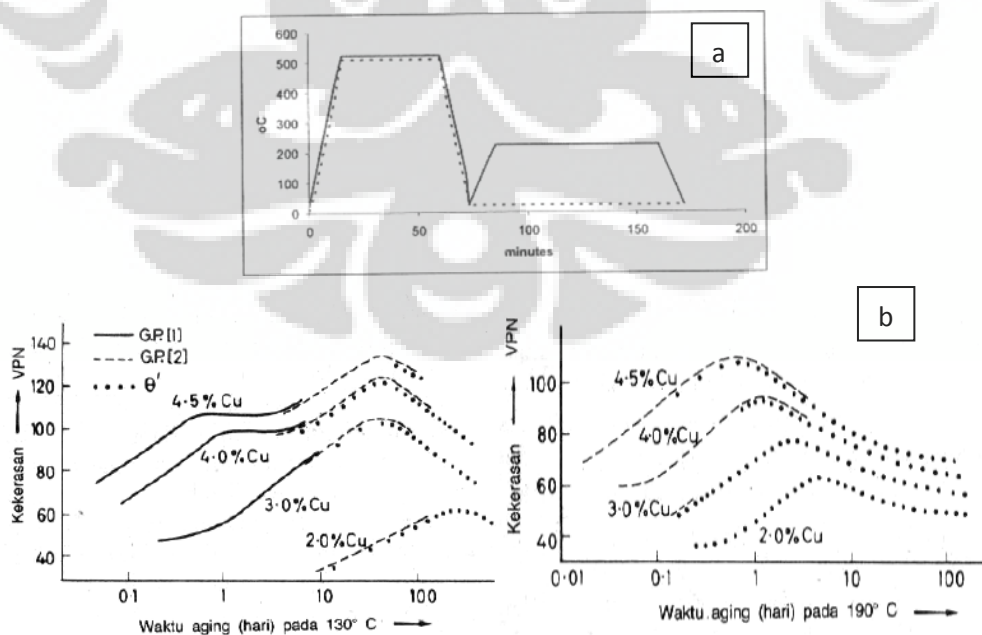


Gambar 2.8 Skema alat pengecoran aduk<sup>[3]</sup>

## 2.10 Perlakuan panas

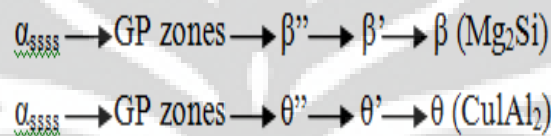
Proses perlakuan panas dilakukan untuk meningkatkan kekuatan mekanis dari aluminium. Aluminium dapat diperkuat bila diberikan proses yang dinamakan penuaan, dimana pada saat itu aluminium membentuk endapan yang memperkuat material. Mekanisme penguatan yang didapat dari perlakuan panas ini ialah penguatan presipitat. Syarat dari penguatan ini ialah, pertama, paduan harus memiliki kelarutan maksimum pada unsur induknya, kedua batas kelarutan menurun secara besar pada temperatur yang lebih rendah.<sup>[1]</sup>

Proses perlakuan panas pada aluminium dibagi menjadi tiga tahap, pertama yaitu *solution treatment*, kemudian *quenching*, dan terakhir masuk pada tahap penuaan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9.

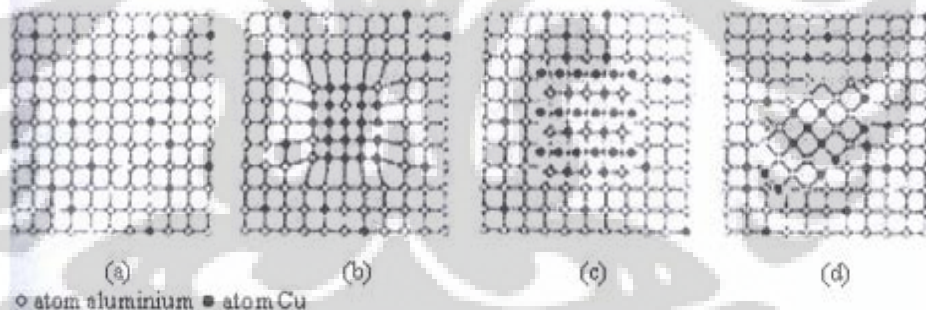


Gambar 2.9 (a) Skema heat treatment aluminium, (b) Plot kekerasan dengan lama penuaan<sup>[6]</sup>

*Solution treatment* bertujuan untuk membuat unsur unsur paduan larut hingga kelarutannya tinggi untuk diperangkap saat kuens. Sementara proses kuens bertujuan untuk memerangkap paduan yang larut tadi untuk membentuk larutan solid super jenuh. Sementara proses penuaan bertujuan untuk membentuk endapan dari larutan solid super jenuh. Tahapan terbentuknya endapan dimulai dari GP Zone yang merupakan endapan yang berbentuk kecil dan memiliki koherensi tinggi terhadap kisi aluminiumnya. Kemudian terbentuk fasa  $\theta''$  lalu  $\theta'$  dan terakhir fasa  $\theta$  dimana pada setiap perubahan fasanya terjadi kehilangan koherensi dengan kisi induknya dan membesarnya endapan yang terbentuk. Pada paduan Al-Si yang mengandung Cu dan Mg, maka ada 2 jenis endapan yang mayoritas terbentuk, yaitu  $Mg_2Si$  dan  $CuAl_2$  dengan tahapannya sebagai berikut :



Dimana GP zones adalah *Guinier-Preston zones*,  $\beta''/\theta''$  dan  $\beta'/\theta'$  adalah fase metastabil, dan  $\beta/\theta$  adalah fasa equilibrium.<sup>[17]</sup>



Gambar 2.10 Derajat koherensi presipitat a) acak, b) koheren, c) semi-koheren, d) inkoheren<sup>[16]</sup>

Karena koherensi dan besarnya endapan ini maka terdapat puncak dimana sifat mekanis paling tinggi pada titik tersebut, titik ini disebut puncak penuaan. Partikel-partikel kecil yang terdispersi merata pada awal proses pengerasan presipitat, tidak memberikan efek penguatan yang efektif bagi paduan karena partikel tersebut bukan merupakan penghalang yang kuat bagi pergerakan dislokasi. Derajat koherensi diilustrasikan pada Gambar 2.10. Partikel-partikel besar yang terdispersi secara acak pada waktu pengerasan presipitat yang lama

juga tidak memberikan efek penguatan yang efektif. Hal ini disebabkan karena pada partikel besar, jarak antar partikelnya juga besar, sehingga dislokasi dapat dengan mudah bergerak melalui mekanisme orowan looping.<sup>[18]</sup>

Material komposit logam cenderung memiliki porositas yang lebih besar dari material monolitnya hal ini disebabkan antara lain dari pembasahan yang buruk, klaster dan terperangkapnya udara atau *impregnation porosity*, serta proses yang kurang baik. Material yang memiliki porositas akan mengalami proses penuaan yang lebih lambat.<sup>[19]</sup>

## 2.11 Material

### 2.11.1 Aluminium

Aluminium merupakan logam dengan nomor atom 13 yang memiliki berat jenis relatif rendah, yaitu sebesar 2,7 gr/cc. Karena beratnya yang ringan, aluminium merupakan logam non ferrous yang paling banyak digunakan. Proses produksi yang digunakan dalam memproses bijih bauksit, bijih aluminium paling umum diambil, ialah proses Bayer dimana proses ini bertujuan untuk mendapatkan alumina dari bijih bauksit dan proses selanjutnya yaitu proses Hall-Heroult dimana proses ini mengekstrak aluminium dari alumina dengan prinsip elektrolisis.

Aluminium banyak digunakan pada industri manufaktur karena pemaduan pada aluminium membuat logam ini mudah untuk dibuat berbagai bentuk terutama dengan pengecoran. Sifat-sifat utama yang dimiliki oleh aluminium tuang ialah :

- Ringan Berat Jenis Rendah (2,7 gr/Cm<sup>3</sup>), hanya 1/3 dari baja,
- Rasio kekuatan dengan berat yang baik,
- Temperatur Lebur Rendah (660 OC), peralatan peleburan sederhana,
- Sifat mampu cor (*castability*) sangat baik, terutama di daerah eutektik,
- Sifat mampu mesin (*machinability*) baik,
- Permukaan benda cor baik,
- Ketahanan korosi baik,
- Konduktor panas dan listrik yang baik,
- Mudah dipadu (*alloying*) dengan unsur lain.<sup>[20]</sup>



### 2.11.2 Magnesium

Magnesium merupakan agen kemampubasahan yang umum digunakan pada pembuatan komposit dengan matriks aluminium. Magnesium menurunkan sudut kontak matriks dengan penguat dan membentuk klaster  $Al_2Mg_3$  yang menghambat pengapungan dari partikel grafit.<sup>[21]</sup> Data magnesium dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Sifat Sifat Magnesium<sup>[22]</sup>

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

### 2.11.3 Grafit

Grafit ialah alotropi dari karbon yang memiliki struktur berlapis lapis karbon heksagonal. Ikatan antara lapisan lapisan grafit memiliki kekuatan yang rendah dan mudah tergelincir. Struktur yang seperti ini menyebabkan grafit memiliki sifat pelumasan yang baik. Data mengenai grafit dapat dilihat pada Tabel 2.6.

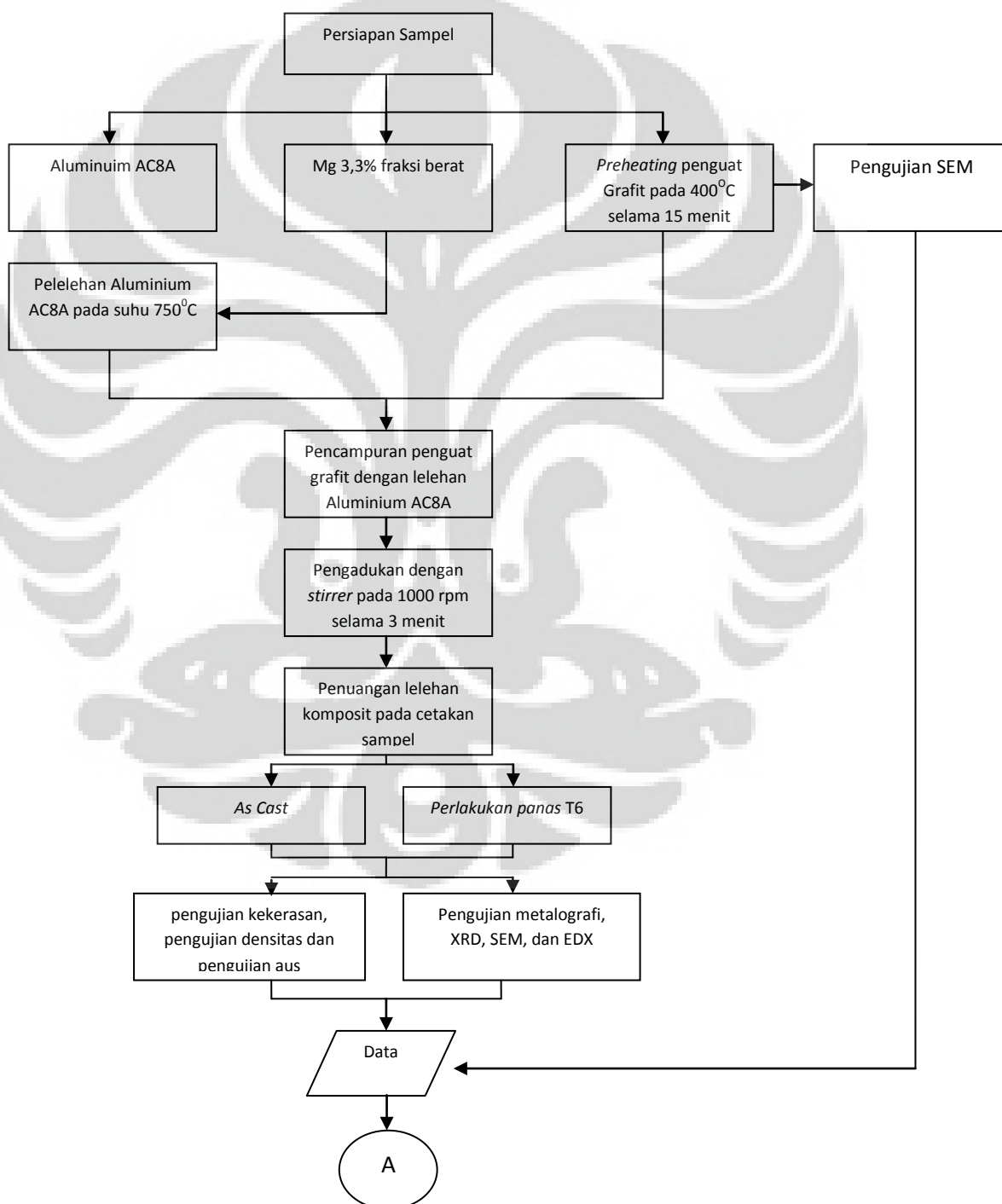
Tabel 2.6 Sifat Sifat Grafit<sup>[23]</sup>

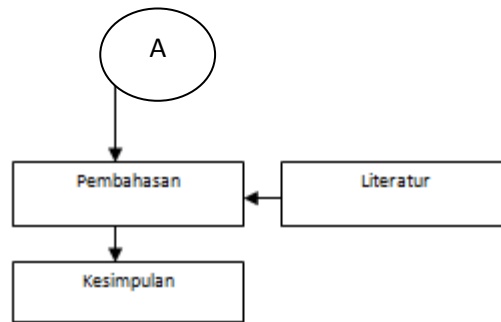
Sifat fisik	Satuan	Nilai
Massa Jenis	g/cm <sup>3</sup>	2,23
Berat Atom	g/mol	12,00
Warna	-	Hitam
Struktur Kristal	-	Hexagonal
Titik Lebur	°C	650
Titik Didih	°C	1090
Sifat Mekanis	Satuan	Nilai
Kekuatan Tarik	MPa	43
Kekerasan	HV (10 Kg)	49
Konduktivitas Panas	W/m K	150
Koefisien Ekspansi <i>Thermal</i>	10 <sup>6</sup> /K	14,0
Laju aus	mg/kgm	4,6

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Untuk melaksanakan penelitian ini diperlukan alur proses yang benar agar mendapat hasil yang baik dan sesuai yang diinginkan. Berikut diagram alir yang digunakan dalam penelitian ini.





**Gambar 3.1**Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terbagi menjadi tiga bagian. Bagian pertama mencakup peralatan selama fabrikasi komposit Al/Grafit. Bagian kedua mencakup peralatan untuk karakterisasi serbuk dan komposit Al/Grafit.

