



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN ELEMEN PADUAN SENG DAN
ROLLING TERHADAP RESPONS Pengerasan Penuaan
KOMPOSIT Al-7Si BERPENGUAT SILIKON KARBIDA
HASIL *SQUEEZE CASTING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

NARARIA ASKARNINGSIH

0806455830

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 : Nararia Askarningsih
NPM : 0806455830
Tanda Tangan : 
Tanggal : Januari 2012

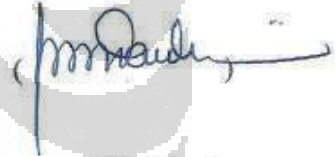
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Nararia Askarningsih
NPM : 0806455830
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Elemen Paduan Seng dan *Rolling* Terhadap Respons Pengerasan Penuaan Komposit Al-7Si Berpenguat Silikon Karbida Hasil *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

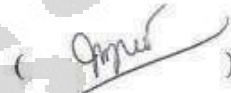
Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bondan Tiara Sofyan, M.Si.



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



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



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan yang sebesar-besarnya kepada Allah SWT., atas berkat, rahmat dan hidayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi yang berjudul *Pengaruh Penambahan Elemen Paduan Seng dan Rolling Terhadap Respons Pengerasan Penuaan Komposit Al-7Si Berpenguat Silikon Karbida Hasil Squeeze Casting*, dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada masa penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan dan menjalani semuanya. 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, serta dukungan dan motivasinya untuk mengarahkan dan membimbing penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.
- (2) Orang Tua, Mbah Ti, dan keluarga atas dukungannya berupa moril dan materiil selama saya menjalani kuliah dan menyusun skripsi ini. Tanpa Ridho dan Doa kalian, penulis tidak akan bisa seperti ini.
- (3) Ibu Dwi Rahmalina yang baik hati yang telah membantu dari awal hingga berakhirnya penelitian ini.
- (4) Rekan terhebat, Sigma Rizky, atas bantuan, susah dan senangnya dalam penelitian ini.
- (5) Teman – teman sepermainan dan seperjuangan, baik Metalurgi 2008, Esaputra Mt'2010 dan JFC, atas dukungan, semangat dan motivasinya untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
- (6) Sahabat terbaik, Dwi Utami Rachmaningrum, atas canda tawa dan semangatnya di saat penulis jenuh.
- (7) Bang Udin yang sering merelakan waktunya untuk menjemput dan mengantar dan juga Nitiyoga Adhika atas kesediaannya untuk ditumpangi oleh penulis.

(8) Mardhi Hidayat, *there's no such thing called coincidence, everything happens for a reason.*

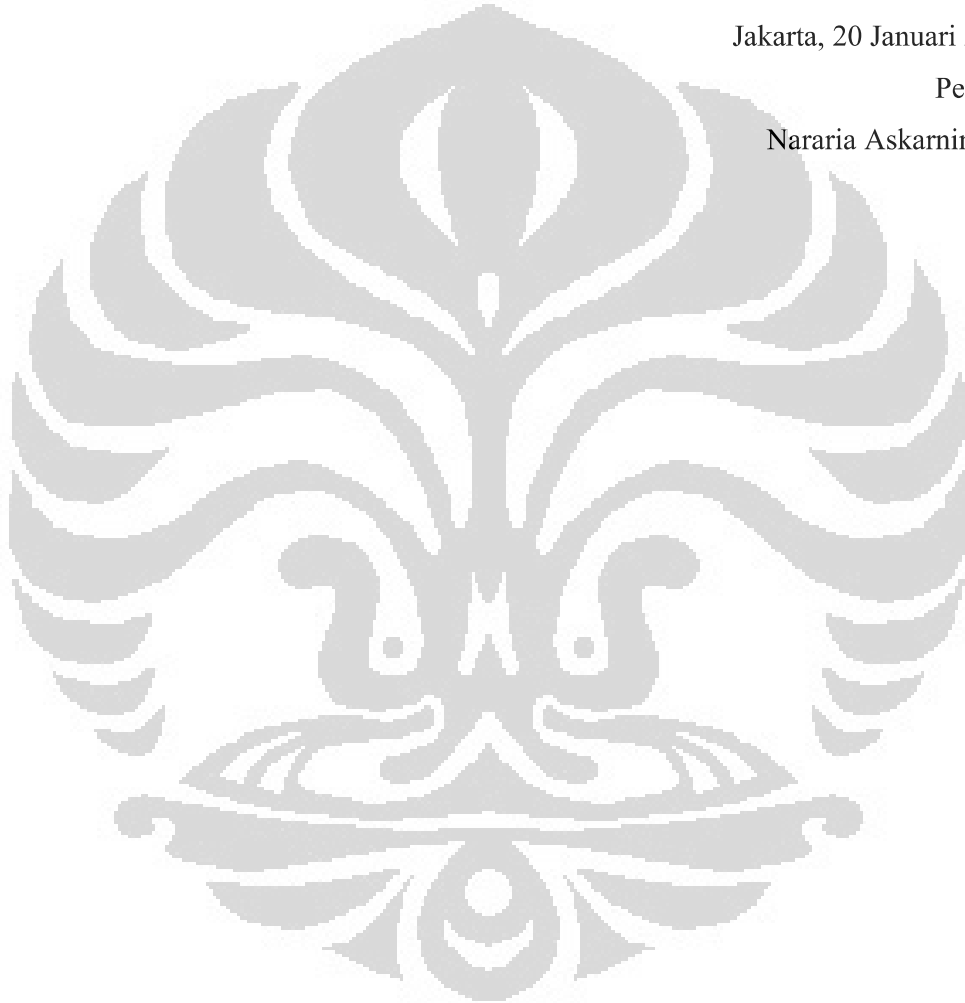
(9) Semua pihak yang telah membantu dalam pembuatan dan penulisan skripsi ini.

Akhir kata, saya hanya bisa berharap dan mendoakan agar kebaikan kalian dibalas dan selalu dalam perlindungan Allah swt.

Jakarta, 20 Januari 2012

Penulis

Nararia Askarningsih



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Nararia Askarningsih
NPM : 0806455830
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

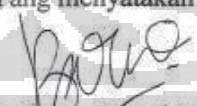
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengaruh Penambahan Elemen Paduan Seng dan *Rolling* Terhadap Respons Pengerasan Penuaan Komposit Al-7Si Berpenguat Silikon Karbida Hasil 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 : Jakarta
Pada Tanggal : 20 Januari 2012
Yang menyatakan


(Nararia Askarningsih)

ABSTRAK

Nama : Nararia Askarningsih
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Elemen Paduan Seng dan *Rolling*
Terhadap Respons Pengerasan Penuaan Komposit Al-7Si
Berpenguat Silikon Karbida Hasil *Squeeze Casting*

Material komposit merupakan salah satu jenis material yang saat ini banyak dikembangkan karena dapat menggabungkan sifat-sifat yang menyusunnya. Karena keunggulannya tersebut, material komposit diaplikasikan pada berbagai bidang, salah satunya adalah untuk aplikasi balistik. Untuk aplikasi balistik dibutuhkan material yang kekerasannya tinggi namun tidak mengorbankan ketangguhannya. Untuk mencapai sifat tersebut diperlukan penambahan elemen paduan pada matriks dan proses *rolling*.

Dalam penelitian ini dikembangkan komposit partikulat yang terdiri dari matriks paduan Al-7Si-4Mg dengan variasi fraksi berat 1, 5, dan 9 % Zn berpenguat 5 % silikon karbida hasil *squeeze casting* yang akan dilihat responsnya dibawah perlakuan panas penuaan. Komposit diberikan perlakuan panas *solution treatment* pada temperatur 500 °C selama satu jam dan dilanjutkan dengan pengerasan penuaan pada temperatur 200 °C. Selain itu komposit juga mengalami pengerjaan *rolling* dengan persen deformasi 10 % yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasannya. Karakterisasi yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, pengujian dan foto makro fraktografi impact, pengamatan dan analisis struktur mikro menggunakan mikroskop optik, SEM (*Scanning Electron Microscope*) dan EDXA (*Energy Dispersive X-ray Analysis*).

Hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi kandungan seng maka semakin tinggi kekerasan puncak dan harga impact yang dihasilkan. Kondisi puncak semua sampel dicapai dalam waktu 2 jam. Sedangkan untuk pengerjaan *rolling*, kekerasan puncak dan harga impact yang dihasilkan lebih rendah daripada sampel yang tidak mengalami pengerjaan *rolling* karena adanya retak yang terjadi disekeliling partikel silikon karbida.

Kata kunci : komposit aluminium, partikulat, silikon karbida, seng, pengerasan penuaan, balistik, impact, kekerasan, *rolling*

ABSTRACT

Name : Nararia Askarningsih
Study Program : Metallurgical and Materials Engineering
Title : Effects of Zn and Rolling on the Characteristics of Squeeze
Cast Al7Si-Mg-Zn Composite Strengthened by 5 % SiC
Particulates

Composite materials are widely developed due to the possibility to obtain synergetic effects from their constituents. One application is for ballistic purpose. To obtain high ballistic properties, composites need to be hard as well as tough. One approach is through alloying and rolling processes.

This research develops particulate composite consist of aluminium alloy Al-7Si-4Mg with varied content of 1, 5, 9 % Zn reinforced by 5 % silicon carbide made by squeeze casting method. The composite was solution treated at 500 °C for 1 hour and then aged at 200 °C. Rolling was conducted for 10 % prior to heat treatment process. The characterization included hardness testing to construct ageing curves, impact testing and fractography analysis, microstructure observation using optical microscopy, SEM (Scanning Electron Microscope) and EDXA (Energy Dispersive X-ray Analysis).

The results show that the higher the Zn content, the higher the peak hardness and impact values of composites. All samples reached peak hardness within 2 hours. On the other hand, the rolling process seem to deteriorate the mechanical properties due to cracks formed around SiC particle.

Keywords : aluminium composite, silicon carbide, zinc, ballistic, age hardening, impact, hardness, rolling.

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Aluminium dan Paduannya	6
2.1.1 Penamaan Alumunium.....	7
2.1.1.1 Sistem Penamaan untuk Paduan Aluminium yang Mampu diberi Perlakuan Panas.....	7
2.1.2 Aluminium Silikon Al-7Si	9
2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan pada Al-7Si.....	10
2.1.4 Pengerasan Penuaan pada Paduan Aluminium.....	11
2.2 Karakteristik Balistik	15
2.3 Aluminium untuk Balistik.....	17
2.3.1 1 Komposit Aluminium untuk Balistik	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1 Diagram Alir Penelitian	21
3.2 Alat dan Bahan.....	21
3.2.1 Alat.....	22
3.2.2 Bahan.....	22

3.3 Proses Pembuatan Sampel	23
3.4 Persiapan Sampel	23
3.5 Proses Perlakuan Panas	25
3.6 Pengujian Kekerasan	26
3.7 Pengujian Impak	27
3.8 Pengamatan Struktur Mikro dan Makro.....	29
3.9 Pengerjaan <i>Rolling</i>	30
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Pengaruh Elemen Paduan Zn Terhadap Pengerasan Penuaan	33
4.1.1 Kurva Penuaan dari Matriks Al-7Si-4Mg dengan Variasi 1, 5, 9 wt% Zn Berpenguat Silikon Karbida 5 wt%.....	33
4.1.2 Analisis Hasil Struktur Mikro dan SEM	35
4.1.3 Hasil dan Analisis Pengamatan Struktur Makro Impak	42
4.2 Pengaruh <i>Rolling</i> Terhadap Pengerasan Penuaan	44
4.2.1 Analisis Pengaruh <i>Rolling</i> Terhadap Kurva Penuaan	45
4.2.2 Analisis Struktur Mikro dan SEM dari Sampel <i>Rolling</i>	47
4.2.3 Analisis Struktur Makro Patahan Impak Sampel <i>Rolling</i>	50
4.3 Hasil Uji Balistik Dan Pengaruh Elemen Paduan Zn Pada Plat Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Silikon Karbida.....	51
BAB 5 KESIMPULAN, SARAN DAN RENCANA LANJUT	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	57
5.3 Rencana Lanjut	57
DAFTAR REFERENSI	58
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Nomor seri dan elemen paduan utama aluminium	6
Tabel 2.2 Penulisan temper dasar pada paduan aluminium.....	7
Tabel 2.3 Penamaan paduan aluminium yang mengalami temper stabil.....	8
Tabel 2.4 Komposisi kimia dari paduan Al-7Si	9
Tabel 2.5 Klasifikasi detail material armor untuk pengujian balistik.....	17
Tabel 4.1 Pengaruh kandungan Zn dan kondisi penuaan pada ukuran DAS.....	37
Tabel 4.2 Hasil analisis mikro pada komposit dengan kandungan 1 wt. % Zn pada matriks	39
Tabel 4.3 Hasil analisis mikro pada komposit dengan kandungan 5 wt. % Zn pada matriks	39
Tabel 4.4 Hasil analisis mikro pada komposit dengan kandungan 1 wt. % Zn pada matriks	39
Tabel 4.5 Data dimensi tinggi sampel <i>rolling</i> dan persen deformasinya.....	45
Tabel 4.6 Hasil analisis mikro pada sampel <i>rolling</i> komposit matriks Al-7Si-4Mg-9Zn, posisi sesuai Gambar 4.8	48

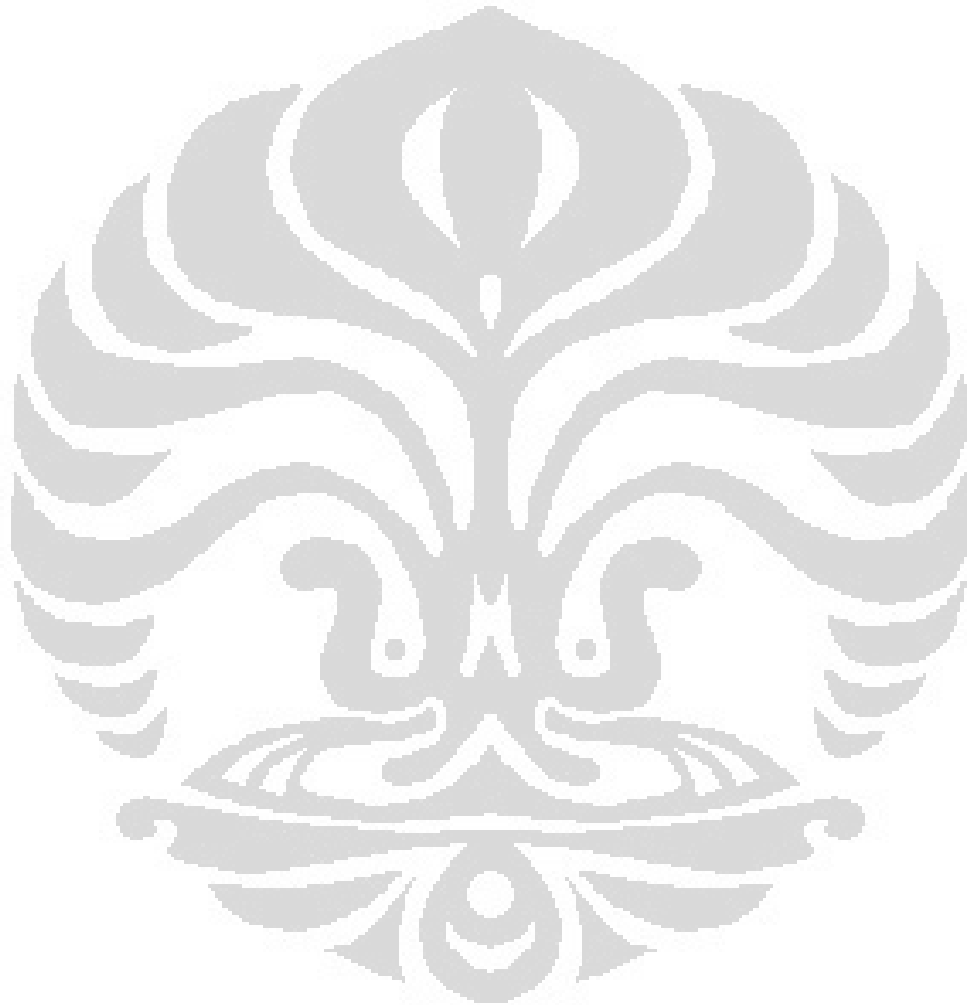
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Diagram fasa Al-Zn ^[10]	11
Gambar 2.2 Contoh diagram fasa untuk paduan yang mampu dikeraskan dengan pengerasan presipitat ^[11]	12
Gambar 2.3 Diagram skematis kekerasan vs log.waktu selama perlakuan panas presipitat ^[11]	12
Gambar 2.4 Pembentukan fasa presipitat setimbang ^[11]	13
Gambar 2.5 Kurva penuaan pada temperatur 170 °C ^[14]	14
Gambar 2.6 Kurva penuaan pada 10 % <i>coldwork</i> ^[14]	15
Gambar 2.7 Respon material terhadap beban kejut balistik ^[17]	16
Gambar 2.8 Penambahan lapisan anti <i>spalling</i> untuk meredam fragment yang terjadi ^[16]	16
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	21
Gambar 3.2 Sampel untuk pengujian perlakuan panas penuaan.....	21
Gambar 3.3 Dapur untuk perlakuan panas.....	25
Gambar 3.4 Skematik pengujian pengerasan penuaan	26
Gambar 3.5 Alat uji kekerasan Rocky.....	27
Gambar 3.6 Sampel pengujian impak.....	28
Gambar 3.7 Dimensi sampel pengujian impak Charpy menurut ASTM E23 ^[11]	28
Gambar 3.8 Alat uji impak charpy.....	29
Gambar 3.9 Alat-alat untuk pengamatan struktur mikro	29
Gambar 3.10 Mesin <i>rolling</i>	31
Gambar 3.11 Dimensi sampel <i>rolling</i>	31
Gambar 4.1 Pengaruh kandungan seng terhadap kurva penuaan komposit paduan Al-7Si berpenguat 5 % SiC.....	33
Gambar 4.2 Foto mikro dari sampel komposit paduan Al-7Si berpenguat SiC 5 wt. % dalam kondisi <i>as-cast</i> , <i>underaged</i> , <i>peak aged</i> dan <i>overaged</i> pada temperatur penuaan 200 °C	36
Gambar 4.3 Foto SEM permukaan komposit Al-7Si-4Mg dengan variasi fraksi berat Zn pada kondisi <i>peak age</i> dengan temperatur penuaan 200 °C selama 2 jam.....	39
Gambar 4.4 Pengaruh kandungan seng terhadap harga impak komposit aluminium Al-7Si berpenguat 5 wt.% SiC pada kondisi <i>peak aged</i> dengan temperatur penuaan 200 °C.....	43

Gambar 4.5	Permukaan patahan impact dari komposit Al-7Si-4Mg dengan variasi Zn berpenguat 5 wt. % SiC pada kondisi kekerasan puncak dengan temperature penuaan 200 °C.....	41
Gambar 4.6	Pengaruh rolling terhadap kurva penuaan komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC	45
Gambar 4.7	Foto struktur mikro dari komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang diberi perlakuan <i>rolling</i> pada temperatur penuaan 200 °C	48
Gambar 4.8	Mikrostruktur SEM komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC hasil pengerjaan <i>rolling</i> pada kondisi <i>peak aged</i> dengan temperatur penuaan 200 °C	49
Gambar 4.9	Fraktografi impact komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC setelah pengerjaan <i>rolling</i> dan perlakuan panas penuaan pada temperature 200 °C.....	50
Gambar 4.10	Pengaruh <i>rolling</i> terhadap harga impact komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC setelah diberikan pengerasan penuaan pada temperatur 200 °C.....	50
Gambar 4.11	Gambaran daerah terperforasi pada pelat komposit matriks Al-7Si-6Mg berpenguat 5 wt. % silikon karbida, dengan variasi unsur paduan Zn : 1, 5 dan 9 wt. % untuk berbagai tipe pengujian balistik pada kondisi as-cast	52
Gambar 4.12	Diameter jejak peluru pada pelat komposit matriks Al-7Si-6Mg berpenguat 5 % fraksi volum silikon karbida dengan variasi kandungan Zn : 1, 5 dan 9 % untuk berbagai tipe pengujian balistik pada kondisi <i>as-cast</i>	54

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Data Kekerasan	61
Lampiran 2 Data dan Perhitungan Harga Impak	63
Lampiran 3 Data Analisis Mikro EDS	64



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertahanan negara sebagai salah satu fungsi pemerintahan negara merupakan usaha untuk mewujudkan satu kesatuan pertahanan negara guna mencapai tujuan nasional, yaitu untuk melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia. Pertahanan negara adalah segala usaha untuk mempertahankan kedaulatan negara, keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia, dan keselamatan segenap bangsa dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara. Dalam penyelenggaraan pertahanan negara setiap warga negara mempunyai hak dan kewajiban untuk ikut serta dalam upaya pembelaan negara sebagai pencerminan kehidupan kebangsaan yang menjamin hak – hak warga negara untuk hidup setara, adil, aman, damai, dan sejahtera^[1].

Kendaraan tempur menjadi salah satu faktor pendukung untuk mewujudkan pertahanan negara. Kendaraan tempur yang paling sering digunakan adalah tank, yang mulai dikembangkan dari Perang Dunia II dan menjadi kendaraan tempur terhebat saat itu. Kendaraan tempur Indonesia sekarang antara lain adalah tank AMX 13 yang dimiliki oleh TNI AD.

Tank AMX 13 merupakan tank yang dibuat di Perancis sekitar tahun 50-60. Tank AMX 13 merupakan tank utama dari TNI-AD karena jumlahnya yang paling banyak, yaitu 275 unit. Berat tank ini mencapai 13.7 ton dengan kecepatan 60 km/jam. Tank ini memiliki massa yang sangat besar karena sebagian besar penyusunnya terbuat dari baja. Dengan bobot tank yang berat ini, diperlukan bahan bakar lebih untuk daya dorong kendaraan sehingga membuat boros bahan bakar dan mengurangi mobilitasnya^[2]. Karena itulah dicari alternatif lain untuk menggantikan baja tersebut, salah satunya adalah MMC (*Metal Matrix Composite*) dengan penyusun matriks aluminium dan berpenguat SiC.

Dalam beberapa tahun belakangan ini, komposit berbasis logam (*metal matrix composite*) dengan matriks aluminium yang berpenguat SiC banyak digunakan untuk aplikasi penerbangan, militer, dan industri manufaktur karena kekuatannya tinggi dan memiliki ketahanan aus dan fatik yang baik^[3]. Matriks yang digunakan pada skripsi ini adalah paduan aluminium dengan silikon Al-7Si.

Paduan aluminium ini memiliki sifat mekanis dan kemampuan bentuk yang baik. Karena tujuan pembuatan komposit aluminium berpenguat SiC ini adalah untuk ketahanan balistik, matriks aluminium yang digunakan sifatnya masih cenderung lunak, sehingga diperlukan tambahan elemen paduan lain yaitu magnesium dan seng agar kekerasan dan ketahanan balistiknya meningkat.

Pada penelitian Mahadevan *et al.*^[4], disebutkan bahwa paduan aluminium seri 6061 mampu dikeraskan dengan proses pengerasan penuaan dengan membentuk presipitat Mg_2Si yang stabil, koheren dan berstruktur kubik yang tersebar dalam matriks aluminium selama proses penuaan. Proses pengerasan penuaan merupakan proses yang umum dilakukan untuk mengeraskan paduan aluminium. Pengerasan dengan metode tersebut diharapkan dapat menimbulkan presipitat pada matriks aluminium sehingga dapat meningkatkan kekerasannya. Selain dengan pengerasan penuaan, komposit aluminium ini juga dikeraskan dengan proses pengerjaan *rolling* yang memberikan deformasi plastis pada komposit sehingga diharapkan terdapat kenaikan kekerasan komposit dan meningkatkan ketahanan balistiknya.

Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk mempelajari pengaruh kandungan seng terhadap ketahanan balistik dari komposit paduan aluminium dengan penguat SiC yang dikeraskan dengan pengerasan penuaan dan *rolling*. Secara menyeluruh, penelitian ini ditujukan untuk meningkatkan pemahaman interaksi elemen paduan Mg dan Zn pada komposit paduan aluminium berpenguat SiC ini untuk meningkatkan kekerasannya. Skripsi ini sendiri khusus didedikasikan untuk mempelajari pengaruh kadar Zn sebesar 1, 5, dan 9 wt. % terhadap karakteristik komposit Al-7Si berpenguat SiC dengan mekanisme pengerasan penuaan dan pengerjaan *rolling*.

1.2. Perumusan Masalah

Komposit yang dikembangkan pada penelitian ini diaplikasikan untuk kendaraan militer yang merupakan jenis produk cor berbentuk plat yang terdiri dari paduan aluminium silikon yang ditambah elemen paduan lain yaitu magnesium dan seng, serta diperkuat oleh partikel keramik SiC berukuran 180 *mesh*. Komposit ini diharapkan dapat memberikan ketahanan balistik yang tinggi dengan densitas yang lebih ringan. Pembuatan komposit dilakukan dengan proses

pengecoran paduan aluminium dengan magnesium dan seng serta ditambahkan partikel SiC kemudian di *mixing* dan dituang ke cetakan. Pembuatan komposit pada skripsi ini dikhususkan dengan menggunakan fraksi berat magnesium 4 % dan variasi fraksi berat seng 1, 5, dan 9 %. Setelah itu, komposit aluminium diberikan pengerasan penuaan dan diuji kekerasannya pada jangka waktu tertentu menggunakan metode Rockwell B untuk mengetahui kondisi *peak aged*.

Selain itu, komposit juga dilakukan pengerjaan *rolling* untuk melihat pengaruh deformasi plastis terhadap kekerasan komposit. Dengan dilakukan pengerjaan *rolling* diharapkan kekerasan awal dari komposit dapat meningkat sehingga saat dilakukan pengerasan penuaan, kekerasan yang diperoleh dapat lebih tinggi. Hasil ini lalu dibandingkan dengan komposit yang hanya mengalami pengerasan penuaan tanpa pengerjaan *rolling*.

Penelitian dilanjutkan dengan melakukan karakterisasi material yang dilihat dengan beberapa pengujian, yaitu pengamatan struktur makro patahan komposit dan pengamatan struktur mikro dengan mikroskop optik dan SEM untuk mengamati struktur intermetalik pada komposit tersebut.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mempelajari pengaruh kadar 1, 5 dan 9 % Zn terhadap kekerasan dan ketahanan balistik serta struktur mikro dari komposit paduan aluminium berpenguat SiC.
2. Mempelajari pengaruh kadar 1, 5 dan 9 % Zn terhadap mekanisme pengerasan pengendapan (*precipitation hardening*) yang terjadi akibat proses pengerasan penuaan (*ageing*).
3. Mempelajari pengaruh *rolling* terhadap mekanisme pengerasan penuaan.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi dengan ruang lingkup sebagai berikut :

- a. Material yang digunakan untuk membuat komposit tahan peluru ini adalah pelat paduan aluminium dengan tambahan elemen paduan magnesium dan seng ketebalan 10 mm, penguat partikel keramik SiC berukuran 180 *mesh* dengan fraksi berat 5 %.
- b. Variabel penelitian ini adalah fraksi berat elemen paduan seng pada aluminium yaitu 1, 5 dan 9 % dengan fraksi berat tetap magnesium 4 %.
- c. Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode pengecoran, dimana lelehan paduan aluminium silikon dilebur bersama magnesium dan seng, setelah itu ditambahkan partikel keramik SiC berukuran 180 *mesh* dengan fraksi berat 5 %.
- d. Komposit aluminium berpenguat SiC tersebut diberi pengerasan penuaan *precipitation hardening* dan setelah itu diuji kekerasannya menggunakan metode Rockwell B pada rentang waktu tertentu untuk mendapatkan *peak age*, yaitu saat komposit memiliki kekerasan tertinggi.
- e. Karakterisasi komposit aluminium berpenguat SiC meliputi pengujian mekanik berupa pengujian impak dan pengamatan struktur makro dan mikro komposit.
- f. Melakukan pengerjaan *rolling* dengan persen reduksi 10 % terhadap komposit dengan nilai kekerasan tertinggi dan membandingkannya dengan komposit yang tidak diberi perlakuan *rolling*.

1.5. Sistematika Penulisan

Penelitian tentang respons komposit paduan aluminium terhadap pengerasan penuaan ini akan ditulis dengan sistematika penulisan sebagai berikut, bab 1 merupakan pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan. Bab 2 adalah tinjauan pustaka yang menjelaskan mengenai studi literatur yang berkaitan dan mendukung penelitian serta aspek-aspek yang perlu diperhatikan dalam melakukan penelitian tentang respons komposit Al-7Si-4Mg variasi 1, 5, dan 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC terhadap pengerasan penuaan. Bab 3

berisi metodologi penelitian yang memberikan penjelasan mengenai hal-hal yang dilakukan selama penelitian berlangsung dan berhubungan dengan preparasi sampel, pengerasan penuaan, dan pengumpulan data serta informasi hingga pengujian – pengujian yang dilakukan pada komposit. Bab 4 merupakan hasil dan pembahasan dari penelitian. Bab ini terdiri atas seluruh hasil dari data percobaan yang didapatkan untuk kemudian dibandingkan dengan literatur sehingga didapatkan suatu analisis yang dapat menggambarkan sifat-sifat dan karakteristik dari respons komposit paduan aluminium terhadap pengerasan penuaan. Sedangkan terakhir, bab 5 berisi kesimpulan yang mencakup rangkuman dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aluminium dan Paduannya

2.1.1 Penamaan Aluminium

Paduan aluminium dibagi menjadi dua kategori : komposisi pengecoran dan komposisi tempa (*wrought*). Perbedaan dari kedua kategori ini berdasarkan dari mekanisme pengembangan sifat – sifatnya.

Sistem penamaan dilakukan dengan pemberian angka empat digit pada paduan aluminium, pembagian ini dilakukan berdasarkan unsur paduan dominan yang terkandung pada aluminium tersebut^[5]. Aluminium dengan kode angka 1xxx merupakan aluminium murni dengan kadar kemurnian mencapai 99 %. Tabel 2.1 dibawah ini menunjukkan kode penamaan paduan aluminium lainnya.

Tabel 2.1. Nomor seri dan elemen paduan utama aluminium^[5]

Nomor Seri	Elemen Paduan Utama
1xxx	Aluminium murni ≥ 99.00 %
2xxx	Tembaga
3xxx	Mangan
4xxx	Silikon
5xxx	Magnesium
6xxx	Magnesium dan Silikon
7xxx	Seng
8xxx	Lainnya

Selain klasifikasi aluminium diatas, terdapat lagi klasifikasi aluminium berdasarkan sistem *temper*. Sistem *temper* ini digunakan untuk bentuk produk cor dan tempa. Penulisan klasifikasi aluminium *temper* ini tidak menggunakan empat digit angka, melainkan dengan huruf kapital yang diikuti dengan satu digit angka. Digit ini melambangkan perlakuan spesifik yang menghasilkan karakteristik gabungan dari produk aluminium. Tabel 2.2 dibawah ini menunjukkan klasifikasi penulisan temper dasar pada aluminium.

Tabel 2.2. Penulisan temper dasar pada paduan aluminium^[5]

Kode Penamaan	Arti	Definisi
F	<i>As Fabricated</i>	Diaplikasikan pada produk yang dibentuk pada <i>cold working, hot working</i> atau proses pengecoran tanpa mengontrol kondisi thermalnya
O	<i>Annealed</i>	Diaplikasikan pada produk tempa yang dianil sampai temper kekuatan paling rendah dan pada produk cor yang dianil untuk meningkatkan keuletan dan stabilitas dimensi
H	<i>Strain Hardened</i>	Hanya pada produk tempa. Kode ini mengindikasikan produk yang sudah dikuatkan dengan strain hardening, dengan atau tanpa penambahan perlakuan panas untuk mengurangi kekuatannya.
W	<i>Solution Heat-Treated</i>	Temper yang tidak stabil dan hanya diaplikasikan pada paduan yang kekuatannya berubah pada temperatur ruang dalam jangka waktu yang sangat lama setelah di <i>solution treatment</i> (berbulan-bulan atau bertahun-tahun)
T	<i>Solution Heat Treated</i>	Diaplikasikan pada paduan yang kekuatannya stabil dalam beberapa minggu <i>solution heat treatment</i> .

2.1.1.1. Sistem Penamaan untuk Paduan Aluminium yang Mampu diberi Perlakuan Panas

Sistem penamaan diberikan untuk paduan aluminium tempa dan produk cor yang diperkuat dengan memberikan perlakuan panas. Penamaan dengan menggunakan indeks W mengindikasikan temper yang tidak stabil sedangkan penamaan T mengindikasikan temper yang lebih stabil. Penamaan dengan indeks T ini diikuti oleh digit angka 1 sampai 10, dimana masing-masing angka mengindikasikan perlakuan panas spesifiknya.

Tabel 2.3. Penamaan paduan aluminium yang mengalami temper stabil^[5]

Kode Penamaan	Arti	Definisi
T1	Didinginkan dari temperatur tinggi untuk proses pembentukan dan dilakukan penuaan alami sampai kondisi substrat yang stabil	Diaplikasikan pada produk yang tidak diberi perlakuan pengerjaan dingin setelah mengalami temperatur tinggi untuk proses pembentukannya, seperti casting atau ekstrusi. Sifat mekanisnya stabil dengan penuaan pada temperatur ruang
T2	Didinginkan dari temperatur tinggi untuk proses pembentukan, dilakukan pengerjaan dingin, dan dilakukan penuaan alami sampai kondisi substrat yang stabil	Dinamai berdasarkan produk yang mengalami pengerjaan dingin untuk meningkatkan kekuatannya setelah didinginkan dari proses pengerjaan panasnya seperti <i>rolling</i> atau ekstrusi dimana sifat mekanisnya stabil dengan penuaan pada temperatur ruang
T3	Perlakuan panas larutan, pengerjaan dingin, dan penuaan alami sampai kondisi substrat yang stabil	Diaplikasikan pada produk yang diberikan pengerjaan dingin untuk meningkatkan kekerasan setelah perlakuan panas larutan dan dimana sifat mekanisnya stabil dengan penuaan pada temperatur ruang
T4	Perlakuan panas larutan dan diberi penuaan alami sampai kondisi substrat yang stabil	Produk dengan kode ini tidak mengalami pengerjaan dingin setelah perlakuan panas larutan dan sifat mekanisnya stabil dengan penuaan pada temperatur ruang.
T5	Didinginkan dari temperatur tinggi untuk proses pembentukan dan diberi perlakuan penuaan buatan	Diaplikasikan pada produk yang tidak diberi pengerjaan dingin setelah mengalami temperatur tinggi untuk proses pembentukannya, seperti casting atau ekstrusi dimana sifat mekanisnya meningkat dengan perlakuan panas presipitat.
T6	Perlakuan panas larutan dan diberi penuaan buatan	Berlaku pada produk yang tidak diberikan pengerjaan dingin setelah perlakuan panas larutan dimana sifat mekanisnya meningkat dengan perlakuan panas presipitat.

Tabel 2.3. (lanjutan) Penamaan paduan aluminium yang mengalami temper stabil^[5]

Kode Penamaan	Arti	Definisi
T7	Perlakuan panas larutan dan diberi penuaan buatan sampai <i>overaged</i>	Diaplikasikan pada produk tempa yang mengalami perlakuan panas presipitat diatas titik maksimum kekuatannya untuk menghasilkan karakteristik tertentu.
T8	Perlakuan panas larutan, pengerjaan dingin, dan diberi penuaan buatan	Diaplikasikan pada produk yang diberi pengerjaan dingin secara spesifik untuk meningkatkan kekuatannya setelah diberi perlakuan panas larutan dimana sifat mekanisnya meningkat dengan perlakuan panas presipitat.
T9	Perlakuan panas larutan, diberi penuaan buatan, dan pengerjaan dingin	Didefinisikan untuk produk yang dilakukan pengerjaan dingin secara spesifik untuk meningkatkan kekuatannya setelah diberi perlakuan panas presipitat.
T10	Didinginkan dari temperatur tinggi untuk proses pembentukan, pengerjaan dingin dan diberi perlakuan penuaan buatan	Diaplikasikan pada produk yang diberi pengerjaan dingin setelah mengalami temperatur tinggi untuk proses pembentukannya, seperti casting atau ekstrusi dimana sifat mekanisnya meningkat dengan perlakuan panas presipitat.

2.1.2 Aluminium Silikon Al-7Si

Paduan aluminium yang digunakan pada penelitian ini adalah Al – 7Si atau AC4C berdasarkan spesifikasi dari JIS^[6]. Komposisi kimia dari paduan ini ditunjukkan pada Tabel 2.4. Aluminium silikon paling sering digunakan sebagai matriks komposit karena dapat diproduksi dengan mudah dengan teknik pengecoran (seperti *melt stir casting*) dan relatif murah^[6].

