



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH Pengerasan Penuaan dan Pencapaian
Terhadap Karakteristik Komposit Al-7Si-Mg-Zn
Berpenguat Partikulat SiC 5 wt.% dengan Variasi
Kandungan Mg Hasil Proses *Squeeze Casting***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

SIGMA RIZKYARDIANI SIGIT

0806315982

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL

DEPOK

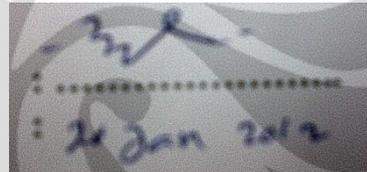
JANUARI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Sigma Rizkyardiani Sigit
NPM : 0806315982

Tanda Tangan
Tanggal



Handwritten signature and date: 24 Jan 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Sigma Rizkyardiani Sigit
NPM : 0806315982
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Pengerasan Penuaan dan Pencanaian terhadap Karakteristik Komposit Al7Si-Mg-Zn Berpenguat Partikulat SiC 5 wt.% dengan Variasi Kandungan Mg Hasil Proses *Squeeze Casting*.

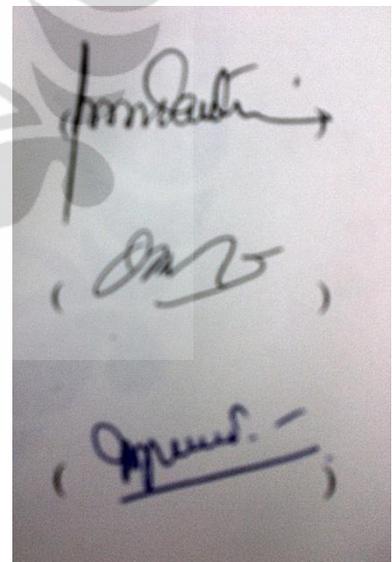
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si.

Penguji 1 : Prof. Dr. Ir. Anne Zulfia Syahrial, M.Sc

Penguji 2 : Dr. Ir. Myrna Ariati Mochtar, M.S



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT., karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi yang berjudul *Pengaruh Pengerasan Penuaan dan Pencapaian terhadap Karakteristik Komposit Al7Si-Mg-Zn Berpenguat Partikulat SiC 5 wt.% dengan Variasi Kandungan Mg Hasil Proses Squeeze Casting*, dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang Tua dan adik saya atas kesabaran dan dukungannya yang tak terhingga selama saya berkuliah.
- (3) Ibu Dwi Rahmalina yang telah membantu dari awal hingga berakhirnya penelitian ini.
- (4) Nararia Askarningsih selaku teman seperjuangan dalam penelitian ini
- (5) Teman-teman Metalurgi 2008 atas kebersamaannya selama perkuliahan dan pembuatan skripsi ini.
- (6) Semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan penulisan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap agar Allah swt. berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu.

Depok, 20 Januari 2012

Penulis

Sigma Rizky

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Sigma Rizky
NPM : 0806315982
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

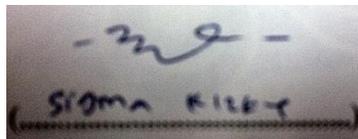
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Pengerasan Penuaan dan Pencanaian terhadap Karakteristik Komposit Al7Si-Mg-Zn Berpenguat Partikulat SiC 5 wt.% dengan Variasi Kandungan Mg Hasil Proses *Squeeze 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 memublikasikan 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 : 20 Januari 2012
Yang menyatakan

A photograph of a handwritten signature in black ink on a white background. The signature is written in a cursive style and reads "Sigma Rizky".

ABSTRAK

Nama : Sigma Rizky
 Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
 Judul : **Pengaruh Pengerasan Penuaan dan Pencanaian terhadap Karakteristik Komposit Al7Si-Mg-Zn Berpenguat Partikulat SiC 5 wt.% dengan Variasi Kandungan Mg Hasil Proses *Squeeze Casting***

Material komposit pada masa ini mulai dipakai untuk aplikasi balistik dikarenakan memiliki sifat-sifat unggul dari material penyusunnya. Komposit partikulat Al-7Si-Mg-Zn berpenguat SiC dirancang untuk aplikasi balistik karena memiliki berat jenis rendah dan kekerasan tinggi. Namun kekerasan tinggi ini akan menyebabkan komposit menjadi mudah retak. Oleh karena itu komposit ini diberi perlakuan pengerasan penuaan dan pencanaian untuk meningkatkan kekerasan dan ketangguhannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari unsur paduan magnesium terhadap komposit Al7Si-Mg-Zn berpenguat SiC partikulat yang diberi perlakuan pengerasan penuaan dan pencanaian. Komposit Al7Si-Zn-SiC dengan variasi 2, 4, dan 6 wt.% Mg dilakukan *solution treatment* pada temperatur 500 °C selama satu jam, diikuti *ageing* pada temperatur 200 °C. Selain itu komposit dicanai sebesar 10 % reduksi pada temperatur 400 °C dan diikuti perlakuan panas yang sama. Karakterisasi yang dilakukan berupa pengukuran nilai kekerasan, pengamatan mikrostruktur, pengamatan SEM dan EDX, pengujian dampak dan pengamatan fraktografi.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa Mg tidak mempengaruhi nilai kekerasan komposit dengan pengerasan penuaan. Komposit dengan variasi 2, 4, dan 6 wt.% Mg mencapai nilai kekerasan puncak masing-masing senilai 63.83, 62.27, 62.48 HRB. Mg tidak membentuk presipitat dalam matriks Al-7Si-Mg-Zn dikarenakan difusivitas dalam aluminium yang rendah dibandingkan dengan Zn. Mg pada komposit berfungsi mengurangi tegangan antar muka aluminium dan partikel SiC sehingga komposit memiliki interfasa dengan kekuatan yang lebih baik. Sementara hasil dari proses pencanaian tidak meningkatkan nilai kekerasan komposit dikarenakan temperatur *pre-heating* yang terlalu tinggi sehingga menghasilkan butir yang lebih kasar dan menurunkan kekerasan komposit.

Kata kunci : komposit aluminium, ringan, balistik, pengerasan penuaan, pencanaian, magnesium, *wetting agent*, interfasa

ABSTRACT

Name : Sigma Rizky
Study Programme : Teknik Metalurgi dan Material
Title : **Effect of Precipitation Hardening and Rolling to Characteristics of Al7Si-Mg-Zn Reinforced by SiC 5 wt.% Composite with variation of Mg Content by Squeeze Casting Process**

Recently, ballistic applications used composites as its materials because it has excellent properties of its constituents. Particulate composites Al-7Si-Mg-Zn reinforced by SiC has been designed for ballistic applications due to its light weight and high hardness. However high hardness composite has bigger tendency to initiate crack. Therefore, heat treatment and rolling process are applied to this composite.

This research aims to study the effect of magnesium as alloying element to composite Al-7Si-Mg-Zn reinforced by SiC particulate which applied to precipitation hardening and rolling. Composites Al-7Si-Zn-SiC with 2, 4 and 6 wt.% Mg is solution treated at 500 °C for 1 hour, followed by ageing at 200 °C. Composite also rolled by 10 % reduction at 400 °C and followed by same heat treatment. The characterization was carried out by hardness testing, microstructure observations, SEM and EDX observations, impact testing and fractographic observations.

Results showed that Mg does not affect hardness of composite by precipitation hardening. Composite with 2, 4, 6 wt.% Mg had 63.83, 62.27, 62.48 HRB on its peak hardness. Mg did not become precipitate in matrix Al-7Si-Mg-Zn because of its low diffusivity in aluminum. Mg worked as wetting agent that reduces interface tension between aluminum matrix and SiC particles in order for composite to own better interface bonding. While rolling process showed that because of its high pre-heating temperature, it coarsen composite grains and lowered its hardness number.

Keywords : aluminum composite, lightweight, ballistic, precipitation hardening, rolling, magnesium, wetting agent, interface.

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS..... | v |
| ABSTRAK..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xiii |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4 Ruang Lingkup Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Sistematika Penulisan..... | 5 |
| BAB 2 STUDI LITERATUR..... | 6 |
| 2.1 Paduan Aluminium..... | 6 |
| 2.1.1 Penamaan Paduan Aluminium..... | 6 |
| 2.1.2 Paduan Al-7Si..... | 7 |
| 2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan pada Aluminium Silikon..... | 8 |
| 2.2 Pengerasan Penuaan pada Paduan Aluminium..... | 13 |
| 2.3 Pengaruh Deformasi Plastis pada Paduan Aluminium..... | 15 |
| 2.4 Material untuk Aplikasi Balistik..... | 15 |
| 2.4.1 Paduan Aluminium untuk Aplikasi Balistik..... | 16 |
| 2.4.2 Komposit Aluminium untuk Aplikasi Balistik..... | 17 |
| 2.5 Karakteristik Balistik..... | 18 |
| BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN..... | 20 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian..... | 20 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 21 |
| 3.3 Prosedur Penelitian..... | 21 |
| 3.3.1 Persiapan Sampel..... | 21 |
| 3.3.2 Perlakuan Panas..... | 22 |
| 3.3.3 Pengukuran Nilai Kekerasan dan Pembuatan Kurva Penuaan..... | 23 |
| 3.3.4 Pengurangan Ketebalan dengan Pencanaian..... | 24 |
| 3.3.5 Pengujian Impak..... | 24 |
| 3.3.6 Pengamatan Makrostruktur dan Mikrostruktur..... | 25 |
| 3.3.7 Pengamatan SEM dan EDX..... | 26 |
| BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 27 |
| 4.1. Pengaruh Kandungan Mg terhadap Pengerasan Penuaan Komposit Al – 7 Si - 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC..... | 27 |
| 4.1.1 Kurva Penuaan pada Temperatur 200 °C..... | 27 |
| 4.1.2 Perubahan Mikrostruktur setelah Penuaan..... | 29 |
| 4.1.3 Analisa SEM dan EDX..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.4 Pengujian Impak dari Komposit Al – 7 Si - 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi 2, 4 dan 6 wt.% Mg pada Kondisi <i>Peak Aged</i> ... | 36 |
| 4.2 Pengaruh Pencanaian terhadap Pengerasan Penuaan Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC..... | 38 |
| 4.2.1 Kurva Penuaan Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Variasi Pengerjaan..... | 38 |
| 4.2.2 Analisis Mikrostruktur Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 % pada Berbagai Kondisi Penuaan..... | 40 |
| 4.2.3 Analisis SEM dan EDX Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 % pada Kondisi <i>Peak Aged</i> | 42 |
| 4.2.4 Analisis Pengujian Impak Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 % pada Kondisi <i>Peak Aged</i> | 44 |
| 4.3 Pengaruh Mg-Zn dan Pengerasan Penuaan terhadap Karakteristik Balistik..... | 46 |
| BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN | 48 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 48 |
| 5.2 Saran..... | 49 |
| 5.3 Kerja Lanjutan..... | 49 |
| DAFTAR REFERENSI | 51 |
| LAMPIRAN | 54 |

DAFTAR TABEL

| | | Halaman |
|------------------|--|----------------|
| Tabel 2.1 | Tata Nama Paduan Aluminium Tempa..... | 6 |
| Tabel 2.2 | Tata Nama Paduan Aluminium Hasil Pengecoran..... | 7 |
| Tabel 2.3 | Sifat Mekanis dari Al-7Si..... | 8 |
| Tabel 2.4 | Sifat Mekanis dari Magnesium..... | 9 |
| Tabel 2.5 | Jenis Proyektil Standar Balistik ASTM F 1233..... | 19 |
| | | |
| Tabel 4.1 | Data Koefisien Difusi..... | 28 |
| Tabel 4.2 | Data EDX Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC..... | 35 |
| Tabel 4.3 | Data EDX Komposit Al – 7 Si – 4 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC..... | 35 |
| Tabel 4.4 | Data EDX Komposit Al – 7 Si – 6 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC..... | 35 |
| Tabel 4.5 | Data EDX Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 %..... | 42 |

DAFTAR GAMBAR

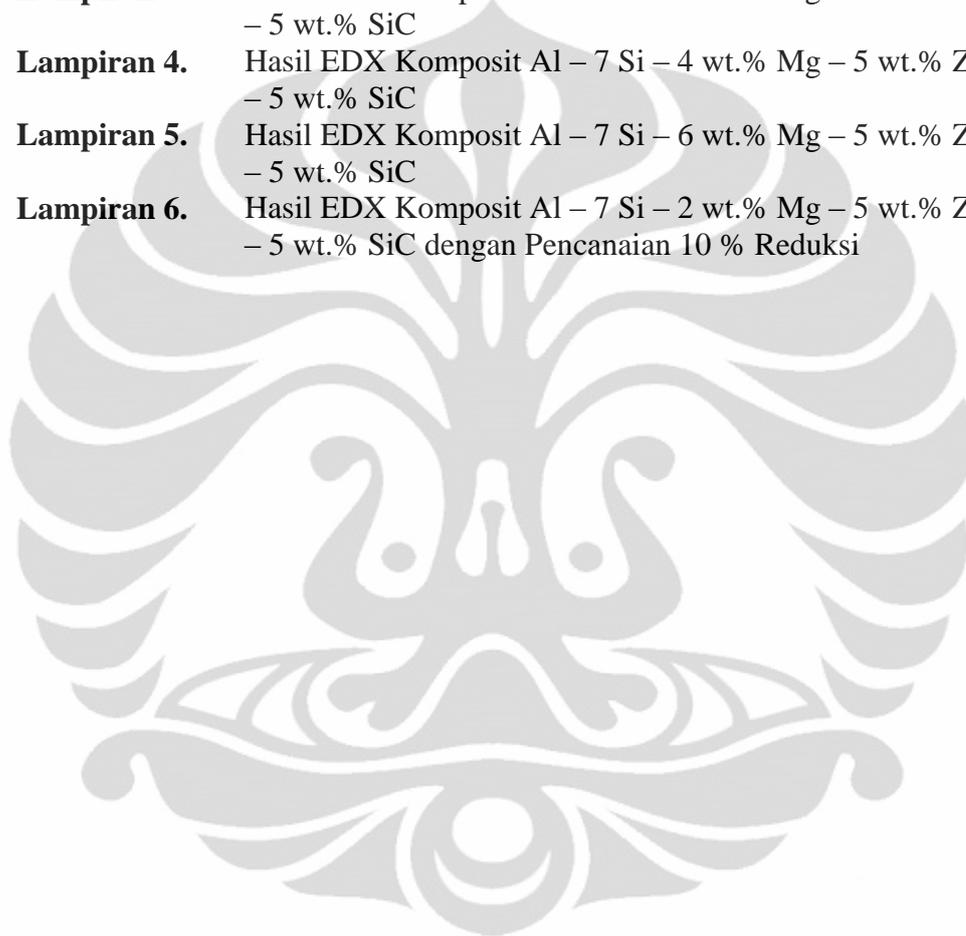
| | | Halaman |
|--------------------|---|----------------|
| Gambar 2.1 | Diagram Fasa Al – Mg | 10 |
| Gambar 2.2 | Diagram Fasa Mg – Si | 10 |
| Gambar 2.3 | Diagram Fasa Al – Zn | 11 |
| Gambar 2.4 | Diagram Fasa Mg – Zn | 11 |
| Gambar 2.5 | Diagram Fasa Al-Cu | 12 |
| Gambar 2.6 | Ilustrasi skala atomik dari proses pengerasan penuaan | 15 |
| | | |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Penelitian | 20 |
| Gambar 3.2 | Sampel Pengujian Kekerasan dan Mikrostruktur | 22 |
| Gambar 3.3 | Ilustrasi Perlakuan Panas Pengerasan Penuaan | 22 |
| Gambar 3.4 | Mesin <i>Rockwell Rocky</i> | 23 |
| Gambar 3.5 | Mesin pencanaian | 24 |
| Gambar 3.6 | Sampel pengujian impact | 24 |
| Gambar 3.7 | Alat uji impact metode charpy | 25 |
| Gambar 3.8 | Ilustrasi sampel impact metode charpy | 25 |
| | | |
| Gambar 4.1 | Pengaruh kandungan Mg terhadap pengerasan penuaan pada komposit Al – 7 wt.% Si - 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC | 27 |
| Gambar 4.2 | Peta mikrostruktur komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada kondisi <i>as cast</i> , <i>under aged</i> , <i>peak aged</i> dan <i>over aged</i> dengan variasi kandungan Mg | 31 |
| Gambar 4.3 | Pengamatan SEM pada komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada kondisi <i>peak aged</i> dengan variasi Mg | 35 |
| Gambar 4.4 | Perbandingan harga impact komposit Al – 7 Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC terhadap variasi komposisi Mg | 36 |
| Gambar 4.5 | Permukaan patahan impact komposit Al – 7Si– 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada kondisi <i>peak aged</i> selama penuaan pada temperatur 200 °C dengan variasi kandungan Mg | 37 |
| Gambar 4.6 | Pengaruh pencanaian pada kurva penuaan Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada temperatur 200 °C | 38 |
| Gambar 4.7 | Peta mikrostruktur komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada kondisi <i>under aged</i> , <i>peak aged</i> dan <i>over aged</i> dengan variasi pengerjaan | 41 |
| Gambar 4.8 | Pengamatan SEM pada Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC diberi laku canai 10 % | 42 |
| Gambar 4.9 | Pengamatan SEM pada Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC diberi laku canai 10 %, terjadi retakan pada penguat SiC | 43 |
| Gambar 4.10 | Perbandingan harga impact komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan pencanaian 10 % terhadap variasi proses pengerjaan | 44 |
| Gambar 4.11 | Permukaan patahan impact komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC kondisi <i>peak aged</i> dengan variasi pengerjaan | 45 |

- Gambar 4.12** Penampakan penampang belakang daerah terperforasi pada pelat komposit Al – 7 Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi unsur paduan 2, 4 dan 6 wt.% Mg untuk dua tipe pengujian balistik 46



DAFTAR LAMPIRAN

| | | Halaman |
|--------------------|---|----------------|
| Lampiran 1. | Data Nilai Kekerasan Komposit Al – 7 Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Variasi Mg dan Pengerjaan | 54 |
| Lampiran 2. | Penghitungan Harga Impak Komposit Al – 7 Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Variasi Mg dan Pengerjaan | 56 |
| Lampiran 3. | Hasil EDX Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC | 57 |
| Lampiran 4. | Hasil EDX Komposit Al – 7 Si – 4 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC | 71 |
| Lampiran 5. | Hasil EDX Komposit Al – 7 Si – 6 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC | 85 |
| Lampiran 6. | Hasil EDX Komposit Al – 7 Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencapaian 10 % Reduksi | 97 |





BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara yang besar, terbentang menjadi banyak kepulauan, tidak dapat dikatakan berdaulat jika tidak memiliki pertahanan negara yang memadai. Peralatan militer yang saat ini dimiliki Indonesia kebanyakan masih didominasi oleh produk impor. Salah satu peralatan militer yang krusial untuk dimiliki TNI adalah kendaraan tempur yang berfungsi sebagai mobilisasi anggota TNI [1].

Kendaraan tempur membutuhkan material yang kuat dan tangguh untuk mengangkut anggota TNI sekaligus menahan beban dari serangan peluru. Pada teknologi sebelumnya, armor umumnya dibuat dari baja berkekuatan tinggi yang memiliki yield strength hingga 1 GPa untuk melindungi dari ancaman proyektil. Beberapa kendaraan tempur yang dimiliki Indonesia adalah *tank* AMX 13 memiliki berat 13.7 ton dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam, selain itu terdapat jenis lainnya yaitu kavaleri Alvis Saracen memiliki berat 11 ton dengan kecepatan rata-rata 72 km/jam [2]. Namun dikarenakan massa jenis baja yang besar, sehingga konsumsi bahan bakar menjadi sangat besar untuk menanggung beban tersebut. Selain itu juga menurunkan kemampuan kecepatan mobilisasi dari kendaraan tersebut.

Sebagai salah satu solusi dari kekurangan ini adalah dengan mengganti material baja menjadi material yang lebih ringan namun dengan kekuatan yang sama. Material yang mampu memiliki sifat mekanis tinggi namun dengan berat jenis yang rendah salah satunya adalah komposit. Komposit merupakan gabungan dari material yang memiliki sifat-sifat unggul. Belakangan ini penelitian untuk aplikasi militer terus dilakukan, antara lain dalam penggunaan MMC (*Metal Matrix Composite*). MMC berpenguat keramik (Al_2O_3 , B_4C , SiC , $AlNO_3$ dll) memiliki kekerasan tinggi dan berat yang ringan. Material ini dapat menahan proyektil dengan merubah energi kinetik proyektil menjadi energi internal hingga proyektil terdeformasi [3].

Ong et al. melakukan studi atas aplikasi komposit laminat menggunakan Al_2O_3 , Dyneema HB25, Poliuretan *foam* berporos dan AISI 4140. Material-material tersebut disusun berlapis (*layered*) dan memiliki fungsi yang berbeda. Lapisan pertama merupakan lapisan terkeras yang berfungsi untuk mematahkan dan mendeformasi proyektil. Lapisan kedua berupa lapisan ortotropik berfungsi untuk memperlambat gelombang kejut merambat pada arah tebal. Lapisan ketiga berupa lapisan poros yang digunakan untuk menyerap energi kejut. Lapisan keempat berfungsi sebagai back plate. Komposit ini terbukti dapat menahan penetrasi dengan baik yaitu dengan menghentikan laju proyektil yang bergerak pada kecepatan 481 m/s dalam waktu 0.12 ms [3].

Tujuan dari penggunaan MMC adalah untuk mencegah perforasi dari proyektil, MMC dapat menahan daya deformasi laju regangan yang tinggi. Sehingga alasan penggunaan MMC untuk armor agar dapat menahan laju regangan yang tinggi ketika proyektil menumbuk armor tersebut.

Pada penelitian ini akan digunakan MMC (*Metal Matrix Composite*) yang menggunakan material dasar paduan aluminium silikon (Al – 7 wt.% Si) dan diperkuat dengan keramik silikon karbida berbentuk partikulat. Aluminium dipilih karena memiliki densitas sangat rendah, hampir sepertiga dari densitas baja dan memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang juga tinggi. Aluminium juga mudah dipadu dengan unsur lain untuk meningkatkan sifat mekanisnya [4]. Sementara sebagai penguat digunakan silikon karbida dikarenakan silikon karbida memiliki sifat mekanis yang baik, seperti kekerasan yang sangat tinggi, modulus kekakuan tinggi dan densitas yang rendah [5].

Aplikasi kendaraan militer tidak hanya membutuhkan material yang kuat dan ringan, namun juga harus memiliki ketangguhan tinggi, dikarenakan beban kejut dari peluru yang mungkin diterimanya selama penggunaan. Untuk meningkatkan nilai ketangguhan dari suatu material dengan kekerasan tinggi adalah dengan cara memberikan perlakuan panas berupa proses pengerasan penuaan pada material tersebut.

Dwight et al. dalam studinya membandingkan mode kegagalan dari paduan aluminium 7039, paduan aluminium 5083 dan paduan aluminium 5089 yang ditembakkan dengan proyektil 20 mm. Paduan aluminium seri 7 (Al – Zn – Mg)

memiliki ketahanan balistik lebih baik dari paduan aluminium seri 5 (Al – Mg). Namun pada bagian belakang pelat paduan aluminium seri 7 mengalami *spalling* lebih parah dibandingkan paduan aluminium seri 5 [6]. Ini mengindikasikan bahwa paduan aluminium dengan unsur penguat seng akan memiliki nilai kekerasan lebih tinggi dari pada paduan dengan penguat magnesium. Sifat kekerasan tinggi diikuti dengan kegetasan yang tinggi pula sehingga ketangguhannya menurun.

Paduan aluminium silikon merupakan salah satu material yang sifat mekanisnya dapat dipengaruhi oleh perlakuan pemanasan. Dengan adanya penguatan matriks dengan magnesium dan seng, maka akan dihasilkan endapan dari larutan padat paduan aluminium, dimana akan meningkatkan ketangguhan material tanpa banyak mengurangi nilai kekerasannya. Selain itu peningkatan kekuatan pada paduan ini juga dapat dilakukan melalui proses pencanaian.

Penelitian ini merupakan bagian dari satu penelitian besar tentang penggunaan aluminium untuk aplikasi balistik. Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh kandungan magnesium pada komposit Al – 7 wt.% Si – Mg – Zn berpartikulat SiC yang dikenai proses pengerasan penuaan dan pencanaian.

1.2 Perumusan Masalah

Komposit Al – 7 wt.% Si dengan paduan magnesium dan seng berpenguat partikulat silikon karbida yang ditujukan untuk aplikasi kendaraan militer telah terbukti melewati uji balistik. Namun dikarenakan kekerasannya yang sangat tinggi, terjadi retakan akibat beban impak yang diterima. Oleh karena itu komposit ini memerlukan proses untuk meningkatkan ketangguhannya.

Salah satu cara untuk meningkatkan ketangguhan suatu material adalah dengan cara memberikan perlakuan panas pengerasan penuaan. Namun tidak semua aluminium dapat diberi perlakuan panas dan tidak semua paduan dapat membentuk endapan dari proses pengerasan penuaan. Magnesium dan seng sebagai paduan dari komposit ini akan memiliki peran yang berbeda terhadap sifat mekanis komposit. Magnesium berperan sebagai *wetting agent* yang membantu membentuk antar muka antara partikulat silikon karbida dengan matriks aluminium, yang akan meningkatkan kekuatan komposit. Sementara unsur seng

akan meningkatkan nilai kekerasan material dengan mekanisme solid solution dikarenakan kelarutan Zn yang tinggi hingga 86 %.

Dengan memberi perlakuan panas, sebagaimana selayaknya ketangguhan meningkat maka akan sedikit menurunkan kekerasannya. Oleh karena itu untuk meningkatkan kekerasan dilakukan pengerjaan pada material, dalam hal ini digunakan proses canai. Proses canai diharapkan dapat meningkatkan kekerasan komposit dan tetap memiliki ketangguhan yang baik dengan proses perlakuan panas yang dilakukan setelahnya.

Karakterisasi material yang dilakukan berupa pengujian kekerasan untuk mendapatkan kurva penuaan, pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop optik dan SEM serta pengujian kekuatan impact.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

- a. Mempelajari fenomena pengerasan penuaan pada komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi paduan 2, 4 dan 6 wt.% Mg.
- b. Mempelajari dan menganalisis fungsi unsur magnesium pada komposit ini
- c. Mempelajari pengaruh pencanaian terhadap karakteristik komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi paduan 2, 4 dan 6 wt.% Mg.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Material yang digunakan: komposit dengan matriks Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi paduan 2, 4 dan 6 wt.% Mg.
- b. Proses perlakuan panas yang dilakukan berupa pengerasan penuaan yang terdiri dari *solution treatment* pada 500 °C selama 60 menit dilanjutkan dengan pencelupan cepat dalam air dan penuaan artifisial pada temperatur 200 °C.
- c. Pada komposit dengan matriks Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 2 wt.% Mg – 5 wt.% SiC dilakukan proses pencanaian dengan reduksi sebesar 10 %

pada temperatur 400 °C dilanjutkan dengan proses pengerasan penuaan yang sama, seperti yang diterangkan pada poin c.

- d. Karakterisasi material yang dilakukan adalah pengujian nilai kekerasan dengan mesin *Rockwell B* untuk mengetahui kurva pengerasan penuaan, analisis mikrostruktur menggunakan mikroskop optik dan SEM, pengujian impak dan fraktografi perpatahan impak.

1.5 Sistematika Penulisan

Penelitian ini akan ditulis dengan sistematika penulisan yang terdiri dari lima bab. Bab 1 berupa Pendahuluan. Bab ini terdiri atas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2 berisikan Studi Literatur. Pada bab ini dijelaskan mengenai studi literatur yang berkaitan dengan penelitian serta faktor-faktor yang mempengaruhi hasil penelitian ini. Setelah Studi Literatur dilanjutkan dengan Bab 3 yaitu Metodologi Penelitian. Bab ini menjelaskan hal-hal yang dilakukan selama penelitian berlangsung, dimulai dari preparasi sampel, proses pengerasan penuaan, pengujian kekerasan, pengumpulan data dan informasi, serta pengujian-pengujian lain yang dilakukan pada sampel. Hasil dari penelitian yang dilaksanakan sesuai Metodologi Penelitian yang tertera pada Bab 3 dituliskan pada Bab 4, Hasil dan Pembahasan. Bab ini terdiri atas hasil data percobaan yang didapatkan, yang kemudian dibandingkan dengan literatur untuk mendapatkan pengaruh dari pengerasan penuaan pada komposit. Bab terakhir, Bab 5 berupa Kesimpulan. Secara umum bab ini mencakup rangkuman dari hasil penelitian yang telah dilakukan

BAB 2

STUDI LITERATUR

2.1. Paduan Aluminium

2.1.1. Penamaan Paduan Aluminium

Aluminium diklasifikasikan menjadi dua kategori utama berdasarkan cara fabrikasinya, yaitu aluminium hasil penempaan dan aluminium hasil pengecoran. Masing-masing kategori dibagi lagi berdasarkan mekanisme yang dilakukan untuk meningkatkan sifat-sifatnya. Beberapa paduan dapat memiliki kelarutan fasa karena perlakuan panas yang diberikan seperti *solution treatment*, *quenching* dan pengerasan endapan (pengerasan penuaan). Paduan ini dikategorikan sebagai paduan yang *heat treatable*. Sementara untuk paduan yang tidak dapat melarutkan fasa, peningkatan sifat dilakukan dengan cara pengerasan pengerjaan [4].

Paduan aluminium diidentifikasi berdasarkan tata namanya. Untuk paduan aluminium tempa digunakan sistem 4 digit kode angka. Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1, angka pertama menunjukkan jenis unsur paduan utama dan dominan yang terkandung didalam paduan aluminium tersebut. Aluminium dengan kode angka 1xxx merupakan aluminium murni dengan kandungan aluminium mencapai 99 %. Sementara aluminium dengan kode angka 2xxx, 3xxx, dan seterusnya merupakan paduan aluminium dengan menggunakan unsur paduan spesifik tertentu.

Tabel 2.1 Tata Nama Paduan Aluminium Tempa [4]

| | Kode Paduan Aluminium | Komposisi Paduan |
|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
| | 1xxx | Aluminium murni |
| | 2xxx | Al-Cu |
| | 3xxx | Al-Mn |
| | 4xxx | Al-Si |
| Aluminium Tempa | 5xxx | Al-Mg |
| | 6xxx | Al-Mg-Si |
| | 7xxx | Al-Zn |
| | 8xxx | Al-Sn |
| | 9xxx | Belum digunakan |

Untuk paduan aluminium hasil pengecoran dapat dilihat pada Tabel 2.2, digunakan tiga digit kode angka, diikuti angka desimal. Aluminium dengan kode

angka 1xx.x adalah aluminium hasil pengecoran dengan komposisi murni hingga 99 %. Aluminium dengan kode 2xx.x, 3xx.x dan seterusnya adalah aluminium hasil pengecoran dengan komposisi paduan tertentu.

Tabel 2.2 Tata Nama Paduan Aluminium Hasil Pengecoran [4]

| | Kode Paduan Aluminium | Komposisi Paduan |
|----------------------|--------------------------|----------------------|
| Aluminium Cor | 1xx.x | Aluminium murni |
| | 2xx.x | Al-Cu |
| | 3xx.x | Al-Si (dengan Cu-Mg) |
| | 4xx.x | Al-Si |
| | 5xx.x | Al-Mg |
| | 6xx.x | Tidak digunakan |
| | 7xx.x | Al-Zn |
| | 8xx.x | Al-Sn |
| | 9xx.x | Tidak digunakan |

2.1.2. Paduan Al – 7 wt.% Si

Paduan Al – 7 wt.% Si memiliki kekuatan cukup tinggi, karakteristik pengecoran yang baik dan digunakan pada banyak aplikasi. Sifat mekanis dari paduan ditentukan oleh proses pengecoran dan pengaruh metalurgi fisik dari paduan. Proses pengecoran yang baik akan menurunkan cacat struktur dari paduan seperti poros dan lapisan oksida yang akan menurunkan sifat mekanis. Sementara dari metalurgi fisik dari paduan yang dilakukan pengerasan penuaan dipengaruhi oleh komposisi, kecepatan solidifikasi dan perlakuan panas.

Sifat mekanis Al – 7 wt.% Si seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.3, didapat dari pengerasan dispersi partikel silikon eutektik sebagai penguat dari matriks aluminium. Selain ukuran, distribusi dan morfologi partikel silikon, faktor lain yang dapat mempengaruhi sifat mekanis dari paduan ini adalah keberadaan partikel sekunder pengerasan pengendapan. Paduan Al – 7 wt.% Si secara komersil mengandung Mg dan Cu dalam porsi terbatas. Jika kadar Mg dan Cu terlalu tinggi akan menurunkan keuletan dan ketahanannya terhadap korosi. Al – 7 wt.% Si baik digunakan untuk pengecoran dan memiliki kemampuan las yang baik. [4].

Tabel 2.3 Sifat mekanis dari Al – 7 wt.% Si [4]

| Sifat Mekanis | Nilai |
|----------------|---------|
| Kekuatan Tarik | 267 MPa |

| | |
|------------------|-------------------------|
| Modulus Kekakuan | 72,4 GPa |
| Densitas | 2.685 g/cm ³ |
| Temperatur Lebur | 675°C – 815°C |

2.1.3. Pengaruh Unsur Paduan pada Aluminium Silikon

Aluminium memiliki satu sifat yang paling menguntungkan, yaitu kemampuan padu yang tinggi. Aluminium dalam keadaan murni memiliki sifat mekanis yang rendah, keuletan tinggi dan memiliki densitas yang rendah. Namun ketika sudah dipadu dengan unsur lain, sifat mekanis dapat diperbaiki menjadi lebih baik dengan densitas yang tetap rendah. Sehingga aluminium dikatakan memiliki *strength-to-weight ratio* yang tinggi. Sifat mekanis dari paduan ditentukan oleh proses pengecoran dan pengaruh metalurgi fisik dari paduan. Proses pengecoran yang baik akan menurunkan cacat struktur dari paduan seperti poros dan lapisan oksida yang akan menurunkan sifat mekanis. Sementara dari metalurgi fisik dari paduan yang dilakukan pengerasan penuaan dipengaruhi oleh komposisi, kecepatan solidifikasi dan perlakuan panas [4].

Berikut merupakan unsur yang umum menjadi paduan pada aluminium silikon.

a. Magnesium (Mg)

Unsur Mg di dalam paduan aluminium memperbaiki kekuatan dan keuletan dengan mekanisme *solid-solution strengthening* dan *work hardening*. Berdasarkan Diagram fasa Al – Mg, Magnesium dapat terlarut dalam aluminium hingga 17.4 % seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Diagram fasa Al – Mg. Namun pada aplikasinya, Magnesium ditambahkan hanya hingga 5.5 % [7]. Kehadiran Mg bersama Si pada paduan Al dengan rasio sekitar 1.73:1 mampu membentuk presipitat Mg₂Si yang memperkuat aluminium [7]. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 yang menunjukkan kelarutan magnesium dalam silikon. Magnesium juga memperbaiki sifat *machinability* dari paduan aluminium. Magnesium dapat memperbaiki ketahanan terhadap korosi dan mampu las.

Magnesium di dalam material komposit digunakan sebagai *wetting agent* (pembasah) penguat terhadap matriksnya. Kemampubasahan suatu penguat terhadap matriks berfungsi sebagai pembentuk ikatan kimia yang kuat pada antar muka antara matriks dan penguat. Perilaku kemampubasahan dapat diketahui dengan menghitung sudut kontak dan energi permukaannya.

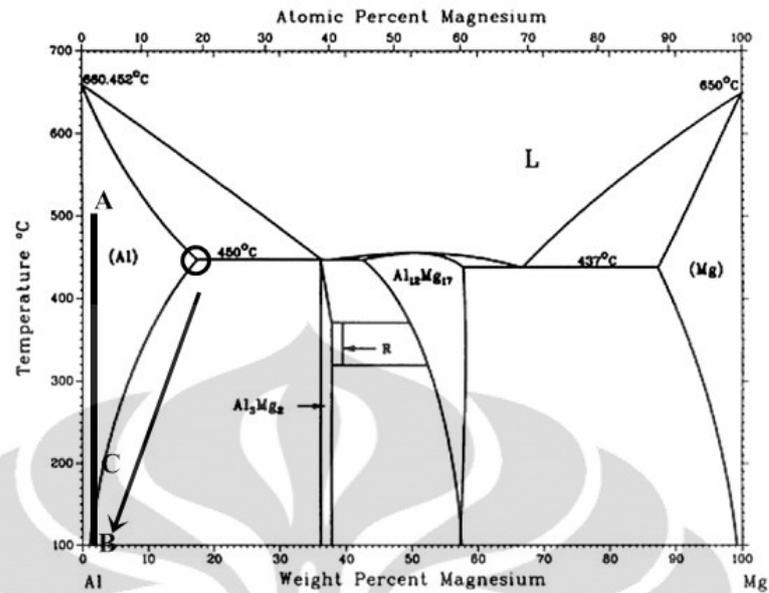
Magnesium berfungsi untuk meningkatkan kekuatan ikatan adhesi diantara unsur-unsur pembentuk komposit [8]. Berikut dipaparkan sifat mekanis magnesium pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Sifat Mekanis Magnesium [9]

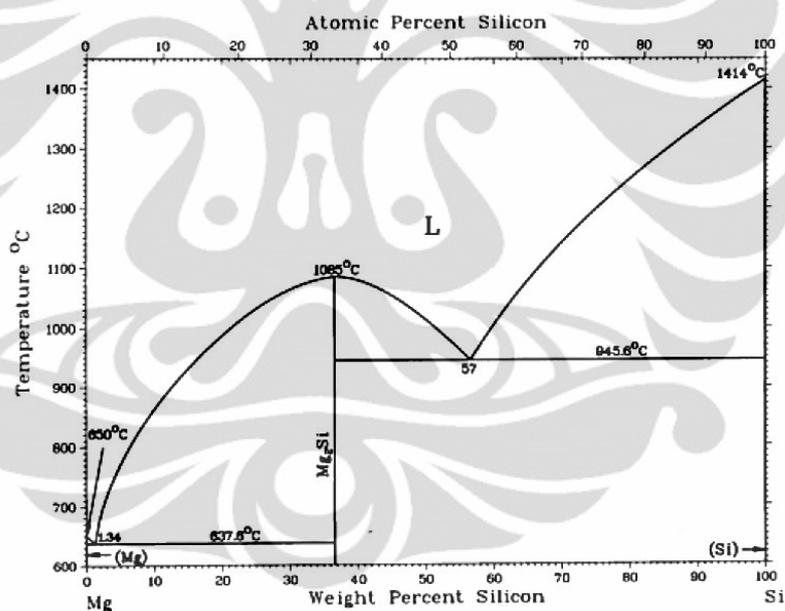
| Sifat | Nilai |
|------------------|-------------------------|
| Densitas | 1,738 g/cm ³ |
| Berat atom | 24,305 g/mol |
| Struktur Kristal | HCP |
| Titik Lebur | 650 °C |
| Nilai Kekerasan | 260 BHN |
| Yield Strength | 45 MPa |

Magnesium merupakan surfaktan yang baik. Penambahan magnesium pada komposit aluminium silikon berpenguat SiC akan meningkatkan kemampubasahan SiC terhadap paduan aluminium silikon dikarenakan magnesium memiliki tegangan permukaan lebih rendah (0.599 N/m) dibandingkan aluminium (0.760 N/m) atau Al – 12 Si (0.817 N/m). Penurunan tegangan permukaan sangat signifikan terlihat dari penambahan 1 wt.% Mg yaitu dari 860 menjadi 650 dyn/cm. Sementara penambahan 3 wt.% Mg akan menurunkan tegangan permukaan dari 0.760 menjadi 0.620 N/m. [10-11].