A. Peralatan yang digunakan untuk fabrikasi komposit Al/Grafit :

- a. Tungku peleburan
- b. Ladle kapasitas 1,6 kg dan 10 kg
- c. Mesin pengaduk
- d. Gas argon dan salurannya
- e. Batang pengaduk
- f. Cetakan logam sampel uji tarik
- g. Masker dan sarung tangan

B. Peralatan yang digunakan untuk karakterisasi serbuk dan komposit Al/Grafit ialah :

- a. Alat uji mekanik ( tarik, aus, dan keras )
- b. Mikroskop optik
- c. Mikroskop ukur
- d. Kertas dan mesin amplas
- e. Mesin SEM

### 3.3. Bahan

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

- a. Serbuk grafit

- b. Magnesium blok
- c. Aluminium jenis AC8A

### 3.3.1. Serbuk Grafit

Grafit yang digunakan memiliki ukuran sekitar 60 $\mu$ m hingga 10 $\mu$ m. grafit yang ditambahkan kedalam matriks aluminium sebanyak 1%, 3%, dan 5% berat dari total berat material. Grafit kemudian di *preheat* pada suhu 400°C untuk menghilangkan substansi volatil pada pori pori grafit.<sup>[13]</sup>

### 3.3.2. Magnesium Blok

Magnesium digunakan untuk menurunkan sudut kontak matriks aluminium dengan penguat grafit. Material yang digunakan ialah blok magnesium yang kemudian dicampurkan kedalam lelehan aluminium. Fraksi magnesium yang dimasukkan kedalam komposit sebesar 3,3% fraksi berat

### 3.3.3. Aluminium AC8A

Paduan aluminium jenis AC 8A adalah paduan aluminium tuang sesuai standar material JIS (*Japan International Standard*) AC 8A atau setara dengan material standard HES tipe AC 8H. Material ini merupakan material yang umumnya diaplikasikan pada proses pengecoran dengan cetakan permanenseperti GDC maupun HPDC. Dengan sistem paduan Al-Cu-Si, AC 8A umumnya diaplikasikan untuk produk yang membutuhkan sifat mekanis antara kekuatan dan ketangguhan yang tinggi. Komposisi kimia dari AC8A dapat dilihat pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Aluminium AC8A<sup>[20]</sup>

	Si	Cu	Mg	Fe	Ti
Kandungan (persen)	14,08	1,09	1,006	0,36	0,15

### 3.4. Proses Pembuatan Komposit Al/Grafit

Proses pengocoran komposit ini dilakukan di PT.A dengan menggunakan aluminium AC8A yang telah dilebur didalam dapur kapasitas 200 kg dengan temperature 700 $\pm$ 20°C.

Dalam proses pembuatan komposit Al/Grafit yang dilakukan dengan proses pengecoran aduk, harus menentukan berat yang dibutuhkan untuk penambahan grafit. Penentuan banyaknya penguat ditentukan dari tiga variasi



fraksi berat. Tiga variasi yang digunakan adalah 1%, 3%, dan 5%. Untuk menghitung berat tersebut digunakan rumus:

$$Mr = Wt\% \times Mm$$

Dari rumus diatas didapatkan berat untuk masing-masing fraksi berat pada 1600 gr matriks aluminium sebagai berikut:

- a. 1% : Membutuhkan 17,11 gr grafit
- b. 3% : Membutuhkan 54,23 gr grafit
- c. 5% : Membutuhkan 95,81 gr grafit

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

- a) Menimbang grafit untuk fraksi berat 1%, 3%, 5%
- b) Mempersiapkan leburan aluminium cair yang telah dilakukan proses degassing untuk mengurangi pengotor dan gas hidrogen yang terjebak dalam aluminium cair. Adanya gas hidrogen dalam aluminium cair nantinya akan membuat adanya gas yang terperangkap yang akan menimbulkan porositas pada barng hasil coran. Gas yang digunakan berupa gas argon yang bersifat inert.
- c) Melakukan *pre-heating* semua peralatan cetakan seperti cetakan logam, *ladle* dan batang pengaduk agar kandungan air yang terdapat di peralatan dapat dihilangkan.
- d) Pengambilan aluminium cair dengan *ladle* ukuran 10 kg, sebanyak 1 kg, kemudian dijaga suhunya di atas suhu leleh aluminium dengan meletakkannya diatas permukaan dapur.
- e) Memasukkan Mg ke dalam *ladle* dengan menggunakan *ladle* ukuran 1 kg sebagai media penuang Mg. Penambahan ini dimaksudkan untuk menurunkan tegangan permukaan aluminium terhadap Grafit yang akan dicampurkan. Mg yang diberikan sebanyak 3,3% fraksi berat dari aluminium.
- f) Memasukkan serbuk grafit yang ke dalam *ladel* secara sedikit demi sedikit sambil diaduk dengan mesin bor yang telah dimodifikasi menjadi alat pengaduk selama 3 menit. Selama proses pengadukan gas diberikan terus dengan menggunakan pipa SS.

- g) Menuangkan sampel ke dalam cetakan segera setelah proses pengadukan.
- h) Setelah logam yang di cetak membeku maka logam diambil dari cetakannya.

### 3.5. Proses Perlakuan panas

Proses perlakuan panas dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material dengan menggunakan oven Nabertherm . Berikut tahapan yang dilakukan :

- a. Memasukkan sampel pada oven Nabertherm
- b. *Solution treatment* pada suhu 530°C selama 3 jam 50 menit
- c. Kuens 60°C 20 detik dengan media air
- d. Penuaan 220°C 1 jam.

### 3.6. Karakterisasi Komposit Al/Grafit

#### 3.6.1. Pengujian Kekerasan



**Gambar 3.2**Alat uji kekerasan Rockwell

Pengujian kekerasan yang dilakukan ialah menggunakan metode Rockwell dengan penjejak bola baja seperti pada Gambar 3.2. Metode ini dinamakan Rockwell B. Rockwell B cocok untuk digunakan pada material aluminium dan paduannya karena rentang kekerasan aluminium berada pada kisaran Rockwell B. Standar yang digunakan ialah ASTM E-18 untuk pengujian kekerasan dengan menggunakan metode Rockwell.

### 3.6.2. Pengujian Aus

Pengujian aus dilakukan dengan menggunakan metode ogoshi dengan mesin pengujian pada Gambar 3.3 dimana benda uji memperoleh beban gesek dari cincin yang berputar (*revolving disk*). Pembebanan yang berulang menyebabkan daerah kontak mengalami hilangnya massa akibat dari gesekan.



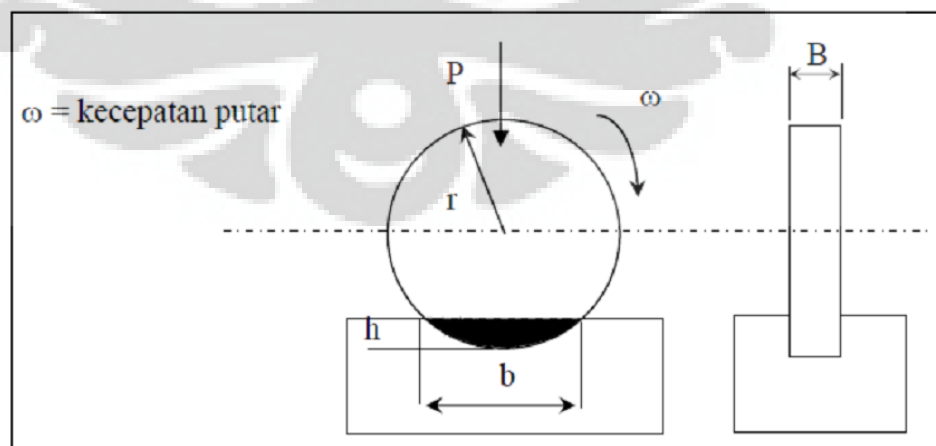
Gambar 3.3 Alat uji aus metode Ogoshi

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

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

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

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



Gambar 3.4 Skema percobaan uji aus

Dimana parameter yang digunakan jarak luncur ( $x$ ) 60,0 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 dengan skema seperti pada Gambar 3.4.

### 3.6.3. Pengamatan Struktur Mikro

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui struktur mikro sampel komposit Al/Grafit. Mesin amplas yang digunakan diilustrasikan pada gambar 3.5. 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. Mengambil foto dengan menggunakan mikroskop optik



**Gambar 3.5** Gambar alat amplas dan poles

### 3.6.4. Pengujian Densitas Porositas

Pengujian densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan standar pengujian ASTM C 373-88. Tahapan pengujian densitas dan porositas ialah sebagai berikut :

- a. Menyiapkan sampel yang akan diuji
- b. Menyiapkan timbangan, beaker glass 1000 ml, benang dan aquadest
- c. Menimbang berat kering sampel dengan terlebih dahulu
- d. Menimbang berat sampel dalam air, dengan cara memasukkan sampel yang digantung dengan benang ke dalam air sampai seluruh permukaan tercelup di dalam air
- e. Mencatat berat sampel dalam air kemudian menghitung berat sampel dengan rumus sebagai berikut

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

Dimana,

V = volume sampel (cm<sup>3</sup>)

W = berat sampel dalam air (gram)

D = densitas air (gram/cm<sup>3</sup>)

- f. Menghitung densitas sampel hasil percobaan dengan menggunakan rumus:

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

Dimana,

D<sub>B</sub> = densitas sampel (gram/cm<sup>3</sup>)

W<sub>D</sub> = berat sampel dalam air (gram)

V = volume sampel (cm<sup>3</sup>)

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

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

Dimana,

D<sub>teoritis</sub> = densitas teoritis (gram/cm<sup>3</sup>)

D<sub>percobaan</sub> = densitas percobaan (gram/cm<sup>3</sup>)



h. Perhitungan nilai densitas teoritis dari sampel percobaan ialah sebagai berikut :

- Aluminium

Massa = 1600 gram

Densitas = 2,7 gram/cm<sup>3</sup>

- Grafit

Massa = 16 gram, 48 gram, dan 80 gram

Densitas = 2,23 gram/cm<sup>3</sup>

- Magnesium

Massa = 53,8 gram

Densitas = 1,738 gram/cm<sup>3</sup>

Densitas teoritis sampel :

$$\rho_{komposit} = (V_f \text{ aluminium} \times \rho_{aluminium}) + (V_f \text{ grafit} \times \rho_{grafit}) +$$

$$(V_f \text{ magnesium} \times \rho_{magnesium})$$

$$\rho_{komposit 1\% \text{ wt grafit}} = 2,6481 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{komposit 3\% \text{ wt grafit}} = 2,6384 \text{ gram/cm}^3$$

$$\rho_{komposit 5\% \text{ wt grafit}} = 2,6292 \text{ gram/cm}^3$$

### 3.6.5. Pengujian *Scanning Electron Microscope* dan *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy*

*Scanning Electron Microscope* (SEM) ialah mikroskop elektron yang digunakan untuk studi langsung permukaan benda padat dan memiliki keunggulan dibandingkan dengan mikroskop optik.

*Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* ialah metode untuk menentukan komposisi kimia dari suatu sampel yang akan diuji. Alat SEM/EDX yang digunakan ialah LEO 420 yang dimiliki oleh Departemen Metalurgi & Material FTUI seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.6.

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui struktur mikro dari penguat dalam matriks aluminium dan digunakan untuk mengetahui komposisi kimia dari penguat dan antarmuka yang terbentuk.

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

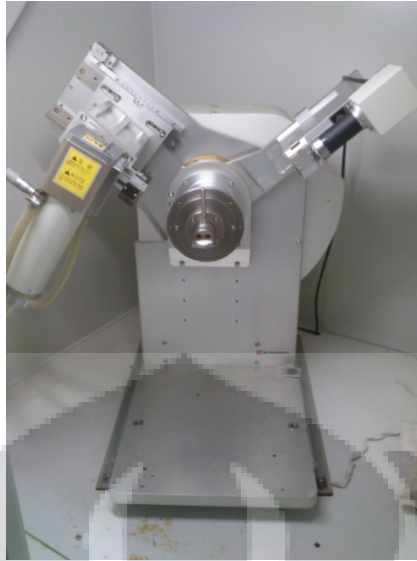


**Gambar 3.6**Alat mikroskop elektron LEO 420

### **3.6.6. Pengujian *X-Ray Diffraction***

Pengujian *x-ray diffraction* (XRD) menggunakan konsep pemantulan dari sinar x yang dipancarkan dengan menggunakan prinsip hukum Bragg dimana dengan memvariasikan sudut theta dan jarak maka kondisi dari hukum Bragg dapat diidentifikasi, yang akan memberikan puncak puncak hasil difraksi dan membentuk pola yang merupakan karakteristik dari setiap senyawa dalam material. Pantulan pantulan pada sudut tertentu dapat digunakan sebagai identifikasi dari senyawa yang terbentuk pada suatu zat.

Pengujian XRD merupakan uji non destruktif dimana pengujian ini akan mengungkapkan informasi mengenai senyawa kimia dan struktur kristalografi dari material tersebut. Alat yang digunakan diilustrasikan pada gambar 3.7.