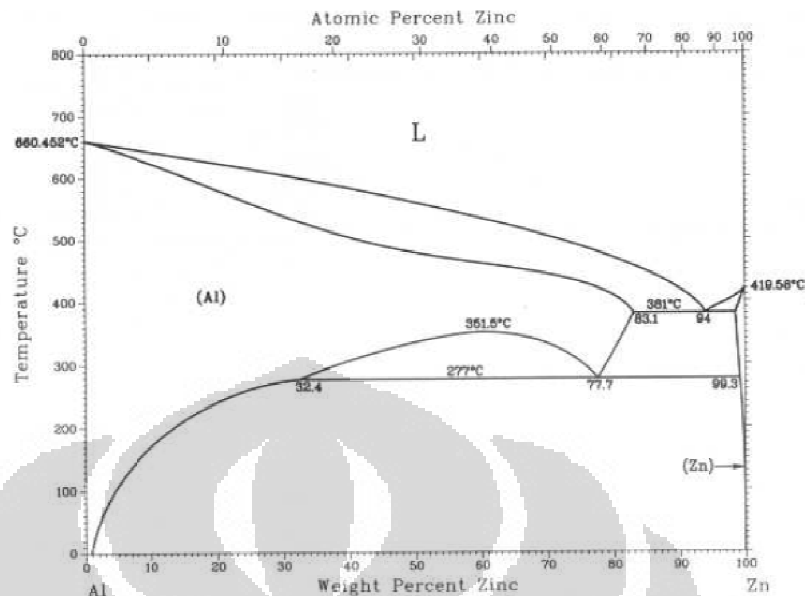
Tabel 2.4. Komposisi kimia dari paduan Al-7Si (wt. %)^[6]

Si	Mg	Cu	Fe	Zn	Ti	Ni	Bi	V	Al
7.33	0.24	0.15	0.27	0.01	0.1	0.02	0.03	0.01	Balance

2.1.3 Pengaruh Unsur Paduan pada Al – 7Si

Berdasarkan penelitian oleh Henriksen dan Johnsen pada tahun 1990^[7], penambahan magnesium pada lelehan paduan aluminium berguna untuk meningkatkan ikatan antarmuka antara partikel SiC dengan matriksnya. Semakin tinggi fraksi berat magnesium yang diberikan, diharapkan ikatan antarmuka antara penguat SiC dengan matriksnya dapat semakin kuat sehingga mencegah terbentuknya *void* yang dapat melemahkan sifat mekanis dari komposit tersebut. Selain dapat meningkatkan ikatan antarmuka antara matriks dengan penguatnya, keberadaan magnesium pada paduan aluminium silikon ini dapat menginisiasi pembentukan paduan kasar $Al_5Mg_8Si_6Cu_2$ didalam matriks aluminium yang meningkatkan kemampuan paduan untuk dilakupanaskan^[8]. Kelarutan magnesium pada aluminium padat sebesar 17.4% dan mengendap di batas butir sebagai fasa anodic (Mg_5Al_3 atau Mg_5Al_8) yang menghasilkan ketahanan terhadap *intergranular cracking*^[5].

Sedangkan menurut skripsi Yusfranto pada tahun 2006, penambahan kadar seng pada paduan aluminium mengakibatkan peningkatan nilai kekerasan pada perilaku penuaan^[9]. Hal tersebut disebabkan oleh pembentukan struktur dendritik yang lebih halus sehingga tingkat kekuatan tarik (UTS) meningkat. Selain itu, penambahan seng pada aluminium merupakan kombinasi untuk mendapatkan kekuatan tarik yang paling tinggi dalam *wrought aluminium alloy*^[5]. Seng memiliki kelarutan yang tinggi pada aluminium, yaitu sekitar 86 wt. % seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Penambahan magnesium dan seng pada aluminium meningkatkan kekuatan aluminium karena mereka dapat membentuk endapan $MgZn_2$ yang dihasilkan dari respon perlakuan panasnya^[5]. Diharapkan dengan penambahan kadar seng yang semakin tinggi (9 wt. %) akan meningkatkan kekerasan dari komposit paduan aluminium dan ketahanan balistiknya tanpa mengorbankan ketangguhan dari matriksnya.

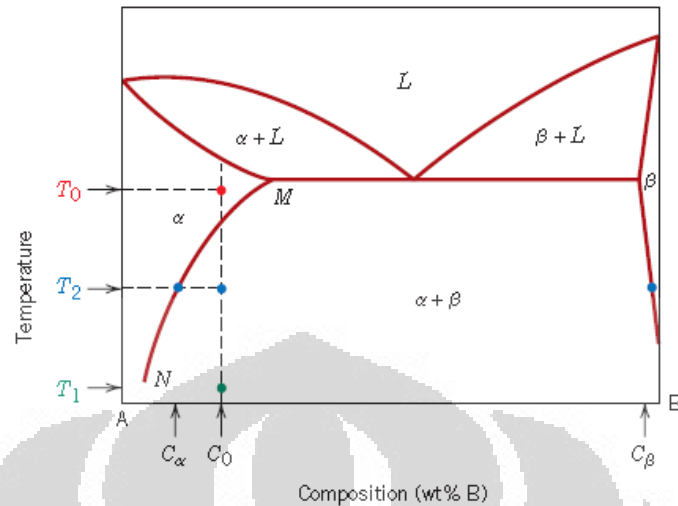


Gambar 2.1 Diagram fasa Al-Zn^[10]

2.1.4 Pengerasan Penuaan pada Paduan Aluminium

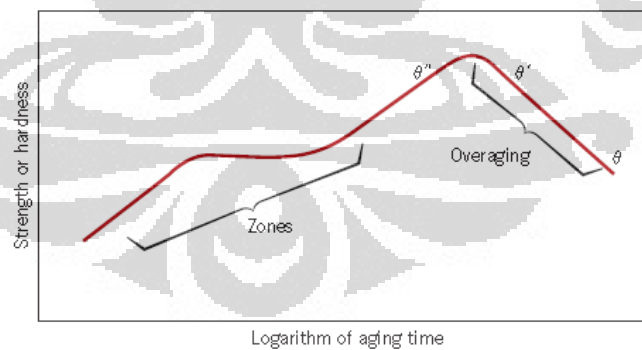
Kekuatan dan kekerasan dari paduan aluminium dapat ditingkatkan dengan pembentukan partikel kecil yang terlarut dalam bentuk fasa kedua di matriks aslinya. Hal tersebut dicapai dengan proses perlakuan panas yang sering disebut dengan pengerasan presipitat (*precipitation hardening*). Selain itu proses ini sering juga disebut dengan pengerasan penuaan (*age hardening*) karena waktu memegang peranan penting dalam peningkatan kekerasannya^[11]. Proses pengerasan presipitat ini terbagi dua, yaitu perlakuan panas larutan (*solution heat treating*) dan perlakuan panas presipitat (*precipitation heat treating*).

Perlakuan panas larutan adalah tahap dimana semua atom terlarut dalam satu fasa larutan padat. Seperti yang ditunjukkan pada contoh diagram fasa pada Gambar 2.2, paduan dipanaskan sampai mencapai temperatur (T_0) daerah fasa alfa (α) dan ditahan sampai seluruh fasa β yang terdapat pada paduan tersebut untuk larut sempurna menjadi satu fasa α . Setelah itu, dilakukan pendinginan cepat atau *quenching* ke temperatur T_1 atau temperatur ruang untuk memberhentikan difusi dan mencegah pembentukan fasa β . Pada tahap ini, terbentuk larutan padat lewat jenuh α yang relatif lunak dan lemah^[11].



Gambar 2.2. Contoh diagram fasa untuk paduan yang mampu dikeraskan dengan pengerasan presipitat^[11]

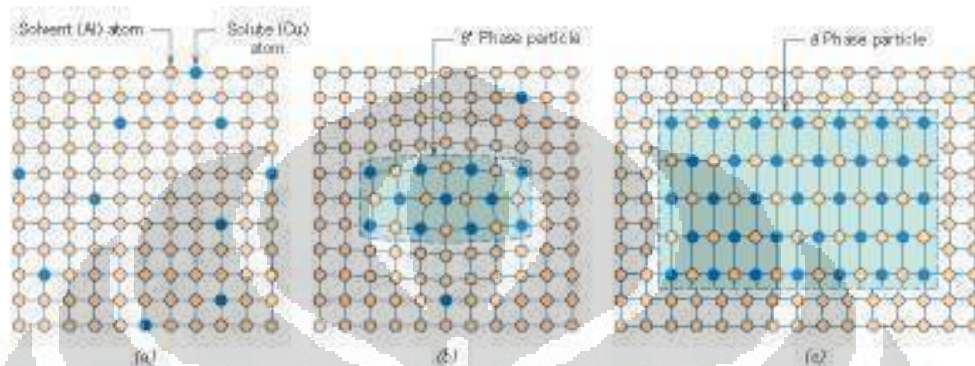
Pada perlakuan panas presipitat, larutan padat lewat jenuh α dipanaskan sampai temperatur menengah T_2 , atau daerah dua fasa α - β dimana laju difusi mulai berjalan lagi. Presipitat β mulai terbentuk sebagai partikel terlarut pada konsentrasi tertentu. Proses tersebut dinamakan penuaan (*ageing*). Pada waktu penuaan tertentu, paduan didinginkan ke temperatur ruang. Proses penuaan ini ditunjukkan dalam grafik temperatur vs waktu seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Diagram skematis kekerasan vs log.waktu selama perlakuan panas presipitat^[11]

Mekanisme penguatan presipitat ini melibatkan pembentukan dari *cluster* koheren dari atom yang terlarut. Hal ini terjadi karena adanya regangan akibat adanya *mismatch* dari atom yang larut dan matriksnya. Keberadaan partikel

presipitat menghasilkan kekuatan tinggi karena menghambat pergerakan dislokasi. Karakteristik penentuan apakah kristal koheren atau tidak dilihat dari kecocokan antara jarak atom di kisi matriks dan presipitatnya atau yang sering disebut *GP Zone*^[11]. Gambar 2.4 menunjukkan beberapa tahap dari pembentukan fasa presipitat setimbang (θ)



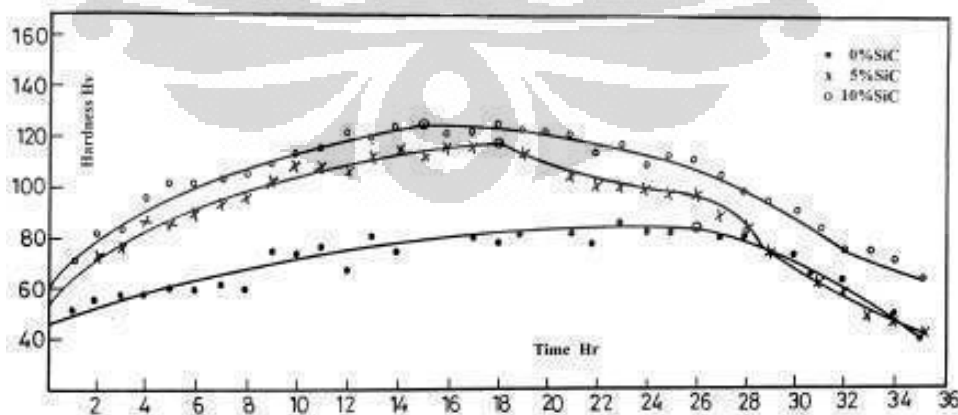
Gambar 2.4. Pembentukan presipitat pada (a) Larutan padat α lewat jenuh (b) Transisi dari pembentukan fasa presipitat θ'' (c) Fasa setimbang θ diantara matriks α ^[11]

Pada penelitian yang dilakukan oleh Sung Won Kim *et al.*^[13], perlakuan panas penuaan pada komposit Al-Si-Cu-Mg-(Ni)/SiCp dilakukan dengan *solution treatment* pada temperatur 500 °C selama 10 jam yang diikuti dengan pendinginan cepat dengan media air, lalu dilanjutkan lagi dengan proses penuaan, pada temperatur 160 °C. Ukuran partikel SiC yang digunakan adalah 3, 5, dan 10 μm . Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan kalau komposit yang memiliki ukuran partikel SiC yang lebih kecil (dalam penelitiannya 3 dan 5 μm SiC) menghasilkan respon pengerasan penuaan yang lebih cepat daripada komposit yang memiliki volume fraksi yang besar. Hal ini diakibatkan oleh pembentukan dislokasi pada batas partikel penguat antara matriks dan SiC selama *solution treatment* dan *quenching* yang lebih banyak terjadi pada ukuran partikel SiC yang lebih kecil. Dislokasi bertindak sebagai *non-uniform nucleation sites* selama proses penuaan.

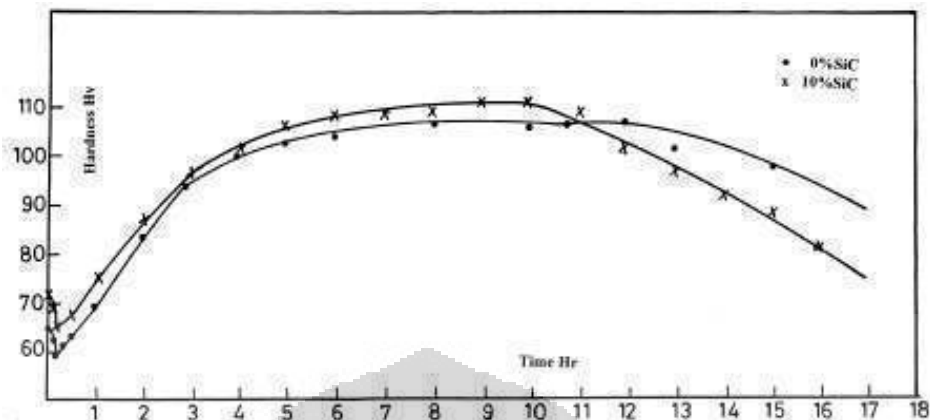
Lebih lanjut lagi pada penelitian yang dilakukan oleh El-Baradie *et al.*^[14], sampel komposit adalah aluminium 7020 yang diperkuat dengan SiC dengan fraksi volum 5 dan 10 %. *Solution treatment* dilakukan pada temperature 510 ± 10 °C selama 2 jam dan didinginkan cepat dengan air lalu dilanjutkan dengan proses

penuaan pada temperatur 170 °C. Perlakuan tersebut menghasilkan kekerasan maksimal pada penambahan 5 % SiC adalah 118 HV dan pada 10 % SiC adalah 125 HV. Penambahan kekerasan tersebut diakibatkan tingginya kekerasan partikel SiC dan peningkatan konsentrasi dislokasi disekitar partikel SiC dan perbandingan kurva penuaannya dapat dilihat pada Gambar 2.5. Selain itu, koefisien ekspansi termal dari Al hampir 8 kali lebih tinggi dari SiCp, sehingga saat komposit didinginkan cepat dari temperatur *solution treatment*, regangan plastis yang terbentuk akibat *thermal mismatch* sangat tinggi. Regangan tersebut menghasilkan dislokasi tambahan yang mengakibatkan peningkatan densitas dislokasi pada matriks komposit. *Quenching* juga menghasilkan pembentukan *vacancies* bebas yang membantu formasi GP Zone yang meningkatkan kinetika penuaan.

Penelitian yang sama dilakukan juga deformasi *rolling*. Terdapat perubahan kekerasan pada proses penuaannya yang dilakukan pada temperatur 170 °C. Pada keberadaan *cold work*, terdapat penurunan kekerasan pada tahap awal penuaan. Proses *cold working* yang dilakukan adalah 10 % dan 30 %, namun keduanya tidak menghasilkan nilai kekerasan yang berbeda secara signifikan. Walaupun tidak memiliki angka kekerasan yang signifikan, namun *cold work* ini mempengaruhi waktu penuaan. Semakin tinggi persen deformasinya, semakin cepat pula waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *peak age*. Perbandingannya dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.5. Kurva penuaan pada temperatur 170 °C^[14]

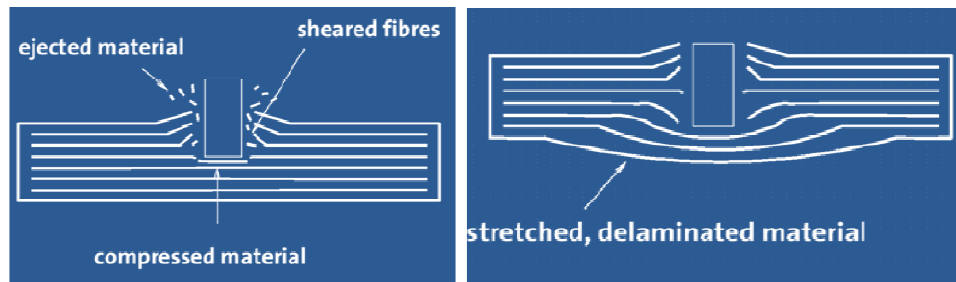


Gambar 2.6. Kurva penuaan pada 10% *coldwork*^[14]

Pengerasan penuaan juga lazim dilakukan pada komposit paduan aluminium. Rao *et al.* menggunakan paduan aluminium 7009 dengan variasi partikel penguat 10, 15 dan 25 wt. % silikon karbida^[15]. Perlakuan panas yang diberikan adalah solution treatment selama 8 jam pada temperatur 490 °C, pendinginan cepat, penuaan buatan pada temperatur 180 °C selama 4, 6, 8, dan 10 jam. Pengujian tersebut menghasilkan bahwa kekerasan puncak didapat pada waktu 6 jam dan kekerasan sampel meningkat seiring dengan peningkatan kandungan silikon karbida.

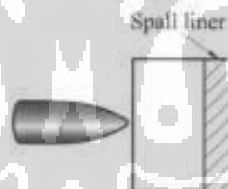
2.2 Karakteristik Balistik

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, balistik berkaitan dengan balistika, atau benda yang bergerak menurut hukum balistika yang berarti berkaitan dengan hukum mekanis dari pergerakan dan sifat peluru atau proyektil. Proyektil sendiri adalah objek yang mempunyai kecepatan horizontal yang akselerasinya bergantung pada gravitasi^[16]. Ada beberapa tipe proyektil yang digunakan untuk menyerang dan menembus armor. Proyektil ini memiliki karakteristik energi kinetik, energi kimia, dan masing-masing tipenya membutuhkan tipe pelindung yang berbeda. Intinya, sifat material sebagai pelindung (armor) yang memiliki ketahanan balistik yang baik harus dapat menyetop proyektil dari kemampuan penetrasinya atau bahkan mendeformasi proyektil tersebut^[17]. Berikut gambar yang menunjukkan kemampuan plat komposit untuk menahan laju proyektil.



Gambar 2.7 Respon material terhadap beban kejut balistik a) terjadi kompresi dan kegagalan geser pada material, b) terjadi deformasi tarik dan delaminasi (pemisahan material) ^[17]

Karakteristik material yang memiliki ketahanan balistik adalah kemampuannya untuk menyerap energi kinetik dari proyektil. Energi yang diserap ini bisa dalam bentuk deformasi plastis atau terjadi perpatahan pada material armor seperti pada Gambar 2.7 diatas. Apabila terjadi perpatahan, diharapkan fragmen dari perpatahan materialnya tidak melukai atau merusak yang ingin dilindungi. Karena itulah beberapa armor memiliki panel protektif dan penambahan lapisan anti *spalling* yang berguna untuk meredam fragmen yang terjadi seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Penambahan lapisan anti *spalling* untuk meredam fragmen yang terjadi ^[16]

Standar NIJ ^[18] menetapkan *Level Performance* dari material armor berdasarkan urutan sebagai berikut :

1. Type I (22 LR; 38 Special)
2. Type II-A (*Lower velocity* 357 magnum;9 mm)
3. Type II (*Higher velocity* 357 magnum;9mm)
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

..

Klasifikasi detail dari material armor ada pada Tabel 2.5

Tabel 2.5. Klasifikasi detail material armor untuk pengujian balistik^[18]

Tipe armor	Amunisi (Peluru)	Massa peluru (gram)	Panjang laras (cm)	Kecepatan peluru (m/s)
I	22 LRHV	2.6	15 to 16.5	320 ± 12
	Lead	40		
	38 Special RN	10.2	15 to 16.5	259 ± 15
	Lead	158		
II-A	357 Magnum	10.2	10 to 12	381 ± 15
	JSP	158		
	9 mm FMJ	8.0 124	10 to 12	332 ± 12
II	357 Magnum	10.2	15 to 16.5	425 ± 15
	JSP	158		
	9 mm FMJ	8.0 124	10 to 12	358 ± 12
	44 Magnum	15.55	14 to 16	426 ± 15
III-A	Lead SWC Gas Checked	240		
	9 mm FMJ	8.0 124	24 to 26	426 ± 15
	7.62 mm	9.7	56	838 ± 15
III	308 Winchester	150		
	FMJ			
IV	30-06	10.8	56	868 ± 15
	AP	166		

Keterangan :

- AP : *Armor Piercing*
- FMJ : *Full Metal Jacket* → timah dibungkus dengan paduan Cu
- JSP : *Jacketed Soft Point* → timah dibungkus paduan Cu, kecuali bagian ujung
- LRHV : *Long Rifle High Velocity*
- RN : *Round Nose*
- SWC : *Semi-Wadcutter* → badan peluru silinder runcing

2.3 Aluminium untuk Balistik

Pada sejarahnya, penggunaan paduan aluminium untuk aplikasi balistik sudah digunakan oleh U.S Army dan U.S Marine Cops sebagai kendaraan tempur. Paduan aluminium yang digunakan adalah AA 6083-H131^[19]. Paduan tersebut digunakan karena ringan, memiliki kemampuan las yang bagus, ketahanan korosi yang baik dan performanya dalam menahan fragmentasi pun tinggi. Namun

paduan aluminium ini masih rentan terhadap serangan *armor piercing* (AP), sehingga diperlukan alternatif lain dalam paduan aluminium untuk menahan serangan tersebut, salah satunya adalah komposit dengan matriks paduan aluminium.

Modal *et al.* meneliti respons balistik terhadap AA7055 yang telah dilakukan pemanasan^[20]. Paduan aluminium tersebut dihomogenisasi pada temperatur 450 °C selama 40 jam lalu setelah itu di-*machining* dan di-*hot roll* sampai membentuk plat berukuran 150 mm x 150 mm dengan variasi ketebalan 5, 10, dan 30 mm. Sampel tersebut kemudian diberikan perlakuan solution treatment pada temperatur 455 °C selama 90 menit, didinginkan cepat, lalu diberikan perlakuan panas penuaan buatan selama 100-165 °C. Saat pengujian balistik, AA7017 digunakan sebagai material *backing*. Penelitian tersebut menghasilkan bahwa pada ketebalan 30 mm dan dalam kondisi *peak aged*, ketahanan balistik dari meningkat sebanyak 43 %.

Garcia-Castillo *et al.* meneliti respons balistik dari plat aluminium 7075-T6 yang dilapisi dengan *metal films*^[21]. Plat yang digunakan berukuran 140 mm x 200 mm x 1.5 mm dengan kondisi ada plat yang diberi dan tidak diberi *uniaxial preload*. Kedua kondisi plat mengalami kegagalan dalam pengujian balistiknya dan plat yang diberi *uniaxial preload* mengalami kegagalan yang katastrofik dengan diameter perforasi 38 % lebih tinggi dari plat yang tidak diberi *preload*.

2.3.1. Komposit Aluminium untuk Balistik

Selain menggunakan komposit partikulat, komposit laminat juga diteliti sebagai komposit untuk aplikasi balistik. Penelitian Ubeyli *et al.* menggunakan komposit laminat Al₂O₃ dan AA2024 yang masing-masing dipakai sebagai layer depan dan belakang^[22]. Lapisan keramik alumina berdimensi 50 mm x 50 mm dan variasi ketebalan 4, 6, 8, dan 10 mm digunakan sebagai lapisan depan. Lapisan keramik tersebut ditempelkan ke plat paduan aluminium 2024 menggunakan adesif epoksi dan poliuretan. Sebelum ditempelkan ke lapisan keramik alumina, plat paduan aluminium 2024 diberi perlakuan panas *solution treatment* 490 °C selama 1 jam dan pengerasan penuaan pada 220 °C selama satu jam. Penelitian tersebut menghasilkan bahwa lapisan keramik alumina mengalami defragmentasi akibat beban kejut proyektil, namun *backing layer* atau lapisan belakang atau plat

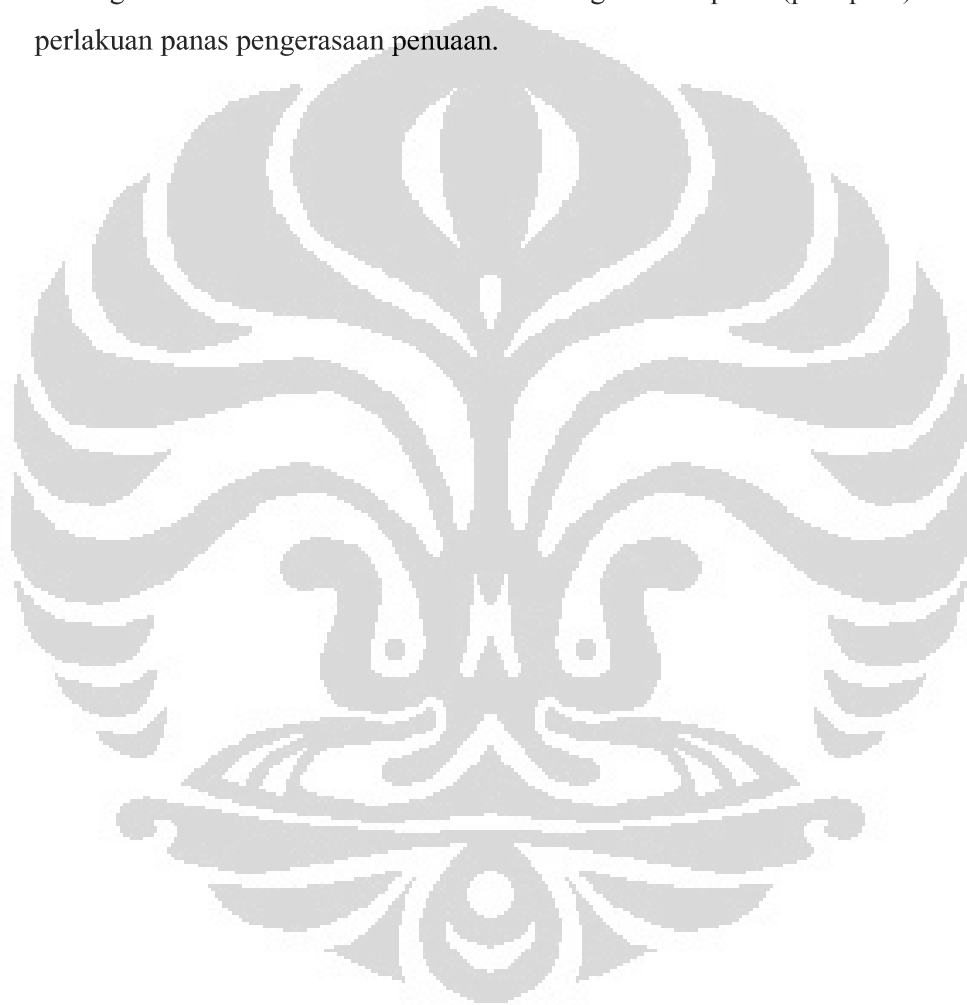
AA2024 tidak mengalami deformasi sehingga disimpulkan bahwa untuk komposit laminat, penggunaan lapisan keramik sebagai front layer memiliki ketahanan balistik yang cukup baik.

Penelitian Karamis *et al.* juga menggunakan komposit laminat yang merupakan kombinasi dari lapisan MMC AA2024 yang diperkuat oleh partikel alumina dengan variasi struktur *layer* dan lapisan AA2024 yang tidak diperkuat untuk melihat responsnya terhadap beban balistik^[23]. Komposit tersebut diproduksi dengan *squeeze casting* dan teknik *hot pressing*. Partikel alumina ditata dalam dua variasi, yaitu secara vertikal dan horizontal, dimana dalam proses pembuatannya partikel yang tersebar secara horizontal lebih mudah untuk dibuat. Hasil balistik menunjukkan bahwa komposit dengan partikel alumina yang ditata secara vertikal dapat menahan proyektil yang mengenainya sehingga proyektil tersangkut pada sampel komposit. Sedangkan partikel alumina yang ditata secara horizontal mampu ditembus oleh proyektil.

Komposit matriks aluminium dengan penguat partikel SiC sudah dikembangkan selama tiga dekade karena kekuatannya tinggi dan massa jenisnya rendah. Pada saat proyektil menumbuk material, energi kinetiknya terserap oleh material dan menghasilkan gesekan yang tinggi antara permukaan proyektil dan permukaan komposit^[24]. Pada penelitian ini, Karamis *et al.* menggunakan matriks paduan aluminium 5083 dengan variasi partikel penguat silikon karbida dengan fraksi volum 15, 30, dan 45 %. Komposit tersebut tidak diberikan perlakuan panas. Penelitian menghasilkan kalau volum fraksi silikon karbida 15 % memiliki keuletan yang lebih tinggi. Selain itu dari hasil balistiknya, lubang tempat peluru masuk dideteksi memiliki perubahan komposisi unsur. Seperti misalnya pada ujung tempat peluru masuk, kandungan aluminium sangat tinggi namun menurun secara gradual seiring dengan kedalaman lubang penetrasi.

Vasudevan *et al.*^[25], meneliti pengaruh tekanan hidrostatik terhadap keuletan komposit Al-SiC dan menunjukkan hasil jika material dengan partikulat SiC dapat meningkatkan keuletan seiring dengan meningkatnya tekanan. Laju proyektil yang menumbuk material memiliki tekanan yang sangat tinggi, karena itulah komposit ini sering dikembangkan untuk aplikasi militer, karena karakteristik balistiknya.

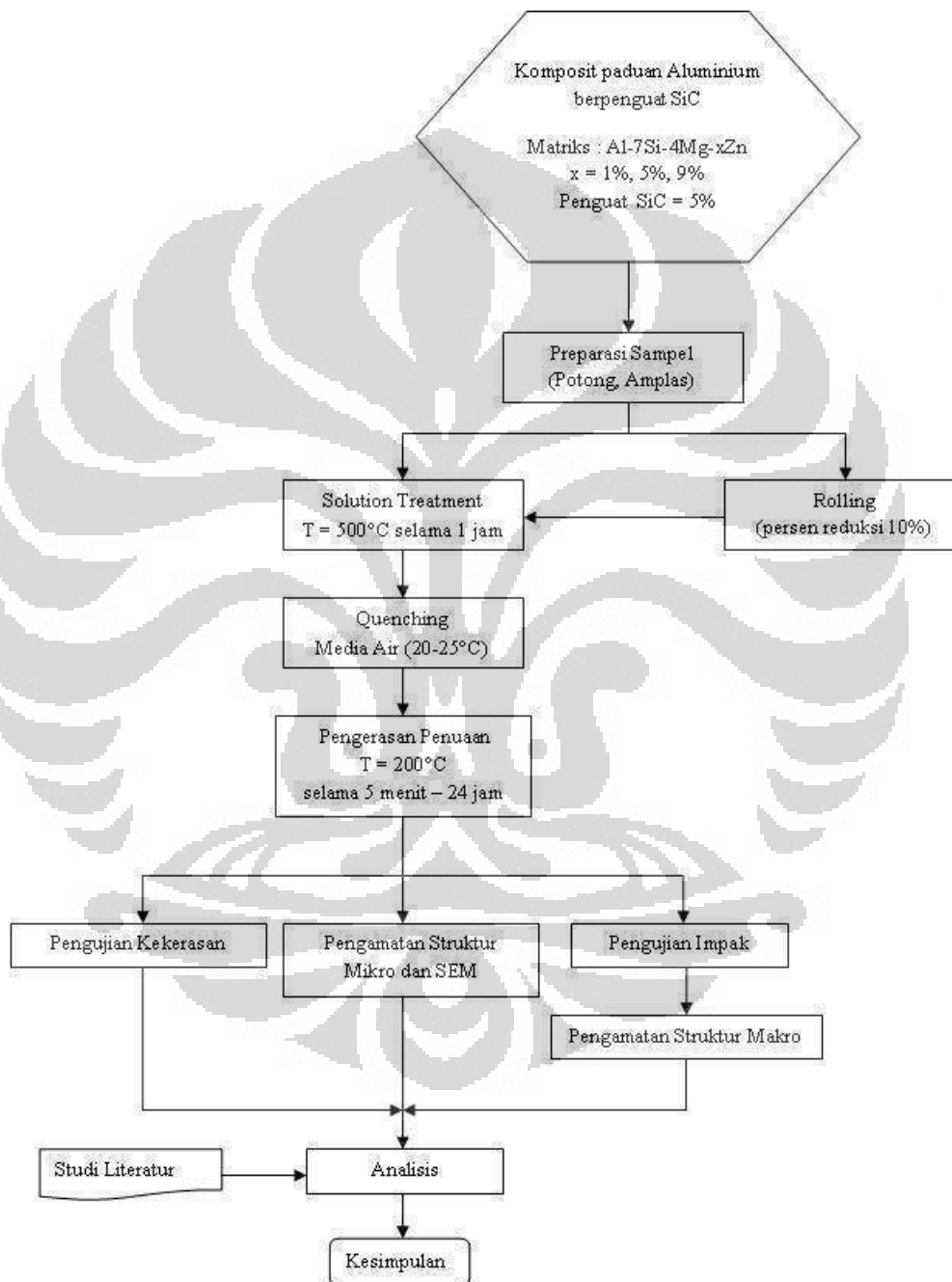
Sebagai upaya untuk meningkatkan performa dari ketahanan balistik dan mempertimbangkan aspek berat materialnya, maka dilakukanlah penelitian terhadap komposit paduan aluminium sebagai matriksnya dan partikel SiC sebagai penguatnya. Aluminium yang digunakan adalah paduan aluminium Al-7Si dengan penambahan elemen paduan Mg dan Zn, karena berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, kedua elemen paduan tersebut dapat meningkatkan kekerasan aluminium sebagai endapan (presipitat) dengan perlakuan panas pengerasaan penuaan.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi :

1. Dapur (oven)
2. *Thermocouple*
3. Alat uji impak Charpy
4. Alat uji kekerasan Rockwell B
5. Gerinda, mesin amplas dan mesin poles
6. Mikroskop Optik
7. SEM (Scanning Electron Microscope)
8. Mesin *rolling*

Semua alat diatas difasilitasi oleh Departemen Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi :

1. Komposit Al-7Si-4Mg variasi paduan Zn dengan fraksi berat 1, 5, dan 9 % berpenguat 5 % SiC
2. Serbuk silikon karbida merk ADS180#
3. Kertas amplas
4. Kain poles
5. Titanium Oksida (TiO₂)
6. Zat etsa HF 0.5 %

3.3 Proses Pembuatan Sampel

Sampel komposit dibuat menggunakan metode *squeeze casting* dan sudah diterima dalam bentuk jadi. Dapur yang digunakan untuk peleburan aluminium adalah dapur lebur dengan temperatur 850 – 870 °C dan diikuti dengan proses *degassing* menggunakan gas argon. Ingot aluminium dipadukan dengan elemen paduan magnesium dan seng. Khusus pada skripsi ini sampel yang dibahas adalah sampel dengan kandungan fraksi berat 4 % Mg dan variasi 1, 5 dan 9 % Zn.

Sebelum dilakukan peleburan aluminium, partikel silikon karbida yang berukuran 180 *mesh* dipersiapkan dengan cara memanaskannya sampai pada temperatur 1000 °C selama satu jam untuk meningkatkan *wettability* dengan antar muka matriks aluminium. Setelah aluminium melebur, partikel SiC yang sudah dipanaskan dituang dan diaduk dengan stirrer yang berkecepatan 5000 rpm. Setelah proses pengecoran ini dilakukan, logam cair yang berupa campuran paduan aluminium dengan serbuk SiC ini dituang ke cetakan logam berukuran 170 mm x 170 mm x 15 mm. Setelah logam cair ini mendingin dan dalam keadaan semisolid, diberikan tekanan sebesar 1MPa selama 1 menit dan logam dibiarkan membeku didalam cetakan sampai temperatur ruang.

Proses pengecoran sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya sehingga pada skripsi ini tidak dibahas terlalu detail.

3.4 Persiapan Sampel

Sampel yang dibuat selama proses pengecoran adalah sampel yang berbentuk plat berukuran 170 mm x 170 mm x 15 mm. Sampel plat ini lalu dipotong memanjang dibagi dua, satu bagian untuk menganalisa proses perlakuan panas penuaan dan bagian lainnya untuk pengujian mekanis impak dan *rolling*. Bagian yang digunakan untuk proses perlakuan panas dipotong menjadi 8 bagian berukuran 15 mm x 15 mm x 10 mm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.