Magnesium juga membantu menangkap oksigen. Magnesium bereaksi dengan oksigen pada permukaan partikel SiC, menipiskan lapisan gas yang berada di permukaan SiC dimana menurut Zhou dan Xu [12], lapisan gas pada partikel keramik merupakan alasan utama buruknya kemampubasahan SiC pada matriks. Lapisan menghalangi matriks berkontak dengan permukaan partikel SiC secara individu. Oleh karena itu penting untuk menghilangkan lapisan gas sebelum mensintesis komposit. Dengan menipiskan lapisan gas ini maka kemampubasahan SiC pada aluminium akan meningkat. Selain itu disebutkan pada penelitian lain oleh Mondolfo, penambahan magnesium pada SiC berukuran 80-100 µm dalam matriks AA 356 menunjukkan penipisan lapisan gas yang ada pada partikel [10, 13].



Gambar 2.1 Diagram fasa Al – Mg [14]

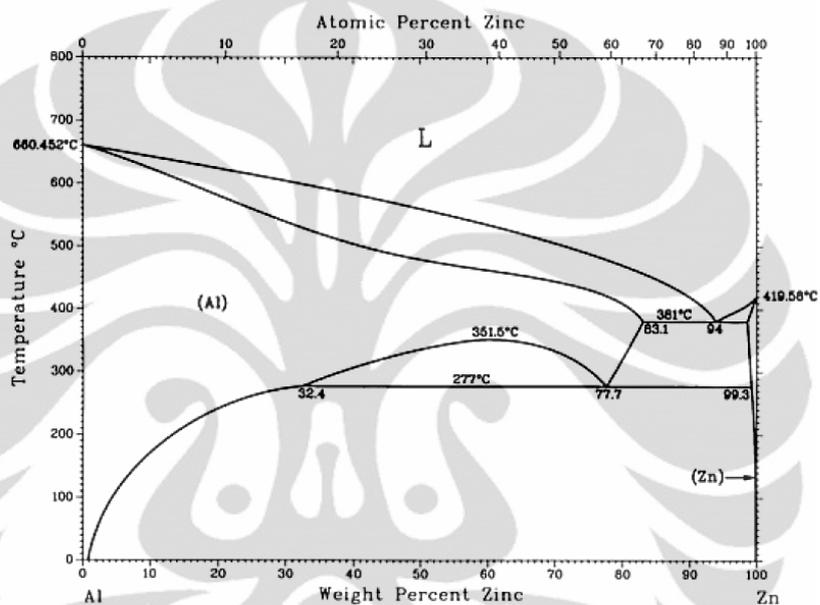


Gambar 2.2 Diagram fasa Mg – Si [14]

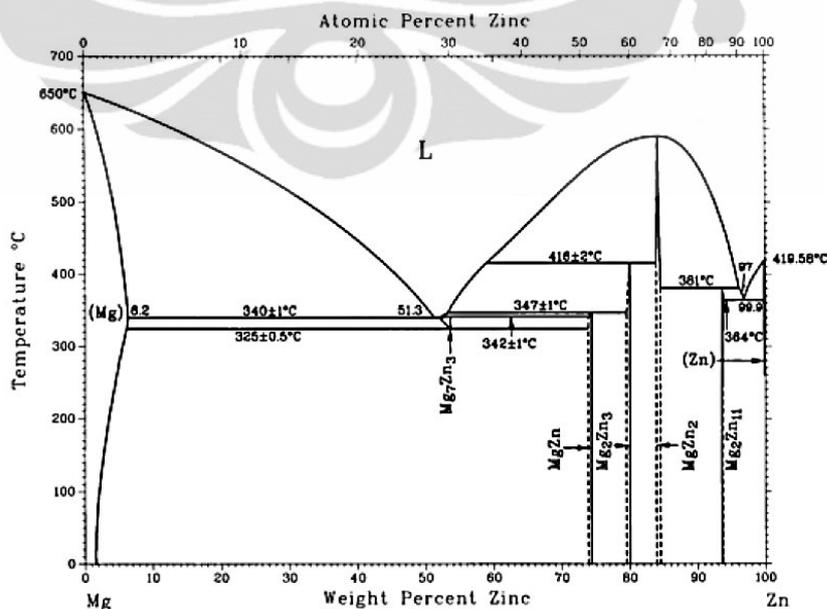
b. Seng (Zn)

Seng di dalam aluminium dapat terlarut hingga 83.1 % seperti yang terlihat pada Gambar 2.3. Unsur ini juga memberikan efek *solid solution strengthening* atau *work hardening* pada aluminium, namun pembentukan presipitat Al – Zn – Mg menjadi dasar dari paduan hasil pengerjaan 7xxx dan paduan pengecoran 7xx.x. Penambahan Zn dan Mg akan meningkatkan kekuatan, namun di sisi lain akan menurunkan ketahanan korosi material.

Seng membentuk paduan presipitat $MgZn_2$ (lihat Gambar 2.4) dalam Al-Zn-Mg sehingga meningkatkan kekerasan dari aluminium dengan mekanisme penguatan presipitasi. Paduan aluminium dan seng menjadi paduan aluminium tempa dengan kekuatan tarik paling tinggi. Namun densitas Zn yang besar membuat paduan aluminium menjadi lebih berat [15-16]. Seng (Zn) di dalam aluminium meningkatkan potensial larutan, oleh karenanya digunakan dalam lapisan protektif dan anoda korban [17].



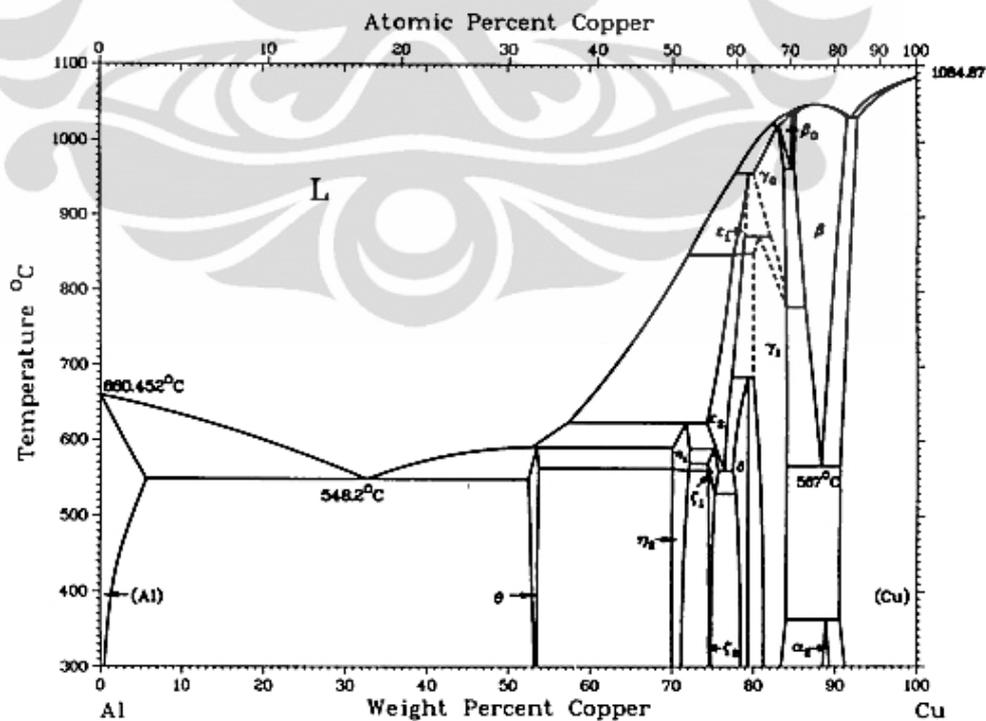
Gambar 2.3 Diagram fasa Al – Zn [14]



Gambar 2.4 Diagram fasa Mg – Zn [14]

c. Tembaga (Cu)

Tembaga merupakan salah satu unsur paduan paling signifikan terhadap sifat mekanis paduan aluminium coran. Tembaga dapat terlarut dalam aluminium dari 2 – 10 % seperti yang terlihat pada Gambar 2.5. Penguatan maksimum dicapai pada kadar 4 – 6 % Cu, namun turut tergantung dari pengaruh unsur lain pula. Pada paduan komersial Al-Cu, Cu bersama dengan Al dan Fe membentuk partikel $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$ (tetragonal) atau $\alpha\text{-(Al,Cu,Fe)}$ ortorombik selama proses solidifikasi. Selama proses perlakuan panas paduan Al-Cu yang mengandung sedikit Mg, terbentuk presipitat CuAl_2 sebagai fasa penguat. Penambahan Mg pada paduan Al-Cu menghasilkan pembentukan Al_2CuMg melalui dekomposisi eutektik [18]. Tembaga meningkatkan kemampuan *machinability* dari paduan dengan cara meningkatkan kekerasan matriks. Namun seperti seng, tembaga menurunkan ketahanan korosi aluminium dan meningkatkan kemungkinan terjadinya *stress corrosion cracking*. Paduan aluminium-tembaga juga rentan terhadap *hot tears* jika tidak memiliki cukup silikon untuk meningkatkan fluiditasnya. Paduan aluminium-tembaga yang paling populer adalah paduan dengan 10 % tembaga [17].



Gambar 2.5 Diagram fasa Al-Cu [14]

d. Besi (Fe)

Unsur Fe pada paduan aluminium silikon umumnya berupa impuritas yang tidak ditambahkan dengan sengaja. Namun Fe merupakan impuritas yang berguna. Pada kadar 0.8 %, Fe mengurangi kemungkinan paduan aluminium coran menempel pada cetaknya karena proses *soldering*. Besi pada kadar tersebut juga meningkatkan ketahanan terhadap *hot tearing* selama solidifikasi, namun jika terlampaui justru akan meningkatkan kemungkinan *hot tearing*. Unsur Fe pada paduan aluminium silikon umumnya membentuk senyawa intermetalik. Keberadaan Fe pada paduan aluminium-silikon akan memodifikasi fasa Si dengan hadirnya fasa Al-Fe-Si. Bentuk yang umum dari fasa ini adalah fasa α dan β . Fasa α memiliki struktur kristal kubik dan muncul pada mikrostruktur sebagai eutektik *Chinese script*. Fasa β yang lebih jarang umumnya muncul dalam bentuk struktur jarum (*needle*) atau *platelet* seperti β Al_5FeSi dimana ini akan mengurangi keuletan dari paduan.

2.2. Pengerasan Penuaan pada Paduan Aluminium

Ide dasar dari proses peningkatan kekuatan material adalah dengan cara menghambat pergerakan dislokasi. Pergerakan dislokasi bisa dihambat dengan beberapa cara, salah satunya adalah pembuatan presipitat dengan proses pengerasan penuaan. Proses pengerasan penuaan hanya terjadi jika:

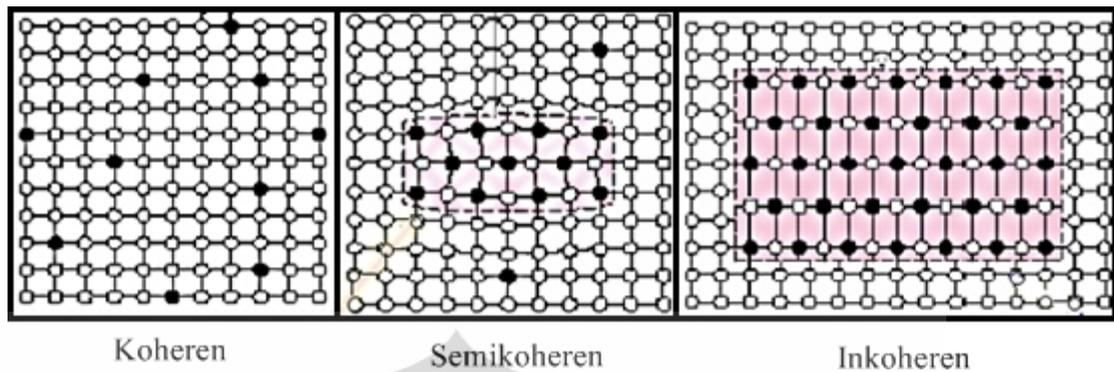
- Paduan memiliki unsur pepadu dengan batas kelarutan maksimum terhadap unsur paduan lainnya.
- Batas kelarutan tersebut menurun terhadap penurunan temperatur.

Hal ini dapat dilihat dari Diagram fasanya pada Gambar 2.1. Paduan Al-Mg merupakan salah satu paduan yang dapat dilakukan proses pengerasan penuaan. Terlihat bahwa unsur Magnesium dapat terlarut dalam aluminium hingga 18 %, dan kelarutannya turun bersamaan dengan penurunan temperatur [15].

Proses pengerasan penuaan terdiri dari tiga tahapan perlakuan panas sebagai berikut:

1. *Solution Treatment*: Proses pemanasan hingga hanya muncul satu fasa. Pada Gambar 2.1 ditunjukkan dengan pemanasan hingga titik A. Pemanasan dilakukan hingga temperatur 500 °C untuk menghasilkan fasa α .

2. Pendinginan cepat (*Quenching*): Proses pendinginan cepat hingga suhu ruang. Proses pendinginan dilakukan dengan air. Pada Gambar 2.1 ditunjukkan dengan pemanasan hingga titik B. Oleh karena didinginkan secara cepat, sehingga tidak ada difusi yang terjadi. Pada titik B terbentuk fasa yang dinamakan Larutan Padat Lewat Jenuh atau *Super Saturated Solid Solution* (SSSS). Pada fasa ini unsur Mg terperangkap pada matriks α . Fasa ini bersifat sangat lunak.
3. Penuaan (*Ageing*): Merupakan proses dimana unsur Mg keluar menjadi presipitat. Proses penuaan terdiri dari dua jenis, penuaan alami dan penuaan buatan. Proses penuaan alami akan memakan waktu sangat lama, dikarenakan presipitat terbentuk pada temperatur ruang. Sementara pada proses penuaan buatan, proses penuaan dilakukan dengan pemanasan kembali pada temperatur dibawah temperatur *solution treatment*. Pada Gambar 2.1 ditunjukkan dengan pemanasan pada temperatur 200 °C (hingga titik C). Presipitat yang keluar akan terus bertumbuh. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.6. Ketika presipitat baru keluar, atom presipitat masih koheren dan terdistribusi acak dalam atom matriksnya. Fasa ini disebut fasa *underaged*. Kemudian jika pemanasan terus dilakukan, maka presipitat akan terus bertumbuh dan membentuk *cluster*. Ikatan antara presipitat dan matriksnya menjadi semikoheren. Pada saat ini terjadi nilai kekerasan maksimal. Fasa ini disebut fasa *peak aged*. Jika pemanasan terus dilakukan, maka ukuran presipitat menjadi besar dan ikatan antara presipitat dengan matriks menjadi terlepas dan inkoheren. Pengerasan penuaan yang terus dilakukan setelah melewati puncak penuaan akan mengurangi kekuatan dan menaikkan tingkat keuletan. Presipitat dengan radius lebih besar dari jari-jari kritis terjadi ketika waktu penuaan bertambah sehingga terjadi pengkasaran butir. Pada saat ini presipitat tidak dapat lagi bergeser dan dislokasi dapat melewatinya. Ini disebut fasa *over aged*.



Gambar 2.6 Ilustrasi skala atomik dari proses pengerasan penuaan [19]

2.3. Pengaruh Deformasi Plastis pada Paduan Aluminium

Deformasi plastis atau pengerjaan merupakan salah satu mekanisme meningkatkan kekuatan suatu material. Dengan diberikan pengerjaan, terjadi perubahan struktur butir material dan kepadatan dislokasi menjadi meningkat. Semakin padat dislokasi, maka akan semakin sulit dislokasi bergerak dikarenakan dislokasi menjadi saling mengunci pergerakan masing-masing, sehingga kekerasan meningkat.

Pada paduan aluminium yang dikenai pengerjaan, dalam hal ini proses canai, diharapkan akan memiliki nilai kekerasan lebih besar dari pada paduan aluminium hasil coran. Dan saat dilakukan proses pengerasan penuaan, dimana nilai kekerasan akan menurun karena keuletan meningkat untuk meningkatkan nilai ketangguhan, nilai kekerasan yang dicapai tetap tinggi.

2.4. Material untuk Aplikasi Balistik

Kemampuan material untuk menghasilkan ketahanan balistik yang baik tergantung dari kekerasan dan ketangguhan material. Kekerasan material berperan untuk menumpulkan proyektil. Sementara ketangguhan berfungsi untuk penyerapan energi selama proses deformasi.

Material armor harus memenuhi dua fungsi utama, yaitu fungsi proteksi dan fungsi konstruksi, yaitu fungsi dimana dapat melindungi disebabkan karena konstruksi materialnya yang tidak bisa dipecahkan. Tantangan saat ini dalam dunia balistik adalah mendapatkan material armor yang memiliki karakteristik balistik yang baik dengan berat jenis yang rendah. Umumnya material yang digunakan untuk mencapai karakteristik balistik yang tinggi adalah logam,

Terdapat paduan baja armor, aluminium armor dan titanium armor. Namun untuk mendapatkan material dengan karakteristik balistik hampir sama baiknya dan dengan berat jenis yang jauh lebih rendah, dimulailah pengembangan pada material polimer dan komposit.

2.4.1. Paduan Aluminium untuk Aplikasi Balistik

Penggunaan paduan aluminium untuk militer pertama kali digunakan oleh pemerintah Prancis pada tahun 1892 untuk kapal torpedo. Militer Amerika Serikat, pada tahun 1896 juga menggunakan lembaran aluminium untuk struktur kapalnya pada masa perang Spanyol-Amerika. Pada Perang Dunia I dan II, paduan aluminium mulai banyak digunakan untuk aplikasi militer dikarenakan keterbatasan besi baja. Paduan aluminium digunakan untuk kendaraan militer pada beberapa dekade terakhir dikarenakan beratnya yang ringan sehingga memudahkan mobilisasi untuk penggunaan baik di darat, di laut dan di udara [20].

Paduan aluminium digunakan karena beratnya yang lebih ringan, kemudahan manufaktur karena mudah dilas, tahan korosi dan memiliki kemampuan balistik yang baik. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ubeyli et al. menemukan dan menguji coba kekerasan AA7075, 5083 dan baja AISI 4140 tentang ketahanan terhadap balistik 7.62 AP. Dari hasil penelitian disimpulkan bahwa AA 7075 memiliki ketahanan balistik yang paling tinggi dibandingkan dengan baja AISI 4140 dan AA 5083, hal ini didapatkan seiring dengan meningkatnya kekerasan pada aluminium ketahanan balistik juga semakin tinggi [21].

Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Jha et al. yang mengamati kemampuan balistik pelat aluminium 2219, Aluminium seri tersebut dilakukan proses pengelasan dengan pengisi (filler) aluminium 2319. Pengujian balistik dilakukan dengan peluru kaliber 9 mm, 7.02 mm, 5.52 mm dan 7.62 mm. Didapatkan hasil dari pengujian yang dilakukan pelat tersebut dapat menahan peluru kaliber 9 mm dengan baik, pada permukaan logam aluminium 2219 maupun pada bagian hasil lasan dengan pengisi aluminium 2319 [22].

Penelitian lain dilakukan oleh Srivathsa dan Ramankrishnan yang mengamati kemampuan balistik dari armor berbahan logam, material yang diamati adalah

paduan Al, paduan Ti, baja, dan *mild steel*. Penelitian ini mendapati bahwa kemampuan suatu material untuk menahan peluru bergantung pada material untuk menyerap energi kinetik peluru dengan berdeformasi secara elastis maupun plastis. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa pada paduan aluminium dan *mild steel* dapat menahan peluru berkecepatan rendah, sedangkan paduan titanium dan baja dapat menahan peluru berkecepatan tinggi [23].

Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa paduan aluminium mampu digunakan untuk menjadi material balistik menggantikan baja. Paduan aluminium lain yang memiliki kemampuan balistik tinggi seperti paduan aluminium 7039, paduan aluminium 2519 dan paduan aluminium 5083-H131 [6]

2.4.2. Komposit Aluminium untuk Aplikasi Balistik

Komposit menjadi salah satu material yang dikembangkan karena memiliki sifat gabungan dari kebaikan setiap material penyusunnya. Komposit terbagi menjadi dua penyusun, matriks dan penguat. Matriks merupakan material dasar sehingga umumnya digunakan material dengan keuletan tinggi, dapat menahan deformasi dan murah karena akan digunakan dalam jumlah banyak. Sementara penguat merupakan material yang akan meningkatkan kekuatan komposit sehingga digunakan material dengan kekuatan tinggi, kekerasan tinggi dan digunakan dalam jumlah lebih sedikit dari pada matriks. Komposit dapat diklasifikasikan berdasarkan matriksnya. Terdapat MMC (*Metal Matrix Composite*) yaitu komposit dengan matriks logam, PMC (*Polymer Matrix Composite*) yaitu komposit dengan matriks polimer dan CMC (*Ceramic Matrix Composite*) yaitu komposit dengan matriks keramik.

Hogg meneliti seberapa besar armor yang terbuat dari komposit fiber dapat menyerap energi kinetik dari peluru, aluminium foam yang dilapisi oleh keramik pada bagian permukaan kemudian pada bagian tengah dilapisi oleh serat carbon, didapatkan hasil peluru tidak dapat menembus komposit. Daya rusak dari pengujian balistik juga dapat dilihat bahwa penggunaan aluminium foam tidak hanya meningkatkan kemampuan balistik secara berulang kali, tetapi juga menghalangi peluru untuk terpental balik dan meminimalisasi kerusakan pada sistem armor [24].

Lin et al. telah melakukan penelitian terhadap sifat balistik dari material armor ringan berbahan dasar komposit aluminium dengan butir sangat halus (*ultra-fine-grain aluminum composites*) [25]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposit yang terbuat matriks paduan aluminium berstruktur nano yang diperkuat dengan partikel submicron SiC dengan kekuatan luluh 580 MPa, modulus elastisitas 110 GPa mempunyai kekuatan perpatahan 690 MPa terhadap peluru berkecepatan ~470 m/s, sehingga sangat menjanjikan untuk digunakan sebagai material armor ringan untuk kendaraan militer.

Pageau et al. mempelajari bahwa terjadi kenaikan *yield strength* dari paduan hasil coran aluminium AA 6061 T6 terhadap MMC hasil coran bermatriks AA 6061 berpenguat 15 dan 30 % SiC yang diberi perlakuan panas T6. Performa penetrasi proyektil menunjukkan peningkatan bersamaan dengan peningkatan volume fraksi penguat dan peningkatan kecepatan impak dibandingkan paduan hasil coran aluminium AA 6061 T6 tanpa penguat SiC [26].

Bao dan Lin menemukan dalam penelitiannya bahwa *strain rate* berhubungan dengan volume fraksi dari inklusi. *Strain rate* dari komposit meningkat dikarenakan adanya efek hambatan dari inklusi pada matriks. Dengan penambahan volum fraksi penguat, maka *strain rate* akan meningkat dan akan meningkatkan kekerasan komposit [27].

Paduan aluminium mampu menahan beban balistik. Jika paduan aluminium ini dijadikan komposit dengan menggunakan penguat partikulat keramik SiC maka akan menghasilkan ketahanan balistik lebih tinggi. Penambahan proses perlakuan panas juga akan menghasilkan komposit yang lebih tangguh dan mengurangi kemungkinan retakan karena kekerasan komposit yang tinggi.

2.5. Karakteristik Balistik

Bentuk uji balistik yang umum dikenal adalah penembakan pada sampel menggunakan proyektil berkecepatan tinggi. Parameter yang mempengaruhi ketahanan balistik material antara lain parameter proyektil (ukuran, bentuk, masa jenis dan kekerasan), parameter impak (kecepatan dan sudut) dan parameter target (kekerasan/kekuatan, keuletan, struktur mikro dan ketebalan) [28].

Parameter proyektil yang penting diperhatikan adalah jenis proyektil yang digunakan. Berdasarkan standar balistik ASTM F 1233, jenis-jenis proyektil yang digunakan pada pengujian balistik dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Jenis Proyektil Standar Balistik ASTM F 1233 [29]

| Jenis | Kaliber | Kecepatan Tembak | Jarak Target | Ukuran Sampel |
|----------|-------------------|-----------------------|--------------|---|
| Sub MG | 9 mm Parabellum | 411.48 – 441.96 m/sec | 7.62 m | $\geq 0.30 \times 0.30$; $\leq 0.75 \times 0.75$ m |
| Super | .38 Super | 374.90 – 405.38 m/sec | 7.62 m | $\geq 0.30 \times 0.30$; $\leq 0.75 \times 0.75$ m |
| Magnum | .44 Magnum | 438.91 – 457.20 m/sec | 7.62 m | $\geq 0.30 \times 0.30$; $\leq 0.75 \times 0.75$ m |
| Rifle | .30 7.62 NATO | 838.20 – 868.68 m/sc | 7.62 m | $\geq 0.30 \times 0.30$; $\leq 0.75 \times 0.75$ m |
| Rifle AP | .30 30-06 | 830.58 – 861.06 m/sec | 7.62 m | $\geq 0.30 \times 0.30$; $\leq 0.75 \times 0.75$ m |
| Shotgun | 12 Gauge 3.0" Mag | 385.57 – 416.05 m/sec | 7.62 m | $\geq 0.30 \times 0.30$; $\leq 0.75 \times 0.75$ m |

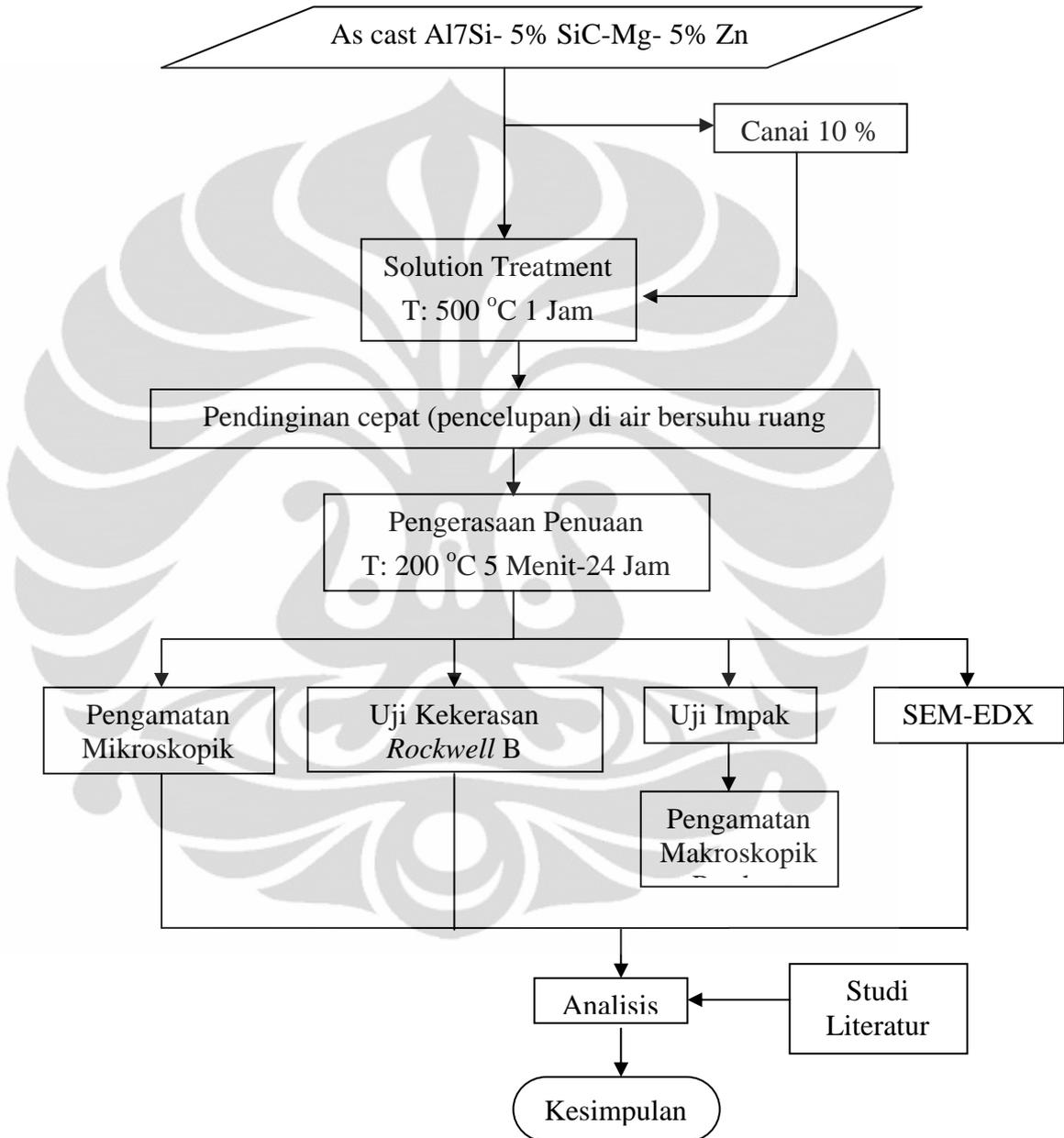
Standar NIJ menetapkan *Level Performance* dari material armor berdasarkan urutan sebagai berikut [30] :

1. Type I (22 LR; 38 Special)
2. Type II-A (Lower velocity 357 magnum;9 mm)
3. Type II (Higher velocity 357 magnum;9 mm)
4. Type III-A (44 magnum;submachine gun 9 mm)
5. Type III (High-Powered Riffle)
6. Type IV (Armor-Piercing Riffle)
7. Special Type

Ketahanan terhadap beban balistik diasosiasikan dengan nilai kekerasan dan ketahanan terhadap beban impact. Semakin keras material, akan semakin sulit ditembus oleh proyektil. Namun karena proyektil datang dengan kecepatan yang sangat tinggi, maka diperlukan juga ketahanan terhadap beban kejut, dimana material berarti harus memiliki ketangguhan yang tinggi.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

- a. *Furnace Vecstar*
- b. *Furnace Lindberg/Blue*
- c. Mesin uji keras *Rockwell B Rocky*
- d. *Mesin Roll*
- e. *Mesin uji impak Frank*
- f. *Jangka sorong*
- g. *Rotating Disc*
- h. *Kertas amplas #180, #240, #400, #600, #800, #1000, #1200, #1500*
- i. *Kain poles*
- j. *Engraver*
- k. *Mikroskop optik*
- l. *SEM*

3.2.2 Bahan

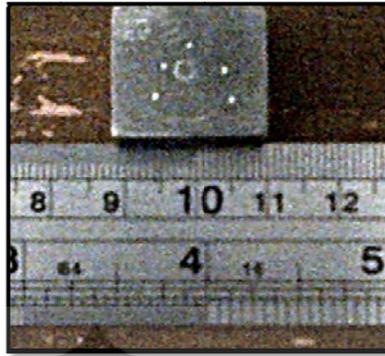
- a. *Al – 7 wt.% Si, 5 wt.% SiC, Mg Zn*
- b. *TiO₂ untuk poles*
- c. *HF untuk etsa*

3.3 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan sistematika yang tertera pada Gambar 3.1.

3.3.1 Persiapan Sampel

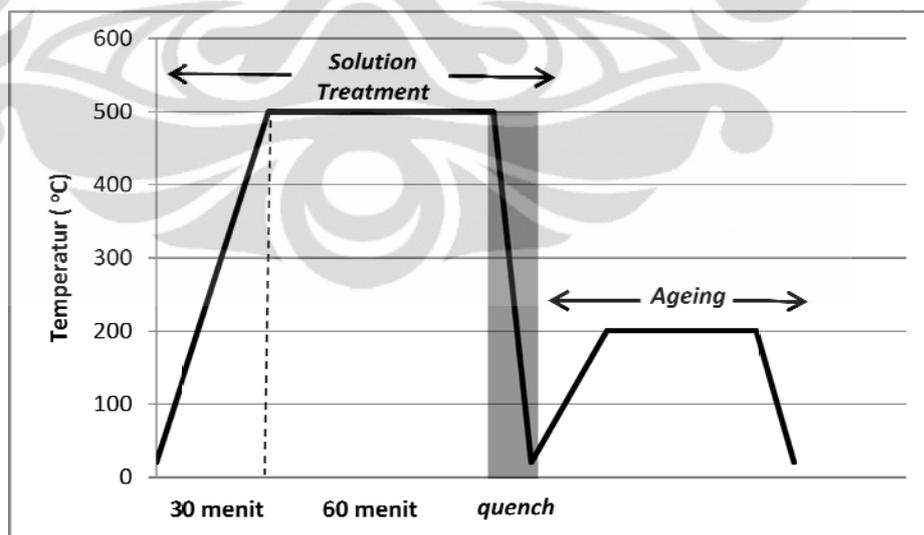
Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah komposit hasil coran aluminium silikon (Al – 7 wt.% Si) dengan paduan 5 wt.% Zn dan variasi komposisi magnesium 2, 4 dan 6 wt.%, berpenguat 5 wt.% SiC. Rata-rata sampel berukuran 1 cm x 1 cm x 1 cm (lihat Gambar 3.2). Sampel diampelas terlebih dahulu untuk menghaluskan permukaannya. Pengamplasan dilakukan di seluruh permukaan sampel. Untuk sampel yang akan diuji kekerasannya, permukaan sampel diperhalus dengan kertas amplas grid #240. Sementara untuk pengamatan mikrostruktur, permukaan sampel diperhalus dengan grid kertas amplas bertahap, dimulai dari #240, kemudian naik ke #400, #800, #1000 dan #1200.



Gambar 3.2 Sampel pengujian kekerasan dan mikrostruktur

3.3.2 Perlakuan Panas

Setelah dilakukan persiapan sampel, dilanjutkan dengan perlakuan panas. Mekanisme perlakuan panas yang dilakukan adalah pengerasan penuaan. Tahapan perlakuan panas yang dilakukan pertama kali adalah melakukan *solution treatment* pada temperatur 500 °C selama 60 menit. Setelah 60 menit, sampel didinginkan cepat dengan air. Berikutnya sampel dimasukkan dalam dapur kedua pada temperatur 200 °C untuk proses pengerasan penuaan artifisial. Ilustrasi proses perlakuan panas dapat terlihat dari Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Ilustrasi perlakuan panas pengerasan penuaan

3.3.3 Pengukuran Nilai Kekerasan dan Pembuatan Kurva Penuaan

Pengukuran nilai kekerasan sampel diuji dengan Rockwell B dengan standar ASTM E18. Rockwell B menggunakan indentor bola baja yang dikeraskan, berdiameter 1/16 in. Pengujian Rockwell B menggunakan dua tahap pembebanan. Pembebanan pertama, *preload* sebesar 10 kgf. Kemudian dilanjutkan dengan pembebanan tambahan 90 kgf. Hasil nilai kekerasan dari penjejakan langsung tertera pada alat uji. Semua sampel pada setiap waktu pemanasan dijejak di seluruh permukaan sampel, minimal sebanyak 7 kali setiap sampelnya untuk mendapatkan data dengan rata-rata yang baik. Dari setiap waktunya, didapatkan satu rata-rata nilai kekerasan, yang kemudian disajikan dalam kurva penuaan. Mesin Rockwell yang digunakan tertera seperti pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 *Rockwell Rocky*

3.3.4 Pengurangan Ketebalan dengan Pencanaian

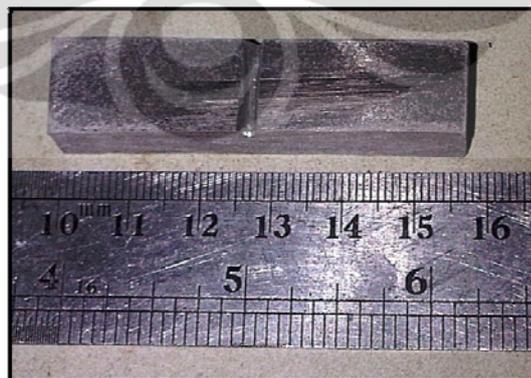
Pada penelitian ini akan dilihat efek dari pengerjaan sebelum perlakuan panas dibandingkan tanpa pengerjaan sebelumnya. Oleh karena itu komposisi sampel dengan nilai kekerasan puncak paling tinggi diambil untuk perbandingan tersebut. Pengerjaan yang dilakukan berupa canai hangat. Sampel dipanaskan pada temperatur 400 °C selama 120 menit. Reduksi pengerjaan sebesar 10 % menggunakan mesin roll seperti yang terlihat pada Gambar 3.5. Sampel yang digunakan berukuran 10 mm x 10 mm x 55 mm.



Gambar 3.5 Mesin pencanaian

3.3.5 Pengujian Impak

Pengujian impak dilakukan pada semua komposisi sampel, namun hanya pada waktu terjadinya puncak nilai kekerasan. Pengujian impak dilakukan dengan alat uji impak metode Charpy dengan standar ASTM 23 (lihat Gambar 3.7). Metode Charpy menggunakan sampel dengan ukuran 10 mm x 10 mm x 55 mm seperti yang terlihat pada Gambar 3.6, dengan takik sedalam 2 mm bersudut 45° diposisikan di tengah panjang sampel seperti yang diperjelas pada Gambar 3.8.

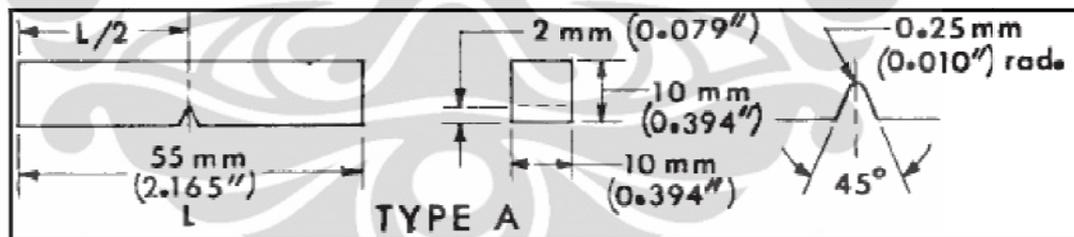


Gambar 3.6 Sampel pengujian impak



Gambar 3.7 Alat Uji Impak Metode Charpy

Beban yang digunakan sebesar 300 Joule berupa pendulum yang akan dijatuhkan dari suatu ketinggian sehingga mematahkan sampel. Beban datang dari arah belakang takik. Hasil yang terbaca pada skala alat adalah besarnya energi yang diserap sampel hingga patah. Untuk mendapatkan nilai harga impact, nilai energi tersebut dibagi dengan jumlah area dibawah takik.



Gambar 3.8 Ilustrasi sampel impact metode charpy

3.3.6 Pengamatan Makrostruktur dan Mikrostruktur

Pengamatan makrostruktur dilakukan pada fraktografi permukaan sampel hasil uji impact. Hasil dari pengamatan makrostruktur ini akan terlihat sifat mekanis sampel menunjukkan keuletan atau kegetasan.

Pengamatan mikrostruktur dilakukan pada sampel perlakuan panas pada waktu penuaan awal, puncak penuaan dan penuaan akhir. Sampel terlebih dahulu diampelas dengan kertas ampelas halus #1500. Lalu dilanjutkan dengan pemolesan menggunakan TiO_2 pasta di atas kain poles. Agar pengamatan mikrostruktur

sampel terlihat jelas, sampel dietsa menggunakan HF 0.5 % sebelum diamati di bawah mikroskop.

3.3.7 Pengamatan SEM dan EDX

Pengamatan SEM dan EDX dilakukan menggunakan mesin LEO dengan working distance 16 mm dan voltase 12 kV. Sampel yang digunakan untuk pengamatan ini memiliki ketebalan 3 mm. Preparasi permukaan sampel diampelas halus dan poles, tidak dietsa. Pada pengamatan ini digunakan dua detektor yaitu *Secondary Electron* (SE) dimana akan menghasilkan gambar resolusi tinggi dari morfologi permukaan surface yang halus dan *Backscattered Secondary Electron* (BSE) dimana akan menghasilkan kontras gambar sebagai fungsi komposisi unsur dan juga topografi permukaan. BSE lebih efisien digunakan untuk mengetahui nomor atom material, semakin terang gambar hasil BSE berarti semakin besar nomor atom material tersebut. EDX pada pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur pada area yang kecil dan untuk identifikasi keberadaan unsur pada titik tertentu. EDX yang digunakan tergabung dengan SEM, menggunakan detektor BSE dan dibaca menggunakan EDX, sehingga didapatkan analisis kualitatif dari komposisi pada suatu titik di permukaan sampel.

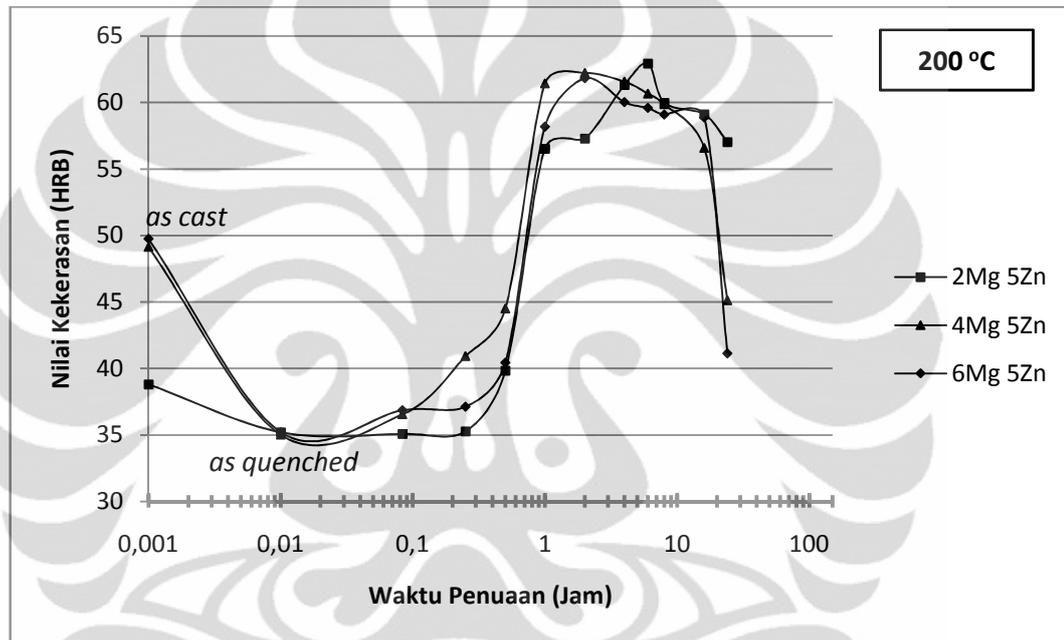
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Kandungan Mg terhadap Pengerasan Penuaan Komposit

4.1.1. Kurva Penuaan pada Temperatur 200 °C

Pengaruh kandungan magnesium pada komposit Al – 7 wt.% Si - 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dapat terlihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengaruh kandungan Mg terhadap pengerasan penuaan pada komposit Al – 7 wt.% Si - 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC

Dari Gambar 4.1 terlihat bahwa peningkatan kadar magnesium pada komposit *as cast* meningkatkan nilai kekerasan komposit. Magnesium sebagai paduan aluminium cor dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan dengan membentuk fasa Mg_2Si yang berfungsi sebagai fasa penguat dengan mekanisme penguatan dispersi. Sumber silikon pada paduan ini adalah dari matriks yaitu Al – 7 wt.% Si dan penguat SiC. Sehingga fasa Mg_2Si kemungkinan berada pada matriks dan pada antar muka antara matriks dan penguat. Hal ini akan dibuktikan lebih lanjut pada pengamatan mikrostruktur dan SEM pada sub bab 4.1.2 dan 4.1.3.

Gambar 4.1. juga menunjukkan pengaruh penambahan kandungan Mg dari 2, 4 dan 6 wt.% menghasilkan kekerasan puncak senilai masing-masing 63.83, 62.27, 62.48 HRB. Sementara waktu yang diperlukan untuk mencapai kekerasan puncak masing-masing selama 6, 2 dan 2 jam. Pencapaian nilai kekerasan dari keseluruhan komposisi menunjukkan bahwa tidak terjadi perbedaan yang signifikan dengan peningkatan kadar magnesium dalam komposit. Hal ini berarti magnesium tidak memberikan pengaruh pada pengerasan penuaan yang diperkirakan karena tidak larutnya magnesium dalam matriks aluminium selama proses *solution treatment* sehingga pada saat penuaan tidak banyak terbentuk presipitat berbasis magnesium. Hal ini bisa dianalisis dengan tingkat kelarutan magnesium dalam aluminium menggunakan perhitungan koefisien difusi pada persamaan (4.1)

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right) \quad (4.1)$$

Dengan:

D_0 = *Temperature Independent Preexponential* (m^2/s)

Q_d = Energi Aktivasi (kJ/mol)

R = Konstanta gas (8,31 J/mol-K)

T = Temperatur (Kelvin)

Tabel 4.1 Data Koefisien Difusi [31]

| Atom Difusi | Atom Matriks | D_0 (m^2/s) | Q_d (kJ/mol) | D pada T = 500 °C (m^2/s) |
|-------------|--------------|-------------------------|----------------|-------------------------------|
| Mg | Al | $0,0623 \times 10^{-4}$ | 115 | $1,05 \times 10^{-13}$ |
| Zn | Al | $0,245 \times 10^{-4}$ | 119,6 | $2,00 \times 10^{-13}$ |
| Si | Al | $2,48 \times 10^{-4}$ | 137 | $1,34 \times 10^{-13}$ |
| Cu | Al | $0,654 \times 10^{-4}$ | 136 | $41,7 \times 10^{-13}$ |

Berdasarkan nilai difusivitas masing-masing unsur paduan dari komposit yang ditampilkan pada Tabel 4.1 terlihat bahwa difusivitas magnesium dalam aluminium adalah yang terkecil jika dibandingkan dengan unsur lain yang terkandung dalam komposit ini. Pada saat dilakukan *solution treatment* pada temperatur 500 °C, magnesium tidak banyak terdifusi dalam aluminium, sehingga tidak akan membentuk banyak presipitat pada saat proses pengerasan penuaan. Tidak seperti seng yang memiliki difusivitas lebih banyak, maka kemungkinan

kekerasan paduan ini dicapai karena terdifusinya atom seng dalam aluminium dan membentuk mekanisme penguatan *solid solution*.

Kesimpulan sementara dari kurva penuaan komposit ini adalah bahwa peningkatan kadar magnesium tidak memberikan pengaruh signifikan pada proses pengerasan penuaan dikarenakan difusivitas magnesium dalam aluminium yang rendah. Magnesium lebih mudah berikatan dengan silikon membentuk Mg_2Si dibandingkan terlarut dalam matriks aluminium dan membentuk presipitat.

4.1.2. Analisis Mikrostruktur setelah Penuaan pada Temperatur 200 °C

Peta mikrostruktur komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi 2, 4 dan 6 wt.% Mg pada kondisi *as cast*, *under aged*, *peak aged* dan *over aged* ditampilkan pada Gambar 4.2. Kualitas pengamatan dari mikrostruktur tidak terlalu baik dikarenakan partikel SiC yang pada komposit rontok ketika dilakukan pengamplasan, sehingga banyak menjadi bekas dan mengurangi kualitas gambar.

Pada Gambar 4.2 a – 1 dapat diamati bahwa partikel penguat SiC berbentuk *irregular* baik pada komposit *as cast* maupun pada komposit yang dilakukan pengerasan penuaan. Ukuran partikel SiC tidak seragam dan distribusinya tidak merata di semua bagian komposit. Hal ini dapat disebabkan karena partikel SiC yang ditambahkan saat pengecoran berukuran cukup besar yaitu 83.3 μm .

Selain SiC pada Gambar 4.2 juga dapat diamati keberadaan dendrit aluminium dan Si eutektik yang berbentuk seperti serpihan di sekeliling dendrit. Pada komposit *as cast* (Gambar 4.2 a, e dan i) ditunjukkan bahwa dendrit yang terbentuk berukuran besar hingga 120 μm . Pada komposit *as cast* juga memperlihatkan bahwa peningkatan kadar magnesium meningkatkan jumlah Si eutektik yang terbentuk. Distribusi Si eutektik terlihat semakin banyak di sekitar partikel penguat SiC. Hal ini dimungkinkan dalam fasa Si eutektik terbentuk fasa Mg_2Si . Magnesium yang ada diperkirakan menarik silikon baik dari matriks maupun dari partikel penguat, dan membentuk fasa kedua. Hal ini sesuai dengan penelitian dari Kobashi yang mengatakan bahwa partikel SiC bergabung seketika dengan lelehan aluminium. Menurutnya partikel SiC membutuhkan waktu inkubasi hingga SiC bisa menyesuaikan diri dengan lelehan aluminium. Ini menandakan bahwa partikel SiC terbasahi secara perlahan dengan lelehan

aluminium. Waktu inkubasi ini bisa dipercepat dengan menambahkan paduan magnesium dan atau titanium. Pada penambahan paduan, terlihat dari pengamatan x-ray bahwa adanya pembentukan magnesium silika dalam matriks. Reaksi pembentukan ini menghasilkan permukaan baru yang aktif pada partikel SiC dan meningkatkan kemampubasahannya [32]. Namun fasa Mg_2Si pada penelitian ini tidak dapat terlihat dengan mikroskop optik dikarenakan kadar magnesium yang sedikit dan bentuk fasa yang sangat kecil.

Pada komposit yang diberi pengerasan penuaan memperlihatkan terjadi penurunan ukuran dendrit dan pembulatan bentuk dendrit jika dibandingkan dengan komposit as cast. Namun tidak terlihat perbedaan yang signifikan antara komposit pada kondisi *under aged* (Gambar 4.2 b, f dan j) dan kondisi *peak aged* (Gambar 4.2 c, g dan k). Sementara pada kondisi *over aged* (Gambar 4.2 d, h dan l) terlihat dendrit membesar walaupun tidak sebesar dendrit pada komposit *as cast*. Hal ini menjadi salah satu penyebab turunnya nilai kekerasan pada kondisi *over aged*.

Hubungan antar muka antara matriks dan partikel SiC tidak terlihat pada pengamatan mikrostruktur. Hal ini dianalisis karena tidak terlihat perubahan warna pada antar muka yang mengindikasikan terbentuknya fasa lain selain matriks dan partikel SiC. Keberadaan garis gelap yang memperjelas batas partikel SiC merupakan hasil rontokan partikel SiC ketika dilakukan persiapan sampel metalografi dan tidak mengandung magnesium sebagaimana yang nanti akan diperjelas pada pengamatan SEM pada sub bab 4.1.3.

Kesimpulan sementara dari pengamatan mikrostruktur adalah bahwa peningkatan kadar magnesium mempengaruhi jumlah fasa Mg_2Si yang terbentuk pada matriks. Semakin besar kadar magnesium, semakin banyak fasa Mg_2Si yang terbentuk. Proses pengerasan penuaan terlihat tidak mempengaruhi butir komposit secara signifikan, kecuali pada waktu penuaan maksimum yaitu 24 jam terlihat butir sudah mengalami *grain coarsening* sehingga keuletan komposit meningkat.



4.1.3. Analisa SEM dan EDX

Hasil pengamatan SEM pada komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi 2, 4 dan 6 wt.% Mg dapat dilihat pada Gambar 4.3 (a, b dan c). Analisis komposisi mikro pada beberapa fasa dilakukan menggunakan EDX yang hasilnya tertera pada Tabel 4.2 – 4.4.

Titik 1 untuk Gambar 4.3 (a, b dan c) merupakan partikel penguat SiC. Hal ini dikonfirmasi juga dengan analisis komposisi pada Tabel 4.2 – 4.4 yang menunjukkan kadar silikon di atas 95 wt.%. Titik 2 untuk Gambar 4.3 a, b dan c merupakan matriks dari komposit ini. Pada matriks ini terlihat kesemua komposit terdiri dari aluminium rata-rata 93 wt.%, silikon rata-rata 1.7 wt.% dan seng rata-rata 3.75 wt.%. Hal ini mengindikasikan bahwa seng terlarut sempurna dalam aluminium dan membantu memperkeras komposit dengan mekanisme penguatan *solid solution*.

Titik 3 untuk Gambar 4.3 a, b dan c memperlihatkan fasa berwarna putih. Pada Tabel 4.2 mengindikasikan fasa yang terjadi adalah matriks. Namun pada Tabel 4.3 dan 4.4 mengindikasikan fasa yang terjadi adalah Al – Fe – Mn – Si. Pembacaan yang kemungkinan lebih valid adalah pembacaan dari Tabel 4.3 dan 4.4 dikarenakan pada Titik 3 untuk Gambar 4.3 a menunjukkan daerah putih yang kecil, lebih kecil dari 3 μm seperti yang ditunjukkan skala. Maka dapat diasumsikan Titik 3 pada Gambar 4.3 a membaca matriksnya. Fasa Al – Fe – Mn – Si merupakan fasa intermetalik yang sering terbentuk pada paduan aluminium karena keberadaan inklusi Fe. Fe pada paduan aluminium – silikon akan memodifikasi fasa Si dengan hadirnya fasa Al – Fe – Si. Bentuk yang umum dari fasa ini adalah fasa α dan β . Fasa α memiliki struktur kristal kubik dan muncul pada mikrostruktur sebagai eutektik *Chinese script*. Fasa β yang lebih jarang umumnya muncul dalam bentuk struktur jarum (*needle*) atau *platelet* seperti β Al₅FeSi dimana ini akan mengurangi keuletan dari paduan. Pada pengamatan Gambar 4.3 b dan c menunjukkan keberadaan fasa α Al – Fe – Si.

Titik 4 pada Gambar 4.3 a, b dan c memperlihatkan fasa berwarna abu-abu tipis dengan bentuk pipih memanjang (*flakes*). Hasil pengujian EDX pada titik ini menunjukkan keberadaan Al – Si – Fe – Mg. Kemungkinan fasa yang terjadi adalah Mg₂Si yang menempel pada Al – Fe – Si. Kadar magnesium yang

terdeteksi pada Tabel 4.2 – 4.4 terlihat menurun. Ini berarti tidak semua Mg dalam komposit membentuk fasa Mg_2Si .

Titik 5 pada Gambar 4.3 a, b dan c terletak pada antar muka antara matriks dan partikel penguat. Terlihat pada pengamatan SEM tidak terjadi perubahan warna yang mengindikasikan terjadinya fasa karena difusi antara matriks dan partikel penguat. Hal ini juga didukung dengan hasil komposisi EDX yang menunjukkan pembacaan yang berbeda-beda untuk masing-masing komposisi. Pada Gambar 4.3 a dan Tabel 4.2 membaca keberadaan SiC dan sedikit Al pada antar muka. Sementara pada Gambar 4.3 b dan c dan Tabel 4.3 dan 4.4 membaca keberadaan matriks komposit dengan kadar silikon lebih tinggi dari matriks komposit pada Titik 2. Tidak terbentuknya fasa baru pada antar muka berarti tidak ada terjadi difusi antara matriks dan penguat. Hal ini dapat memberikan pengaruh baik bagi komposit karena berarti tidak terjadi perubahan komposisi pada penguat. Seperti yang dinyatakan Wang pada penelitian bahwa daerah antar muka MMC yang baik ditentukan dari dua faktor yaitu kontak antara penguat – matriks yang dipengaruhi oleh kemampubasahan penguat pada matriks dan reaksi kimia yang sangat lambat pada antar muka sehingga tidak ada inter difusi diantara matriks dan penguat sehingga reinforced tidak terdegradasi [33].

Pada Titik 6 Gambar 4.3 b menunjukkan adanya fasa berwarna putih yang kemungkinan adalah Al – Fe – Mn – Si seperti pada Titik 3, pada antar muka. Hasil analisis komposisi EDX pada Tabel 4.3 menunjukkan keberadaan unsur Al – Si – Fe – Mg. Hal ini bisa mengindikasikan dua hal. Pertama, kecenderungan terbentuknya Al – Fe – Si di sekitar partikel penguat SiC dikarenakan kadar Si yang tinggi pada daerah tersebut. Kedua, seperti yang terlihat pada Titik 4 Tabel 4.2 – 4.4 dimana dengan meningkatnya kadar Mg terjadi penurunan kadar Mg pada Mg_2Si , pada Titik 5 Tabel 4.4 dan Titik 6 Tabel 4.3 terlihat kadar Mg pada antar muka. Hal ini mengindikasikan bahwa magnesium mempengaruhi antar muka matriks dan partikel penguat. Dengan meningkatnya sifat antar muka antara matriks dan partikel penguat maka diharapkan ketangguhan komposit semakin baik. Hal ini akan ditunjukkan pada sub bab 4.1.4.

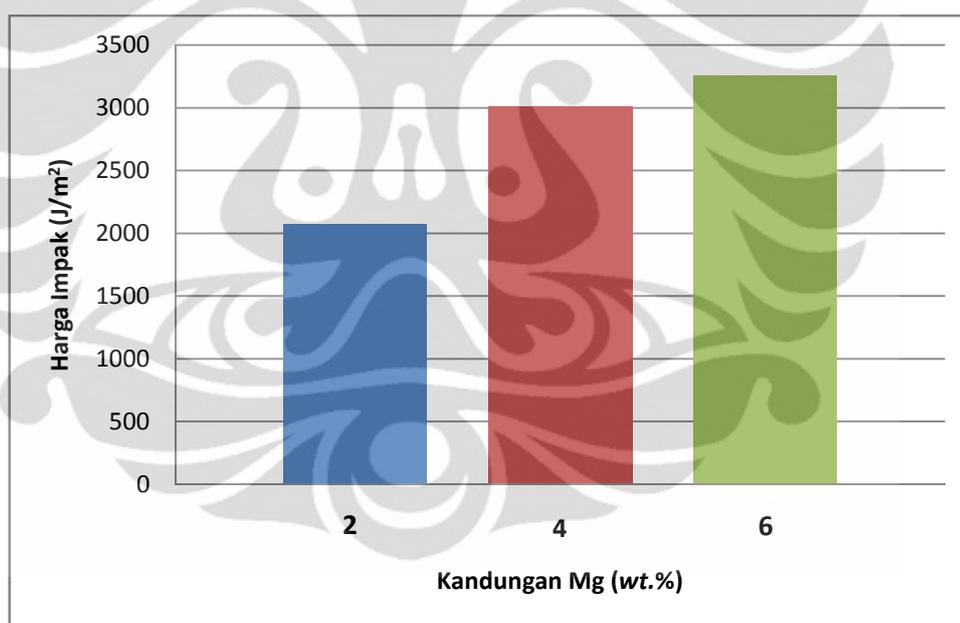
Namun hal ini tidak sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Sukumaran et al. yang menyatakan bahwa penambahan 1 wt.% Mg meningkatkan kemampubasahan partikel penguat pada matriks paling efektif. Peningkatan kadar magnesium akan meningkatkan tendensi partikel SiC akan berkumpul dikarenakan terjadi peningkatan viskositas dari matriks aluminium sehingga mempersulit penyeragaman distribusi partikel SiC [10]. Sementara Mondolfo dalam penelitiannya mengatakan bahwa penambahan 3 wt.% Mg pada paduan Al – Si akan menghasilkan fasa Mg_5Al_8 yang memiliki temperatur lebur rendah 450 °C dan mengurangi sifat mekanis dari MMC [13]. Namun pada penelitian ini tidak terdeteksi keberadaan fasa Mg_5Al_8 .

Kesimpulan sementara dari pengamatan SEM dan EDX ini adalah bahwa tidak terjadi difusi pada antar muka matriks dan penguat, sehingga kemungkinan akan menghasilkan antar muka yang baik. Keberadaan seng dalam matriks terdistribusi secara merata berarti seng terlarut sempurna dalam matriks dan meningkatkan nilai kekerasan komposit. Selain itu terbentuk fasa lain yang membantu penguatan komposit yaitu Mg_2Si sebagai fasa kedua. Terbentuknya fasa intermetalik Al-Si-Fe-Mn bisa menjadi kelemahan dari komposit dikarenakan beberapa dari fasa ini terbentuk di sekitar penguat sehingga bisa menghambat kekuatan antar muka komposit.



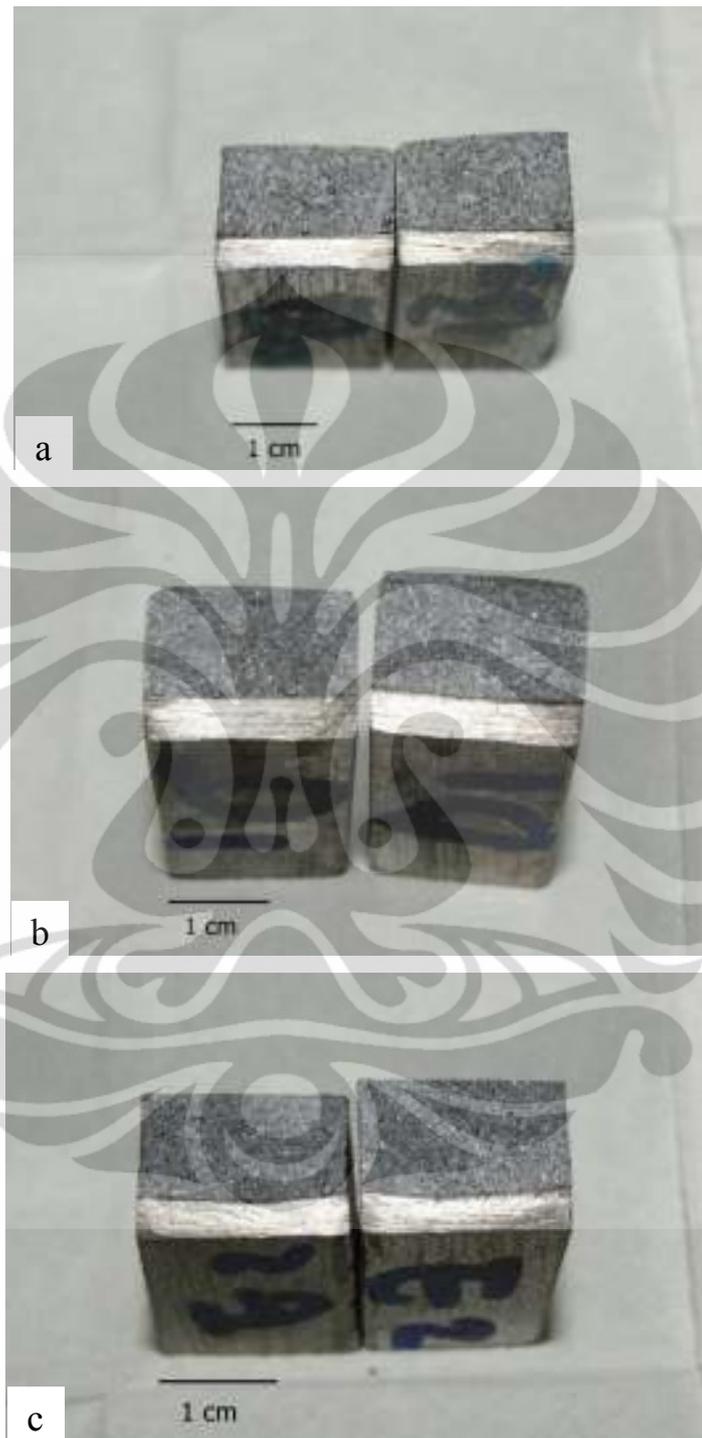
4.1.4. Pengujian Impak dari Komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi 2, 4 dan 6 wt.% Mg pada Kondisi *Peak Aged*

Dari hasil pengujian impak pada Gambar 4.4 didapatkan bahwa komposit dengan 6 wt.% Mg memiliki ketangguhan paling tinggi. Hal ini senada dengan analisis dari kurva penuaan dan SEM yang menyatakan bahwa keberadaan Mg dalam komposit ini berfungsi sebagai zat pembasah untuk memperbaiki sifat antar muka antara matriks aluminium dengan penguat SiC. Hal ini juga terlihat pada pengamatan hasil perpatahan impak pada Gambar 4.5 yang memperlihatkan bahwa permukaan patahan komposit 2 dan 4 wt.% Mg lebih mengkilat dan berbutir halus yang menandakan perpatahan getas. Sementara patahan paduan 6 wt.% Mg sedikit lebih gelap dan berbutir kasar yang menandakan perpatahan lebih ulet sehingga akan memiliki ketangguhan lebih tinggi.



Gambar 4.4 Perbandingan harga impak komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC terhadap variasi komposisi Mg

Kesimpulan dari pengujian ini adalah dengan meningkatnya kadar magnesium maka sifat antar muka komposit menjadi lebih baik. Diperlukan pengujian lebih lanjut untuk memastikan fenomena ini dengan menggunakan sampel lebih banyak sehingga data lebih representatif.

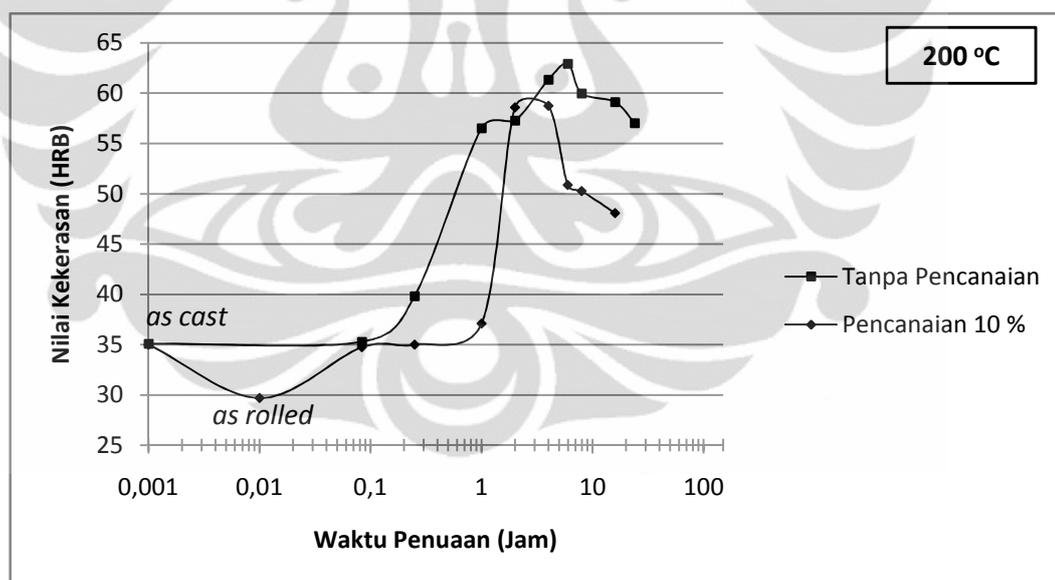


Gambar 4.5 Permukaan patahan impact komposit Al – 7 selama penuaan pada temperatur 200 °C wt.% Si– 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada kondisi *peak aged* selama penuaan pada temperatur 200 °C dengan variasi kandungan a) 2, b) 4, c) 6 wt.% Mg

4.2 Pengaruh Pencanaian terhadap Pengerasan Penuaan Komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC

4.2.1. Kurva Penuaan Komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Variasi Pengerjaan

Pada Gambar 4.6 ditunjukkan kurva penuaan Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan proses pencanaian 10 % didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 58,73 HRB dan dicapai pada waktu 4 jam. Kurva penuaan komposit ini mengalami penurunan nilai kekerasan sebesar 6.65 %, jika dibandingkan dengan paduan tanpa proses canai yang mencapai nilai kekerasan tertingginya yaitu 63.83 HRB pada waktu 6 jam. Hal ini tidak sesuai dengan hipotesis bahwa proses canai diharapkan meningkatkan nilai kekerasan dengan mekanisme *strain hardening*. Keberadaan *strain hardening* akan meningkatkan kepadatan dislokasi. Dengan semakin banyak dislokasi diharapkan semakin banyak tempat presipitat bernukleasi sehingga nilai kekerasan semakin besar.



Gambar 4.6 Pengaruh pencanaian pada kurva penuaan Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada temperatur 200 °C

Namun hasil pengujian kekerasan tidak didapatkan sesuai dengan hipotesis. Hal ini mungkin berkenaan dengan proses *pre-heating* sebelum pencanaian. Proses *pre-heating* sebelum pencanaian dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kemungkinan retak saat dicanai karena kekerasan komposit awal

yang tinggi. Pada proses canai ini dilakukan proses *pre-heating* pada temperatur 400 °C selama 2 jam. Sementara temperatur lebur matriks Al adalah 660 °C, maka pada proses *pre-heating* sudah terjadi mekanisme rekristalisasi yang secara teori terjadi pada temperatur 0.4 kali temperatur lebur (264 °C untuk aluminium) sehingga sudah terjadi perubahan bentuk dan ukuran butir. Ketika komposit ini dicanai 10 % seketika setelah dilakukan *pre-heating* kemungkinan tidak terjadi kepadatan dislokasi seperti yang diinginkan namun hanya terjadi reduksi ukuran dikarenakan mudahnya dislokasi bergerak ke batas butir karena keuletan fasa tersebut. Sehingga tidak didapatkan tempat nukleasi baru untuk presipitasi ketika dilakukan pengerasan penuaan setelahnya.

Selain itu juga proses *pre-heating* dengan temperatur 400 °C menyebabkan pengkasaran butir dengan mekanisme *grain growth*. Butir kasar memiliki sifat mekanis lebih rendah dari pada butir halus dikarenakan luas batas butirnya yang lebih besar sehingga lebih memudahkan dislokasi bergerak dan menurunkan kekerasan komposit.

Kesimpulan sementara dari kurva penuaan ini adalah proses pencanaian dari komposit ini tidak berjalan sesuai hipotesis dikarenakan proses *pre-heat* menggunakan temperatur yang terlalu tinggi. Sehingga kekerasan menurun dari komposit tanpa pencanaian.

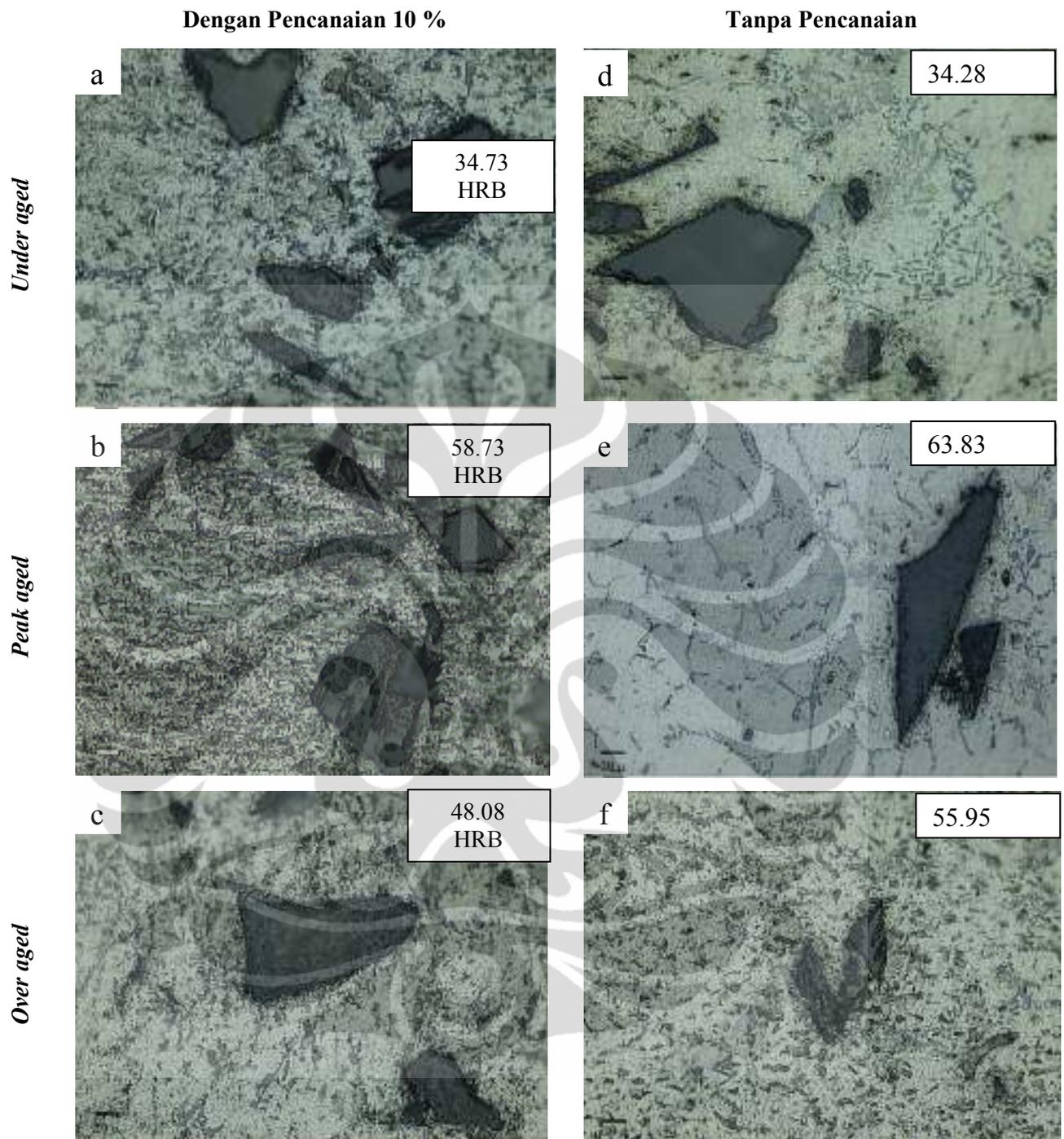
4.2.2. Analisis Mikrostruktur Komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 % pada Berbagai Kondisi Penuaan

Pada Gambar 4.7. ditunjukkan peta mikrostruktur komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan dan tanpa pencanaian 10 % pada kondisi *under aged*, *peak aged* dan *over aged*.

Pengamatan pada Gambar 4.7 terlihat bahwa fasa Si eutektik (yang kemungkinan mengandung Mg_2Si) pada komposit dengan pencanaian lebih banyak terkumpul dan mendekat pada SiC penguat. Hal ini mungkin disebabkan karena reduksi ukuran dari proses canai mengurangi volume bergerak fasa tersebut sehingga terkumpul. Selain itu jika dibandingkan dengan komposit tanpa pencanaian, antar muka dari komposit dengan pencanaian terlihat kasar. Hal ini mengindikasikan rusaknya antar muka antara penguat dengan matriks dan menjadi penyebab menurunnya nilai kekerasan dari komposit.

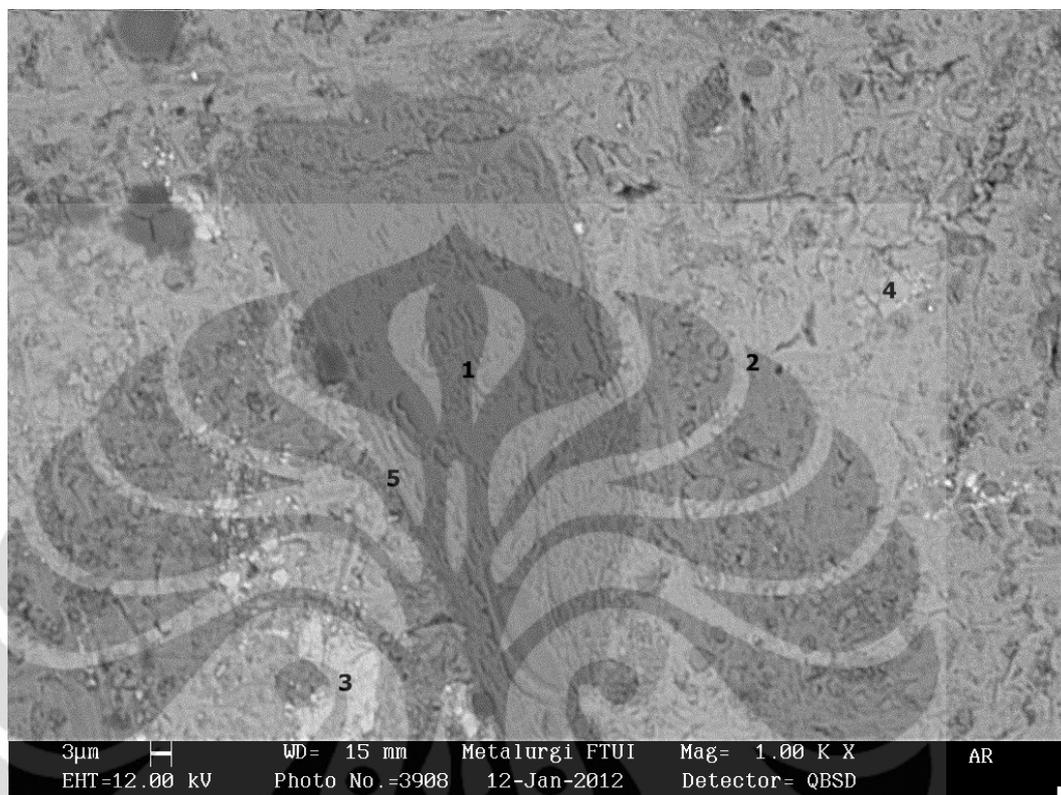
Pengamatan lain yang kemungkinan menjadi penyebab dari menurunnya nilai kekerasan komposit dengan pencanaian adalah ukuran butir. Terjadinya *grain coarsening* atau pengkasaran butir dibandingkan dengan komposit tanpa pencanaian. Sayangnya dikarenakan kualitas gambar yang kurang baik, hal ini tidak bisa terukur secara akurat.

Kesimpulan sementara dari pengamatan mikrostruktur komposit dengan pencanaian ini adalah ada kemungkinan beberapa penyebab turunnya nilai kekerasan dari komposit dengan pencanaian di antaranya rusaknya *antar muka* antara penguat dengan matriks dan terjadinya pengkasaran butir akibat *pre-heating* saat proses pencanaian.



Gambar 4.7 Peta mikrostruktur komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC pada kondisi *under aged*, *peak aged* dan *over aged* dengan variasi pengerjaan (a – c) dengan pencanaian 10 % (d – f) tanpa pencanaian

4.2.3. Analisis SEM dan EDX Komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 % pada Kondisi *Peak Aged*

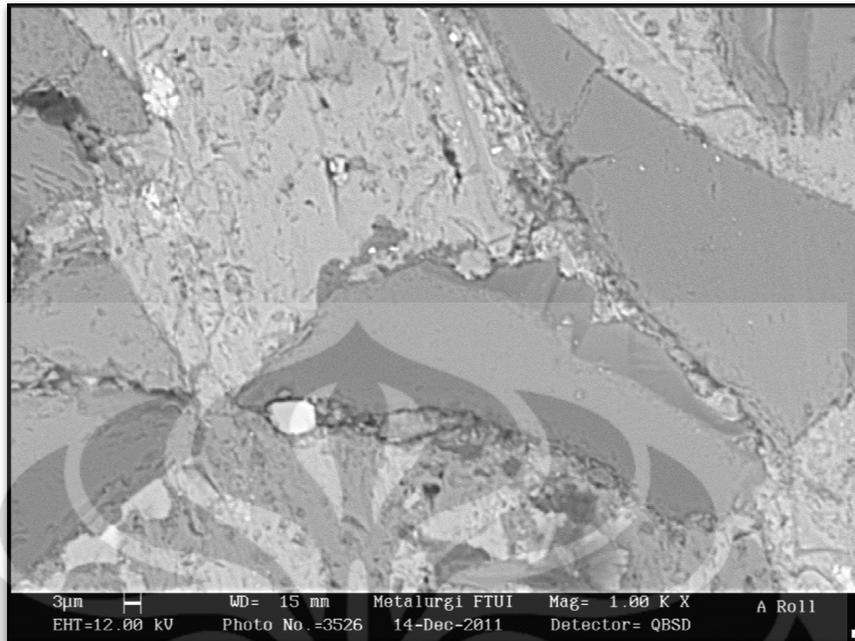


Gambar 4.8 Pengamatan SEM pada Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan pencanaian 10 %

Tabel 4.5 Data EDX komposit Al-7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan pencanaian 10 %

| Titik | Kandungan Unsur (wt.%) | | | | | | | | Fasa yang mungkin | |
|-------|------------------------|-------|------|------|------|------|------|------|-------------------|-------------------------------|
| | Si | Al | Zn | Fe | Mg | Mn | Cr | C | | O |
| 1 | 95.57 | - | - | - | - | - | - | 2.95 | 1.48 | SiC |
| 2 | 4.93 | 90.41 | 3.32 | - | - | - | - | 1.06 | 0.28 | AlSi Matriks |
| 3 | 8.35 | 72.03 | 2.18 | 8.23 | - | 1.60 | 1.56 | 1.42 | 4.63 | Al (Fe-Mn) Si |
| 4 | 24.10 | 61.60 | - | 4.07 | 9.23 | - | - | 0.15 | 0.85 | Al-Fe-Si + Mg ₂ Si |
| 5 | 44.22 | 50.82 | 1.73 | - | - | - | - | 1.87 | 1.36 | AlSi Matriks |

Hasil pengamatan SEM (Gambar 4.8) dan analisis komposisi EDX (Tabel 4.5) menunjukkan bahwa terdapat fasa-fasa seperti pada komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn tanpa pencanaian. Proses pencanaian terlihat tidak mengubah komposisi fasa dari komposit.



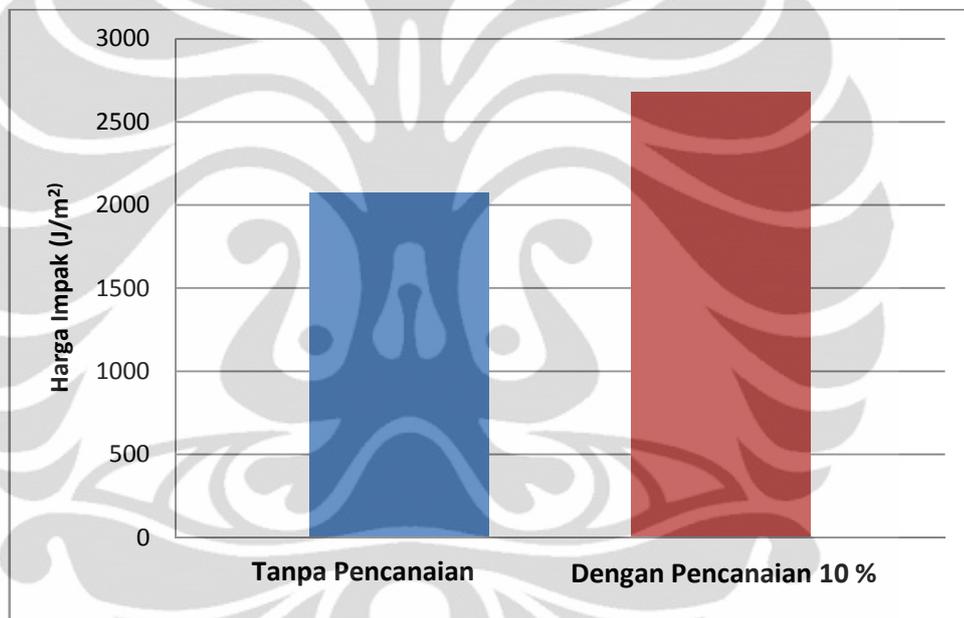
Gambar 4.9 Pengamatan SEM pada Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan pencanaian 10 %, terjadi retakan pada penguat SiC

Meski tidak merubah komposisi fasa, namun proses canai mengubah mikrostruktur komposit. Terlihat pada Gambar 4.9 bahwa terjadi retakan pada partikel silikon karbida. Hal ini juga dipaparkan oleh Karamis yang mengamati bahwa retakan SiC yang biasanya dimulai dari daerah dengan konsentrasi tegangan tinggi seperti *stacking faults* atau pojok partikel SiC. Beberapa retakan di sekitar partikel SiC diamati disebabkan karena adanya *void* yang terjadi karena nukleasi antar muka dari matriks dengan partikel SiC. *Void* tumbuh menjadi retakan menuju partikel penguat atau di sepanjang antar muka matriks-penguat tergantung kekuatan partikel terhadap ikatan antar muka. Partikel SiC sering terisi oleh *stacking faults* dari regangan plastis. Retakan dapat dimulai dari partikel ini. Ini akan mengurangi aliran tegangan dan menurunkan kekerasan komposit [34].

Kesimpulan sementara dari pengamatan SEM dan EDX untuk sampel dengan pencanaian ini adalah terjadi retakan pada partikel SiC sehingga merusak *antar muka* dengan matriks.

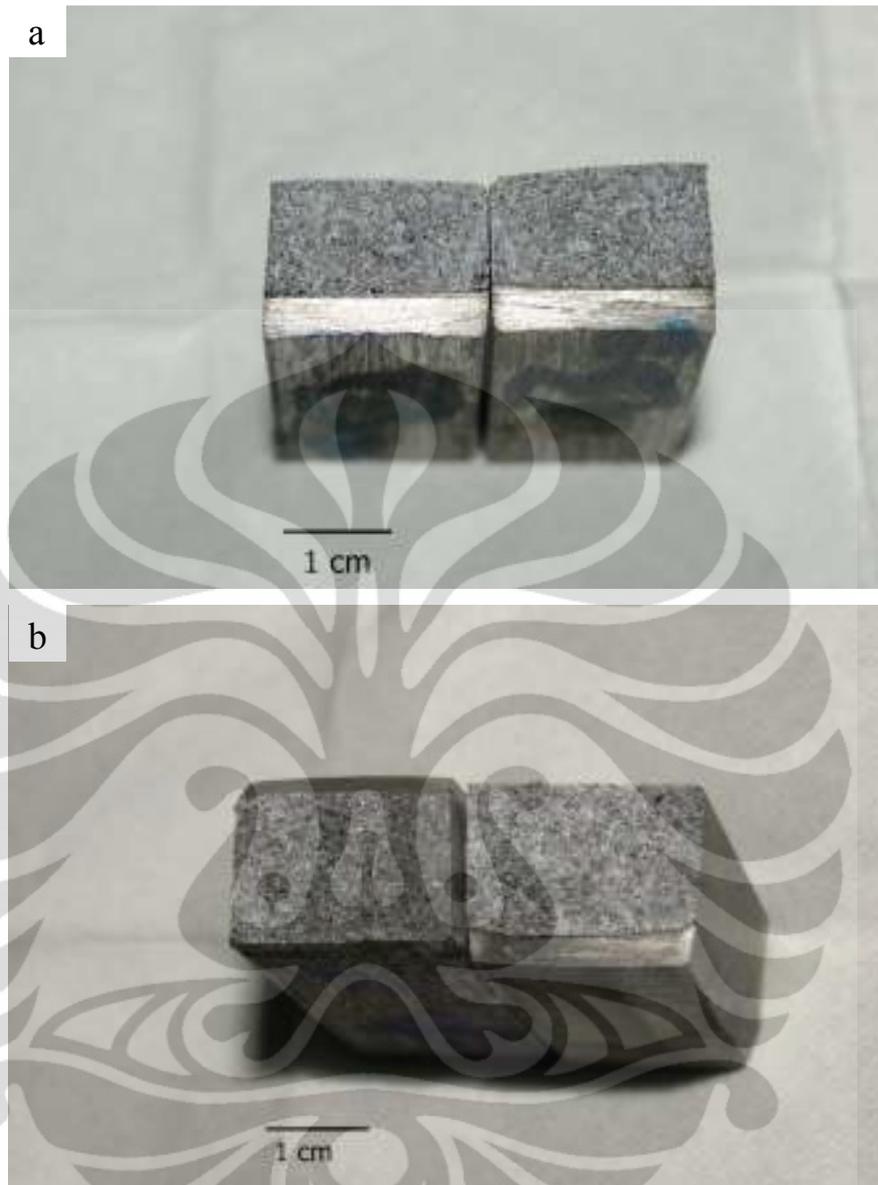
4.2.4. Analisis Pengujian Impak Komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan Pencanaian 10 % pada Kondisi *Peak Aged*

Dari hasil pengujian impak yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 didapatkan bahwa komposit dengan pengerjaan canai memiliki ketangguhan lebih tinggi dibanding yang tidak dikenai pengerjaan. Hal ini sebetulnya tidak sesuai dengan mikrostruktur yang ditunjukkan pada pengamatan SEM dikarenakan pada proses pencanaian terjadi retakan pada SiC. Data yang diambil pada pengujian impak ini hanya satu kali pengujian dikarenakan keterbatasan sampel, sehingga tidak bisa dikatakan representatif.



Gambar 4.10 Perbandingan harga impak komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan pencanaian 10 % terhadap variasi proses pengerjaan

Sementara pada pengamatan hasil perpatahan impak pada Gambar 4.11 terlihat bahwa permukaan patahan komposit tanpa proses canai lebih mengkilat dan berbutir halus yang menandakan perpatahan getas. Sementara patahan komposit dengan proses canai sedikit lebih gelap dan berbutir kasar yang menandakan perpatahan lebih ulet sehingga dikatakan memiliki ketangguhan lebih tinggi.

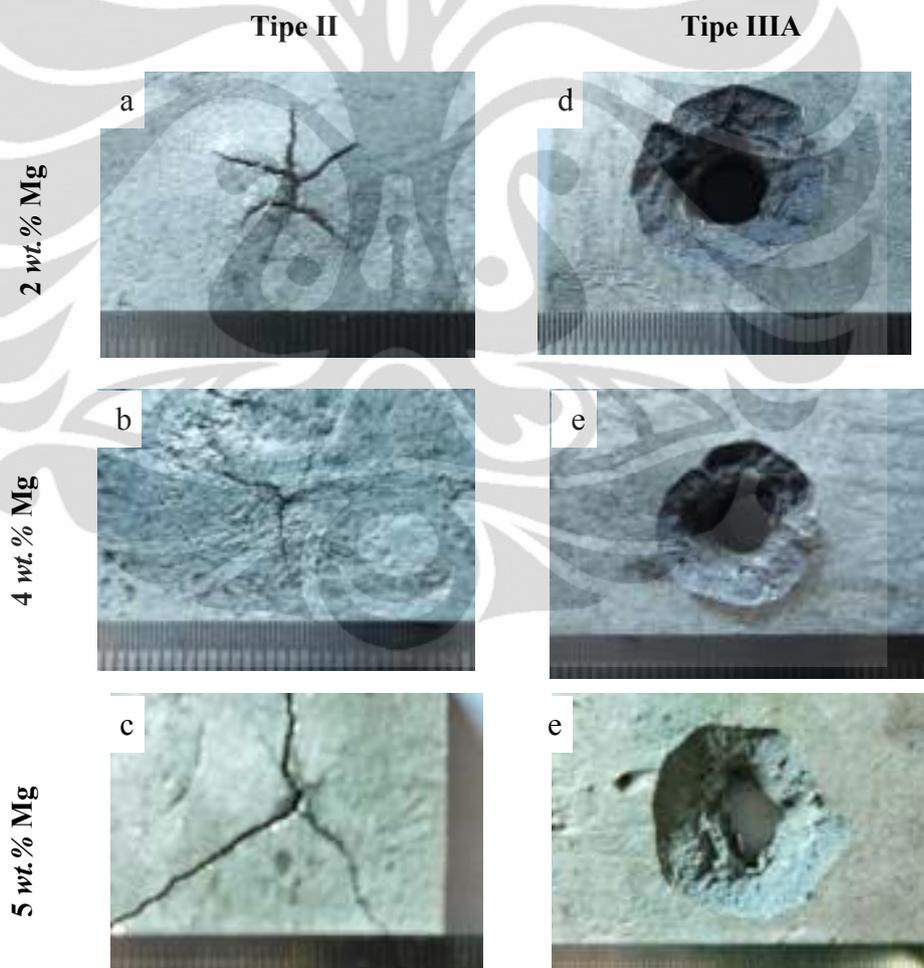


Gambar 4.11 Permukaan patahan impak komposit Al – 7 wt.% Si – 2 wt.% Mg – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC kondisi *peak aged* dengan variasi pengerjaan a) tanpa pencanaan 10 % b) dengan pencanaan 10 %

Kesimpulan sementara dari pengujian ini adalah dikarenakan pada proses pencanaan terjadi retakan pada SiC maka seharusnya ketangguhan komposit dengan pencanaan menurun karena sudah terjadi inisiasi retakan dari dalam komposit.

4.3 Pengaruh Mg-Zn dan Pengerasan Penuaan terhadap Karakteristik Balistik [28]

Pengujian karakteristik balistik komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi Mg dilakukan pada penelitian terpisah. Karakteristik balistik ditentukan dengan pendekatan besar area target yang dibutuhkan untuk menahan tembakan dari tipe proyektil tertentu dengan kecepatan tembak tertentu. Pada pengujian balistik untuk paduan ini dilakukan terhadap tiga tipe peluru, tipe I: kaliber 0.38 sp dengan jenis senjata Revolver, tipe II : kaliber 9 mm dengan jenis senjata Magnum dan tipe IIIA : kaliber 5.56 mm dengan jenis senjata SS-1. Lalu hasil tembakan diamati secara makro untuk mengetahui area yang mengalami deformasi atau bahkan perforasi dengan mengukur diameter hasil penembakan.



Gambar 4.12 Penampakan penampang belakang daerah terperforasi pada pelat komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi unsur paduan 2, 4 dan 6 wt.% Mg untuk dua tipe pengujian balistik : (a,b,c) Tipe II; (d,e,f) Tipe IIIA.

Gambar 4.12 merupakan tampak belakang hasil penembakan ketiga tipe proyektil pada komposit matriks Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi 2, 4 dan 6 wt.% Mg. Seluruh komposit tidak mampu untuk menahan beban impact hasil uji balistik tipe IIIA, sedangkan untuk hasil uji balistik tipe II peluru tidak dapat menembus tetapi mengalami retak pada penampang belakang.

Jika fakta ini dikorelasikan dengan penelitian ini maka dapat diperkirakan jika komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi Mg yang diberi perlakuan panas pengerasan penuaan akan memberikan ketahanan balistik lebih baik dibandingkan tanpa pengerasan penuaan. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya ketangguhan komposit setelah diberi pengerasan penuaan. Walaupun tidak membentuk mekanisme pengerasan seperti paduan seng, namun magnesium berperan meningkatkan sifat antar muka antara matriks Al dengan penguat SiC sehingga bisa didapatkan komposit yang lebih tangguh dan bisa digunakan pada aplikasi balistik.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari pengujian dan analisis pada komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC dengan variasi wt.% Mg dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan kadar magnesium tidak memberikan pengaruh signifikan pada proses pengerasan penuaan dikarenakan difusivitas magnesium dalam aluminium yang rendah. Magnesium lebih mudah berikatan dengan silikon membentuk Mg_2Si dibandingkan terlarut dalam matriks aluminium dan membentuk presipitat. Penambahan kandungan magnesium dari 2, 4 dan 6 wt.% menghasilkan kekerasan puncak senilai masing-masing 63.83, 62.27 dan 62.48 HRB. Sementara waktu yang diperlukan untuk mencapai kekerasan puncak masing-masing selama 6, 2 dan 2 jam.
2. Peningkatan kadar magnesium mempengaruhi jumlah Si eutektik yang terbentuk pada matriks. Semakin besar kadar magnesium, semakin banyak kemungkinan fasa Mg_2Si yang terbentuk sehingga meningkatkan kekerasan komposit. Proses pengerasan penuaan terlihat tidak mempengaruhi ukuran butir komposit secara signifikan. Selain itu tidak ditemukan terjadinya difusi pada antar muka matriks dan penguat sehingga kemungkinan akan menghasilkan antar muka yang baik. Keberadaan seng dalam matriks terdistribusi secara merata berarti seng terlarut sempurna dalam matriks dan meningkatkan nilai kekerasan komposit. Selain itu terbentuk pula fasa intermetalik Al-Si-Fe-Mn.
3. Sifat antar muka matriks-penguat akan semakin baik dengan peningkatan kadar magnesium sehingga menghasilkan komposit yang lebih tangguh.
4. Proses pencanaan tidak meningkatkan nilai kekerasan komposit. Pada kurva penuaan komposit dengan proses pencanaan 10 % didapatkan nilai kekerasan tertinggi sebesar 58,73 HRB dan dicapai pada waktu 4 jam. Kurva penuaan komposit mengalami penurunan nilai kekerasan jika dibandingkan dengan komposit tanpa proses pencanaan. Hal ini dikarenakan proses pencanaan menggunakan proses *pre-heat* pada temperatur yang terlalu tinggi yaitu 400

°C selama 2 jam. Sehingga kemungkinan sudah mencapai temperatur rekristalisasi dan terjadi *grain growth*. Selain itu terjadi retakan pada partikel SiC pada komposit dengan pencanaian sehingga merusak *antar muka* dengan matriks dan menurunkan nilai kekerasan komposit.

5. Nilai ketangguhan komposit dengan pencanaian tidak sesuai dengan analisis yang menyatakan bahwa keberadaan retak pada antar muka seharusnya menurunkan ketangguhan komposit tersebut.
6. Komposit yang diberi perlakuan pengerasan penuaan akan memberikan ketangguhan atas beban proyektil lebih baik dari pada yang tidak diberi pengerasan penuaan dikarenakan Mg memperbaiki sifat antar muka antara matriks Al dengan penguat SiC.

5.2. Saran

1. Penambahan kadar magnesium pada komposit Al – 7 wt.% Si – 5 wt.% Zn – 5 wt.% SiC sebaiknya terkontrol sehingga dapat meningkatkan sifat antar muka dengan maksimal.
2. Proses pencanaian dapat dilakukan untuk meningkatkan kekerasan komposit. Namun diperlukan ukuran yang tepat untuk dimensi pencanaian sehingga tidak menimbulkan retak dan tidak diperlukan adanya *pre-heating* sebelum proses pencanaian.
3. Peningkatan kekerasan juga dapat dicapai dengan menambahkan unsur yang dapat terlarut dan membentuk presipitat dengan matriks aluminium, seperti Cu.

5.3. Kerja Lanjutan

Beberapa pengujian sebaiknya dilakukan lebih lanjut agar mendapatkan jawaban dari hal-hal yang tidak dapat dijelaskan dengan pengujian kali ini seperti:

1. Pengujian balistik untuk komposit yang diberi perlakuan pengerasan penuaan untuk membuktikan secara tepat bahwa komposit dengan pengerasan penuaan akan memiliki ketangguhan lebih baik dibandingkan komposit tanpa pengerasan penuaan

2. Pengamatan mikrostruktur komposit dengan alat yang lebih baik seperti TEM dan HR-SEM agar bisa dipastikan fasa-fasa yang terbentuk dan kuantitasnya.
3. Penggunaan variabel lain seperti memperkecil ukuran partikel SiC dan mengganti paduan aluminium matriks untuk mendapatkan nilai kekerasan dan ketangguhan yang lebih tinggi.

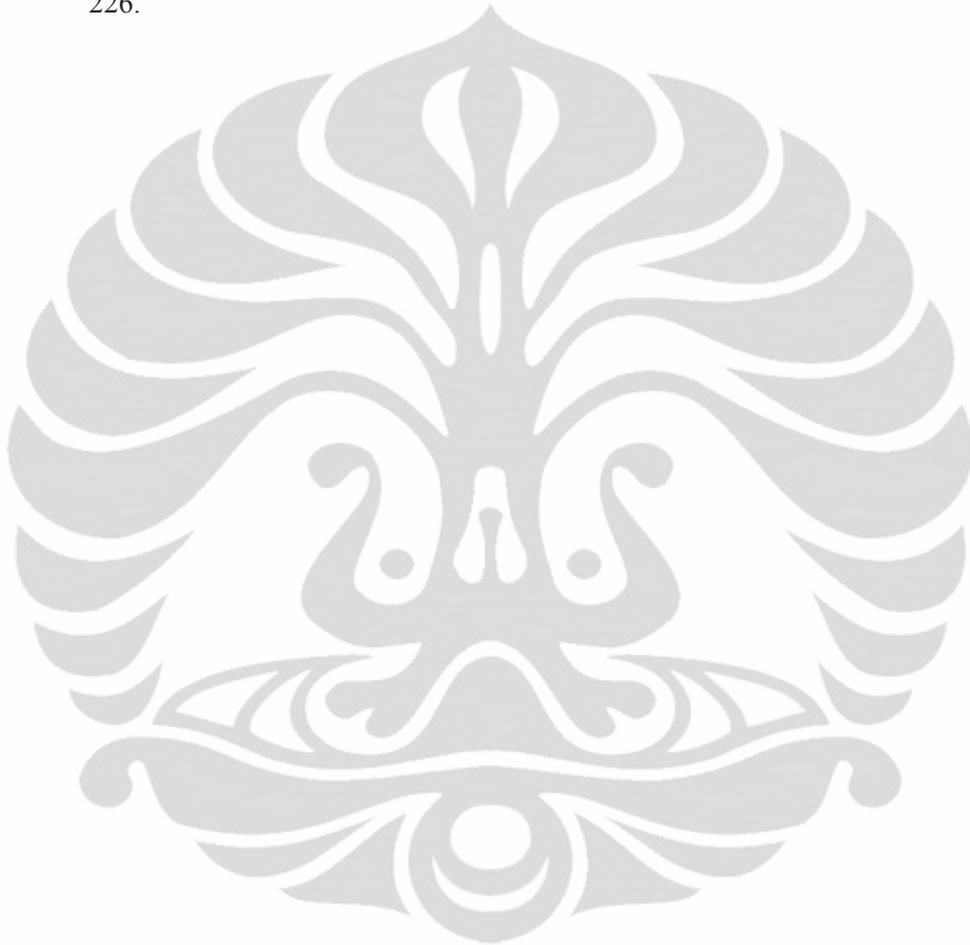


REFERENSI

1. <http://tni-au.mil.id/>. [cited 2010 November 20].
2. <http://indoforce.tripod.com>. [cited 2011 February 5].
3. Ong, C.W., Boey, C.W., Hixson, Robert S., Sinibaldi, Jose O., *Advanced layered personnel armor*. International Journal of Impact Engineering, 2010. **38**(5): p. 369-383.
4. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM Handbook. Vol. 2. 1990: ASM International Handbook Committee.
5. Yilmaz, H.S., *Characterization of Silicon Carbide Particulate Reinforced Squeeze Cast Aluminum 7075 Matrix Composite*, in *The Graduate School of Natural and Applied Sciences*. 2004, Middle East Technical University.
6. Showalter, Dwight D., Gooch, William A., Burkins, Matthew S., Koch, R. Stockman, *Ballistic Testing of SSAB Ultra-High-Hardness Steel for Armor Applications*, D.o.t. Army, Editor. 2008, Army Research Laboratory: Washington.
7. Ravi, C., Wolverton, C., *First-principles study of crystal structure and stability of Al-Mg-Si-(Cu) precipitates*. Acta Materialia, 2004. **52**(14): p. 4213-4227.
8. Adiyatma, A.I., *Pengaruh Magnesium terhadap Proses Electroless Plating pada Partikel Penguat Al₂O₃*, in *Teknik Metalurgi dan Material*. 2010, Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Depok.
9. <http://en.wikipedia.org/wiki/Magnesium>. [cited 2010 June 5].
10. Sukumaran, K., Pillai, S.G.K., Pillai, R. M., Kelukutty, V. S., Pai, B. C., Satyanarayana, K. G., Ravikumar, K. K., *Journal of Materials Science*, 1995. **30**: p. 1469-1472.
11. Manning, C. R., Gurganus, T.B., Am, J. , *Journal of American Ceramic Society*, 1969. **52**: p. 115.
12. Zhou, W. , Xu, Z.M., *Casting of SiC Reinforced Metal Matrix Composites*. *Journal of Materials Processing Technology*, 1997. **63**: p. 358-363.
13. Mondolfo, L.F., *Aluminium Alloy: Structure and Properties*. 1976, London: Butterworths.
14. *Alloy Phase Diagrams*. ASM Handbook. Vol. 3. 1992: ASM International Handbook Committee.
15. <http://aluminium.matter.org.uk>. [cited 2011 December 6].
16. <http://www.keytometals.com/Article55.htm>. [cited 2012 January 3].

17. Apelian, D., *Aluminium Cast Alloys: Enabling Tools for Improved Performance*. 2009, Illinois: North American Die Casting Association.
18. Yusfranto, R., *Perilaku Paduan AA 319 As-Cast dengan Kandungan 4 at % Zn pada Proses Perlakuan Penuaan (Ageing)*, in *Teknik Metalurgi dan Material*. 2006, Fakultas Teknik Universitas Indonesia: Depok.
19. Sofyan, B.T., *Diktat Kuliah Metalurgi Fisik*. 2009: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
20. <http://www.keytometals.com/Article102.htm>. [cited 2012 January 3].
21. Übeyli, M., Demir, T., Deniz, H., Yıldırım, R. Orhan, Keleş, Ö., *Investigation on the ballistic performance of a dual phase steel against 7.62 mm AP projectile*. *Materials Science and Engineering: A*, 2009. **527**(7-8): p. 2036-2044.
22. Jha, A.B., Shiresha, N., Murty, S.V.S.N, Diwakar, V., SreeKumar, K., *Ballistic Impact Testing of AA2219 Aluminium Alloy Welded Plates and Their Metallurgical Characterization*. *Indian Journal Engineering Materials Science*, 2005. **12**: p. 221-226.
23. Srivathsa, B, Ramakrishnan, N., *On The Balistic Performance of Metallic Materials*. *Bulletin of Materials Science*, 1997. **20**(1): p. 111-123.
24. Hogg, P.J., *Composite for Ballistic Applications*, in *Department of Materials*. 2005, University of London: Queen Mary.
25. Lin, Timothy (Zhigang), Yang, Q., Tan, C., Liu, B., McDonald, A., *Processing and ballistic performance of lightweight armors based on ultra-fine-grain aluminum composites*. *Journal of Materials Science*, 2008. **43**(23-24): p. 7344-7348.
26. Pageau, G., Vaziri, R., Poursartip, A. *Impact response of particle reinforced metal matrix composites*. in *Proceedings of 8th International Conference on Composite Materials*. 1991. Honolulu, Hawaii.
27. Bao, G., Lin, Z., *High strain rate deformation in particle reinforced metal matrix composites*. *Acta Materialia*, 1996. **44**(3): p. 1011-1019.
28. Rahmalina, D., Sofyan, Bondan T., Suharno, B., Siradj, E. S., *Reinforced Aluminium Composite for Armour Material Using the Squeeze Casting Process*. *Advanced Materials Research*, 2011. **Advanced Materials Research QiR 12**: p. 27-35.
29. ASTM, *Standard Test Method for Security Glazing Materials And Systems*, in *F1233*. 2008.
30. NIJ, *NIJ Standard - Ballistic Resistant Protective Materials*. 1985, National Institute of Justice: Washington.
31. *Smithells Metals Reference Book*. 8 ed, ed. T.C.T. W.F. Gale. 2004: Elsevier.

32. Kobashi, M., Choh, T., *The Wettability and the Reaction for SiC particle/Al Alloy System*. Journal of Materials Science, 1993. **28**: p. 684-690.
33. Wang, N., Wang, Z., Weatherly, G. C., Metallurgical Transactions A, 1992. **23**: p. 1423-1430.
34. Karamis, M.B., Nair, F., Tasdemirci A., *Analyses of metallurgical behavior of Al-SiCp composites after ballistic impacts*. Composite Structures, 2004. **64**(2): p. 219-226.



| No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (Menit) |
|-----------|---------------|-------|-------|-----------|---------------|------|--------|-----------|---------------|----------|--------|-----------|---------------|
| | 5 | 15 | 30 | | 60 | 120 | 960 | | 240 | 360 | 480 | | |
| A4 | 28,7 | 23,3 | 30,1 | A2 | 44 | 54,2 | 56,2 | A1 | 52,4 | 59,7 | 56,5 | A3 | 1440 |
| | 31,4 | 27,5 | 38,2 | | 54,3 | 55,2 | 57 | | 56,7 | 60,7 | 58,5 | | 54,4 |
| | 32,2 | 28,2 | 39,2 | | 55 | 55,6 | 58 | | 56,9 | 62,8 | 58,7 | | 55,5 |
| | 33,6 | 32,7 | 40,1 | | 55,3 | 56,2 | 60,4 | | 59,7 | 63,5 | 59,7 | | 55,7 |
| | 33,9 | 34,3 | 40,3 | | 58,9 | 58 | 61,5 | | 59,9 | 64 | 60,3 | | 56,7 |
| | 34,1 | 35,2 | 41,3 | | 59,1 | 58 | 62 | | 60,8 | 64 | 60,6 | | 57,2 |
| | 34,2 | 35,5 | | | 59,5 | 58,6 | 62,8 | | 62,4 | 64,3 | 62,6 | | 59,4 |
| | 35,6 | 35,6 | | | 59,8 | | 63,4 | | 62,7 | 64,4 | 63 | | 60,3 |
| | 39 | 35,7 | | | 60,1 | | | | 64 | | | | |
| | | | | | 60,2 | | | | 64,4 | | | | |
| | | | 62,5 | | | 65,7 | | | | | | | |
| Rata-rata | 34,28 | 35,26 | 39,82 | Rata-rata | 55,875 | 58,2 | 59,225 | Rata-rata | 61,1 | 63,83333 | 61,625 | Rata-rata | 55,9 |

| No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (Menit) |
|-----------|---------------|------|-------|-----------|---------------|--------|-------|-----------|---------------|-------|--------|-----------|---------------|
| | 5 | 15 | 30 | | 60 | 120 | 960 | | 240 | 360 | 480 | | |
| B3 | 21,6 | 33 | 41,6 | B2 | 56,6 | 54,2 | 52,2 | B8 | 60,2 | 58,3 | 55,8 | B6 | 1440 |
| | 29,3 | 38 | 43,5 | | 59,7 | 59,3 | 54,5 | | 60,2 | 59 | 58,3 | | 38,7 |
| | 30,7 | 39,8 | 44,3 | | 60,8 | 61,7 | 55,5 | | 61 | 60,1 | 58,6 | | 40,1 |
| | 34,3 | 41 | 45,1 | | 62 | 61,8 | 56,5 | | 61,5 | 60,9 | 59,2 | | 41,4 |
| | 37,7 | 41,8 | 46,1 | | 62,1 | 62,7 | 56,9 | | 61,7 | 61,5 | 61,4 | | 42,4 |
| | 38 | 43,9 | 46,3 | | 62,4 | 62,9 | 58,3 | | 61,8 | 61,8 | 62,6 | | 43,3 |
| | 38 | 44,2 | | | 63,9 | 64,8 | 58,6 | | 62,4 | 63 | 63,1 | | 44,1 |
| | 40,5 | 45,4 | | | | | 60,1 | | 62,4 | 63 | 63,1 | | 46,5 |
| | 41,8 | | | | | | | | 63,7 | | | | 48,1 |
| | 44,3 | | | | | | | | | | | | 49,1 |
| | | | | | | | | | | 50,9 | | | |
| | | | | | | | | | | 51,7 | | | |
| Rata-rata | 39,2 | 40,9 | 45,06 | Rata-rata | 61,4 | 62,275 | 55,12 | Rata-rata | 61,68 | 60,66 | 59,375 | Rata-rata | 42,26 |

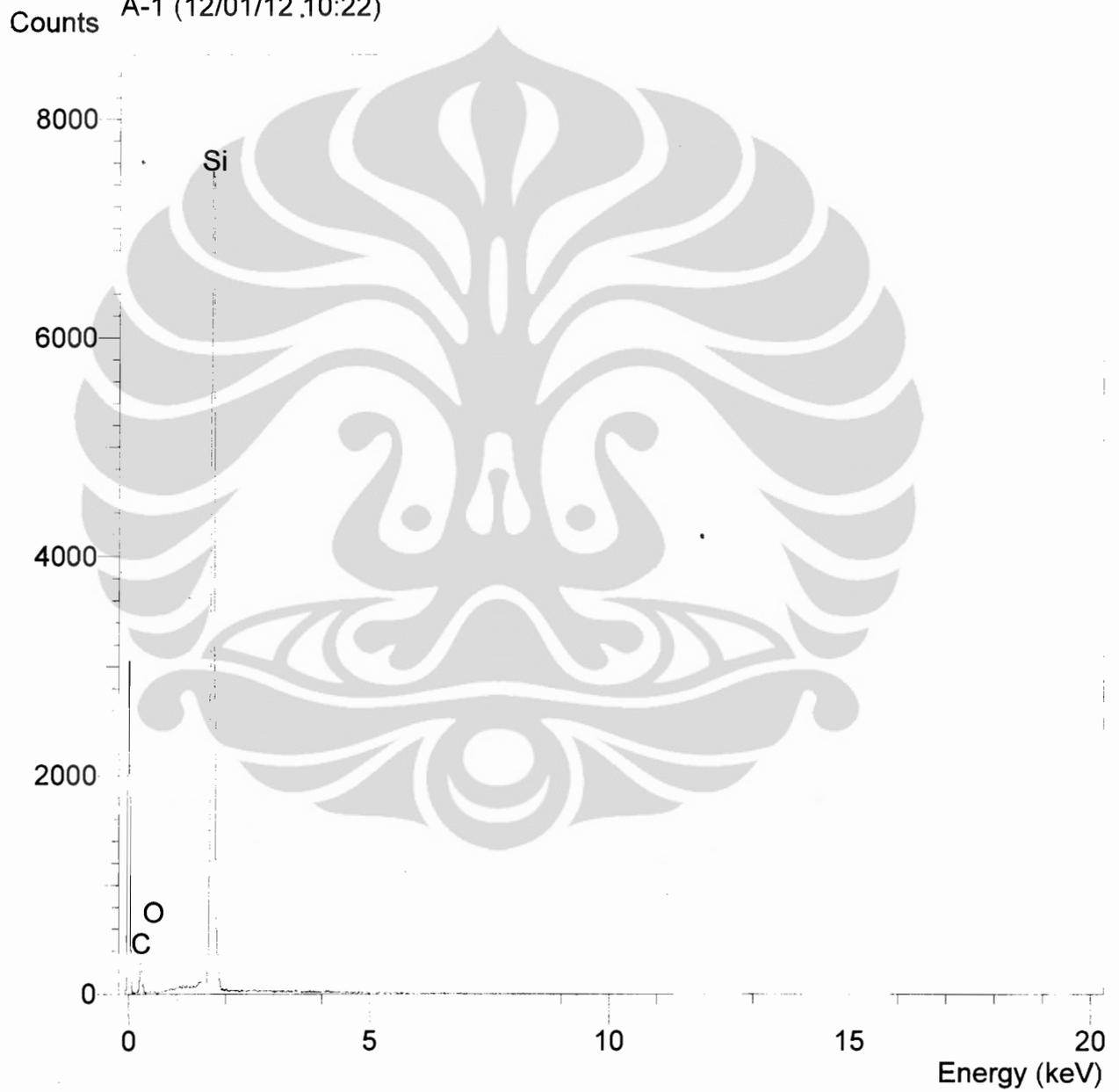
| No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (Menit) |
|-----------|---------------|------|-------|-----------|---------------|-------|-----------|-----------|---------------|-------|-------|-----------|---------------|
| | 5 | 15 | 30 | | 60 | 120 | 960 | | 240 | 360 | 480 | | 1440 |
| C1 | 29,1 | 31,2 | 36,9 | C8 | 57,3 | 54,7 | 56,9 | C4 | 59,5 | 53 | 52,9 | C2 | 34 |
| | 31,9 | 31,9 | 37,5 | | 57,6 | 58,5 | 57,8 | | 59,6 | 58,5 | 53,7 | | 38,7 |
| | 35,4 | 32,5 | 38,5 | | 57,9 | 61,2 | 58,9 | | 59,7 | 58,9 | 54,5 | | 39,1 |
| | 36,2 | 34,1 | 40 | | 58,6 | 61,5 | 59,6 | | 59,9 | 59 | 56,6 | | 39,8 |
| | 37,5 | 34,8 | 41,3 | | 59,4 | 62,5 | 59,8 | | 60,6 | 59,2 | 57 | | 41 |
| | 39,9 | 35 | 41,9 | | | 63,5 | 60,2 | | 60,8 | 59,6 | 57,8 | | 42,2 |
| | 40,2 | 35,9 | 44 | | | 63,7 | 60,5 | | | 59,8 | 58,7 | | 46 |
| | 41,8 | 35,9 | 43,4 | | | | 62,7 | | | 60,6 | 60,6 | | 47,4 |
| | | 37,2 | | | | | 63,1 | | | 61,1 | 61,3 | | 48,7 |
| | | 38 | | | | | | | | | | | |
| | 40,8 | | | | | | | | | | | | |
| | 42,4 | | | | | | | | | | | | |
| Rata-rata | 39,12 | 39,6 | 42,12 | Rata-rata | 58,16 | 62,48 | 57,866667 | Rata-rata | 60,25 | 59,64 | 59,08 | Rata-rata | 47,36667 |

| No sampel | Waktu (menit) | | No sampel | Waktu (menit) | | | No sampel | Waktu (menit) | | |
|-----------|---------------|----------|-----------|---------------|---------|----------|-----------|---------------|-------|---------|
| | 5 | 15 | | 60 | 120 | 240 | | 360 | 480 | 960 |
| A3 | 30,1 | 26,8 | A2 | | 55,2 | 56 | A1 | 46,5 | 48,4 | 44,1 |
| | 31,7 | 26,9 | | 34,1 | 55,2 | 57,3 | | 47,1 | 49 | 45,1 |
| | 32,6 | 27,9 | | 35 | 56,9 | 58,1 | | 50,9 | 49,1 | 46,7 |
| | 33,4 | 30,3 | | 36,8 | 59,9 | 58,3 | | 50,9 | 50,1 | 47,6 |
| | 33,9 | 31,9 | | 36,9 | 60 | 58,7 | | 52,9 | 54,6 | 48,4 |
| | 36 | 32,1 | | 38,2 | 60,1 | 59,5 | | 53,7 | | 48,6 |
| | 36,9 | 32,2 | | 39,1 | 60,5 | 59,8 | | 54 | | 51,5 |
| | 38,9 | 33,6 | | 39,5 | 60,7 | 60,3 | | | | 52,7 |
| | 39,1 | 39 | | | | 60,6 | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| Rata-rata | 34,73333 | 31,18889 | Rata-rata | 37,08571 | 58,5625 | 58,73333 | Rata-rata | 50,857143 | 50,24 | 48,0875 |

Hasil Impak Komposit dengan *Heat Treatment*

| Komposisi | Luas area dibawah takik (m ²) | Energi (J) | Harga impak (J/m ²) |
|----------------|---|------------|---------------------------------|
| 2Mg 5Zn | 0,012528 | 26 | 2.075,35 |
| 4Mg 5Zn | 0,012638 | 38 | 3.006,80 |
| 6Mg 5Zn | 0,011316 | 35 | 3.257,12 |
| 2Mg 5Zn | 0,012528 | 26 | 2.075,35 |
| 2Mg 5Zn rolled | 0,01269 | 34 | 2.679,28 |

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-1 (12/01/12.10:22)



SEMQuant results. Listed at 11:50:19 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-1

System resolution = 59 eV

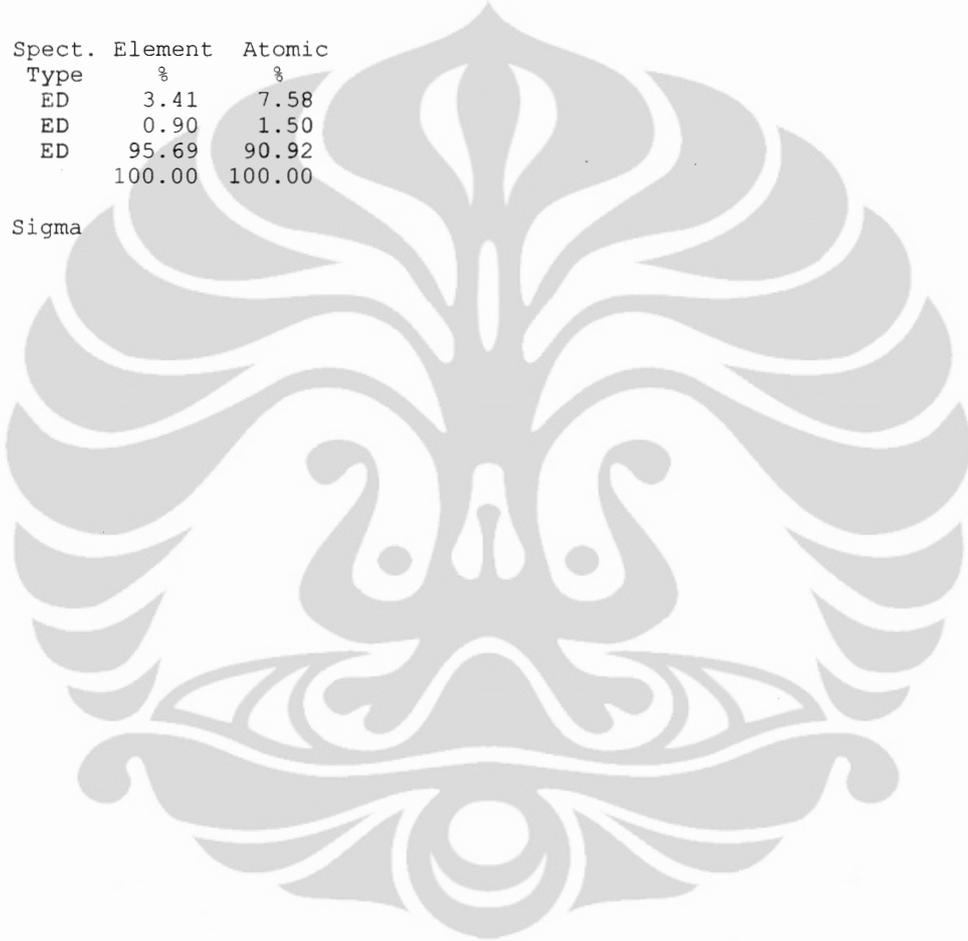
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

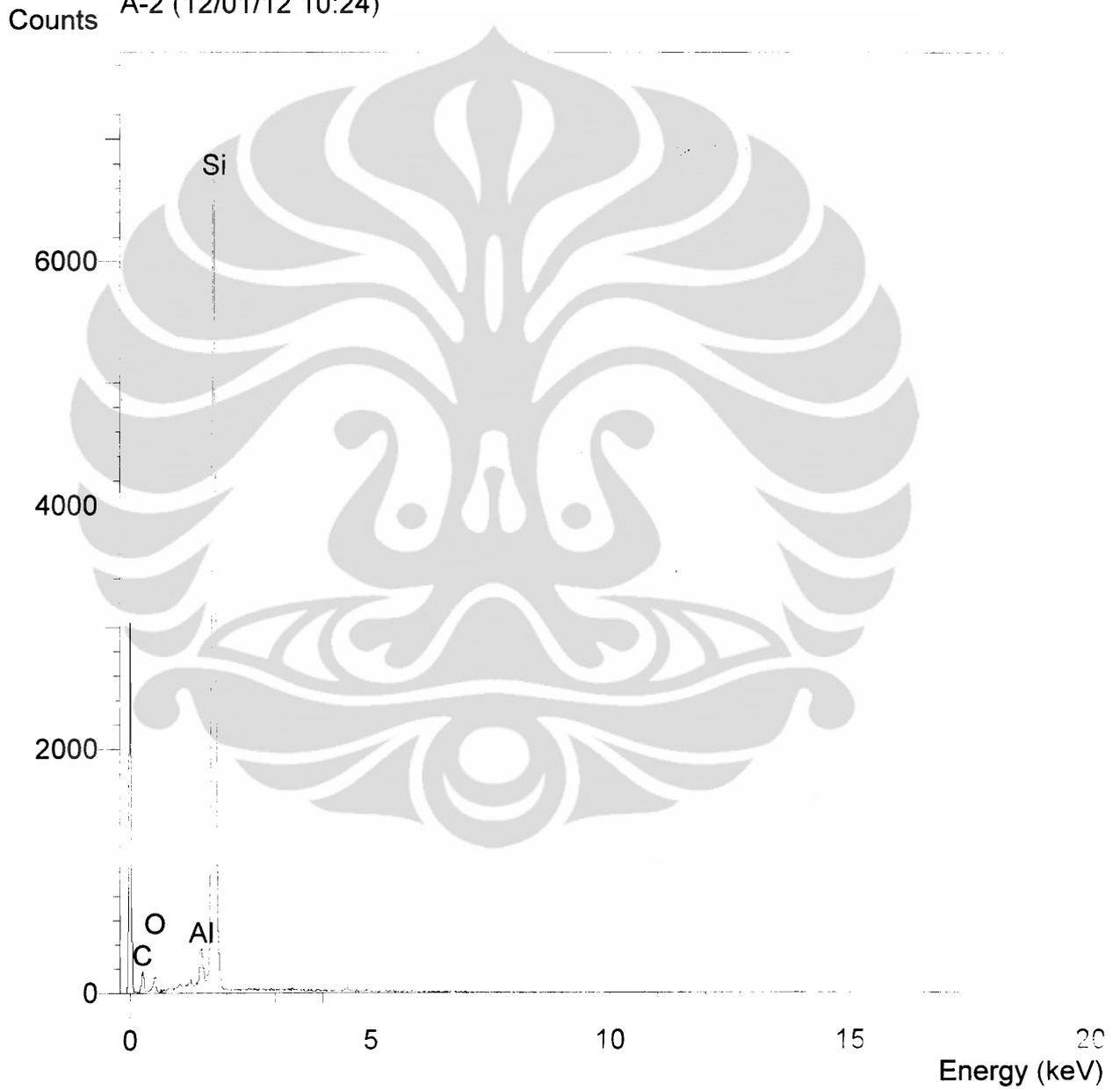
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 3.41 | 7.58 |
| O K | ED | 0.90 | 1.50 |
| Si K | ED | 95.69 | 90.92 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-2 (12/01/12 10:24)



SEMQuant results. Listed at 11:50:30 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-2

System resolution = 59 eV

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

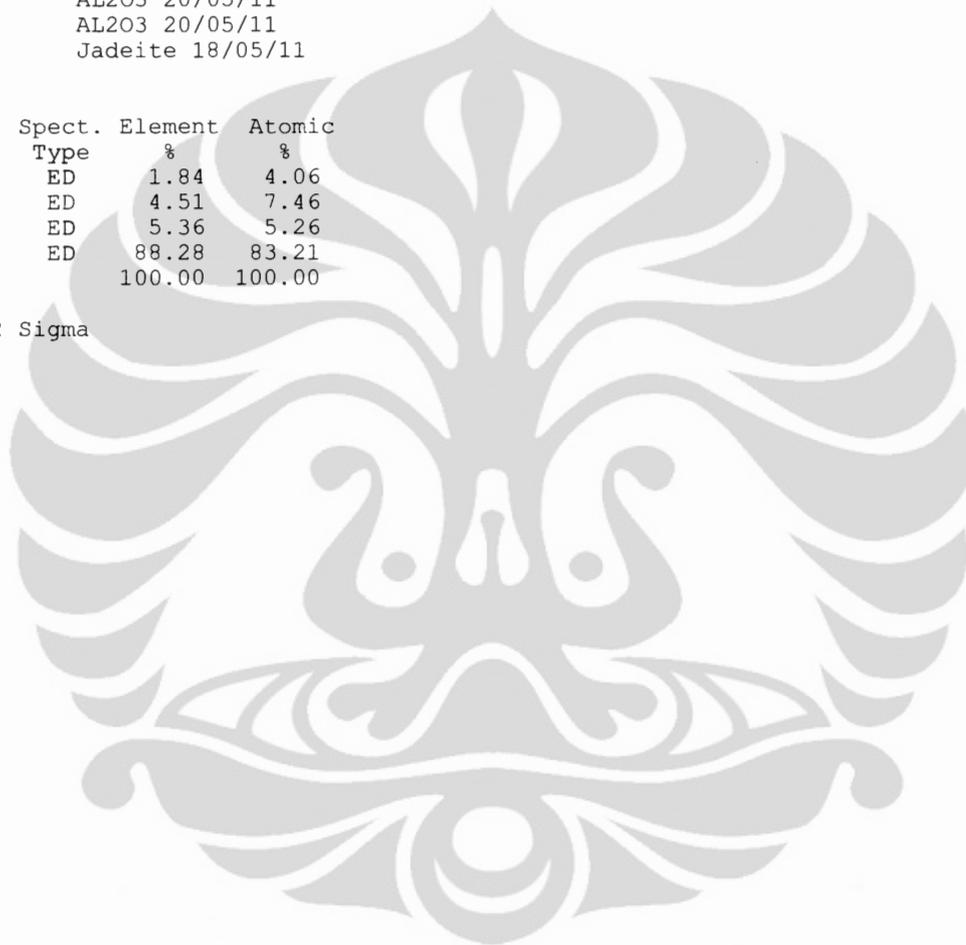
1 peak possibly omitted: 4.50 keV

Standards :

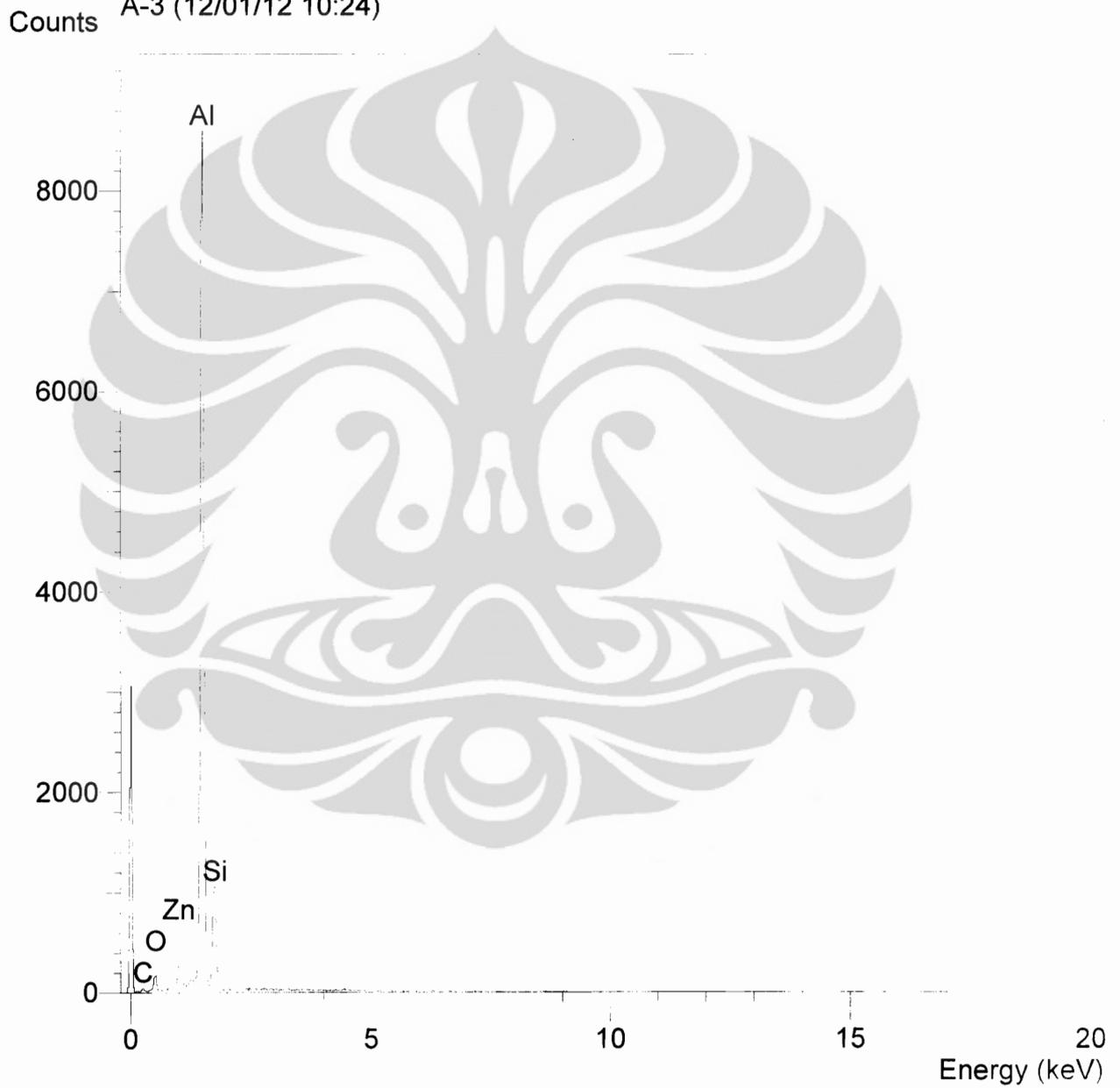
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.84 | 4.06 |
| O K | ED | 4.51 | 7.46 |
| Al K | ED | 5.36 | 5.26 |
| Si K | ED | 88.28 | 83.21 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-3 (12/01/12 10:24)



SEMQuant results. Listed at 11:50:40 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-3

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

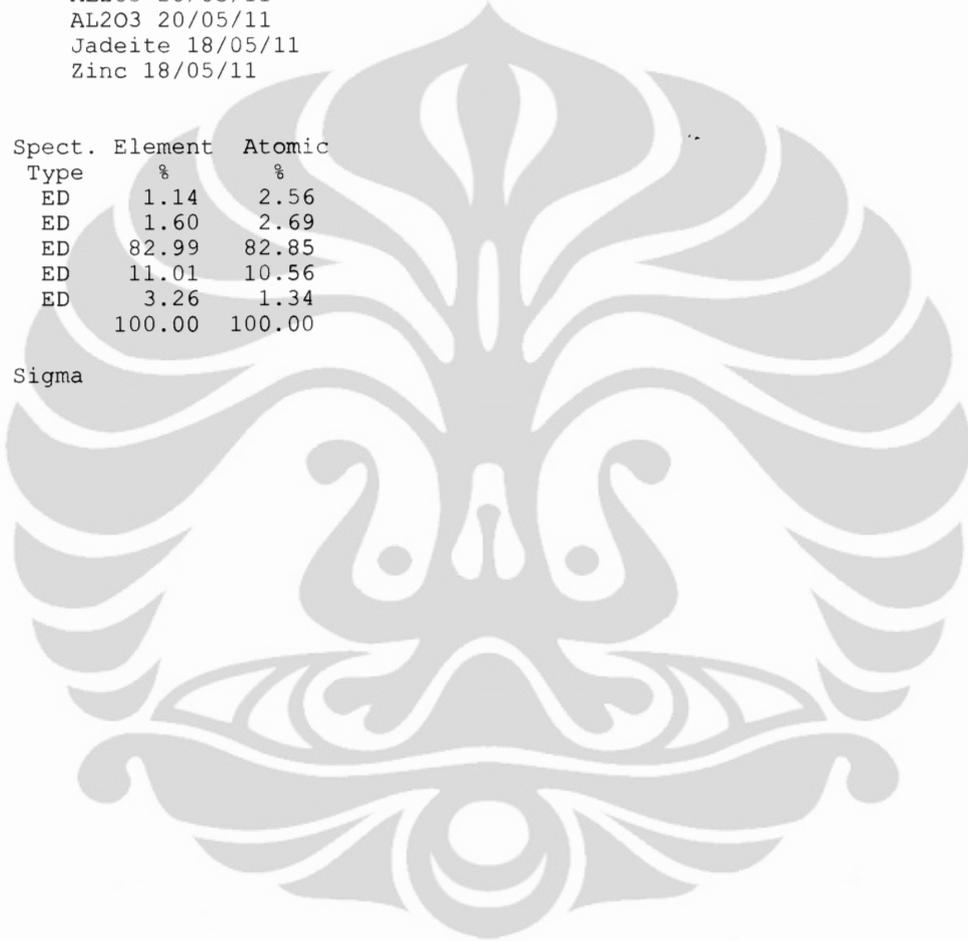
1 peak possibly omitted: 4.48 keV

Standards :

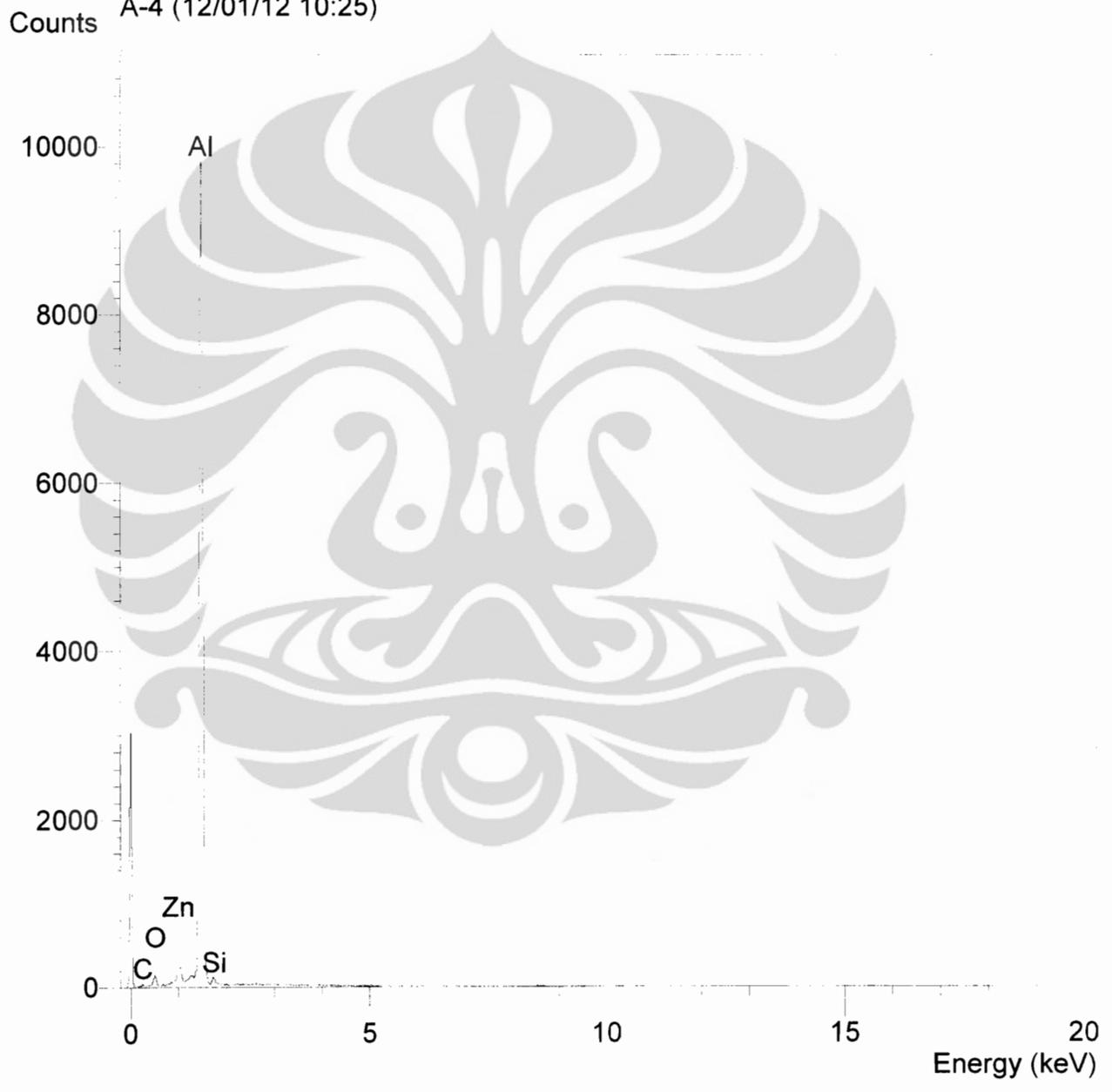
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.14 | 2.56 |
| O K | ED | 1.60 | 2.69 |
| Al K | ED | 82.99 | 82.85 |
| Si K | ED | 11.01 | 10.56 |
| Zn L | ED | 3.26 | 1.34 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-4 (12/01/12 10:25)



SEMQuant results. Listed at 11:50:48 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-4

System resolution = 61 eV

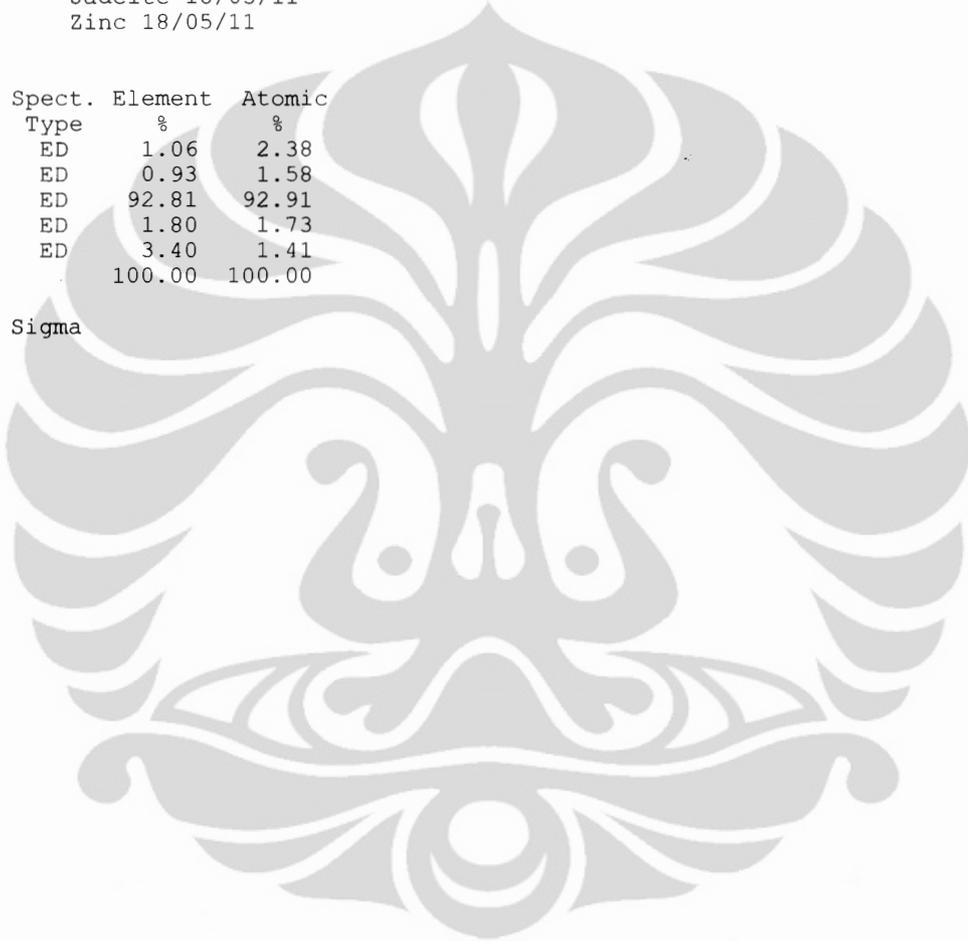
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

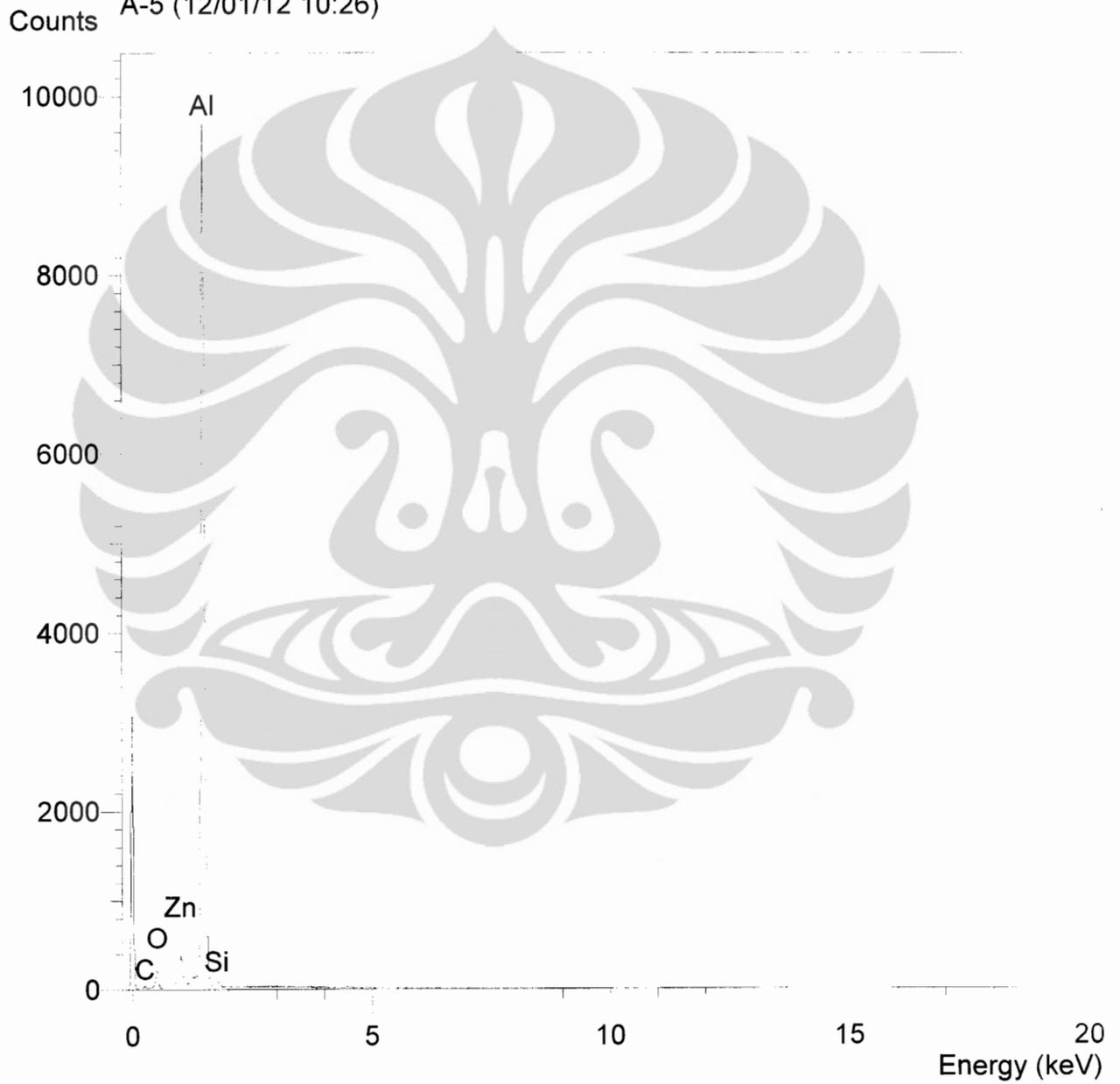
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.06 | 2.38 |
| O K | ED | 0.93 | 1.58 |
| Al K | ED | 92.81 | 92.91 |
| Si K | ED | 1.80 | 1.73 |
| Zn L | ED | 3.40 | 1.41 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-5 (12/01/12 10:26)



SEMQuant results. Listed at 11:50:55 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-5

System resolution = 61 eV

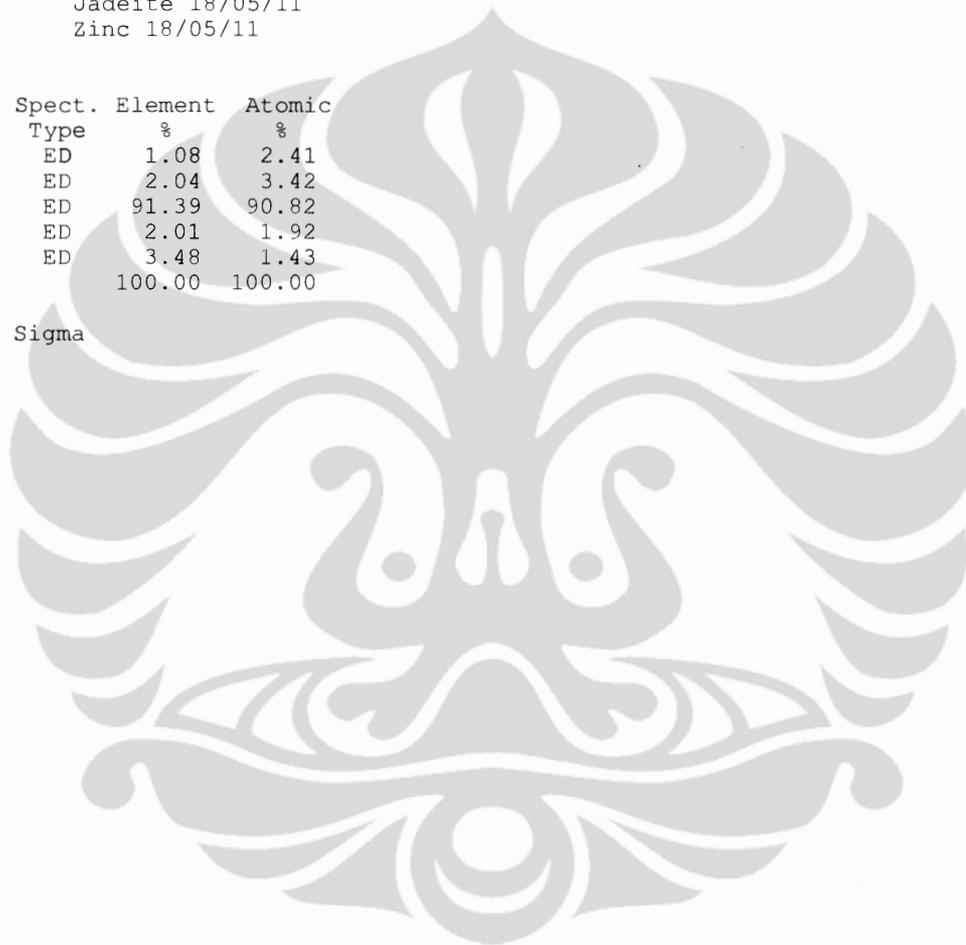
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

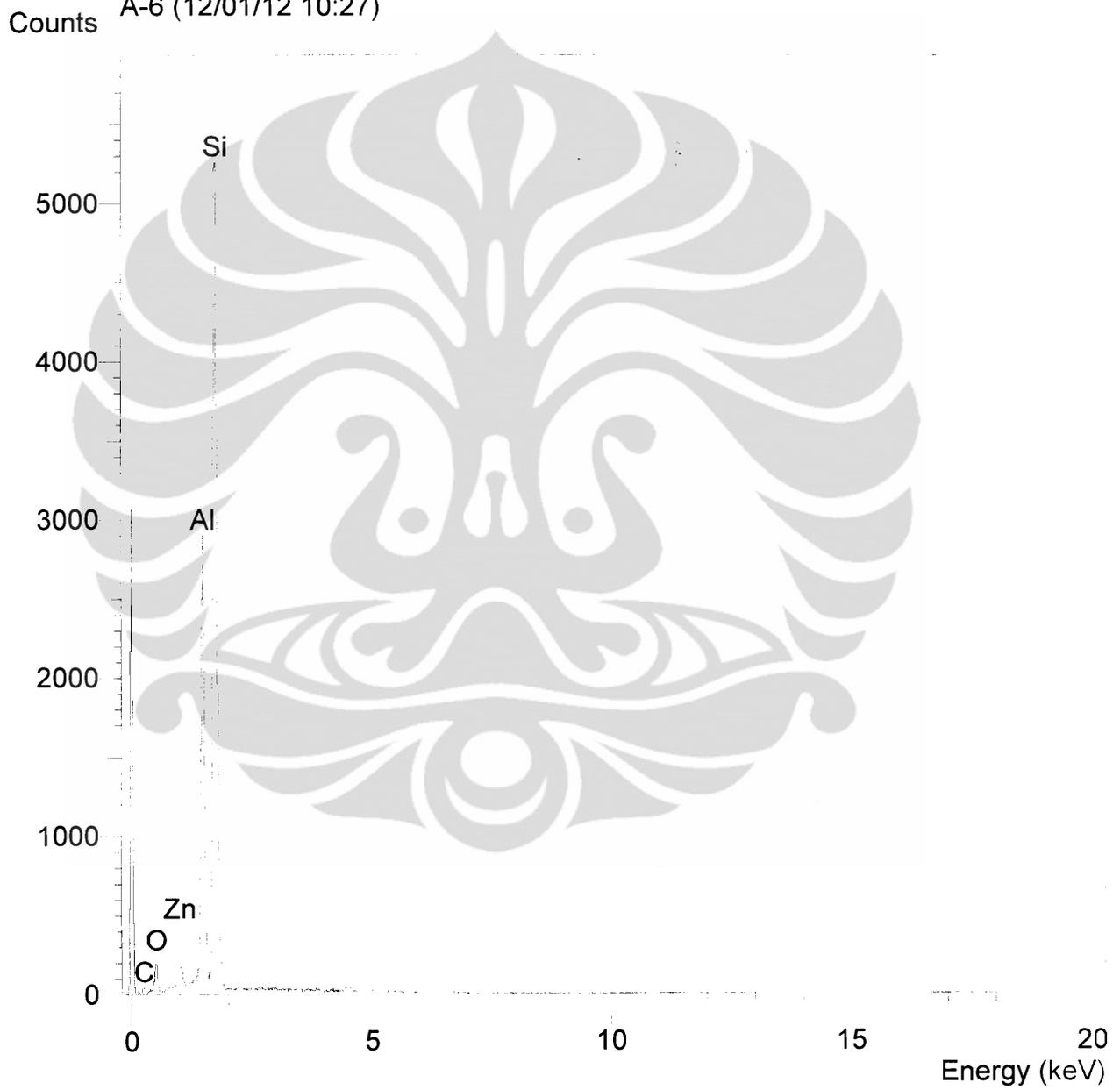
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.08 | 2.41 |
| O K | ED | 2.04 | 3.42 |
| Al K | ED | 91.39 | 90.82 |
| Si K | ED | 2.01 | 1.92 |
| Zn L | ED | 3.48 | 1.43 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-6 (12/01/12 10:27)



SEMQuant results. Listed at 11:51:02 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-6

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 4.50 keV

Standards :

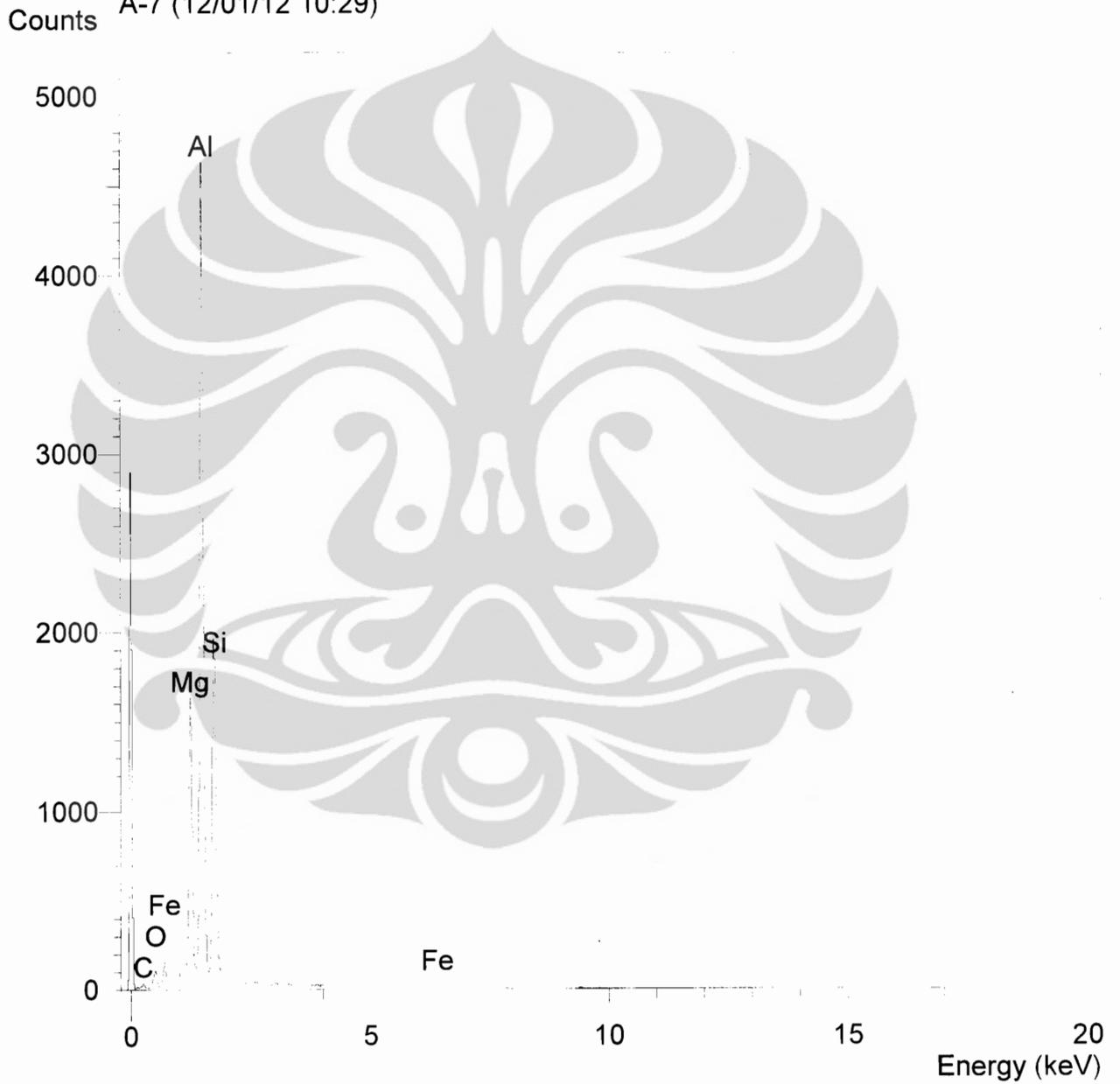
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.92 | 4.27 |
| O K | ED | 3.15 | 5.26 |
| Al K | ED | 36.89 | 36.46 |
| Si K | ED | 56.04 | 53.20 |
| Zn L | ED | 2.00 | 0.82 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
A-7 (12/01/12 10:29)



SEMQuant results. Listed at 11:51:15 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: A-7

System resolution = 60 eV

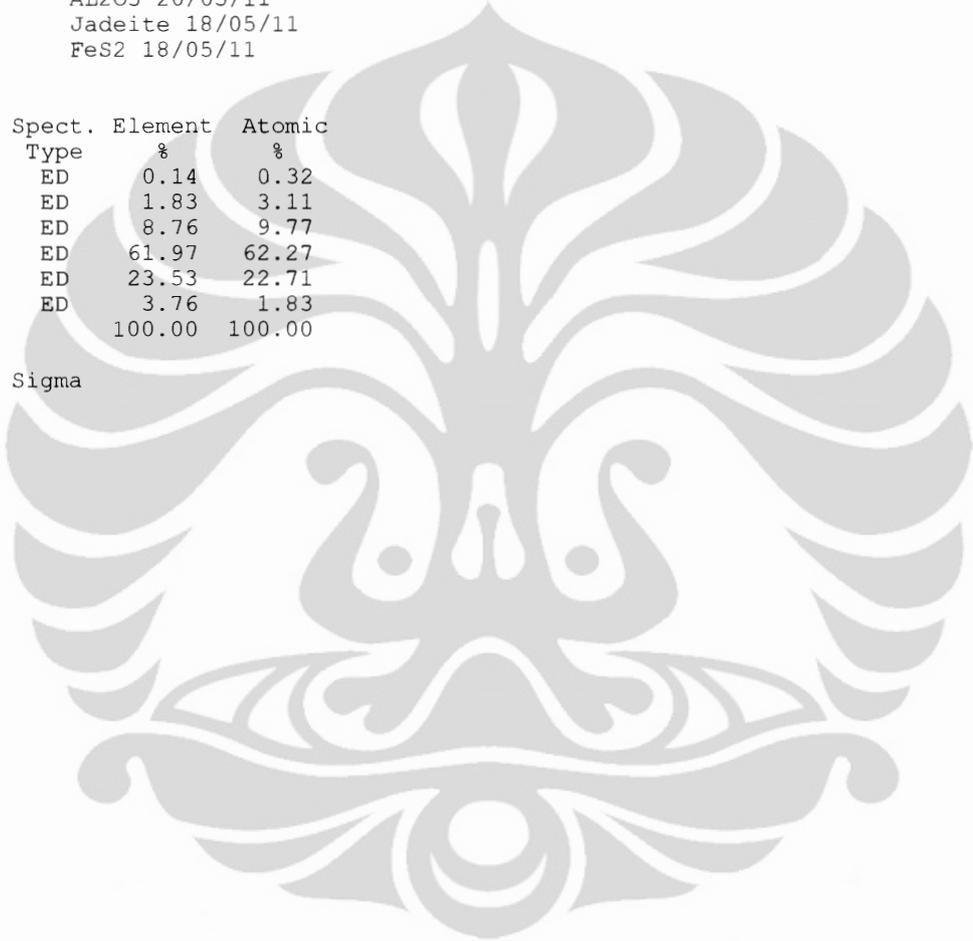
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

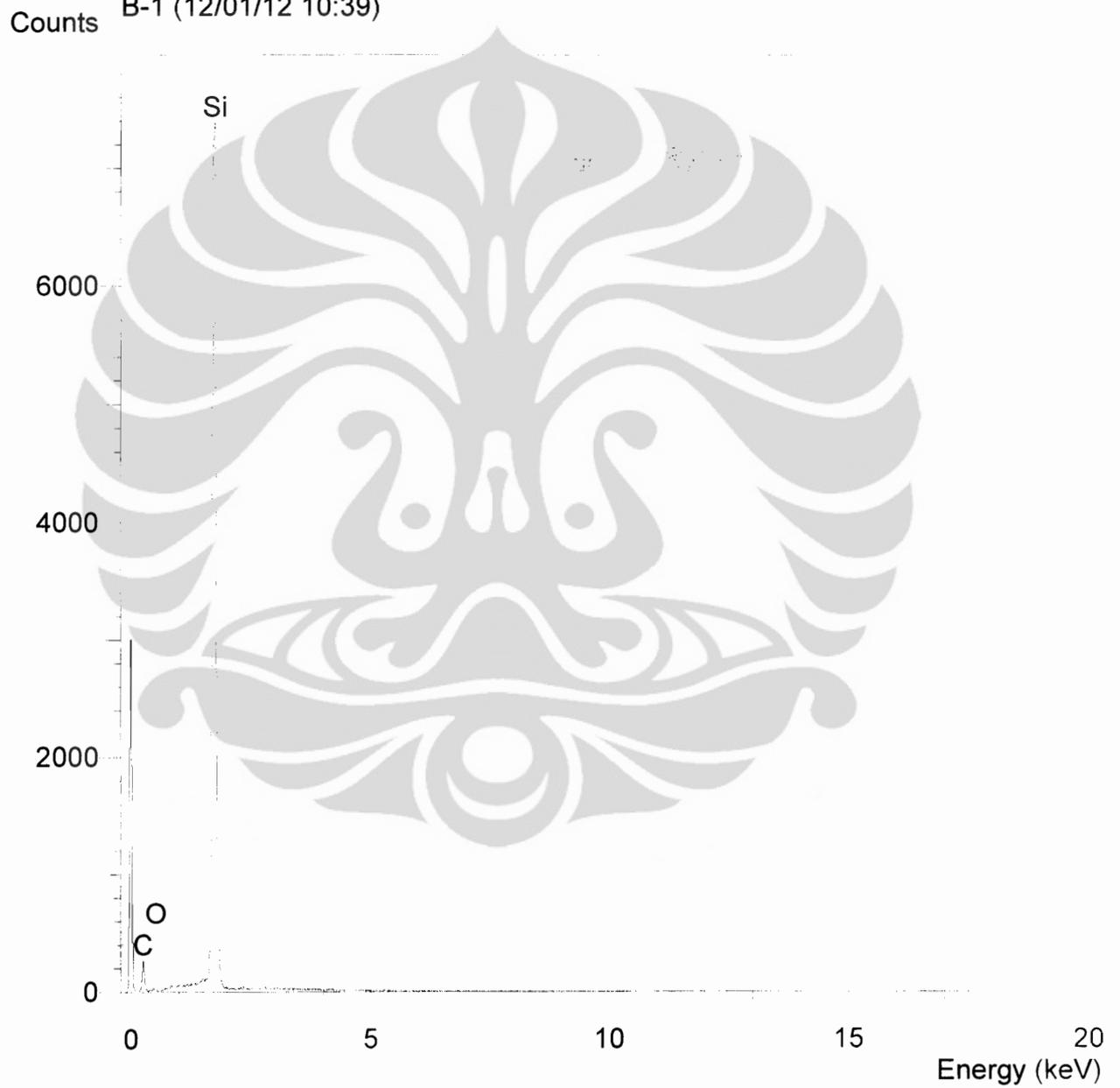
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 0.14 | 0.32 |
| O K | ED | 1.83 | 3.11 |
| Mg K | ED | 8.76 | 9.77 |
| Al K | ED | 61.97 | 62.27 |
| Si K | ED | 23.53 | 22.71 |
| Fe K | ED | 3.76 | 1.83 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-1 (12/01/12 10:39)



SEMQuant results. Listed at 11:52:53 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-1

System resolution = 59 eV

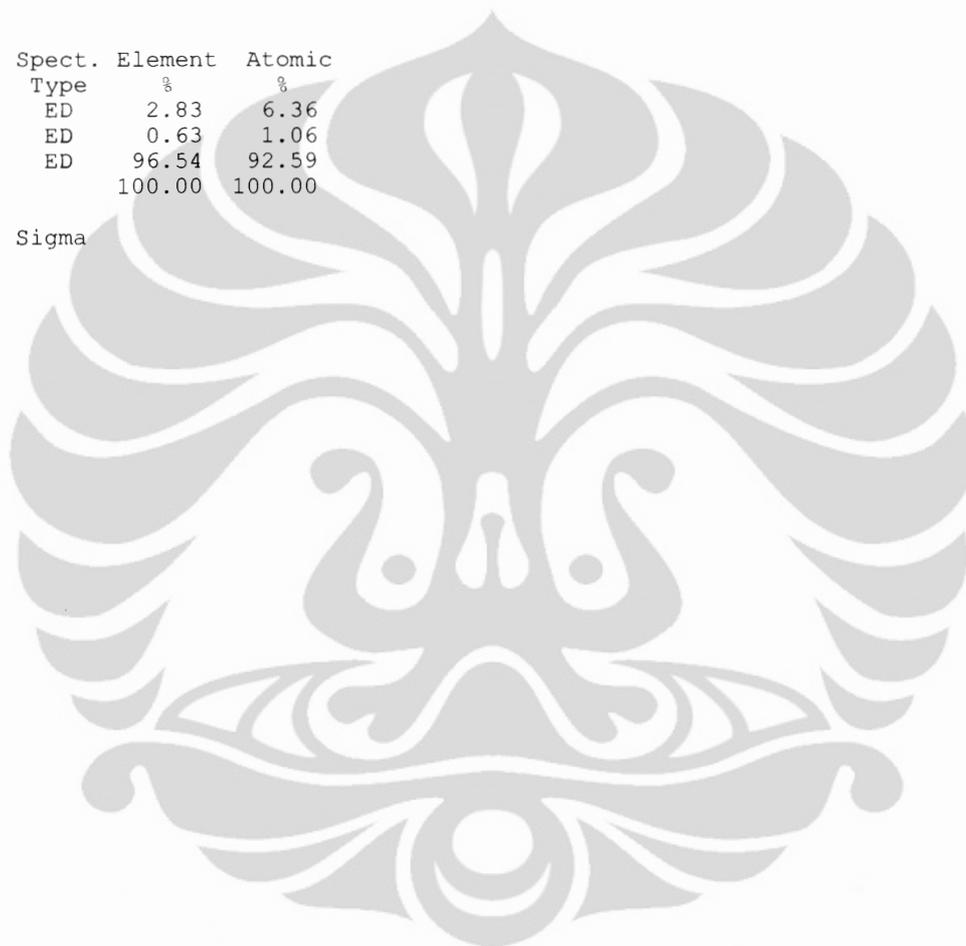
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

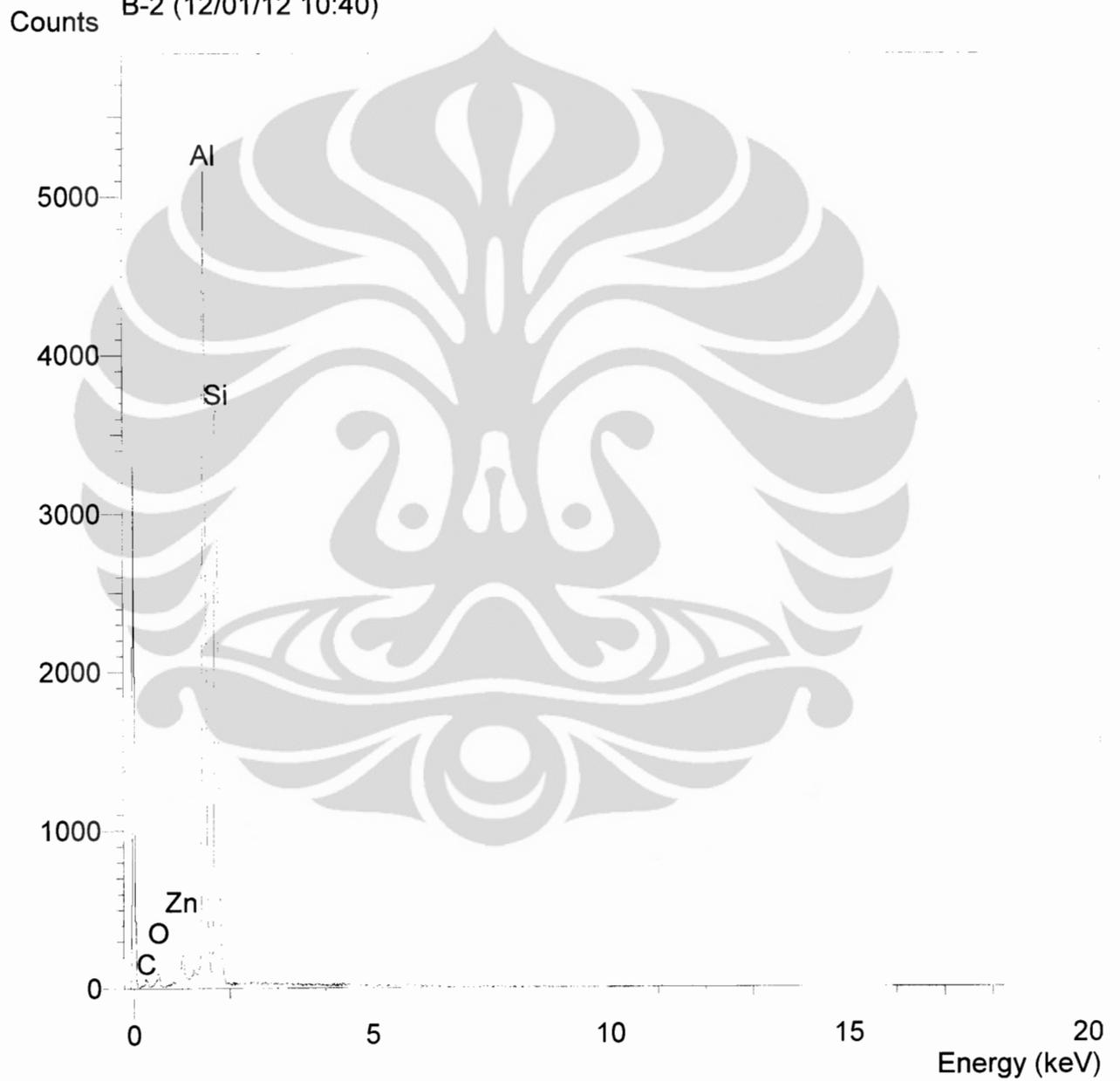
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 2.83 | 6.36 |
| O K | ED | 0.63 | 1.06 |
| Si K | ED | 96.54 | 92.59 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-2 (12/01/12 10:40)



SEMQuant results. Listed at 11:53:11 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-2

System resolution = 61 eV

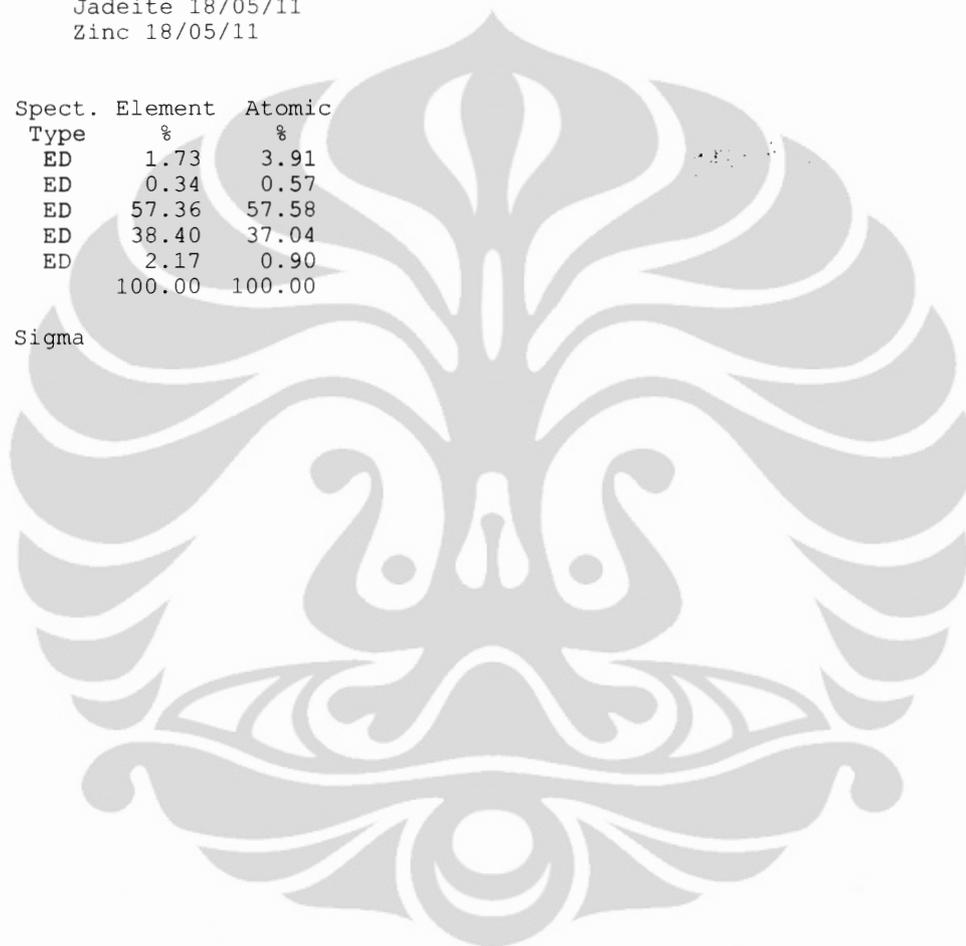
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

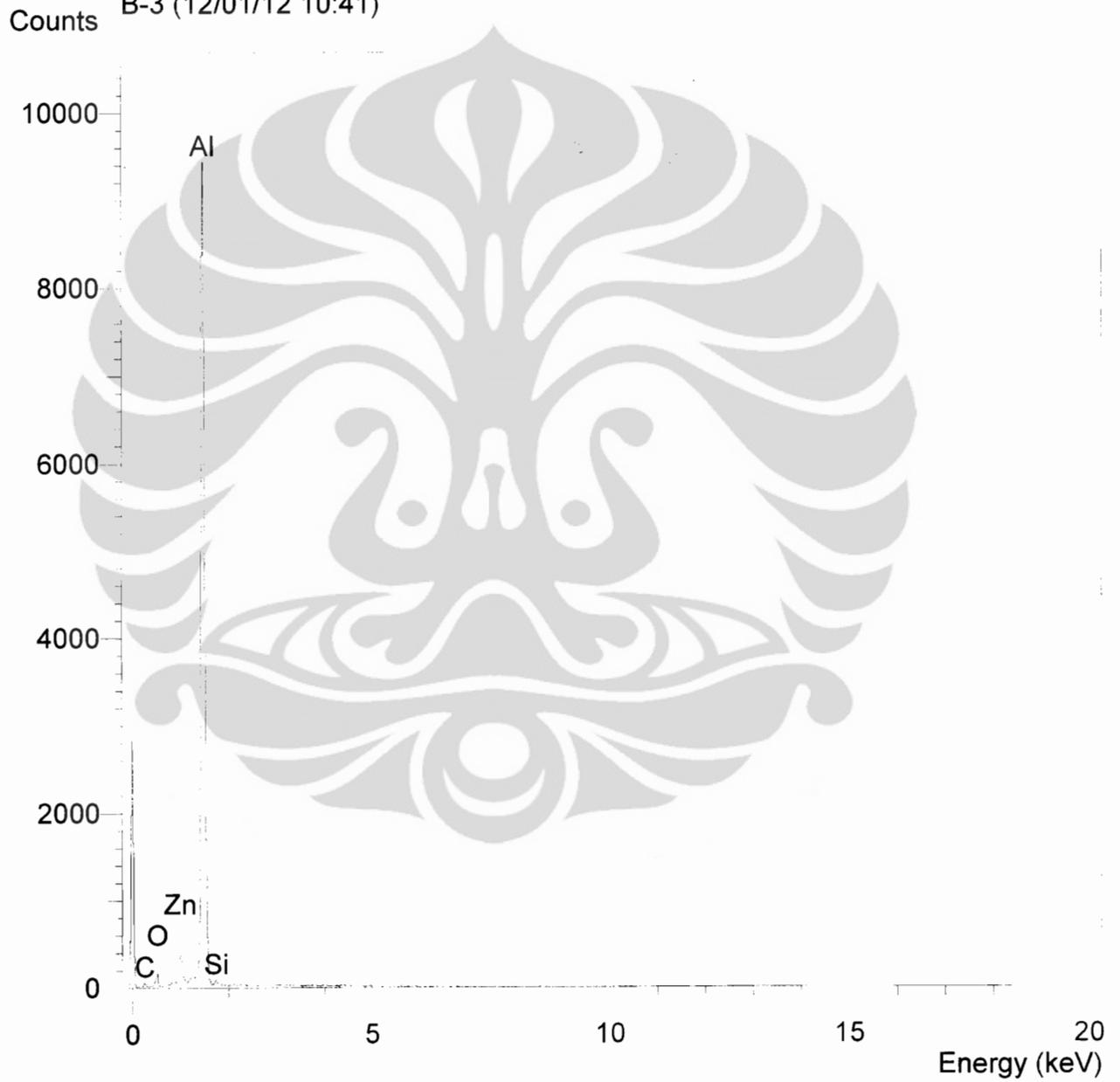
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|----------------|--------------|-------------|
| C K | ED | 1.73 | 3.91 |
| O K | ED | 0.34 | 0.57 |
| Al K | ED | 57.36 | 57.58 |
| Si K | ED | 38.40 | 37.04 |
| Zn L | ED | 2.17 | 0.90 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-3 (12/01/12 10:41)



SEMQuant results. Listed at 11:53:17 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-3

System resolution = 61 eV

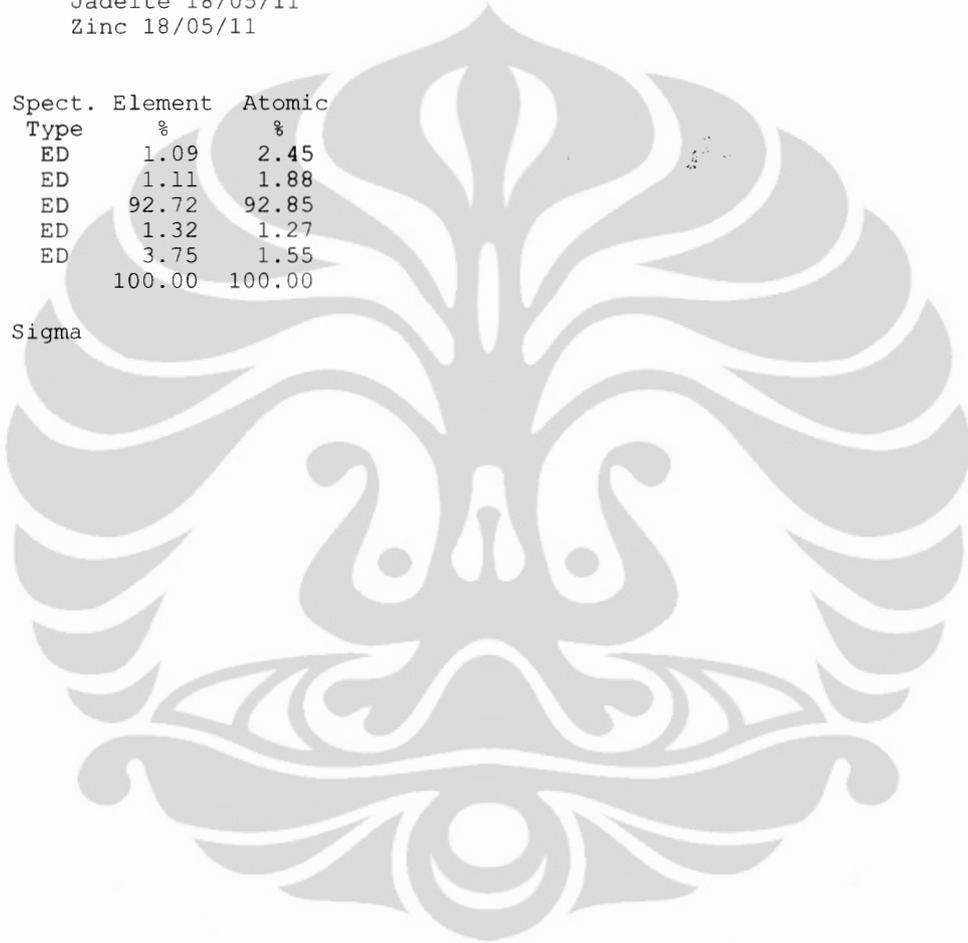
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

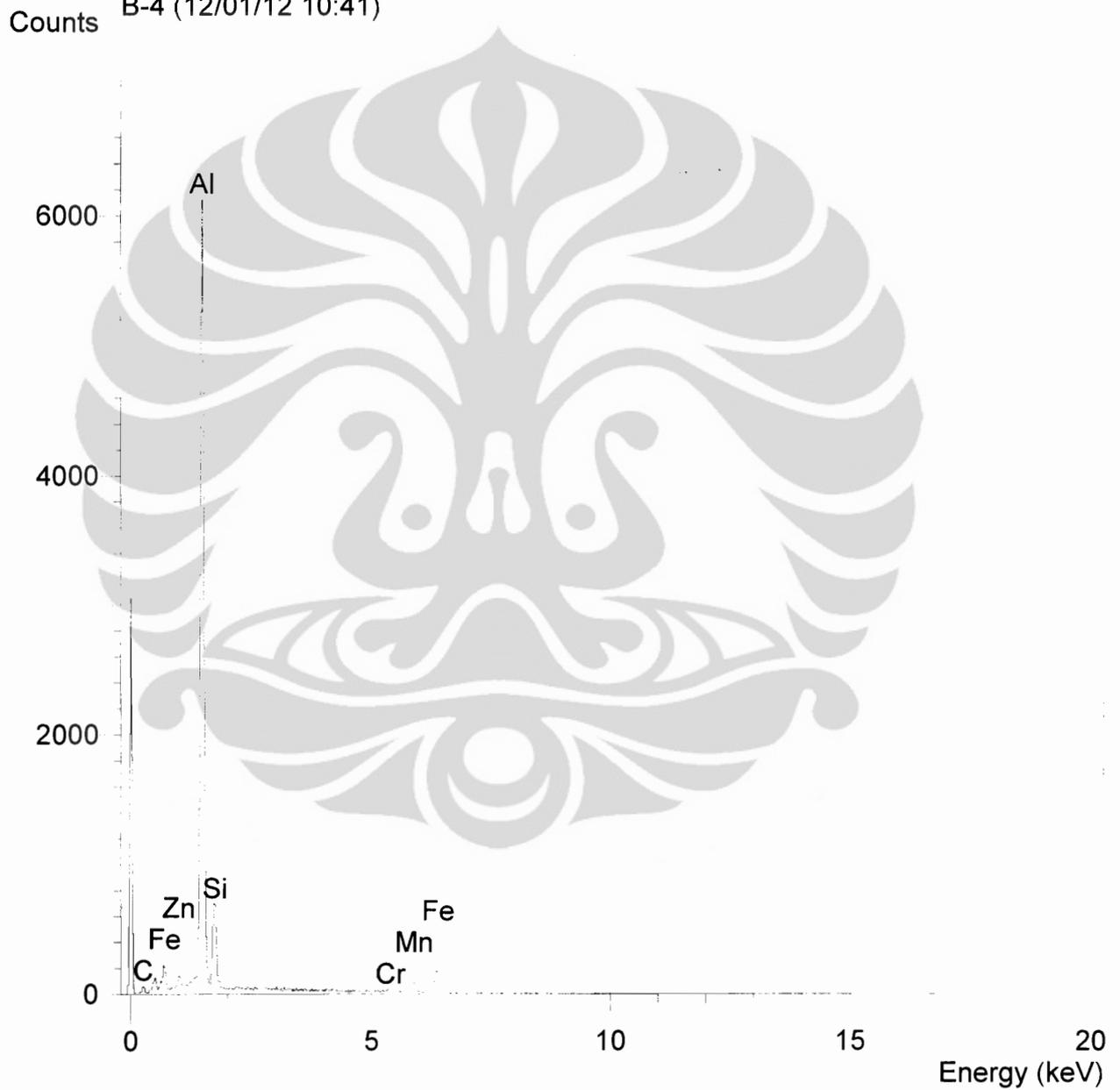
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.09 | 2.45 |
| O K | ED | 1.11 | 1.88 |
| Al K | ED | 92.72 | 92.85 |
| Si K | ED | 1.32 | 1.27 |
| Zn L | ED | 3.75 | 1.55 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-4 (12/01/12 10:41)



SEMQuant results. Listed at 11:53:29 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-4

System resolution = 62 eV

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

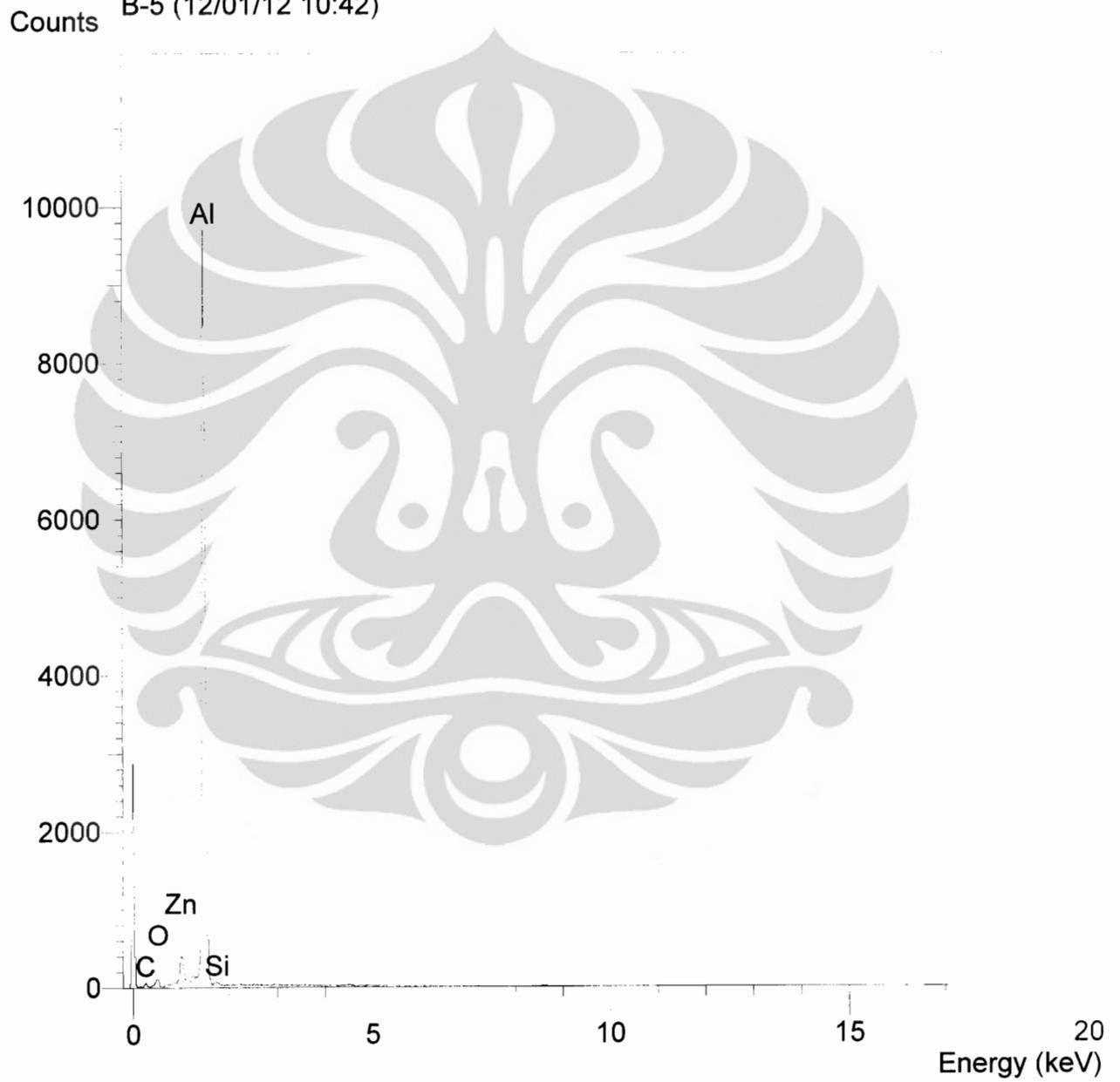
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Cr K Chromium 18/05/11
Mn K Mangan 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.34 | 3.18 |
| O K | ED | 0.00* | 0.00* |
| Al K | ED | 76.82 | 81.27 |
| Si K | ED | 8.83 | 8.98 |
| Cr K | ED | 0.60 | 0.33 |
| Mn K | ED | 2.44 | 1.27 |
| Fe K | ED | 8.26 | 4.22 |
| Zn L | ED | 1.70 | 0.74 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-5 (12/01/12 10:42)



SEMQuant results. Listed at 11:53:41 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-5

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

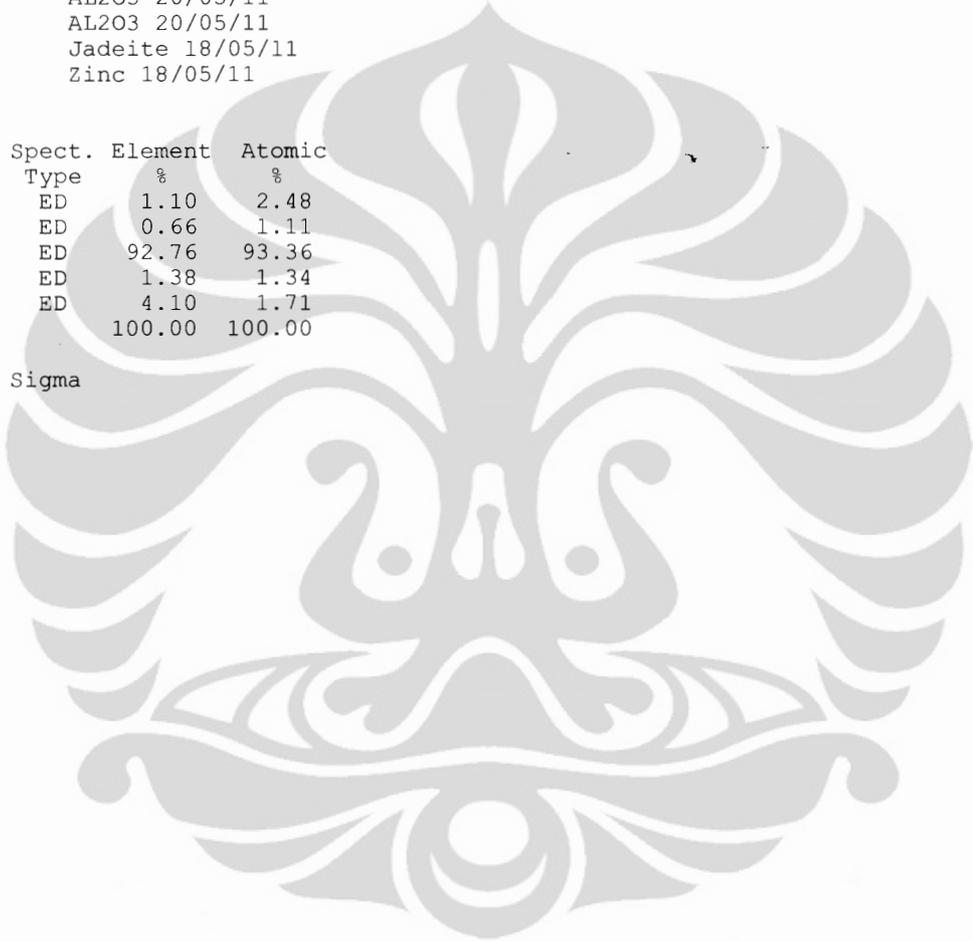
1 peak possibly omitted: 4.52 keV

Standards :

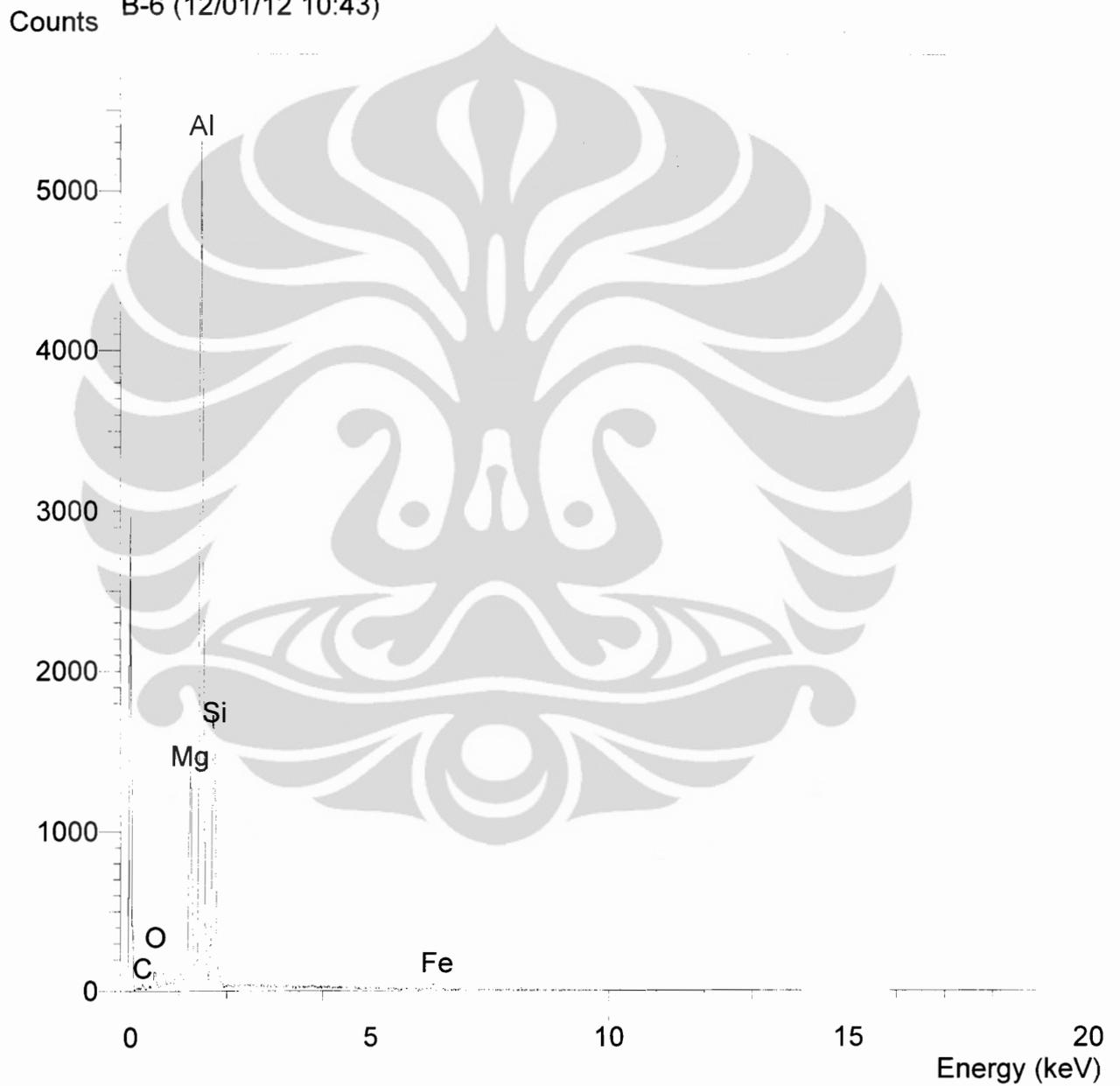
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.10 | 2.48 |
| O K | ED | 0.66 | 1.11 |
| Al K | ED | 92.76 | 93.36 |
| Si K | ED | 1.38 | 1.34 |
| Zn L | ED | 4.10 | 1.71 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-6 (12/01/12 10:43)



SEMQuant results. Listed at 11:53:53 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-6

System resolution = 60 eV

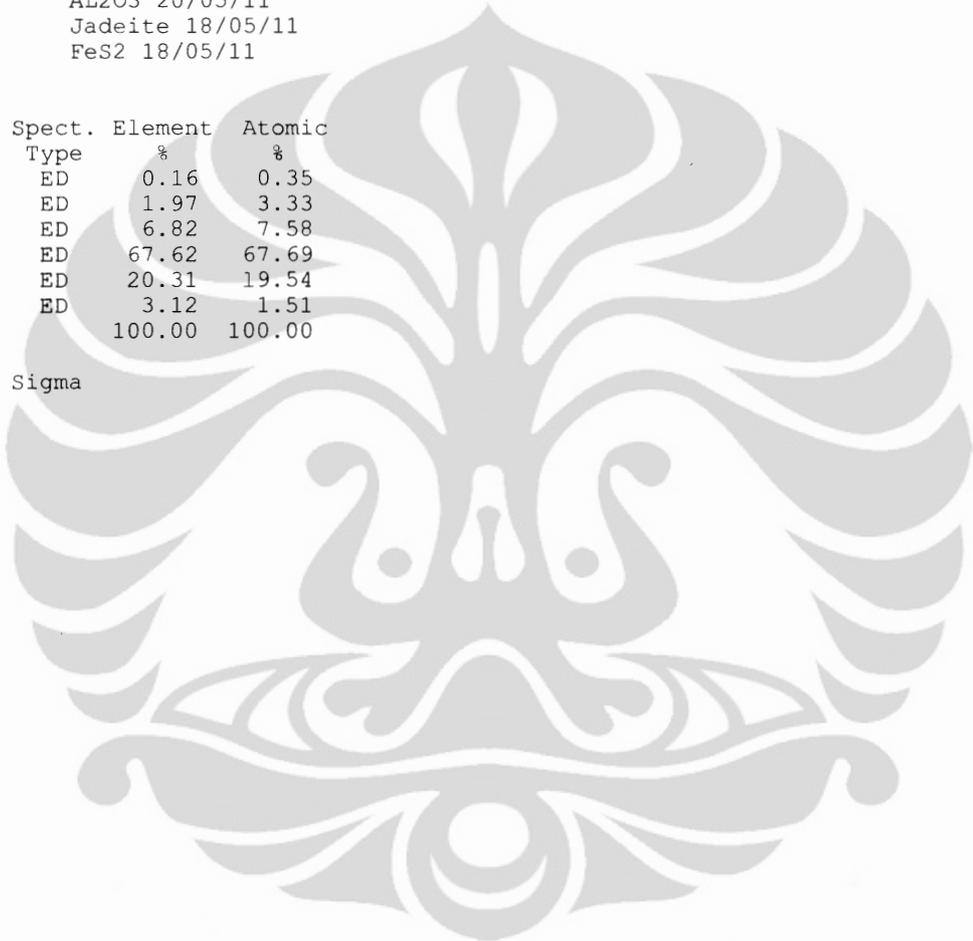
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

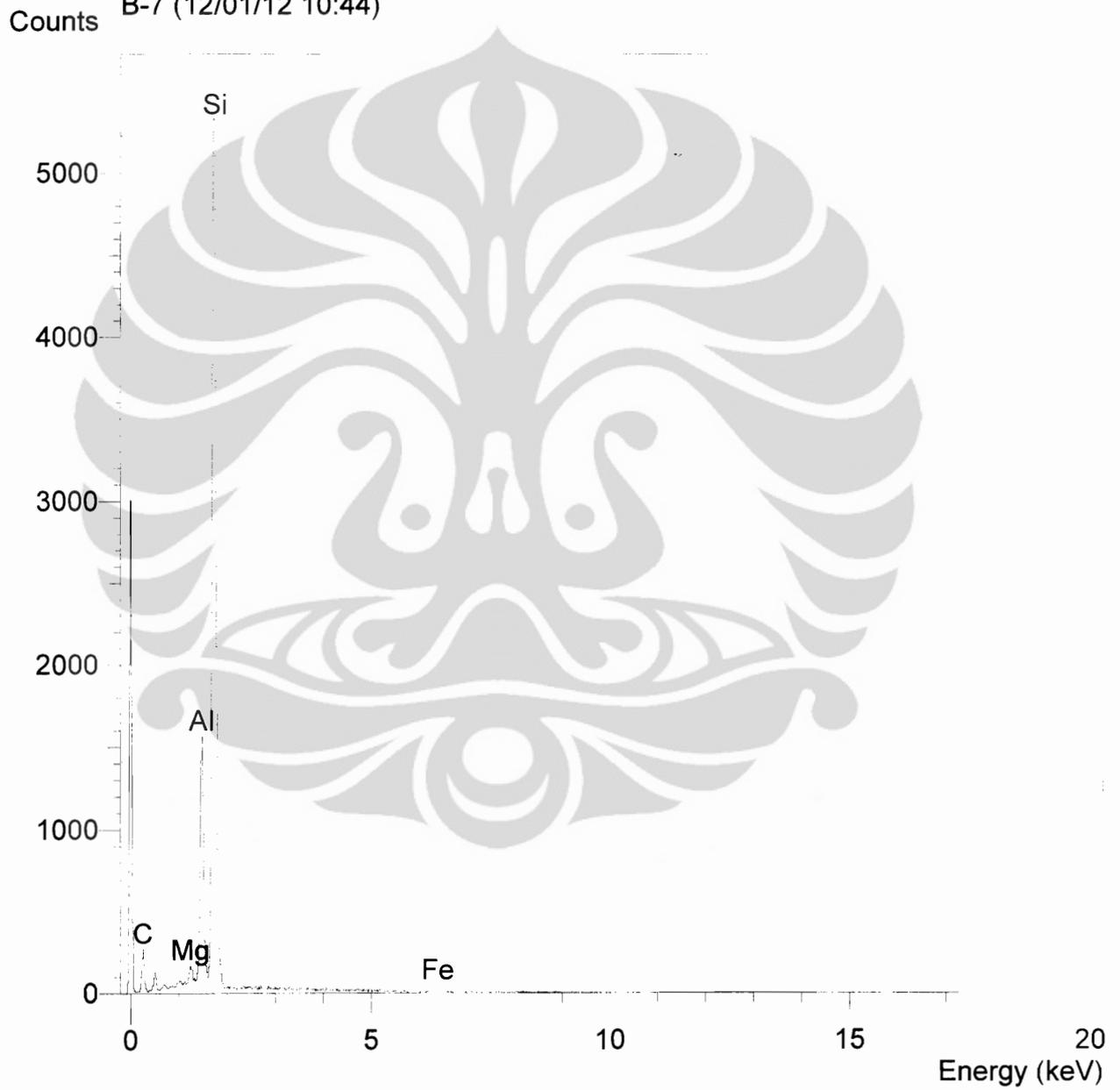
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 0.16 | 0.35 |
| O K | ED | 1.97 | 3.33 |
| Mg K | ED | 6.82 | 7.58 |
| Al K | ED | 67.62 | 67.69 |
| Si K | ED | 20.31 | 19.54 |
| Fe K | ED | 3.12 | 1.51 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
B-7 (12/01/12 10:44)



SEMQuant results. Listed at 11:54:07 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: B-7

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 5.90 keV

Standards :

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

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 4.03 | 8.94 |
| Mg K | ED | 0.57 | 0.63 |
| Al K | ED | 25.23 | 24.90 |
| Si K | ED | 68.04 | 64.52 |
| Fe K | ED | 2.12 | 1.01 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



SEMQuant results. Listed at 11:54:21 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: C-1

System resolution = 59 eV

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

Standards :

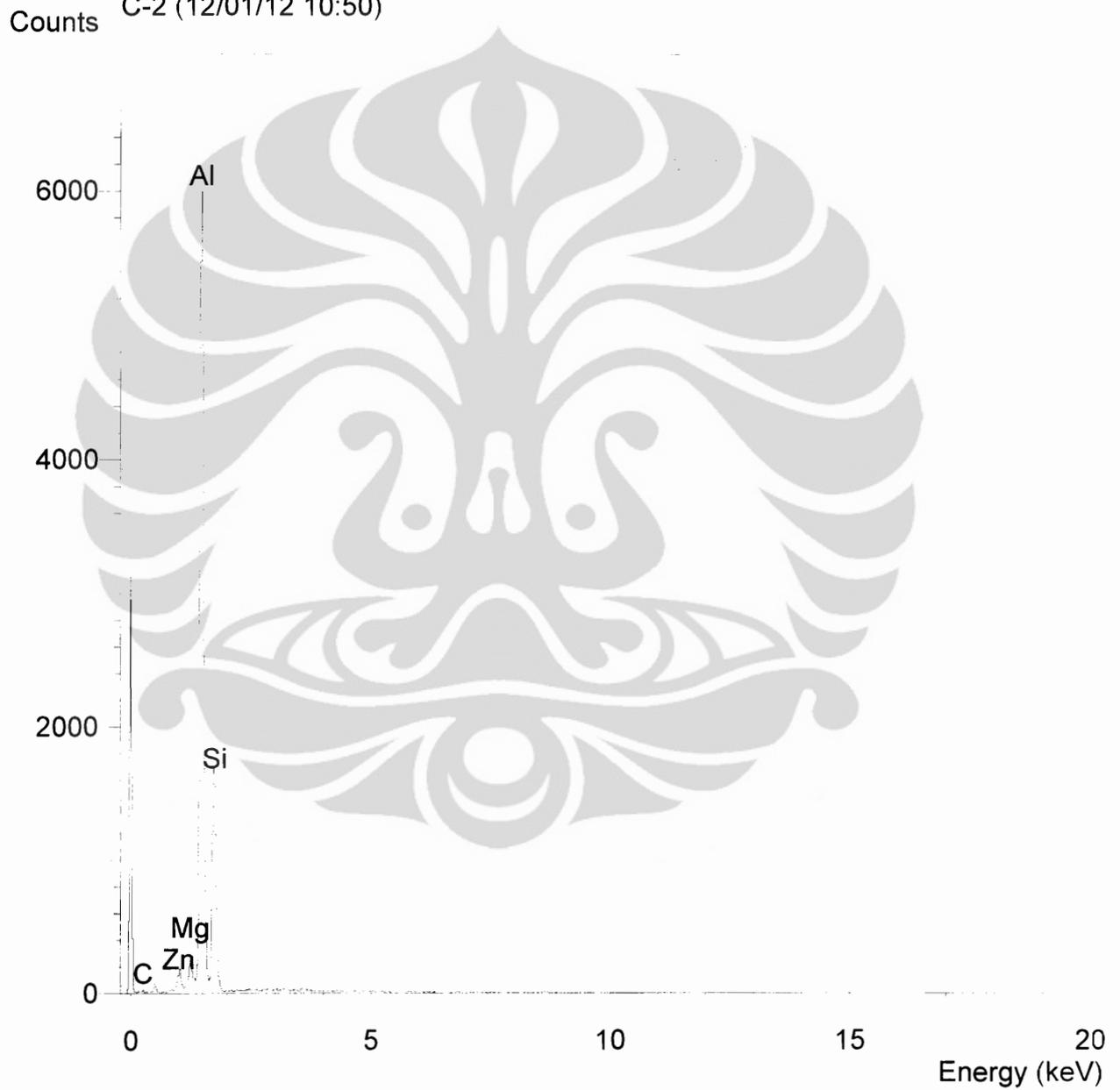
C K Carbon Low 13/09/06
Si K Jadeite 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 3.18 | 7.13 |
| Si K | ED | 96.82 | 92.87 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
C-2 (12/01/12 10:50)



SEMQuant results. Listed at 11:54:35 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: C-2

System resolution = 61 eV

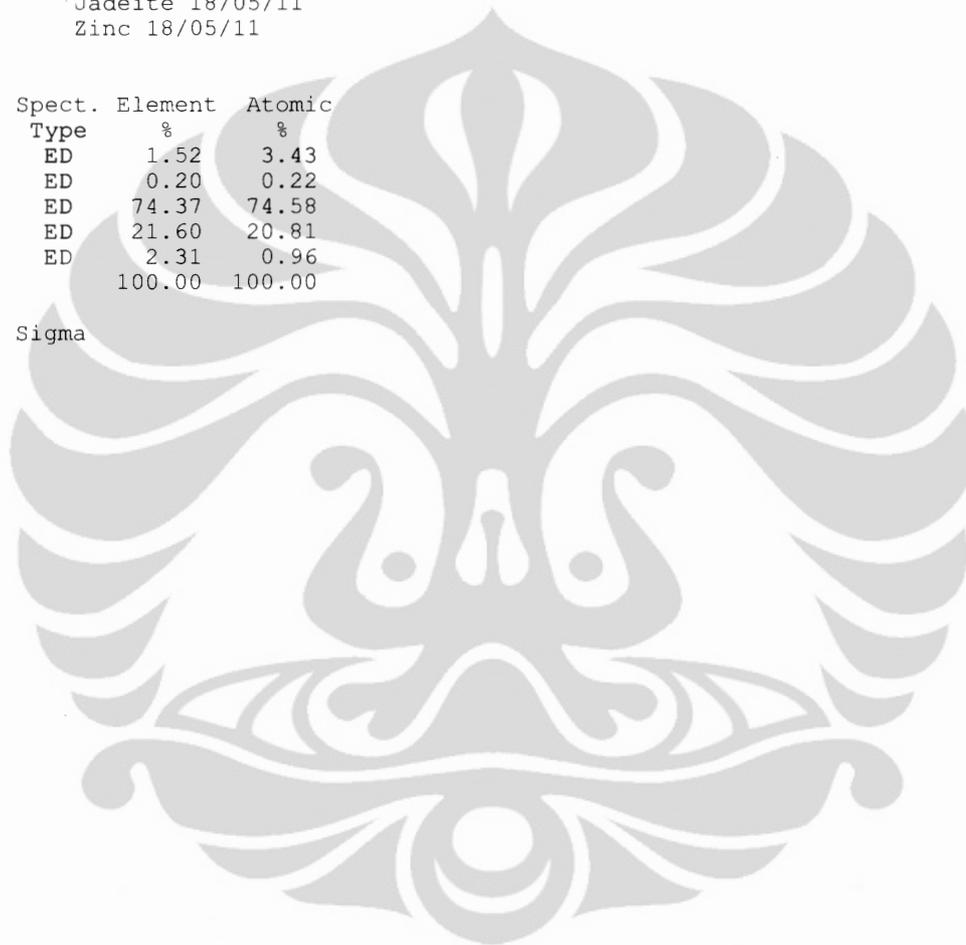
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

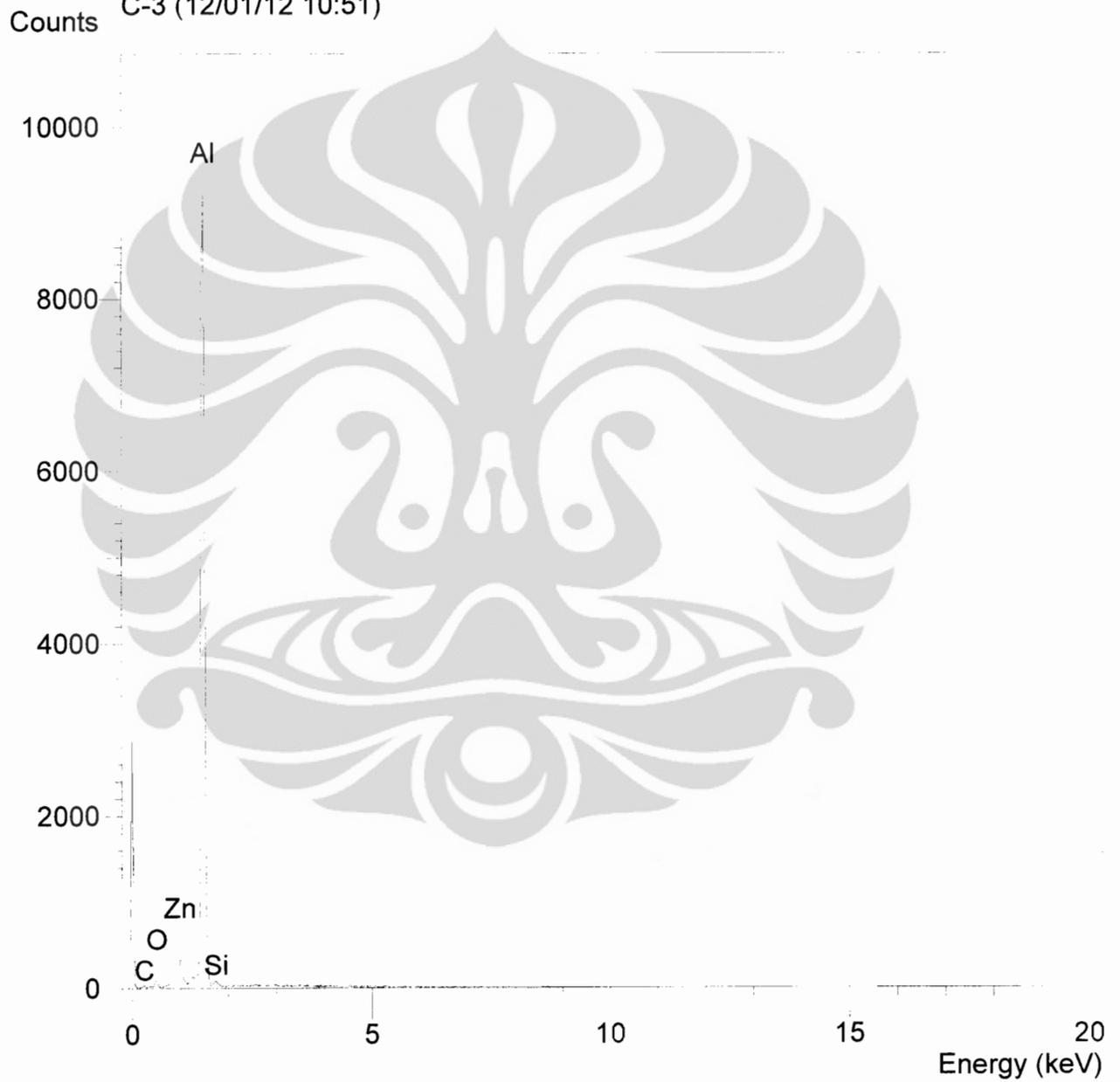
C K Carbon Low 13/09/06
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.52 | 3.43 |
| Mg K | ED | 0.20 | 0.22 |
| Al K | ED | 74.37 | 74.58 |
| Si K | ED | 21.60 | 20.81 |
| Zn L | ED | 2.31 | 0.96 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
C-3 (12/01/12 10:51)



SEMQuant results. Listed at 11:54:46 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: C-3

System resolution = 61 eV

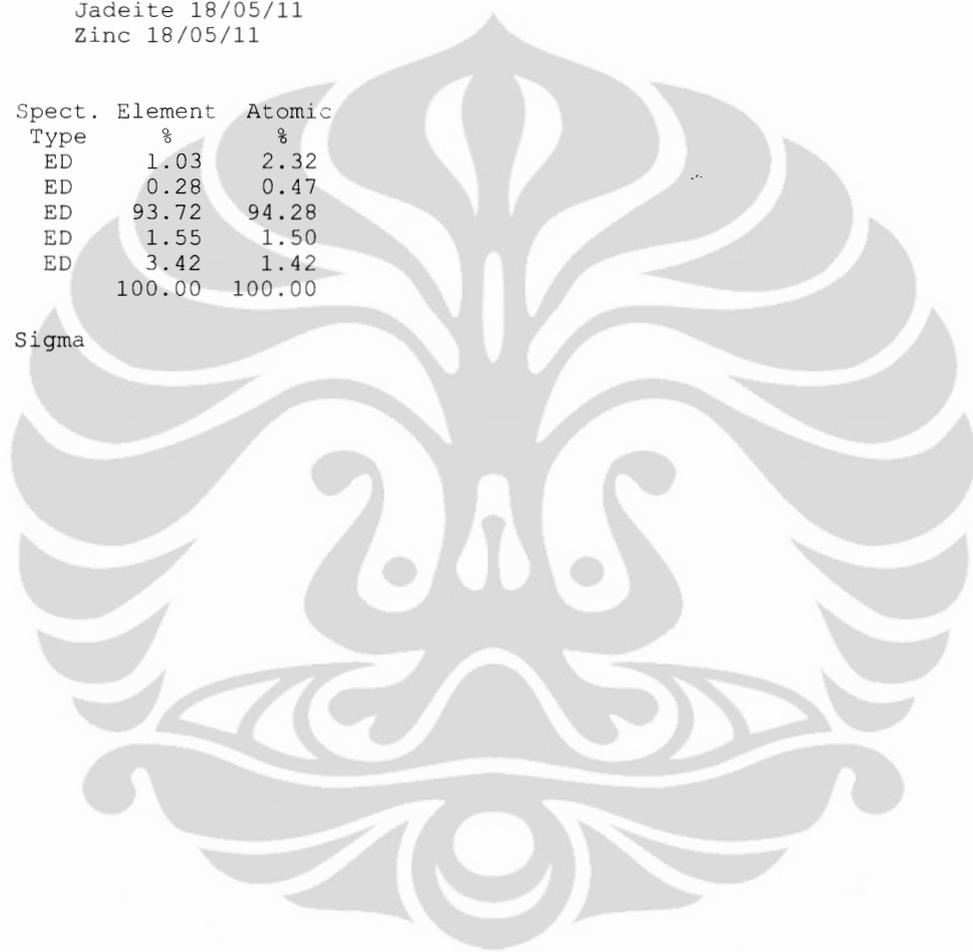
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

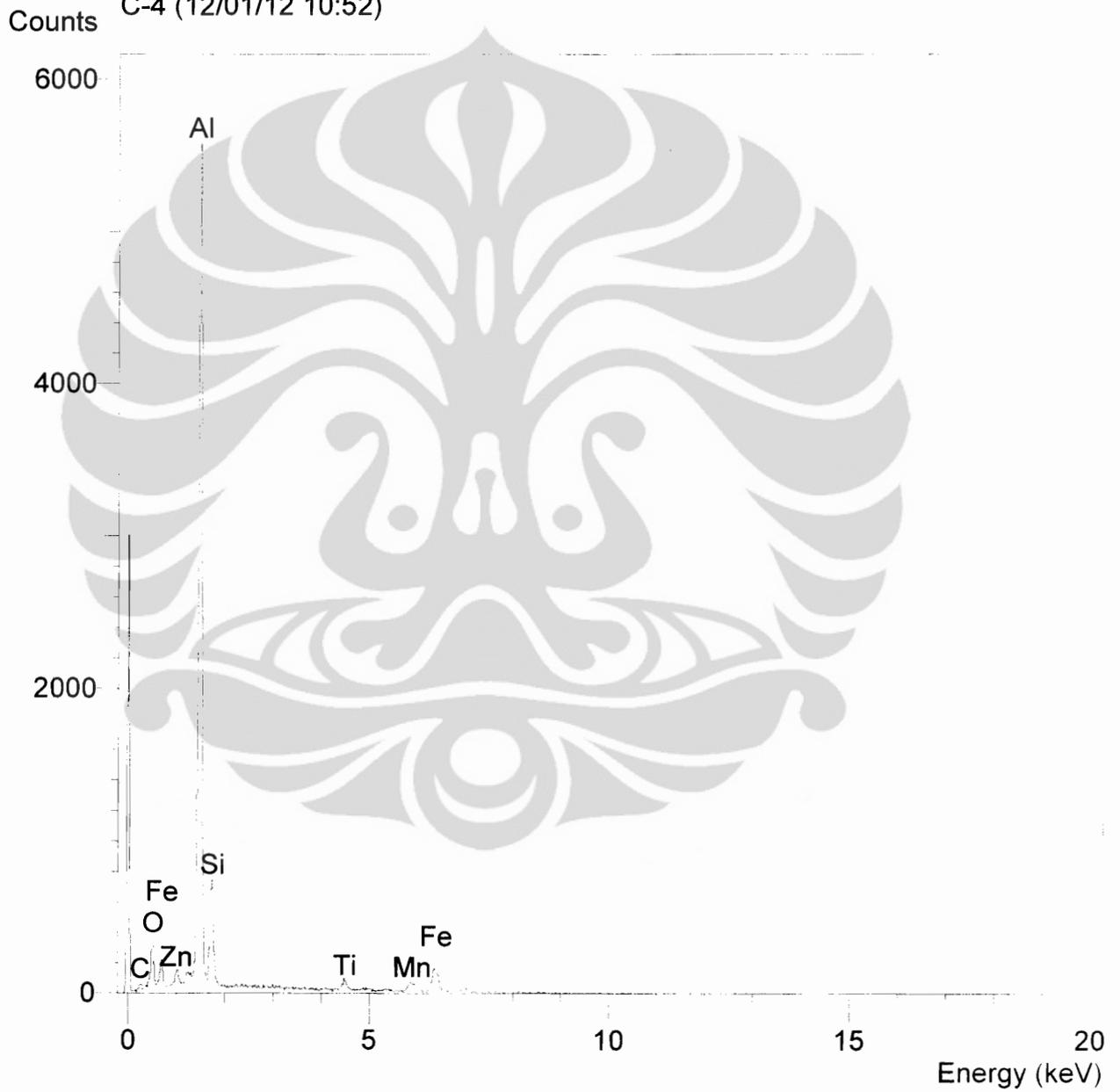
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.03 | 2.32 |
| O K | ED | 0.28 | 0.47 |
| Al K | ED | 93.72 | 94.28 |
| Si K | ED | 1.55 | 1.50 |
| Zn L | ED | 3.42 | 1.42 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
C-4 (12/01/12 10:52)



SEMQuant results. Listed at 11:55:03 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: C-4

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

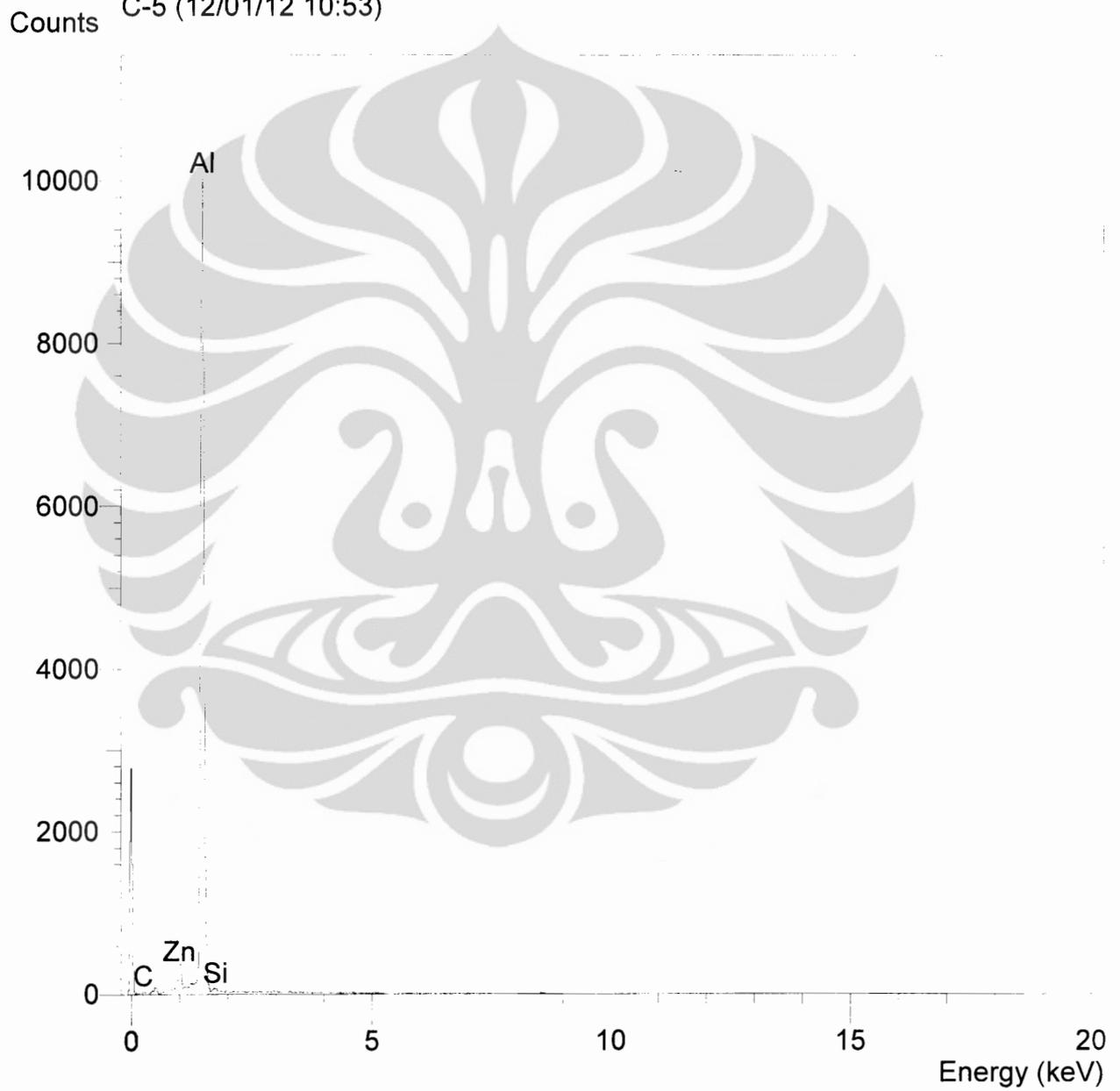
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Ti K Titanium 18/05/11
Mn K Mangan 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.20 | 2.77 |
| O K | ED | 4.77 | 8.24 |
| Al K | ED | 72.04 | 73.86 |
| Si K | ED | 8.73 | 8.59 |
| Ti K | ED | 1.06 | 0.61 |
| Mn K | ED | 2.30 | 1.16 |
| Fe K | ED | 8.01 | 3.97 |
| Zn L | ED | 1.89 | 0.80 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
C-5 (12/01/12 10:53)



SEMQuant results. Listed at 11:55:15 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: C-5

System resolution = 61 eV

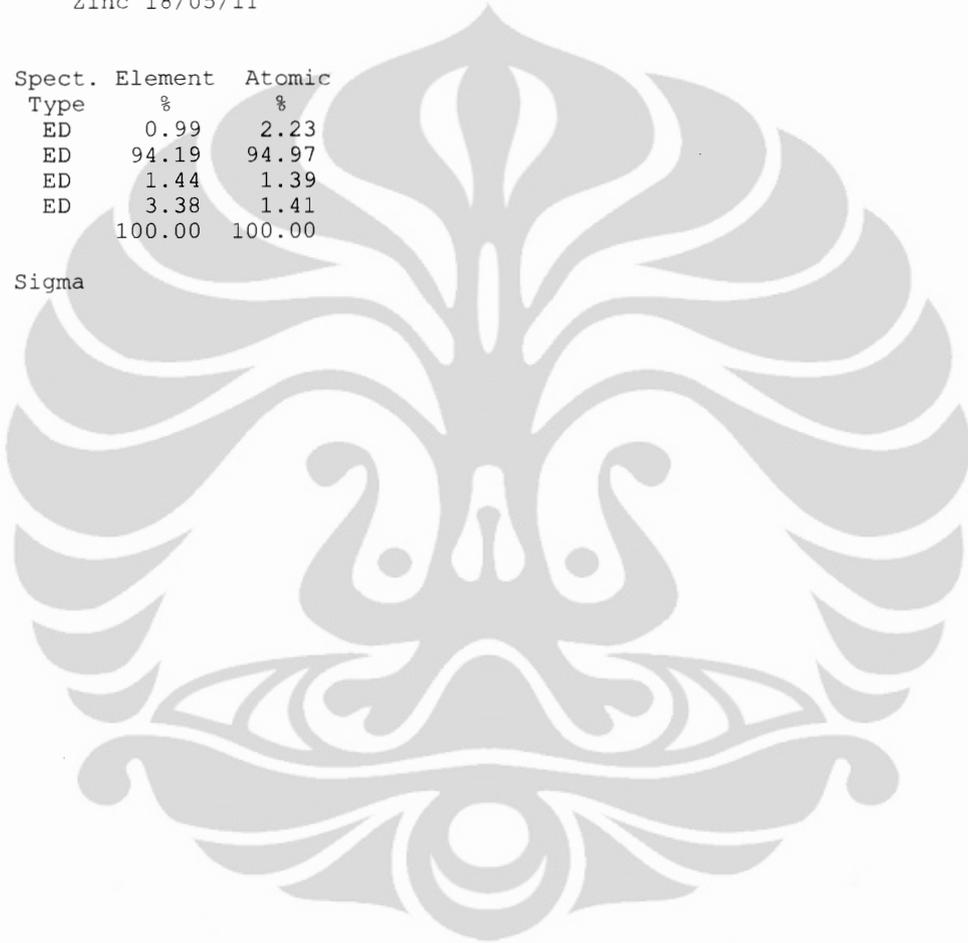
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

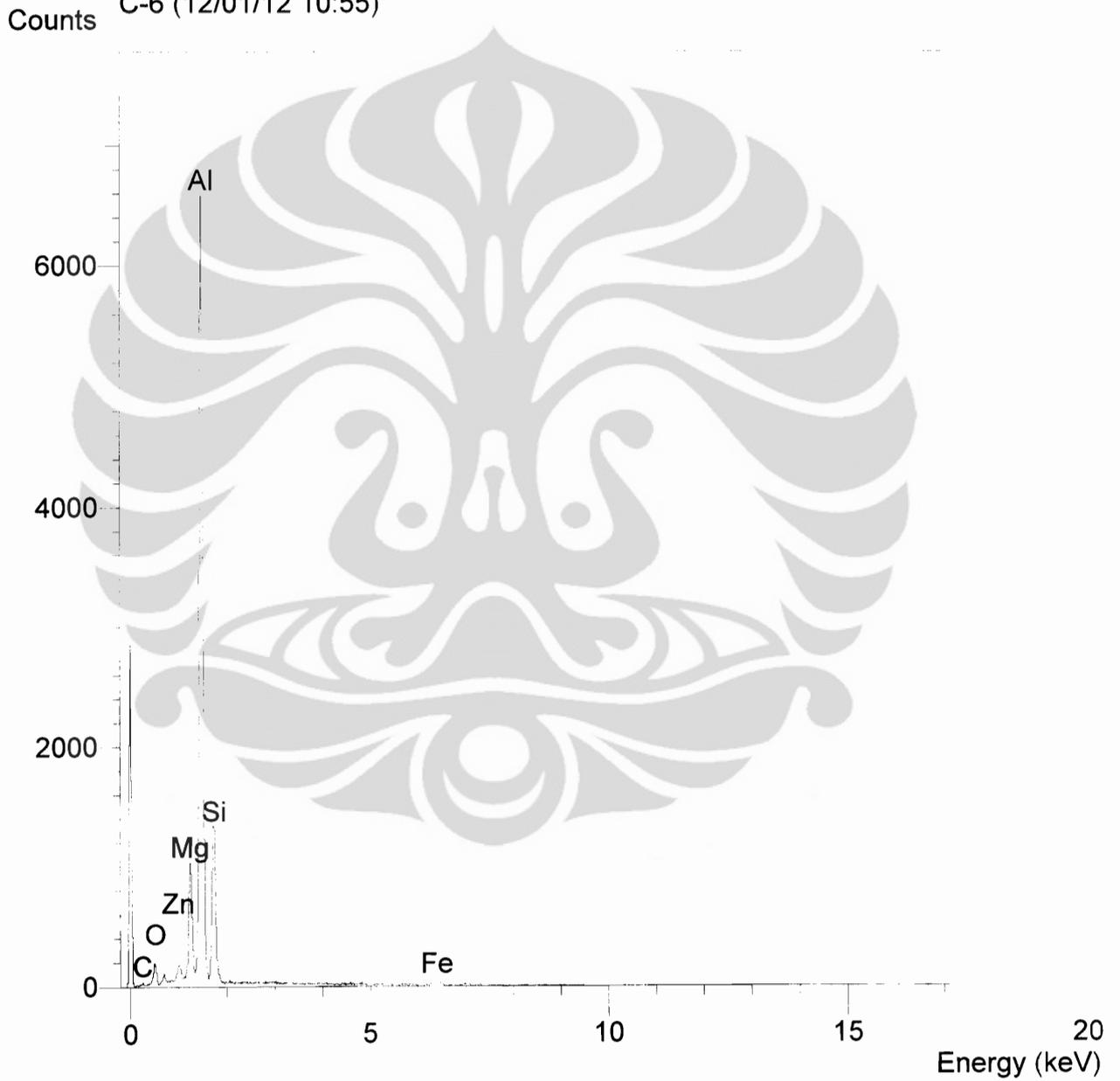
C K Carbon Low 13/09/06
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 0.99 | 2.23 |
| Al K | ED | 94.19 | 94.97 |
| Si K | ED | 1.44 | 1.39 |
| Zn L | ED | 3.38 | 1.41 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
C-6 (12/01/12 10:55)



SEMQuant results. Listed at 11:55:33 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: C-6

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

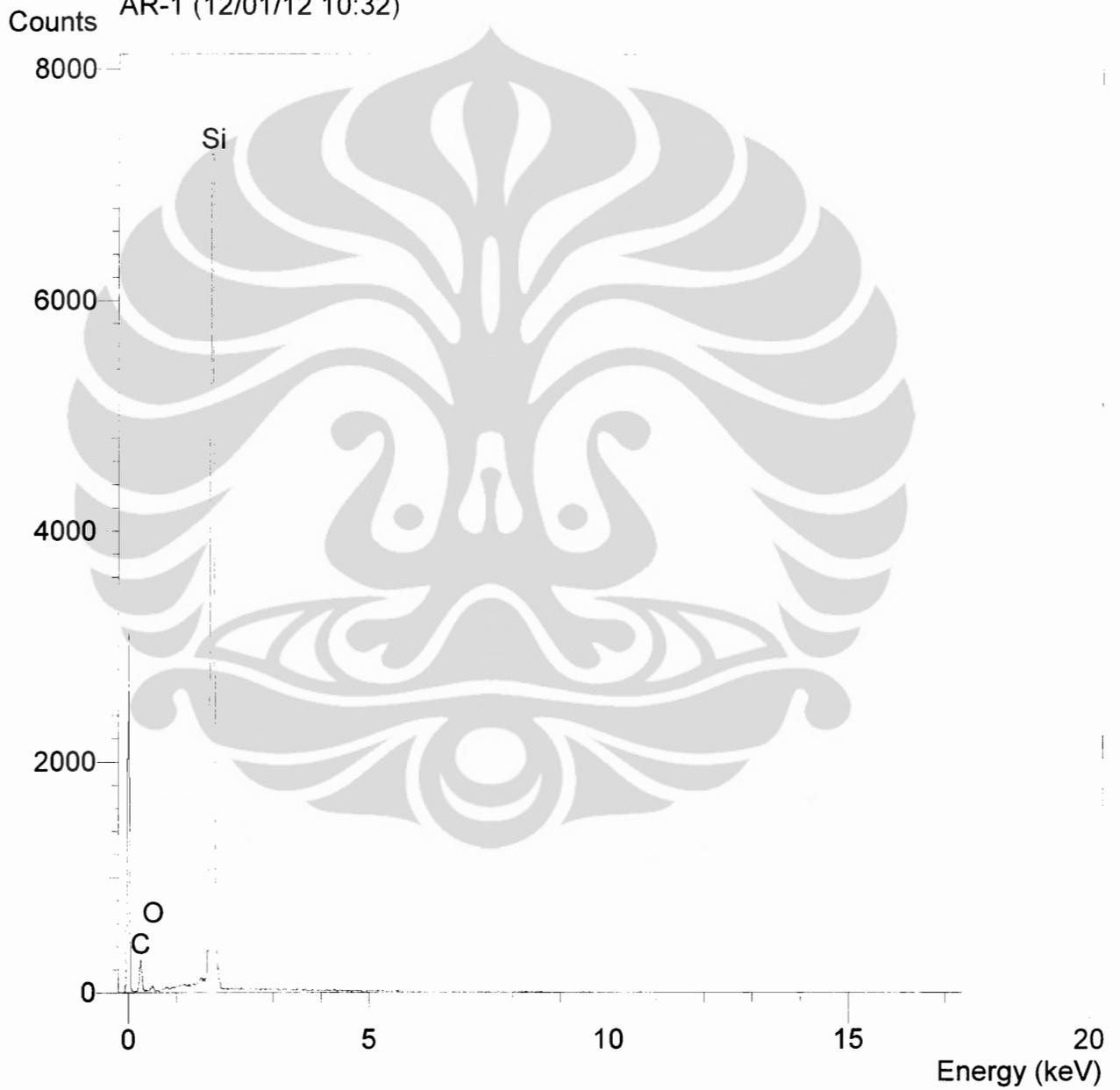
Standards :

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
Fe K FeS2 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.19 | 2.68 |
| O K | ED | 1.74 | 2.92 |
| Mg K | ED | 4.10 | 4.54 |
| Al K | ED | 73.76 | 73.53 |
| Si K | ED | 15.14 | 14.50 |
| Fe K | ED | 2.21 | 1.06 |
| Zn L | ED | 1.86 | 0.76 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
AR-1 (12/01/12 10:32)



SEMQuant results. Listed at 11:51:29 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: AR-1

System resolution = 59 eV

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

Standards :

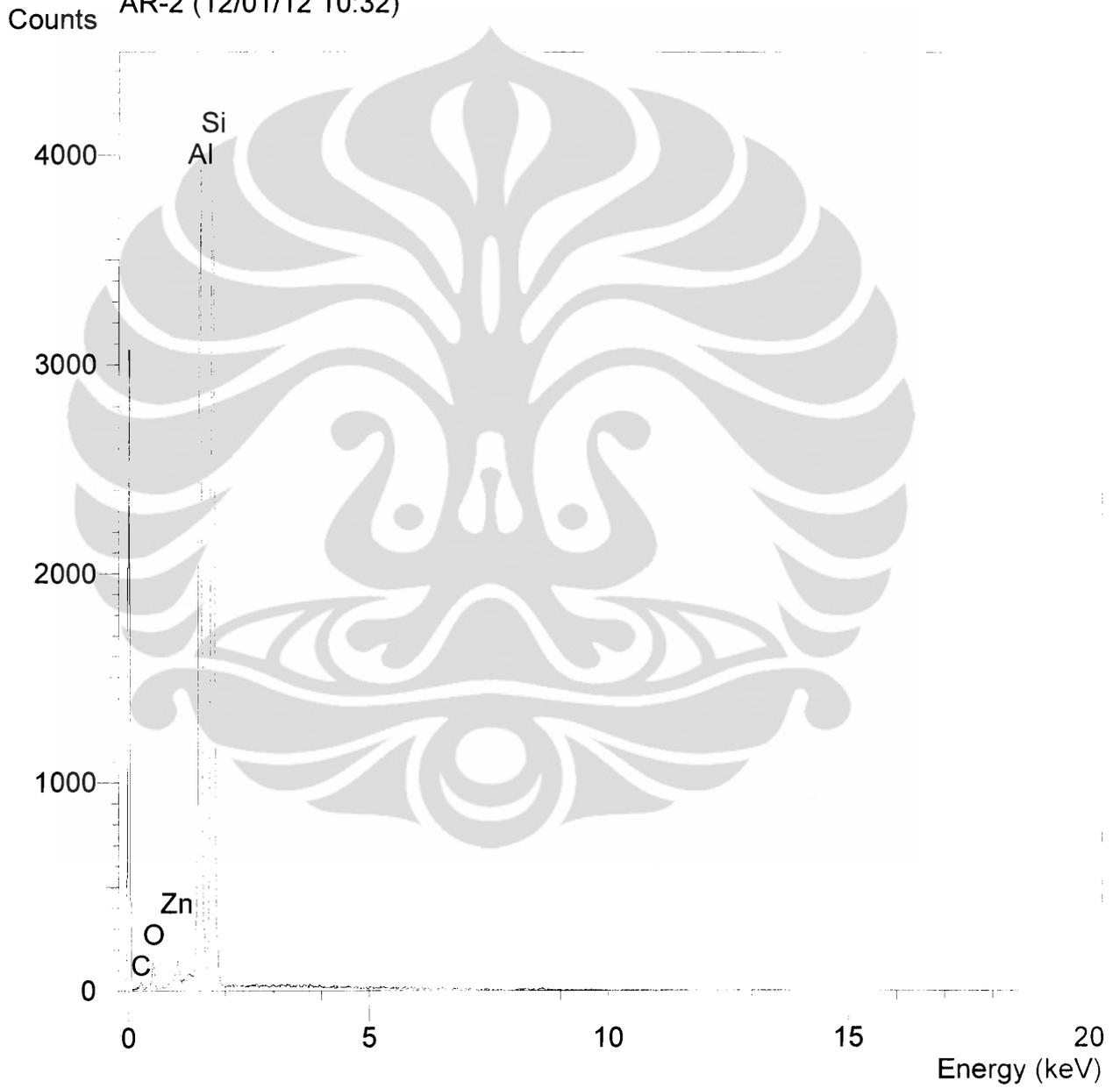
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 2.95 | 6.57 |
| O K | ED | 1.48 | 2.47 |
| Si K | ED | 95.57 | 90.96 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
AR-2 (12/01/12 10:32)



SEMQuant results. Listed at 11:51:46 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: AR-2

System resolution = 61 eV

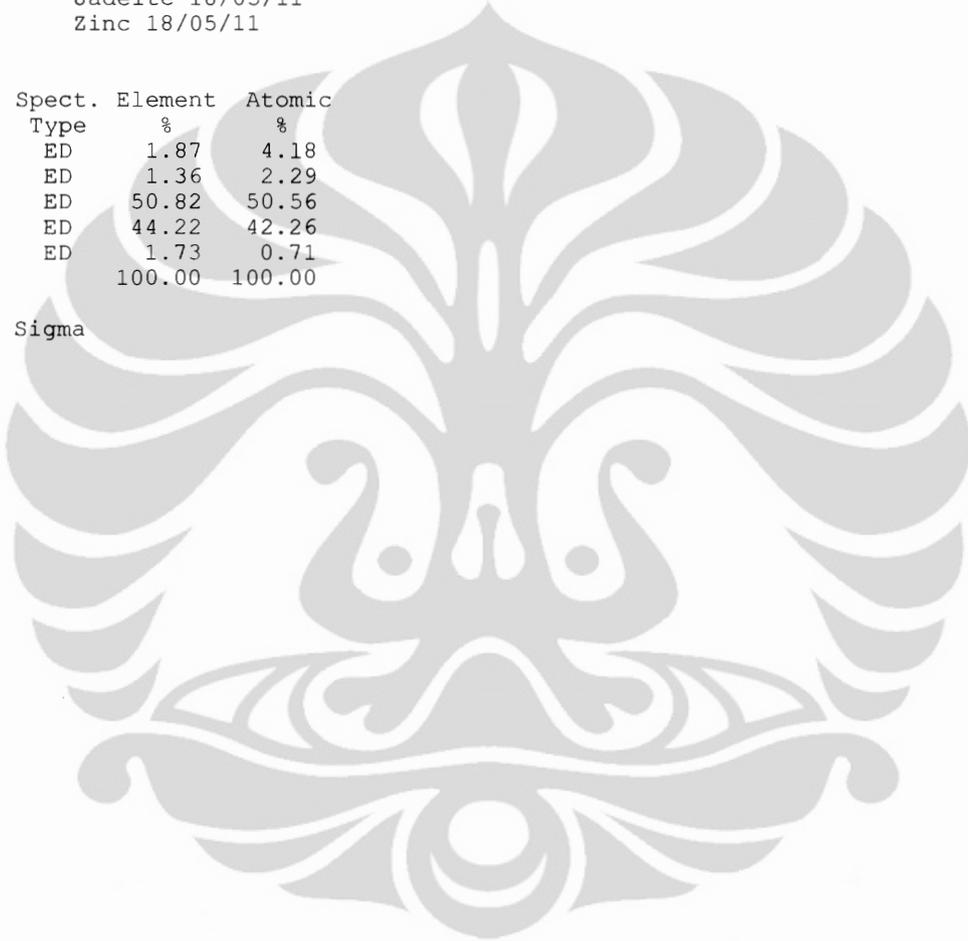
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

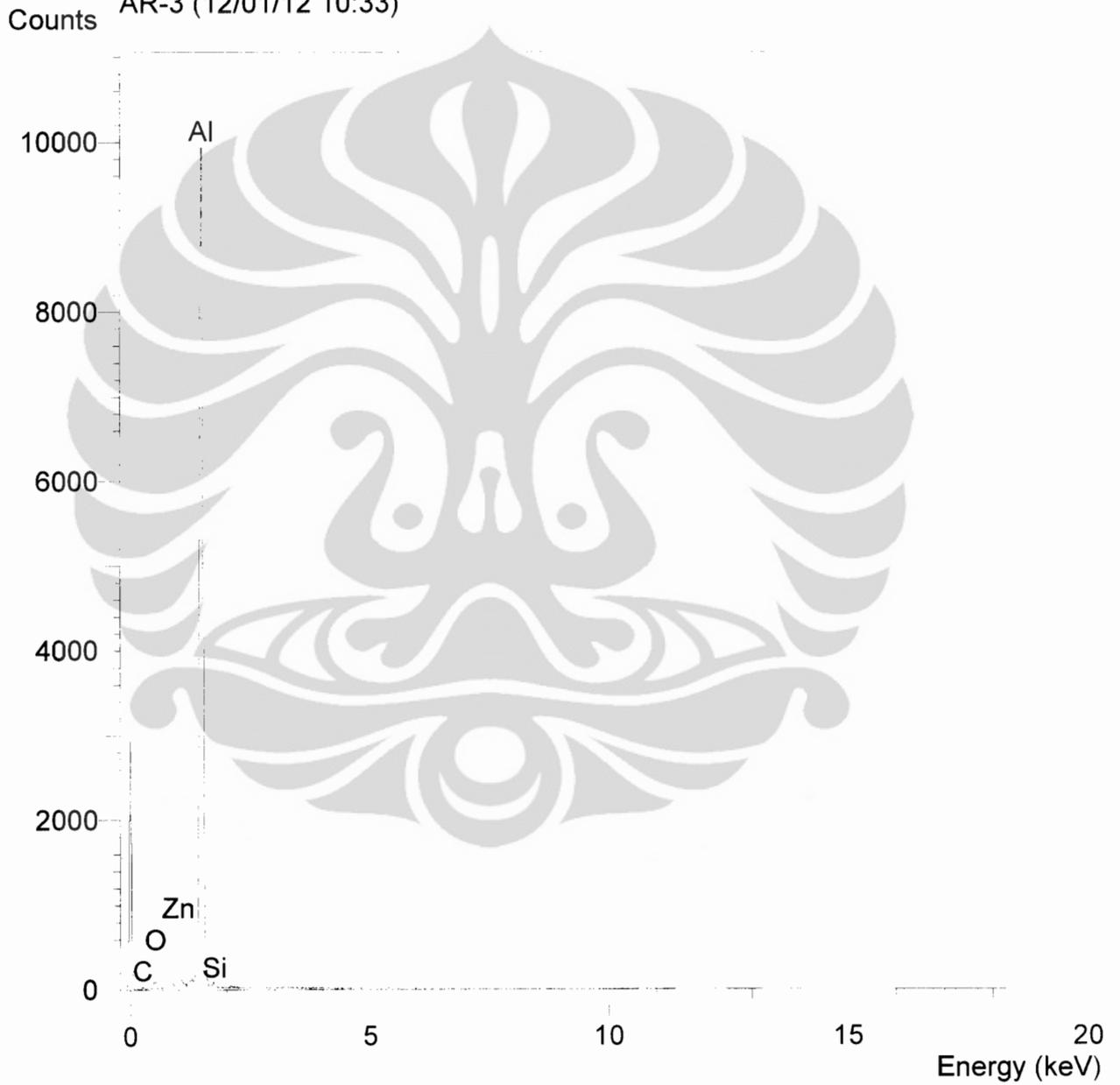
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.87 | 4.18 |
| O K | ED | 1.36 | 2.29 |
| Al K | ED | 50.82 | 50.56 |
| Si K | ED | 44.22 | 42.26 |
| Zn L | ED | 1.73 | 0.71 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
AR-3 (12/01/12 10:33)



SEMQuant results. Listed at 11:51:54 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: AR-3

System resolution = 61 eV

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

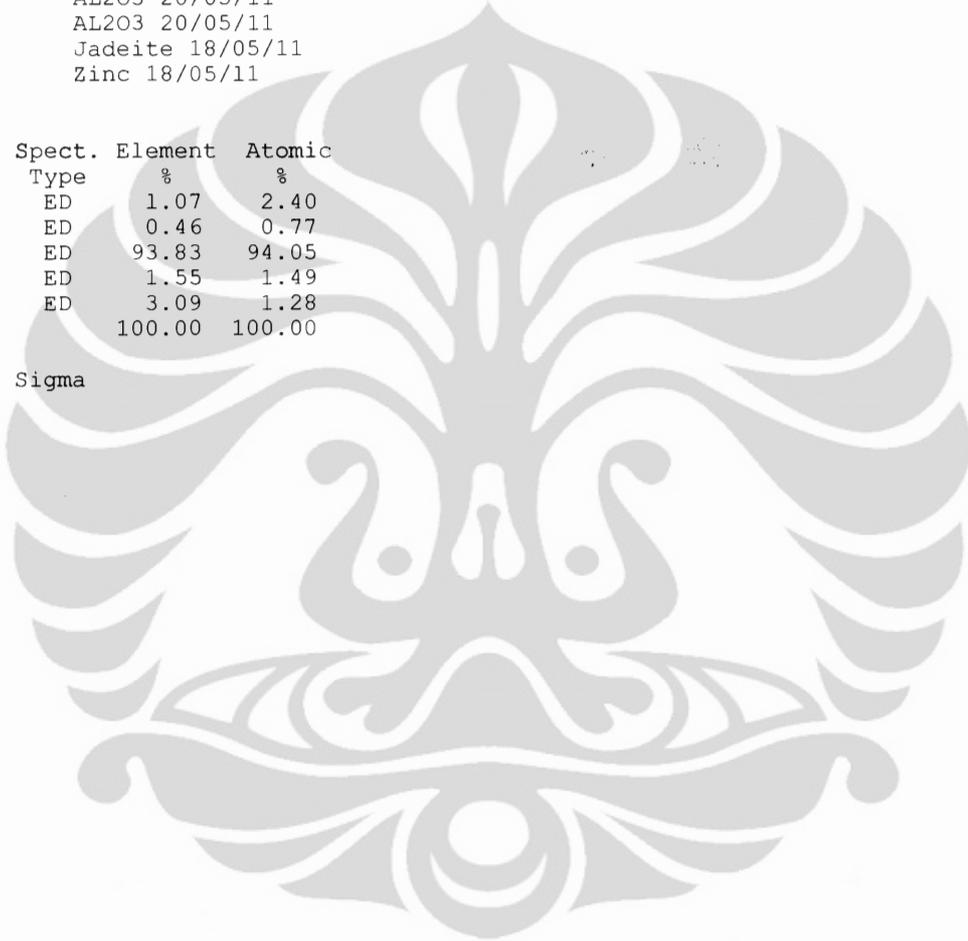
1 peak possibly omitted: 2.96 keV

Standards :

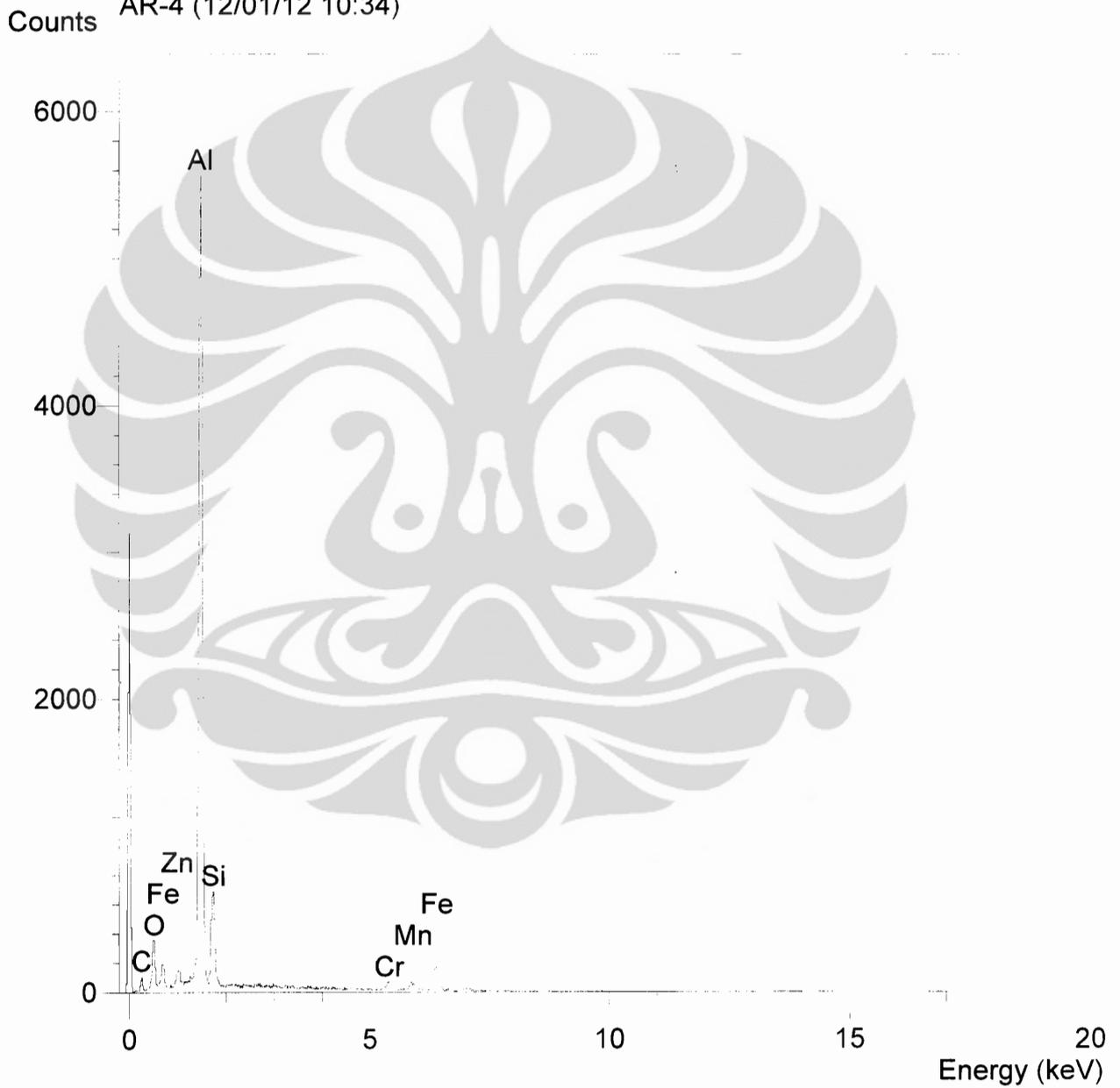
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.07 | 2.40 |
| O K | ED | 0.46 | 0.77 |
| Al K | ED | 93.83 | 94.05 |
| Si K | ED | 1.55 | 1.49 |
| Zn L | ED | 3.09 | 1.28 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
AR-4 (12/01/12 10:34)



SEMQuant results. Listed at 11:52:05 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: AR-4

System resolution = 62 eV

Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

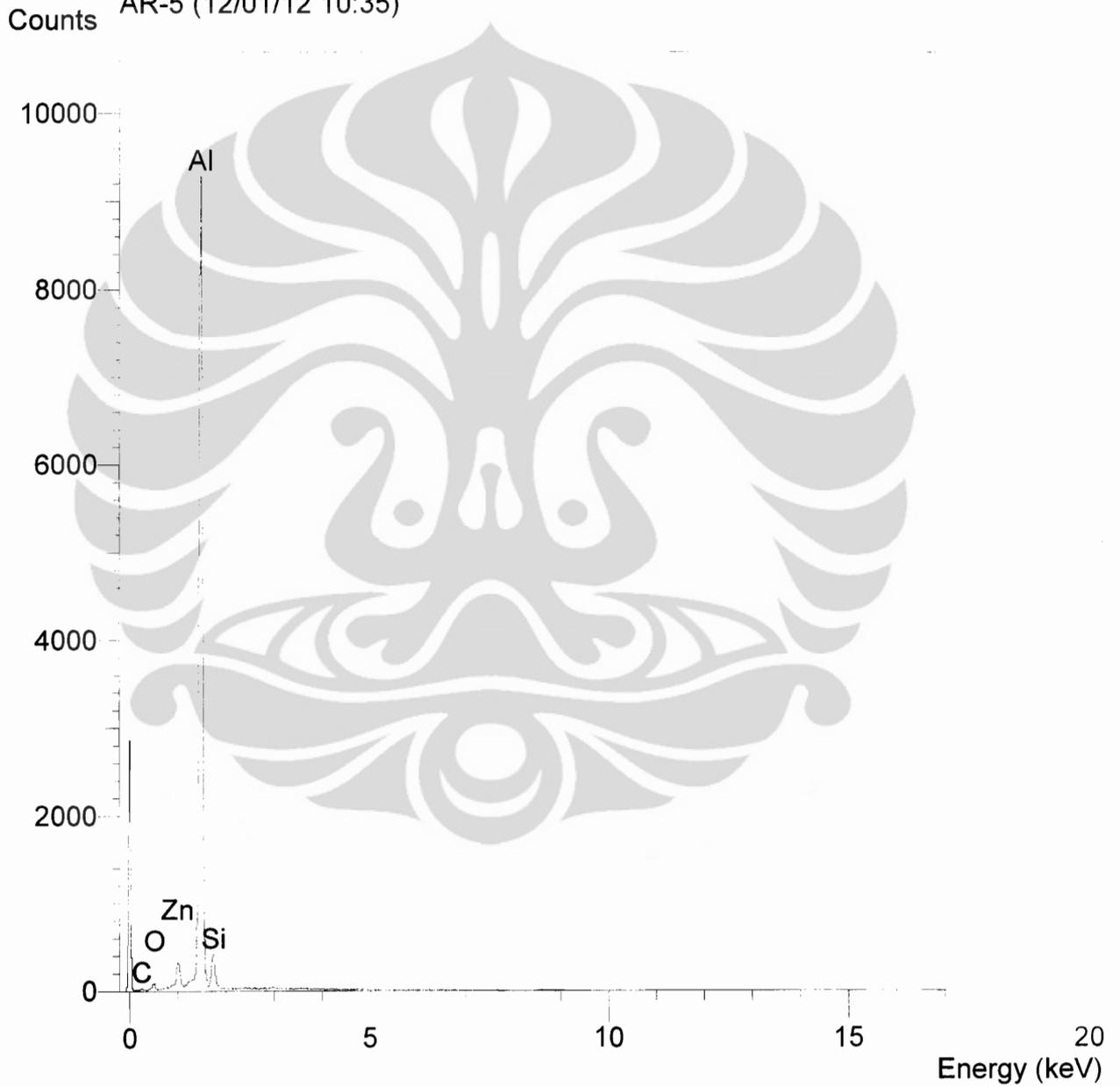
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Cr K Chromium 18/05/11
Mn K Mangan 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. Type | Element % | Atomic % |
|-------|-------------|-----------|----------|
| C K | ED | 1.42 | 3.27 |
| O K | ED | 4.63 | 8.01 |
| Al K | ED | 72.03 | 73.86 |
| Si K | ED | 8.35 | 8.23 |
| Cr K | ED | 1.56 | 0.83 |
| Mn K | ED | 1.60 | 0.80 |
| Fe K | ED | 8.23 | 4.08 |
| Zn L | ED | 2.18 | 0.92 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
AR-5 (12/01/12 10:35)



SEMQuant results. Listed at 11:52:18 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: AR-5

System resolution = 61 eV

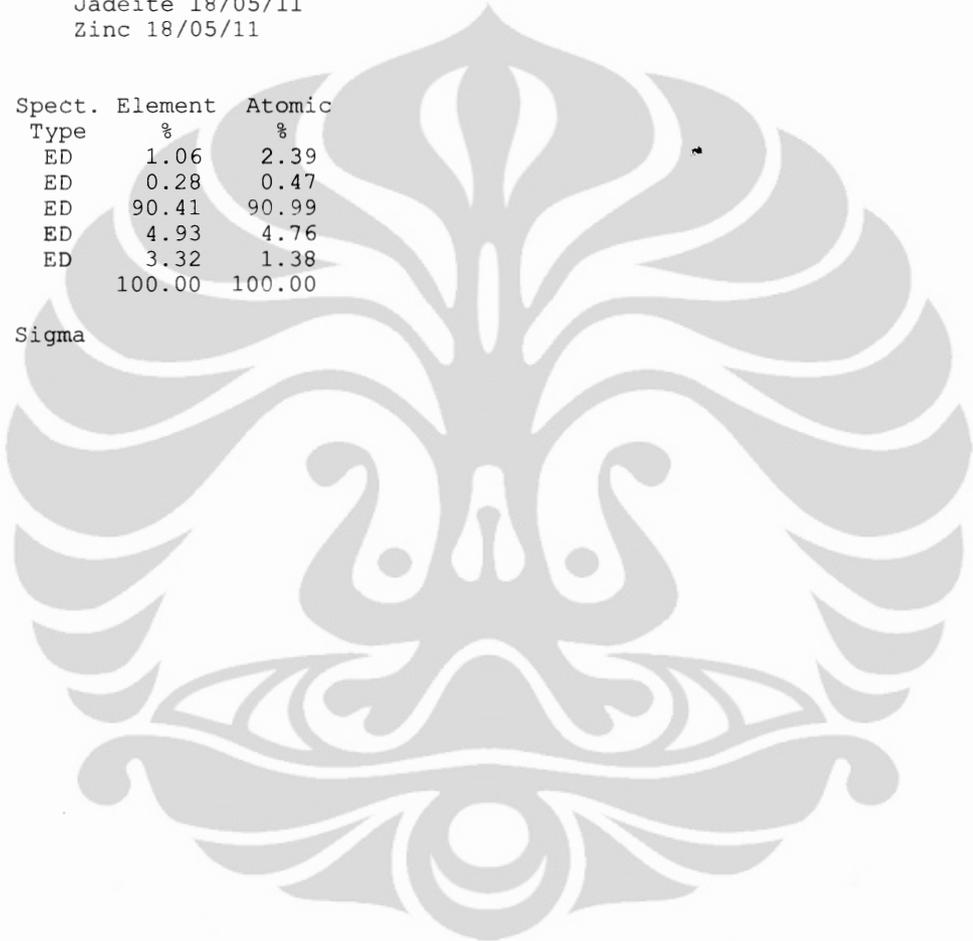
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

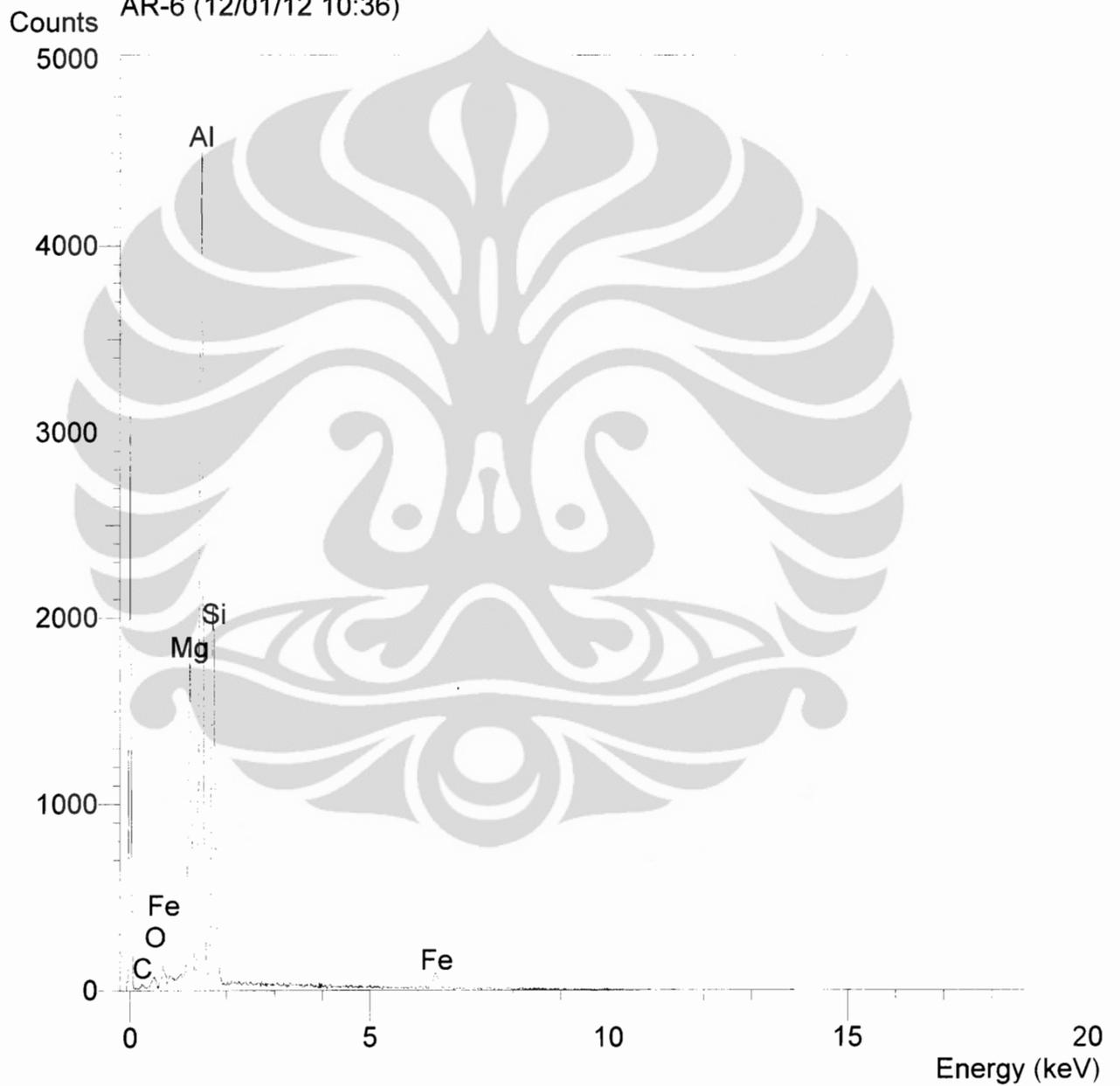
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 1.06 | 2.39 |
| O K | ED | 0.28 | 0.47 |
| Al K | ED | 90.41 | 90.99 |
| Si K | ED | 4.93 | 4.76 |
| Zn L | ED | 3.32 | 1.38 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
AR-6 (12/01/12 10:36)



SEMQuant results. Listed at 11:52:31 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: AR-6

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF (4 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
Fe K FeS2 18/05/11

| Elmt | Spect. | Element | Atomic |
|-------|--------|---------|--------|
| | Type | % | % |
| C K | ED | 0.15 | 0.34 |
| O K | ED | 0.85 | 1.46 |
| Mg K | ED | 9.23 | 10.38 |
| Al K | ED | 61.60 | 62.38 |
| Si K | ED | 24.10 | 23.45 |
| Fe K | ED | 4.07 | 1.99 |
| Total | | 100.00 | 100.00 |

* = <2 Sigma