**Gambar 3.7**Alat pengujian XRD



## BAB 4

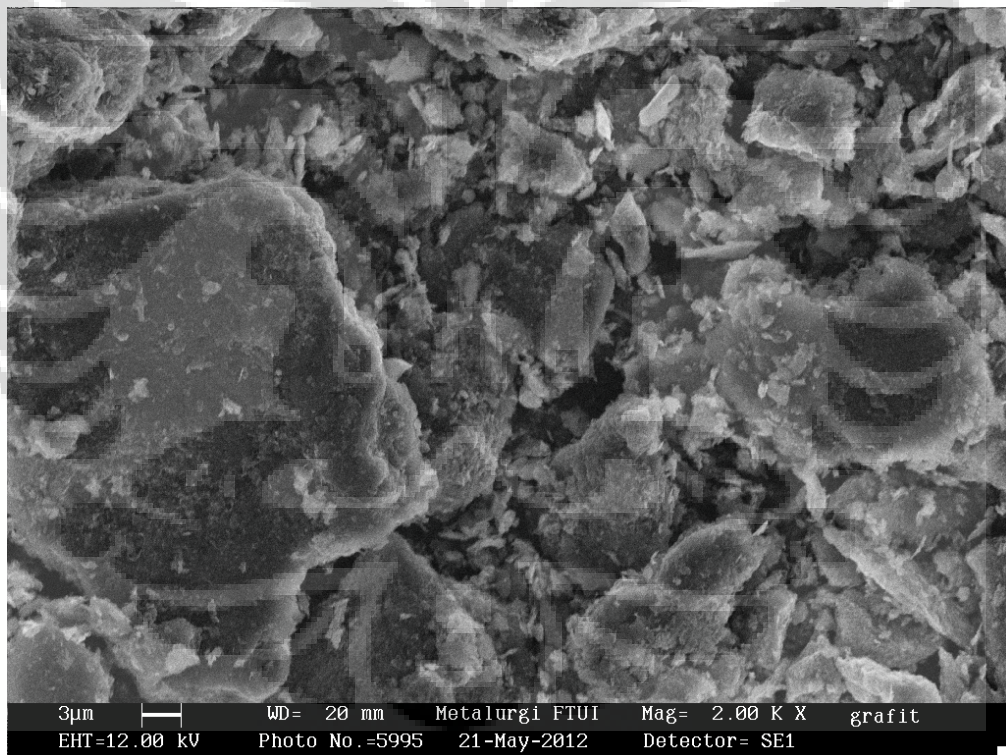
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Karakterisasi Partikel Grafit

Penelitian kali ini menggunakan grafit sebagai penguat. Analisa bentuk dan permukaan grafit kali ini dilakukan dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) LEO 420

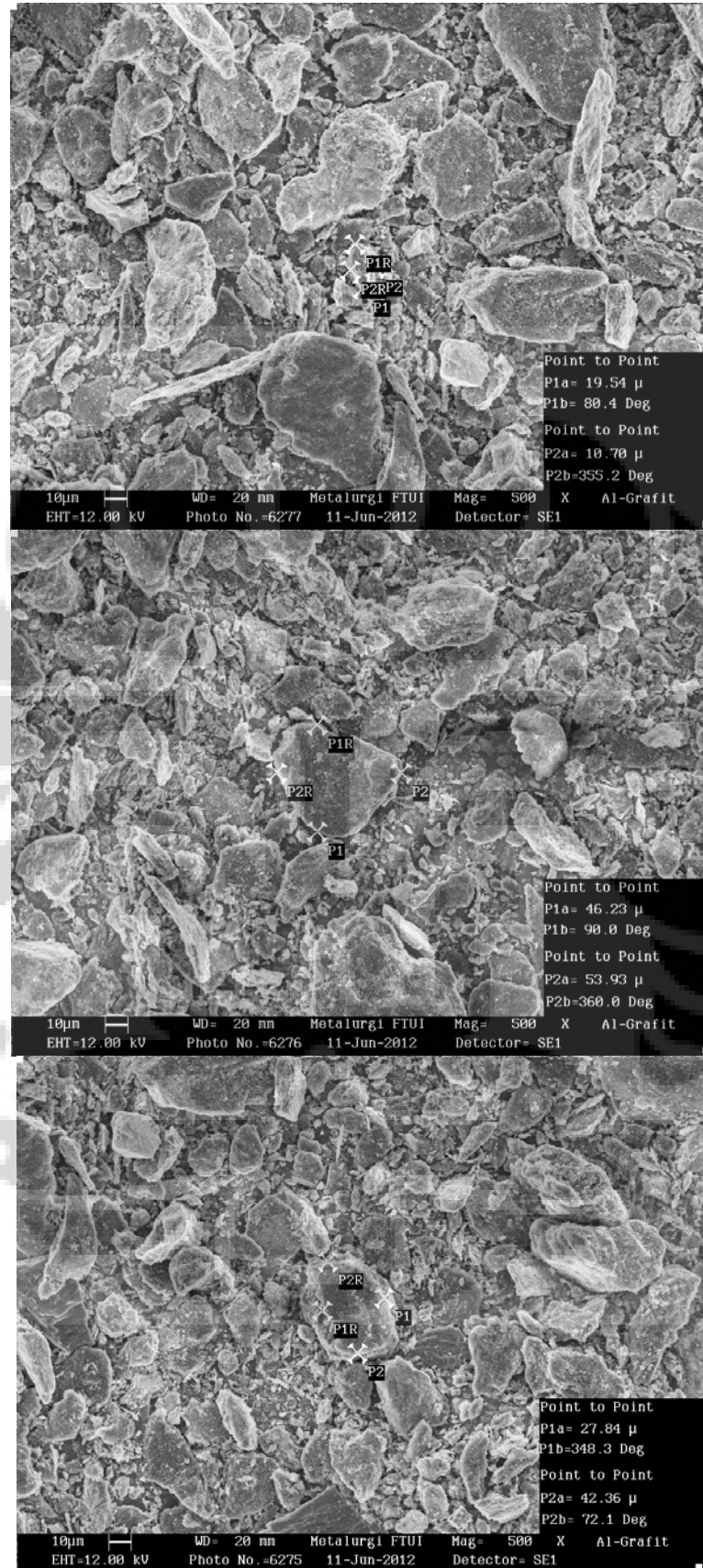
##### 4.1.1. Analisa Bentuk & Permukaan Grafit

Bentuk dari partikel grafit *as-received* yang dianalisa menggunakan SEM terlihat memiliki bentuk *flakes* dan dengan skala yang dipakai dapat diketahui ukuran dari partikel grafit sekitar 10  $\mu\text{m}$  hingga 50  $\mu\text{m}$ . Hal ini dapat dilihat melalui observasi pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2



**Gambar 4.1** Bentuk partikel grafit



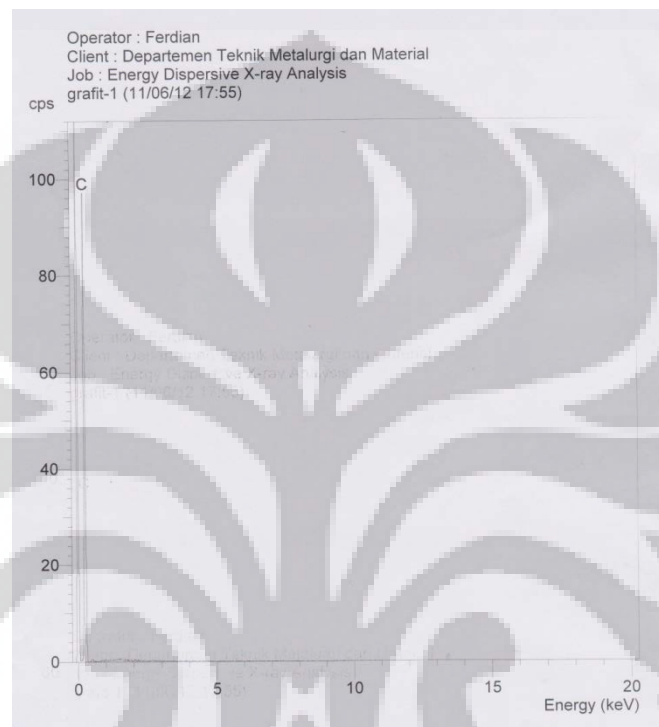


**Gambar 4.2** Foto pengukuran ukuran dari partikel grafit dengan menggunakan SEM



#### 4.1.2. Karakterisasi Elemen Grafit

Unsur yang terdapat pada permukaan partikel grafit diketahui melalui pengujian EDS. Pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui adanya unsur pengotor yang tersapat pada permukaan grafit, kemungkinan terdapatnya unsur pengotor pada serbuk sangat mungkin karena pengaruh lingkungan ataupun pada saat proses pembuatannya.



**Gambar 4.3** Hasil pengujian EDS dari serbuk grafit

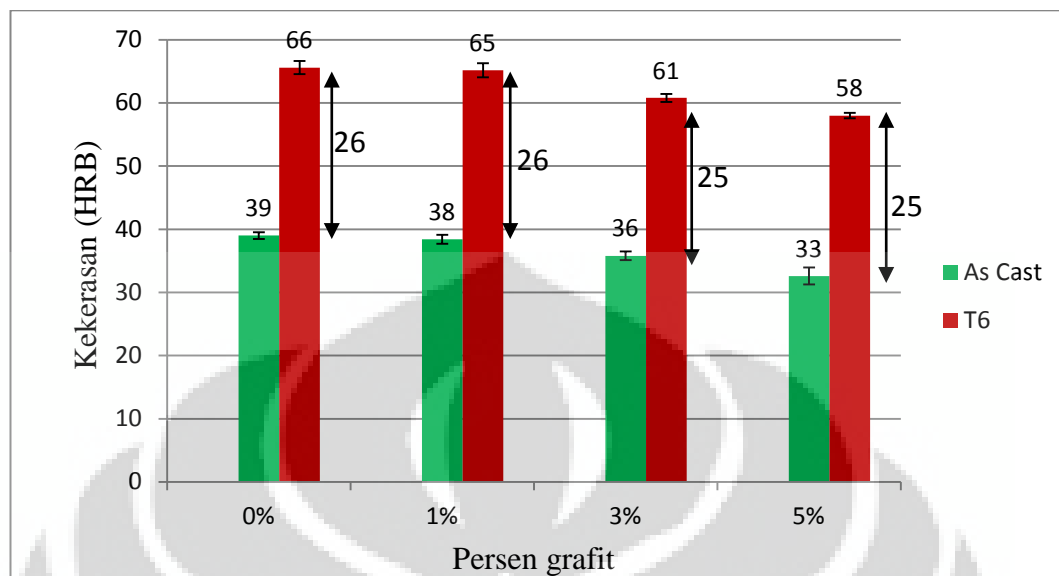
Pada pengujian EDS yang telah dilakukan pada gambar 4.3, tidak terdeteksi adanya pengotor pada permukaan grafit akibat dari pengaruh lingkungan dan pada proses pembuatannya. Hal ini membuktikan bahwa serbuk grafit yang digunakan ialah murni.

### 4. 2. Karakterisasi Komposit Aluminium/Grafit

#### 4.2.1. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada komposit pada keadaan setelah pengecoran dan yang telah di perlakuan panas T6. Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap penetrasi beban dari luar.

Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell B dengan menggunakan mesin penjejak Rockwell



**Gambar 4.4** Grafik uji kekerasan Rockwell B dari komposit setelah pengecoran dan perlakuan panas T6

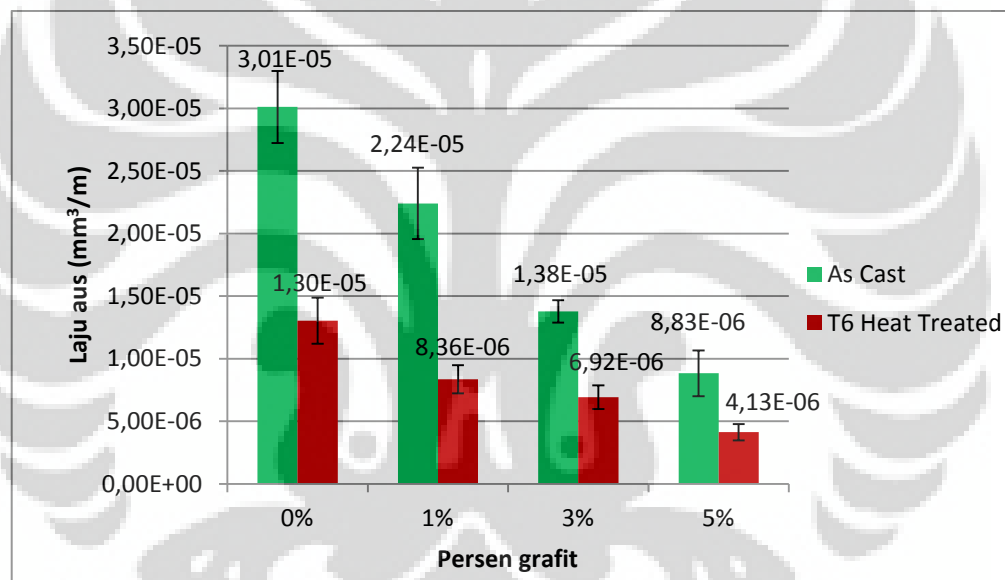
Dari Gambar 4.4 diatas dapat disimpulkan bahwa kekerasan dari material aluminium/grafit mengalami penurunan kekerasan seiring dengan penambahan dari grafit pada keadaan setelah pengecoran terjadi penurunan dari 39 HRB menjadi 38 HRB, 36 HRB, dan 33 HRB. Sementara pada keadaan perlakuan panas mengalami penurunan kekerasan dari 66 HRB menjadi 65 HRB, 61 HRB, dan 58 HRB. Hal ini dikarenakan grafit memiliki kekerasan yang lebih rendah dibanding aluminium sehingga justru menurunkan kekerasan dari matriksnya sehingga berperan menurunkan kekerasan dari material komposit ini.<sup>[25]</sup>

Sementara itu kekerasan material setelah dilakukan proses perlakuan panas T6 mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hal ini dikarenakan perlakuan panas menghasilkan endapan sekunder pada matriks yang meningkatkan kekerasan material itu sendiri. Endapan sekunder pada paduan komposit yang digunakan ialah  $Mg_2Si$  dan  $Al_2Cu$  karena unsur Mg dan Cu merupakan paduan mayor dari matriks.<sup>[17]</sup> Proses perlakuan panas yang digunakan menggunakan durasi penuaan selama satu jam dan suhu  $220^{\circ}C$ , dimana suhu penuaan yang tinggi memungkinkan matriks mencapai kekerasan yang tinggi dalam waktu yang singkat.<sup>[24]</sup> Hal ini dapat dilihat dari penambahan kekerasan yang cukup tinggi dari keadaan setelah pengecoran. Peningkatan kekerasan

material yang telah di lakukan perlakuan panas dengan penambahan grafit tidak mengalami perubahan signifikan, dimana terjadi kecenderungan peningkatan kekerasannya menurun.

#### 4.2.2. Pengujian Laju Aus

Pengujian laju aus dilakukan dengan menggunakan mesin Ogoshi dan dilakukan pada material setelah pengecoran dan yang telah di perlakuan panas T6. Pengujian ini menggunakan konsep piringan yang berputar dan bergesekan dengan material. Pengulangan beban karena putaran akan menghasilkan jejak pada material. Lebar dari jejak yang dibaca menunjukkan laju aus dari material, semakin lebar jejaknya maka semakin besar laju aus material tersebut.



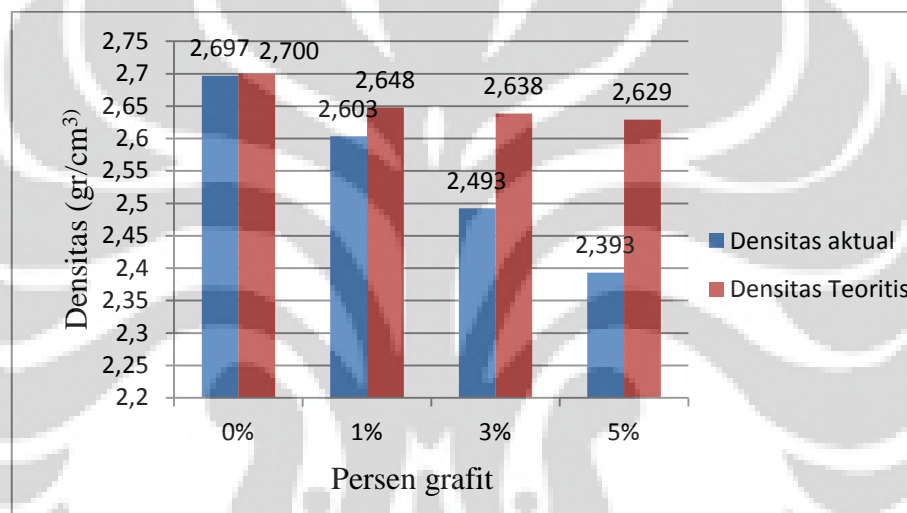
Gambar 4.5 Grafik uji keausan pada komposit setelah pengecoran dan perlakuan panas T6

Dari Gambar 4.5, dapat disimpulkan bahwa penambahan grafit sebagai penguat pada aluminium meningkatkan ketahanan aus dan menurunkan laju aus dari komposit. Pada penelitian kali terjadi penurunan kekerasan material tetapi terjadi peningkatan ketahanan aus. Hasil dari penelitian ini telah sesuai literatur. Penurunan laju aus dikarenakan grafit berperan sebagai pelumas dengan membentuk lapisan diantara dua bidang kontak.<sup>[4]</sup> Hasil ini juga konsisten seperti pada penelitian sebelumnya oleh peneliti yang juga meneliti komposit aluminium/grafit [4,11].