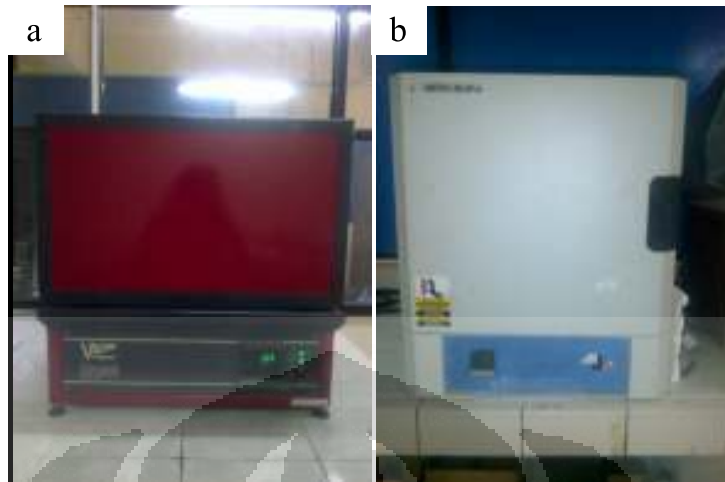
Gambar 3.2. Sampel untuk pengujian perlakuan panas penuaan

Hasil pemotongan sampel untuk proses perlakuan panas memiliki permukaan yang belum halus, sehingga butuh tahap pengamplasan sebelum diberikan perlakuan panas karena setelah itu harus diuji kekerasannya. Pengujian kekerasan ini bertujuan untuk mengetahui kondisi sampel pada saat *peak aged* saat diberi proses penuaan. Sampel diampelas menggunakan kertas amplas dengan grit 400 # untuk menghaluskan permukaannya. Setelah semua sampel selesai, sampel pun siap untuk diberi proses perlakuan panas penuaan dan diuji kekerasannya. Preparasi sampel yang ditujukan untuk analisa struktur mikro dibahas secara terpisah di bagian selanjutnya.

Sedangkan persiapan sampel impak akan dijelaskan pada subbab 3.7.

3.5. Proses Perlakuan Panas

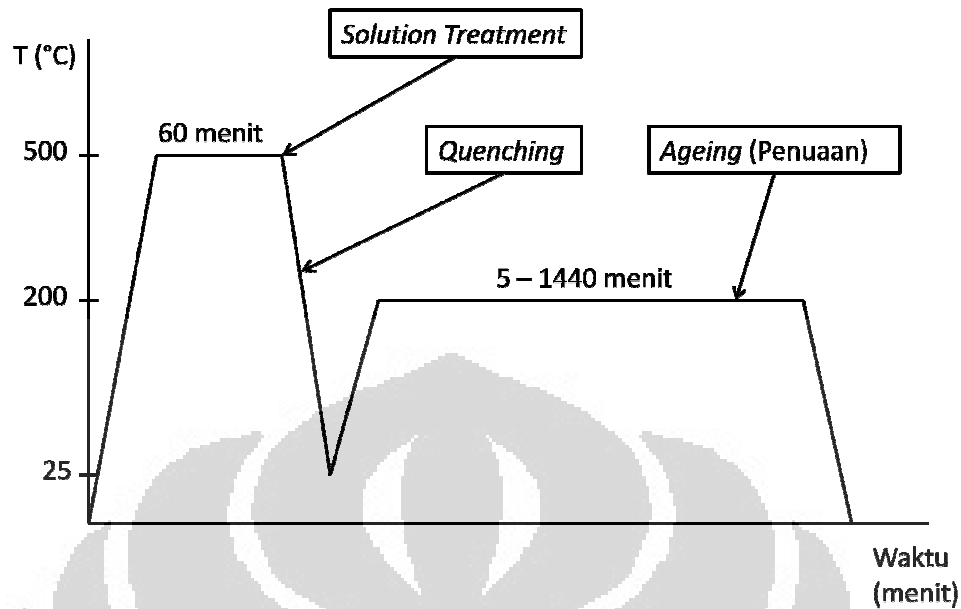
Pada sampel uji kekerasan serta beberapa sampel untuk mikroskop optik dan SEM dilakukan perlakuan panas. Mekanisme proses ini meliputi *solution treatment*, *quenching*, dan *aging*. Proses *solution treatment* dilakukan pada dapur Vecstra (Gambar 3.3a). Sebelumnya, sampel diampelas terlebih dahulu agar permukaan sampel halus pada saat diuji kekerasan setelah proses perlakuan panas. Pertama-tama yang dilakukan adalah *solution treatment* yang dijalankan pada suhu 500 °C selama 1 jam.



Gambar 3.3.Dapur untuk perlakuan panas (a) Dapur Vecstra untuk perlakuan panas larutan (b) Dapur Linderberg untuk perlakuan panas penuaan

Setelah *solution treatment*, proses pendinginan cepat (*quenching*) dilakukan pada media air yang bersuhu ruang (temperatur berkisar 15 – 20 °C). Setelah itu, sampel dikeringkan menggunakan tisu dan disusun pada *tray* untuk selanjutnya dilakukan proses penuaan (*ageing*).

Proses penuaan (*ageing*) dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*natural ageing*) dan penuaan buatan (*artificial ageing*). Pada skripsi ini, hanya dilakukan penuaan buatan (*natural ageing*) pada temperatur 200 °C. Proses *ageing* ini dilakukan pada dapur Linderberg (Gambar 3.3b) dan dilakukan pengujian kekerasan terhadap sampel pada rentang waktu 5, 15, 30, 60, 120, 240, 360, 480, 960 dan 1440 menit untuk mendapatkan kurva penuaan (*ageing curve*). Skematik perlakuan panas pengerasan penuaan ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Skematik pengujian pengerasan penuaan

3.6. Pengujian Kekerasan

Respon sampel terhadap pengerasan penuaan (*age hardening*) dari komposit aluminium berpenguat SiC ini dilihat melalui pengujian kekerasan dengan metode Rockwell B menggunakan mesin uji keras Rocky, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5, dengan beban 10 kgf dan waktu indentasi selama 10 detik. Pengujian dilakukan setelah sampel diberi perlakuan panas dalam rentang waktu tertentu dan didinginkan cepat (*quenching*). Penjejukan sampel dilakukan dengan indenter bola baja berdiameter 1/16 “ ke permukaan spesimen yang halus. Setelah penjejukan, nilai kekerasan dari sampel sudah teridentifikasi langsung dan terpampang jelas pada mesin uji.



Gambar 3.5 Alat uji kekerasan Rocky

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur nilai kekerasan pada area permukaan spesimen atas responnya terhadap perlakuan panas penuaan. Agar menghasilkan nilai kekerasan yang representatif, penjejakan dilakukan di setiap sisi spesimen sehingga mendapatkan kurang lebih 10 data kekerasan lalu dari hasil tersebut dirata – ratakan.

3.7 Pengujian Impak

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui seberapa besar material dapat menyerap energi yang diberikan, dalam hal ini energi yang dimaksud adalah beban kejut atau beban impak. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur ketahanan impak dari suatu material. Dari pengujian ini akan diamati permukaan patahan sampel setelah dilakukan uji impak. Untuk mengetahui energi yang diserap oleh material dapat terlihat pada skala penunjuk yang terdapat pada mesin pengujian impak dengan satuan joule. Sedangkan untuk mengetahui harga impak dari sampel, energi yang tertera pada mesin pengujian dibagi dengan luas dibawah takik (*notch*), seperti pada Persamaan 1 dibawah ini :

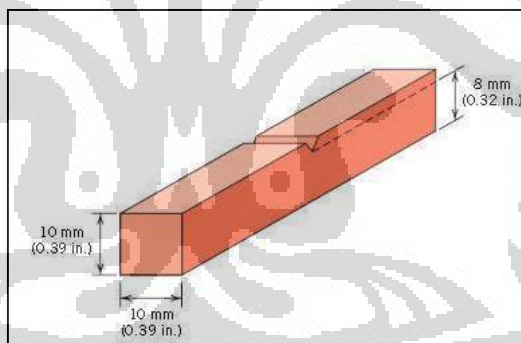
$$HI = \frac{E}{A} \dots\dots\dots (3.1)$$

dimana E adalah energi yang diserap material dalam satuan Joule dan A adalah luas penampang dibawah takik dalam satuan mm².

Sampel untuk pengujian impact tidak sepenuhnya memenuhi kaidah standar ukuran sampel karena keterbatasan peralatan yang ada di workshop Departemen Metalurgi dan Material untuk memotong sampel secara presisi. Gambar sampel uji impact pada sampel komposit ditunjukkan pada Gambar 3.6 dengan ukuran kedalaman takik kurang lebih sekitar 2 mm dan berbentuk “v”. Sedangkan dimensi sampel impact menurut ASTM E23 ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.6. Sampel pengujian impact



Gambar 3.7 Dimensi sampel pengujian impact Charpy menurut ASTM E23^[11]

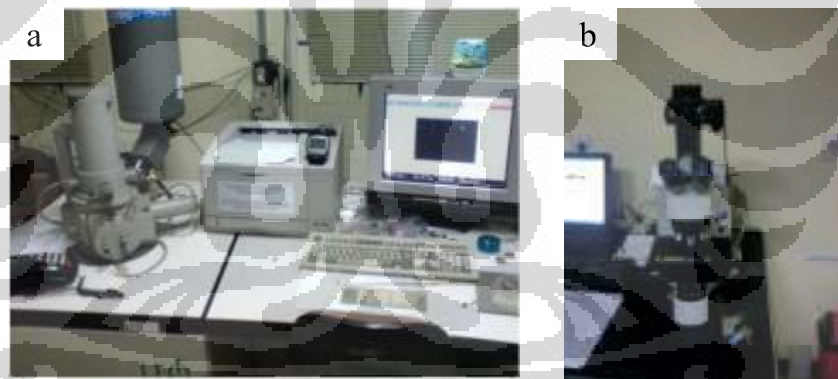
Gambar alat uji impact ditunjukkan pada Gambar 3.8. Sampel ditaruh pada penampang spesimen dengan takik membelakangi pendulum. Setelah itu pendulum diset untuk memberikan beban kejut. Skala penunjuk pada panel akan memperlihatkan berapa energi yang diterima oleh sampel saat mengalami beban impact.



Gambar 3.8. Alat uji impak charpy

3.8. Pengamatan Struktur Mikro dan Makro

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan dua alat, yaitu mikroskop optik dan SEM (*Scanning Electron Microscope*), yang ditunjukkan pada Gambar 3.9. Pengamatan dengan mikroskop tersebut melibatkan preparasi sampel metalografi seperti amplas, poles dan etsa.



Gambar 3.9 Alat-alat untuk pengamatan struktur mikro (a) *Scanning Electron Microscope* LEO 420i (b) mikroskop optik digital.

Pengamplasan sampel komposit ini dimulai dengan grit 400 *mesh* untuk menghaluskan permukaannya akibat sisa dari proses pemotongan. Setelah halus, sampel terlebih dahulu dilakukan proses pengerasaan presipitat agar struktur yang diamati sesuai dengan yang diinginkan. Pengamplasan terus dilakukan setelah proses *ageing* dengan grit kertas amplas yang semakin halus sampai dengan 1500 *mesh*, lalu siap untuk dipoles.

Pada tahap pemolesan, sampel komposit dipoles dengan kain beludru dan suspensi titanium oksida sebagai penghalusnya. Selesai dipoles, sampel komposit dietsa dengan larutan HF 0.5 % dan diamati dibawah mikroskop optik. Sampel komposit yang diamati dibawah mikroskop optik adalah sampel dalam kondisi *as-cast*, *underaged*, *peak aged*, dan *overaged*.

Pada SEM, gambar dibuat berdasarkan deteksi elektron baru (elektron sekunder) atau elektron pantul yang muncul dari permukaan sampel ketika permukaan sampel tersebut dipindai dengan sinar elektron. Elektron sekunder atau elektron pantul yang terdeteksi selanjutnya diperkuat sinyalnya, kemudian besar amplitudonya ditampilkan dalam gradasi gelap-terang pada layar monitor CRT (*cathode ray tube*). Di layar CRT inilah gambar struktur obyek yang sudah diperbesar bisa dilihat. Pengamatan dengan SEM tidak hanya untuk melihat struktur mikronya, namun juga melakukan analisis kandungan unsur yang terdapat dalam sampel, yaitu menembak permukaan sampel menggunakan EDXA (*Energy Dispersive X-ray Analysis*). Pada penelitian ini, sampel yang diamati oleh SEM hanya pada sampel yang mengalami *peak aged* dan tidak dietsa.

Sedangkan untuk pengamatan struktur makro dilakukan pada sampel hasil pengujian impak. Pengamatan struktur makro patahan impak dilakukan dengan menggunakan kamera DSLR Nikon D80.

3.9. Pengerjaan *Rolling*

Pengerjaan *rolling* dilakukan setelah mengetahui sampel dengan komposisi apa yang memiliki kekerasan tertinggi pada saat dilakukan pengerasaan penuaan. Hal ini bertujuan untuk kembali meningkatkan kekerasan dari sampel komposit karena *rolling* menciptakan butir yang lebih tipis sehingga muncul dislokasi baru. *Rolling* yang dilakukan adalah *hot rolling* untuk meminimalisir retak dari sampel komposit.



Gambar 3.10 Mesin *rolling*

Pada pengerjaan *rolling* ini, alat yang dipakai adalah mesin *rolling* seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.10 dengan tujuan persen reduksi sampel sebesar 10% dan dilakukan tanpa pelumas. Sebelum dilakukan *rolling*, sampel dipanaskan sampai temperatur 400 °C selama 2 jam agar tidak terjadi retak. Setelah itu jarak dari roda *rolling* di set agar sampel memiliki persen reduksi ukuran sebanyak 5 % terlebih dahulu, lalu dilanjutkan dengan menurunkan jarak roda *rolling* sebanyak 5 % lagi sehingga total reduksi 10 %. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya retak pada sampel *rolling* pada saat dilakukan reduksi ukuran sekaligus 10 %. Dimensi ukuran sampel *rolling* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. Dimensi sampel *rolling*

Setelah dilakukan *rolling*, sampel komposit yang ukurannya lebih tipis diberikan pengerasaan penuaan untuk meningkatkan kembali kekerasannya. Sebelum dilakukan pengerasaan penuaan, terlebih dahulu sampel hasil *rolling* diuji kekerasannya. Pengerasaan penuaan yang dilakukan sama seperti yang dilakukan sebelumnya, yaitu *solution treatment*, *quenching* dan *ageing*. Sampel hasil *rolling* ini juga memberikan hasil akhir berupa kurva penuaan dan struktur mikro untuk nanti dibandingkan hasilnya dengan sampel komposit yang tidak dilakukan pengerjaan *rolling*.

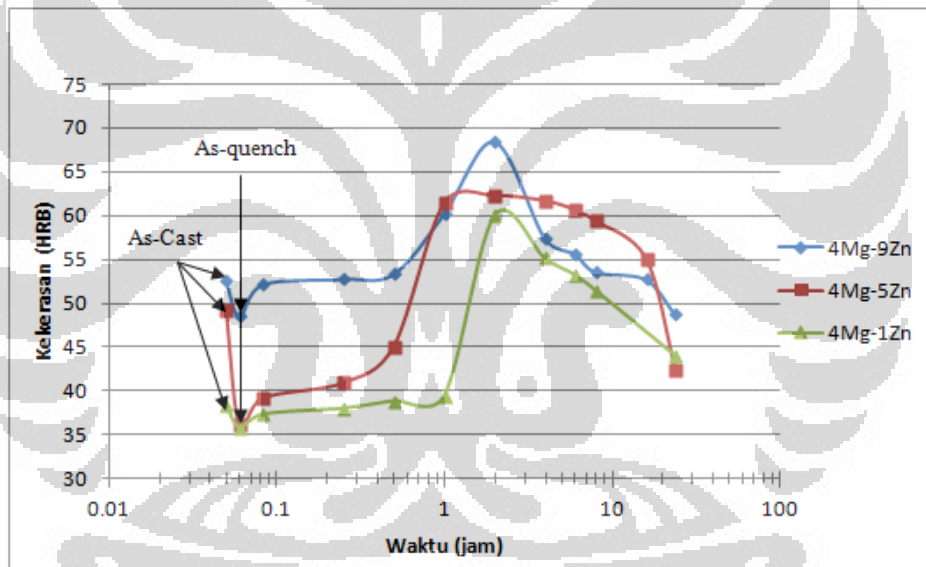


BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Elemen Paduan Zn Terhadap Pengerasan Penuaan

4.1.1 Kurva Penuaan dari Matriks Al-7Si-4Mg dengan Variasi 1, 5, 9 wt. % Zn Berpenguat Silikon Karbida 5 wt. %

Untuk mengetahui pengaruh elemen paduan seng terhadap pengerasan penuaan komposit Al-7Si berpenguat 5 wt. % SiC ini dilakukan pengujian kekerasan pada rentang waktu tertentu. Dari pengujian kekerasan ini akan di plot kurva penuaan dalam fungsi kekerasan dan logaritmik waktu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengaruh kandungan seng terhadap kurva penuaan komposit paduan Al-7Si berpenguat 5 % SiC

Gambar 4.1 menunjukkan semakin meningkatnya kadar seng dalam komposit maka nilai kekerasannya semakin tinggi pada kondisi *as-cast*. Berdasarkan penelitian Yusfranto^[9], hal ini dikarenakan oleh peningkatan kadar Zn yang dapat memicu pembentukan struktur dendrit yang lebih halus dari matriks aluminium sehingga kekerasannya meningkat. Selain itu, atom Zn memiliki diameter yang lebih rendah daripada atom Al (\AA Al = 0.142 nm, \AA Zn =

0.138 nm) sehingga atom Zn terlarut pada kisi atom aluminium yang menyebabkan tegangan kisi sehingga kekerasan meningkat, yang disebut dengan mekanisme *solid solution strengthening* (penguatan larutan padat). Berdasarkan diagram fasa biner paduan Al-Zn, yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1, kelarutan Zn maksimum pada Al sebesar 86 wt. % sehingga fraksi berat seng yang digunakan pada penelitian ini dapat terlarut sempurna didalam matriks.

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan terjadi penurunan kekerasan dari komposit dalam kondisi *as-cast* (hasil proses pengecoran) dengan komposit yang telah mengalami *quenching* atau pendinginan cepat. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah *vacancy* pada saat *solution treatment* karena adanya peningkatan temperatur. Saat dilakukan pendinginan cepat (*quenching*), *vacancy* tersebut terperangkap dalam matriks sehingga terjadi kekosongan atom yang mengakibatkan penurunan kekerasan^[11]. Secara matematis^[11], jumlah *vacancy*, N_v , pada material dapat ditentukan oleh Persamaan 4.1 dimana N adalah jumlah total *atomic sites*, Q_v adalah energi yang dibutuhkan untuk membentuk *vacancy*, k adalah konstanta Boltzmann, dan T adalah temperatur dalam Kelvin.

$$N_v = N \exp\left(-\frac{Q_v}{kT}\right) \dots\dots\dots (4.1)$$

Berdasarkan Persamaan 4.1, dapat dilihat bahwa semakin tinggi temperatur yang diberikan pada material, maka semakin tinggi jumlah *vacancy*-nya.

Pada ketiga sampel variasi paduan seng diatas, *peak aged* terjadi pada waktu dua jam. Pada penelitian yang dilakukan oleh El-Baradie *et al.*^[14], perlakuan penuaan buatan (*artificial ageing*) dari komposit paduan aluminium 7020 berpenguat 5 % SiC di temperatur 170 °C mendapatkan kondisi *peak aged* dalam waktu 16 jam. Sedangkan pada penelitian Yusfranto^[9], perlakuan penuaan buatan pada paduan aluminium Al-7,5Si-Cu-4Zn (at. %) didapatkan *peak aged* pada waktu 6 (enam) jam. Sampel komposit pada penelitian ini lebih cepat dalam mencapai *peak aged*-nya. Hal tersebut diperkirakan karena adanya penguat SiC meningkatkan densitas dislokasi sehingga presipitat memiliki *site* yang bagus untuk bernukleasi. Selain itu, partikel silikon karbida menyebabkan distorsi yang tinggi pada matrik sehingga banyak *vacancy* yang terbentuk pada matriks sehingga atom lebih mudah dan lebih cepat berdifusi. Ditambah lagi oleh

temperatur penuaan yang lebih tinggi sehingga mempengaruhi kecepatan sampel untuk mencapai *peak aged*.

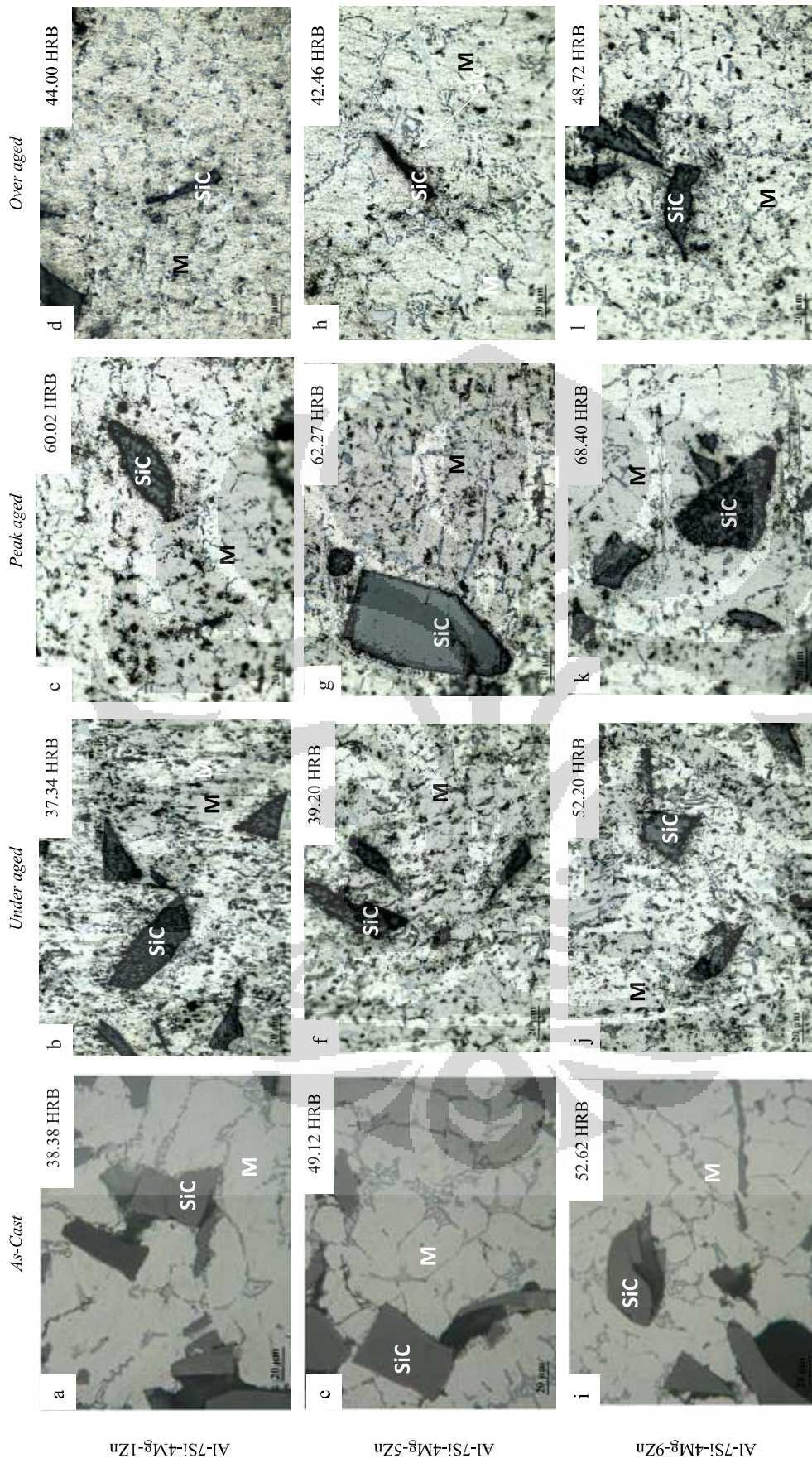
Gambar 4.1 menunjukkan perbandingan kurva penuaan dari seluruh sampel komposit dengan variabel persen berat Zn. Nilai kekerasan puncak yang didapat adalah 60.02, 62.27, dan 68.40 HRB masing-masing untuk fraksi berat 1, 5 dan 9 % Zn. Berdasarkan kurva didapatkan kalau komposit dengan kandungan 9 wt. % Zn memiliki kekerasan tertinggi dan terjadi peningkatan kekerasan sekitar 12 % dari komposit dengan kandungan 1 wt. % Zn dan sekitar 9 % dari komposit dengan kandungan 5 wt. % Zn. Kenaikan kekerasan komposit pada kondisi *peak aged* diperkirakan akibat terbentuknya presipitat $MgZn_2$ yang tumbuh pada matriks. Untuk melihat penampakan presipitat tersebut, dilakukan pengujian lebih lanjut dengan foto struktur mikro komposit yang diperlihatkan pada subbab 4.1.2.

Nampak pada Gambar 4.1 bahwa perbedaan nilai kekerasan dari kedua paduan pada kondisi *as-quenched* hampir sama dengan pada kondisi kekerasan puncak sebesar kurang lebih 20 HRB. Hal tersebut menandakan bahwa presipitat $MgZn_2$ yang terbentuk pada matriks memiliki perbandingannya yang hampir sama dan jumlah yang terbentuk pun juga cukup banyak. Untuk menghitung berapa banyak kandungan presipitat $MgZn_2$ yang terbentuk, diperlukan pengujian analisis mikro lebih lanjut yang akan dibahas pada subbab 4.1.2.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa respons dari sampel komposit matriks Al-7Si-4Mg dengan variasi 1, 5 dan 9 wt. % Zn terhadap pengerasan penuaan adalah semakin tingginya kadar seng yang ditambahkan dalam paduan, maka kekerasan yang dicapai pada kondisi *peak aged* semakin tinggi. Hal tersebut diperkirakan akibat terbentuknya presipitat $MgZn_2$ yang tumbuh pada matriks.

4.1.2 Analisis Hasil Struktur Mikro dan SEM

Struktur mikro dari sampel komposit matriks Al-7Si-4Mg dengan variasi fraksi berat paduan 1, 5 dan 9 % Zn ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Foto mikro dari sampel komposit paduan Al-7Si berpenguat SiC 5 wt. % dalam kondisi as-cast, under aged, peak aged dan over aged dengan fraksi berat kandungan seng (a-d) 1 % (e-h) 5 % (i-l) 9 % pada temperatur penuaan 200 °C

Berdasarkan foto diatas, DAS (*Dendrite Arm Spacing*) dapat diukur yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Pengaruh kandungan Zn dan kondisi penuaan pada ukuran DAS (dalam μm)

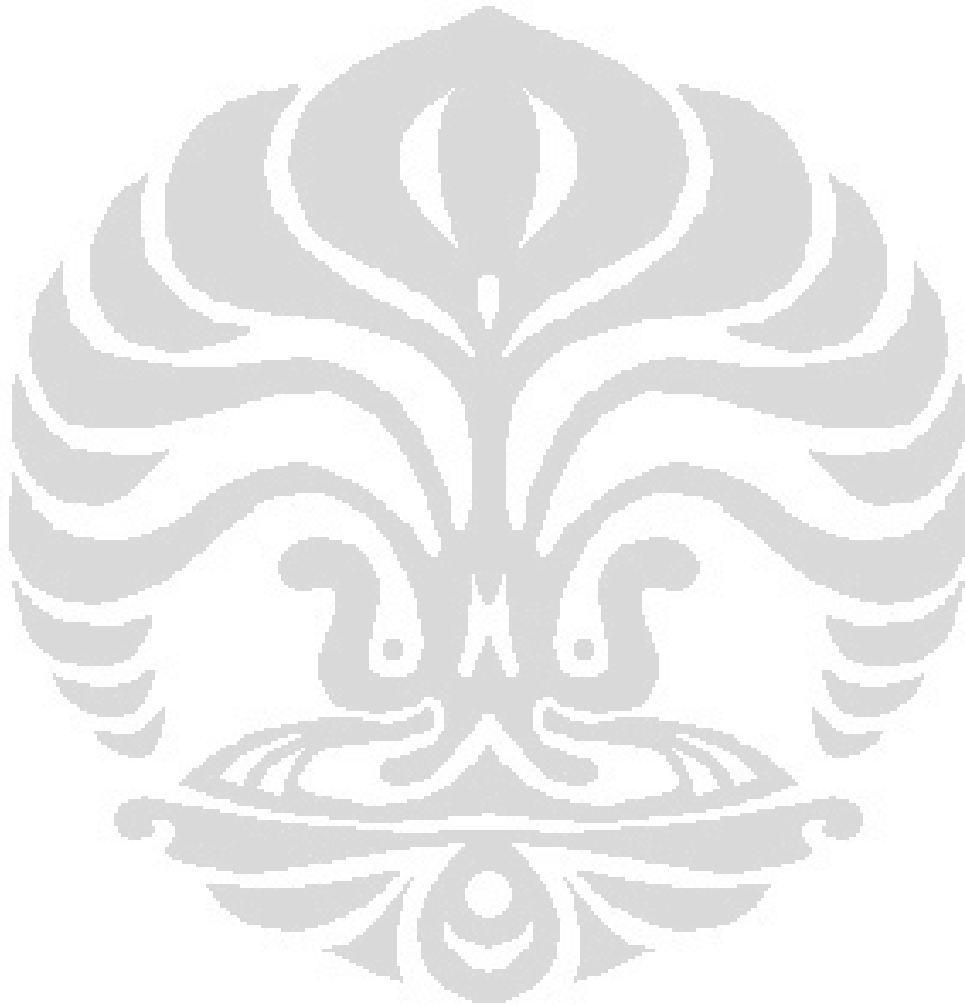
Sampel	Kondisi Sampel			
	<i>As-Cast</i>	<i>Underaged</i>	<i>Peak aged</i>	<i>Overaged</i>
Al-7Si-4Mg-1Zn	25.90	20.46	19.40	19.62
Al-7Si-4Mg-5Zn	23.46	21.30	17.62	19.94
Al-7Si-4Mg-9Zn	18.76	16.50	12.43	14.15

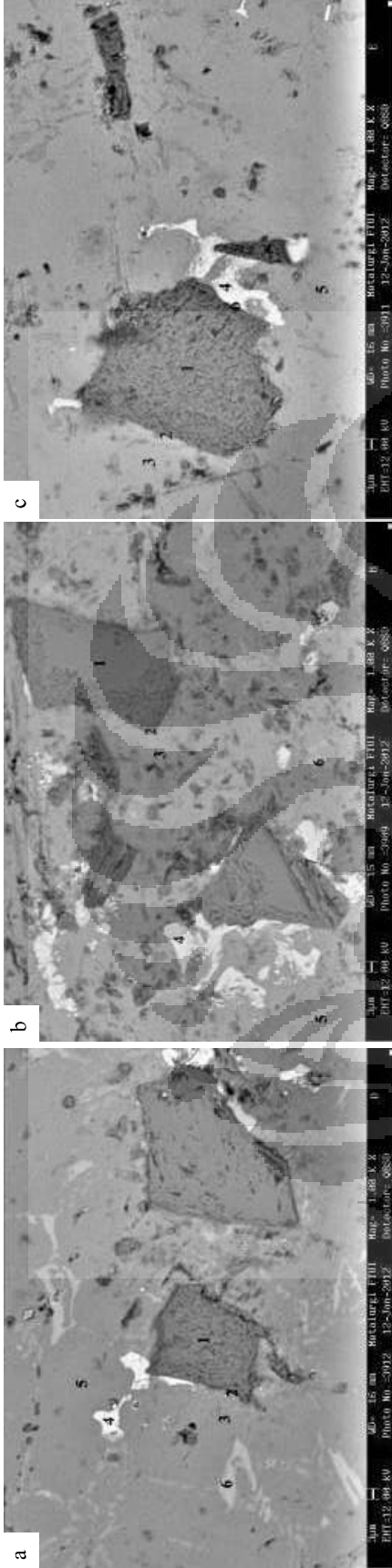
Pada Tabel 4.1 ditunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan seng, DAS semakin kecil pada kondisi *as-cast*. Matriks dengan kandungan seng 9 wt. % mengalami penurunan jarak lengan dendrit kurang lebih sebesar 27.56 %. Hal tersebut sesuai dengan teori bahwa seng yang terlarut pada matriks aluminium dapat menghaluskan lengan dendrit. Sedangkan pada kondisi setelah dilakukan pengerasan penuaan didapatkan ukuran DAS dengan tren yang kurang teratur. Sehingga perlu dilakukan pengujian lebih lanjut untuk mengukur nilai DAS pada kondisi sampel setelah diberikan pengerasan penuaan.

Selain itu dapat dilihat pada foto mikro diatas bahwa distribusi persebaran SiC tidak merata dan masih ada bagian matriks yang tidak terdapat SiC. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel SiC yang terlalu besar, sekitar 33.80-53.90 μm sehingga cukup sulit untuk dapat terdistribusi secara sempurna. Selain itu fraksi berat SiC 5% diperkirakan masih terlalu sedikit untuk bisa didapatkan persebaran partikel yang merata pada matriks. Berdasarkan penelitian Kim *et al.*^[13], distribusi partikel SiC 3 μm dengan fraksi berat 10 % tersebar merata pada matriks Al-7.76Si-2.75Cu-0.28Mg dan menghasilkan respons kekerasan tertinggi pada pengerasan penuaannya, yaitu sebesar 90 HRB pada waktu 10 jam dengan temperatur penuaan 160 °C. Pada Gambar 4.2 juga dapat dilihat disekeliling partikel SiC terdapat garis gelap. Garis gelap tersebut diperkirakan adalah rontokan dari partikel SiC yang terjadi pada saat preparasi sampel.

Sampel komposit matriks Al-7Si-4Mg variasi 1, 5 dan 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC juga diamati permukaannya dan dianalisa unsur kimianya menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*). Sampel komposit yang diamati berada dalam kondisi *peak aged*. Gambar 4.3 menunjukkan gambar hasil

pengamatan sampel komposit Al-7Si-4Mg variasi 1, 5, 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC dengan menggunakan SEM pada perbesaran 1000 kali.





Gambar 4.3 Foto SEM permukaan komposit Al-7Si-4Mg dengan variasi fraksi berat (a) 1 % (b) 5 % dan (c) 9 % Zn pada kondisi *peak age* dengan temperatur pemuatan 200 °C selama 2 jam.

Tabel 4.2 Hasil analisis mikro pada komposit dengan kandungan 1 wt. % Zn pada matriks. Posisi sesuai dengan Gambar 4.3a

Titik	Kandungan Unsur (wt.%)							Area yang mungkin		
	Si	Al	Zn	Fe	Mg	Mn	Cr	C	O	
1	95.37	-	-	-	-	-	-	2.20	2.43	SiC
2	15.86	80.22	-	-	-	-	0.23	3.68	1.73	Antarmuka
3	1.29	95.13	0.88	-	-	-	-	1.12	1.58	Matriks
4	8.11	78.63	-	9.10	-	1.68	1.17	0.14	1.17	Intermetalik α-Al(Fe,Mn)Si
5	1.36	95.53	0.92	-	-	-	-	1.09	1.11	Matriks
6	22.13	65.42	-	3.55	7.72	-	-	0.20	0.97	Si eutektik

Tabel 4.4 Hasil analisis mikro pada komposit dengan kandungan 9 wt. % Zn pada matriks. Posisi sesuai dengan Gambar 4.3c

Titik	Kandungan Unsur (wt.%)							Area yang mungkin		
	Si	Al	Zn	Fe	Mg	Mn	Cr	C	O	
1	93.83	-	-	-	-	-	-	3.30	2.87	SiC
2	7.74	80.90	5.95	-	-	-	-	1.22	4.19	Antarmuka
3	1.21	89.70	6.40	-	-	-	-	1.14	1.55	Matriks
4	8.43	74.91	2.30	7.92	-	2.49	0.89	1.26	1.78	Intermetalik α-Al(Fe,Mn)Si
5	1.33	90.83	6.29	-	-	-	-	1.12	0.43	Matriks
6	68.51	16.46	1.46	-	0.47	-	-	4.37	8.72	Antarmuka

Tabel 4.3 Hasil analisis mikro pada komposit dengan kandungan 5 wt. % Zn pada matriks. Posisi sesuai dengan Gambar 4.3b

Titik	Kandungan Unsur (wt.%)							Area yang mungkin		
	Si	Al	Zn	Fe	Mg	Mn	Cr	C	O	
1	96.54	-	-	-	-	-	-	2.83	0.63	SiC
2	38.40	57.36	2.17	-	-	-	-	1.73	0.34	Antarmuka
3	1.32	92.72	3.75	-	-	-	-	1.09	1.11	Matriks
4	8.83	76.82	1.70	8.26	-	2.44	0.60	1.34	-	Intermetalik α-Al(Fe,Mn)Si
5	1.38	92.76	4.10	-	-	-	-	1.10	0.66	Matriks
6	20.31	67.62	-	3.12	6.82	-	-	0.16	1.97	Si eutektik
7	68.04	25.23	-	2.12	0.57	-	-	4.03	-	Antarmuka

Pada perbesaran 1000 kali, permukaan sampel dianalisa dengan menggunakan *Energy Dispersive X-ray Analysis* untuk mengetahui kemungkinan fasa yang terbentuk akibat respons pengerasan penuaan buatan. Hasil pengamatan EDS pada komposit paduan aluminium berpenguat 5 wt. % SiC ditunjukkan pada Tabel 4.2 untuk kandungan 1 wt. % Zn, Tabel 4.3 untuk kandungan 5 wt. % Zn dan Tabel 4.4 untuk kandungan 9 wt. % Zn.

Pada ketiga tabel, semua komposit dideteksi memiliki unsur C dan O. Kedua unsur tersebut merupakan unsur ringan dan keberadaannya berasal berasal dari udara luar dan bereaksi dengan sampel.

Berdasarkan analisis mikro, pada nomor 1 terdeteksi fasa atau partikel SiC. Secara umum partikel ini berukuran tidak seragam dan juga tidak tersebar merata dalam matriks. Perbandingan persen berat SiC yang terdeteksi pada analisis mikro tidak sesuai (1:1) yang mungkin diakibatkan oleh unsur C yang tidak dapat terdeteksi dengan baik. Sedangkan nomor 2 adalah daerah antarmuka dari partikel SiC dengan matriks. Pada antarmuka tidak terlihat adanya *void* atau pori yang berarti bahwa ikatan antara matriks dan partikel penguatnya baik. Pada daerah antarmuka tidak dideteksi keberadaan Mg yang berfungsi sebagai *wetting agent* antara matriks dengan penguat. Keberadaan Mg tidak terdeteksi pada antarmuka karena magnesium bukan bertindak sebagai pengikat, namun mengurangi tegangan permukaan antara matriks dan penguatnya. Diperkirakan Mg terikat sebagai fasa lain dalam matriks sehingga tidak terdapat pada daerah antarmuka. Pada nomor 3 didapatkan fasa yang terdeteksi adalah matriks paduan aluminium. Selain itu juga terdeteksi keberadaan unsur Zn pada matriks yang jumlahnya semakin meningkat seiring dengan peningkatan kandungannya. Hal ini menunjukkan bahwa Zn dapat terlarut dengan baik pada matriks aluminium.

Pada nomor 4 terdeteksi adanya unsur Fe dan Mn pada matriks aluminium. Kedua unsur ini terdeteksi dari fasa intermetalik berwarna putih, dapat dilihat pada Gambar 4.3, yang berada disekitar partikel silikon karbida. Diperkirakan keberadaan kedua unsur Fe dan Mn yang terlarut pada matriks aluminium dan membuat fasa intermetalik ini berasal dari inklusi pada ingot aluminium yang digunakan untuk proses pengecoran. Fasa intermetalik yang terbentuk adalah α -Al(Fe,Mn)Si. Pada aluminium terdapat dua kemungkinan fasa intermetalik akibat

inklusi Fe dan Mn yang terjadi, yaitu α -Al(Fe,Mn)Si dan β -Al(Fe,Mn)Si. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa bentuk dari fasa intermetalik α -Al(Fe,Mn)Si menyerupai *flake* yang membuktikan bahwa fasa tersebut adalah intermetalik α , sedangkan fasa intermetalik β berbentuk menyerupai *chinese script*. Keberadaan unsur Cr pada fasa ini mungkin disebabkan oleh adanya inklusi pada ingot.

Hasil analisis mikro pada nomor 5 kembali menghasilkan analisis jika fasa yang terdeteksi adalah matriks yang dibuktikan dari tingginya kandungan aluminium yang terdeteksi. Pada matriks ini juga dideteksi keberadaan seng yang terlarut sempurna pada aluminium. Sedangkan hasil analisis mikro pada nomor 6, yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, dideteksi kandungan Si yang cukup tinggi pada fasa yang berwarna abu-abu muda seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.3. Diperkirakan fasa tersebut adalah Si eutektik yang berasal dari Si yang tidak larut pada matriks aluminium. Pada fasa Si eutektik ini juga dideteksi kadanya kandungan Mg yang terlarut. Kandungan Mg tersebut diperkirakan berasal dari unsur paduan Mg yang berikatan dengan Si sehingga membentuk presipitat Mg_2Si akibat pengerasan penuaan. Namun berdasarkan perbandingan kandungan Mg dan Si pada fasa tersebut diperkirakan walaupun terbentuk presipitat Mg_2Si maka jumlahnya pun sangat sedikit. Penelitian Man Zhu *et al.* menggunakan AA356 yang diberi pengerasan dengan *solution treatment* pada temperatur 536 °C selama 8 jam dan dilanjutkan dengan pengerasan penuaan pada temperatur 160 °C selama 6 jam untuk membentuk presipitat Mg_2Si ^[26]. Pada penelitian ini, presipitat Mg_2Si hanya dapat diobservasi dengan TEM karena ukuran presipitat Mg_2Si yang hanya berukuran 30 nm dengan panjang kurang dari 500 nm. Jadi dapat disimpulkan bahwa presipitat Mg_2Si tidak terdeteksi secara jelas pada analisis mikro EDS karena ukurannya yang sangat kecil.

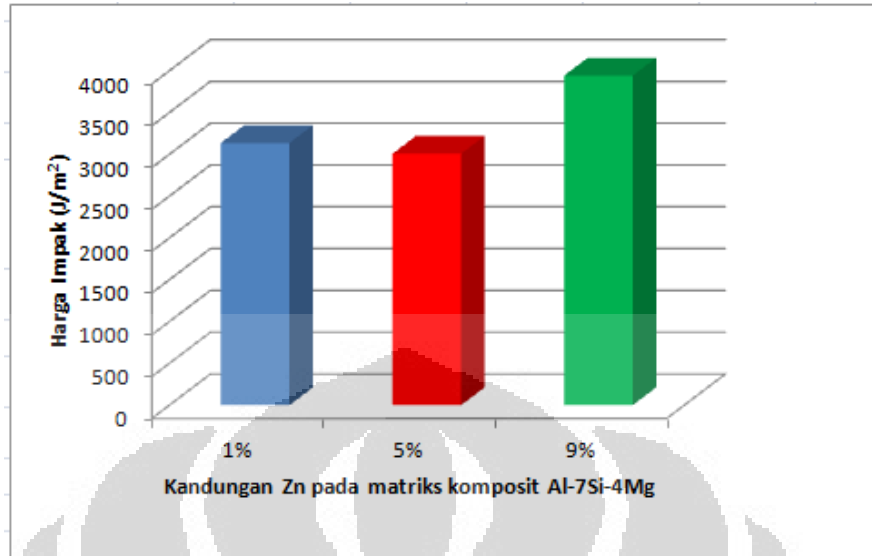
Pada hasil analisis mikro yang dilakukan, tidak terdeteksi adanya presipitat $MgZn_2$ yang terbentuk akibat pengerasan penuaan. Berdasarkan penelitian Afify *et al.* dengan paduan Al-2Mg-xZn (at. %) dengan variasi kandungan Zn 1.8, 2 dan 4.2 % yang di *solution treatment* selama 1 jam pada temperatur 803 K dan di *ageing* pada variasi temperatur 473, 533 dan 673 K selama 30 menit^[27], presipitat $MgZn_2$ yang terbentuk sangat halus dan dapat dideteksi dengan SEM pada

perbesaran 20 000 kali atau lebih. Pada penelitian ini presipitat $MgZn_2$ tidak bisa terdeteksi oleh SEM diakibatkan oleh perbesaran SEM hanya 1000 kali.

Pada pengujian ini dapat disimpulkan, analisis struktur mikro komposit Al-7Si-4Mg dengan variasi fraksi berat 1, 5, dan 9 % Zn berpenguat 5 % SiC menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar seng dalam matriks, DAS yang terbentuk akan semakin kecil. Selain itu pada struktur mikro dapat dilihat bahwa persebaran partikel SiC kurang merata yang mungkin diakibatkan oleh ukuran partikel yang masih terlalu besar atau kadarnya yang kurang tinggi. Pengamatan SEM menghasilkan bahwa pada matriks terjadi fasa intermetalik Al(Fe,Mn)Si dimana kadar Fe dan Mn diperkirakan berasal dari inklusi. Presipitat yang terbentuk pada matriks, yaitu Mg_2Si dan $MgZn_2$, tidak terdeteksi pada analisis mikro SEM diakibatkan kedua partikel tersebut sangat halus sehingga harus dilakukan analisis mikro dengan perbesaran yang lebih tinggi atau menggunakan alat karakterisasi mikro lain, seperti HRSEM atau TEM.

4.1.3 Hasil dan Analisis Pengamatan Struktur Makro Impak

Komposit dengan matriks Al-7Si-4Mg variasi 1, 5 dan 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC dilakukan pengujian impak untuk mengetahui berapa harga impak setelah diberikan pengerasan penuaan. Pengujian impak dilakukan pada komposit dalam kondisi *peak aged*. Berdasarkan pengujian impak didapatkan bahwa harga impak bernilai 3135.83, 3006.81, dan 3940.88 Joule/m² masing-masing untuk kadar seng 1, 5, 9 wt. %. Pada Gambar 4.4 terlihat bahwa komposit dengan kandungan 1 % Zn memiliki harga impak yang lebih tinggi daripada komposit dengan 5 % Zn. Hasil tersebut dikarenakan pada pengujian impak ini hanya digunakan satu sampel sehingga data yang didapat kurang representatif, sehingga diperlukan pengujian tambahan dengan jumlah sampel yang lebih banyak agar mendapatkan harga impak yang representatif.

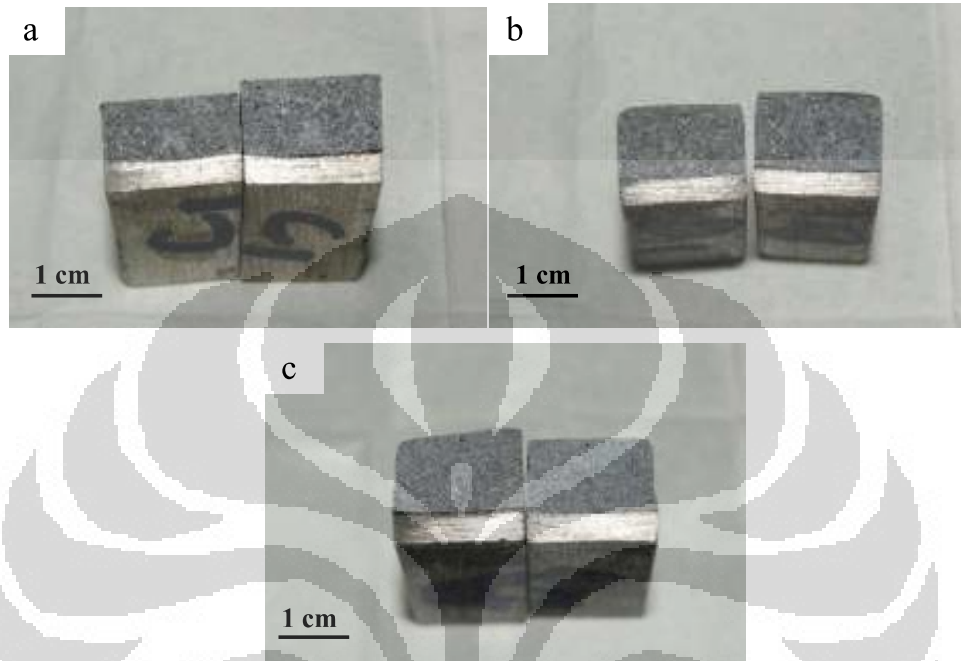


Gambar 4.4 Pengaruh kandungan seng terhadap harga impact komposit aluminium Al-7Si berpenguat 5 wt.% SiC pada kondisi *peak aged* dengan temperatur penuaan 200 °C

Gambar 4.4 juga menunjukkan semakin tinggi kadar Zn maka harga impactnya juga semakin tinggi, sehingga kemampuan komposit untuk menyerap energi juga semakin besar. Hal tersebut dibuktikan dari harga impact komposit dengan kandungan 9 % Zn yang bernilai 3940.88 Joule/m². Kenaikan harga impact sampel tersebut sekitar 20 % dari komposit yang mengandung 5 % Zn. Kenaikan harga impact yang dialami oleh komposit dengan matriks Al-7Si-4Mg-9Zn menunjukkan kalau transfer tegangan yang diserap oleh matriks terdistribusi dengan baik ke penguat sehingga sampel komposit matriks Al-7Si-4Mg-9Zn dapat dibilang cukup tangguh. Diharapkan sampel tersebut juga memiliki ketahanan balistik yang besar.

Selain harga impact, pada pengujian ini dapat dilihat perpatahan yang terjadi pada sampel komposit paduan Al-7Si dengan persen berat Zn pada matriks 1, 5 dan 9 %. Dari fraktografi hasil pengujian dapat ditarik analisis terhadap karakteristik impact sampel komposit ini. Fraktografi impact pada Gambar 4.7 menunjukkan karakteristik patahan getas sepenuhnya karena memiliki permukaan patahan yang mengkilat atau terang. Walaupun dari patahan menunjukkan penampang yang getas, hasil pengujian impact menunjukkan kalau 9 wt. % seng masih cukup tangguh untuk menahan beban impact karena distribusi tegangan yang merata dari matriks ke partikel penguatnya. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa pengerasan penuaan berhasil untuk meningkatkan ketangguhan komposit paduan aluminium berpenguat 5 wt. % SiC. Hal tersebut dibahas lebih lanjut pada hasil balistik pada subbab 4.3.



Gambar 4.5 Permukaan patahan impak dari komposit Al-7Si-4Mg dengan variasi (a) 1 wt. % (b) 5 wt. % (c) 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC pada kondisi kekerasan puncak dengan temperatur penuaan 200 °C

4.2 Pengaruh *Rolling* Terhadap Pengerasan Penuaan

4.2.1 Analisis Pengaruh *Rolling* Terhadap Kurva Penuaan

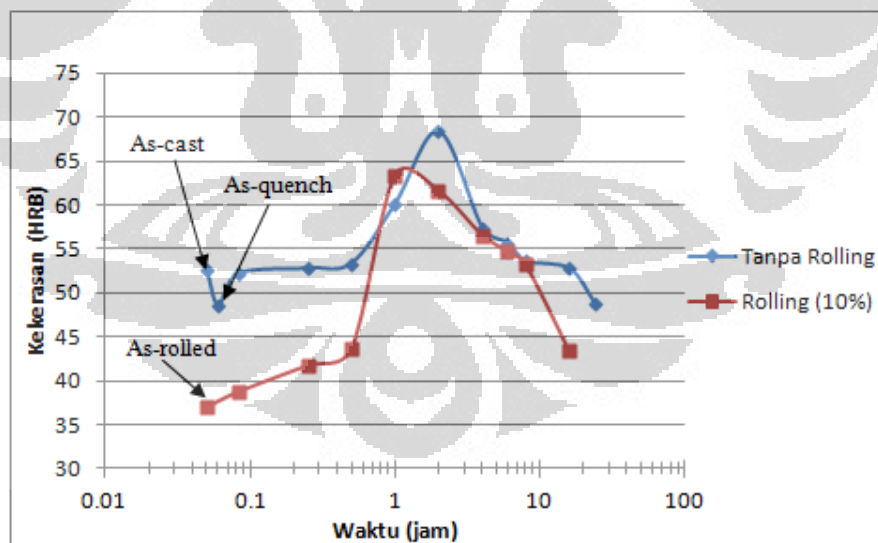
Sampel *as-cast* dengan kekerasan tertinggi, dalam penelitian ini adalah komposit dengan matriks Al-7Si-4Mg-9Zn, dideformasi plastis dengan *rolling* sebelum dilakukan pengerasan penuaan. *Rolling* bertujuan untuk meningkatkan kekerasannya karena deformasi *rolling* menyebabkan pemipihan butir yang akan menjadi inisiasi dislokasi di batas butir. *Rolling* pada percobaan ini dilakukan dengan persen deformasi sebesar 10 % sebanyak dua kali pass dan dipanaskan pada temperatur 400 °C untuk menghindari retak pada sampel. Sampel yang digunakan sebanyak 4 sampel dan berikut data persen deformasi sampel yang didapat dengan proses *rolling*.

Tabel 4.5. Data dimensi tinggi sampel *rolling* dan persen deformasinya

Kode sampel	Tinggi sampel		Persen deformasi (%)
	Sebelum <i>Rolling</i> (mm)	Sesudah <i>Rolling</i> (mm)	
E2	138	127	7.9
E3	142	127	10.5
E4	110	99	10
E5	115	105	8.7

Ket : sampel E1 mengalami percobaan *rolling* dengan persen deformasi 15 % dan terjadi retak sehingga sampel tidak lagi dipakai

Pada Tabel 4.5 ditunjukkan tinggi sampel sebelum dan sesudah dilakukan *rolling*. Dapat dilihat bahwa tidak semua sampel tidak mengalami 10 % deformasi secara tepat. Hal ini diakibatkan mesin *rolling* yang digunakan memiliki toleransi ukuran yang kurang akurat. Persen deformasi dihitung dari tinggi sampel setelah dimasukkan ke dapur untuk mengantisipasi pemuaiian yang mungkin terjadi pada sampel. Setelah dilakukan pengerjaan *rolling*, sampel kemudian diberikan pengerasan penuaan dengan tujuan untuk membandingkan hasil kurva penuaan sampel dengan dan tanpa *rolling*. Pada Gambar 4.6 ditunjukkan pengaruh *rolling* terhadap kurva penuaan komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC.



Gambar 4.6 Pengaruh *rolling* terhadap kurva penuaan komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC

Dapat dilihat dari kurva penuaan di Gambar 4.6, terdapat penurunan kekerasan sebesar 29.80 % dari kondisi sampel *as-cast* dengan kekerasan sampel

pada kondisi *as-rolled*. Hal ini disebabkan oleh efek pengkasaran butir yang mungkin terjadi karena sampel diberikan pemanasan yang cukup tinggi, yaitu 400 °C, yang bertujuan untuk meminimalisir terjadinya retak pada sampel. Temperatur 400 °C diperkirakan sudah melebihi temperatur rekristalisasi sehingga kekerasan komposit menurun. Sayangnya hal tersebut tidak bisa dikonfirmasi lebih lanjut karena hasil foto mikro sampel *rolling* pada Gambar 4.7 kurang jelas dan memadai untuk dilakukan pengukuran DAS.

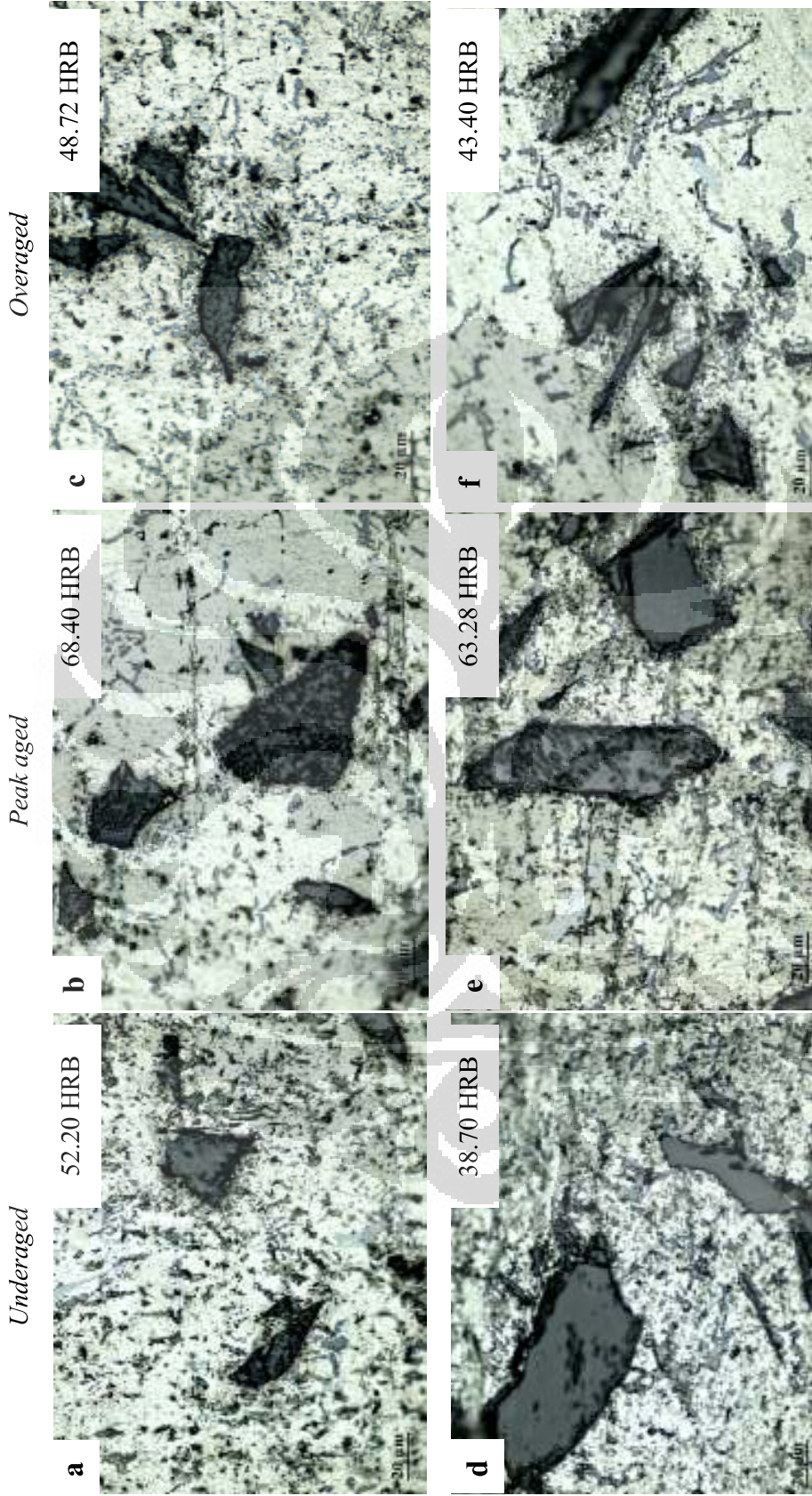
Nilai kekerasan tertinggi pada sampel komposit hasil *rolling* adalah 63.28 HRB yang didapatkan dari satu jam pengerasan penuaan. Sedangkan pada sampel komposit tanpa perlakuan *rolling*, kondisi *peak aged* didapatkan selama dua jam pengerasan penuaan dengan kekerasan 68.40 HRB seperti yang ditunjukkan pada kurva penuaan di Gambar 4.6. Dengan kata lain, sampel komposit matriks Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC ini mengalami penurunan kurang lebih sebesar 7.50 %. Pada proses *rolling* ini dapat disimpulkan kalau proses penuaan berjalan lebih cepat, dibuktikan dari tercapainya *peak aged* di waktu yang lebih singkat, namun kekerasan yang didapatkan lebih rendah dari kondisi tanpa *rolling*. Berdasarkan penelitian Balogun *et al*, hal ini diperkirakan karena saat proses *rolling*, terjadi pengurangan intensitas presipitasi dari endapan yang tumbuh di sepanjang batas butir karena tekanan *rolling*^[28]. Batas butir merupakan tempat berkumpul dislokasi dan presipitat tumbuh. Karena batas butir hancur pada saat *rolling* dilakukan, presipitat yang nantinya akan tumbuh di batas butir tidak bisa bernukleasi sehingga kekerasan sampel hasil *rolling* lebih rendah dari yang tanpa *rolling*.

Berdasarkan penelitian El-Baradie *et al*. yang juga melakukan deformasi *rolling* pada sampel komposit matriks aluminium 7020 berpenguat SiC^[14], *peak aged* yang lebih cepat pada sampel hasil *rolling* dipengaruhi oleh meningkatnya densitas dislokasi yang menyebabkan nukleasi heterogen pada presipitat lebih banyak sehingga waktu yang dibutuhkan untuk mencapai *peak aged* lebih sedikit.

4.2.2 Analisis Struktur Mikro dan SEM dari Sampel *Rolling*

Setelah mengalami pengerasan penuaan, sampel *rolling* kemudian diambil foto struktur mikronya untuk dibandingkan dengan sampel yang tidak mengalami *rolling*. Foto mikro sampel *rolling* ditunjukkan pada Gambar 4.7. Sayangnya hasil foto mikro tersebut kurang baik sehingga tidak bisa dikonfirmasi apakah terjadi rekristalisasi atau pengkasaran butir pada komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang mengalami pengerjaan *rolling*.

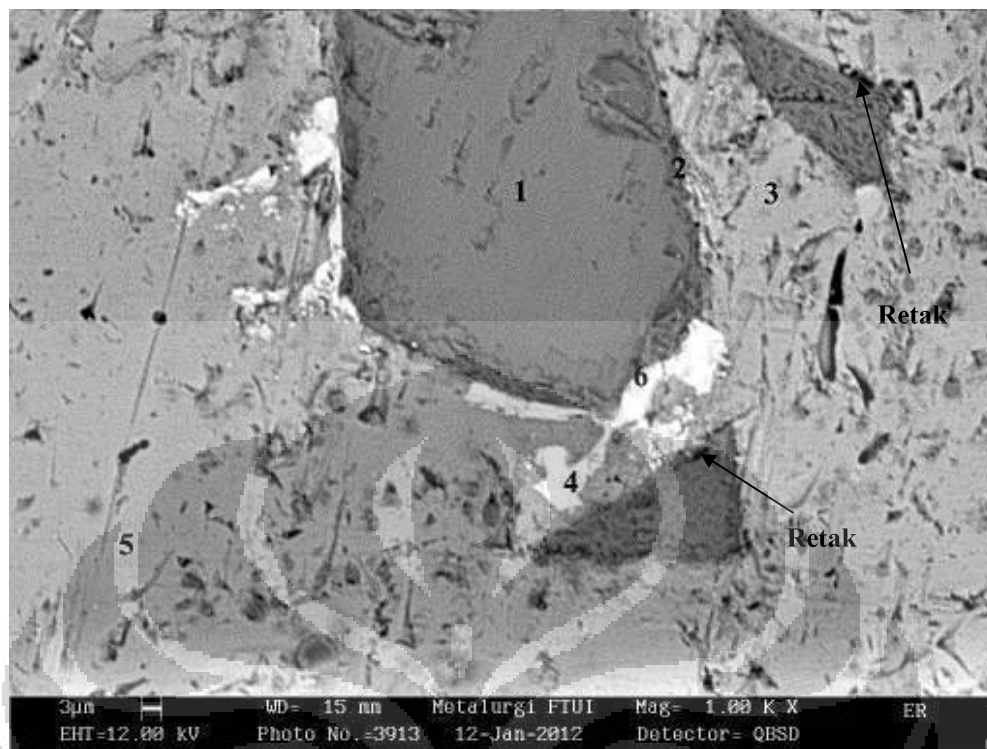
Gambar 4.8 menunjukkan mikrostruktur hasil SEM sampel *rolling*. Pada gambar tersebut kurang terlihat jelas apakah struktur dendrit pada matriks mengalami deformasi atau jarak lengan dendrit menipis yang merupakan efek dari pengerjaan *rolling*. Namun pada antarmuka partikel SiC dengan matriks diperkirakan terdapat retak yang diakibatkan oleh pengerjaan *rolling*. Retak tersebut kemungkinan adalah penyebab menurunnya kekerasan sampel setelah dilakukan pengerjaan *rolling*. Sedangkan untuk analisis komposisi mikro pada sampel *rolling* ditunjukkan pada Tabel 4.6.



Gambar 4.7 Foto struktur mikro dari komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang diberi perlakuan *rolling* pada kondisi (a-d) *underaged* (b-e) *peak aged* (c-f) *overaged* pada temperatur peninaan 200 °C

Sebelum dilakukan *rolling*

Setelah dilakukan *rolling*



Gambar 4.8 Mikrostruktur SEM komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC hasil pengerjaan *rolling* pada kondisi *peak aged* dengan temperatur penuaan 200 °C

Tabel 4.6 Hasil analisis mikro pada sampel *rolling* komposit matriks Al-7Si-4Mg-9Zn, posisi sesuai Gambar 4.8

Titik	Kandungan Unsur (wt.%)									Area yang mungkin
	Si	Al	Zn	Fe	Mg	Mn	Cr	C	O	
1	96.92	-	-	-	-	-	-	2.33	0.75	SiC
2	54.52	27.13	3.84	-	-	-	-	3.34	11.18	Antarmuka
3	44.69	44.25	4.33	-	-	-	-	1.58	5.15	Matriks + pecahan partikel SiC
4	8.52	73.65	2.52	9.00	-	2.33	0.74	1.19	2.05	Intermetalik Al(Fe,Mn)Si
5	4.48	87.46	5.84	-	-	-	-	0.97	1.25	Matriks
6	78.79	12.90	1.26	-	0.21	-	-	3.64	3.20	Antarmuka
7	96.92	-	-	-	-	-	-	2.33	0.75	SiC

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang di-*rolling* memiliki fasa yang sama dengan komposit yang tidak di-*rolling*. Dapat dilihat pada Gambar 4.8, disekitar partikel SiC atau di antarmuka partikel SiC dengan matriks diperkirakan terdapat retak mikro. Hal tersebut didukung dengan ukuran partikel SiC yang tidak berubah atau tidak terdeformasi

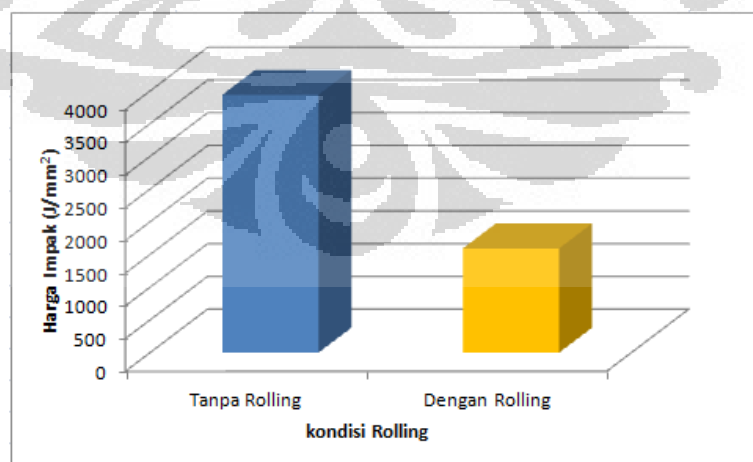
padahal sudah diberikan pengerjaan *rolling*. Partikel SiC yang tidak terdeformasi ini mengakibatkan tegangan pada sisi-sisi partikelnya sehingga terjadi retak pada antarmuka dan diperkirakan menjadi penyebab dari lemahnya sifat mekanis komposit dalam kondisi setelah dilakukan *rolling*. Jadi, diperlukan studi lebih lanjut untuk mengetahui peranan *rolling* dalam pembentukan presipitat.

4.2.3 Analisis Struktur Makro Patahan Impak Sampel *Rolling*

Sampel *rolling* pada kondisi *peak aged* diuji kekuatan impaknya. Untuk sampel *rolling* ini didapatkan kalau energi impact yang diserap adalah 20 Joule dengan luas permukaan sampel dibawah takik adalah 0.012 mm^2 sehingga didapatkan harga impact dari sampel *rolling* ini adalah 1592.61 J/mm^2 . Gambar 4.9 menunjukkan foto makro dari perpatahan sampel akibat beban impact.



Gambar 4.9 Fraktografi impact komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC setelah pengerjaan *rolling* dan pengerasan penuaan pada temperatur $200 \text{ }^\circ\text{C}$.



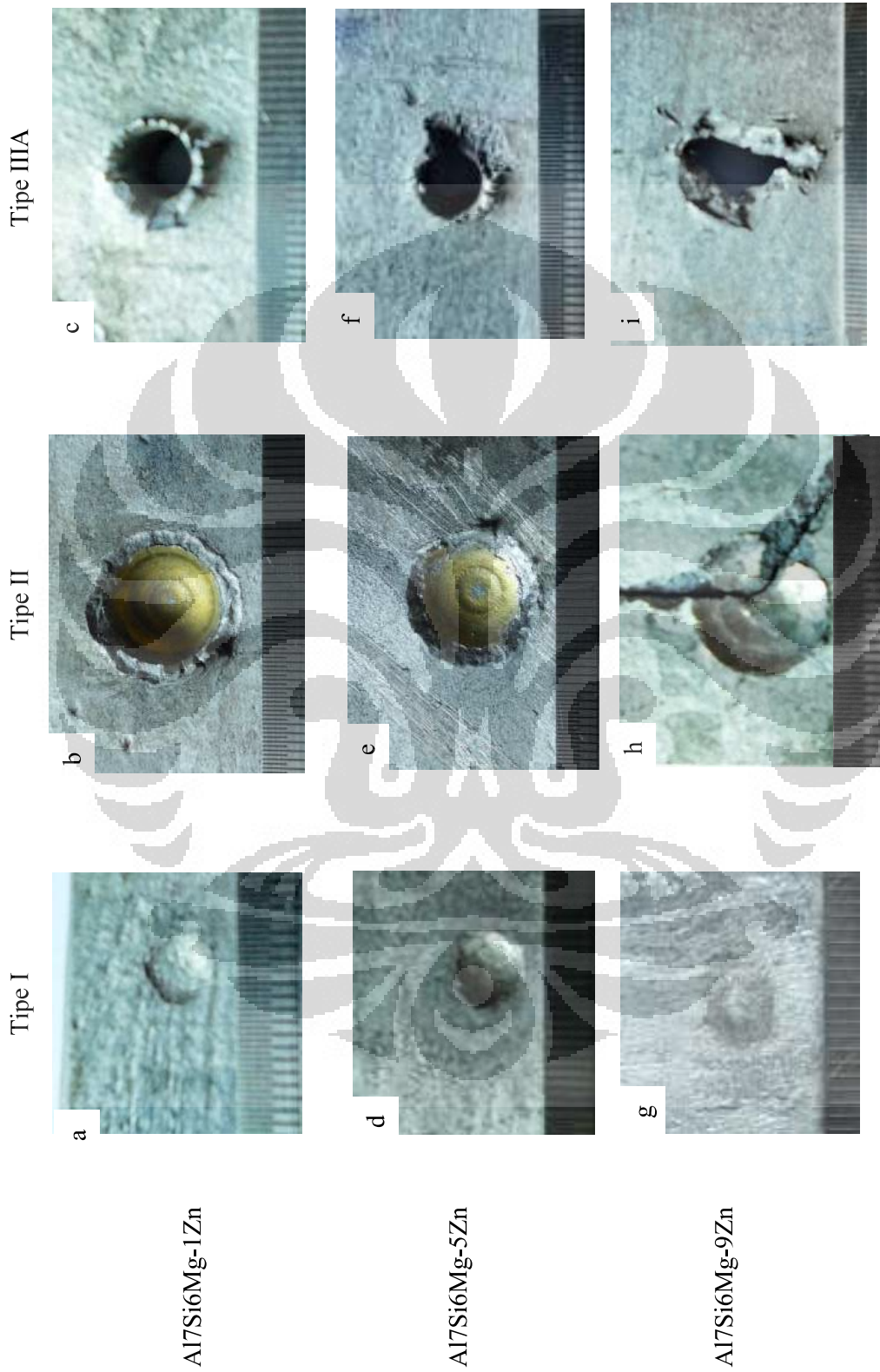
Gambar 4.10 Pengaruh *rolling* terhadap harga impact komposit Al-7Si-4Mg-9Zn berpenguat 5 wt. % SiC setelah diberikan pengerasan penuaan pada temperatur $200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pada Gambar 4.10 dapat dilihat bahwa komposit yang diberi pengerjaan *rolling* mengalami penurunan harga impak kira-kira sebesar 59 % dari sampel yang tidak mengalami *rolling*, padahal kekerasannya menurun yang seharusnya membuat sampel menjadi lebih tangguh. Hal tersebut mungkin diakibatkan oleh retak yang terdapat pada antarmuka matriks dengan partikel SiC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Retak tersebut membuat komposit memiliki tegangan sisa, sehingga energi yang mampu diserap komposit sebelum mengalami perpatahan rendah, sehingga harga impak mengalami penurunan.

4.3 Hasil Uji Balistik dan Pengaruh Elemen Paduan Zn Pada Plat Komposit Matriks Aluminium Berpenguat Silikon Karbida^[29]

Pada penelitian sebelumnya sudah dilakukan karakterisasi uji balistik dari plat komposit dengan matriks Al-7Si-6Mg dengan variasi 1, 5 dan 9 wt. % Zn berpenguat silikon karbida 5 wt. %. Karakterisasi balistik dilakukan pada kondisi sampel *as-cast* dan dengan pendekatan besarnya daerah material target untuk menahan tembakan dari tipe proyektil tertentu dengan kecepatan tembak yang spesifik. Pada plat komposit dilakukan pengujian balistik secara bertahap dengan 3 jenis tipe peluru, yaitu 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. Pada hasil penembakan dilakukan pengamatan mikro dan makro yang mengalami perforasi.