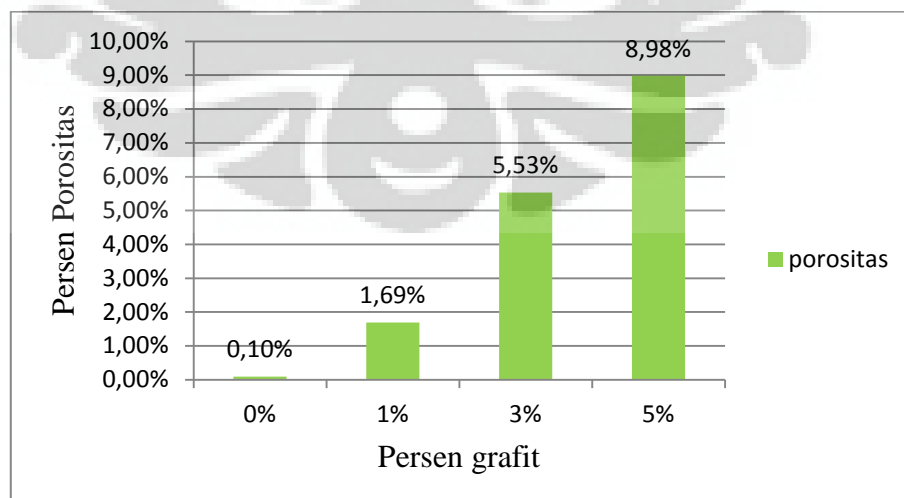
Komposit yang telah mengalami perlakuan panas memiliki laju aus yang relatif lebih rendah, hal ini dapat dijelaskan karena endapan yang terbentuk membuat komposit semakin keras dan karena kekerasannya meningkat maka secara umum ketahanan ausnya juga akan meningkat. Selain itu penambahan grafit meningkatkan ketahanan aus karena memberikan pelumasan pada dua bidang kontak antara komposit dengan benda gesek.

#### 4.2.3. Pengujian Densitas dan Porositas

Hasil pengujian porositas yang menggunakan hukum Archimedes dengan mengukur berat dalam air dan berat kering kemudian diformulasikan menjadi persen porositas dengan hasil seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.6. Grafik densitas percobaan pada komposit AC8A/grafit

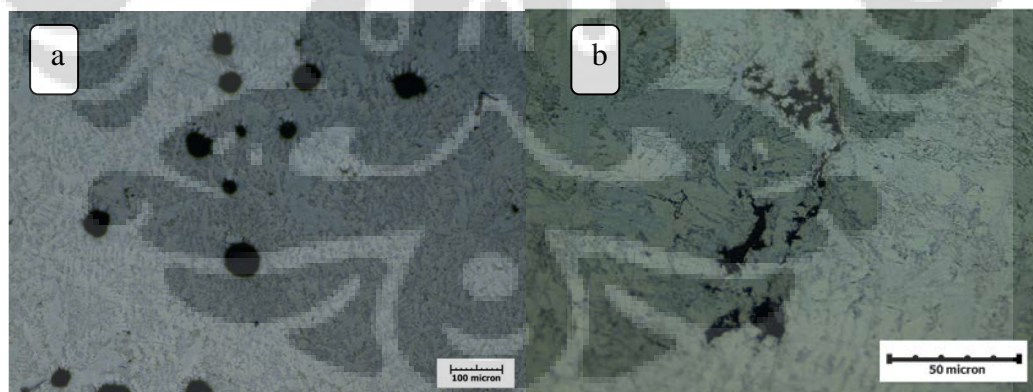


Gambar 4.7. Grafik uji porositas pada komposit AC8A/grafit

Didapatkan bahwa porositas komposit meningkat secara signifikan dengan penambahan penguat grafit kedalam matriks aluminium yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Pada keadaan tanpa penguat,porositas yang dimiliki ialah 0,1% dan porositas meningkat pada penambahan grafit 1%, 3%, dan 5% menjadi 1,69%, 5,53%, dan 8,98%. Sementara pada densitas terlihat penurunan dengan penambahan kadar grafit yang ditambahkan pada aluminium seperti terlihat pada Gambar 4.6. Densitas teoritis dihitung melalui hukum pencampuran :

Peningkatan porositas disebabkan karena terperangkapnya gas saat proses pengecoran adukdan peningkatan persen penguat yang dimasukkan kedalam matriks dan partikel penguat dalam suatu lelehan logam pada fabrikasi komposit cenderung untuk membentuk kluster<sup>[26]</sup>kecenderungan membentuk klaster yang kemudian menghasilkan porositas seperti *impregnation porosity* dan antarmuka *porosity* yang akan meningkatkan nilai porositas dari material itu sendiri. Pembasahan antara matriks dan penguat yang kurang baik dan klaster dapat dilihat pada gambar 4.8.

Pada penelitian Tatu<sup>[10]</sup>, peningkatan porositas pada komposit Al-SiC terjadi karena dengan bertambahnya persen penguat yang ditambahkan maka fluiditas dari cairan aluminium juga akan semakin rendah. Fluiditas yang rendah pada saat pengecoran akan mempengaruhi terbentuknya porositas saat pencetakan.



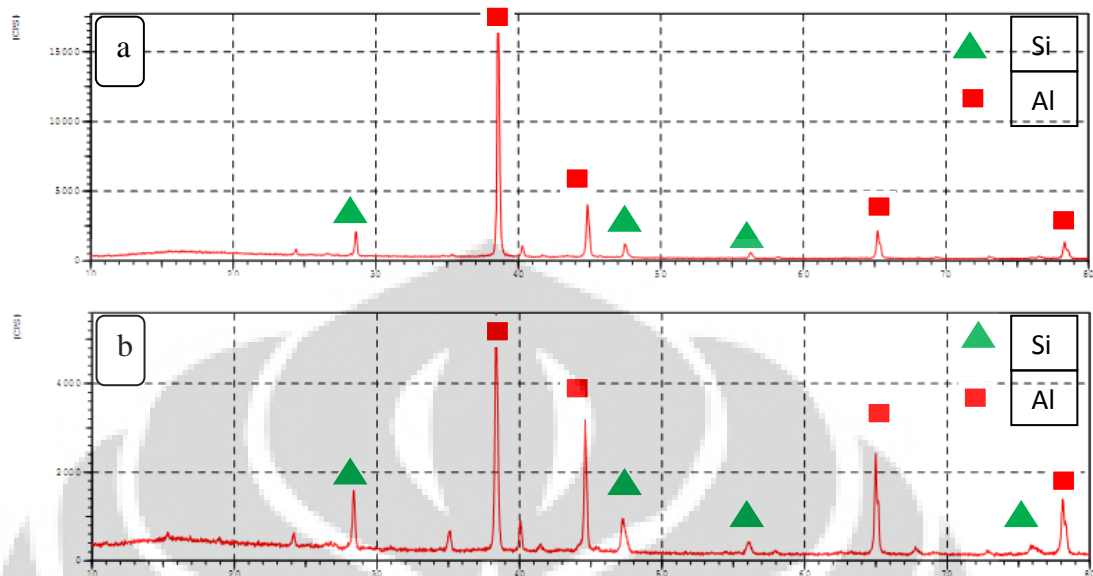
**Gambar 4.8**Foto mikro yang menunjukkan (a) porositas karena gas dan (b) porositas karena pembasahan yang buruk dan klaster

#### 4.2.4. Pengujian XRD

Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan prinsip pemantulan sinar X oleh kisi kristal yang dimiliki suatu senyawa dimana setiap senyawa memiliki sudut pantulan khusus yang kemudian digunakan untuk mengidentifikasi

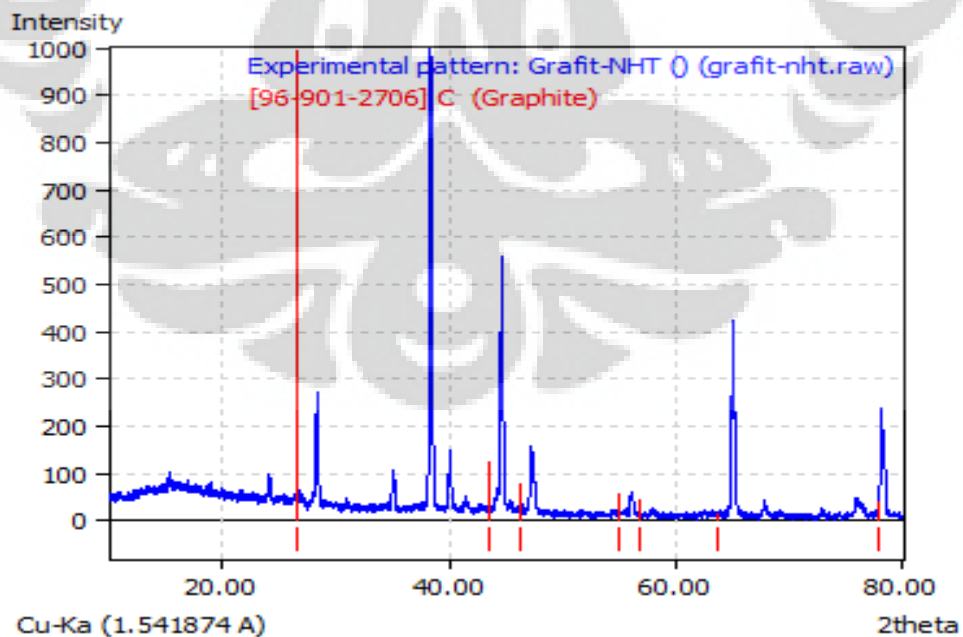


senyawa tersebut. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa yang terdapat pada komposit yang dibuat.



**Gambar 4.9** Grafik puncak hasil XRD dari (a) AC8A/grafit 3% T6 (b) AC8A/grafit 3% setelah pengecoran

Hasil dari pengujian XRD memperlihatkan adanya puncak Al dan Si dimana aluminium berperan sebagai matriks dan silikon ialah unsur paduan utama seperti dilihat pada Gambar 4.9.



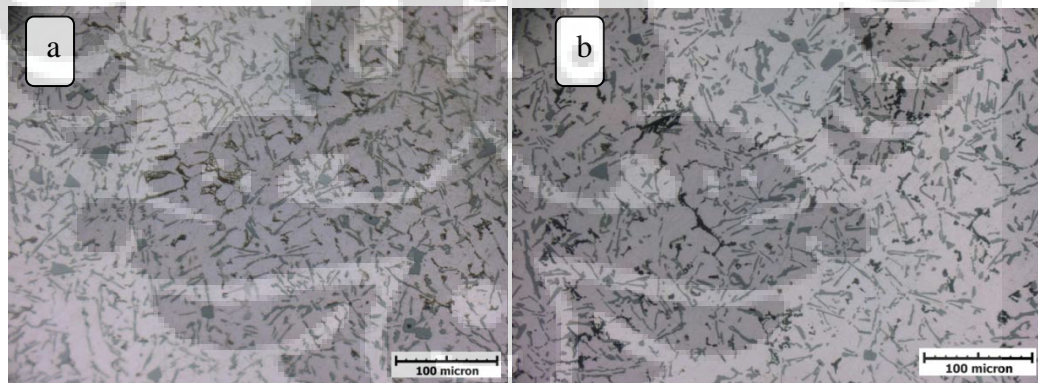
**Gambar 4.10** Grafik pengujian XRD dengan data card grafit

Pada Gambar 4.10, ditunjukkan pencocokan kartu data dari grafit pada hasil XRD sampel. Terlihat kecocokan didapat tetapi pada puncak-puncak yang relatif rendah terhadap kartu data dari aluminium dan silikon misalnya.

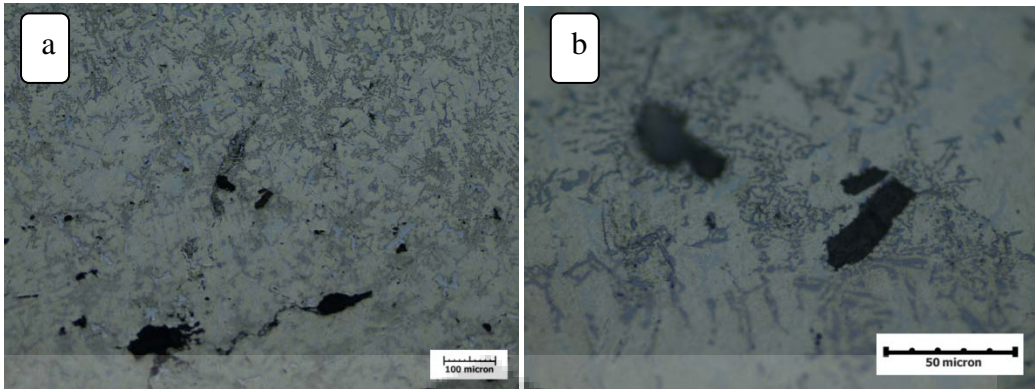
Penguat grafit tidak terbaca pada grafik XRD karena kemungkinan kandungan yang kecil dan sebaran yang tidak merata. Sumber kesalahan saat pengujian XRD salah satunya ialah karena mikroabsorpsi dan absorpsi partikel yang berbeda. Jika ada koefisien absorpsi suatu senyawa lebih besar maka akan ada kemungkinan terjadinya penyingkiran dari fasa yang memiliki koefisien absorpsi lebih besar.<sup>[27]</sup> Hal ini juga terjadi pada endapan-endapan yang tidak terbaca pada pengujian ini.

#### 4.2.5. Pengamatan Struktur Mikro

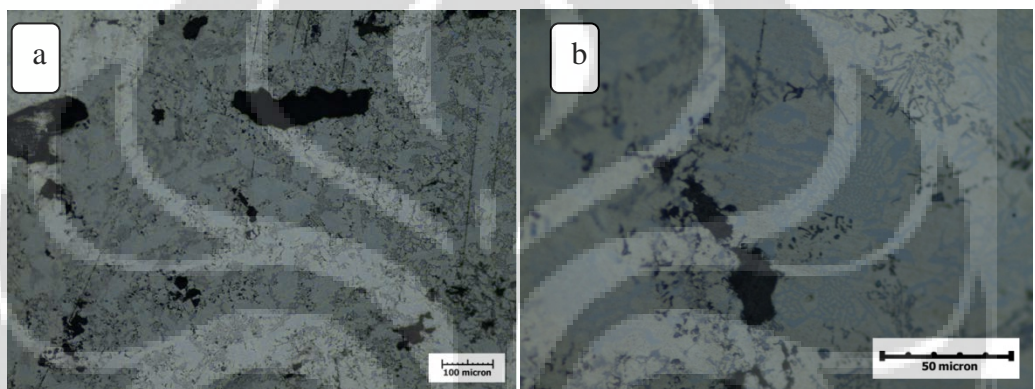
Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk melihat persebaran dari penguat dan fasa-fasa yang terbentuk pada matriks dari komposit aluminium AC8A/grafit. Disini juga dibahas mengenai perbedaan struktur mikro antara komposit yang diberikan perlakuan panas T6 dan komposit pada keadaan setelah pengecoran. Pengujian struktur mikro dilakukan pada perbesaran 100x dan 500x untuk mengetahui fasa-fasa yang terbentuk dan keberadaan penguat.



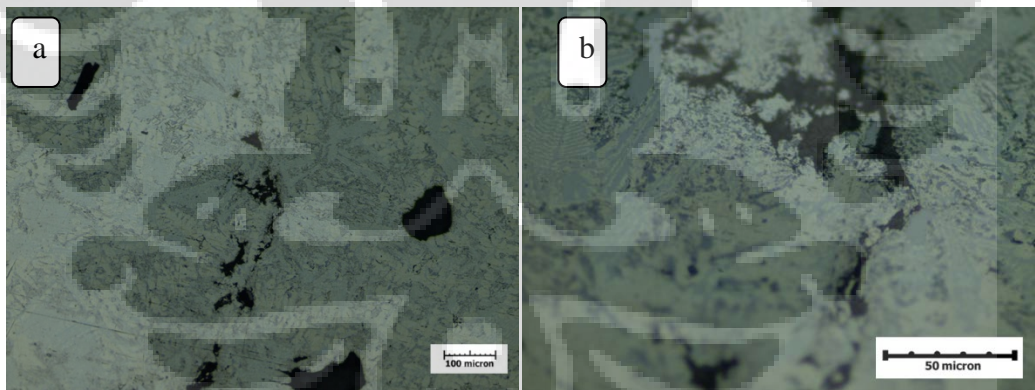
**Gambar 4.11** Foto mikro aluminium AC8A perbesaran 200x ; (a) setelah pengecoran (b) T6 Heat-Treated



**Gambar 4.12**Foto mikro komposit AC8A/grafit 1% setelah pengecoran ; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x

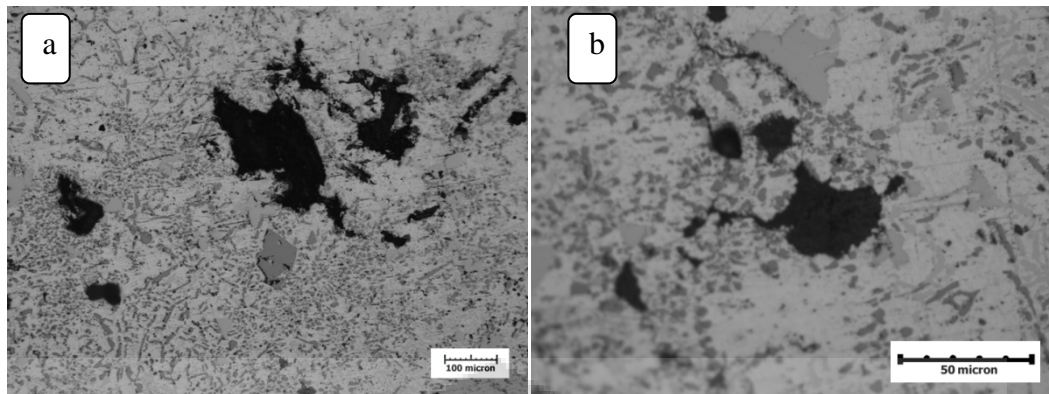


**Gambar 4.13**Foto mikro komposit AC8A/grafit 3% setelah pengecoran ; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x

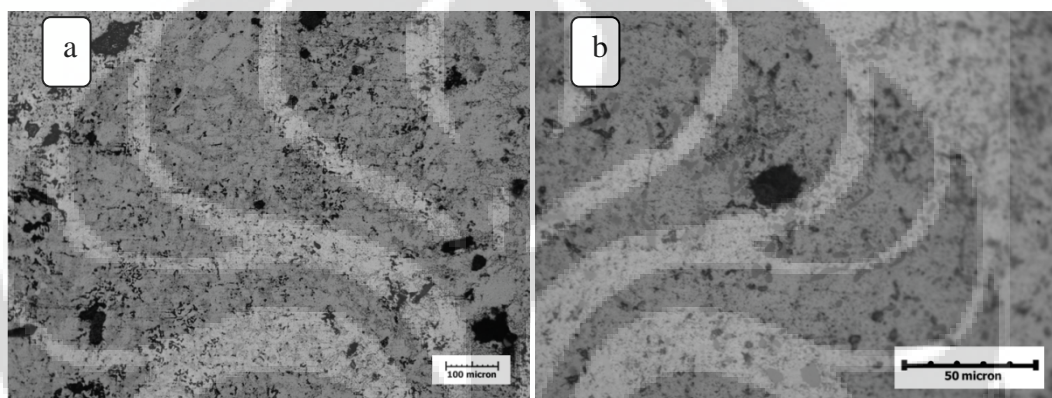


**Gambar 4.14**Foto mikro komposit AC8A/grafit 5% setelah pengecoran ; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x

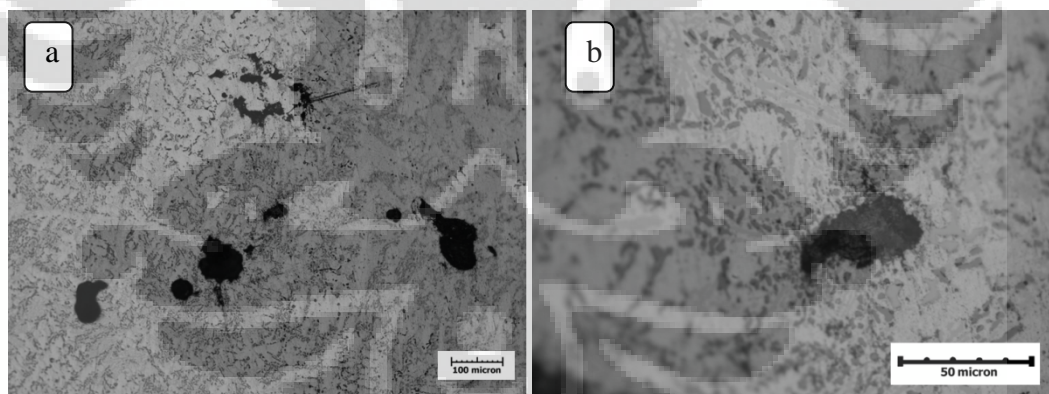




**Gambar 4.15**Foto mikro komposit AC8A/grafit 1% perlakuan panas T6; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x



**Gambar 4.16**Foto mikro komposit AC8A/grafit 3% perlakuan panas T6; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x



**Gambar 4.17**Foto mikro komposit AC8A/grafit 5% perlakuan panas T6; (a) perbesaran 100x (b) perbesaran 500x

Pengujian foto mikro yang dilakukan bertujuan untuk mengobservasi pengaruh perlakuan panas pada komposit aluminium/grafit dan untuk mengobservasi keberadaan penguat grafit pada matriks aluminium serta melihat cacat porositas yang terbentuk dari pembuatan komposit aluminium/grafit ini.

Dapat dilihat pada foto mikro material pada keadaan setelah pengecoran bentuk dari endapan silikon berbentuk runcing dan setelah mengalami perlakuan panas jarum silikon berubah menjadi sferoid, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.11. Hal ini dikarenakan saat *solution treatment* endapan Si eutektik mengalami fragmentasi dan kemudian membulat.<sup>[28]</sup> Pengaruh dari pembundaran silikon ini akan meningkatkan keuletan karena bentuk sferoid meminimalisir tegangan sisa yang dapat terjadi pada ujung-ujung endapan. Peningkatan kekuatan mekanis terjadi ketika peneraan dimana unsur-unsur seperti Cu dan Mg membentuk presipitat sekunder dan presipitat tersebut menghalangi dislokasi sehingga kekuatan mekanis menjadi meningkat. Presipitat sekunder tidak dapat diobservasi melalui pengamatan foto mikro.

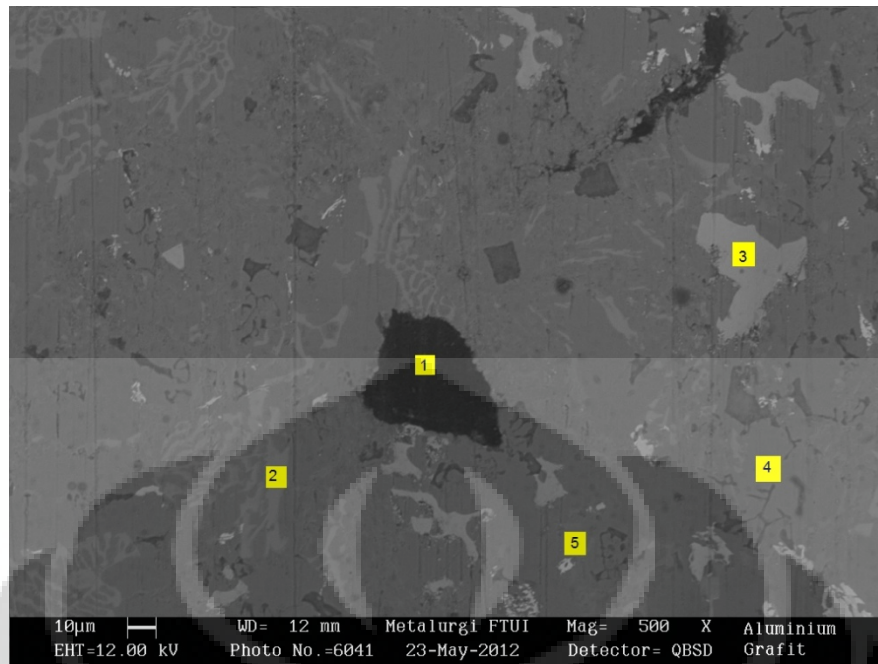
Sementara itu dari pengamatan struktur mikro, dapat dilihat dari Gambar 4.12 hingga Gambar 4.17, terdapat grafit yang merupakan penguat dari komposit aluminium/grafit. Grafit terlihat tidak terikat dengan baik karena pembasahan antara aluminium dan grafit yang kurang baik. Persebaran yang kurang baik dapat terjadi karena parameter pengadukan yang kurang tepat dan karena penambahan grafit dengan kadar yang tidak terlalu tinggi.

Dari pengamatan struktur mikro perbesaran 100x dapat dilihat persebaran cacat porositas yang sangat besar. Gas yang terperangkap menyebabkan terbentuknya porositas gas dimana ciri dari porositas ini memiliki bentuk yang cenderung bundar sementara porositas penyusutan juga terjadi karena material cukup tebal dimana daerah tengah membeku terakhir. Cacat porositas penyusutan memiliki ciri *branched* atau bercabang. Cacat porositas yang terlihat pada struktur mikro kemungkinan terjadi karena adanya *particle pull-out*. *Particle pull-out* terjadi karena ikatan interfasial yang lemah antara matriks dengan penguat grafit dan biasa terjadi karena proses abrasif misalnya pengamplasan, yang notabene dilakukan sebelum pengambilan struktur mikro.

#### **4.2.6. Pengamatan SEM dan EDS**

Pengamatan SEM dan EDS dilakukan untuk mengetahui keberadaan elemen dan fasa yang terbentuk pada komposit yang dibuat.





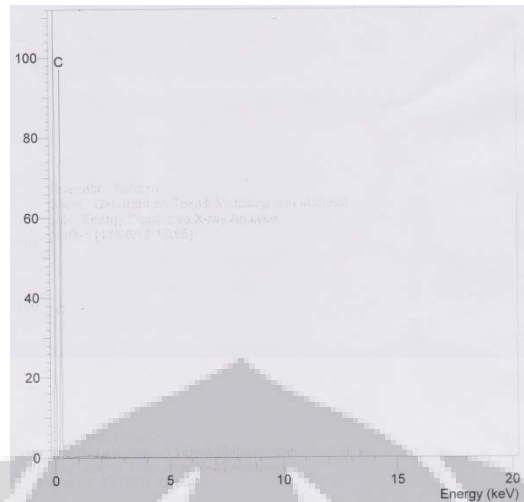
**Gambar 4.18**Foto pengujian SEM dan EDS

**Tabel 4.1**Tabel hasil pengujian EDS dan kandungan unsur unsurnya

Titik	Al	Si	Cu	Mg	C	O	Na	Fe	Total	Indikasi fasa
1					100				100	Grafit
2	87,5	7,6		3,07		0,62		1,21	100	AL
3	82,2	5,64			0,62	3,35	0,24	7,91	100	Al <sub>5</sub> FeSi
4	77,8	6,09		13,2	0,05	2,87			100	Mg <sub>2</sub> Si
5	35,3	0,5	63,91		0,26				100	Al <sub>2</sub> Cu

Dari hasil pengamatan SEM dan EDS pada Gambar 4.18, dapat dilihat adanya penguat yang disusun oleh karbon dan endapan endapan yang terbentuk pada matriksnya. Endapan yang terbentuk diantaranya ialah Al, Al<sub>5</sub>FeSi, Mg<sub>2</sub>Si, dan AlCu<sub>2</sub>berdasarkan Tabel 4.1.

Kandungan aluminium yang banyak pada endapan Mg<sub>2</sub>Si menunjukkan matriks aluminium yang menempel pada endapan. Demikian juga pada AlFeSi yang memiliki kandungan aluminium yang besar.

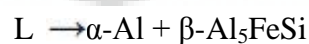


**Gambar 4.19**Spektrum nomor 1 dengan puncak yang terbaca ialah karbon

Pada penembakan pertama yang ditunjukkan pada angka 1 di gambar 4.17, dihasilkan spektrum seperti gambar 4.19 dan terbaca 100% karbon yang dapat diidentifikasi sebagai grafit yang berperan sebagai penguat di matriks aluminium.

Pada titik EDS nomor dua, dengan spektrum pada Gambar 4.20 (a), terdapat kandungan Fe sebesar 1,21%, kadar tersebut diatas dari kadar Fe pada AC8A dimana peningkatan kadar Fe kemungkinan disebabkan dari stirrer yang bereaksi dengan aluminium cair.

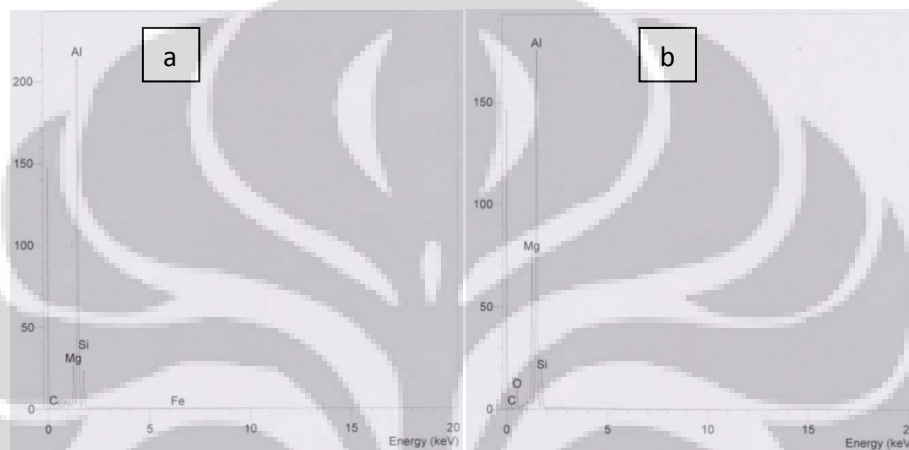
Pada penembakan ketiga, dengan spektrum pada Gambar 4.20 (b), hasil yang muncul diidentifikasi sebagai  $\text{Al}_5\text{FeSi}$  dengan kandungan Fe 7,91%, Al sebesar 82,2% dan Si sebesar 5,64% pada hasil EDS. Menurut literatur<sup>[30]</sup>, untuk membentuk endapan  $\text{Al}_5\text{FeSi}$  % unsur yang harus dipenuhi ialah Fe sebesar 25-30% dan Si sebesar 12-15%. Penyimpangan besar unsur ini kemungkinan terjadi karena reaksi dibawah. Karena ada  $\alpha\text{-Al}$  sebagai produk reaksi sampingan maka kemungkinan kandungan Al bertambah besar pada pembacaan saat EDS



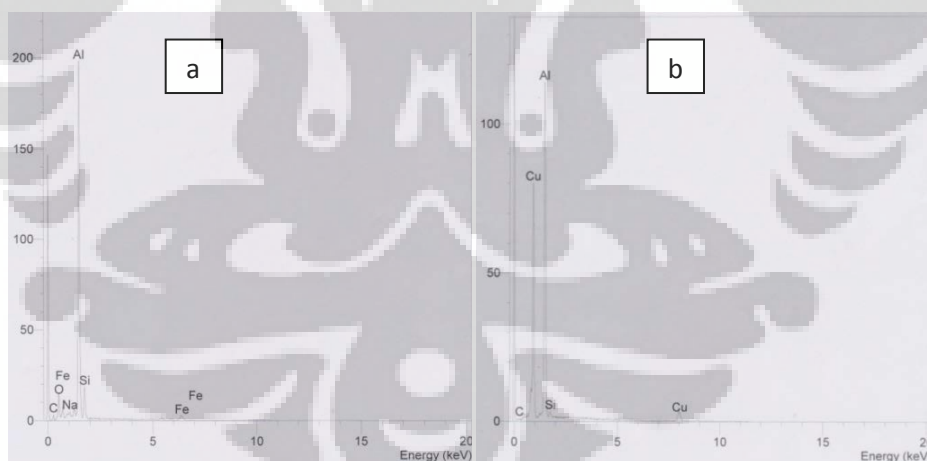
Sementara  $\text{Mg}_2\text{Si}$  memiliki kandungan Mg sebesar 13,2% dan Si sebesar 6,09% pada spektrum nomor tiga, dengan spektrum pada Gambar 4.21 (a),  $\text{Mg}_2\text{Si}$  memiliki warna yang agak gelap dan memiliki bentuk seperti huruf cina. Menurut literatur<sup>[30]</sup>, untuk membentuk  $\text{Mg}_2\text{Si}$  syarat % unsur yang harus dipenuhi adalah

64% Mg dan 36% Si. % unsur yang terbaca tidak mencukupi untuk memenuhi standar % fasa  $Mg_2Si$  dan terbaca kandungan Al yang besar karena matriks yang dimiliki ialah Al.

Endapan  $Al_2Cu$  diidentifikasi pada spektrum nomor lima, dengan spektrum pada Gambar 4.21 (b), dimana terlihat endapan berwarna lebih terang dan relatif seperti huruf cina serta memiliki kandungan Cu sebesar 63,91% dan Al sebesar 35,3%. Menurut literatur<sup>[30]</sup>, untuk membentuk  $CuAl_2$  syarat % unsur Cu adalah 52% dan sisanya (48%) adalah unsur Al.



Gambar 4.20 spektrum EDS, (a) spektrum nomor 2, (b) spektrum nomor 3



Gambar 4.21 Hasil spektrum EDS, (a) spektrum nomor 4, (b) spektrum nomor 5

## BAB 5

### KESIMPULAN

1. Komposit aluminium AC8A/grafit dapat dibuat dengan proses pengecoran aduk.
2. Penambahan penguat grafit memberikan penurunan pada sifat kekerasan pada komposit AC8A/grafit *as cast* dengan nilai kekerasan pada 0%, 1%, 3%, dan 5% ialah 39 HRB, 38,4 HRB, 35,8 HRB, dan 32,6 HRB.
3. Penambahan penguat grafit memberikan penurunan pada sifat kekerasan pada komposit AC8A/grafit perlakuan panas T6 dengan nilai kekerasan pada 0%, 1%, 3%, dan 5% ialah 65,6 HRB, 65,2 HRB, 60,8 HRB, dan 58 HRB.
4. Perlakuan panas T6 memberikan peningkatan kekerasan pada material komposit aluminium AC8A/Grafit.
5. Penambahan penguat grafit memberikan peningkatan pada sifat ketahanan aus pada komposit AC8A/grafit *as cast* dengan nilai laju aus pada 0%, 1%, 3%, dan 5% ialah  $3,0 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{m}$ ,  $2,24 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{m}$ ,  $1,38 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{m}$ , dan  $8,83 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{m}$ .
6. Penambahan penguat grafit memberikan peningkatan pada sifat ketahanan aus pada komposit AC8A/grafit perlakuan panas T6 dengan nilai laju aus pada 0%, 1%, 3%, dan 5% ialah  $1,30 \times 10^{-5} \text{mm}^3/\text{m}$ ,  $8,64 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{m}$ ,  $6,92 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{m}$ , dan  $4,13 \times 10^{-6} \text{mm}^3/\text{m}$ .
7. Perlakuan panas T6 memberikan peningkatan ketahanan aus pada material komposit aluminium AC8A/Grafit.
8. Penambahan kadar penguat grafit kedalam matriks aluminium AC8A menyebabkan penambahan porositas yang terdapat pada material komposit
9. Komposisi penguat grafit yang paling maksimal merupakan komposit dengan komposisi 5%. Hal ini dilihat dari nilai hasil uji ketahanan aus yang dilakukan.

## DAFTAR ACUAN

1. Callister, jr. William D. "Materials Science and Engineering an Introduction." New York : Jhon Wiley & Sons, Inc, 2007. 978-0-471-73696-7.
2. Surappa, M. K." Aluminium Matrix Composites : Challenges and Opportunities." *Sadhan* Vol.28,Parts1&2, February/April 2003, pp. 319–334.
3. Hashim, Jasmi. " The Production of Cast Metal Matrix Composite by A Modified Stir Casting Method." *Jurnal teknologi*, 35(A) Dis. 2001, pp. 9-20
4. Lin, C.B., Chang, R.J. & Weng, W.P. "A Study on Process and Tribological Behavior of Al Alloy / Gr. (p) Composite" *Wear* 217 (1998),pp. 167-174. Elsevier
5. Kainer ,Karl Ulrich. "Custom-made Materials for Automotive and AerospaceEngineering." Weinheim : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2006. ISBN: 3-527-31360-5
6. Jacob, M. H. "Introduction to Aluminium as an Engineering Material." European Aluminium Association, 1999, TALAT Leccture 1201
7. Askeland, Donald R., Fulay, Pradeep P. " Essentials of Materials Science and Engineering." Toronto :Jhon Wiley & Sons, Inc, 2009. ISBN-13: 978-0-495-24446-2
8. ASM international. "Aluminium-Silicon Casting Alloys : Atlas of Microfractographs." 2004
9. Cawla, Nikilesh., and Cawla, Krishan.K. (2006). *Metal Matrix Composites*. Springer, pp.3 .
10. 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.



11. Baradeswaran, A., A.Elayaperumal. "Effect of Graphite Content on Tribological behaviour of Aluminium alloy" ISSN 1450-216X Vol.53 No.2 (2011), pp.163-170. European Journal of Scientific Research
12. Madsen, Bo., Anders Thygesen, and Hans Lilholt. "Plant Fibre Composite- Porosity and Volumetric Interaction." 2006.Science Direct. Composite Science and Technology 67 (pp. 1584-1600).
13. Krishnan, B.P., Surappa, M.K. & Rohatgi, P.K. "The OPAL process: a direct method of preparing cast aluminium alloy-graphite particle composites" Journal of Material Science 16 (1981),pp. 1209-1 216
14. <http://www.face-kyowa.com/en/learning/learning1.html> (didownload pada 29/03/2012 pukul 16.00).
15. Lutfi, Syukron. "Pengaruh Magnesium terhadap Proses Electroless Coating pada Partikel Penguat SiC." 2006. Departemen Metalurgi dan Material FTUI.
16. Efielson. "Efek Perlakuan Panas Dengan Mengganti Proses T6 (*Artificial Aging*) Dengan T4 (*Natural Aging*) Pada Pembuatan Piston Dengan Material AC8H." Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Genap 2007/2008
17. Li, RX., R. D. Li, Y. H. Zhao, L. Z. He, C. X. Li, H. R. Guan, Z. Q. Hu "Age Hardening Behaviour of Cast Al-Si Base Alloy." 2004.Science Direct. Materials Letters 58 (pp. 2096-2101).
18. Zulfia, Anne, Ratna Juwita, Ari Uliana, I Nyoman Jujur, Jarot Raharjo. "Proses Penuaan (Aging) pada Paduan Aluminium AA 333 Hasil Proses Sand Casting" JURNAL TEKNIK MESIN Vol. 12, No. 1, April 2010, pp. 13-20
19. Mondal, D.P., Anshul Badkul, and Nidhi Jha. "Age Hardening behaviour of 2014 Al Alloy-SiC omposites: Effect of Porosity and Strontium Addition." Bhopal : Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 2011, Vol. 18, pp. 79-85.
20. Indriyati, Martha. "Pengaruh Penambahan Modifier Pada Paduan Aluminium AC8A", Teknik Metalurgi dan Material FTUI, 2008

21. Zhengang Liu, Guoyin Zu, Hongjie Luo, Yihan Liu, and Guangchun Yao. "Influence of Mg Addition on Graphite Particle Distribution in the Al Alloy Matrix Composites" *J. Mater. Sci. Technol.*, 2010, 26(3), pp. 244-250.
22. Pramuji L. Franciska et al, "Pengaruh Temperatur Sinter dan Fraksi Volume Penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Terhadap Karakteristik Komposit Laminat Hybrid Al/SiC-Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Produk Metalurgi Serbuk." Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok 2007.
23. H. Hocheng, S. B. Yen, T. Ishihara, and B. K. Yen. "Fundamental Turning Characteristics of a Tribology-favored Graphite/Aluminum Alloy Composite Material" *Composites Part A* 28A (1997) pp. 883-890
24. Jacobs, M. H. "Precipitation Hardening" European Aluminium Association, TALAT Lecture 1204 (1999)
25. Seah, K. H. W., Sharma, Girish. "Mechanical Properties of As-Cast and Heat-Treated ZA-27/Graphite Particulate Composites" Elsevier Science Limited, pp. 1359-835X/97/\$17.00
26. J. Hashim, L. Looney, M.S.J. Hashmi. "Particle distribution in cast metal matrix composites—Part I." *Science Direct. Journal Processing of Technology*. 2002. pp. 251-257.
27. *Materials Characterization*. Engineered Material Handbook. Vol 10. ASM Internasional, Ohio : Metal Park, 2004.
28. Soljander Emma, Seifeddine Salem. "The Heat Treatment of Al-Si-Cu-Mg Casting Alloy" *Journal of Materials Processing Technology* 210 (2010) pp. 1249–1259
29. Bao, Sarina, Anne Kvithlyd, Thorvald Abel Engh, Merete Tangstad. "Wettability of Aluminium with SiC and Graphite in Aluminium Filtration" TMS (The Minerals, Metals & Materials Society), 2011, pp.20-28
30. *Metallography and Microstructure*. Engineered Material Handbook. Vol 9. ASM Internasional, Ohio : Metal Park, 2004.

## LAMPIRAN

## Lampiran A. Data Pengujian Kekerasan

% Penguat	<i>Hardness Al/Grafit (HRB)</i>	
	<i>Setelah pengecoran</i>	<i>T6 Heat-treated</i>
0%	39,2	65,1
	38,4	64,9
	39,4	66,8
1%	38,4	64,2
	39,1	65
	37,7	66,4
3%	35	60,1
	36,3	61
	36,1	61,3
5%	31,5	57,5
	32,2	58,2
	34,1	58,3

### Lampiran B. Data Pengujian Aus

#### AC8A/Grafit setelah pengecoran

	B	b	b <sup>3</sup>	x	r	W	V	V rata-rata
0%	3	10,523	1165,248926	600000	15	19,42082	3,24E-05	3,01E-05
	3	9,891	967,655135	600000	15	16,12759	2,69E-05	
	3	10,381	1118,710136	600000	15	18,64517	3,11E-05	
1%	3	9,334	813,2112717	600000	15	13,55352	2,26E-05	2,24E-05
	3	8,884	701,1737511	600000	15	11,68623	1,95E-05	
	3	9,675	905,6344219	600000	15	15,09391	2,52E-05	
3%	3	8,084	528,2979367	600000	15	8,804966	1,47E-05	1,38E-05
	3	7,738	463,3254713	600000	15	7,722091	1,29E-05	
	3	7,917	496,2287642	600000	15	8,270479	1,38E-05	
5%	3	6,402	262,3898368	600000	15	4,373164	7,29E-06	8,83E-06
	3	6,702	301,0324204	600000	15	5,017207	8,36E-06	
	3	7,308	390,2973621	600000	15	6,504956	1,08E-05	

#### AC8A/Grafit T6

	B	b	b <sup>3</sup>	x	r	W	V	V rata-rata
0%	3	8,141	539,5519	600000	15	8,992532	1,5E-05	1,3E-05
	3	7,412	407,1986	600000	15	6,786643	1,13E-05	
	3	7,726	461,1733	600000	15	7,686221	1,28E-05	
1%	3	6,432	266,0959	600000	15	4,434931	7,39E-06	8,36E-06
	3	7,015	345,2097	600000	15	5,753495	9,59E-06	
	3	6,629	291,3024	600000	15	4,85504	8,09E-06	
3%	3	6,176	235,571	600000	15	3,926184	6,54E-06	6,92E-06
	3	6,606	288,2808	600000	15	4,80468	8,01E-06	
	3	6,07	223,6485	600000	15	3,727476	6,21E-06	
5%	3	5,522	168,3795	600000	15	2,806325	4,68E-06	4,13E-06
	3	4,97	122,7635	600000	15	2,046058	3,41E-06	
	3	5,37	154,8542	600000	15	2,580903	4,3E-06	

Keterangan :

r = jari-jari pin (mm)

b = lebar celah (mm)

x = jarak luncur (mm)

W = volume material terabrasi (mm<sup>3</sup>)

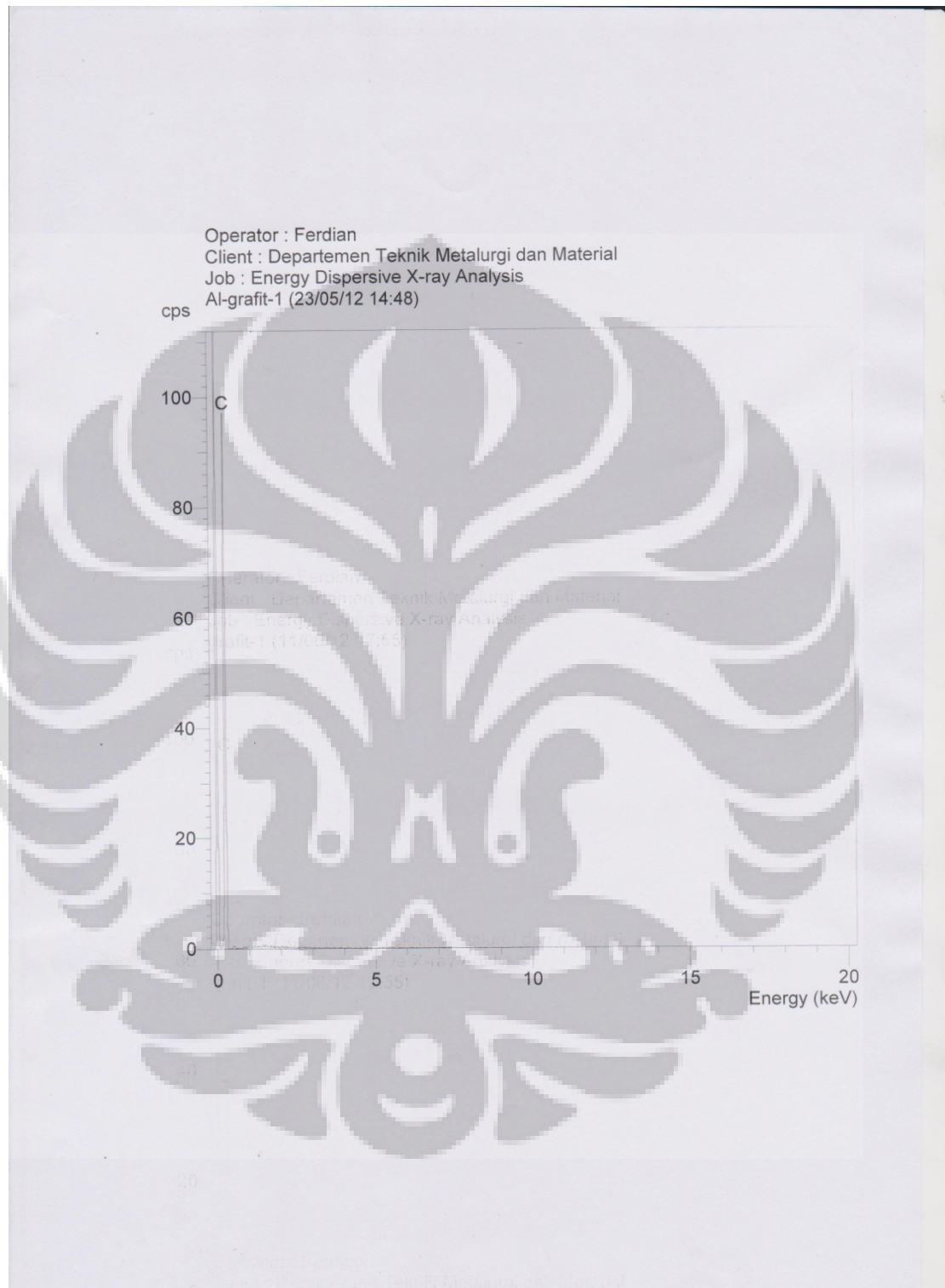
V = laju aus (mm<sup>3</sup>/meter)

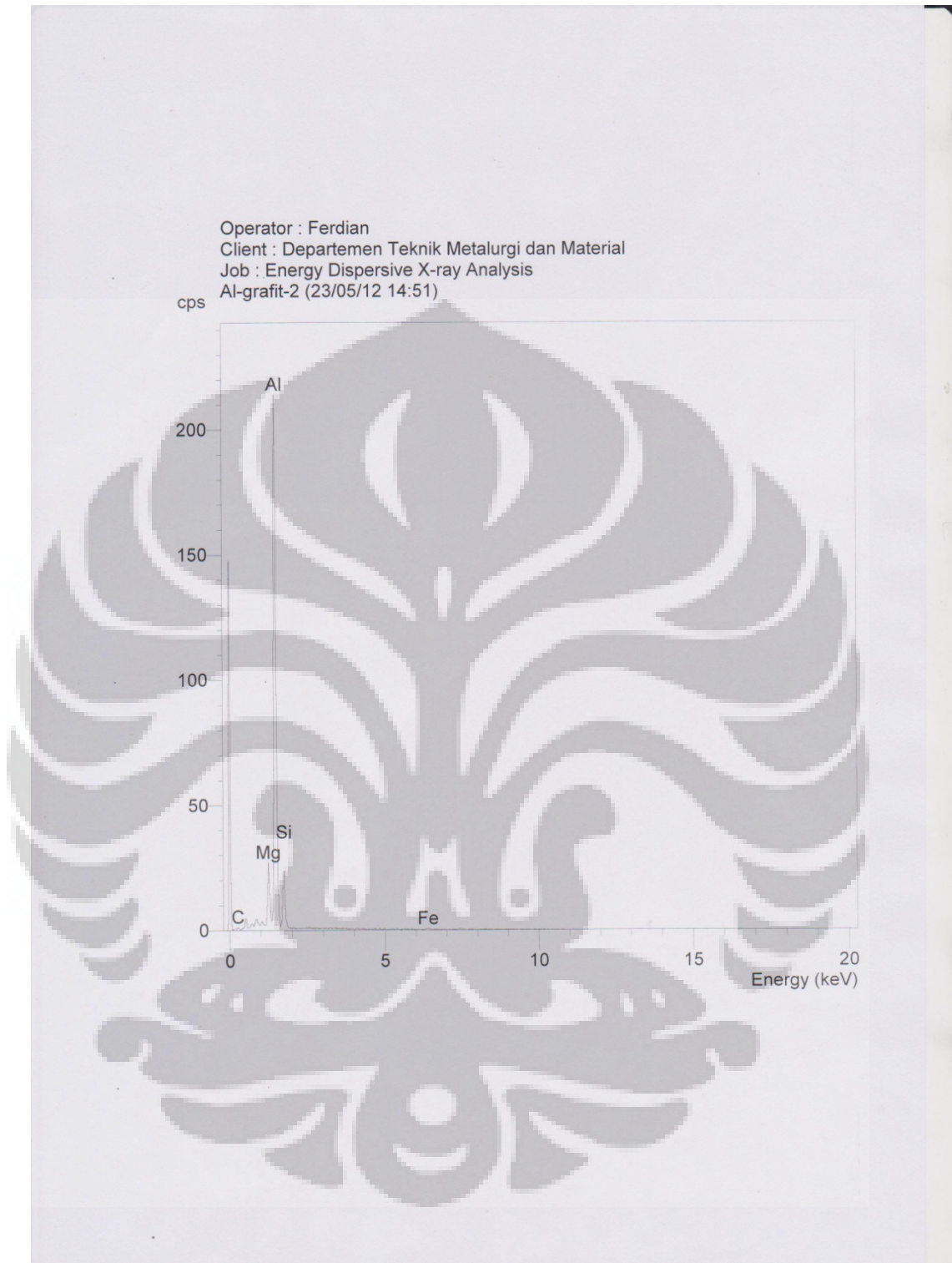
**LAMPIRAN C. Data Pengujian Porositas**

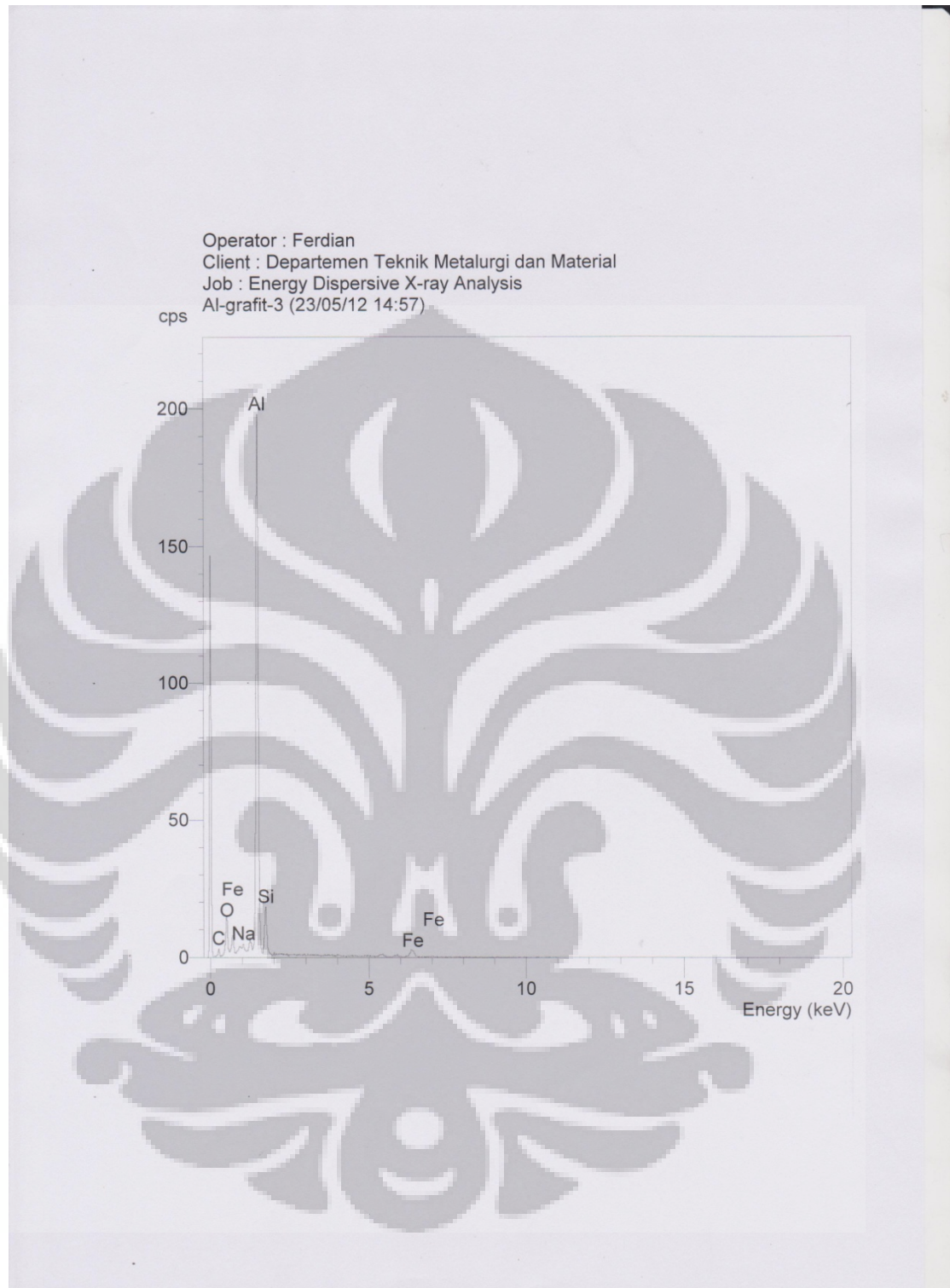
Kadar Grafit (%)	massa di udara (gram)	massa di air (gram)	Densitas teoritis	Densitas percobaan	Persen porositas
0%	20,50	7,6	2,700	2,697	0,10%
1%	22,91	8,8	2,648	2,603	1,69%
3%	20,19	8,1	2,638	2,493	5,53%
5%	21,06	8,8	2,629	2,393	8,98%



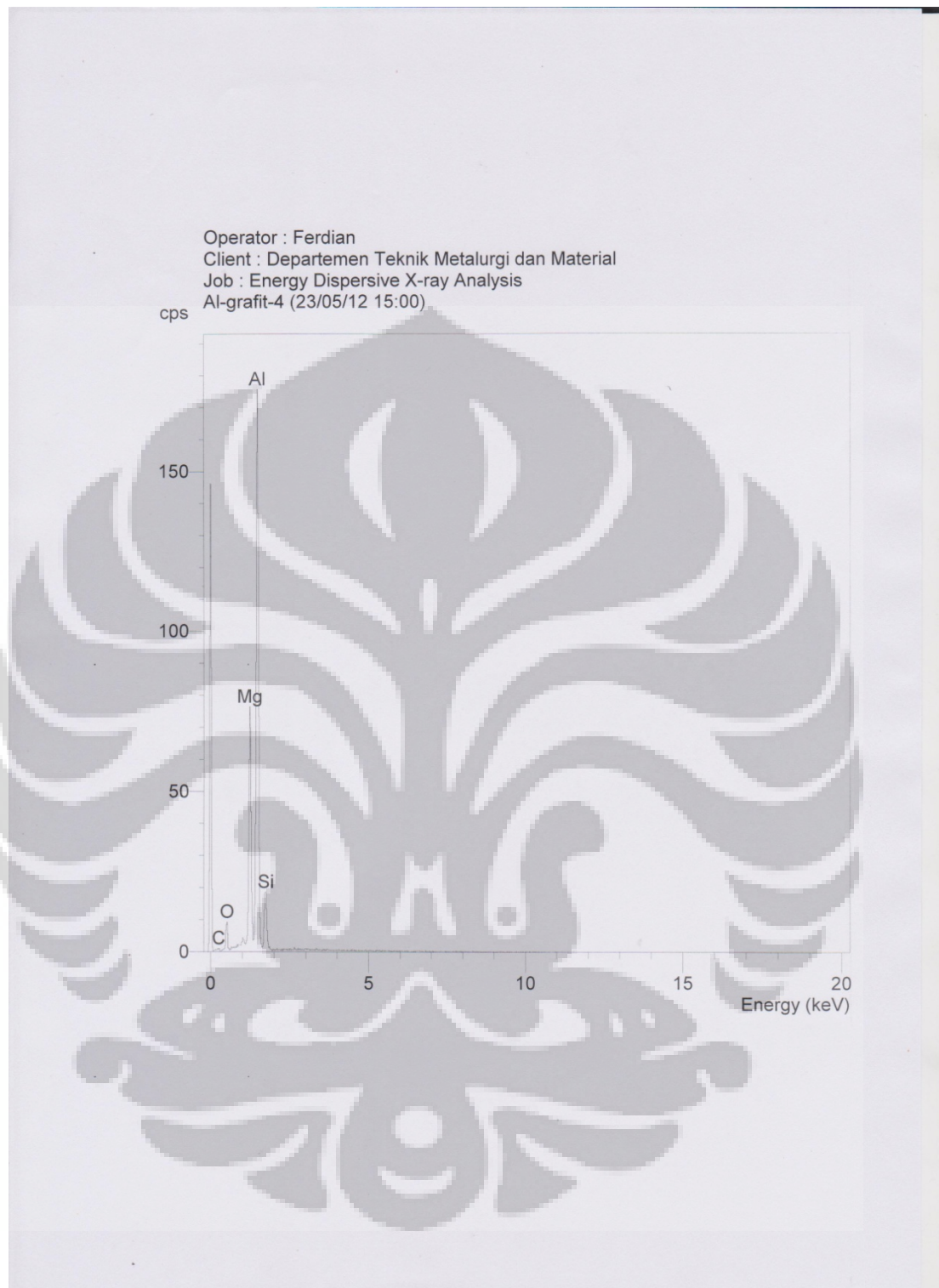


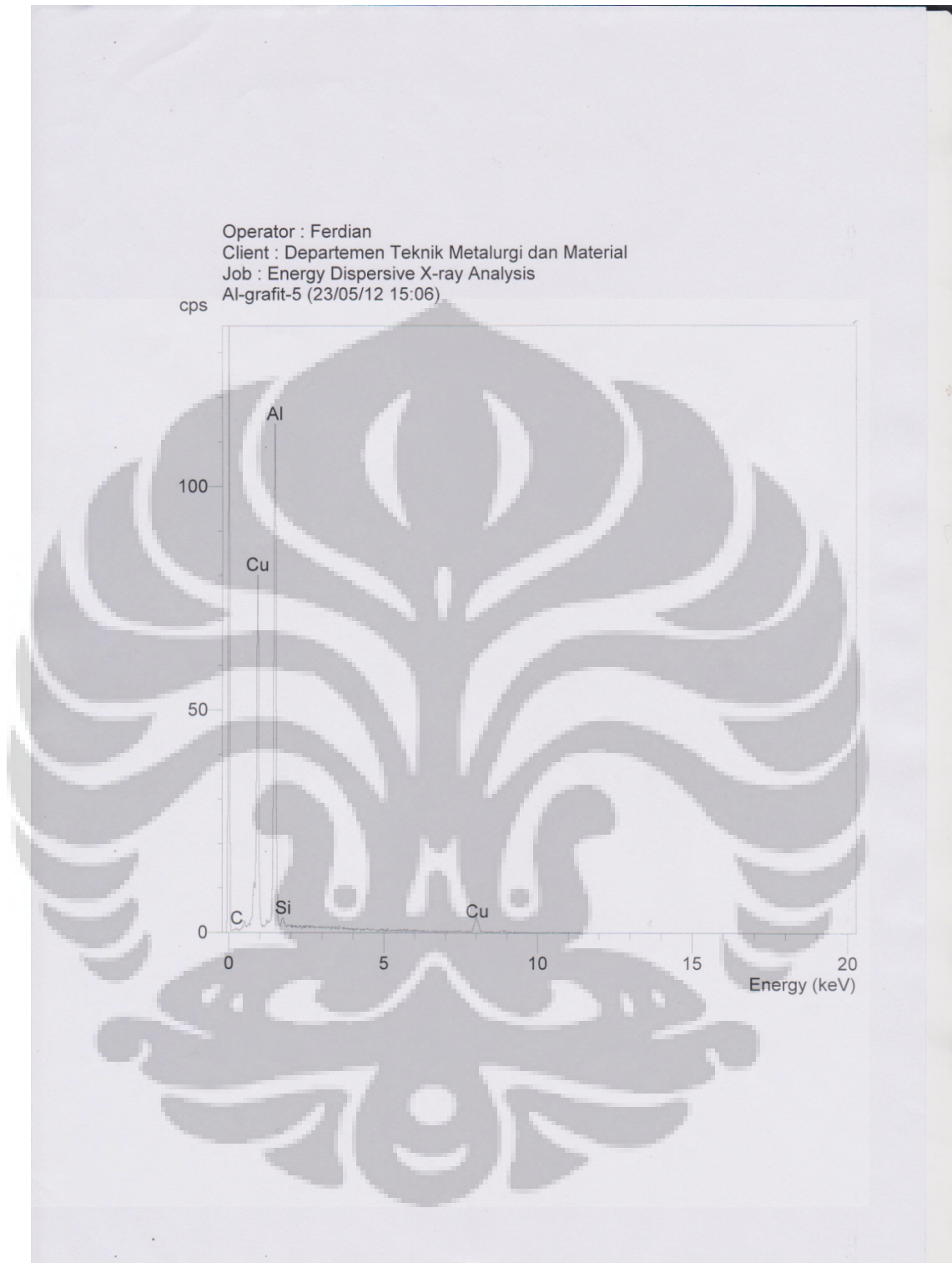
**LAMPIRAN D. Data Pengujian EDS**



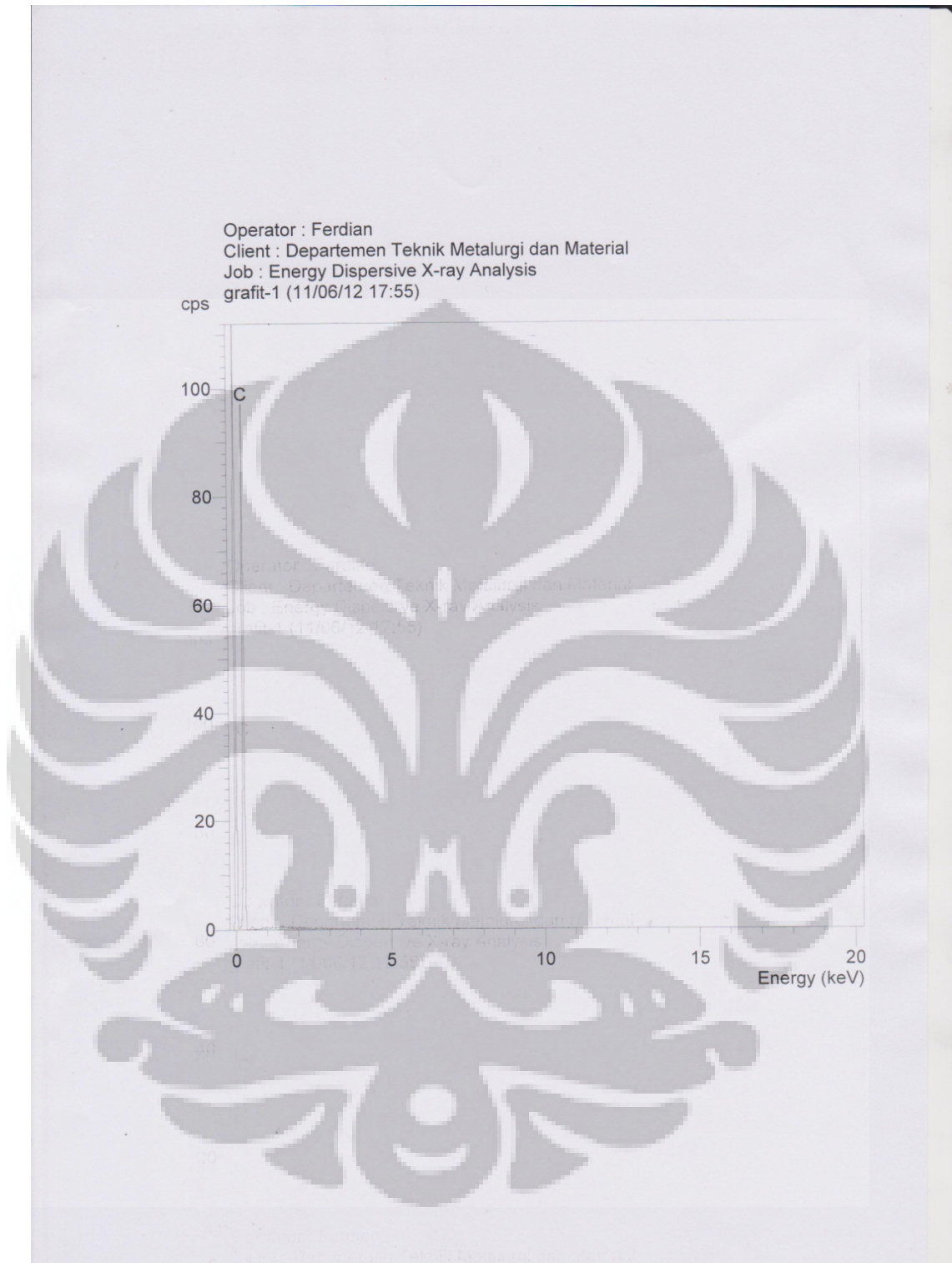












SEMQuant results. Listed at 19:08:01 on 11/06/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: Al-grafit-1

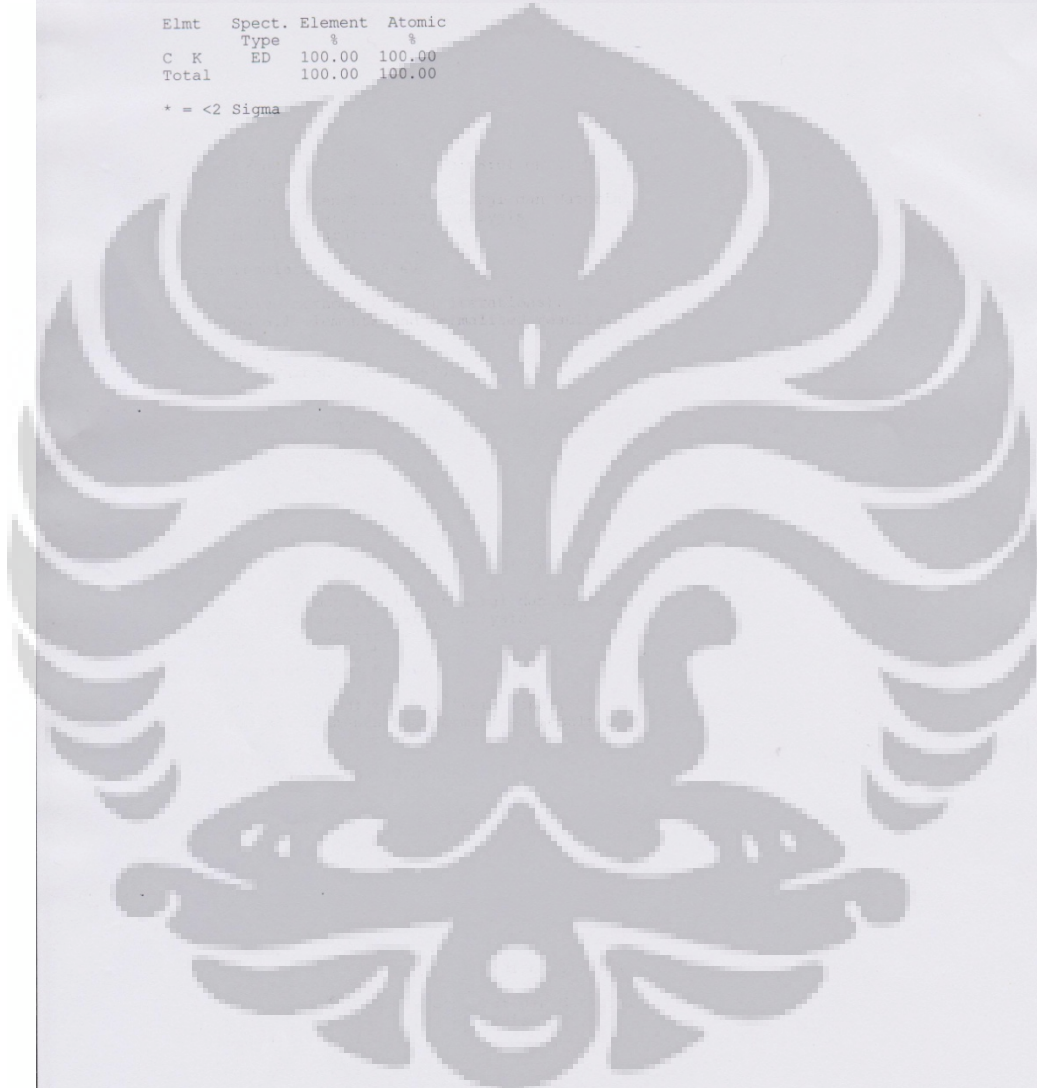
System resolution = 58 eV

Quantitative method: ZAF ( 1 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

Standards :  
C K Carbon Low 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	100.00	100.00
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:30:53 on 24/05/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: Al-grafit-2

System resolution = 60 eV

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

Standards :

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

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.62	1.39
Mg K	ED	3.07	3.41
Al K	ED	87.50	87.34
Si K	ED	7.60	7.28
Fe K	ED	1.21	0.58
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:31:45 on 24/05/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: Al-grafit-3

System resolution = 60 eV

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

2 peaks possibly omitted: 5.40, 5.88 keV

Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL203 20/05/11
Na K	Jadeite 18/05/11
Al K	AL203 20/05/11
Si K	Jadeite 18/05/11
Fe K	FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.62	1.41
O K	ED	3.35	5.71
Na K	ED	0.24	0.28
Al K	ED	82.24	83.24
Si K	ED	5.64	5.48
Fe K	ED	7.91	3.87
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 18:32:17 on 24/05/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: Al-grafit-4

System resolution = 59 eV

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

Standards :

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

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.05	0.11
O K	ED	2.87	4.68
Mg K	ED	13.24	14.23
Al K	ED	77.76	75.32
Si K	ED	6.09	5.66
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 18:32:36 on 24/05/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: Al-grafit-5

System resolution = 60 eV

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

Standards :

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

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.26	0.90
Al K	ED	35.33	55.62
Si K	ED	0.50	0.76
Cu K	ED	63.91	42.72
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 19:08:01 on 11/06/12  
Operator: Ferdian  
Client: Departemen Teknik Metalurgi dan Material  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: grafit-1

System resolution = 58 eV

Quantitative method: ZAF ( 1 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

Standards :  
C K Carbon Low 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	100.00	100.00
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma