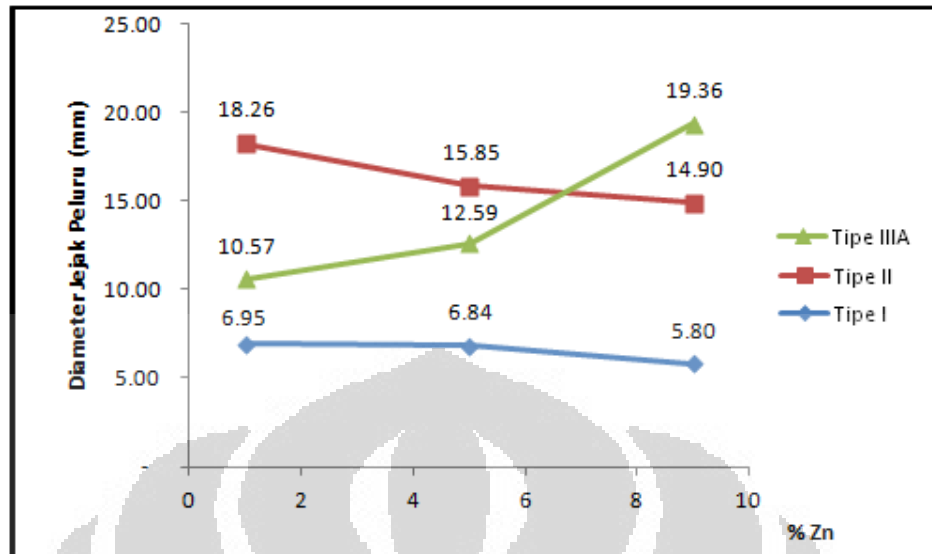
Gambar 4.11 menunjukkan daerah yang mengalami perforasi pada pelat komposit dengan matriks Al-7Si-6Mg dengan variasi 1, 5 dan 9 % Zn berpenguat silikon karbida dengan fraksi volum 5 %. Seluruh komposit mempunyai ketahanan balistik yang baik terhadap peluru kaliber 0.38 sp. Terlihat pada gambar bahwa untuk kandungan Zn paling tinggi yaitu 9 % Zn, komposit hasil uji tembak mengalami retak pada uji balistik tipe II. Sedangkan untuk kadar Zn yang lebih rendah tidak terjadi retak pada arah penampang memanjang. Pada komposit hasil uji tipe IIIA, jejak peluru komposit tidak lagi berupa penampang bulat. Kondisi ini disebabkan kegetasan yang terjadi dengan meningkatnya kadar Zn sampai 9 %.



Gambar 4.11 Gambaran daerah terperforasi pada pelat komposit matriks Al-7Si-6Mg berpenguat 5 wt. % silikon karbida, dengan variasi unsur paduan Zn : 1, 5 dan 9 wt. % untuk berbagai tipe pengujian balistik : (a,d,g) Tipe I; (b,e,h) Tipe II; (c,f,i) Tipe IIIA pada kondisi *as-cast* [29]

Pada hasil gambaran makro hasil uji balistik kemudian dilakukan pengukuran diameter jejak, dengan hasil seperti terlihat pada Gambar 4.12. Terlihat jelas bahwa dengan meningkatnya kandungan Zn, diameter jejak peluru hasil uji tipe I mengalami penurunan, demikian pula dengan hasil uji balistik tipe II. Hal ini menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kandungan Zn dari 1 sampai 5 %, ketahanan balistik semakin baik disebabkan adanya peningkatan kekerasan akibat penambahan kandungan unsur Zn. Sedangkan hasil uji balistik tipe IIIA pada komposit matriks Al-7Si-6Mg dengan variasi Zn 1, 5 dan 9 % menunjukkan bahwa terjadi peningkatan diameter peluru yang menembus pelat. Hal ini disebabkan karena semakin besar kadar Zn, bahan akan bersifat semakin getas sehingga ketangguhan terhadap perpatahan akan turun.

Pada pengujian impak yang diperlihatkan pada subbab 4.1.3, komposit Al-7Si-4Mg variasi 1, 5, dan 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang sudah diberikan pengerasan penuaan mengalami peningkatan harga impak seiring dengan naiknya kandungan Zn. Hasil pengujian tersebut membuktikan bahwa pengerasan penuaan meningkatkan ketangguhan dari komposit Al-7Si-4Mg variasi 1, 5, dan 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC. Diharapkan dari hasil pengujian impak, komposit Al-7Si-4Mg variasi 1, 5, dan 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang telah diberikan pengerasan penuaan pada kondisi *peak age* komposisi juga memiliki ketahanan balistik yang lebih baik, terutama untuk komposit dengan kandungan Zn yang tinggi (9 wt. %).



Gambar 4.12 Diameter jejak peluru pada pelat komposit matriks Al-7Si-6Mg berpenguat 5 % fraksi volum silikon karbida dengan variasi kandungan Zn : 1, 5 dan 9 % untuk berbagai tipe pengujian balistik pada kondisi *as-cast* ^[27]

Berdasarkan hasil karakterisasi uji balistik komposit paduan Al-7Si pada kondisi *as-cast* diatas, pengerasan penuaan diharapkan dapat meningkatkan kekerasan dari matriks tanpa harus kehilangan ketangguhan. Pada kerja selanjutnya akan dilakukan uji balistik terhadap plat komposit dengan matriks paduan Al-7Si-4Mg dengan variasi 1, 5 dan 9 % Zn berpenguat 5 % SiC (wt. %) yang telah dilakukan pengerasan penuaan. Sampel nantinya akan diuji balistik pada kondisi *peak aged* agar didapatkan kekerasan yang lebih tinggi dari kondisi *as-cast*, namun tetap tangguh. Elemen paduan seng yang ditambahkan ke matriks aluminium bertujuan untuk menghaluskan lengan dendrit aluminium sehingga kekerasannya meningkat. Selain itu paduan seng juga memiliki mekanisme penguatan *solid solution strengthening* yang membuat aluminium mengalami kenaikan tegangan kisi. Sedangkan elemen paduan magnesium berfungsi sebagai *wetting agent* untuk meningkatkan pembasahan antara matriks paduan aluminium dengan penguat SiC dan bekerja sama dengan seng untuk membentuk presipitat $MgZn_2$ sebagai responsnya terhadap pengerasan penuaan^[5].

BAB 5

KESIMPULAN, SARAN DAN RENCANA LANJUT

5.1 Kesimpulan

1. Penambahan fraksi berat seng ke matriks komposit Al-7Si dapat meningkatkan kekerasan pada matriks komposit Al-7Si dengan mekanisme *solid solution strengthening* dan penghalusan lengan dendrit aluminium.
2. Kekerasan paling tinggi diperoleh komposit matriks Al-7Si-4Mg-9Zn dengan kenaikan kekerasan dari kondisi *as-cast* sebesar 23.1%. Berdasarkan respons terhadap perlakuan panas penuaan, kekerasan pada kondisi puncak yang dicapai semua sampel dalam waktu dua jam sebesar 60.02 HRB, 62.27 HRB, dan 68.40 HRB masing-masing untuk variasi paduan seng 1, 5 dan 9 wt. %.
3. Hasil analisis struktur mikro sampel menunjukkan penurunan jarak lengan dendrit aluminium seiring dengan kenaikan kandungan seng. Jarak lengan dendrit adalah 25.90, 23.46, dan 18.76 μm masing-masing untuk kandungan 1, 5, dan 9 wt. % Zn pada kondisi *as-cast* yang berarti terjadi penurunan jarak lengan dendrit sebesar kurang lebih 27.56 %. Selain itu, diketahui juga bahwa distribusi persebaran silikon karbida pada matriks tidak merata yang dibuktikan masih ada permukaan matriks yang tidak terdapat silikon karbida. Hal tersebut diperkirakan karena ukuran partikel silikon karbida yang terlalu besar, sekitar 33.80-53.90 μm , sehingga sulit untuk terdistribusi secara sempurna. Selain itu fraksi berat silikon karbida 5 % diperkirakan masih terlalu sedikit untuk didapatkan distribusi persebaran partikel yang merata pada matriks.
4. Hasil analisis mikro SEM (*Scanning Electron Microscope*) menunjukkan bahwa pada matriks aluminium terdapat fasa intermetalik $\alpha\text{-Al(Fe,Mn)Si}$ yang berwarna putih. Keberadaan unsur Fe dan Mn diperkirakan berasal dari inklusi. Selain itu keberadaan unsur C dan O pada semua sampel diperkirakan berasal dari atmosfer atau udara luar.

5. Kandungan seng 9 % pada komposit memiliki ketangguhan paling tinggi yang menunjukkan kalau transfer tegangan yang diserap oleh matriks terdistribusi dengan baik ke penguat. Harga impact pada sampel komposit ini sebesar 3135.831, 3006.805, dan 3940.887 J/mm² masing-masing untuk variasi paduan seng 1, 5 dan 9 wt. %. Foto makro fraktografi impact ketiga variasi fraksi berat elemen paduan seng menghasilkan kalau semua sampel memiliki perpatahan yang getas.
6. Setelah pengerjaan *rolling* dengan persen deformasi sebesar ± 10 % didapatkan kekerasan *as-rolled* sampel sebesar 36.95 HRB yang berarti mengalami penurunan sebesar 29.80 % dari kekerasan *as-cast*.
7. Respons perlakuan panas penuaan setelah *rolling* lebih cepat dalam mencapai kekerasan puncak, yaitu 63.28 HRB dalam waktu satu jam, namun dengan nilai kekerasan lebih rendah dari sampel yang tidak di *roll*. Penurunan kekerasan yang terjadi pada kondisi puncak sampel yang mengalami *rolling* dan yang tidak yaitu kurang lebih sebesar 7.50 %.
8. Hasil analisis dan foto struktur mikro sampel *rolling* dengan SEM diperkirakan terjadi retak pada antarmuka partikel SiC dengan matriks aluminium yang ditandai oleh bagian gelap disekitar partikel SiC. Perkiraan tersebut didukung oleh partikel SiC yang tidak mengalami deformasi yang mengakibatkan tegangan pada sisi-sisi partikelnya sehingga menimbulkan retak.
9. Pengujian impact pada sampel yang mengalami *rolling* juga mengalami penurunan harga impact, yaitu sebesar 59 %. Hal tersebut mungkin diakibatkan oleh retak yang terdapat pada antarmuka matriks dengan partikel SiC yang membuat sampel memiliki tegangan sisa, sehingga energi yang mampu diserap sampel sebelum mengalami perpatahan rendah, sehingga harga impact mengalami penurunan.

5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan partikel SiC dengan ukuran yang lebih kecil agar distribusi persebaran partikel SiC merata pada matriks dan meningkatkan respons pengerasan penuaannya.
2. Tidak perlu dilakukan pengerjaan *rolling* pada komposit Al-7Si berpenguat 5 % SiC karena *rolling* menurunkan kekerasan dan komposit mengalami retak mikro.

5.3 Rencana Lanjut

1. Menggunakan ukuran partikel SiC yang lebih kecil dari 180 mesh. Diharapkan penggunaan partikel SiC yang berukuran lebih kecil akan didapatkan distribusi persebaran SiC yang lebih seragam pada matriks sehingga kekerasannya meningkat.
2. Melakukan pengamatan dan analisis fasa atau presipitat yang tidak terdeteksi oleh foto struktur mikro dan SEM. Pengamatan fasa atau presipitat tersebut diusahakan menggunakan TEM atau HRSEM.
3. Melakukan uji balistik pada komposit paduan Al-7Si dengan variasi 1, 5, 9 wt. % Zn berpenguat 5 wt. % SiC yang sudah diberikan perlakuan panas penuaan.

DAFTAR REFERENSI

1. Undang-Undang Negara Republik Indonesia No.3 Tahun 2002
2. <http://indomiliter.wordpress.com>
diakses tanggal 26 Oktober 2011
3. Min, Song. (2009). *Effects of volume fraction of SiC particles on mechanical properties of SiC/Al composites*. Transaction Nonferrous Metals Society of China, 1400-1404.
4. Mahadevan K., Raghukandan K., Senthilvelan T., Pai B.C., Pillai U.T.S.. (2005). *Studies on the effect of delayed aging on the mechanical behaviour of AA 6061 SiCp composite*. Materials Science and Engineering A 396 188-193
5. ASM Handbook Volume 2.1990. *Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials*. ASM International Handbook Committee
6. Yusof Abdullah, Abdul Razak Daud, Roslinda Shamsudin dan Mohd b. Harun. (2009). *Flexural strength and fracture studies of Al– SiCp composites*. International Journal of Mechanical and Materials Engineering (IJMME), Vol. 4, No. 2, 109-114.
7. Henriksen B.R. & Johnsen, T.E. (1990). *Influence of microstructure of fiber/matrix interface on mechanical properties of Al/SiC composites*, Materials Science and Technology 6, pp. 857-863.
8. Sofyan B.T., Susanti S., dan Yusfranto R.R. (2008). *Peran 1 dan 9 %Zn dalam Proses Pengerasan Presipitasi Paduan Aluminium AA319*. Jurnal Makara, Teknologi, Volume 12, No. 1, 48-54.
9. Yusfranto, Ridwan R. (2006). *Perilaku Paduan AA 319 As-Cast dengan Kandungan 4 at. % Zn pada Proses Perlakuan Penuaan (ageing)*.
10. ASM Handbook Volume 3.1990. *Alloy Phase Diagrams*. ASM International Handbook Committee
11. Callister W.D. (2004). *Materials Science and Engineering, 6th edition*. New York : John Wiley & Sons, Inc
12. ASM Handbook Volume 4. (1990). *Heat Treating*. ASM International Handbook Committee

13. Sug Won Kim, Ui Jong Lee, Sang Won Han, Dong Keun Kim, Ogi K. (2003). *Heat Treatment and Wear Characteristics of Al/Sicp Composites Fabricated by Duplex Process*. Composites : Part B 34 737-735.
14. El-Baradie Z.M., El-Shahat O.A., Abd El-Azim A.N. (1998). *Accelerated aging processes in SiC-7020 aluminium composite*. Journal of Materials Processing Technology 79 1–8
15. Rao R.N, Das S., Mondal D.P, Dixit G. (2010). *Effect of heat treatment on the sliding wear behavior of aluminium alloy (Al-Zn-Mg) hard particle composite*. Tribology International.
16. <http://physics.info/projectiles/>
diakses pada tanggal 3 November 2011
17. J hogg, Paul (2005), *Composites for Balistic Aplications*, London : University of London
18. NIJ Standard 0108-01.(1985). *Ballistic Resistant Protective Materials*. Washington : National Institute of Justice
19. Showalter D.D., Placzankis BE., Burkins M.S. (2008). *Ballistic Performance Testing of Aluminum Alloy 5059-H131 and 5059-H136 for Armor Applications*. Army Research Laboratory, ARL-TR-4427.
20. Chandan Mondal, Bidyapati Mishra, Pradipta K Jena, Siva Kumar K., Bhat T B. (2011). *Effect of heat treatment on the behavior of an AA7055 aluminium alloy during ballistic impact*. International Journal of Impact Engineering
21. Shirley K Garcia-Castillo, Sonia Sánchez-Sáez, Enrique Barbero. (2011). *Behavior of uniaxially preloaded aluminium plates subjected to high-velocity impact*. University Carlos III of Madrid.
22. Mustafa Ubeyli, R. Orhan Yildirim, Bilgehan Ogel. (2008). *Investigation on the ballistic behavior of Al₂O₃/Al2024 laminated composites*. Journal of Material Processing Technology.
23. Karamis M.B., Nair F., Cerit A.A.. (2009). *The metallurgical and deformation behaviors of laminar metal matrix composites after ballistic impact*. Journal of Material Processing Technology.

24. Karamis M.B., Nair F., Tasdemirci A.. (2004). *Analyses of metallurgical behavior of Al-SiCp composites after ballistic impacts*. International Journal of Composite Structure.
25. Vasudevan AK, Richmond O, Zok F, Embury D. *The influence of hydrostatic pressure on the ductility of Al-SiC composites*. Mater Sci Eng 1989;A107:63–9
26. Man Zhu, Zengyun Jian, Gencang Yang, Yaohe Zhou. (2012). *Effect of heat treatment on the microstructure, tensile properties, and fracture behavior of the modified A356 alloys*. Materials and Design.
27. Nasser Afify, Abdel-Fattah Gaber, Ghada Abbady. (2011). *Fine Scale Precipitates in Al-Mg-Zn Alloys after Various Ageing Temperatures*. Material Science and Applications.
28. Balogun S.A, Adeosun S.O, Sanni O.S. (2009). *The Effects of Cold Rolling and Heat Treatment on Al 6063 Reinforced with Silicon Carbide Granules*. Aluminum : Shaping and Forming Vol 61 No.8.
29. Rahmalina D., Sofyan B.T., Suharno B., Siradj E.S. (2011). *Development of Steel Wire Rope-Reinforced Aluminium Composite for Armour Material Using the Squeeze Casting Process*. Advanced Materials Research, Vol. 277, pp 27 -35

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kekerasan

Data Kekerasan Sampel Kurva Penuaan

Sampel	As-cast	As-Quench	5 menit	15 menit	30 menit	1 jam
4Mg-1Zn	38.38	32.5	35.4	36.1	38.2	38.6
		35.7	36.8	37	38.6	38.8
		36.9	37.2	37.2	39	38.9
		38.3	38.3	39.3	39.1	40.1
		39	40.5	39.4	40.8	
Rata-rata		35.85	37.34	38.02	38.86	39.44
4Mg-5Zn	49.12	34.5	37.7	38	43.5	59.7
		35.8	38	39.8	44.3	60.8
		36.2	38	41	45.1	62
		36.3	40.5	41.8	46.1	62.1
		37.8	41.8	43.9	46.3	62.4
Rata-rata		36.12	39.2	40.9	45.06	61.4
4Mg-9Zn	52.62	47.4	49.7	52.3	52.7	58.5
		48.1	50.6	52.4	52.8	59.8
		48.5	53.1	52.5	53.1	60.1
		49.2	53.3	52.8	53.5	60.6
		49.6	54.3	53.9	54.7	61.9
Rata-rata		48.56	52.2	52.78	53.36	60.18
Lanjutan Tabel 4.1						
Sampel	2 jam	4jam	6 jam	8 jam	16 jam	24 jam
4Mg-1Zn	59.3	53.7	51.6	49.3		41.9
	59.7	54.6	52.9	51.3		43.7
	60.1	55.1	53	51.6		43.9
	60.2	55.9	53.1	52.3		44.9
	60.8	56.4	55.8	52.9		45.6
Rata-rata	60.02	55.14	53.28	51.48		44
4Mg-5Zn	61.7	61	59	58.3	52.2	40.1
	61.8	61.5	60.1	58.6	54.5	41.4
	62.7	61.7	60.9	59.2	55.5	42.4
	62.9	61.8	61.5	61.4	56.5	43.3
		62.4	61.8		56.9	44.1
Rata-rata	62.275	61.68	60.66	59.38	55.12	42.46
4Mg-9Zn	67.4	56.6	54.3	51.9	50.3	46.4
	67.5	57.1	55.2	52.8	52.3	48.1

	67.8	57.3	55.6	53.7	52.8	49
	69.6	57.5	55.7	53.9	53.4	49.9
	69.7	58.5	57.6	55.7	54.9	50.2
Rata-rata	68.4	57.4	55.68	53.6	52.74	48.72

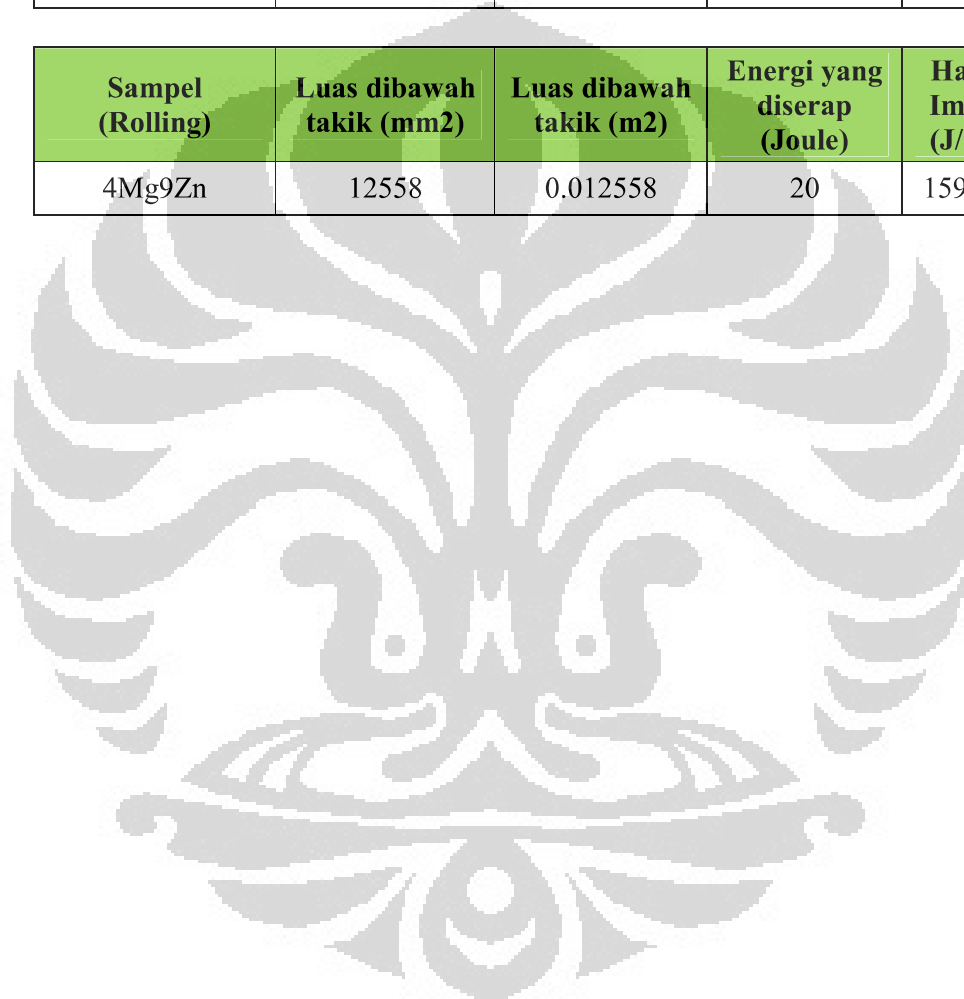
Data kekerasan sampel *rolling*

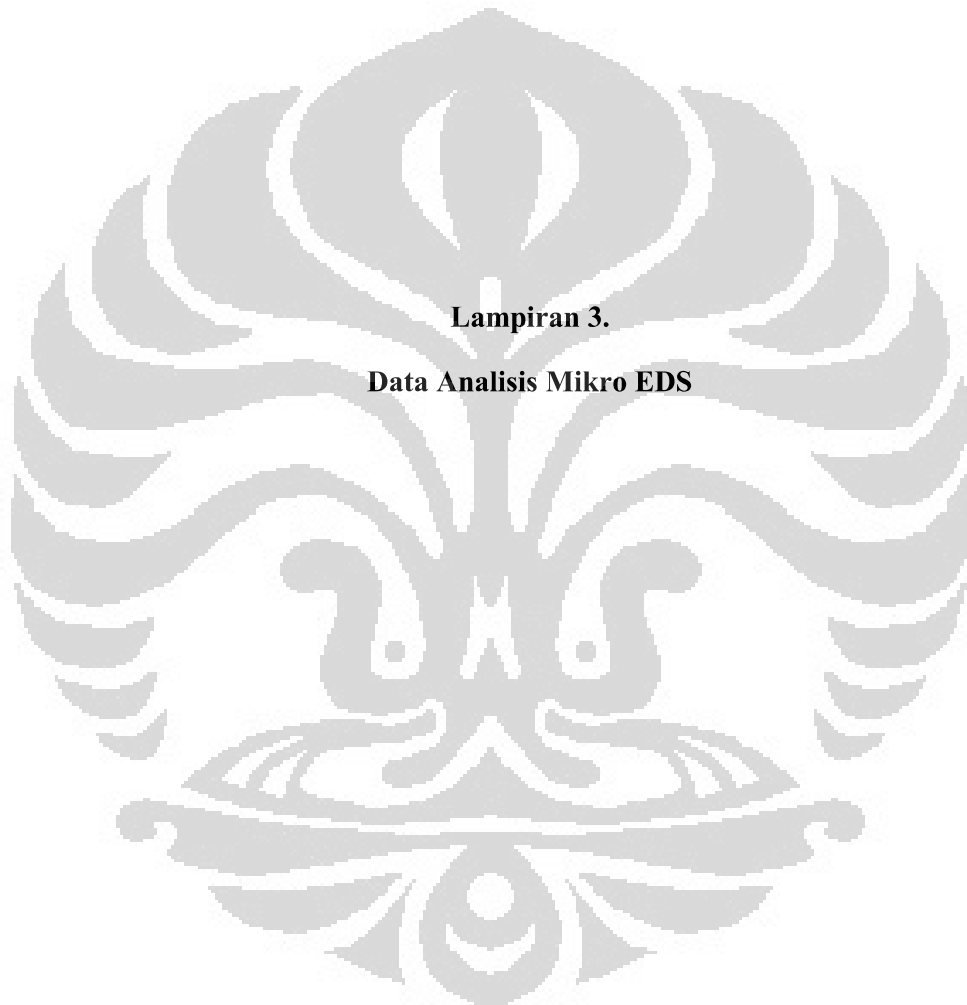
waktu									as-rolled
5	15	30	1 jam	2 jam	4 jam	6 jam	8 jam	16 jam	
35.2	36.5	32.1	61.4	54.1	48.5	41.5	39.2	35.8	33.8
35.9	37.1	32.3	61.7	55.2	53.5	44.4	43.5	40.3	34.4
38.9	41.2	41.3	62.9	58.6	53.9	49.3	51.3	41.7	35
40	41.8	41.8	63.1	59.4	56	53.7	51.8	43.8	36.1
43.5	42.3	42.6	63.2	61.5	56	54.8	54.1	45.5	36.6
45.6	46	42.8	65.5	61.9	58.4	56.7	54.3	45.7	40.1
45.9	46.3	43.6		62.4	58.5	58.9	54.3	45.8	
48	48.7	44.2		62.7		60.7	54.9	48.9	
48.7	50.3	44.7				62.5	55.6	54.3	
								54.6	
38.7	41.68	43.58	63.28	61.58	56.56	54.68	53.16	43.4	36.95

Lampiran 2. Data Pengujian dan Perhitungan Harga Impak

Sampel	Luas dibawah takik (mm ²)	Luas dibawah takik (m ²)	Energi yang diserap (Joule)	Harga Impak (J/m ²)
4Mg1Zn	12118	0.012118	38	3135.831
4Mg5Zn	12638	0.012638	38	3006.805
4Mg9Zn	12180	0.01218	48	3940.887

Sampel (Rolling)	Luas dibawah takik (mm ²)	Luas dibawah takik (m ²)	Energi yang diserap (Joule)	Harga Impak (J/m ²)
4Mg9Zn	12558	0.012558	20	1592.61



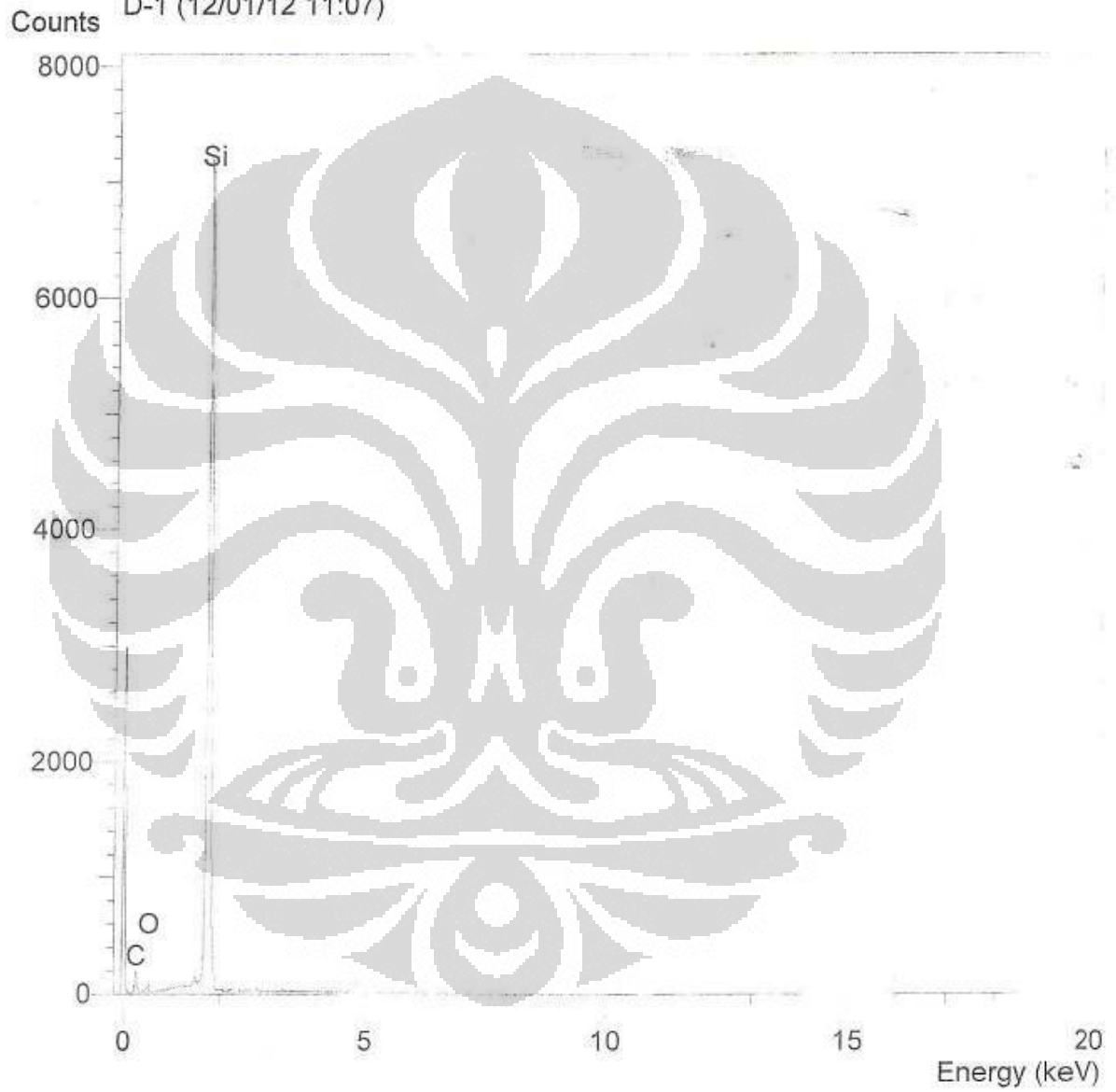


Lampiran 3.

Data Analisis Mikro EDS

Keterangan kode : D – 1Zn, B – 5Zn, E – 9Zn

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
D-1 (12/01/12 11:07)



SEMQuant results. Listed at 11:56:57 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: D-1

System resolution = 59 eV

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

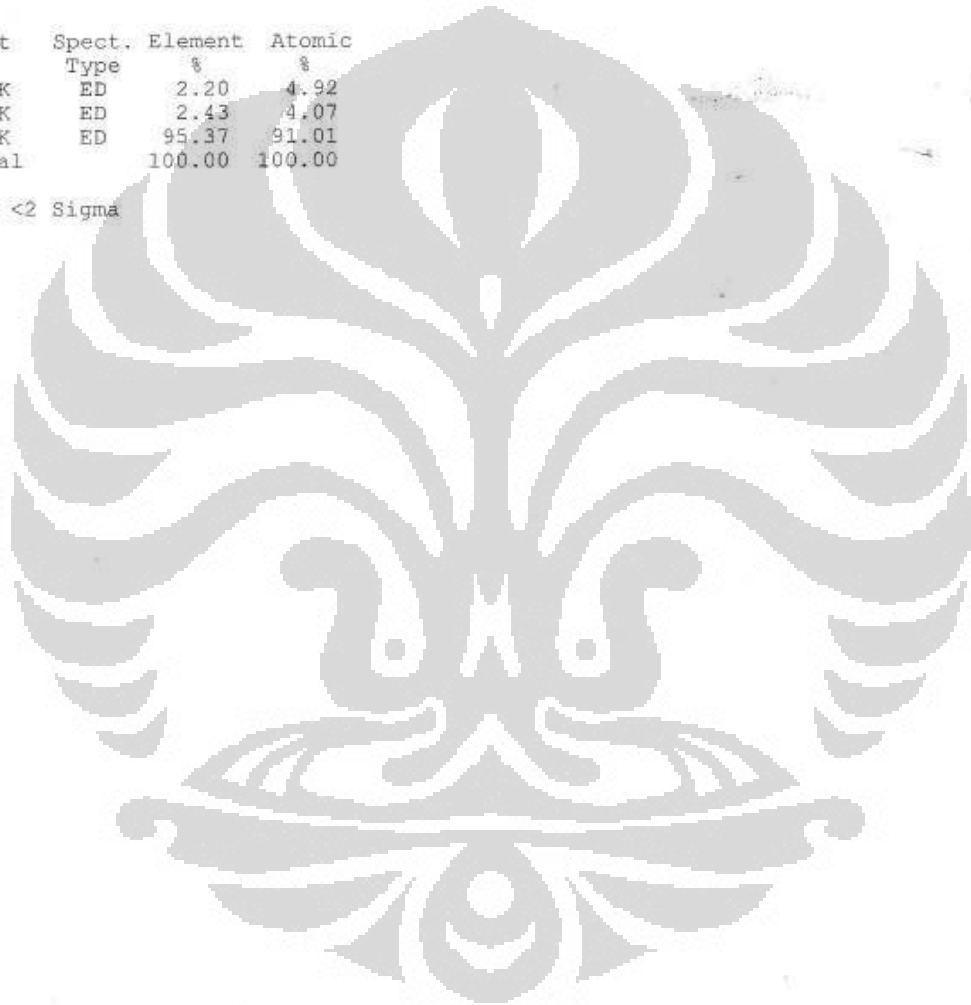
1 peak possibly omitted: 4.48 keV

Standards :

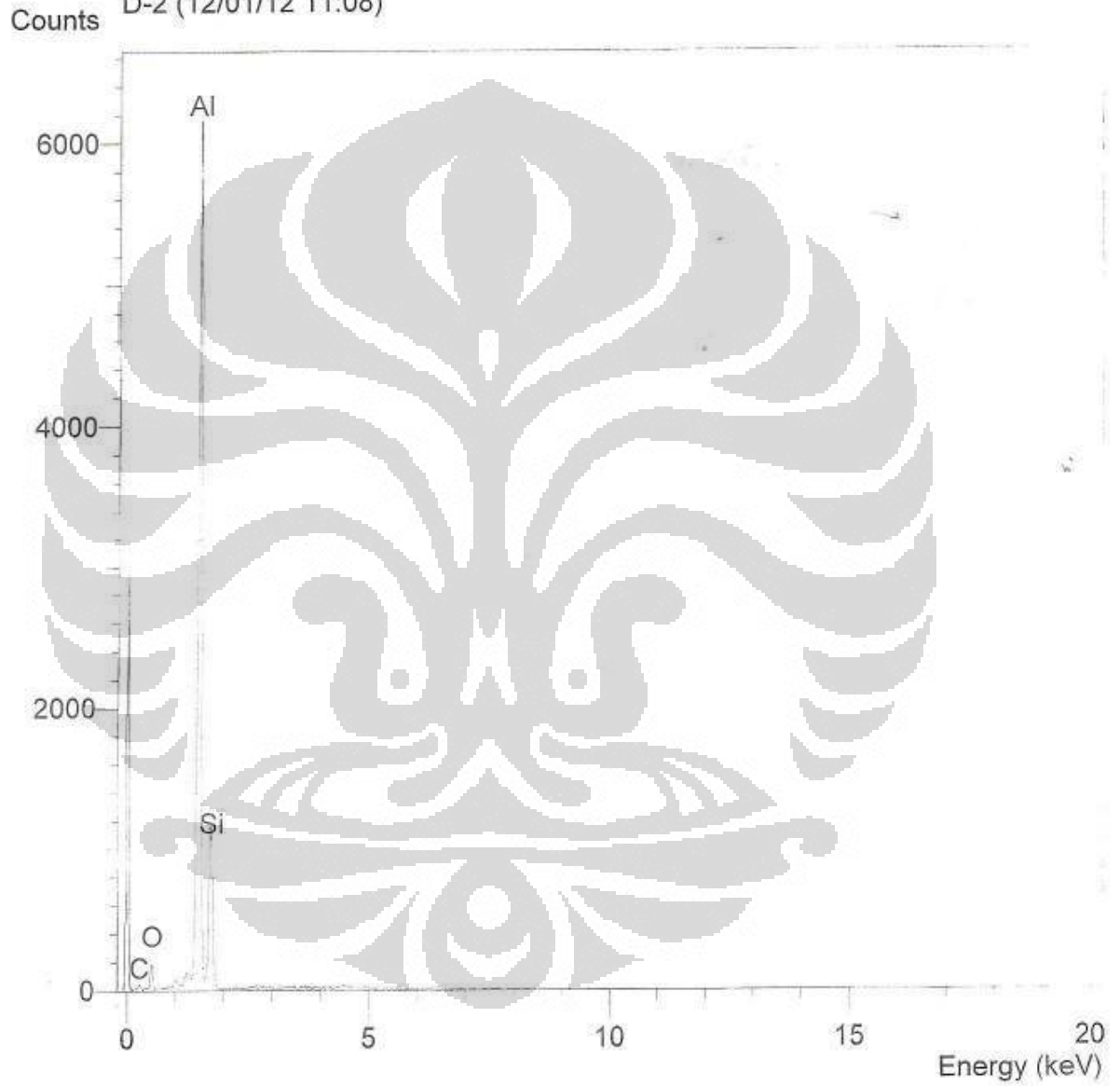
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	2.20	4.92
O K	ED	2.43	4.07
Si K	ED	95.37	91.01
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
D-2 (12/01/12 11:08)



SEMQuant results. Listed at 11:57:09 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: D-2

System resolution = 59 eV

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

3 peaks possibly omitted: 1.02, 4.50, 6.38 keV

Standards :

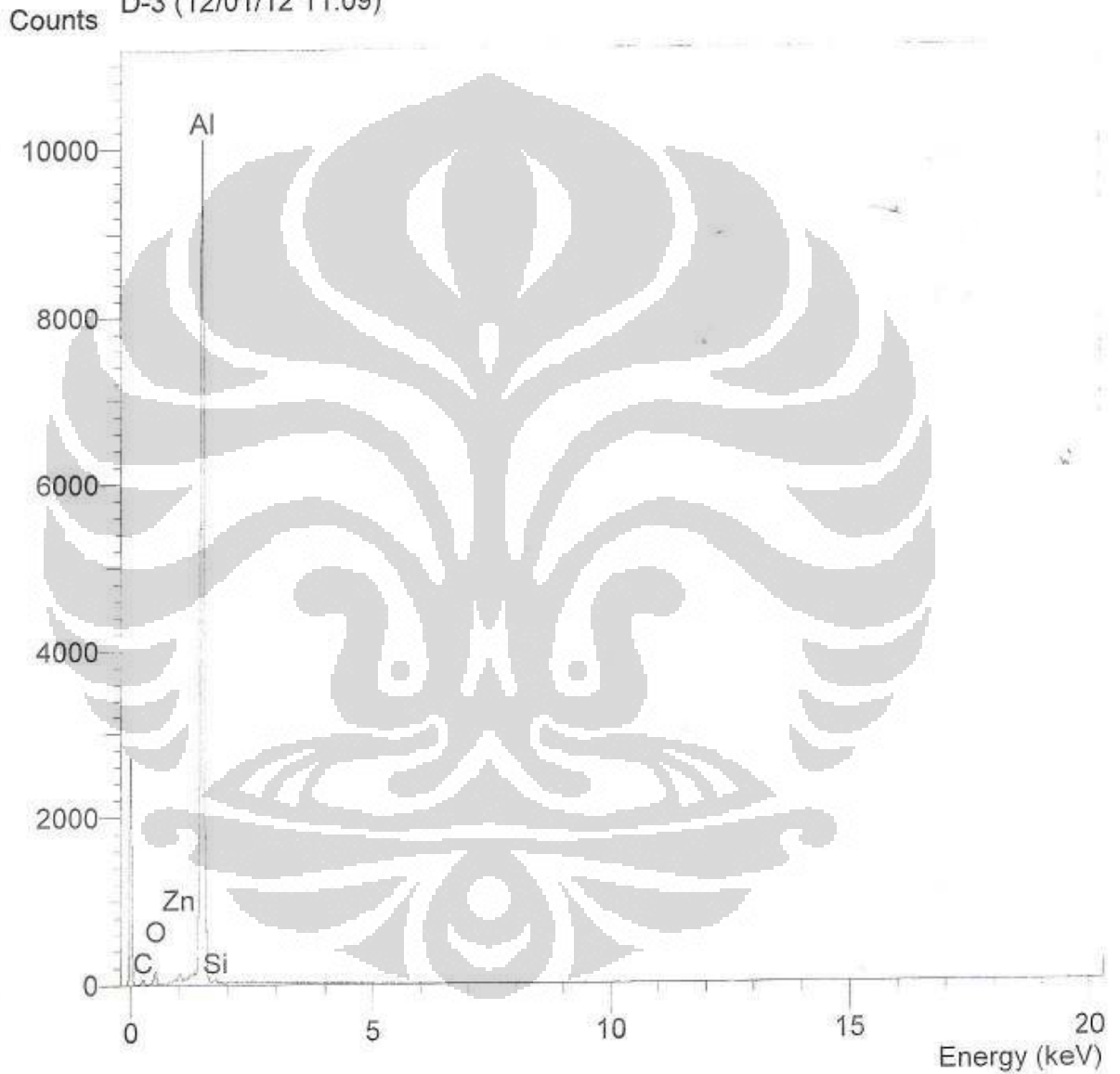
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.23	0.52
O K	ED	3.68	6.08
Al K	ED	80.22	78.49
Si K	ED	15.86	14.91
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
D-3 (12/01/12 11:09)



SEMQuant results. Listed at 11:57:21 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: D-3

System resolution = 61 eV

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

Standards :

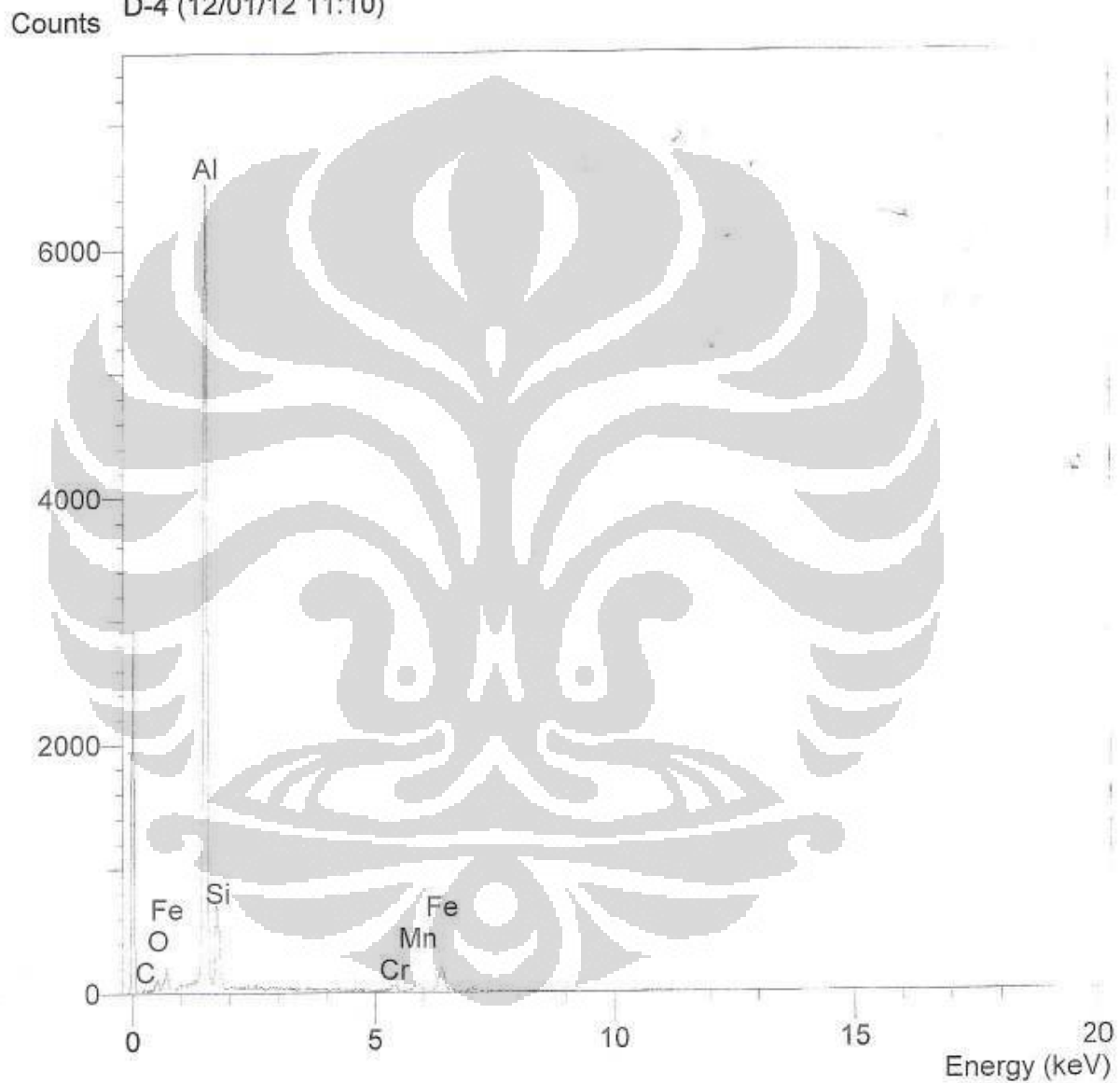
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.12	2.47
O K	ED	1.58	2.62
Al K	ED	95.13	93.34
Si K	ED	1.29	1.22
Zn L	ED	0.88	0.36
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
D-4 (12/01/12 11:10)



SEMQuant results. Listed at 11:57:33 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: D-4

System resolution = 62 eV

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

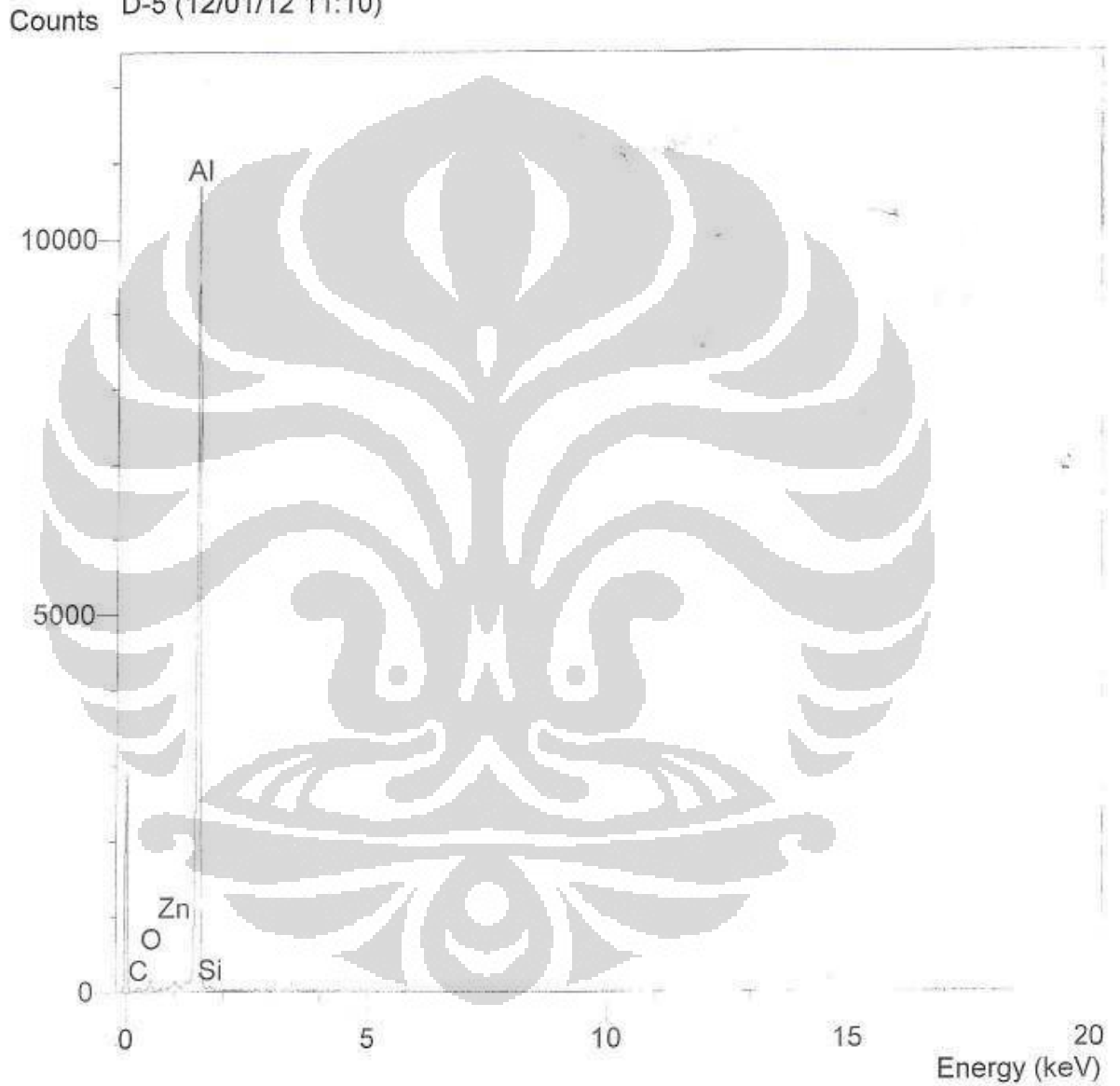
Standards :

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

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.14	0.33
O K	ED	1.17	2.08
Al K	ED	78.63	83.17
Si K	ED	8.11	8.24
Cr K	ED	1.17	0.64
Mn K	ED	1.68	0.88
Fe K	ED	9.10	4.65
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
D-5 (12/01/12 11:10)



SEMQuant results. Listed at 11:57:47 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: D-5

System resolution = 61 eV

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

1 peak possibly omitted: 4.50 keV

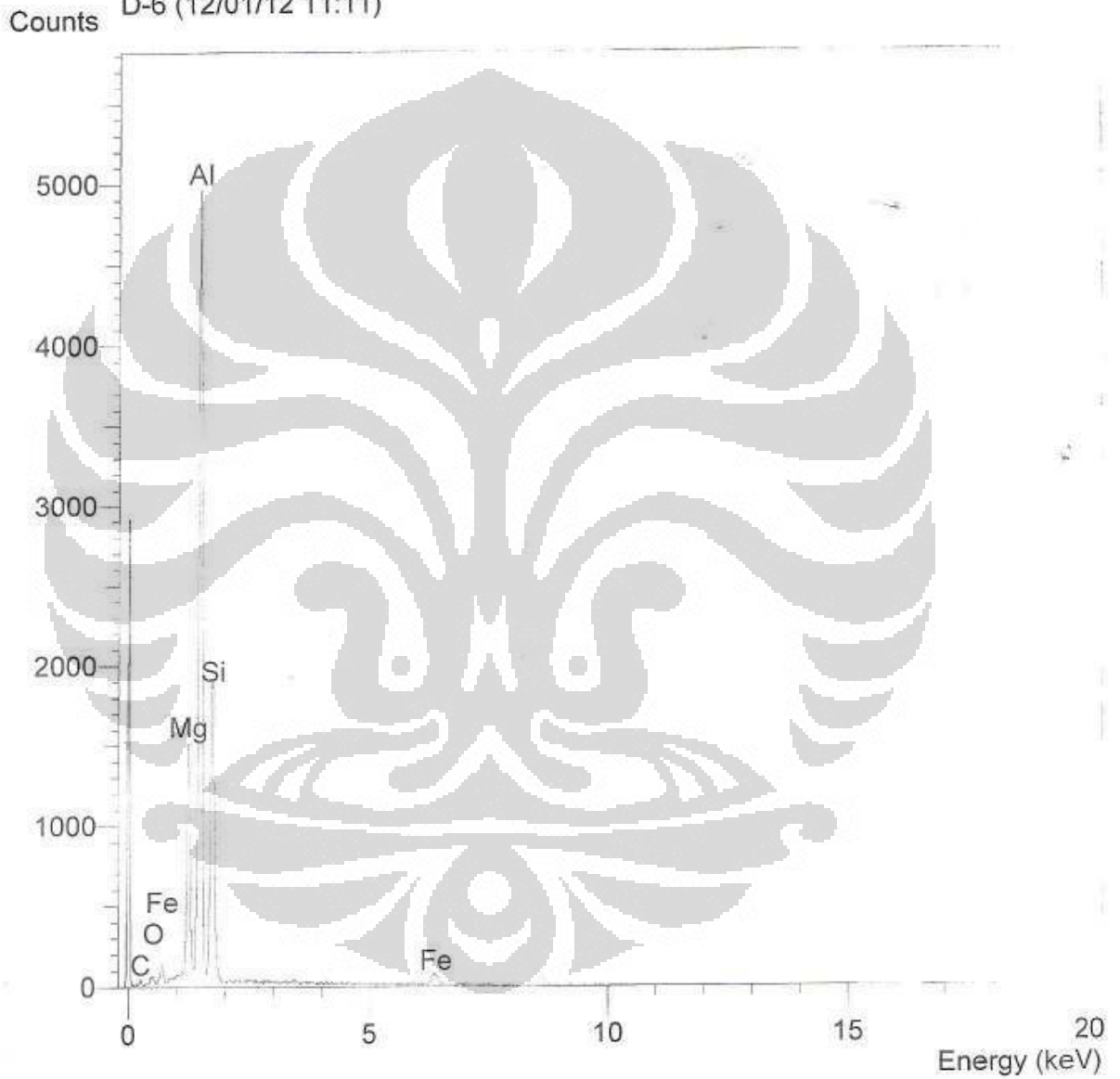
Standards :

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
Zn L Zinc 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.09	2.40
O K	ED	1.11	1.84
Al K	ED	95.53	94.10
Si K	ED	1.36	1.28
Zn L	ED	0.92	0.37
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
D-6 (12/01/12 11:11)



SEMQuant results. Listed at 11:57:59 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: D-6

System resolution = 60 eV

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

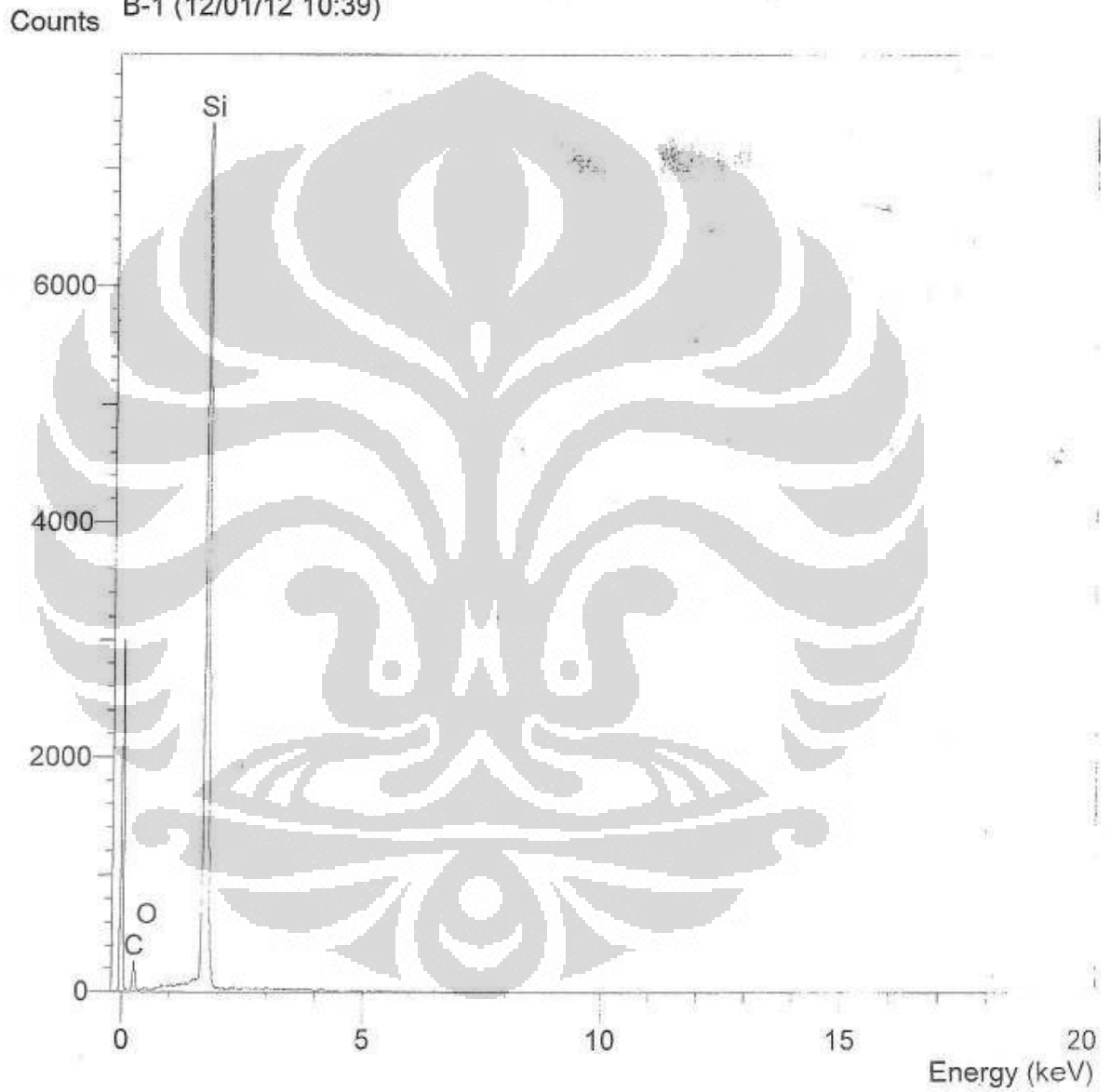
Standards :

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. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.20	0.45
O K	ED	0.97	1.65
Mg K	ED	7.72	8.65
Al K	ED	65.42	66.04
Si K	ED	22.13	21.46
Fe K	ED	3.55	1.73
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 :

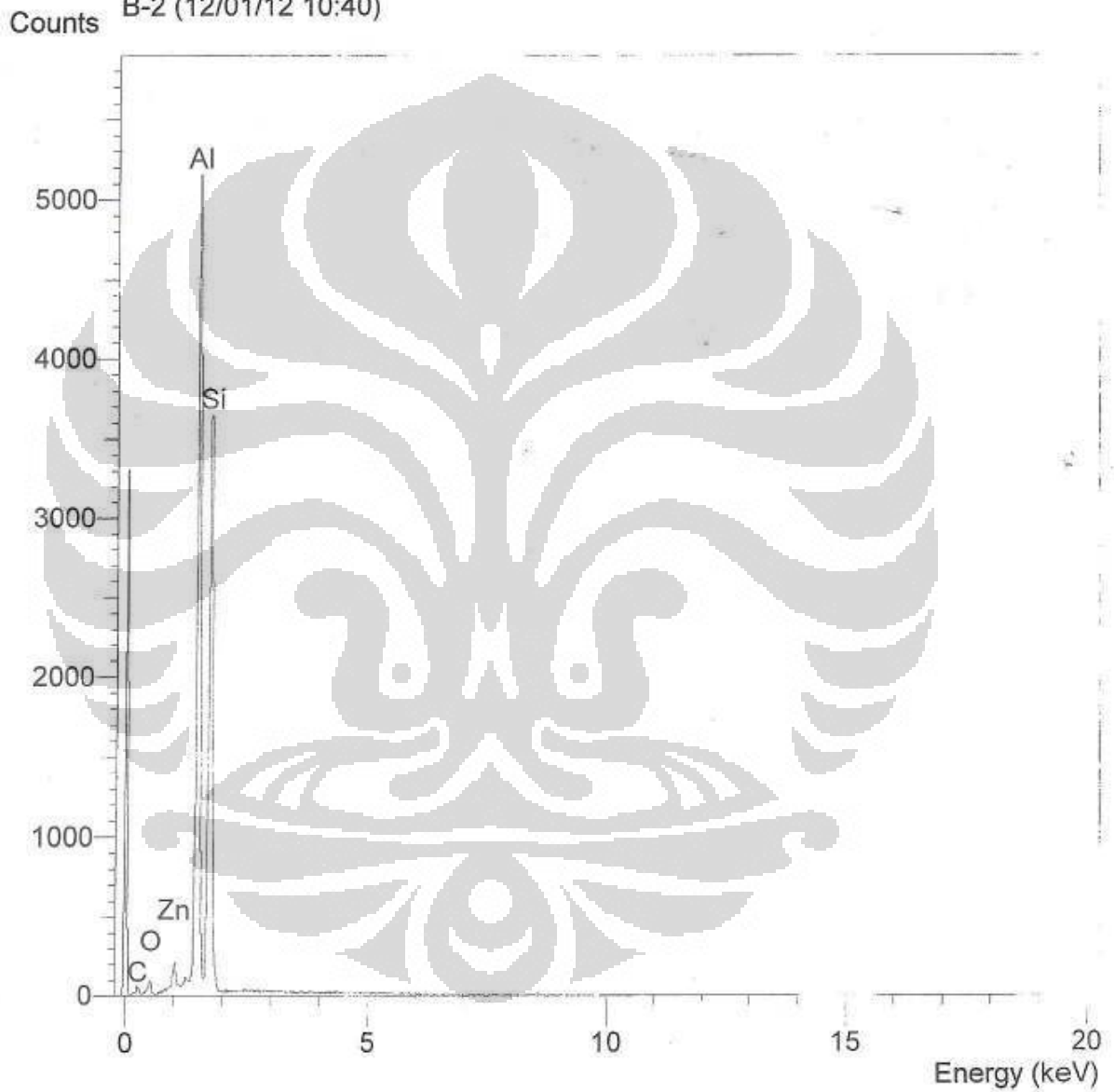
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

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.

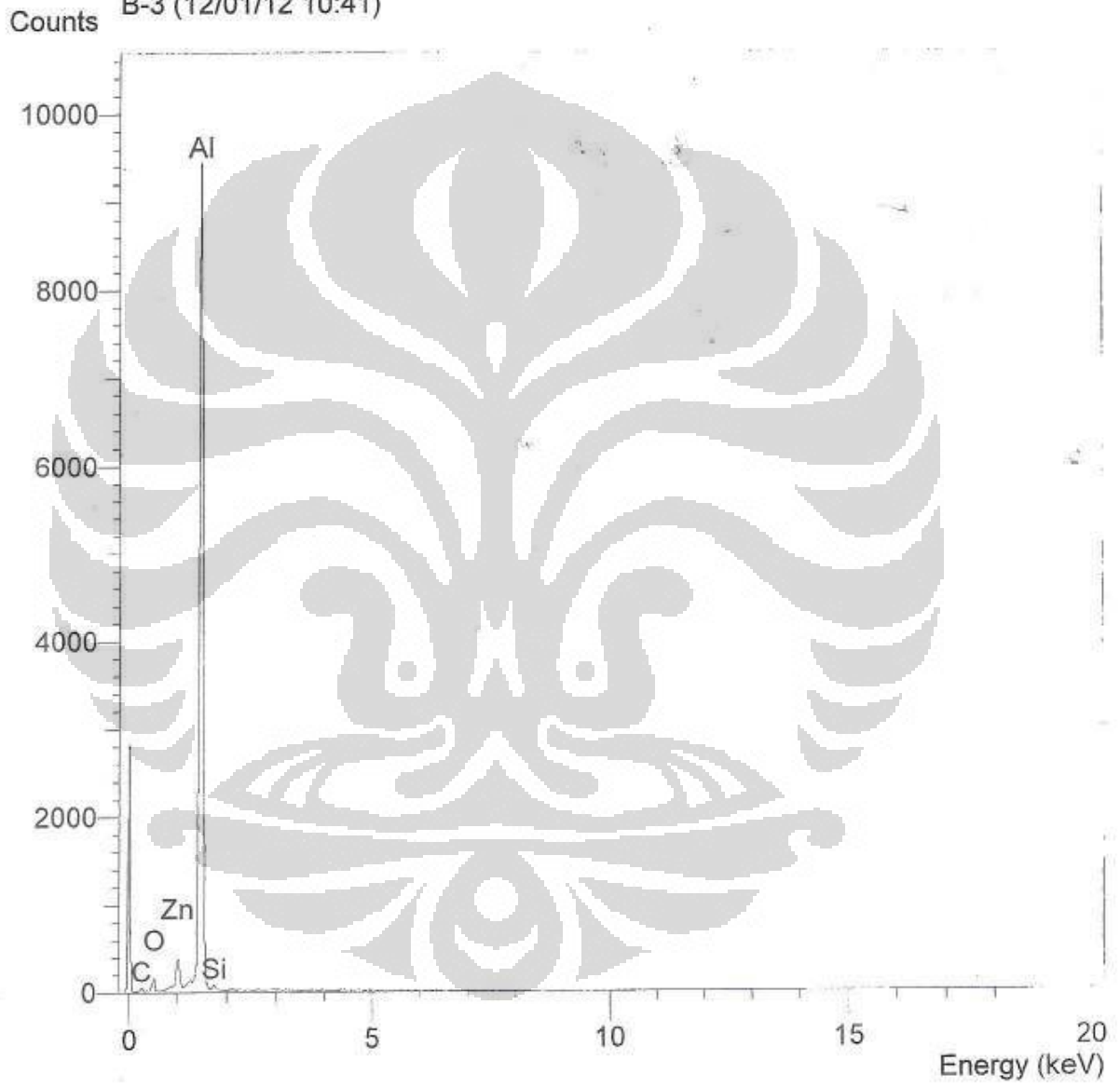
Standards :

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.	Element	Atomic
	Type	%	%
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.

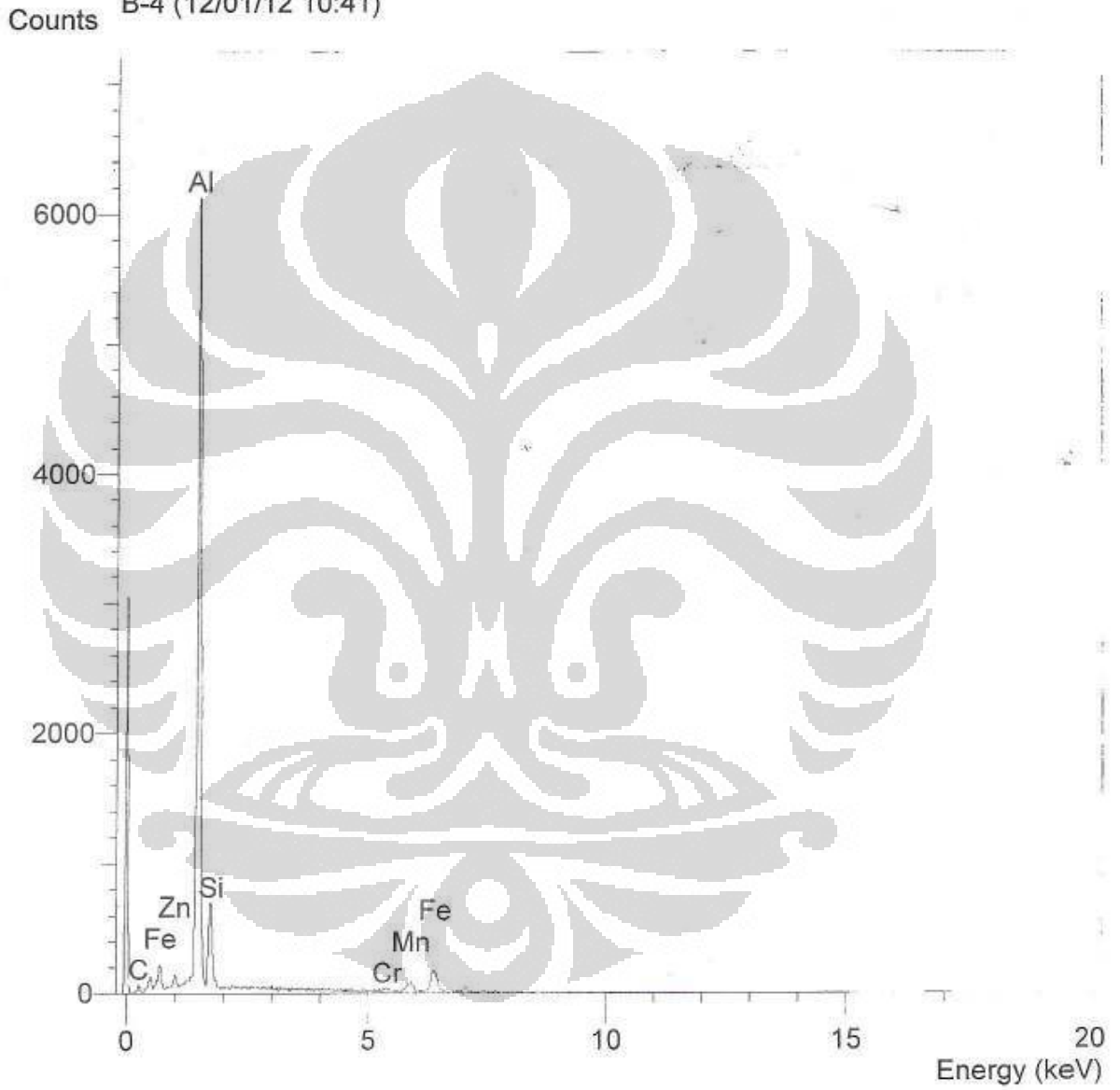
Standards :

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. Type	Element %	Atomic %
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.

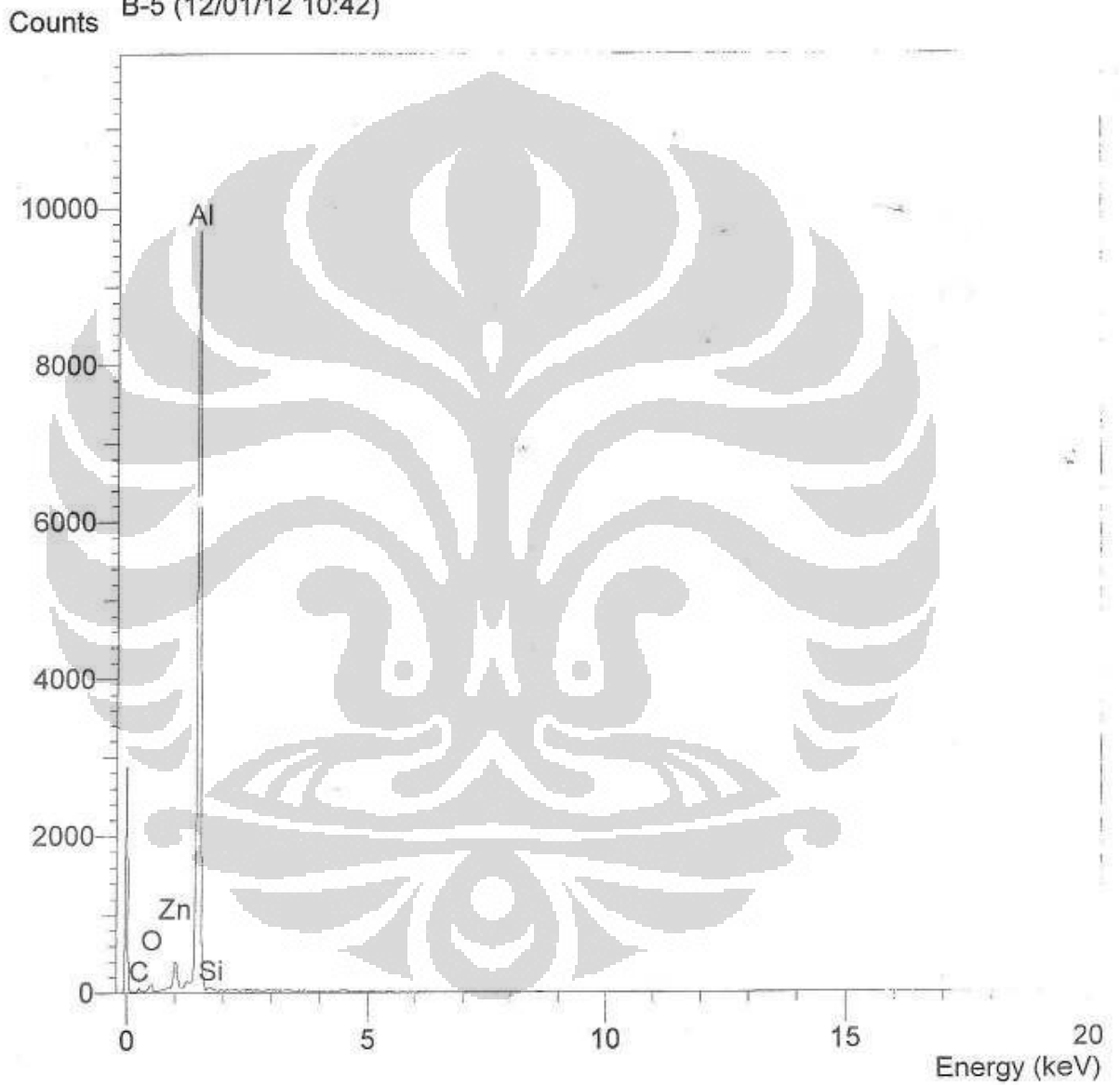
Standards :

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. Type	Element %	Atomic %
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

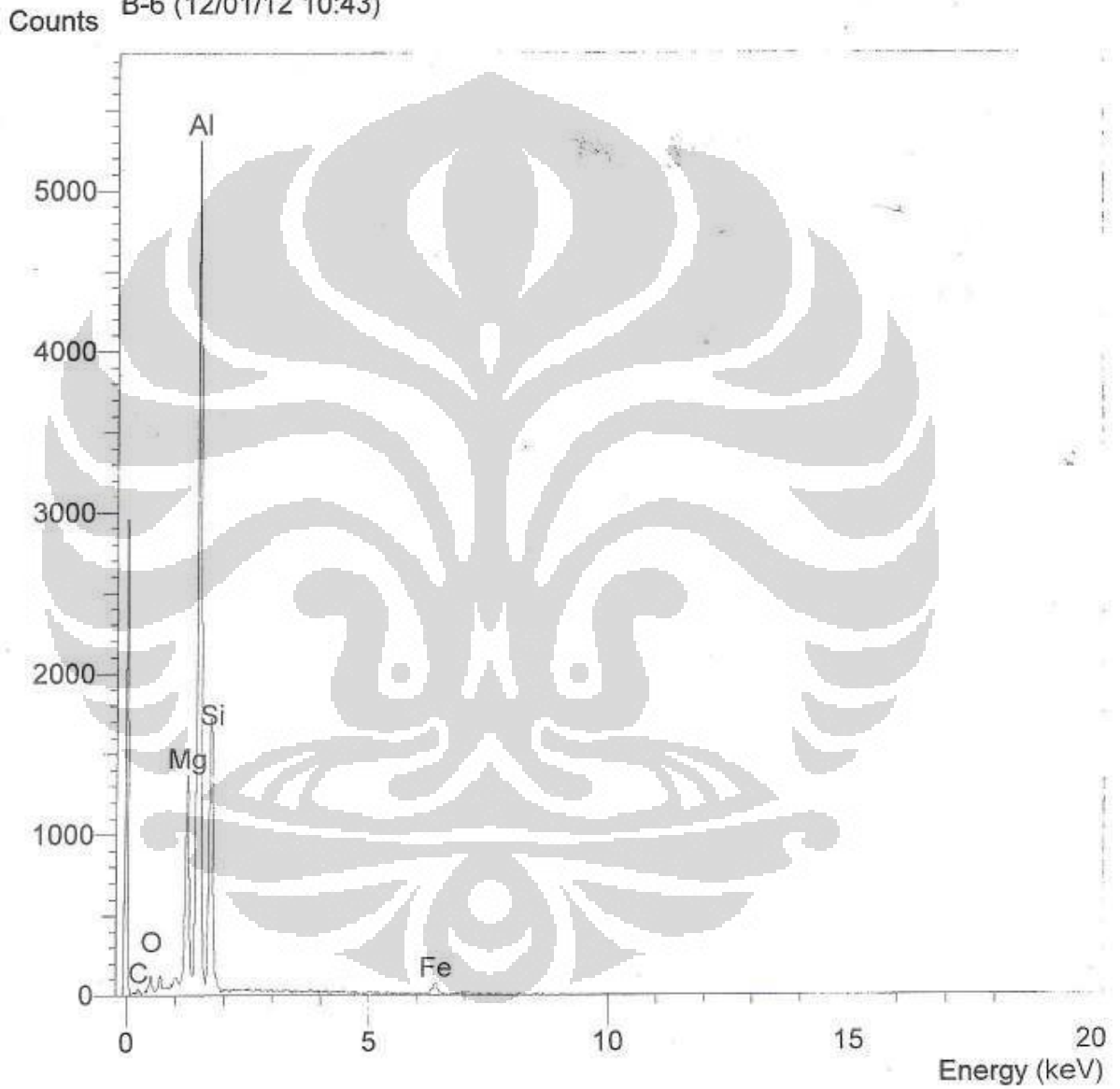
Standards :

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.	Element	Atomic
	Type	%	%
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.

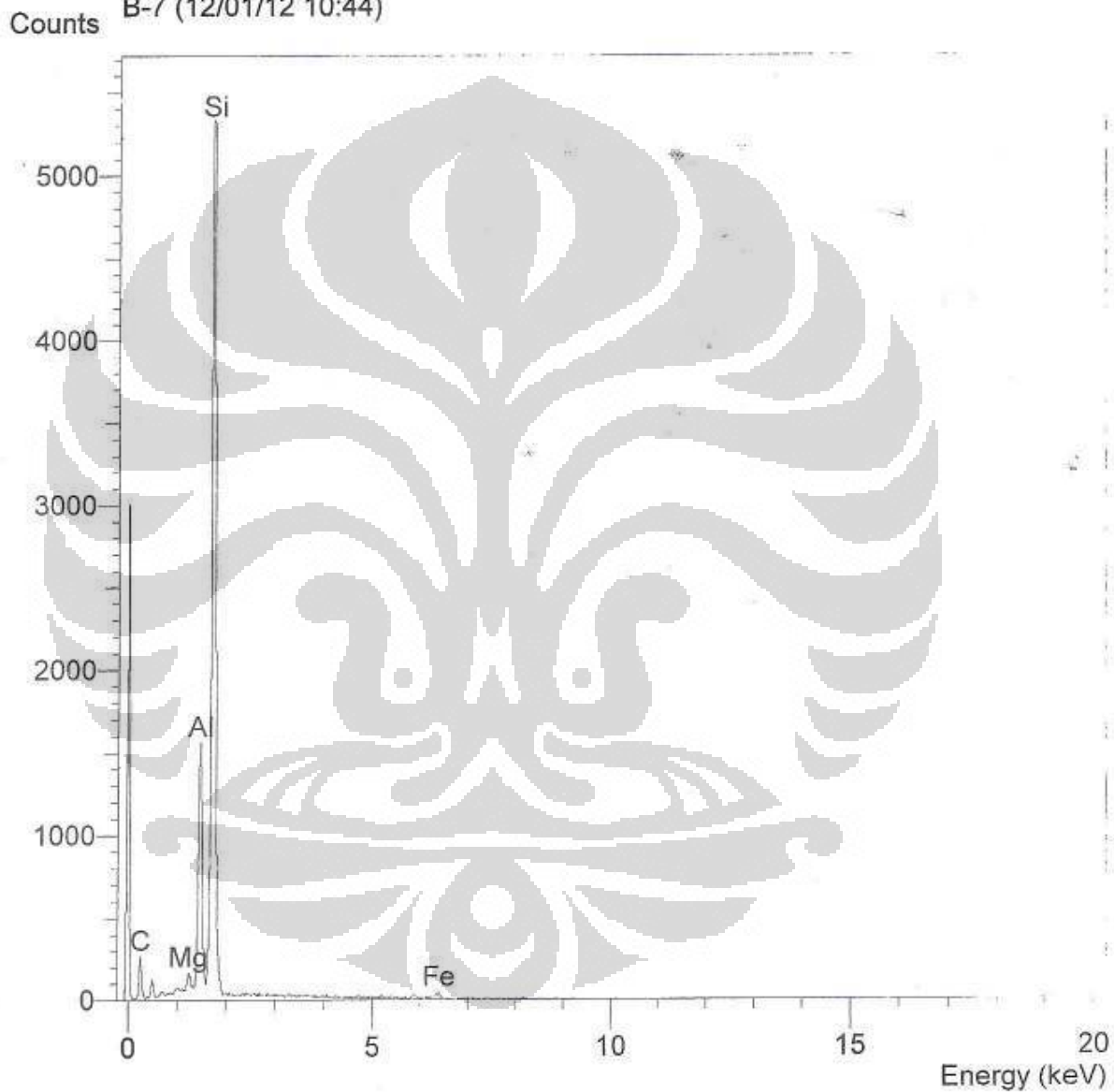
Standards :

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

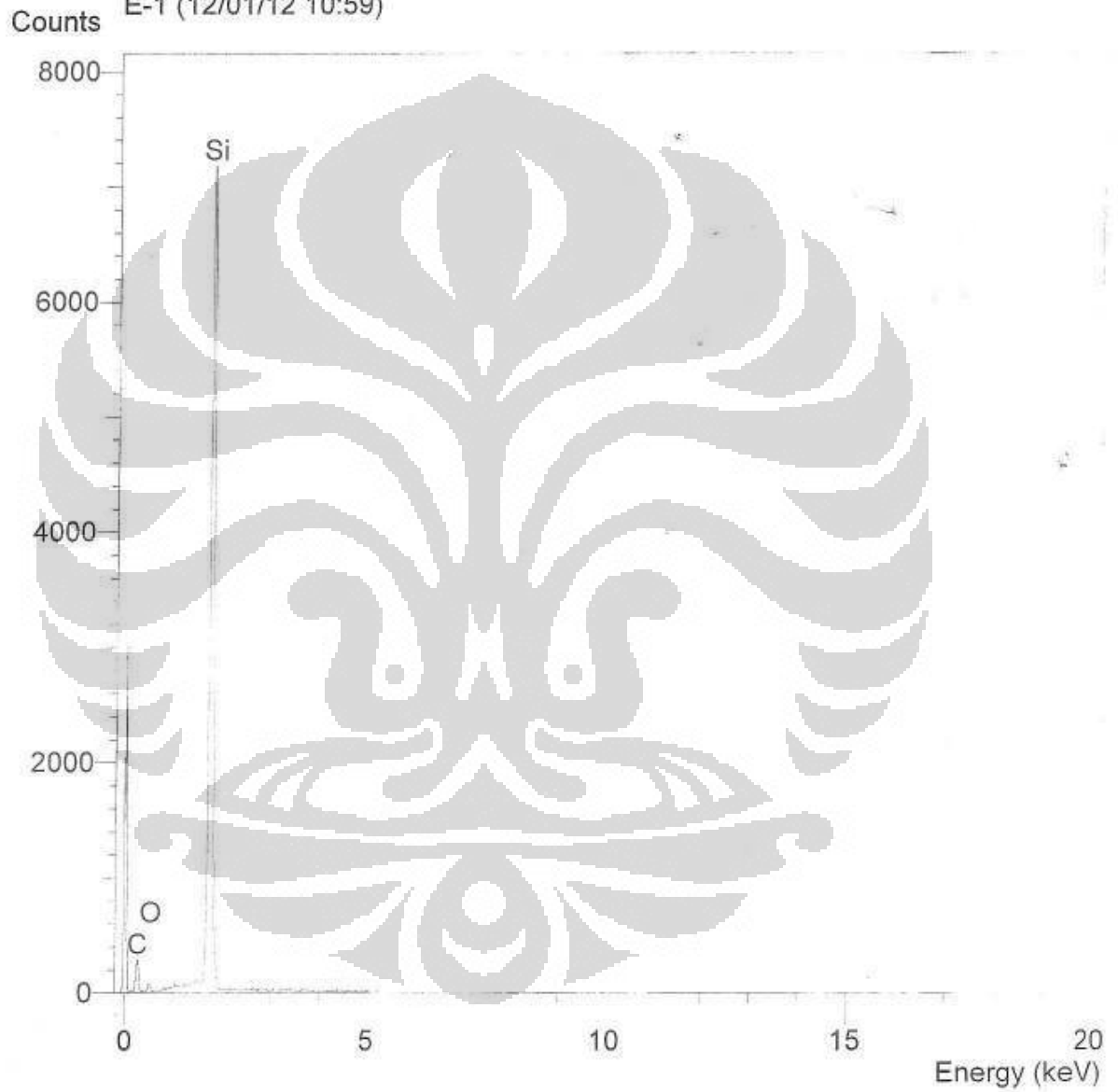
Standards :

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.	Element	Atomic
	Type	%	%
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

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
E-1 (12/01/12 10:59)



SEMQuant results. Listed at 11:55:44 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: E-1

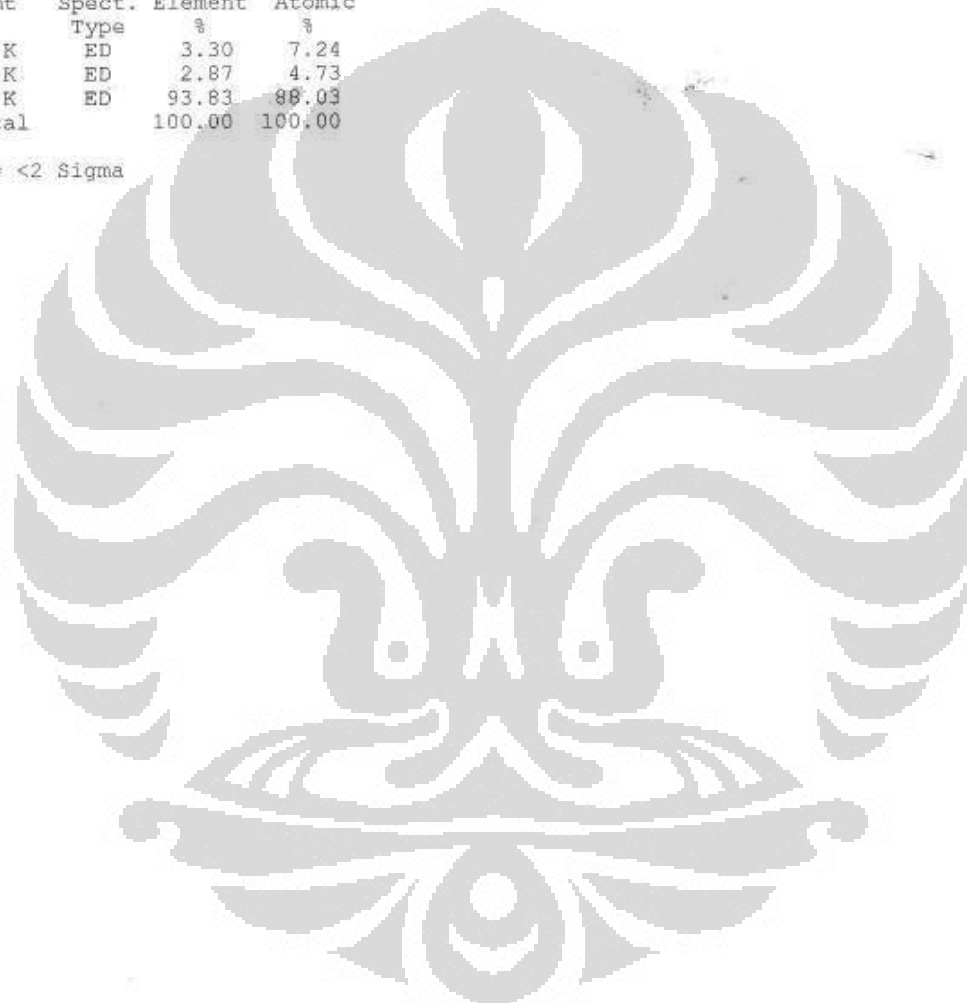
System resolution = 59 eV

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

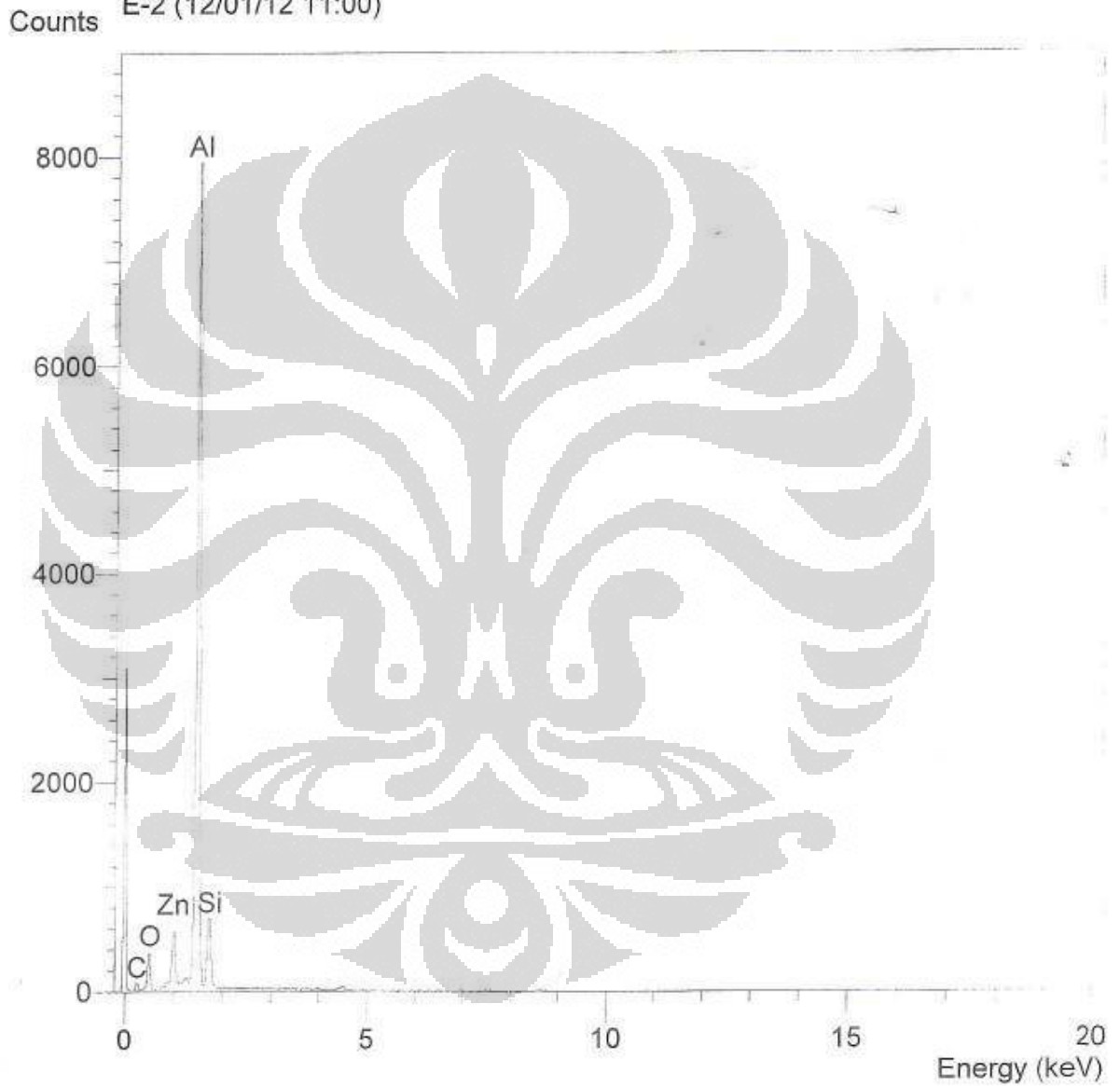
Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	3.30	7.24
O K	ED	2.87	4.73
Si K	ED	93.83	88.03
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
E-2 (12/01/12 11:00)



SEMQuant results. Listed at 11:55:54 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: E-2

System resolution = 61 eV

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

1 peak possibly omitted: 4.50 keV

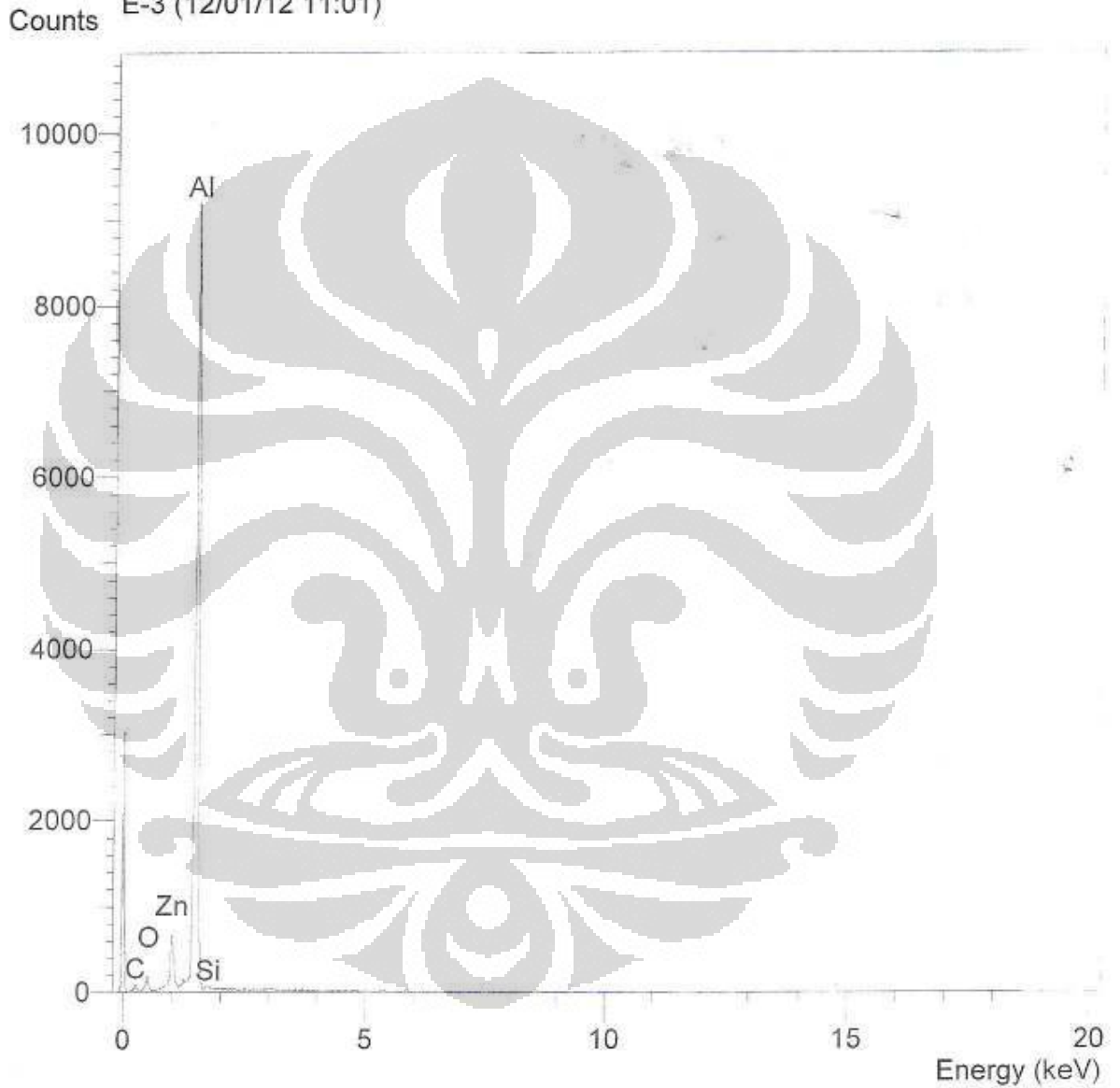
Standards :

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.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.22	2.73
O K	ED	4.19	7.02
Al K	ED	80.90	80.42
Si K	ED	7.74	7.40
Zn L	ED	5.95	2.44
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
E-3 (12/01/12 11:01)



SEMQuant results. Listed at 11:56:00 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: E-3

System resolution = 61 eV

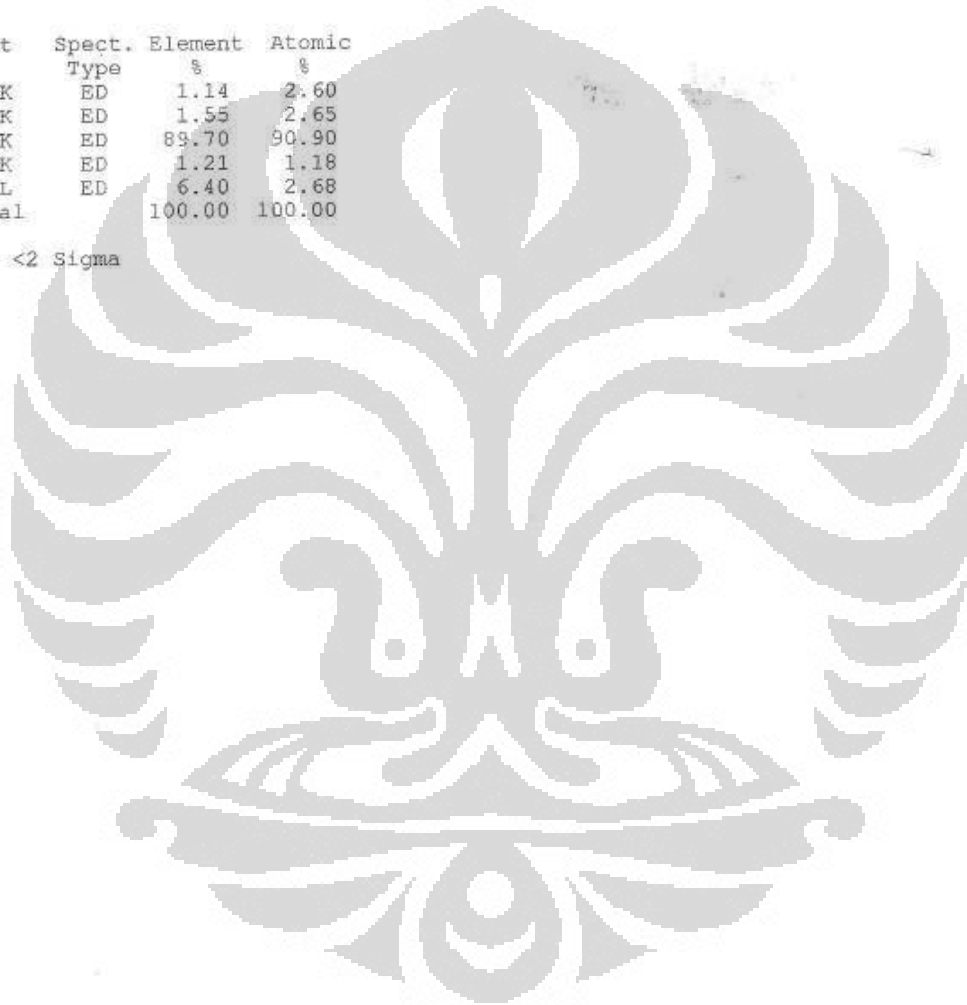
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

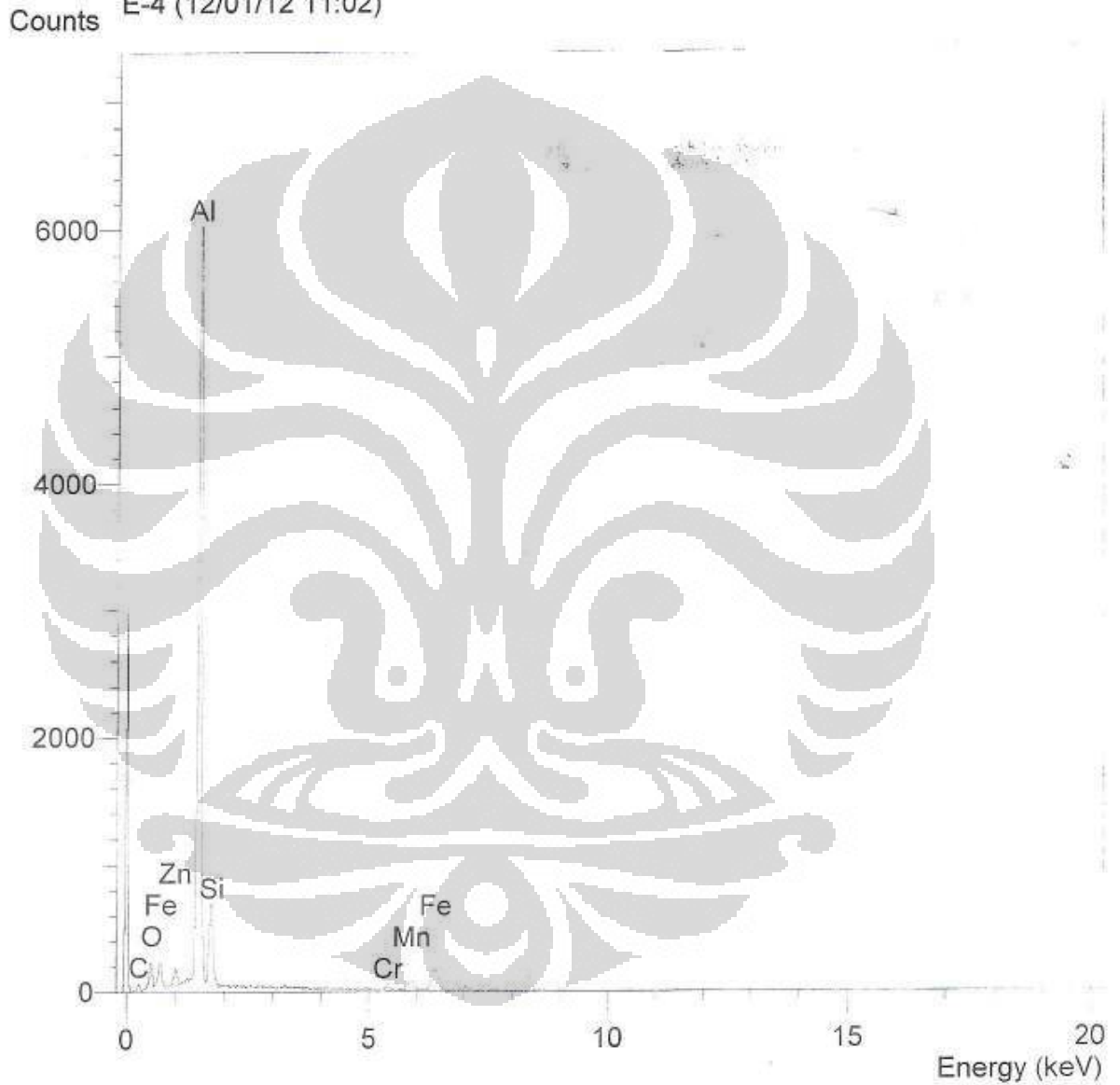
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.14	2.60
O K	ED	1.55	2.65
Al K	ED	89.70	90.90
Si K	ED	1.21	1.18
Zn L	ED	6.40	2.68
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
E-4 (12/01/12 11:02)



SEMQuant results. Listed at 11:56:13 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: E-4

System resolution = 62 eV

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

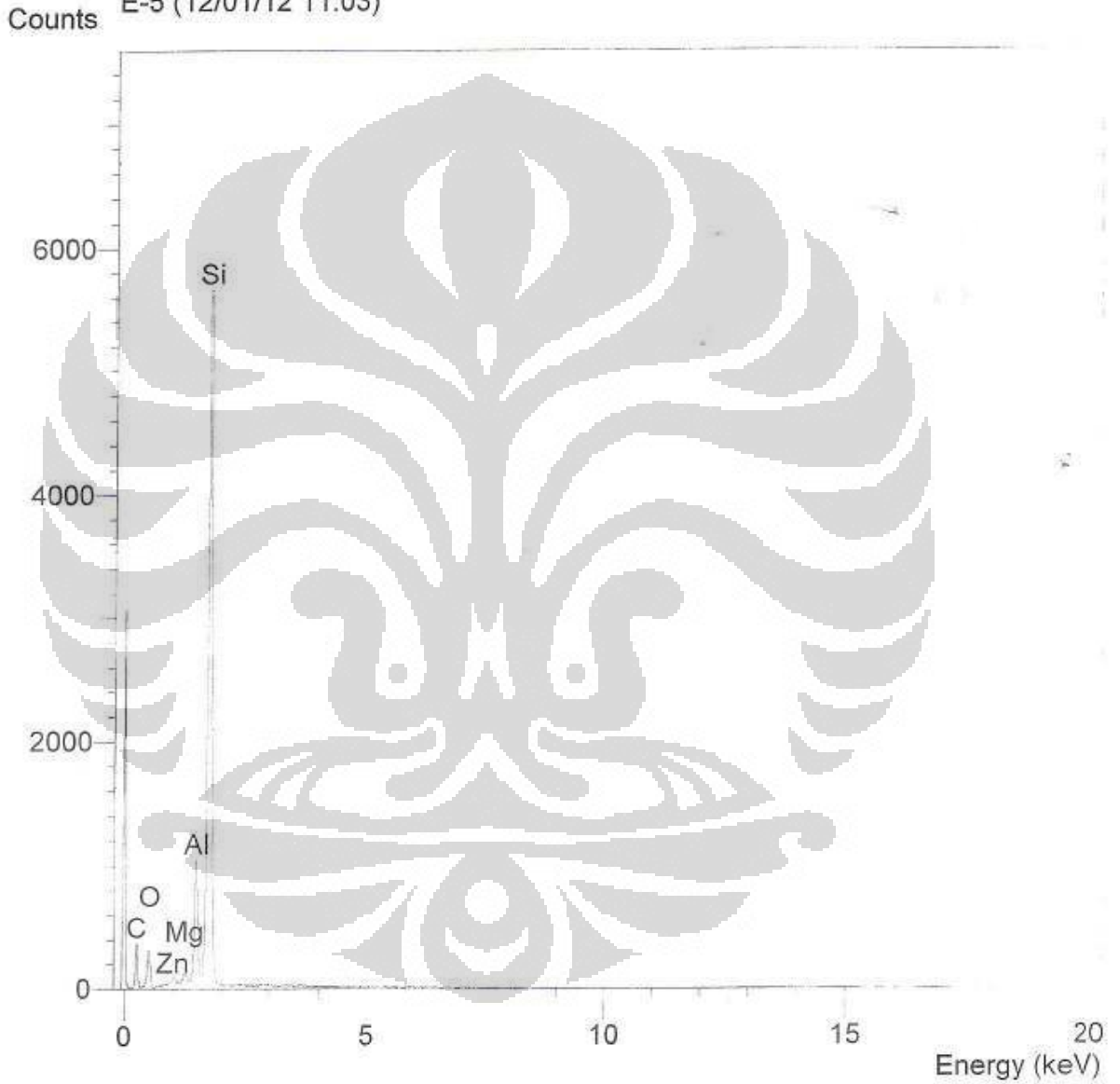
Standards :

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.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.26	2.98
O K	ED	1.78	3.15
Al K	ED	74.91	78.59
Si K	ED	8.43	8.50
Cr K	ED	0.89	0.49
Mn K	ED	2.49	1.28
Fe K	ED	7.92	4.02
Zn L	ED	2.30	0.99
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
E-5 (12/01/12 11:03)



SEMQuant results. Listed at 11:56:31 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: E-5

System resolution = 61 eV

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

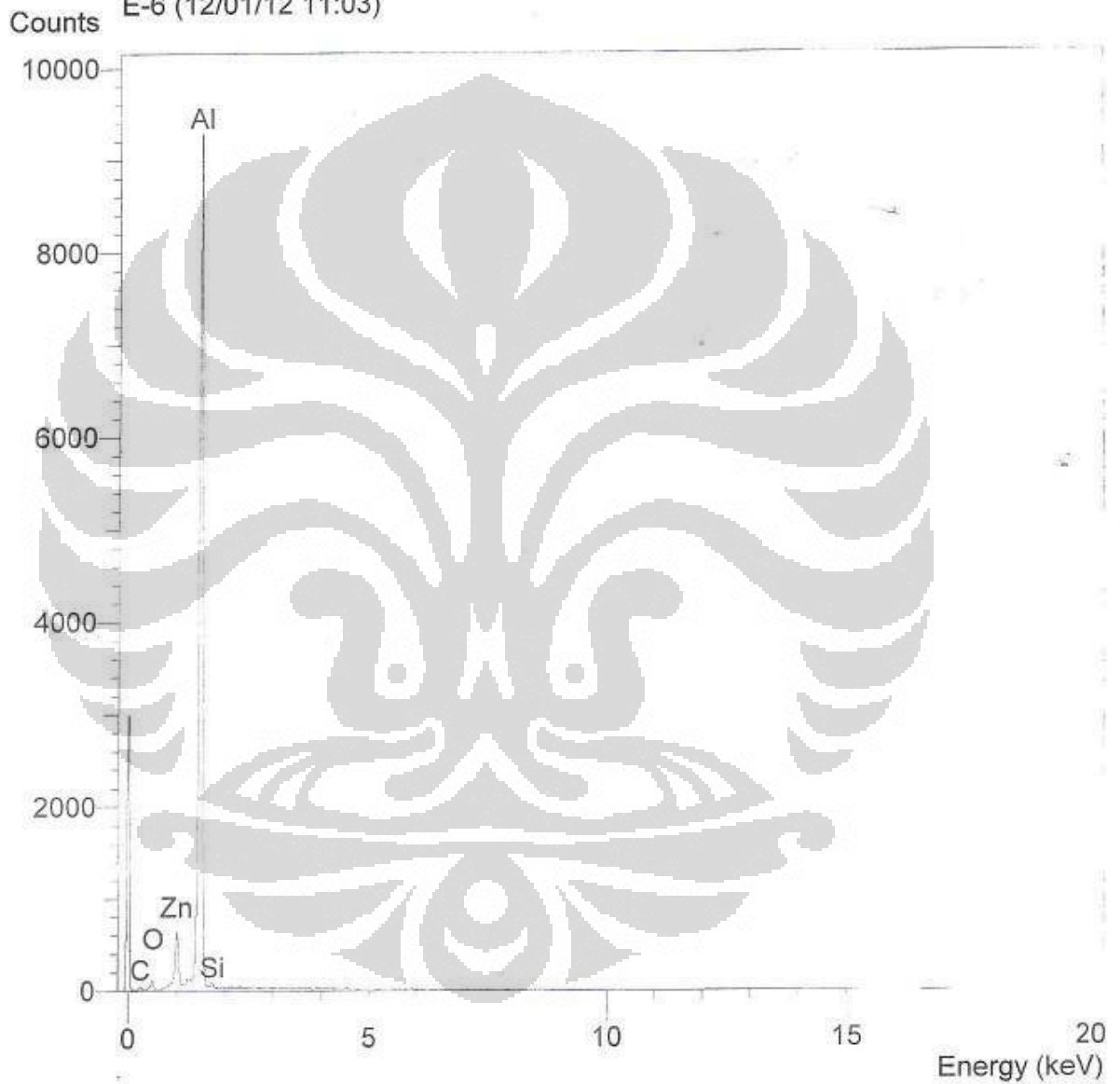
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
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	4.37	9.10
O K	ED	8.72	13.62
Mg K	ED	0.47	0.49
Al K	ED	16.46	15.25
Si K	ED	68.51	60.98
Zn L	ED	1.46	0.56
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
E-6 (12/01/12 11:03)



SEMQuant results. Listed at 11:56:43 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: E-6

System resolution = 61 eV

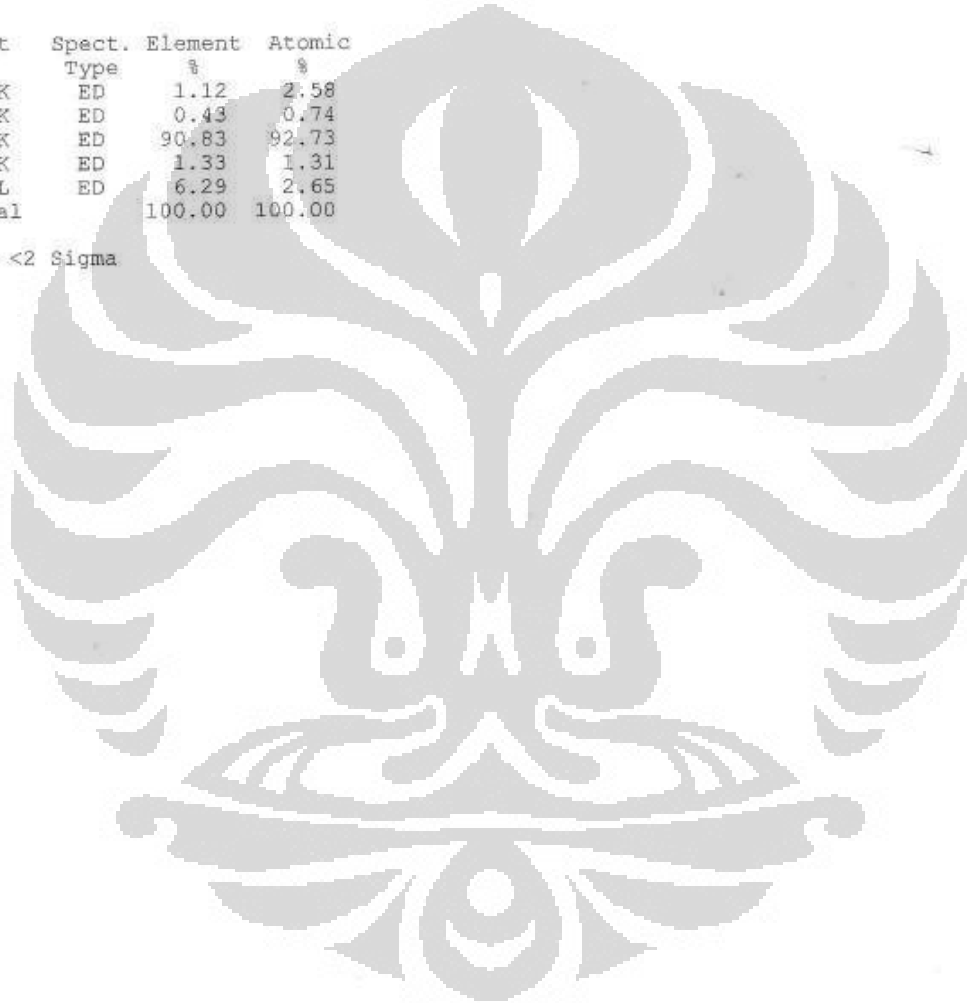
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

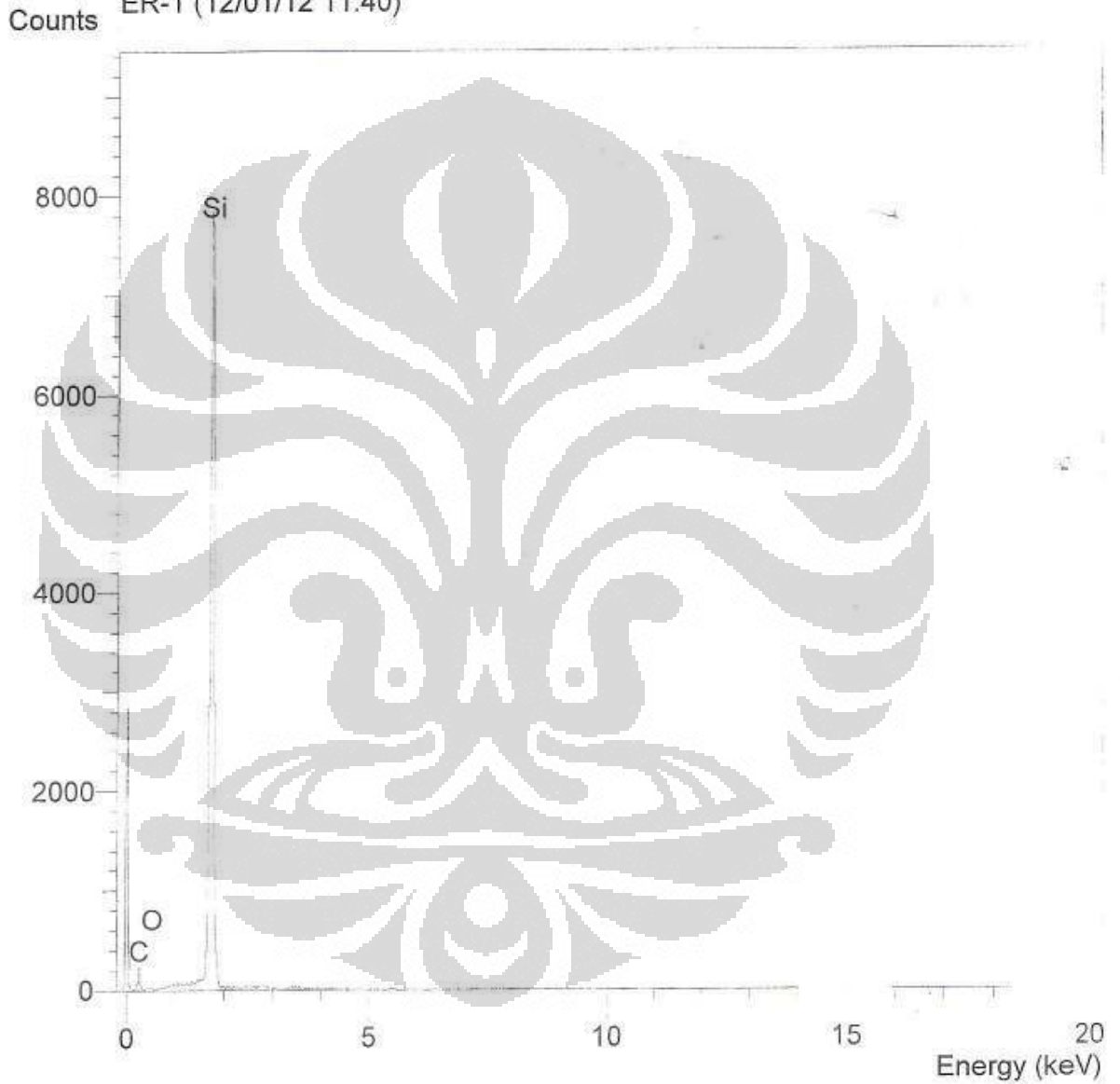
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.12	2.58
O K	ED	0.43	0.74
Al K	ED	90.83	92.73
Si K	ED	1.33	1.31
Zn L	ED	6.29	2.65
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
ER-1 (12/01/12 11:40)



SEMQuant results. Listed at 11:58:13 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: ER-1

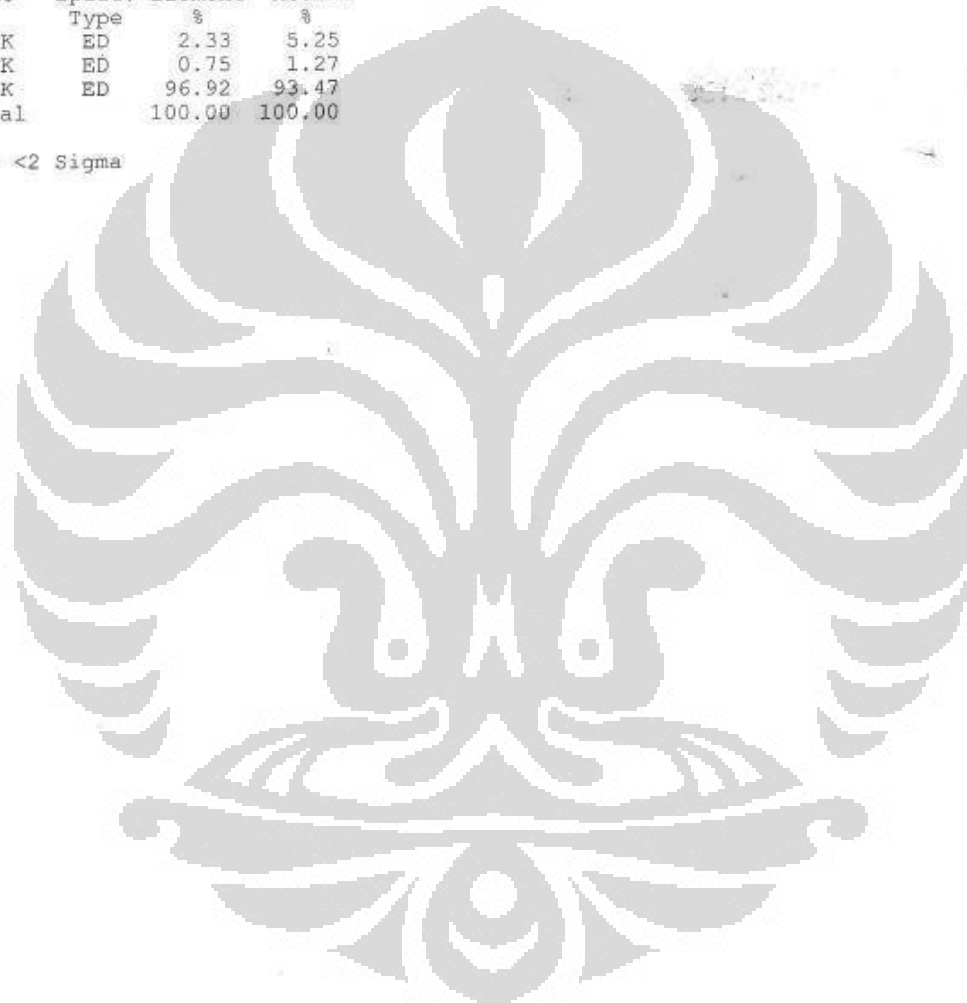
System resolution = 59 eV

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

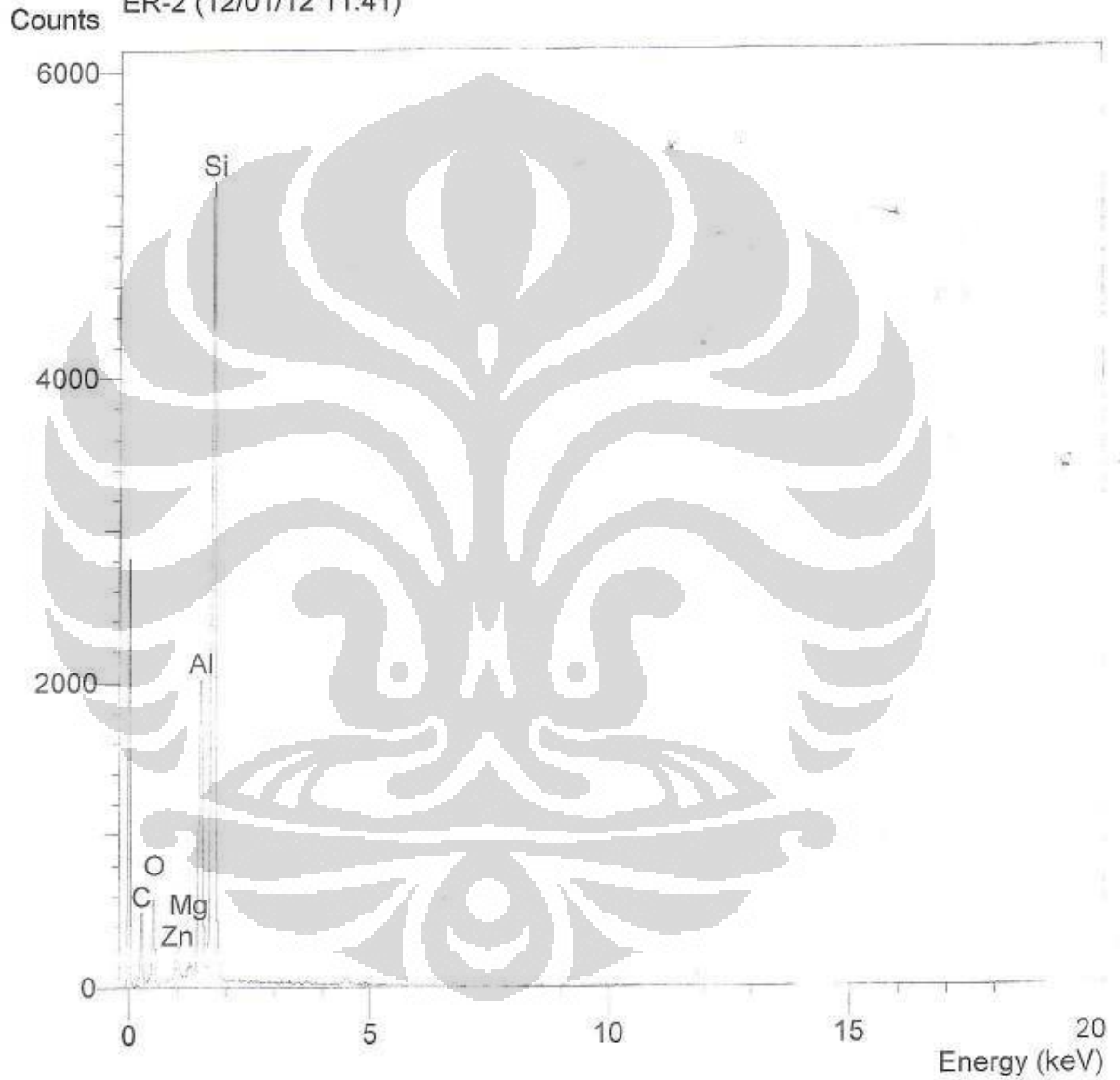
Standards :
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	2.33	5.25
O K	ED	0.75	1.27
Si K	ED	96.92	93.47
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
ER-2 (12/01/12 11:41)



SEMQuant results. Listed at 11:58:33 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: ER-2

System resolution = 61 eV

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

1 peak possibly omitted: 4.52 keV

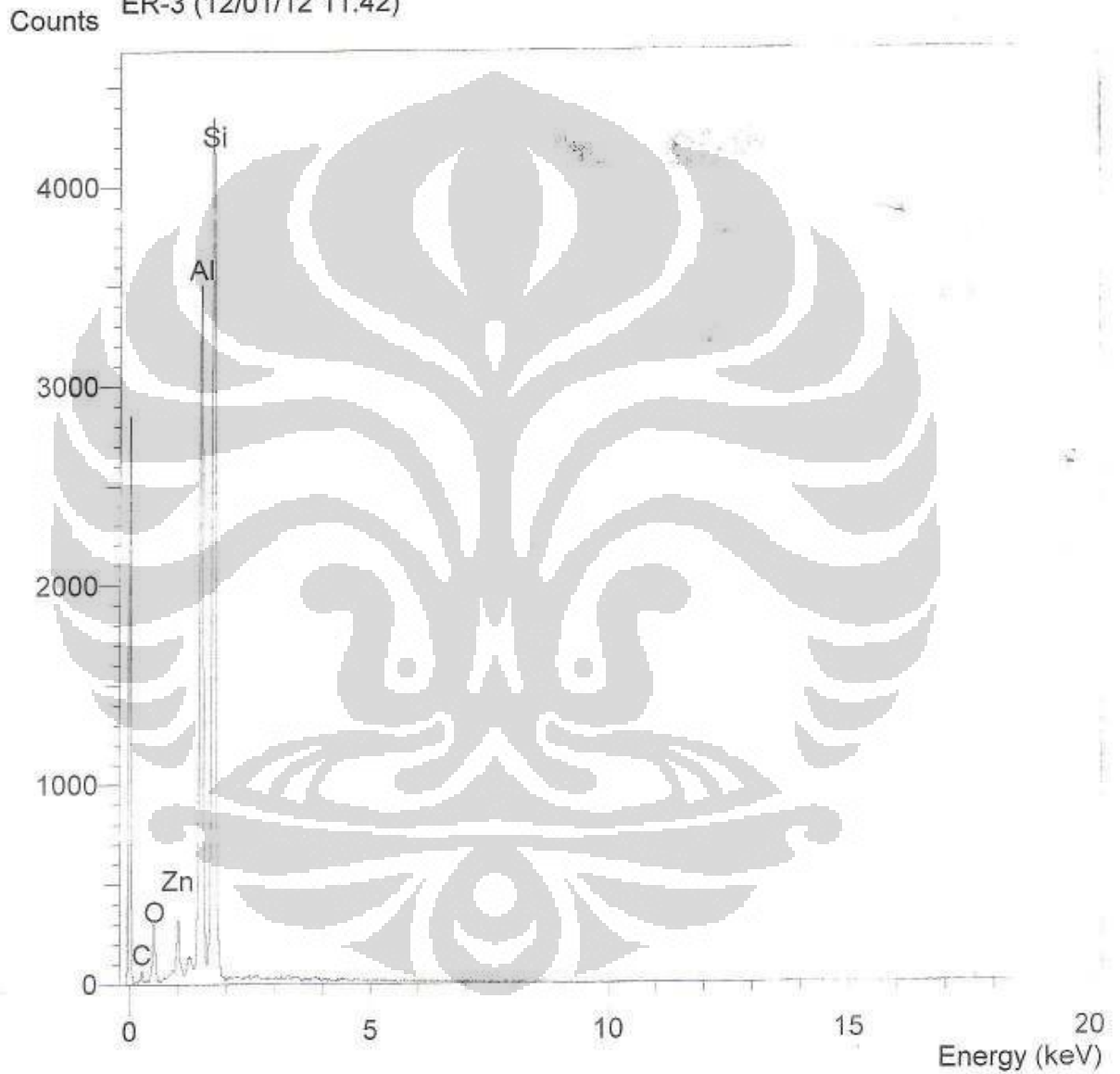
Standards :

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.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	3.34	6.99
O K	ED	11.18	17.55
Al K	ED	27.13	25.25
Si K	ED	54.52	48.74
Zn L	ED	3.84	1.47
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
ER-3 (12/01/12 11:42)



SEMQuant results. Listed at 11:58:41 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: ER-3

System resolution = 61 eV

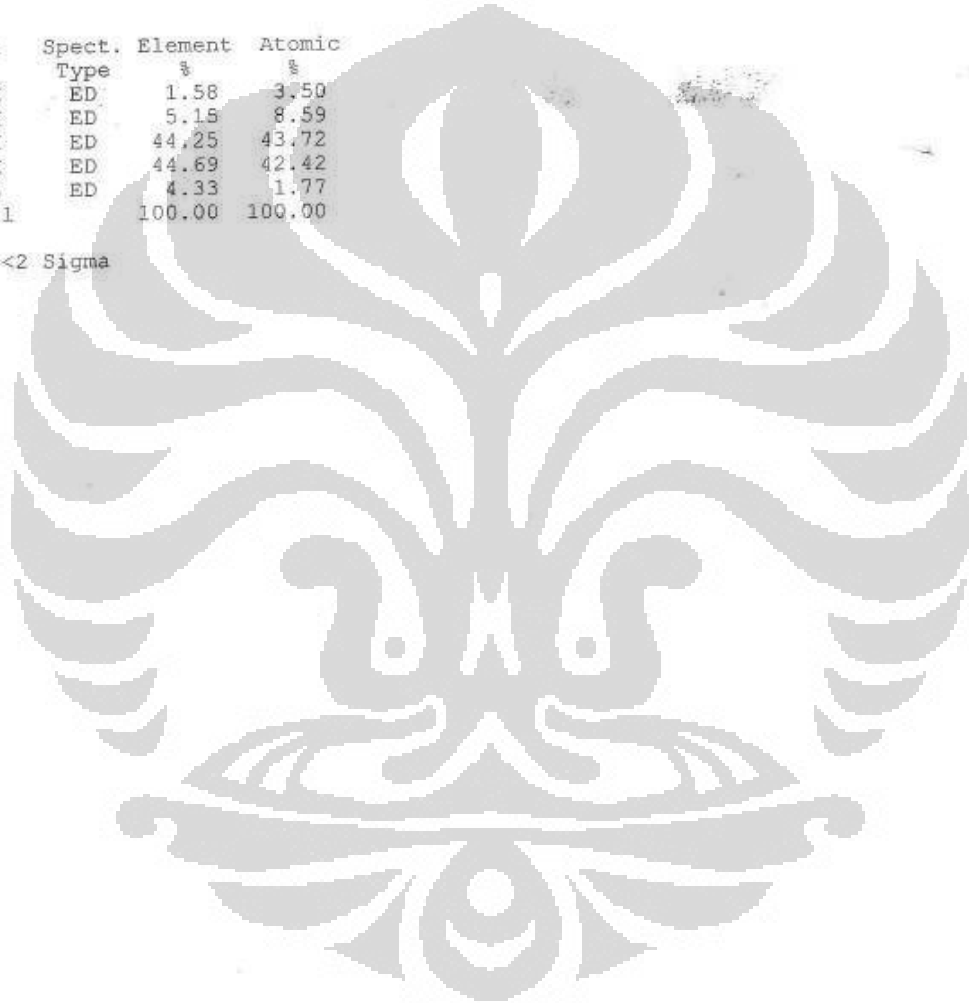
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

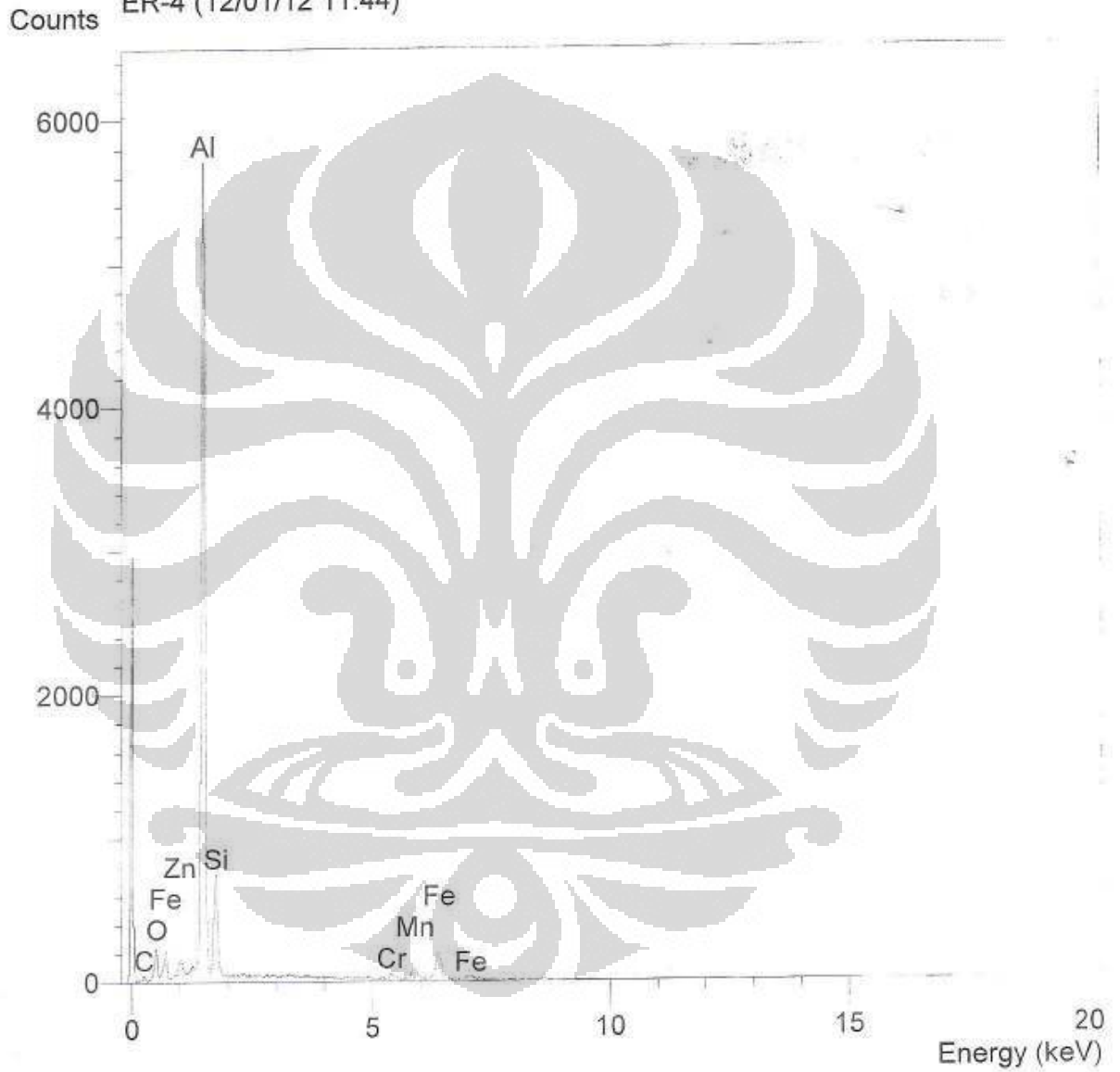
C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL2O3 20/05/11
Al K	AL2O3 20/05/11
Si K	Jadeite 18/05/11
Zn L	Zinc 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.58	3.50
O K	ED	5.15	8.59
Al K	ED	44.25	43.72
Si K	ED	44.69	42.42
Zn L	ED	4.33	1.77
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
ER-4 (12/01/12 11:44)



SEMQuant results. Listed at 11:58:55 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: ER-4

System resolution = 62 eV

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

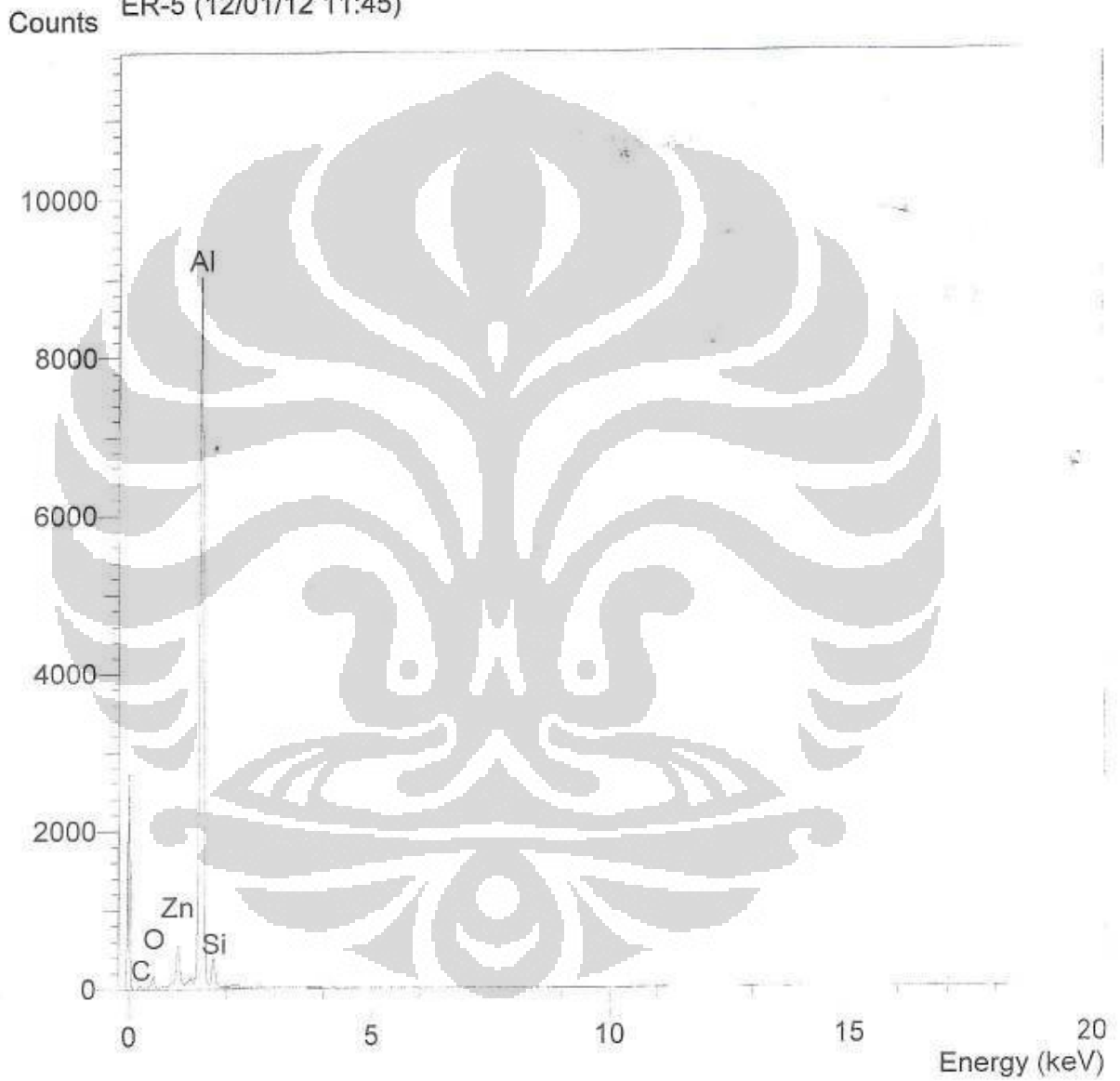
Standards :

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. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.19	2.81
O K	ED	2.05	3.65
Al K	ED	73.65	77.62
Si K	ED	8.52	8.63
Cr K	ED	0.74	0.40
Mn K	ED	2.33	1.21
Fe K	ED	9.00	4.58
Zn L	ED	2.52	1.10
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
ER-5 (12/01/12 11:45)



SEMQuant results. Listed at 11:59:07 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: ER-5

System resolution = 61 eV

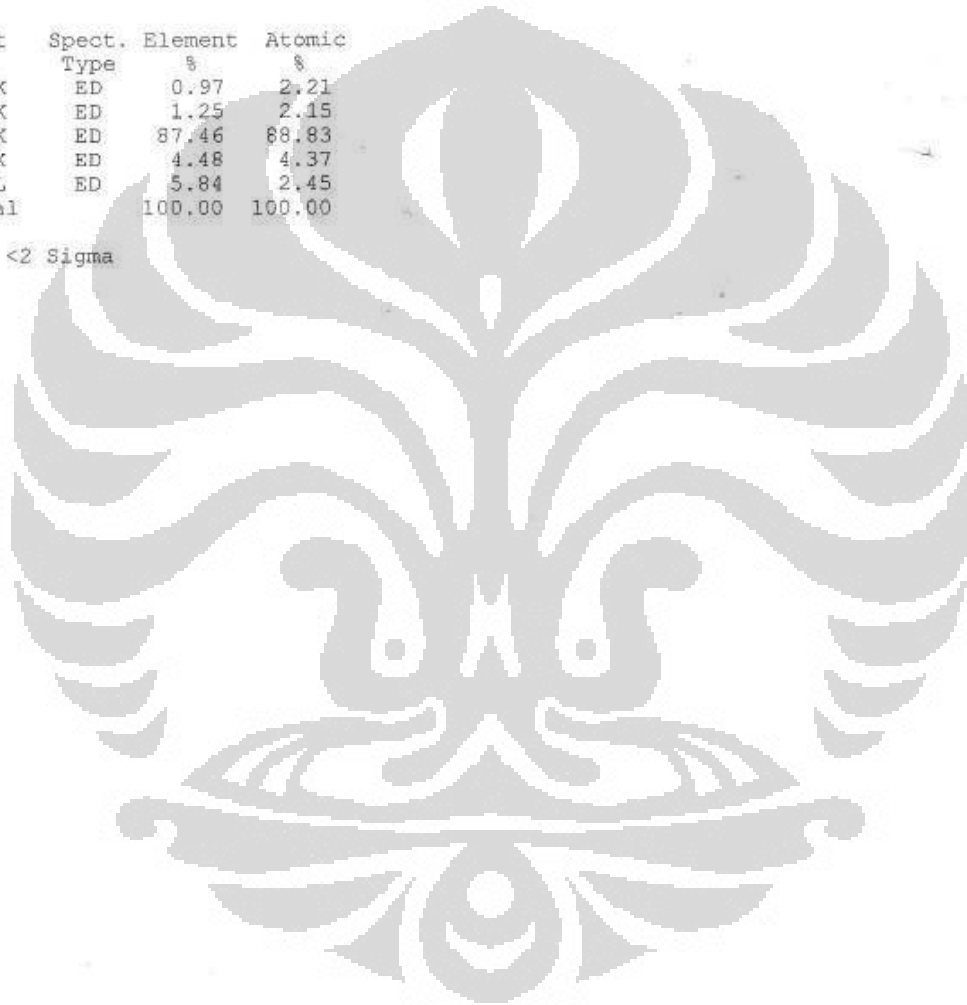
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

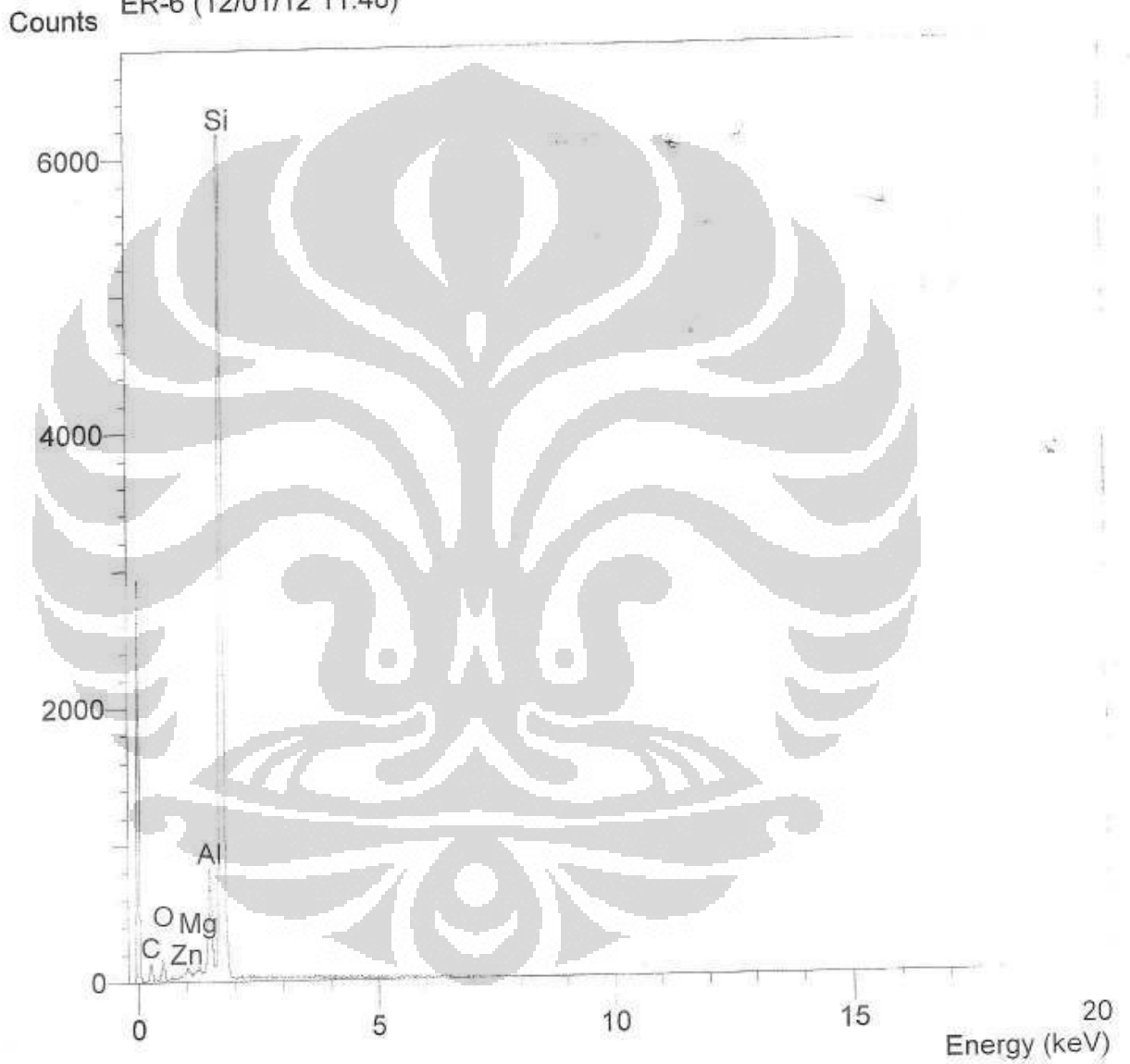
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Zn L Zinc 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.97	2.21
O K	ED	1.25	2.15
Al K	ED	87.46	88.83
Si K	ED	4.48	4.37
Zn L	ED	5.84	2.45
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
ER-6 (12/01/12 11:48)



SEMQuant results. Listed at 11:59:17 on 12/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: ER-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
Zn L Zinc 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	3.64	7.94
O K	ED	3.20	5.25
Mg K	ED	0.21	0.23
Al K	ED	12.90	12.53
Si K	ED	78.79	73.55
Zn L	ED	1.26	0.50
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma