



UNIVERSITAS INDONESIA

**STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *FLOAT-SINK PROCESS* DAN
ROASTING REDUCTION TERHADAP TRANSFORMASI FASA BIJIH
NIKEL DARI BIJIH SAPROLIT**

SKRIPSI

DEDDY TAMBUNAN

0806331481

**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 : Deddy Tambunan

NPM : 0806331481

Tanda Tangan :

Tanggal : 24 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Deddy Tambunan

NPM : 0806331481

Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material

Judul Skripsi :

**STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *FLOAT-SINK PROCESS* DAN
ROASTING REDUCTION TERHADAP TRANSFORMASI FASA BIJIH
NIKEL DARI BIJIH SAPROLIT**

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

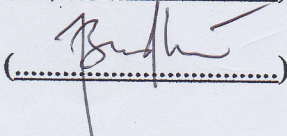
Pembimbing: Prof. Dr. Ir. Johnny Wahyuadi M DEA.


(.....)

Penguji : Ir. Andi Rustandi M.T.


(.....)

Penguji : Dr. Badrul Munir ST., M.Eng.Sc.


(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Salam Sejahtera,

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan serangkaian kegiatan Tugas Akhir dimulai dari tahap awal perancangan kegiatan, pelaksanaan hingga penyusunan skripsi ini. Kegiatan skripsi ini ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib Skripsi yang berlaku di silabus kurikulum Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DMM FTUI), yang juga merupakan salah satu persyaratan kelulusan dalam meraih gelar Sarjana Teknik.

Dalam melaksanakan rangkaian kegiatan tugas akhir ini tentunya penulis sangat terbantu oleh berbagai pihak. Untuk itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Johny Wahyuadi M DEA. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak menyediakan waktu, tenaga dan pikiran dalam mengarahkan saya dalam melaksanakan kegiatan perkuliahan, penelitian hingga penyusunan skripsi ini;
2. Prof. Dr.-Ing. Ir. Bambang Suharno selaku Ketua Departemen yang turut memberi dukungan selama saya menjalani perkuliahan di DMM FTUI;
3. Dr. Badrul Munir, S.T, M.Eng. Sc. sebagai pembimbing akademis yang selalu memberikan perhatian dan dukungan penuh terhadap perkembangan akademis penulis;
4. Kedua orang tua saya, yaitu Bapak J. Tambunan dan Ibu N. Hutapea yang telah memberikan semua perhatian dan kasih kasih terhadap saya selama saya kuliah, terutama selama mengerjakan skripsi;
5. Saudari-saudari saya, yaitu C. Sonya Tambunan, SE, Elsamaria Tambunan, SH, dan Lois Oinike Tambunan yang senantiasa memberikan pengertian, dukungan dan motivasi kepada saya dalam menyelesaikan rangkaian tugas akhir;

6. Destrina Simanjuntak yang senantiasa memberikan semangat dan mengingatkan penulis untuk fokus menyelesaikan serangkaian proses penelitian;
7. David Natanael, Erwin, Andreas, Frendy dan teman-teman yang mengambil tema Tugas Akhir yang sama dengan saya yang telah membantu saya dalam pengerjaan tugas akhir dan skripsi;
8. Seluruh Bapak-Ibu staf pengajar DMM FTUI yang telah memberikan banyak ilmu kepada penulis selama menjalani kegiatan perkuliahan;
9. Pak Bambang selaku dosen pascasarjana jurusan Ilmu Material Fakultas MIPA Universitas Indonesia di Salemba yang membantu saya untuk pengujian XRD;
10. Seluruh teman-teman penulis yang senantiasa memberikan semangat untuk menyelesaikan penyusunan skripsi.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yesus berkenan membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan skripsi ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi.

Depok, 24 Januari 2012

Penulis

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

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

Nama : Deddy Tambunan
NPM : 0806331481
Program Studi : Teknik Metalurgidan Material
Departemen : Teknik Metalurgidan 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:

**STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *FLOAT-SINK PROCESS* DAN
ROASTING REDUCTION TERHADAP TRANSFORMASI FASA BIJIH
NIKEL DARI BIJIH SAPROLIT**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Padatanggal : 24 Januari 2012

Yang menyatakan,

(Deddy Tambunan)

ABSTRAK

Nama : Deddy Tambunan
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul :

STUDI PENGARUH PENGGUNAAN *FLOAT-SINK PROCESS* DAN *ROASTING REDUCTION* TERHADAP TRANSFORMASI FASA BIJIH NIKEL DARI BIJIH SAPROLIT

Deposit *laterite* merupakan salah satu jenis bijih nikel yang memiliki cadangan mineral nikel terbanyak dan dapat dijumpai di alam. Indonesia adalah salah satu negara yang memproduksi bijih nikel yang cukup banyak di dunia. Bijih *saprolite* merupakan salah satu mineral nikel yang menarik untuk diproduksi menjadi logam nikel pada masa depan. Bahkan bijih *saprolite* memiliki kadar nikel yang banyak dalam mineral nikel *laterite*. Oleh karena itu, nikel *saprolite* disebut *high-grade nickel*.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa percobaan meliputi karakteristik awal bijih *saprolite*, proses separasi dengan menggunakan fluida air atau *float-sink process* dan reduksi *roasting*. Karakterisasi awal bijih *saprolite* dilakukan menggunakan *Energy Dispersive X-Ray (EDX)*. *Saprolite* dipisahkan dari pengotornya menggunakan *float-sink process*. *Saprolite* hasil separasi tersebut diuji dengan menggunakan EDX. Dan yang terakhir adalah *saprolite* direduksi menggunakan reduktor briket arang pada temperature 1000°C dengan variasi waktu 0 detik, 600 detik, 1200 detik dan 1800 detik. *Saprolite* yang direduksi diuji dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui transformasi fasa yang terjadi pada bijih *saprolite* akibat variasi waktu reduksi *roasting*.

Hasil penelitian ini yaitu terjadi transformasi fasa bijih *saprolite* menjadi *ferronickel (FeNi)* akibat reduksi *roasting*.

Kata kunci:

Bijih *saprolite*, *Float-Sink Process*, Reduksi *Roasting*, Transformasi Fasa

ABSTRACT

Name : Deddy Tambunan
Study Program : Metallurgy and Material Science Engineering
Title :

STUDY OF FLOAT SINK PROCESS AND ROASTING REDUCTION TREATMENT EFFECT TO SAPROLITE ORE BASED NICKEL ORE PHASE TRANSFORM

Laterite deposit is a kind of nickel ores that has the greatest of nickel reserves in the world. Indonesia is one of countries in the world that produces nickel ore in considerable amounts. Saprolite ore is attractive future sources of nickel ores for the production of refining nickel. Moreover, saprolite has good content of nickel in nickel laterite. So, it is named high-grade nickel.

At this research, several experiments were conducted including characterization of saprolite ore, separation method with using water or float-sink process and roasting reduction. Characterization of saprolite ore was done using Energy Dispersive X-Ray (EDX). Saprolite ore was separated from gangue by using float-sink process. Characterization of saprolite from separation was done using EDX. And the last experiment is process of reduced saprolite ore utilize charcoal briquette as a reductant at temperature up to 1000°C for the variation of holding time which is 0 second, 600 second, 1200 second and 1800 second. Saprolite ore from roasting reduction was tested using X-Ray Diffraction (XRD). This research is conducted to observe about the phase transformation of saprolite ore as a result of the variation of holding time of roasting reduction process.

The results of this research show the phase transformation of saprolite ore to be ferronickel (FeNi) as a result of roasting reduction.

Key words:

Saprolite ore, *Float-Sink Process*, Roasting Reduction, Phase Transformation

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Permasalahan.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.4.1. Bijih Logam.....	4
1.4.2. Pengujian.....	5
1.5. Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 DASAR TEORI.....	6
2.1. Mineral Nikel.....	6
2.1.1. Batuan Paduan.....	8
2.1.2. Pembentukan Zona Limonit dan Saprolit.....	8
2.1.2.1. Zona Limonit.....	11
2.1.2.2. Zona Saprolit.....	12

2.1.3. Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Bijih Nikel laterit	13
2.1.4. Karakteristik Nikel.....	15
2.2. Ekstraksi.....	16
2.2.1. Pemekatan Bijih.....	16
2.3. <i>Float-Sink Process</i>	20
2.4. Reduksi <i>Roasting</i>	22
2.5. Aspek Termodinamika	23
2.5.1. Diagram Ellingham.....	23
2.5.2. Diagram Boudouard.....	25
2.6. <i>Energy Dispersive X-Ray</i>	26
2.7. <i>X-Ray Diffraction</i>	28
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	29
3.1. Diagram Alir Eksperimen.....	29
3.2. Alat dan Bahan.....	31
3.3. Persiapan Sampel.....	31
3.4. <i>Crushing dan Pulverizing</i>	32
3.5. <i>Quatering</i>	33
3.6. Proses Separasi dengan Fluida Air (<i>Float-Sink Process</i>)....	34
3.7. Proses Penyaringan.....	35
3.8. <i>Drying</i>	36
3.9. <i>Mixing</i> Sampel dengan Reduktan <i>Charcoal Briquette</i>	36
3.10. Peletisasi	39
3.11. Reduksi <i>Roasting</i>	40
3.12. Uji Karakterisasi	41
3.12.1. Uji EDX	41
3.12.2. Uji XRD	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1. Data Karakteristik Awal	42
4.2. Hasil Pengujian EDX Setelah Separasi Air.....	43
4.3. Data Sampel Hasil Reduksi <i>Roasting</i>	46

4.4. Tampilan Fisik Sampel Hasil Reduksi <i>Roasting</i>	53
4.5. Hasil Pengujian XRD Sampel Reduksi <i>Roasting</i>	55

BAB 5 KESIMPULAN	60
DAFTAR REFERENSI	61



DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1.1.	Kadar nikel saprolit di PT. Antam daerah Sulawesi Tenggara	3
Tabel 2.1	Karakteristik Nikel.....	15
Tabel 2.2.	Berat Jenis Unsur-unsur pada Bijih Nikel Saprolit.....	20
Tabel 3.1.	Komposisi Optimum <i>Mixing</i>	36
Tabel 4.1	Hasil Uji Karakterisasi Awal Sampel dalam Elemen	42
Tabel 4.2.	Hasil Uji Karakterisasi Awal Sampel dalam Atomik.....	42
Tabel 4.3.	Hasil Uji Karakterisasi Setelah Separasi dalam Elemen.....	43
Tabel4.4.	Hasil Uji Karakterisasi Setelah Separasi dalam Atomik.....	44
Tabel 4.7.	Temperatur saat pengeluaran sampel	48

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Cadangan Nikel Global.....	2
Gambar.2.1. Pembentukan profil laterit berbagai kondisi pelapukan	10
Gambar 2.2. Profil laterit nikel pada daerah tropis.....	11
Gambar 2.3. Nikel Limonit	12
Gambar 2.4. Nikel Saprolit (<i>Garnierite</i>).....	13
Gambar 2.5. Nikel Saprolit (<i>Serpentine</i>).....	13
Gambar2.6. Molekul mineral yang dilapisi molekul <i>collector</i> menjadi terikat dengan gelembung udara.....	17
Gambar 2.7. Proses pemisahan bijih dan pengotornya dengan pemisahan gaya berat	18
Gambar 2.8. Pemisahan magnetik bijih dan pengotor.....	19
Gambar 2.9. Diagram Ellingham	22
Gambar 2.10. Diagram Bauer Glassner dan Boudouard	25
Gambar 2.11. Contoh grafik hasil pengujian EDX	27
Gambar 2.12. Contoh grafik hasil pengujian XRD	28
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 3.2. Sampel Bijih Nikel Saprolit yang akan digunakan.....	32
Gambar 3.3. Palu yang digunakan untuk menghancurkan batuan yang masih berukuran besar	32
Gambar 3.4. Contoh bentuk wadah separasi	34
Gambar 3.5. Batang Pengaduk	34
Gambar 3.6. Tabung Aquades	35
Gambar 3.7. Kertas saring yang telah diletakkan di corong gelas	35
Gambar 3.8. Oven untuk proses <i>drying</i>	36
Gambar 3.9. Sampel Ni hasil separasi dihaluskan	37
Gambar 3.10. Briket Arang dihaluskan	37
Gambar 3.11. Timbangan Digital	38
Gambar 3.12. Gula Jawa sebagai Molases	38

Gambar 3.13. <i>Catheter tip</i>	39
Gambar 3.14. Contoh hasil peletisasi	39
Gambar 3.15. Dapur Nabertherm	40
Gambar 3.16. Alat XRD	41
Gambar 4.1. Grafik Komposisi Bijih Nikel Laterit Hasil EDX dalam Elemen	45
Gambar 4.2. Grafik Komposisi Bijih Nikel Laterit Hasil EDX dalam Atomik	45
Gambar 4.3. Tampilan fisik hasil peletisasi	47
Gambar 4.4. Bubuk Alumina	48
Gambar 4.5. Tampilan fisik sampel pertama	49
Gambar 4.6. Tampilan fisik sampel hasil pemanggangan pada parameter waktu pemanggangan 10 menit	50
Gambar 4.7. Tampilan fisik sampel hasil pemanggangan pada parameter waktu pemanggangan 20 menit.....	51
Gambar 4.8. Tampilan fisik sampel hasil pemanggangan pada parameter waktu pemanggangan 30 menit.....	52
Gambar 4.9. Tampilan fisik sampel pertama yang telah di- <i>press</i>	53
Gambar 4.10. Tampilan fisik sampel kedua yang telah di- <i>press</i>	54
Gambar 4.11. Tampilan fisik sampel ketiga yang telah di- <i>press</i>	54
Gambar 4.12. Tampilan fisik sampel keempat yang telah di- <i>press</i>	55
Gambar 4.13. Hasil XRD untuk sampel 1	56
Gambar 4.14. Hasil XRD untuk sampel 2	56
Gambar 4.15. Hasil XRD untuk sampel 3	57
Gambar 4.16. Hasil XRD untuk sampel 4	58
Gambar 4.17. Perbandingan Hasil XRD sampel	59

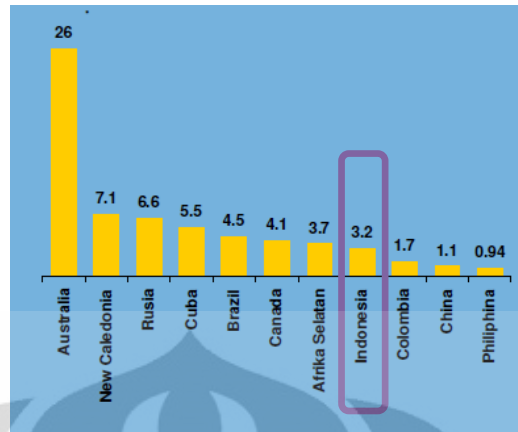
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nikel laterit adalah produk residual pelapukan kimia pada batuan ultramafik. Proses ini berlangsung selama jutaan tahun dimulai ketika batuan ultramafik tersingkap di permukaan bumi. Pelapukan pada peridotit menyebabkan unsur-unsur dengan mobilitas rendah sampai *immobile* seperti Ni, Fe dan Co mengalami pengayaan secara residual dan sekunder. Berdasarkan hasil penyelidikan eksplorasi yang dilakukan diperkirakan jumlah cadangan bijih laterit mencapai 82 %, sedangkan sisanya berupa bijih jenis nikel sulfida. Walaupun demikian, sebagian besar produksi nikel dunia masih berasal dari bijih sulfida. Di masa mendatang jumlah cadangan bijih sulfida akan semakin sulit diperoleh, sehingga cadangan bijih laterit akan menjadi sumber utama produksi bijih nikel. Besarnya cadangan nikel dalam bijih laterit di Indonesia diduga mencapai 15 % dari cadangan dunia.

Meskipun cadangan nikel Indonesia bukan yang terbesar, namun Indonesia merupakan salah satu produsen pertambangan nikel terbesar di dunia. Inco dan Antam merupakan pemain pertambangan nikel terbesar di Indonesia. Antam menghasilkan nikel dalam bentuk bijih nikel (*nickel ore*) dan *ferro nickel*. Sementara INCO memproduksi nikel dalam bentuk *nickel in matte*.



Gambar 1.1 Cadangan Nikel Global (Juta Ton)^[1]

Sumber: US Geological Survey

Dari uraian diatas, dapat dilihat bagaimana besarnya keuntungan yang dapat diambil apabila kita dapat mengolah bijih nikel itu sendiri. Di samping itu juga, kita didukung oleh cadangan nikel yang sangat besar di Indonesia.

Selain itu, Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) tetap berkomitmen akan memberlakukan kebijakan pelarangan ekspor tambang mentah mulai 2014.^[2] Dengan begitu, Indonesia harus mampu mengolah barang hasil tambang sendiri. Untuk itu, diperlukan ilmu atau kemampuan untuk mengolah mineral tambang itu sendiri.

Masalah lain yang dihadapi sekarang ini adalah ketergantungan pada penggunaan alat-alat yang sangat mahal dan instan. Banyak yang beranggapan bahwa perusahaan-perusahaan tambang yang bekerja untuk meningkatkan kadar mineral tambang dengan menggunakan alat-alat yang mahal, besar dan cepat. Oleh karena itu, perlu untuk mencoba alat-alat yang sederhana dan yang terpenting biaya yang murah untuk melakukan peningkatan kadar mineral tambang, termasuk nikel.

1.2 Perumusan Masalah

Dari tabel 1.1, dapat dilihat bahwa rata-rata kadar nikel hasil tambang di daerah Sulawesi Tenggara berkisar antara 1,8-2%. Dan kadar nikel tersebut masih merupakan hasil dari tambang langsung tanpa mendapat proses apapun. Pada aplikasi kadar nikel harus bisa mencapai 15-20%. Apalagi kalau nikel tersebut

akan digunakan untuk pembentukan Feronikel ingot hasil peleburan yang membutuhkan nikel berkadar 20%.^[3]

Dalam penelitian ini akan ditinjau beberapa pengujian terhadap kenaikan kadar sampel bijih nikel saprolit. Langkah-langkah yang dilakukan untuk pengujian penaikan dari sampel bijih nikel saprolit ini adalah dengan melakukan proses separasi dengan menggunakan fluida air. Berdasarkan literatur, proses separasi yang disebut *float-sink process* tersebut akan memisahkan bijih dari pengotornya dengan memanfaatkan perbedaan berat jenis dari tiap-tiap unsur pada bijih nikel saprolit tersebut. Unsur yang memiliki berat jenis paling kecil akan terlepas dari bijih dan terangkat ke atas wadah serta mengalir ke wadah berikutnya.

Langkah berikut yang akan dilakukan untuk mengetahui transformasi fasa yang terjadi pada sampel bijih nikel saprolit tersebut dengan proses reduksi *roasting* dengan menambahkan reduktan, yaitu *charcoal briquette*. Penambahan reduktan tersebut dilakukan untuk memanfaatkan unsur karbon yang dimiliki oleh reduktan. Kemudian sampel akan dipeletisasi dan dimasukkan ke pemanas atau *furnace* untuk dilakukan proses reduksi langsung. Pada proses ini terdapat parameter pengujian. Parameter yang dilakukan adalah parameter waktu terhadap pemanasan terhadap sampel yang telah dipeletisasi.

Tabel 1.1 Kadar nikel saprolit di PT. Antam daerah Sulawesi Tenggara^[4]

Lokasi Location	Klasifikasi Classification	Cadangan Reserves					
		Saprolit Saprolite			Limonit Limonite		
		Cut Off Grade	wmt ('000)	NI	Cut Off Grade	wmt ('000)	NI
Bahubulu	Terbukti Proved	NI \geq 1,8% & Fe <25%	-	-	-	-	-
	Terkira Probable	NI \geq 1,8% & Fe <25%	-	-	-	-	-
	JUMLAH TOTAL	-	-	-	-	-	-
Tapunopaka	Terbukti Proved	NI \geq 1,8% & Fe <25%	4.700	2,1	-	-	-
	Terkira Probable	NI \geq 1,8% & Fe <25%	1.000	2,1	-	-	-
	JUMLAH TOTAL	-	5.700	2,1	-	-	-
Lalindu & Lasolo	Terbukti Proved	NI \geq 1,8% & Fe <25%	-	-	-	-	-
	Terkira Probable	NI \geq 1,8% & Fe <25%	-	-	-	-	-
	JUMLAH TOTAL	-	-	-	-	-	-
Mandiodo	Terbukti Proved	NI \geq 1,8% & Fe <25%	-	-	-	-	-
	Terkira Probable	NI \geq 1,8% & Fe <25%	-	-	-	-	-
	JUMLAH TOTAL	-	-	-	-	-	-

Sumber: Annual Report PT. Antam 2010

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian dengan judul “Studi Pengaruh Penggunaan *Float-Sink Process* dan *Roasting Reduction* Terhadap Transformasi Fasa Bijih Nikel dari Bijih Saprolit” ini merupakan salah satu persyarat kelulusan mahasiswa sebagai seorang sarjana Teknik Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selain tujuan tersebut, penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui apakah metode separasi dengan menggunakan fluida air dapat mengurangi pengotor yang terdapat pada bijih nikel saprolit dan mengetahui transformasi fasa yang terjadi akibat reduksi *roasting*. Dan hasilnya akan diuji dengan menggunakan alat EDX dan XRD.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

1.4.1 Bijih Logam

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah bijih nikel saprolit yang diambil dari LIPI, Tangerang. Sampel tersebut dikirim oleh PT. Antam Pomalaa. Menurut literatur dan informasi, terutama pada tabel 2.1 diberitahukan bahwa kadar nikel saprolit dari daerah Sulawesi Tenggara sekitar 1,8%-3,0%.

Tabel 1.2 Komposisi kimia unsur nikel saprolit dari Pomalaa^[5]

Unsur	Kadar (%)
Ni	1,8-2,6
Al	3,8
Fe	9-16
MgO	17-26
SiO ₂	35-45

1.4.2 Pengujian

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap penelitian, yaitu:

- 1 Preparasi sampel bijih saprolite dan *charcoal briquette* yang meliputi penghancuran sampel dan penghalusan sampel.
- 2 Karakteristik awal sampel dengan EDX.
- 3 Separasi dengan fluida air untuk mengurangi pengotor-pengotor yang terdapat pada sampel.
- 4 Karakteristik hasil dari separasi fluida air dengan EDX.
- 5 Reduksi *roasting* dengan penambahan briket arang dengan *furnace* pada temperatur 1000°C dengan parameter waktu.
- 6 Karakteristik hasil reduksi *roasting* dengan menggunakan XRD.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan didasarkan pada fakta lapangan hasil penelitian yang dilakukan dengan perbandingan dengan sumber-sumber yang bersifat teoritis. Sistematikanya adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan

BAB 2 DASAR TEORI

Berisi tentang studi literatur sampel bijih nikel laterit saprolit dan pengujian yang dilakukan yang berkaitan dengan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini. Bab ini mencakup langkah kerja yang berisi preparasi sampel, proses separasi, penambahan reduktan serta karakterisasi dengan EDX dan XRD

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penjelasan data hasil percobaan serta analisa hasil percobaan dari pengujian EDX dan XRD yang akan dibandingkan dengan literatur.

BAB 5 KESIMPULAN

Berisi tentang tentang kesimpulan dari hasil kegiatan penelitian dan analisa yang dilakukan berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian.

Referensi dan lampiran dimuat pada halaman-halaman terakhir dalam laporan penelitian ini.



BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Mineral Nikel

Istilah laterite diambil dari bahasa Latin *later* yang berarti batu bata. Istilah ini diperkenalkan di India (oleh *Buchanan Hamilton, 1807*) pada saat memanfaatkan *iron crust* di lapisan Limonit yang dipotong menyerupai batu bata untuk bahan baku bangunan.

Laterit adalah endapan residu dari hasil pelapukan batuan yang terjadi di daerah yang mempunyai iklim tropis hingga subtropis serta curah hujan yang relatif tinggi. Proses lateritisasi dapat menghasilkan endapan konsentrasi mineral yang mempunyai nilai ekonomi.

Jenis sifat dan komposisi mineral laterit sangat tergantung dari batuan asalnya misalnya lateritik bauksit sebagai bahan dasar pembuatan aluminium berasal dari pelapukan batuan granit, sedangkan lateritik nikel berasal dari hasil pelapukan batuan ultrabasa, *peridotit, hazburgit*, yang secara umum terbentuk di dalam jalur tektonik di kawasan benua dan di daerah penunjaman atau kompleks opiolit.

Pembentukan mineral nikel tidak terlepas dari proses pelapukan yang berasosiasi dengan lateritisasi sehingga cebakan nikel dikenal dengan beberapa asosiasi diantaranya ialah : laterit-nikel, laterit-nikel-kobal dan laterit-besi-nikel-kobal.

Mineral nikel terbentuk dari batuan yang berkomposisi kimia basa. Batuan ini disebut juga dengan sebagai batuan peridotit. Berdasarkan teori tektonik lempeng, daerah yang banyak batuan peridotit terutama di zona tumbukan lempeng benua dan samudera. Melalui proses pelapukan, batuan ultrabasa mengurai dalam bentuk mineral yang terlarut (koloid), seperti karbonat kobalt,

magnesium, besi, nikel, kobalt, silikat dan magnesium oksida, dan tidak terlarut (residu), seperti besi, aluminium, kromit, mangan, sebagian nikel, sebagian kobalt, berbagai oksida dan senyawa nikel-kobalt.^[6]

Batuan induk (peridotit) yang mengandung nikel primer terdiri dari *olivine* yang mengandung unsur-unsur Mg, Fe, Ni dan Silika akan berubah menjadi serpentin karena pengaruh larutan *hydrothermal* pada proses serpentinisasi.^[7]

Selanjutnya terjadi proses pelapukan dan laterit yang menghasilkan serpentin dan peridotit lapuk. Semua hasil penghacuran ini terbawa oleh larutan yang turun ke bagian bawah mengisi celah-celah dan pori-pori batuan. Endapan nikel yang terdapat di daerah penelitian termasuk jenis nikel laterit, yang merupakan hasil pelapukan dari batuan ultrabasa.

2.1.1 Batuan Induk

Batuan induk bijih nikel adalah batuan peridotit. Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan merubah batuan peridotit menjadi batuan serpentin. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Laterit merupakan endapan residu yang berasal dari hasil pelapukan batuan yang terjadi di daerah yang mempunyai iklim tropis hingga subtropis serta curah hujan yang relatif tinggi. Proses lateritisasi menghasilkan endapan konsentrasi mineral nikel yang mempunyai nilai ekonomis pada batuan serpentin (ultramafik) di daerah penelitian.

2.1.2 Pembentukan Zona Limonit dan Saprolit

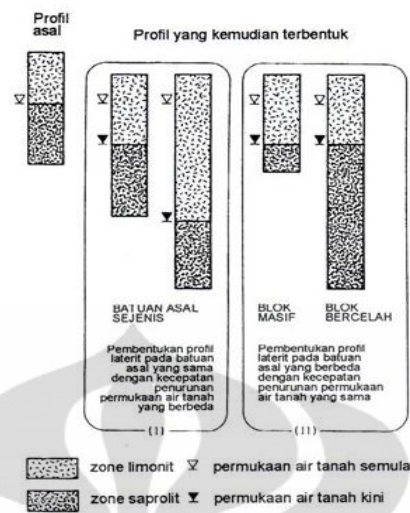
Proses pelapukan laterit pada batuan ultramafik dari suatu profil laterit yang sudah terbentuk, dimana zona saprolit terletak di bawah zona limonit.

Endapan nikel laterit yang terbentuk akibat proses pelindian batuan ultramafik mempunyai penyebaran yang tidak teratur, baik ketebalan maupun kadarnya.

Zona saprolit dalam hal ini semakin bertambah ke dalam demikian pula ikatan-ikatan yang mengandung unsur-unsur MgO sekitar 30-30%.-berat dan SiO₂ antara 35-40%. Berat yang masih terkandung pada bongkah-bongkah di zona saprolite akan terlindi dan ikut bersama-sama dengan aliran air tanah, sehingga sedikit demi sedikit zona saprolit atas akan berubah porositasnya dan akhirnya menjadi zona limonit.^[8]

Akibat penambahan porositas ini, maka air tanah akan lebih leluasa bergerak dan permukaannya akan turun. Disamping itu jika permukaan air tanah turun meninggalkan permukaan semula, maka permukaan laterit akan turun akibat proses kompaksi dan erosi pada permukaan.

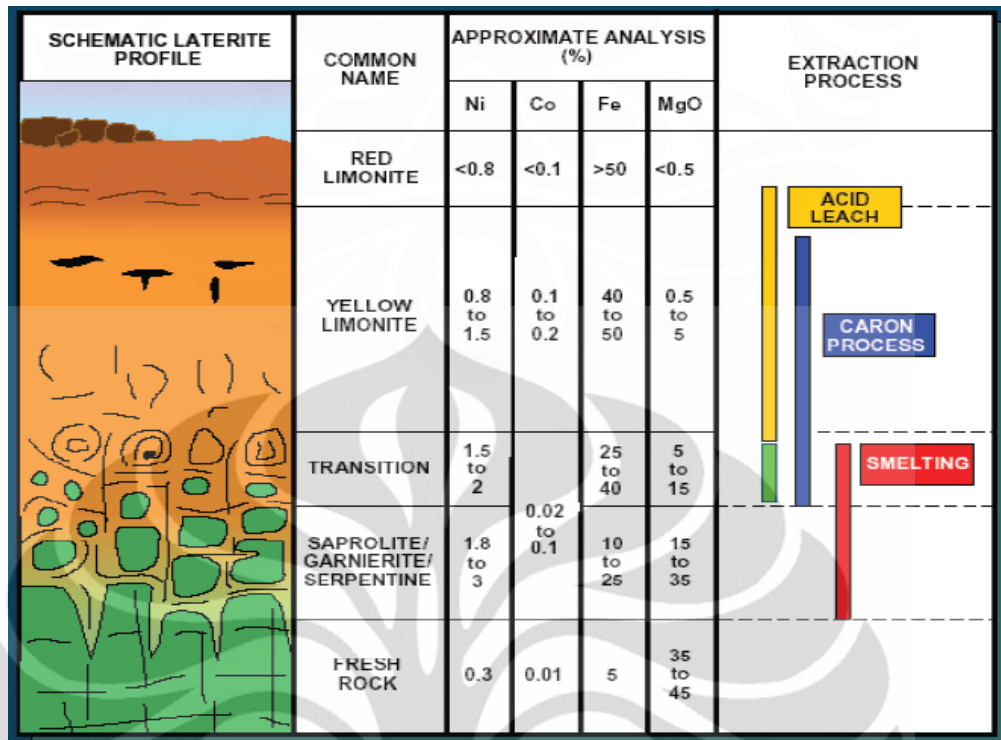
Penurunan muka air tanah ini akan berbeda-beda (Gambar 2.1-I) dan sangat tergantung dari struktur batuan asal, morfologi yang mempengaruhi intensitas pelindian akibat perbedaan kecepatan aliran air tanah, intensitas curah hujan, iklim dan waktu. Pembentukan zona-zona laterit akibat berlanjutnya proses lateritisasi ini akan berlainan dengan berbedanya penurunan permukaan air tanah, walaupun sifat batuan asalnya serupa (Gambar 2.1-II). Pada penurunan muka air tanah yang dalam, zona limonit akan terbentuk lebih tebal, sementara itu ketebalan zona saprolit tidak berubah. Demikian pula pada penurunan permukaan air tanah yang sama akan memberikan profil laterit yang berbeda jika struktur batuan asalnya berbeda. Dalam hal ini, struktur batuan asal (massif atau bercelah) sangat berperan dalam pembentukan zona saprolit. Pada punggung terbentuk suatu zona saprolit yang tebal, mempunyai arti bahwa pembentukan zona saprolit lebih banyak dipengaruhi oleh struktur batuan asal dibandingkan morfologinya, Dapat dikatakan intensitas rekahan pada batuan asal tinggi, sehingga pembentukan zona saprolit dapat lebih tebal.^[9]



Gambar 2.1 (I-II). Pembentukan profil laterit pada berbagai kondisi pelapukan

Syarat-syarat pembentukan laterit sebagai berikut :

- Curah Hujan yang tinggi.
- Proses leaching yang intensif pada batuan.
- Lingkungan yang memiliki tingkat oksidasi kuat.
- Topografi yang relatif landai.
- Ketersediaan Fe dan Al pada batuan.
- Temperatur yang cukup tinggi.



Gambar 2.2 Profil laterit nikel pada daerah tropis (Mick Elias, CSA Australia, 2001)^[10]

Menurut Mick Elias dari CSA Australia Pty. Ltd., mineral laterit sendiri jika dilihat dari profilnya pada Gambar 2.2, memiliki kandungan logam yang berbeda. Mineral Laterit terdiri dari *Red Limonit*, *Yellow Limonit*, *Saprolit*, *Garnelit* dan *Serpentin*. Bijih saprolit / garnierit / serpentin yang terdapat pada Gambar 2.2, kandungan nikel terbesar mencapai 3 % sedangkan kandungan Fe bisa mencapai lebih dari 50% pada bijih limonit.

2.1.2.1 Zona Limonit

Secara kimiawi zona limonit umumnya ditentukan atas unsur-unsur yang tidak mudah larut (residual) seperti Fe, Al, Cr, Ti, Mn dan Co.^[11] Akan tetapi dalam hal ini unsur yang paling sering dipakai adalah Fe karena biasanya berasosiasi dengan mineral utama yang dijumpai pada zona limonit. Pada zona limonit unsur Mg dijumpai dalam jumlah kecil karena Mg biasanya berasosiasi dengan mineral olivine, piroksen dan serpentin yang tidak dijumpai di zona ini. Sedangkan unsur Ni biasanya dijumpai dalam jumlah yang tidak terlalu tinggi. Hal ini disebabkan Ni memiliki tingkat kelarutan yang terbatas (*limited solubility*)

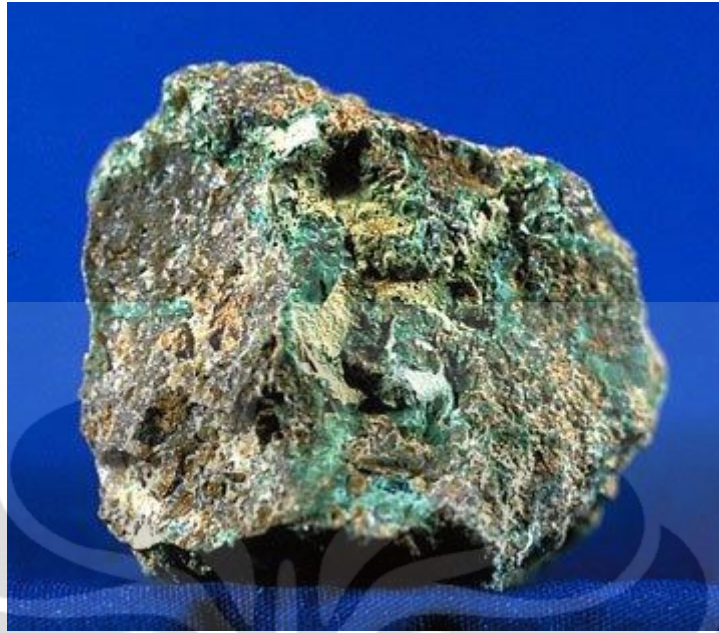
yang menyebabkan unsur Ni akan terbawa oleh air tanah ke zona yang lebih dalam dan sebagian kecil tertahan di zona limonit. Komposisi nikel limonit adalah sebagai berikut: Fe ($> 25\%$), MgO ($< 5\%$), dan Ni ($< 1,5\%$).



Gambar 2.3 Nikel Limonit (*Geothite*)

2.1.2.2 Zona Saprolit

Secara kimiawi zona saprolit ditandai dengan kelimpahan unsur Mg dan Ni serta berkurangnya unsur Fe. Hal tersebut disebabkan Mg dan Ni biasanya terakumulasi dalam mineral *hydrous silica* yang berasal dari *leaching* mineral primer penyusun batuan ultramafik. Unsur Ni pada zona saprolit biasanya berasosiasi dengan mineral olivin, serpentin dan mineral *hydrous silica* seperti garnierit dan krisopras. Unsur yang bersifat *immobile* seperti Fe biasanya berkurang pada zona ini karena Fe biasanya terakumulasi sebagai *residual enrichment* pada zona limonit. Komposisi nikel saprolit adalah sebagai berikut: Fe ($< 25\%$), MgO ($> 5\%$), dan Ni ($> 1,5\%$).



Gambar 2.4 Nikel Limonit (*Garnierite*)



Gambar 2.5 Nikel Saprolit (*Serpentine*)

2.1.3 Faktor yang Mempengaruhi Pembentukan Bijih Nikel Laterit

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi terbentuknya bijih nikel laterit^[12], yaitu:

1 Batuan Asal

Adanya batuan asal merupakan syarat utama untuk terbentuknya endapan nikel laterit, macam batuan asalnya adalah batuan ultra basa. Dalam hal ini pada batuan ultra basa tersebut: - terdapat elemen Ni yang paling banyak di antara batuan lainnya - mempunyai mineral-mineral yang paling mudah lapuk atau tidak stabil, seperti olivin dan piroksin - mempunyai komponen-

komponen yang mudah larut dan memberikan lingkungan pengendapan yang baik untuk nikel.

2 Iklim

Adanya pergantian musim kemarau dan musim penghujan dimana terjadi kenaikan dan penurunan permukaan air tanah juga dapat menyebabkan terjadinya proses pemisahan dan akumulasi unsur-unsur. Perbedaan temperatur yang cukup besar akan membantu terjadinya pelapukan mekanis, dimana akan terjadi rekahan-rekahan dalam batuan yang akan mempermudah proses atau reaksi kimia pada batuan.

3 Reagen-reagen kimia dan vegetasi

Yang dimaksud dengan reagen-reagen kimia adalah unsur-unsur dan senyawa-senyawa yang membantu mempercepat proses pelapukan. Air tanah yang mengandung CO₂ memegang peranan penting di dalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan dan dapat mengubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan:

- a. penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan.
- b. akumulasi air hujan akan lebih banyak.
- c. humus akan lebih tebal Keadaan ini merupakan suatu petunjuk, dimana hutannya lebat pada lingkungan yang baik akan terdapat endapan nikel yang lebih tebal dengan kadar yang lebih tinggi. Selain itu, vegetasi dapat berfungsi untuk menjaga hasil pelapukan terhadap erosi mekanis.

4 Struktur

Struktur yang sangat dominan yang terdapat di daerah Polamaa ini adalah struktur kekar (joint) dibandingkan terhadap struktur patahannya. Seperti diketahui, batuan beku mempunyai porositas dan permeabilitas yang kecil sekali sehingga penetrasi air sangat sulit, maka dengan adanya rekahan-rekahan tersebut akan lebih memudahkan masuknya air dan berarti proses pelapukan akan lebih intensif.

5 Topografi

Keadaan topografi setempat akan sangat memengaruhi sirkulasi air beserta reagen-reagen lain. Untuk daerah yang landai, maka air akan bergerak perlahan-lahan sehingga akan mempunyai kesempatan untuk mengadakan penetrasi lebih dalam melalui rekahan-rekahan atau pori-pori batuan. Akumulasi andapan umumnya terdapat pada daerah-daerah yang landai sampai kemiringan sedang, hal ini menerangkan bahwa ketebalan pelapukan mengikuti bentuk topografi. Pada daerah yang curam, secara teoritis, jumlah air yang meluncur (*run off*) lebih banyak daripada air yang meresap ini dapat menyebabkan pelapukan kurang intensif.

6 Waktu

Waktu yang cukup lama akan mengakibatkan pelapukan yang cukup intensif karena akumulasi unsur nikel cukup tinggi.

2.1.4 Karakteristik Nikel

Karakteristik logam nikel dapat dilihat dari tabel 2.1.

Tabel 2.1 Karakteristik Nikel^[13,14]

No	Karakteristik	Keterangan lain
1	Nama	Nikel
2	Lambang	Ni
3	Nomor atom	28
4	Deret kimia	Logam transisi
5	Golongan	VIII B
6	Periode	4
7	Blok	d
8	Penampilan	Kemilau, metalik
9	Massa atom	58,6934(2) g/mol
10	Konfigurasi electron	[Ar] 3d8 4s2
11	Jumlah electron tiap kulit	2 8 16 2

2.2 Ekstraksi

Ekstraksi menurut ilmu metalurgi adalah pengetahuan yang mengkaji tentang cara-cara pengolahan logam dari bijihnya hingga memperoleh logam yang siap untuk digunakan dalam pengaplikasian.^[15]

Proses metalurgi dibagi menjadi tiga prinsip pengerjaan, yaitu:

1. Perlakuan awal; yaitu dengan cara melakukan pemekatan bijih (*concentration of ore*) agar bijih yang diinginkan terpisah dari materi pengotornya (*gangue*).
2. Proses reduksi; yaitu mereduksi senyawa logam yang ada pada bijih agar berubah menjadi logam bebas.
3. Pemurnian (*refining*); yaitu proses pengolahan logam kotor melalui proses kimia agar diperoleh tingkat kemurnian yang tinggi

2.2.1 Pemekatan Bijih

Pemekatan bijih bertujuan ialah untuk memisahkan mineral dari pengotornya sehingga diperoleh kadar bijih tinggi. Pemekatan dapat dilakukan melalui dua teknik pemisahan, yaitu pemisahan secara fisis dan pemisahan secara kimia.^[15]

1. Pemisahan secara fisis, terdiri dari:
 - a. Pemisahan pengapungan (*flotation separation*)
 - b. Pemisahan gaya berat (*gravity separation*)
 - c. Pemisahan magnetik (*magnetic separation*)
 - d. Pemisahan pencairan (*liquidation separation*)
 - e. Pemisahan amalgam (*amalgams separation*)
2. Pemisahan secara kimia terdiri dari:
 - a. Proses pelindian (*leaching*)
 - b. Proses pemanggangan (*roasting*)

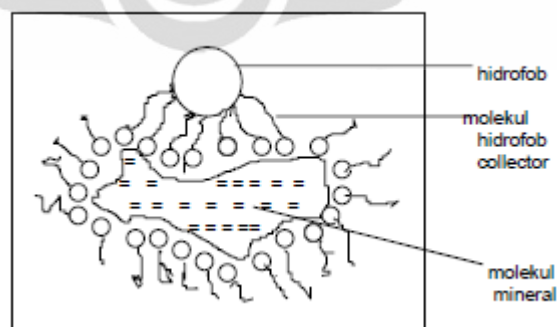
Pengapungan buih (*froth flotation*) adalah proses pemisahan mineral menjadi bijih dari pengotor dengan cara mengapungkan bijih ke permukaan melalui pengikatan dengan buih. Proses ini banyak dipakai untuk beberapa bijih seperti Cu, Pb, Zn, Ag, Au, dan Ni. Teknik pengerjaannya dilakukan dengan cara menghembuskan udara ke dalam butiran mineral halus (telah mengalami proses

crushing) yang dicampur dengan air dan zat pembuih. Butiran mineral halus akan terbawa gelembung udara ke permukaan, sehingga terpisahkan dengan materi pengotor (*gangue*) yang tinggal dalam air (tertinggal pada bagian bawah tank penampung). Pengikatan butiran bijih akan semakin efektif apabila ditambahkan suatu **zat kolektor (*collector agent*)**.^[15]

Prinsip dasar pengikatan butiran bijih oleh gelembung udara berbuih melalui molekul *collector* adalah :

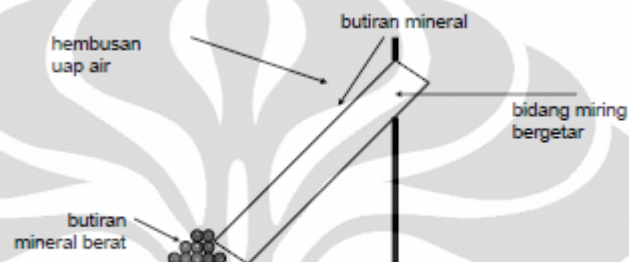
1. Butiran zat yang mempunyai permukaan hidrofilik akan terikat air sehingga akan tinggal pada dasar tank penampung.
2. Butiran zat yang mempunyai permukaan non-polar atau hidrofob akan ditolak air , jika ukuran butirannya tidak besar, maka akan naik ke permukaan dan terikat gelembung udara.

Kebanyakan mineral terdiri dari ion yang mempunyai permukaan hidrofil, sehingga partikel tersebut dapat diikat air. Dengan penambahan zat ***collector***, permukaan mineral yang terikat molekul air akan terlepas dan akan berubah menjadi hidrofob. Dengan demikian ujung molekul hidrofob dari *collector* akan terikat molekul hidrofob dari gelembung, sehingga mineral (bijih) dapat diapungkan. Molekul *collector* mempunyai struktur yang mirip dengan detergen. Salah satu macam zat *collector* yang sering dipakai untuk pemisahan mineral sulfida adalah *Xanthate*.^[16]



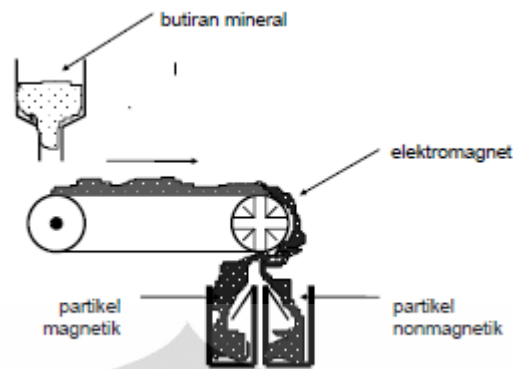
Gambar 2.6 Molekul mineral yang dilapisi molekul *collector* menjadi terikat dengan gelembung udara^[15]

Pemisahan gaya berat (*gravity separation*), adalah proses pemisahan mineral yang didasarkan atas perbedaan massa jenis antara partikel bijih dan partikel pengotor. Teknik pengejaannya adalah dengan cara menghamburkan butiran mineral pada bidang miring yang dihembusi uap air, sehingga partikel mineral yang lebih berat akan terkumpul pada bagian bawah tempat penampungan. Metode ini sering dipakai pada pemisahan *cassiterit* (SnO_2) dari pengotor (*gangue*), pemisahan emas atau perak dari pasir.



Gambar 2.7 Proses pemisahan bijih dan pengotornya dengan pemisahan gaya berat^[15]

Pemisahan magnetik (*magnetic separation*), adalah proses pemisahan dengan dasar apabila mineral memiliki sifat feromagnetik. Teknik pengejaannya adalah dengan mengalirkan serbuk mineral secara vertikal terhadap medan magnet yang bergerak secara horizontal. Dengan demikian materi yang tidak tertarik magnet akan terpisahkan dari materi yang memiliki sifat feromagnet. Metode ini sering dilakukan untuk memisahkan mineral *magnetit* (Fe_3O_4) dari pengotor, *kromit* $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ dari silikat, *rutil* (TiO_2) dari *apatit* $\text{CaF}_2 \cdot 3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, *wolframit* FeWO_4 dari *cassiterit* SnO_2 , *Zirkon* ZrSiO_4 , pirolisit MnO_2 dari pengotor.



Gambar 2.8 Pemisahan magnetik bijih dan pengotor^[15]

Pemisahan pencairan (*liquation separation*), adalah proses pemisahan yang dilakukan dengan cara memanaskan mineral di atas titik leleh logam, sehingga cairan logam akan terpisahkan dari pengotor. Cara ini biasa dilakukan untuk memperoleh bismut atau tembaga.

Pemisahan amalgam (*amalgams separation*), adalah proses pemisahan didasarkan atas kelarutan logam dari mineral dalam raksa. Logam yang pemisahannya dilakukan dengan cara ini adalah Ag dan Au. Untuk melepaskan logam Ag atau Au dari amalgam dilakukan dengan proses detilasi.

Proses pelindian (*leaching*) adalah proses pemekatan kimiawi untuk melepaskan pengotor bijih dari suatu mineral dengan cara pelarutan dalam reagen tertentu. Misalnya H_2SO_4 digunakan untuk melindi oksida Zn dan Ni. Natrium hidroksida digunakan untuk melindi aluminium oksida dari bijih bauksit. Materi tidak larut sebagai pengotor dipisahkan dengan cara penyaringan (*filtration*), sedangkan larutan ion logam dipadatkan melalui cara pengkristalan seperti pada ekstraksi Al, atau dengan pengendapan (menambahkan ion tertentu agar membentuk senyawa tidak larut. Bahkan logam tertentu seperti emas dapat diperoleh secara langsung melalui reduksi larutan hasil lindiannya, sedangkan untuk memperoleh Zn dilakukan dengan mengelektrolisis larutan lindiannya.

Proses pemanggangan (*roasting*), adalah proses pemekatan bijih melalui pemanasan bijih yang disertai pengontrolan jumlah udara (oksigen).

2.3 Float-Sink Process

Proses ini menggunakan medium pemilah cair yang densitasnya terletak di antara bahan yang ringan dan yang berat. Partikel berat akan mengendap melalui medium, sedang yang lebih ringan mengapung dan dengan demikian terjadi pemisahan.^[16] Metode ini mempunyai keuntungan bahwa, pada dasarnya, pemisahan itu bergantung hanya pada perbedaan densitas kedua bahan itu dan tidak bergantung pada ukuran partikel. Proses ini memanfaatkan berat jenis setiap unsur-unsur yang terdapat pada material sampel tersebut. Berat jenis yang lebih ringan akan terapung dan akan mengalir ke wadah berikutnya. Dan dengan melihat literatur tentang berat jenis, maka bisa dilihat unsur yang ingin diamati.

Tabel 2.2 Berat Jenis Unsur-unsur pada Bijih Nikel Saprolit^[17]

Unsur	Berat Jenis (g/cm ³)
Ni	8,90
Al ₂ O ₃	3,90
Fe	7,87
MgO	3,58
SiO ₂	2,26

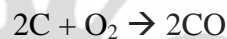
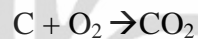
2.4 Reduksi *Roasting*

Reduksi *roasting* merupakan sebuah proses mereduksi logam oksida menjadi logam dengan menggunakan reduktor tertentu. Reduktor yang biasa digunakan adalah C, gas CO dan gas H₂. Reduktor yang mengandung unsur-unsur tersebut dapat diperoleh dari briket batubara atau briket *anthrasite (coal briquette)*, kokas (*cooking coal*), serbuk batubara (*pulverized coal*), dan juga briket arang (*charcoal briquette*).

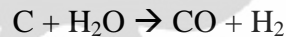
Reduksi *roasting* juga sering disebut dengan reduksi selektif dan reduksi karbotermik. Pada reduksi karbotermik digunakan reduktor yang berbasis karbon (C-CO-CO₂), sedangkan reduksi selektif secara terminologi berarti mereduksi logam oksida secara selektif dan mencegah tereduksinya senyawa oksida lain yang tidak diinginkan.

Karbon merupakan reduktor yang paling sering digunakan karena memiliki harga yang murah dan merupakan reduktor yang efektif. Kemampuan karbon untuk berfungsi sebagai reduktor yang efektif. Selain itu karbon dapat membentuk karbonmonoksida (CO) dan karbondioksida (CO₂) dengan kestabilan termodinamika yang baik.

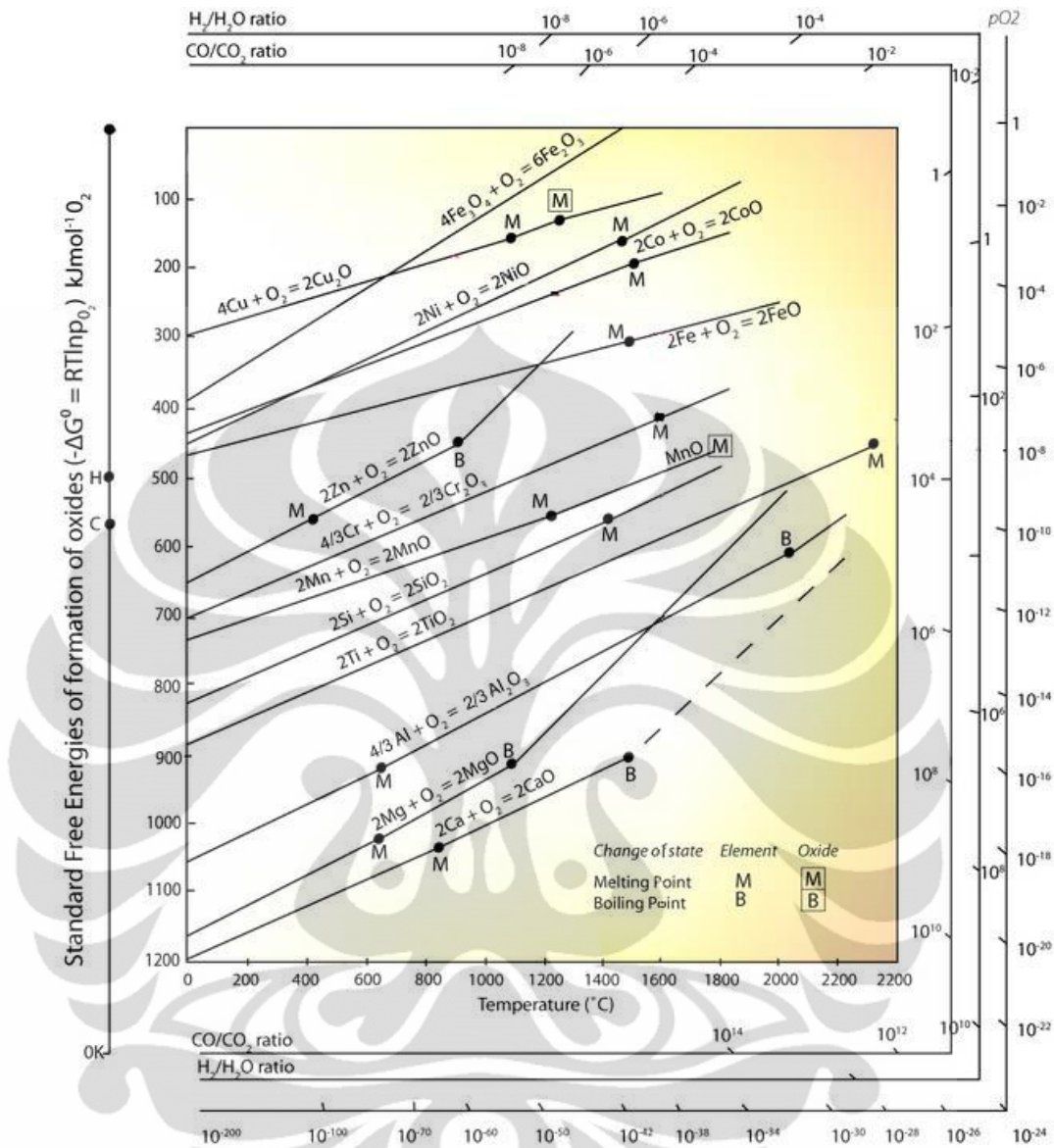
Reaksi pembentukan gas CO dan CO₂ adalah sebagai berikut:



Bijih mineral tambang mempunyai kandungan air atau yang sering disebut *crystal water*. Oleh karena itu, kandungan air tersebut maupun udara akan bereaksi dengan karbon. Maka akan terjadi reaksi yang menghasilkan gas karbon monoksida dan gas hidrogen.

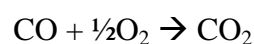
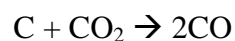


Pada grafik Ellingham, posisi garis CO dan CO₂ sangat penting dalam proses reduksi oksida. Garis Ellingham dari CO₂ sejajar dengan sumbu x. Hal ini berarti hanya sedikit terjadi perubahan kestabilan dari gas CO₂ dengan semakin bertambahnya temperatur. Sedangkan garis Ellingham CO memiliki gradien garis negatif yang sangat besar. Hal ini bisa diartikan bahwa kestabilan dari gas CO semakin meningkat dengan temperatur yang bertambah. Dapat disimpulkan, bahwa pada temperatur tinggi gas CO bersifat lebih stabil daripada gas CO₂ dan pada temperatur rendah gas CO₂ lebih stabil daripada gas CO.



Gambar 2.9 Diagram Ellingham^[18]

Pada $P_{CO} + P_{CO_2} = 1$ atm dan temperatur di bawah 400°C , kesetimbangan gas mengandung kurang dari 1% CO dan pada temperatur diatas 980°C mengandung kurang dari 1% CO_2 . Tetapi pada suhu 674°C , campuran gas akan sama. Rasio antara P_{CO} / P_{CO_2} pada garis karbon akan selalu sama pada tiap temperatur. Hal ini dikarenakan terjadi kesetimbangan oleh reaksi:



Bila melihat posisi dari garis karbon terhadap garis pembentukan oksida logam maka dapat diketahui kemampuan dari karbon untuk mereduksi oksida menjadi logam. Apabila garis karbon berada di bawah garis oksida, maka karbon

dapat digunakan untuk mereduksi oksida tersebut. Perpotongan antara garis karbon dengan garis oksida dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi oksida menjadi logamnya.

2.5 Aspek Termodinamika

2.5.1 Diagram Ellingham

Diagram Ellingham merupakan diagram yang menunjukkan data termodinamika logam yang mengalami proses pembentukan oksida, sulfida, ataupun klorida. Bentuk dari diagram Ellingham berupa plot garis antara energi bebas Gibbs (ΔG) dan temperatur (T).

Energi bebas Gibbs adalah suatu ukuran dari *driving force* yang dapat membuat suatu reaksi dapat terjadi secara spontan tanpa energi dari luar. Sementara itu reaksi yang memiliki ΔG positif menunjukkan reaksi tersebut tidak akan terjadi secara spontan.

Persamaan energi bebas Gibbs tersebut adalah sebagai berikut:

$$\Delta G = -T \Delta S + \Delta H$$

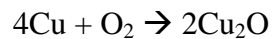
ΔH adalah entalpi. T adalah temperatur absolut dan ΔS adalah entropi. Entalpi adalah besaran dari energi aktual yang dilepaskan ketika suatu reaksi berlangsung. Jika entalpi bernilai negatif maka reaksi tersebut memberikan energi atau disebut reaksi eksotermis. Sedangkan jika bernilai positif maka reaksi tersebut membutuhkan energi atau disebut reaksi endotermis.

Entropi merupakan ukuran dari derajat ketidakteraturan suatu reaksi. Padatan memiliki bentuk yang teratur, cairan memiliki bentuk yang kurang teratur dan gas memiliki bentuk ketidakteraturan yang sangat tinggi.

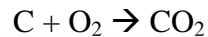
Dari persamaan energi bebas (ΔG) dapat dibuat diagram Ellingham seperti yang ditampilkan pada gambar 2.3. Konstruksi dari diagram ini yaitu temperatur pada sumbu x dan energi bebas Gibbs pada sumbu y. Dalam diagram Ellingham, terdapat tiga jenis gradien kemiringan garis yaitu gradien yang bernilai positif, mendekati nol dan gradien yang bernilai negatif.

Sebagian besar reaksi pembentukan oksida mempunyai gradien garis yang positif. Hal ini disebabkan logam dan oksida mempunyai fasa terkondensasi

(padatan atau cairan), sehingga ketika logam bereaksi dengan gas menghasilkan oksida maka entropinya akan turun. Sebagai contoh adalah sebagai berikut:

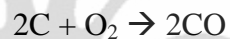


Gradien garis akan mendekati horizontal jika nilai ΔS mendekati 0. Sebagai contoh adalah reaksi oksidasi karbon menjadi karbon dioksida.



Pada reaksi diatas terjadi reaksi antara karbon padat dengan 1 mol gas untuk menghasilkan produk berupa 1 mol gas lagi, sehingga hanya ada sedikit terjadi perubahan entropi ($\Delta S \sim 0$), maka garisnya akan mendekati horizontal.

Gradien garis akan bernilai negatif jika perubahan entropinya bernilai positif. Contoh reaksi yang mempunyai gradien daris negatif adalah oksidasi karbon menjadi karbon monoksida.



Pada reaksi tersebut terjadi reaksi antara fasa padat dengan gas kemudian menghasilkan 2 mol fasa gas, sehingga terjadi peningkatan nilai entropi, yaitu $\sum S$ produk $>$ $\sum S$ reaktan), maka ΔS bernilai positif, karena ΔS bernilai positif maka gradien kemiringan garisnya bernilai negatif. Pada posisi garis dari suatu reaksi pada diagram Ellingham menunjukkan kestabilan oksida sebagai fungsi dan temperatur. Reaksi yang berada pada bagian atas diagram adalah logam yang bersifat mulia dan oksida dari logam ini bersifat tidak stabil dan mudah tereduksi. Semakin ke bawah posisi garis reaksi maka logam bersifat semakin relatif dan oksida menjadi semakin susah untuk direduksi.

Suatu logam dapat digunakan untuk mereduksi oksida jika garis oksida yang akan direduksi terletak di atas garis logam yang digunakan sebagai reduktor.

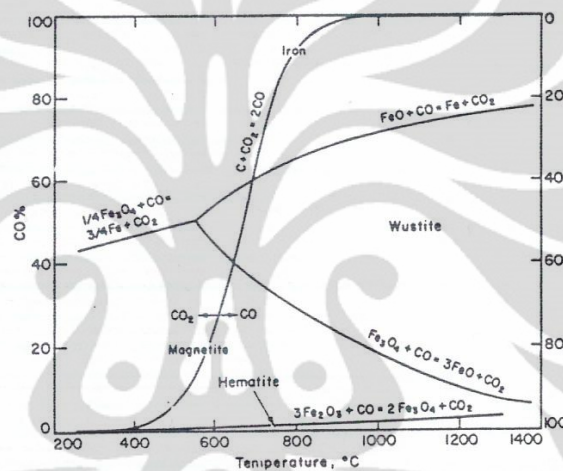
Karbon merupakan bahan yang paling umum untuk digunakan sebagai reduktor untuk mereduksi oksida menjadi logamnya. Pada diagram Ellingham garis reaksi $2\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ mempunyai gradien yang negatif, sehingga data yang didapat dari perpotongan garis ini dengan garis pembentukan oksida lainnya dapat ditunjukkan acuan untuk mereduksi oksida.

Diagram Ellingham juga dapat digunakan untuk menentukan rasio antara CO dan CO₂ yang dibutuhkan untuk dapat mereduksi logam oksida menjadi logam lain. Selain itu diagram ini dapat digunakan untuk mengetahui

kesetimbangan dari tekanan partial oksigen dari logam atau oksida saat temperatur tertentu.

2.5.2 Diagram Boudouard

Proses reduksi langsung menggunakan kesetimbangan antara besi, hematite, magnetit, *wustit*, karbonmonoksida, karbondioksida, serta karbon padat pada tekanan 1 atm. Kesetimbangan tersebut merupakan dasar dilakukannya proses reduksi langsung dengan menggunakan karbon padat dan ditunjukkan seperti dalam Diagram Bauer Glassner dan Boudouard pada Gambar 2.4.



Gambar 2.10 Diagram Bauer Glassner dan Boudouard^[19]

Dari diagram diatas, dapat dilihat terdapat reaksi kesetimbangan besi oksida dengan campuran gas CO/CO₂, antara lain:

- 1 Garis Kesetimbangan Boudouard : $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$
- 2 Garis kesetimbangan : $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$
- 3 Garis kesetimbangan : $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} = 3\text{FeO} + \text{CO}_2$
- 4 Garis Kesetimbangan : $\text{FeO} + \text{CO} = \text{Fe} + \text{CO}_2$

Berdasarkan garis kesetimbangan Boudouard, pada temperatur 1000°C terdapat *full carbonmonoxide*. Jika temperatur diturunkan, maka kesetimbangan tersebut tidak akan tercapai sehingga terjadi penguraian dari gas CO menjadi CO₂ dan C. Oleh karena itu, jumlah gas CO (pereduktor) akan berkurang.

Pada daerah sebelah kiri garis kesetimbangan Boudouard, gas CO₂ akan lebih stabil sehingga gas CO yang ada akan terurai menjadi CO₂.

Pada daerah disebelah kanan garis kesetimbangan Boudouard gas CO lebih stabil sehingga gas CO₂ akan mengalami reaksi Boudouard membentuk gas CO. Fenomena tersebut merupakan contoh dari prinsip *Le Chatelier* yang mengatakan bahwa reaksi boudouard merupakan reaksi yang endotermik sehingga membutuhkan temperatur tinggi untuk dapat berjalan.

Dari Diagram Bauer Glassner dan Boudouard pada Gambar 2.4, senyawa yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara CO/CO₂ dan juga temperatur operasi. Misal pada temperatur 700°C dengan perbandingan CO/CO₂ adalah 60:40, maka senyawa yang paling stabil adalah *wustit*. Magnetit akan tereduksi menjadi *wustit*, sedangkan Fe akan mengalami oksidasi menjadi *wustit*.

Fenomena yang dapat disimpulkan dari kesetimbangan Boudouard antara garis kesetimbangan *wustit*/Fe dan garis kesetimbangan Boudouard berpotongan pada temperatur 700°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi *wustit* menjadi Fe adalah 700°C. Antara garis kesetimbangan Magnetit/*wustit* dan garis kesetimbangan boudouard berpotongan pada temperatur 650°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa temperatur minimum yang dibutuhkan untuk mereduksi magnetit menjadi *wustit* adalah 650°C. Temperatur minimum diatas pada tekanam 1 atm. Sangat tidak mungkin reaksi dapat berjalan dibawah temperatur minimum karena karbonmonoksida terurai menjadi karbondioksida.

2.6 Energy Dispersive X-Ray (EDX)

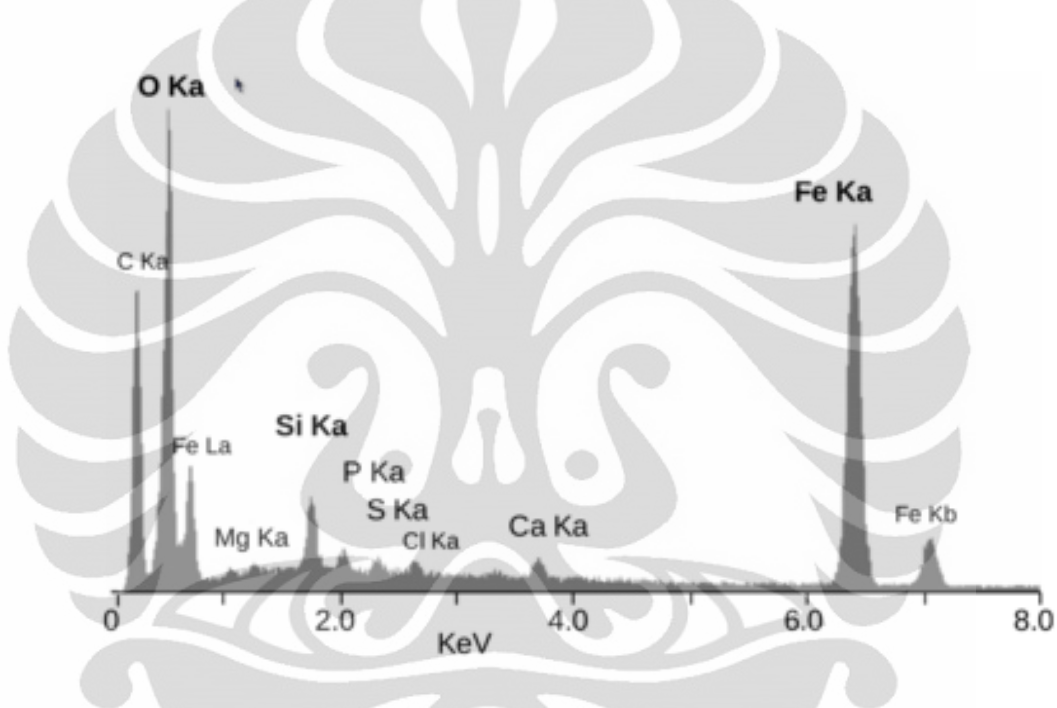
EDX (*Energy Dispersive X-Ray*) adalah suatu alat yang dapat mendeteksi unsur suatu material. Konsentrasi minimal yang dapat dideteksi adalah lebih besar dari 0,1%.

Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap-tiap photon *X-Ray* menunjukkan karakteristik masing-masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara

otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi.

Hasil yang kita dapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik *energy* (*KeV*) dengan *counts*. Dan dari grafik tersebut kita bisa melihat unsur-unsur apa saja yang bisa didapatkan.

Dengan menggunakan EDX, kita bisa mendapatkan persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam mineral tambang yang menjadi sampel penelitian kita.



Gambar 2.11 Contoh grafik hasil pengujian EDX^[20]

Tetapi kelemahan dari alat uji EDX ini adalah penembakan yang dilakukan pada permukaan sampel hanya pada satu titik dari seluruh permukaan sampel. Dengan kata lain, hasil yang didapat tidak dapat menghasilkan data yang valid untuk mengetahui persentase dari unsur secara merata.

Ada kemungkinan kadar suatu unsur yang kita harapkan tidak representatif. Contohnya, misalnya pada satu titik penembakan didapatkan hasil kadar Ni 1,0%. Dan kemungkinan lain juga, pada penembakan titik kedua tidak terdapat Ni. Hal ini disebabkan diameter tembakan terhadap partikel sangat kecil.

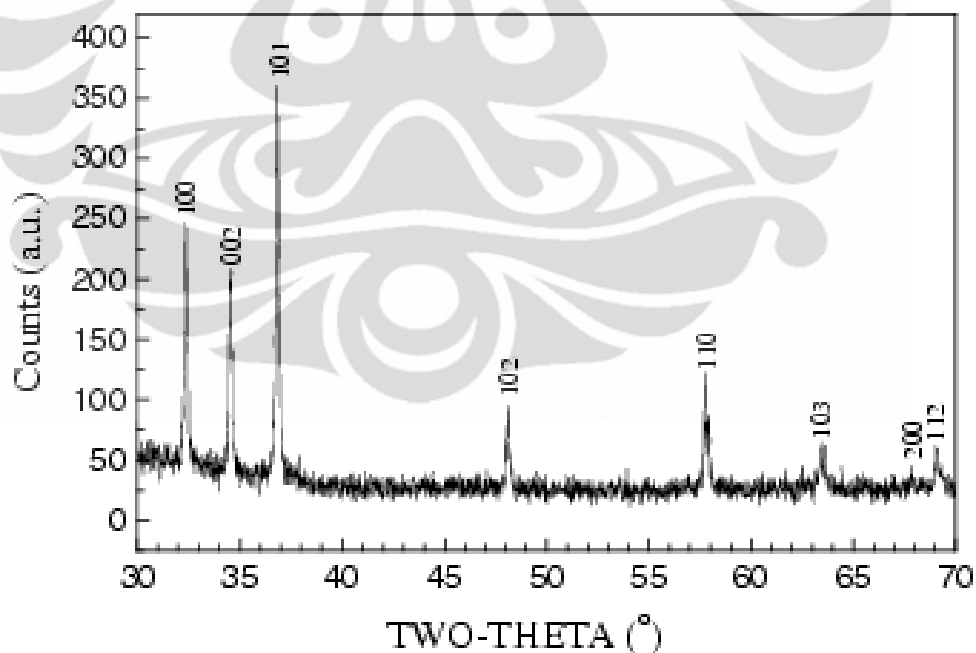
2.7 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan alat difraktometer yang menggunakan prinsip difraksi. XRD adalah suatu metode analisa nondestruktif yang didasarkan pada pengukuran radiasi sinar-X yang terdifraksi oleh bidang kristal ketika terjadi interaksi antara suatu materi dengan radiasi elektromagnetik sinar X. Suatu kristal memiliki kisi kristal tertentu dengan jarak antar bidang kristal (d) spesifik juga sehingga bidang kristal tersebut akan memantulkan radiasi sinar X dengan sudut-sudut tertentu.

Alat ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel.

Dengan alat ini kita melihat senyawa yang terbentuk. Dengan kata lain, kita dapat melihat transformasi fasa yang terjadi pada suatu sampel akibat suatu proses atau *treatment* yang dilakukan.

Tetapi dengan pemakaian alat XRD ini, kita tidak bisa mendapatkan kadar atau persentase dari unsur yang terdapat pada sampel mineral.

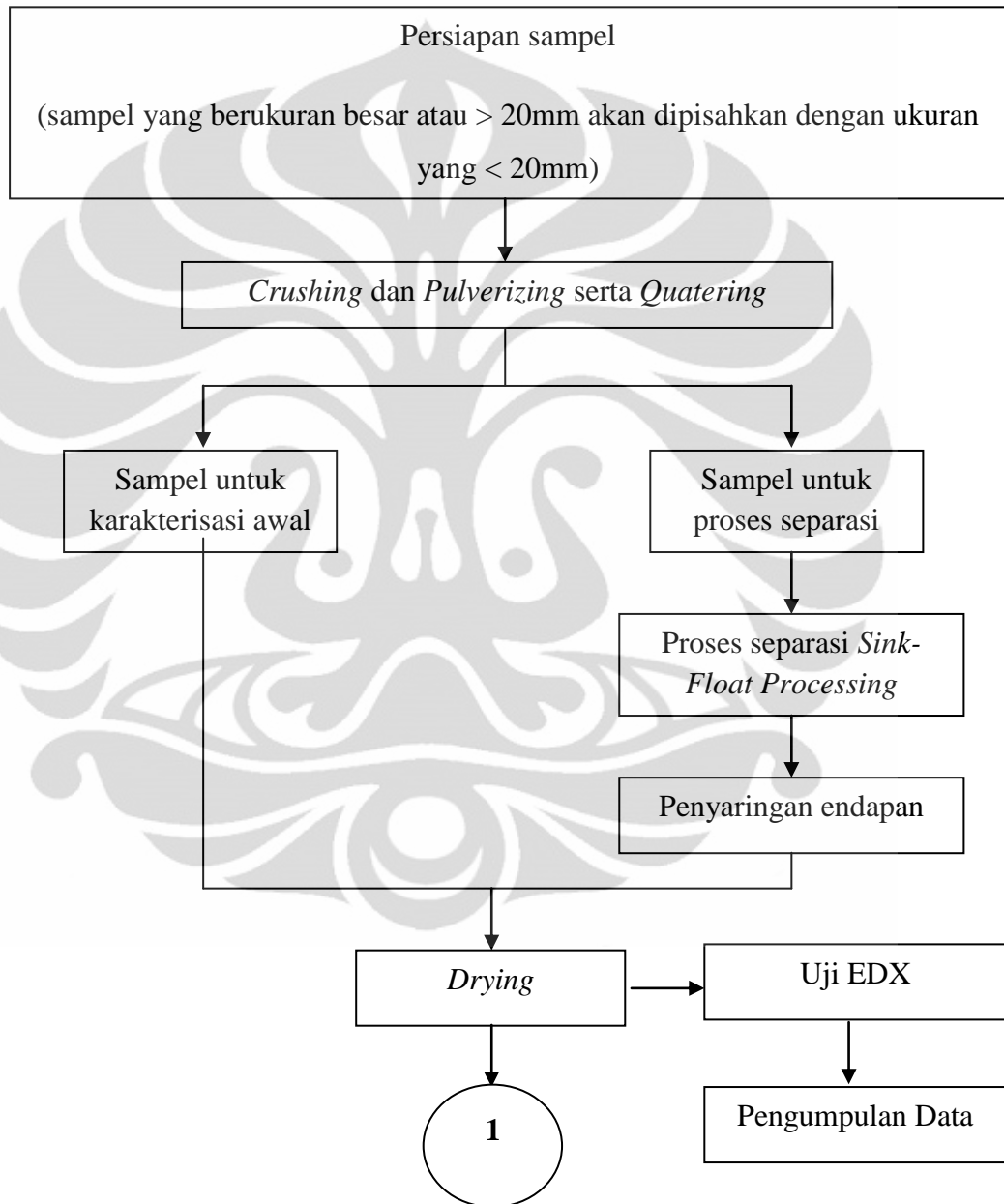


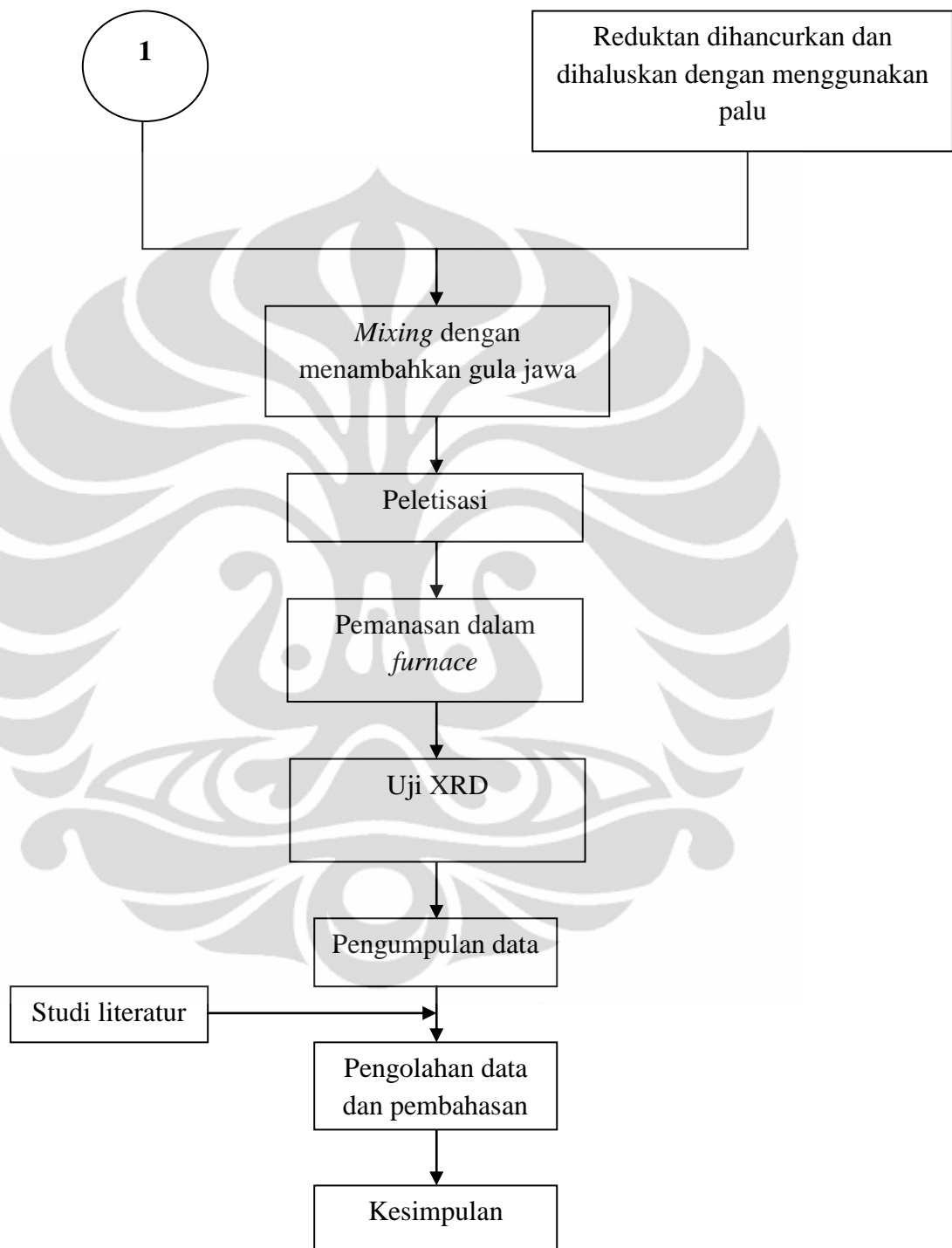
Gambar 2.12 Contoh grafik hasil pengujian XRD^[21]

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Beberapa alat dan bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

1. Alat
 - a. Palu
 - b. Cobek dan Uleg
 - c. 4 wadah, seperti toples kue dan botol minuman plastik
 - d. Kertas saring
 - e. Corong gelas
 - f. Wadah air
 - g. Timbangan Digital
 - h. Oven
 - i. *Catheter tip*
 - j. *Furnace*, yaitu Dapur Nabertherm
 - k. Alat Uji EDX dan XRD
2. Bahan
 - a. Sampel nikel saprolit
 - b. Fluida air
 - c. *Charcoal Briquette*
 - d. Gula Jawa

3.3 Persiapan Sampel

Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah bijih nikel saprolit. Sampel tersebut yang akan dihancurkan untuk mendapatkan bentuk yang lebih kecil dan halus. Sehingga dipisahkan terlebih dahulu berdasarkan ukurannya. Ukuran yang lebih besar (lebih besar dari 20 mm) akandihancurkan.



Gambar 3.2 Sampel Bijih Nikel Saprolit yang akan digunakan

3.4 *Crushing dan Pulverizing*

Sampel yang masih berukuran batuan besar harus dihancurkan agar ukuran sampel homogen. Ukuran yang homogen akan lebih baik untuk proses separasi karena tidak dipengaruhi oleh ukuran butir. Untuk alat yang digunakan pada kedua proses ini adalah palu. Awalnya palu yang ukuran besar digunakan untuk menghancurkan batuan yang berukuran besar. Kemudian ukuran yang $< 20\text{mm}$ akan dihaluskan dengan palu yang lebih kecil. Proses ini dilakukan di atas sebuah cobek.



Gambar 3.3 Palu yang digunakan untuk menghancurkan batuan yang masih berukuran besar

3.5 Quatering

Proses *quatering* ini digunakan untuk memilih sampel yang digunakan untuk uji EDS/EDX awal dan sampel untuk proses separasi. Proses ini dimaksudkan untuk mendapat sampel yang lebih representatif.

Sample mulai di-*quatering*, dengan cara dibawah ini:

Sample diayak sebanyak **4 kali** secara berurutan

Kiri ke Kanan	→	Kanan ke Kiri	Dihitung 1 kali
Atas ke Bawah	→	Bawah ke Atas	Dihitung 2 kali
Kiri ke Kanan	→	Kanan ke Kiri	Dihitung 3 kali
Atas ke Bawah	→	Bawah ke Atas	Dihitung 4 kali

dan seterusnya sampai **4 kali** kemudian di quatering dengan 4 titik pengambilan

√	X	√	Bagian yang diambil / disisakan
X	√	X	Bagian yang tidak diambil / buang

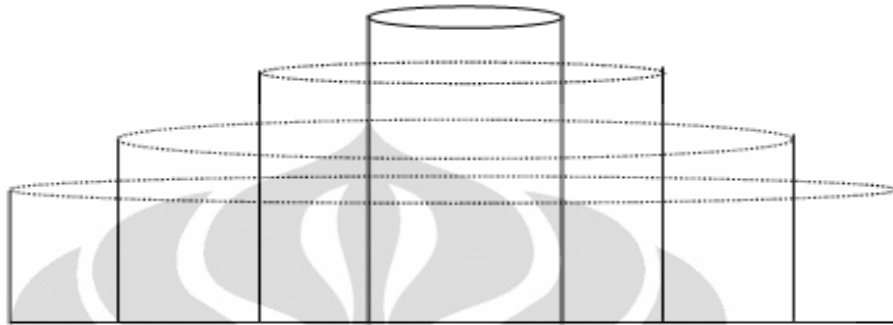
Pengambilan sampel pertama digunakan untuk sampel sementara. Kemudian dilakukan metode *quatering* ini lagi dengan titik pengambilan yang berbeda dari sampel tersebut.

X	√	√	Bagian yang diambil / disisakan
√	X	X	Bagian yang tidak diambil / buang

Pengambilan sampel kedua digunakan untuk sampel awal yang akan diuji karakterisasi awal EDS/EDX. Kemudian dilakukan metode *quatering* ini lagi sebanyak tiga kali dengan titik pengambilan yang berbeda dari sampel tersebut. Dan sampel terakhir digunakan untuk sampel separasi.

3.6 Proses Separasi dengan Fluida Air (*Float-Sink Process*)

Proses separasi yang digunakan untuk eksperimen ini adalah *sink-float processing*.



Gambar 3.4 Contoh bentuk wadah separasi

Sampel akan dimasukkan ke dalam wadah yang berada paling tengah. Kemudian wadah tersebut akan dialiri oleh air sebagai fluida separasi. Air yang dialiri harus dengan kecepatan yang lambat dan konstan. Untuk mendapatkan kondisi aliran air yang konstan dan lambat adalah dengan mengalirkan air di bagian dinding wadah. Dan bisa digunakan tabung aquades sebagai tempat air. Saat pengaliran air ke dalam wadah, juga dilakukan pengadukan dengan menggunakan batang pengaduk. Hal ini dilakukan agar seluruh sampel yang dimasukkan dapat diseparasi.



Gambar 3.5 Batang Pengaduk



Gambar 3.6 Tabung Aquades

3.7 Proses Penyaringan

Proses penyaringan menggunakan kertas saring dan menggunakan corong gelas. Pada kertas saring tersebut akan menempel endapan-endapan yang merupakan hasil separasi.

Proses ini dilakukan untuk setiap wadah separasi.



Gambar 3.7 Kertas saring yang telah diletakkan di corong gelas

3.8 Drying

Proses pengeringan atau *drying* berfungsi untuk menghilangkan kandungan air sewaktu proses separasi. Dan juga merupakan syarat untuk pengujian EDS/EDX, dimana tidak boleh ada kandungan air yang banyak. Pada proses ini, dilakukan pengeringan pada oven dengan suhu 110°C dan selama 60 menit. Dan untuk yang menempel di kertas saring, maka dikeringkan dalam oven



Gambar 3.8 Oven untuk proses *drying*.

3.9 Mixing Sampel dengan Reduktan *Charcoal Briquette*

Untuk proses *mixing*, maka saya telah melakukan beberapa kali pengujian untuk mendapatkan komposisi yang optimum untuk pencampuran. Molases yang dipakai untuk proses *mixing* ini adalah gula jawa.

Tabel 3.1 Komposisi Optimum *Mixing*

Sampel	Reduktan	Molases
6,5 gram	6,5 gram	3,5 gram

Briket arang terlebih dahulu dihaluskan dengan menggunakan palu. Hal ini dilakukan agar lebih mudah untuk pencampuran dengan sampel. Sampel Ni yang digunakan adalah sampel hasil separasi air. Tetapi karena jumlah yang paling banyak berasal dari wadah 1, maka hanya digunakan sampel dari wadah 1.



Gambar 3.9 Sampel Ni hasil separasi dihaluskan



Gambar 3.10 Briket Arang dihaluskan

Kemudian briket arang dan sampel Ni tersebut akan diukur berat dengan menggunakan timbangan digital untuk mendapat berat masing-masing 6,5 gram. Dan juga, molases yaitu gula jawa juga diukur beratnya sekitar 3,5 gram untuk proses *mixing*.



Gambar 3.11 Timbangan Digital



Gambar 3.12 Gula Jawa sebagai Molases

3.10 Peletisasi

Proses peletisasi berfungsi untuk mengeraskan sampel hasil *mixing* dengan *charcoal briquette* dan molases.

Proses peletisasi ini menggunakan alat *catheter tip*. Sampel dimasukkan ke dalam *catheter tip* dimana ujungnya telah dipotong terlebih dahulu. Kemudian ditekan sampai sampel menjadi lebih keras dan padat.



Gambar 3.13 *Catheter tip*



Gambar 3.14 Contoh hasil peletisasi

3.11 Reduksi *Roasting*

Proses reduksi *roasting* ini menggunakan reduktan *charcoal briquette*. Sampel akan dibagi menjadi 4. Sampel tersebut merupakan hasil dari separasi dengan menggunakan air. Sampel pertama tidak akan dimasukkan ke dalam *furnace*. Dengan kata lain, sampel pertama merupakan sampel dengan menggunakan parameter waktu pemanasan 0 menit. Sampel kedua menggunakan parameter waktu 10 menit, sampel ketiga menggunakan parameter 20 menit dan sampel keempat menggunakan parameter 30 menit. Suhu atau temperatur *furnace* adalah 1000°C.

Alat yang digunakan sebagai *furnace* adalah Dapur Nabertherm yang berada di Laboratorium Metalografi dan HST Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia di lantai 4.

Furnace tersebut terlebih dahulu diatur untuk mencapai suhu sekitar 1000°C. Kemudian saat temperatur sudah berada di sekitar 700-800°C, maka sampel dimasukkan ke dalam *furnace*. Hal ini dilakukan agar sampel dapat beradaptasi dengan suhu sampai mencapai 1000°C.



Gambar 3.15 Dapur Nabertherm

3.12 Uji Karakterisasi

3.12.1 Uji EDX

Pengujian EDX dilakukan dengan alat EDX di Departemen Metalurgi dan Material FTUI. Pengujian EDX ini hanya untuk menguji sampel untuk karakteristik awal sampel nikel dan hasil separasi air.

3.12.2 Uji XRD

Pengujian XRD dilakukan di Laboratorium Pascasarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Indonesia di UI-Salemba. Pengujian ini dilakukan untuk hasil reduksi *roasting*.



Gambar 3.16 Alat XRD

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Karakteristik Awal Sampel

Pada awal penelitian ini, dilakukan identifikasi atau karakterisasi terhadap sampel, yaitu bijih nikel saprolit. Sampel yang diambil untuk dijadikan sampel karakterisasi awal adalah hasil dari *quatering*. Setelah dilakukan *quatering*, maka sampel tersebut dikeringkan (*drying*) dengan menggunakan oven. Kondisi oven tersebut adalah dalam keadaan temperatur 110°C. Proses pengeringan atau *drying* ini dilakukan selama 60 menit.

Uji karakterisasi awal sampel dilakukan dengan menggunakan alat uji EDX.

Tabel 4.1 Hasil Uji Karakterisasi Awal Sampel dalam Elemen

Unsur	Pengujian EDX dalam Elemen (%)			Rata-rata
	1	2	3	
Mg	11.73	14.86	9.44	12.01
Al	1.89	1.32	6.93	3.38
Si	22.93	20.23	21.63	21.60
Fe	8.57	5.84	6.13	6.85
Ni	0.00	4.27	0.00	4.27

Tabel 4.2 Hasil Uji Karakterisasi Awal Sampel dalam Atomik

Unsur	Pengujian EDX dalam Atom (%)			Rata-rata
	1	2	3	
Mg	9.65	12.36	7.69	9.90
Al	1.40	0.99	5.09	2.49

Si	16.34	14.57	15.25	15.39
Fe	3.07	2.12	2.17	2.45
Ni	0.00	1.47	0.00	1.47

Dari tabel diatas, dapat dilihat komposisi dari sampel nikel saprolit. Unsur-unsur tersebut merupakan unsur-unsur yang telah diatur oleh operator.

Tetapi kalau dilihat untuk kadar nikel, pada pengujian pertama dan ketiga, tidak terdeteksi unsur nikel. Bahkan kalau dibandingkan dengan literatur bahwa unsur Ni pada Nikel saprolit yang berasal dari Pomalaa adalah 1,8-2,6.^[5] Hal itu disebabkan oleh keterbatasan dari alat uji EDX. Kemungkinan pada saat penembakan pada titik tertentu, terdapat sedikit atau bahkan tidak terdapat unsur Ni. Karena diameter tembakan alat EDX kecil, maka tidak dapat merepresentatifkan secara keseluruhan kadar pada sampel tersebut.

4.2 Hasil Pengujian EDX Setelah Separasi Air

Proses separasi air dilakukan dengan menggunakan 4 wadah plastik yang disusun sesuai dengan diameter dan tinggi wadah. Kemudian dialirkan air melalui bagian dinding dari wadah agar mendapatkan kecepatan yang lambat dan konstan.

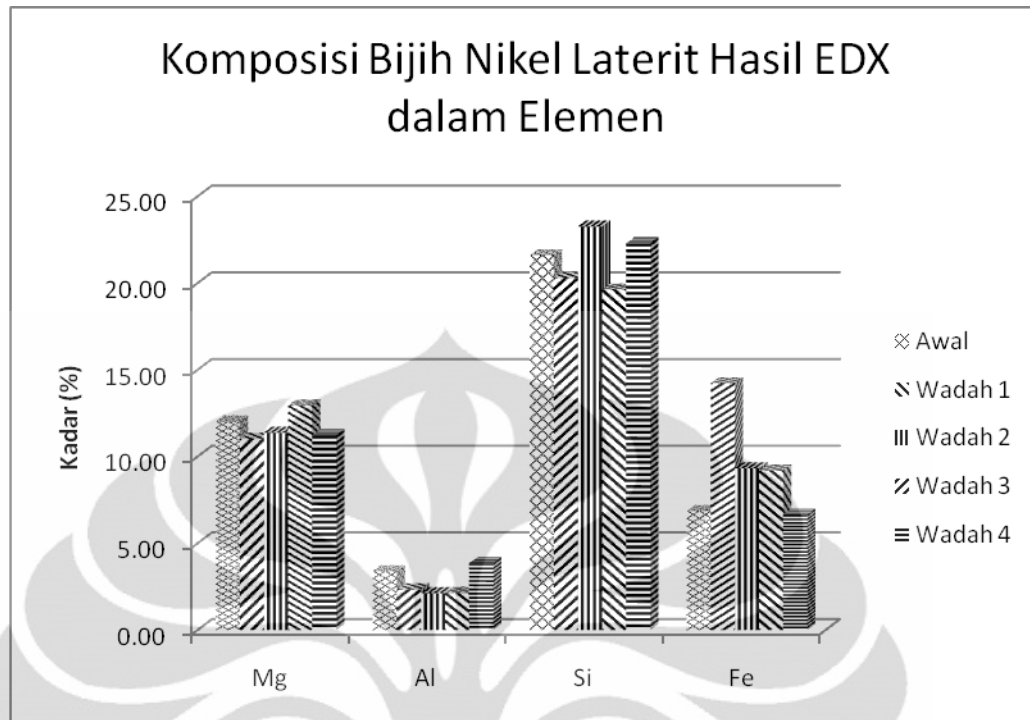
Tabel 4.3 Hasil Uji Karakterisasi Setelah Separasi dalam Elemen

Unsur	Wadah	Pengujian EDX dalam Elemen (%)		
		1	2	3
Mg	1	10.55	11.16	11.34
	2	9.19	11.89	13.04
	3	12.66	13.92	12.25
	4	9.07	13.15	11.45
Al	1	2.24	2.34	2.44
	2	1.90	1.92	2.57
	3	2.06	2.07	2.29
	4	7.50	2.44	1.61

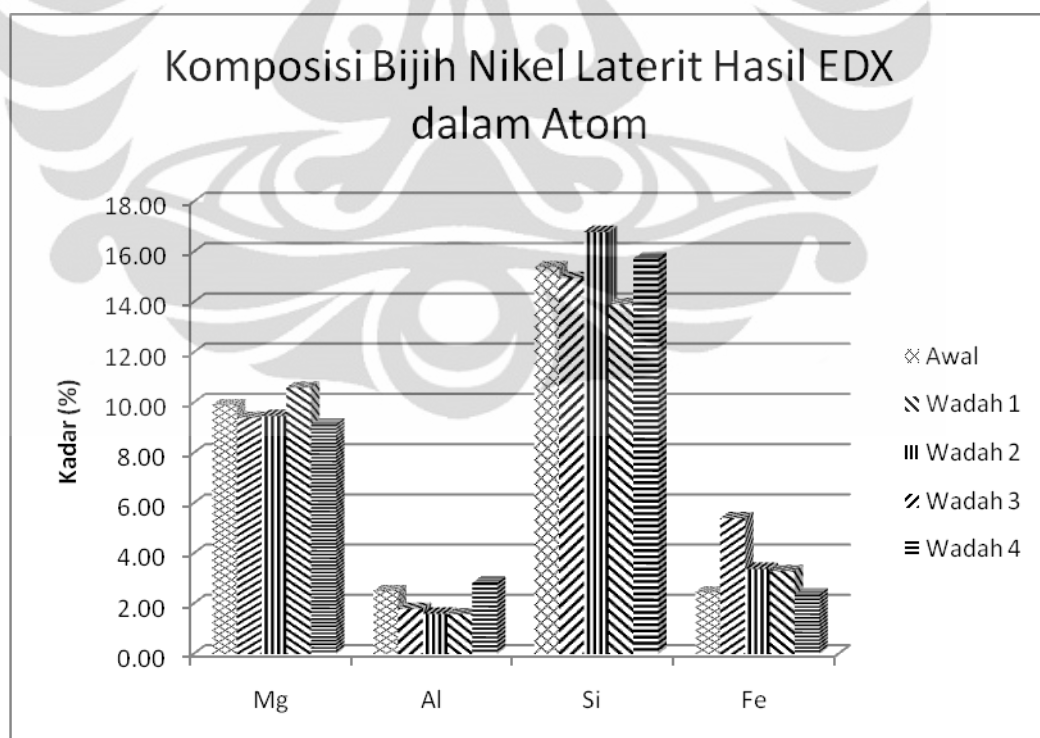
Si	1	18.41	20.55	21.91
	2	27.79	19.78	22.22
	3	19.68	20.23	18.97
	4	22.47	19.75	24.66
Fe	1	22.38	12.42	7.86
	2	7.55	11.90	8.53
	3	11.57	6.30	9.69
	4	5.90	6.47	7.56

Tabel 4.4 Hasil Uji Karakterisasi Setelah Separasi dalam Atomik

Unsur	Rata-rata	Pengujian EDX dalam Atom			Rata-rata
		(%)			
		1	2	3	
Mg	11.02	9.63	9.32	9.26	9.40
	11.37	7.66	9.92	10.87	9.48
	12.94	10.60	11.23	9.95	10.59
	11.22	7.40	10.53	9.47	9.13
Al	2.34	1.84	1.76	1.80	1.80
	2.13	1.43	1.45	1.93	1.60
	2.14	1.55	1.51	1.68	1.58
	3.85	5.52	1.76	1.20	2.83
Si	20.29	14.54	14.86	15.50	14.97
	23.26	20.07	14.29	16.03	16.80
	19.63	14.27	14.13	13.34	13.91
	22.29	15.87	13.69	17.64	15.73
Fe	14.22	8.89	4.52	2.80	5.40
	9.33	2.74	4.33	3.10	3.39
	9.19	4.22	2.21	3.43	3.29
	6.64	2.10	2.26	2.72	2.36



Gambar 4.1 Grafik Komposisi Bijih Nikel Laterit Hasil EDX dalam Elemen



Gambar 4.2 Grafik Komposisi Bijih Nikel Laterit Hasil EDX dalam Atomik

Dari hasil karakterisasi dengan EDX yang ditampilkan dalam tabel maupun grafik diatas, dapat dilihat bahwa di tiap wadah terdapat pengotor-pengotor. Pengotor-pengotor yang berasal dari wadah pertama, seperti Si, Mg, Al, dan Fe mulai berkurang karena mengalir ke wadah kedua, ketiga dan keempat.

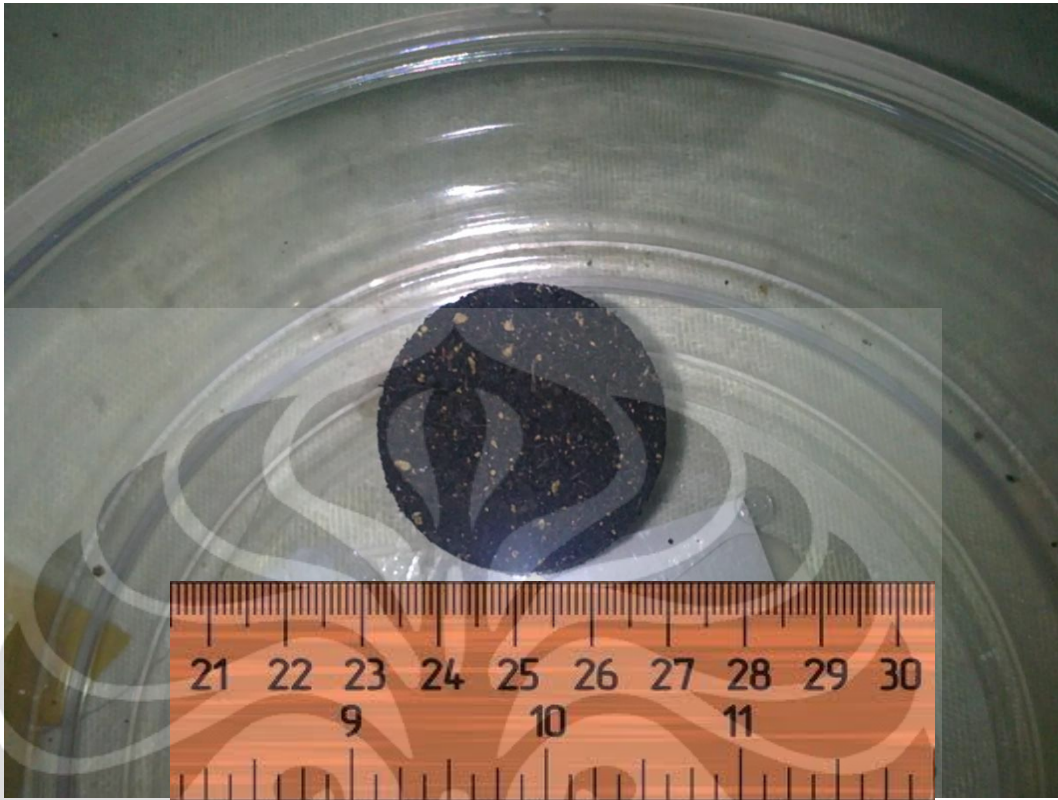
Hal ini membuktikan bahwa proses separasi air ini dapat berperan untuk mengurangi kadar pengotor-pengotor yang terdapat pada sampel Ni. Dan hasil ini juga sesuai dengan literatur dimana unsur-unsur yang memiliki berat jenis paling kecil atau lebih kecil dari Ni akan mengapung dan terbangun ke wadah berikutnya.

Tetapi tetap tidak bisa diabaikan bahwa keterbatasan dari alat EDX mempengaruhi dari hasil pengujian ini. Masih memungkinkan kalau data yang didapatkan kurang representatif untuk mewakili keseluruhan sampel hasil dari separasi yang akan diuji.

4.3 Data Sampel Hasil Reduksi *Roasting*

Sebelum dilakukan pemanggangan, sampel dimixing terlebih dahulu dengan briket arang (*charcoal briquette*) dan penambahan molases, yaitu gula jawa.

Kemudian sampel dipadatkan dengan proses peletisasi. Peletisasi dilakukan dengan menggunakan *catheter tip*.



Gambar 4.3 Tampilan fisik hasil peletisasi

Sampel tersebut akan dipersiapkan untuk dipanggang di dalam *furnace*. *Furnace* yang digunakan adalah Dapur Nabertherm.

Furnace terlebih dahulu dipanaskan sebelum sampel dimasukkan ke dalamnya. *Furnace* diatur hingga 1000°C . Saat sudah mencapai 750°C , maka sampel dimasukkan ke dalam *furnace* secara bersamaan. Tetapi mulai perhitungan waktu untuk pemanggangan dimulai setelah *furnace* mencapai 1000°C .

Furnace terlebih dahulu ditaburi dengan bubuk alumina. Bubuk alumina tersebut berfungsi agar sampel yang dimasukkan ke dalam *furnace* tidak menempel karena tingginya suhu dari pemakaian *furnace*.



Gambar 4.4 Bubuk Alumina

Tabel 4.5 Temperatur saat pengeluaran sampel

Sampel	Waktu (menit)	Temperatur Keluar
1	0	-
2	10	1000°C
3	20	985°C
4	30	985°C

Pada sampel pertama, tidak dimasukkan ke dalam *furnace*. Pada sampel tersebut, menggunakan parameter 0 menit.



Gambar 4.5 Tampilan fisik sampel pertama.

Karena sampel ini tidak dimasukkan ke dalam *furnace*, maka sampel tersebut memiliki kondisi yang sama dengan sampel hasil peletisasi. Sampel peletisasi langsung dihancurkan sebelum akan diuji karakterisasi dengan alat uji XRD.

Pada sampel kedua, dilakukan pemanggangan pada 1000°C , dengan parameter waktu 10 menit. Setelah temperatur *furnace* sudah mencapai 1000°C , maka waktu perhitungan dimulai. Ketika waktu sudah 10 menit, maka *furnace* Dapur Nabertherm dibuka. Kemudian sampel pertama diambil dari dalam *furnace* dengan menggunakan penjepit yang terbuat dari *stainless steel*.

Setelah dikeluarkan dari *furnace*, maka sampel yang masih berada di atas sebuah plat baja didinginkan di temperatur ruang/kamar selama 5-10 menit. Kemudian sampel akan dihancurkan untuk diuji karakterisasi dengan XRD.



Gambar 4.6 Tampilan fisik sampel hasil pemanggangan pada parameter waktu pemanggangan 10 menit.

Pada sampel ketiga, dilakukan pemanggangan (*roasting*) pada suhu 985°C dan dilakukan dengan temperatur 20 menit. Atau dengan kata lain sampel akan diambil dari dalam *furnace* setelah 10 menit dari pengambilan sampel kedua. Sama seperti pada sampel kedua, sampel setelah keluar dari *furnace* akan dihancurkan untuk pengujian XRD.

Dapat dilihat di gambar 4.7, dimana sampel yang didapatkan akan lebih halus dan warnanya berubah dibandingkan dengan warna dari sampel kedua. Hal ini dikarenakan unsur karbon yang terdapat pada sampel akan habis tereduksi. Sehingga sampel tersebut akan lebih kelihatan hampir menyerupai sampel awal bijih nikel laterit jenis saprolit.



Gambar 4.7 Tampilan fisik sampel hasil pemanggangan pada parameter waktu pemanggangan 20 menit.

Pada sampel keempat, maka dilakukan pemanggangan (*roasting*) pada suhu 985°C. Sampel tersebut dilakukan pada parameter waktu 30 menit. Atau dengan kata lain diambil dari dalam *furnace* 10 menit setelah pengambilan sampel ketiga.

Kemudian sampel tersebut didinginkan di kondisi temperatur kamar selama 5-10 menit.

Dan sampel tersebut dimasukkan ke dalam plastik sampel untuk kemudian sampel tersebut dihancurkan untuk pengujian XRD.



Gambar 4.8 Tampilan fisik sampel hasil pemanggangan pada parameter waktu pemanggangan 30 menit.

Kalau dibandingkan dengan sampel hasil pemanggangan (*roasting*) dari sampel kedua dan ketiga, maka dapat diperhatikan bahwa sampel keempat memiliki warna yang lebih terang. Warna yang dihasilkan hampir menyerupai sampel awal.

Kemungkinan hal ini disebabkan hampir semua unsur yang terbentuk adalah Ni dan Fe. Oksida tidak terbentuk lagi karena semua unsur oksidanya akan habis teroksidasi karena temperatur yang tinggi dan waktu tahan yang lebih lama.

Kemudian sampel tersebut didinginkan di kondisi temperatur kamar selama 5-10 menit.

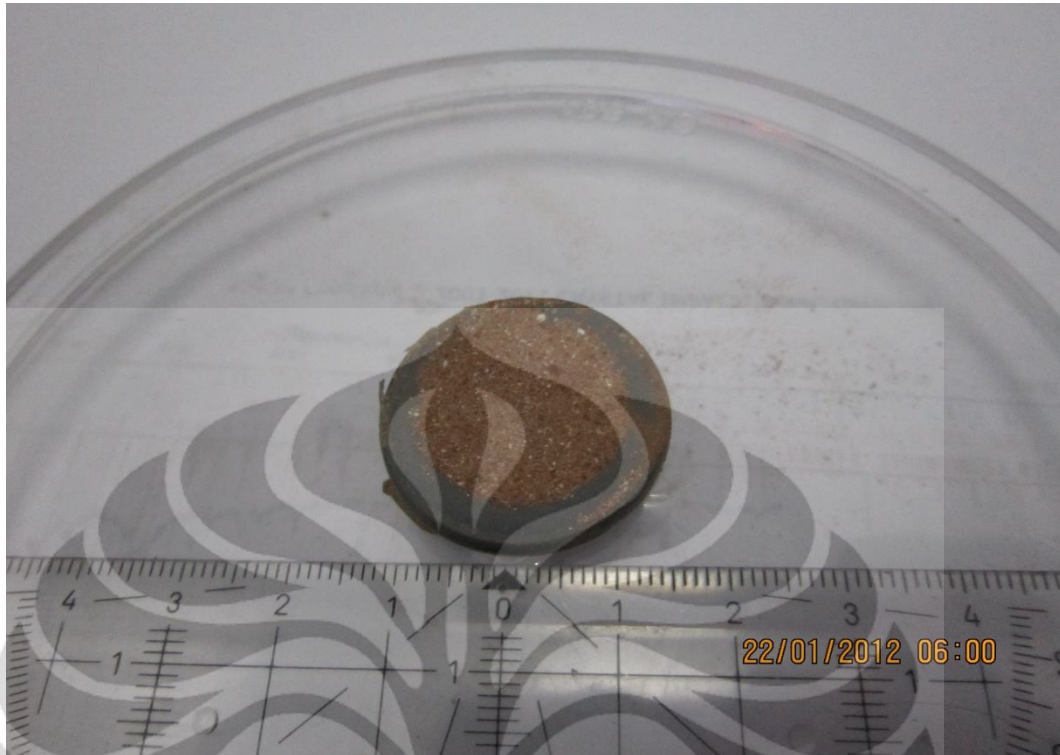
Dan sampel tersebut dimasukkan ke dalam plastik sampel untuk kemudian sampel tersebut dihancurkan untuk pengujian XRD.

4.4 Tampilan Fisik Sampel Hasil Reduksi *Roasting*

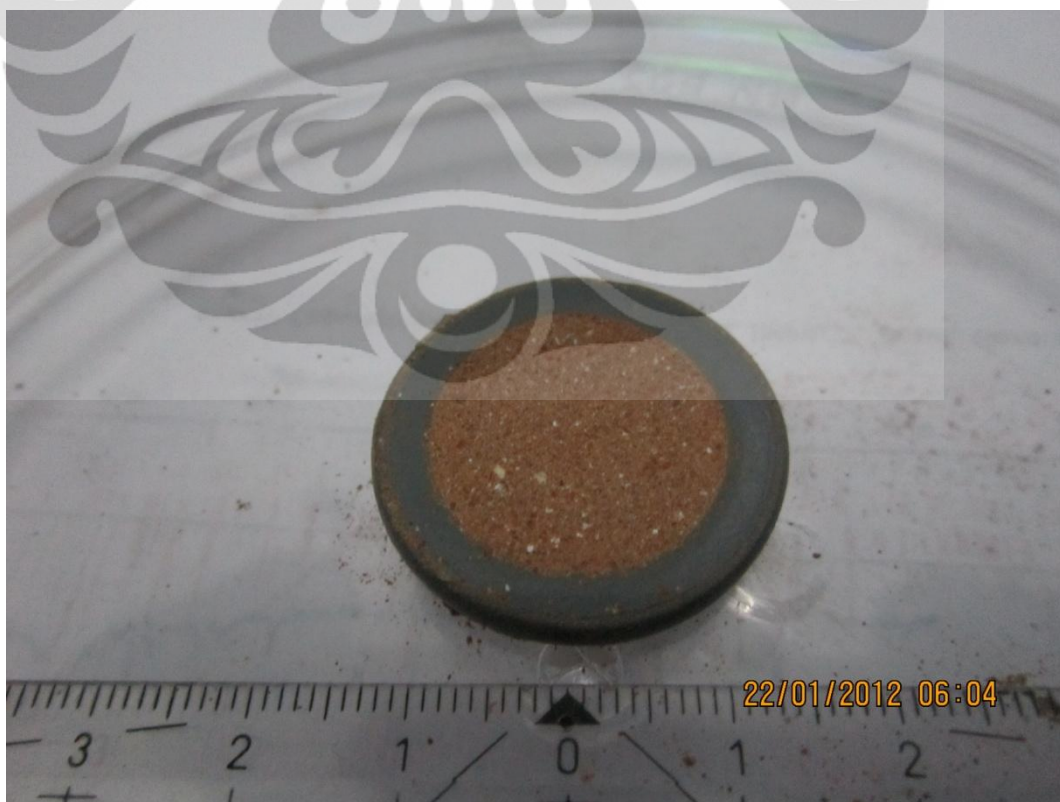
Sampel yang akan diuji XRD terlebih dahulu harus di-*press* di sebuah lingkaran logam kecil. Kekuatan *press* yang digunakan adalah 300 kgf/cm^2 .



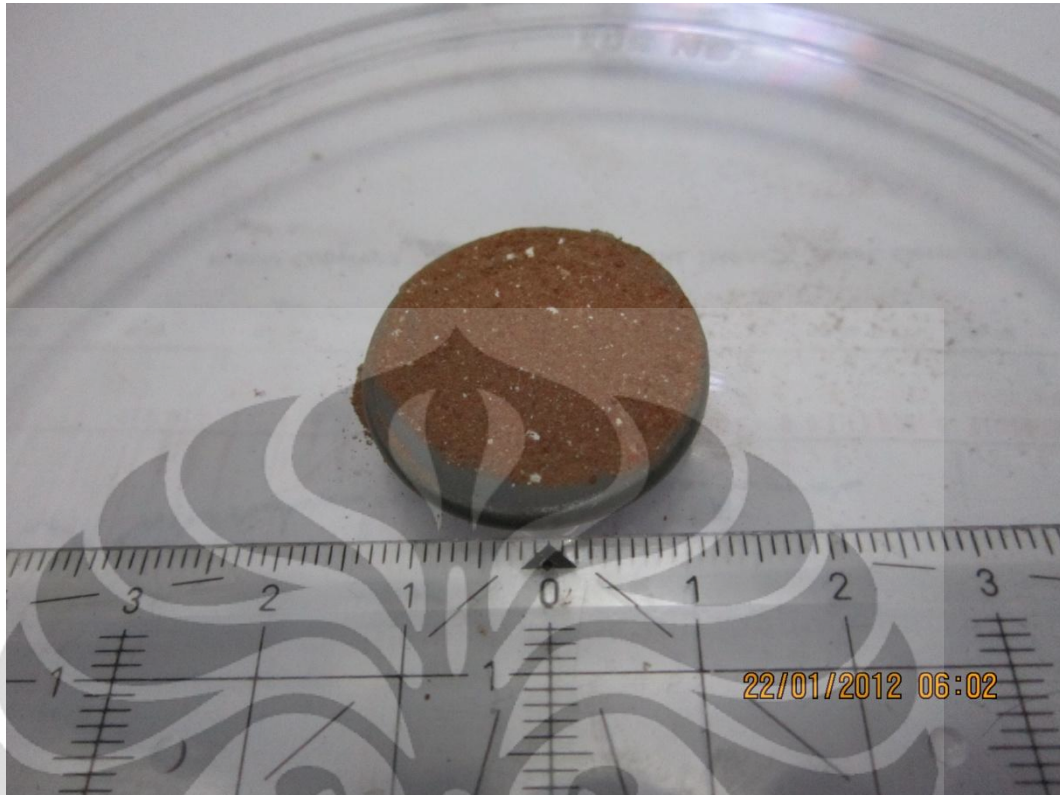
Gambar 4.9 Tampilan fisik sampel pertama yang telah di-*press*



Gambar 4.10 Tampilan fisik sampel kedua yang telah di-press



Gambar 4.11 Tampilan fisik sampel ketiga yang telah di-press



Tanggal 4.12 Tampilan fisik sampel keempat yang telah di-*press*

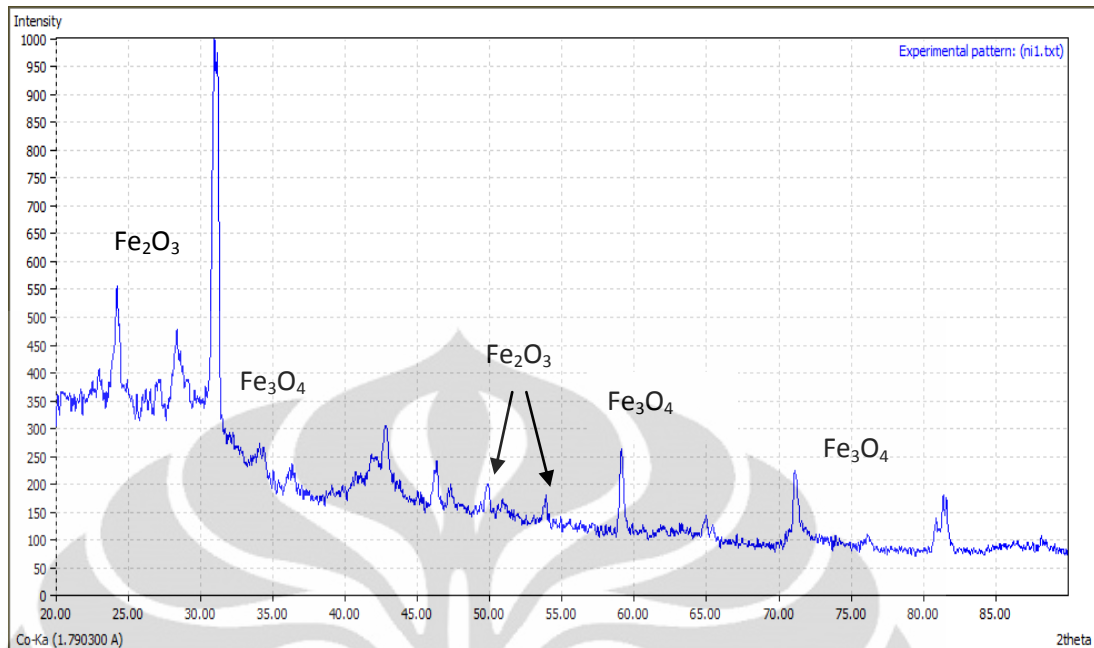
4.5 Hasil Pengujian XRD Sampel Reduksi *Roasting*

Proses untuk mengidentifikasi senyawa yang terbentuk dari proses reduksi langsung ini maka saya menggunakan dua literatur yang sudah menjadi paten atau standar dari database XRD.

Literatur yang pertama adalah saya mendapatkan literatur berupa database dari alat XRD khusus untuk senyawa FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeNi dan NiO . Literatur tersebut telah lampirkan dalam laporan skripsi saya ini.

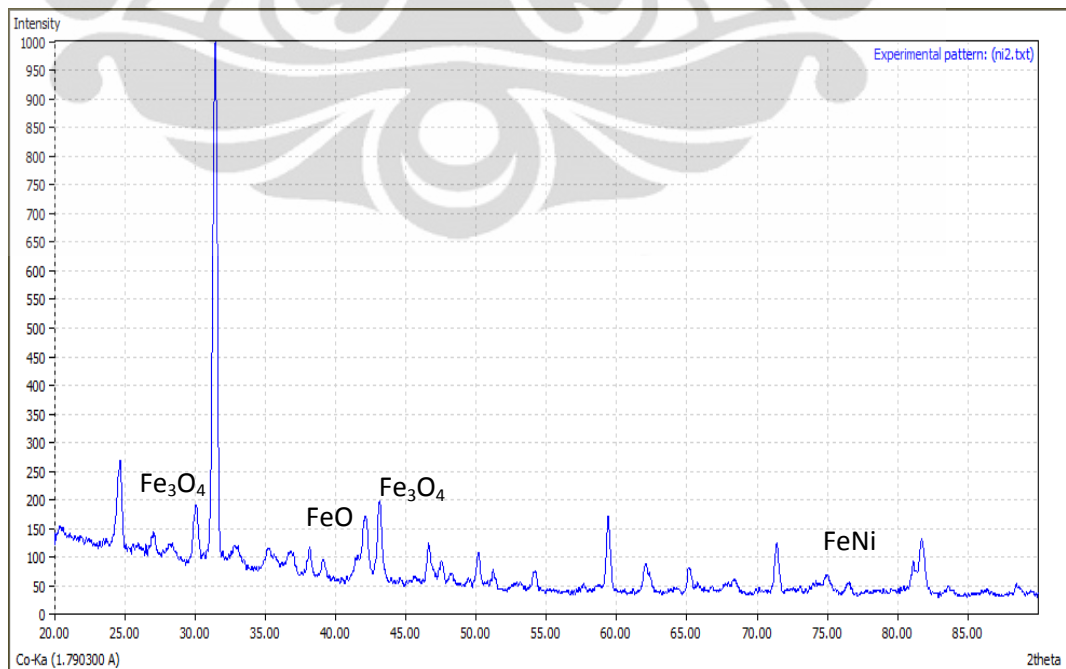
Cara penggunaannya adalah dengan menyamakan *peak-peak* yang ada di literatur dengan yang ada di grafik.

Cara lain yang saya gunakan adalah dengan menggunakan software Match!. Software ini akan menunjukkan senyawa yang terbentuk pada sampel kita. Sama seperti yang pertama, kita harus menyamakan *peak-peak* yang terdapat pada grafik kita.



Gambar 4.13 Hasil XRD untuk sampel 1

Pada grafik hasil XRD diatas, dapat dilihat bahwa tidak terbentuk FeNi. Hal ini dikarenakan, tidak ada proses pemanggangan atau reduksi pada sampel ini. Sehingga yang terbentuk adalah bentuk oksida dari Fe, seperti Fe_2O_3 , Fe_3O_4 dan FeO .

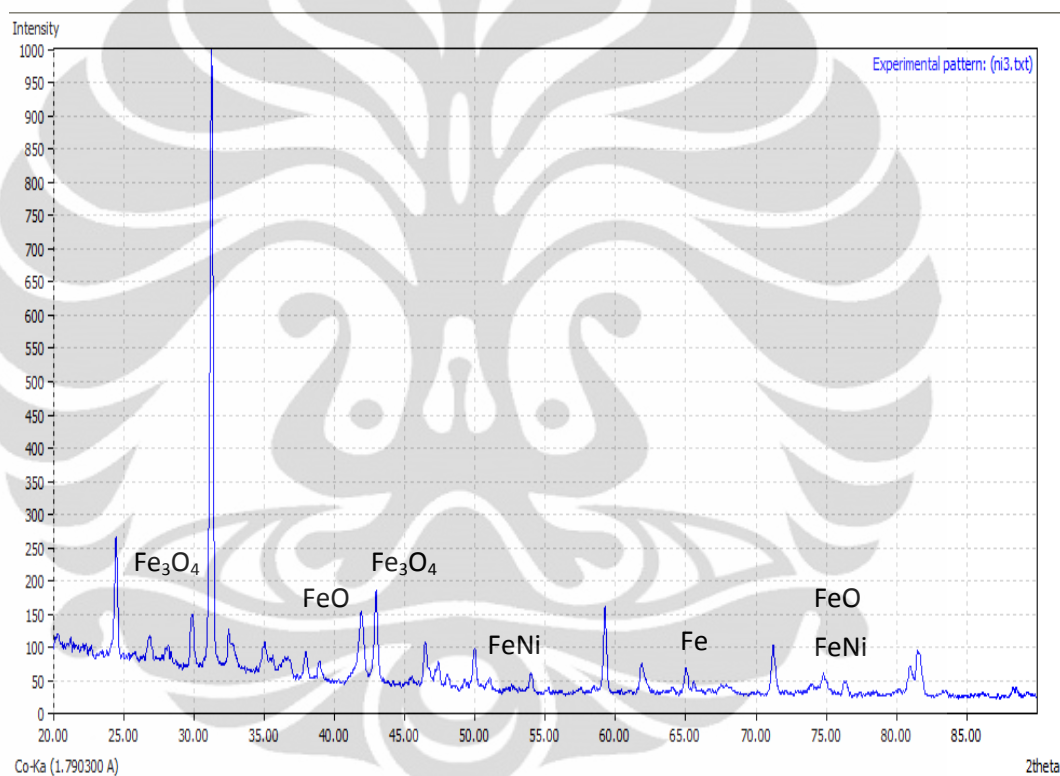


Gambar 4.14 Hasil XRD untuk sampel 2

Pada grafik XRD untuk sampel kedua, terjadi transformasi fasa dimana, Fe_3O_4 sudah mulai berkurang dan mulai terbentuk FeO . Hal ini dikarenakan terjadinya reduksi.

Dan juga sudah mulai terbentuk FeNi . Tapi masih dalam jumlah yang dikit.

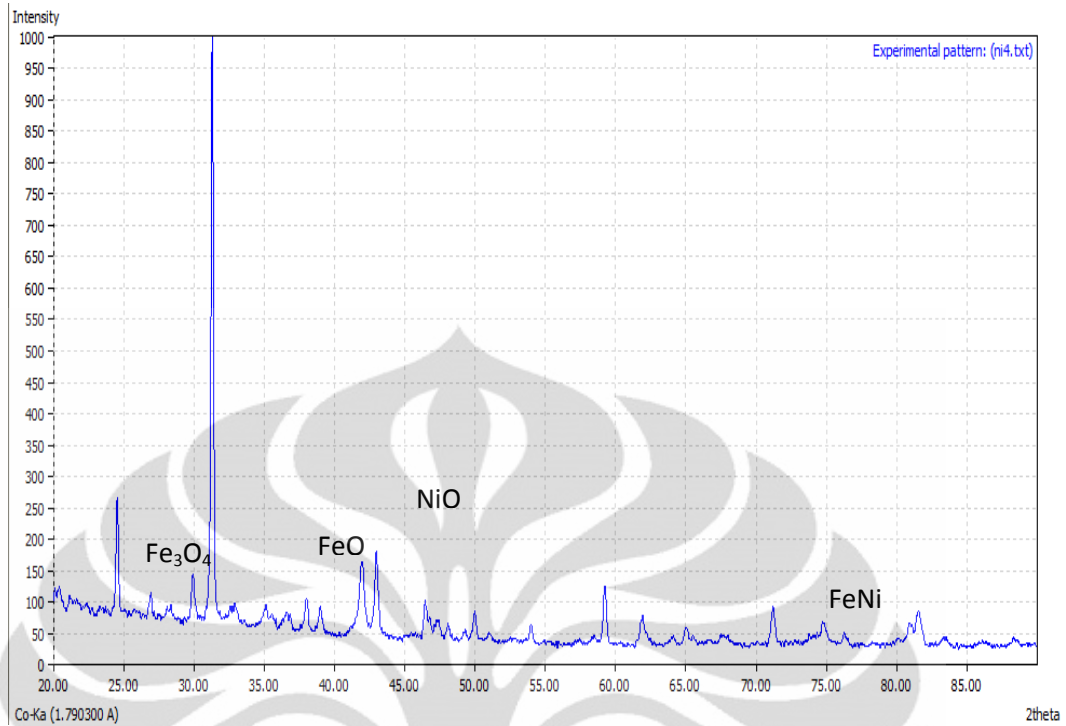
Selain itu, Fe_2O_3 sudah mulai hilang. Kemungkinan karena sudah berubah menjadi Fe_3O_4 .



Gambar 4.15 Hasil XRD untuk sampel 3

Pada grafik diatas, terjadi transformasi fasa, dimana Fe_3O_4 sudah mulai berkurang dan terbentuk FeO . Hal ini membuktikan terjadinya transformasi fasa terhadap penelitian ini.

Selain itu, FeNi sudah mulai banyak terbentuk. Tetapi karena waktu tahan yang makin lama, maka mulai terbentuk Fe hasil dari reduksi FeO .

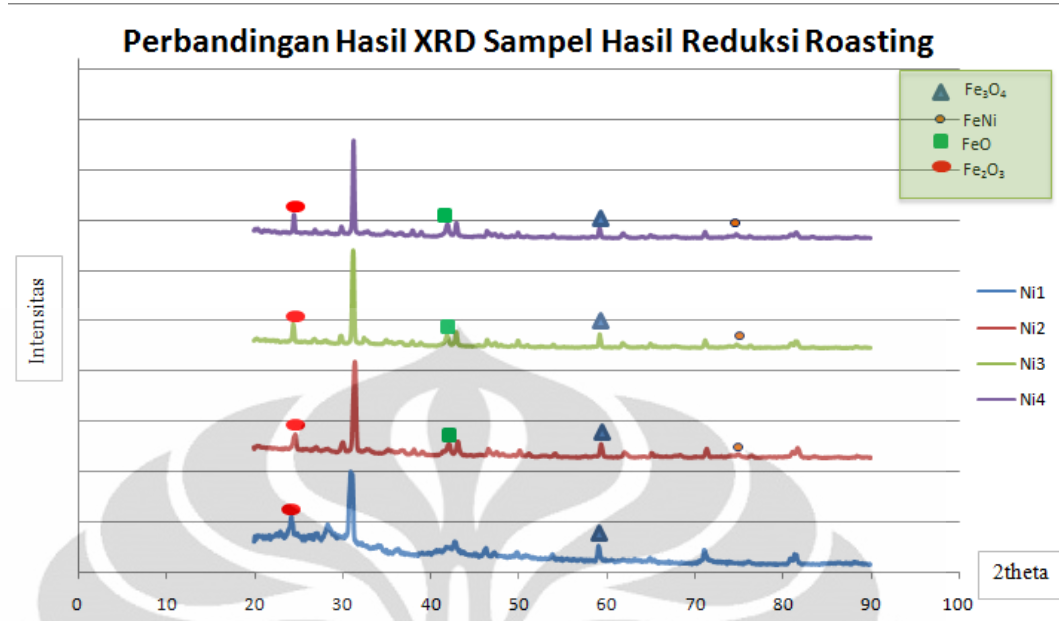


Gambar 4.16 Hasil XRD untuk sampel 4

Dari grafik hasil XRD untuk sampel keempat, terlihat bahwa FeNi semakin bertambah. Hal ini terlihat dari *peak* grafik yang semakin tinggi dibandingkan dengan sampel ketiga. NiO juga semakin banyak. Hal ini dikarenakan pada suhu dan waktu penahanan yang semakin lama, menyebabkan unsur karbon akan habis teroksidasi.

Selain itu juga Fe₃O₄ yang semakin berkurang jumlahnya. Hal tersebut dapat dilihat dari *peak* yang semakin rendah.

Dan juga bagaimana FeO yang semakin bertambah dengan semakin tingginya *peak* dari unsur tersebut. Hal ini membuktikan bahwa terjadi transformasi fasa dari proses reduksi sampel tersebut.



Gambar 4.17 Perbandingan Hasil XRD sampel

Dari hasil grafik diatas, dapat dilihat beberapa perubahan fasa yang terjadi akibat dari proses reduksi pada suhu tinggi, yaitu 1000°C . Transformasi fasa tersebut terlihat dari peak yang timbul pada tiap sampel hasil reduksi. Setelah dilakukan proses reduksi pada suhu tinggi maka fasa yang terbentuk adalah FeNi, FeO. Sedangkan Fe_3O_4 mengalami bertambah akibat proses reduksi. Hal ini berkebalikan dengan fasa Fe_2O_3 . Dimana semakin lama waktu tahan, maka fasa tersebut yang muncul semakin sedikit.^[22]

BAB 5

KESIMPULAN

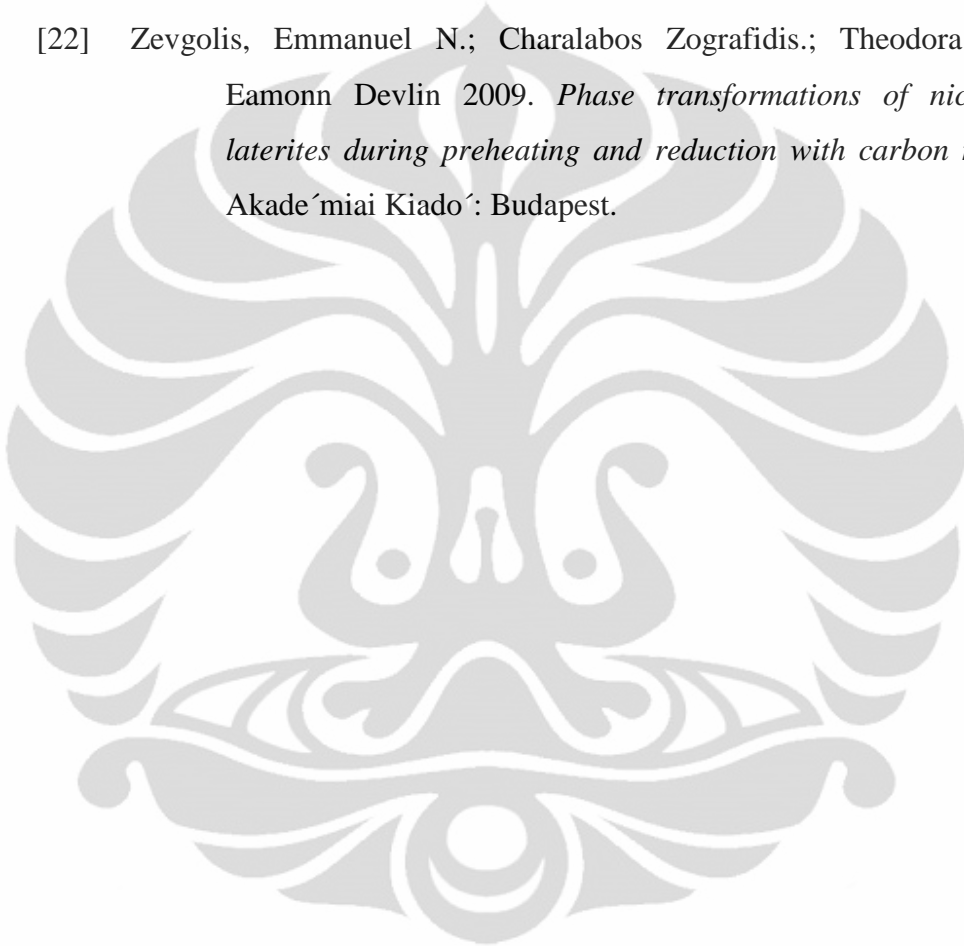
1. Proses separasi dengan menggunakan fluida air atau disebut dengan *float-sink process* terbukti dapat mengurangi pengotor-pengotor (*gangue*) yang terdapat pada bijih *saprolite*.
2. Proses reduksi *roasting* pada temperatur 1000°C dengan waktu tahan tertentu dapat menyebabkan transformasi fasa pada bijih *saprolite*.
3. Proses reduksi *roasting* pada temperatur 1000°C dengan waktu tahan semakin lama, menyebabkan unsur karbon akan habis teroksidasi.
4. Dengan menggunakan dua proses ini, yaitu *Float-Sink Process* dan *Roasting Reduction* terbukti dapat membentuk fasa baru yang sangat dibutuhkan untuk aplikasi. Fasa itu adalah *ferro-nickel* (FeNi).

REFERENSI

- [1] Commodities Insight of Nickel by Mandiri.
www.bankmandiri.co.id/indonesia/eriview-pdf/LLBI27259085.pdf.
Diunduh tanggal 16 Desember 2011 Pukul 09:24.
- [2] <http://m.inilah.com/read/detail/1798781/pip-dukung-larangan-ekspor-bahan-mentah-tambang>. *Searching* pada 16 Desember 2011.
- [3] Josowidagdo, Landjono. Stud Karakteristik Terak Proses Proses Pembuatan Baja Anti-Karat Austenitik Pada Peleburan Fe-Ni Pomalaa. Jurnal Saint dan Teknologi BPPT. Pustaka IPTEK
- [4] Laporan Tahunan 2010 *Annual Report* PT. Antam (Persero) Tbk.
http://www.antam.com/images/stories/joget/file/annual/2010/AR_Antam_2010.pdf
- [5] Binudi. R., dkk., “Pengolahan Laterit Besi”, Proyek Penelitian dan Pengembangan Material LIPI, 1997.
- [6] Sudrajat, A. 1999. *Teknologi dan Sumber Daya Mineral*. Penerbit ITB. Bandung.
- [7] Bolt, B. A. Horn, W. L. Macdonald, G. A & Scott, R. F. 1977. *Geological Hazards*. Springer-Verlag.
- [8] Friedrich, G., Wilcke, J., Marker, A., Hock, M., Oh, J. 1984. *Untersuchungen natfirlicher Vorkommen yon Chromitanreicherungen in alteritischen B6den und ultramafischen Ausgangsgesteinen. - AbschlUBbericht BMFT-Forschungsprojekt R214*, Inst. Fiir Mineralogie und Lagerst/ittenlehre der TU Aachen.

- [9] Totok,D., Friedrich,G., 1988. *Chormit Potential of the Nickel Laterite Deposits of Gebe,Mollucas (Indonesia)*. *Erzmetali* 41 (1988) Nr. 11, pp 564-569
- [10] Gunawan, Jennifer. 2011. Second Year Training Report: Study On Dissolution Kinetics Nickel Laterite Ore At Atmospheric Pressure In Acid Sulphuric Media. Ecole Centrale Marseille.
- [11] Waheed Ahmad, *Nikel Laterite Manual*, 2001,.
- [12] Bardrun, Jumahir. 2011. Studi Preparasi Sampel Endapam Nikel Laterit Hasil Pemboran Eksplorasi Pada PT. Weda Bay Nickel Kecamatan Weda Tengah. Universitas Muhhamadiyah Maluku Utara.
- [13] Lars Stixrude; Evgeny Wasserman and Ronald Cohen (November 1997). "Composition and temperature of Earth's inner core". *Journal of Geophysical Research* (American Geophysical Union) **102** (B11): 24729–24740.
- [14] Scerri, Eric R. (2007). *The periodic table: its story and its significance*. Oxford University Press. pp. 239–240.
- [15] Siti Fatimah, Soja., *Sebaran Dan Ekstraksi Unsur-Unsur Logam*. FMIPA.UPI.
- [16] Heins,R.A.; P.M. Grady.; R.L. Langa., *Measurement Systems for Gravity Circuit Performance : A New Approach*.
- [17] Callister, William D. Jr. *An Introduction Materials Science and Engineering*. 7rd Edition. Mc-Graw Hill. 2007.
- [18] Greenwood, Norman N.; Earnshaw, Alan (1997). *Chemistry of the Elements* (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- [19] Baird T., Fryer J. R., and Grant, B. (1974) *Carbon*, 12, 591-602.

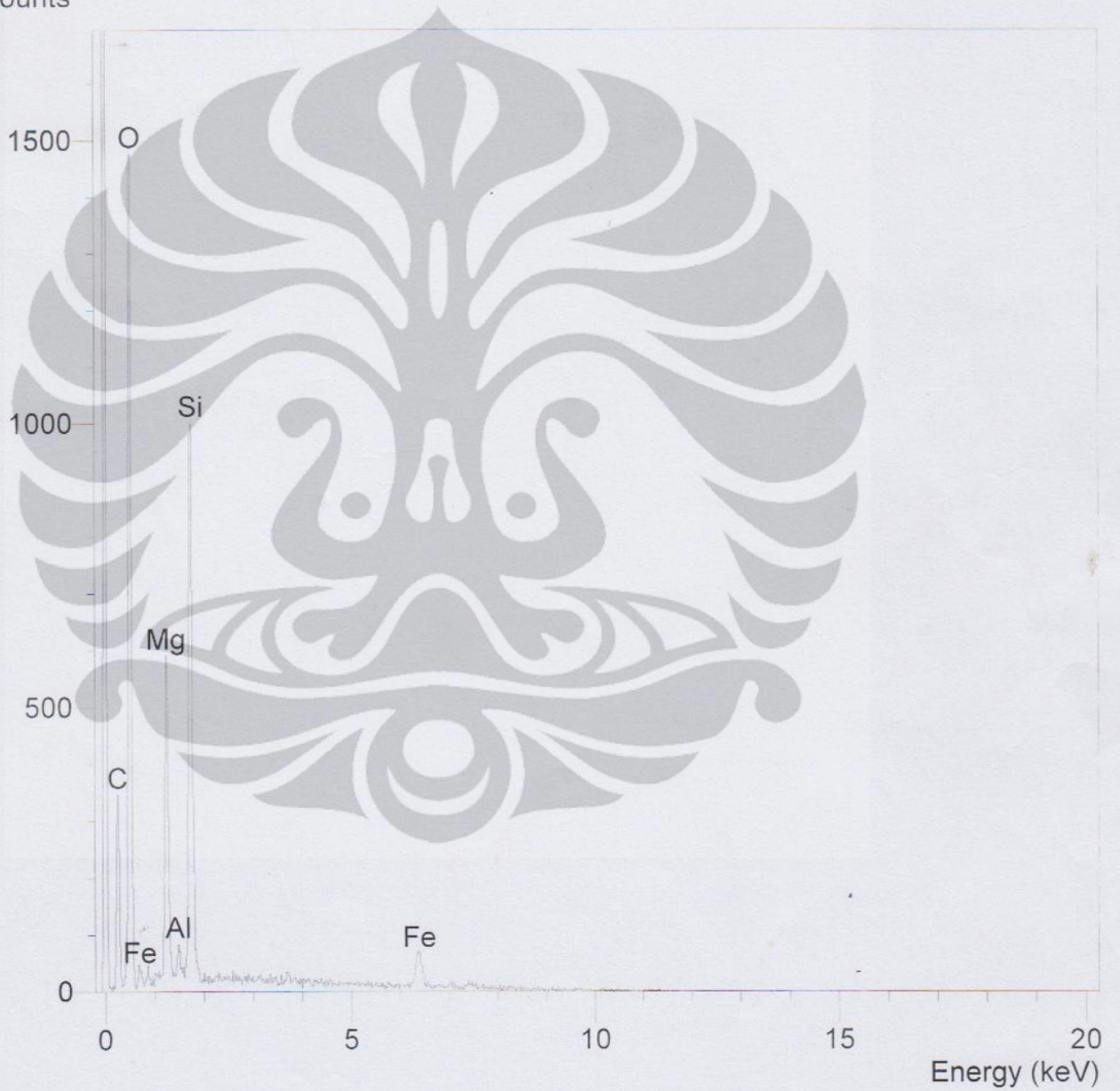
- [20] Orr, P. J.; Kearns, S. L. (2011). "X-Ray Microanalysis of Burgess Shale and Similarly Preserved Fossils". *Quantifying the Evolution of Early Life*. Topics in Geobiology. **36**. pp. 271–299.
- [21] Azároff, L. V.; R. Kaplow, N. Kato, R. J. Weiss, A. J. C. Wilson, R. A. Young (1974). *X-ray diffraction*. McGraw-Hill.
- [22] Zevgolis, Emmanuel N.; Charalabos Zografidis.; Theodora Perraki.; Eamonn Devlin 2009. *Phase transformations of nickeliferous laterites during preheating and reduction with carbon monoxide*. Akadémiai Kiadó: Budapest.





Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
saprolit-1 (28/12/11 14:02)

Counts



SEMQuant results. Listed at 13:47:13 on 29/12/11
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: saprolit-1

System resolution = 60 eV

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

Standards :

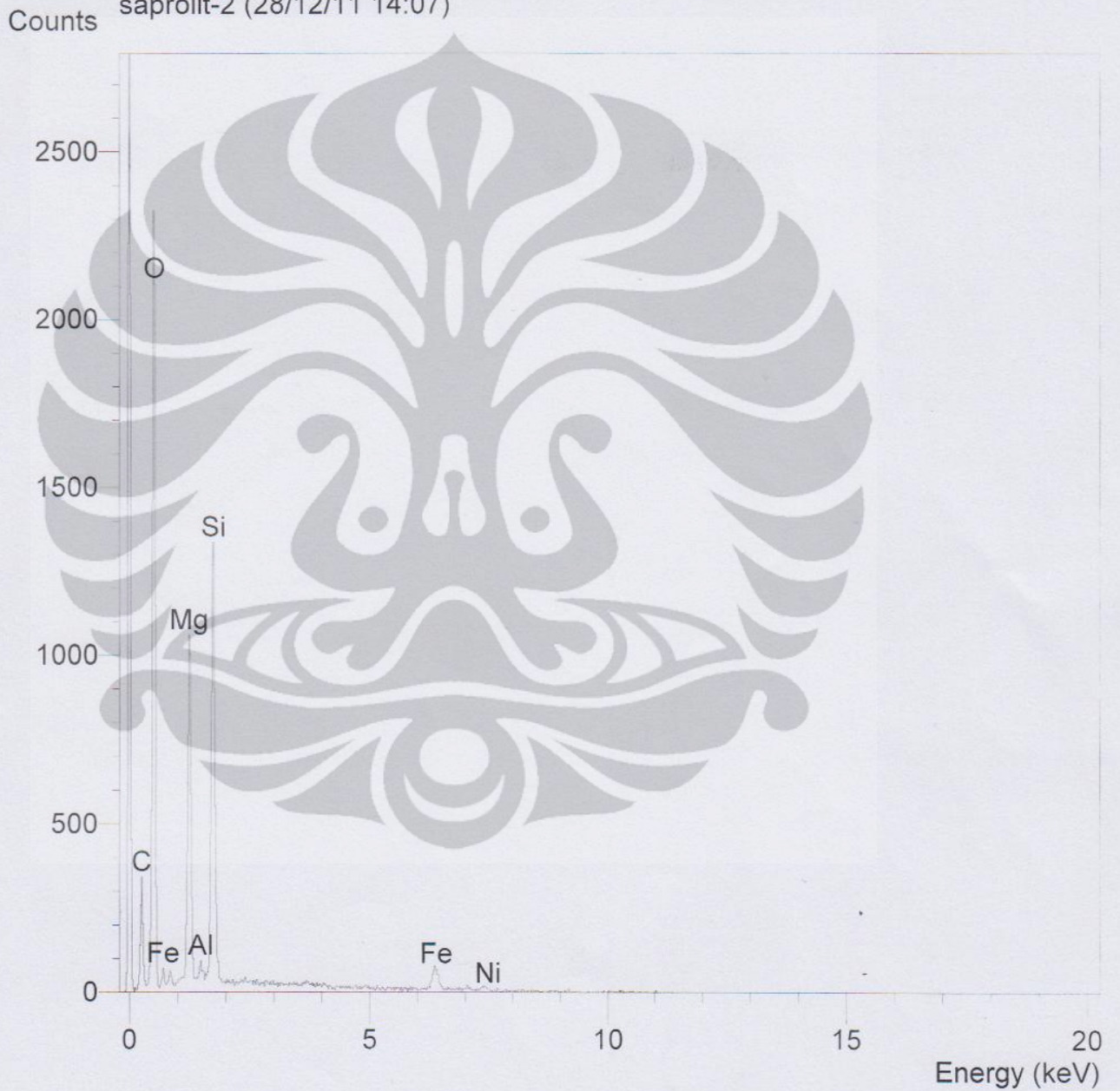
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.23	3.71
O K	ED	52.65	65.83
Mg K	ED	11.73	9.65
Al K	ED	1.89	1.40
Si K	ED	22.93	16.34
Fe K	ED	8.57	3.07
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
saprolit-2 (28/12/11 14:07)



SEMQuant results. Listed at 13:47:26 on 29/12/11
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: saprolit-2

System resolution = 61 eV

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

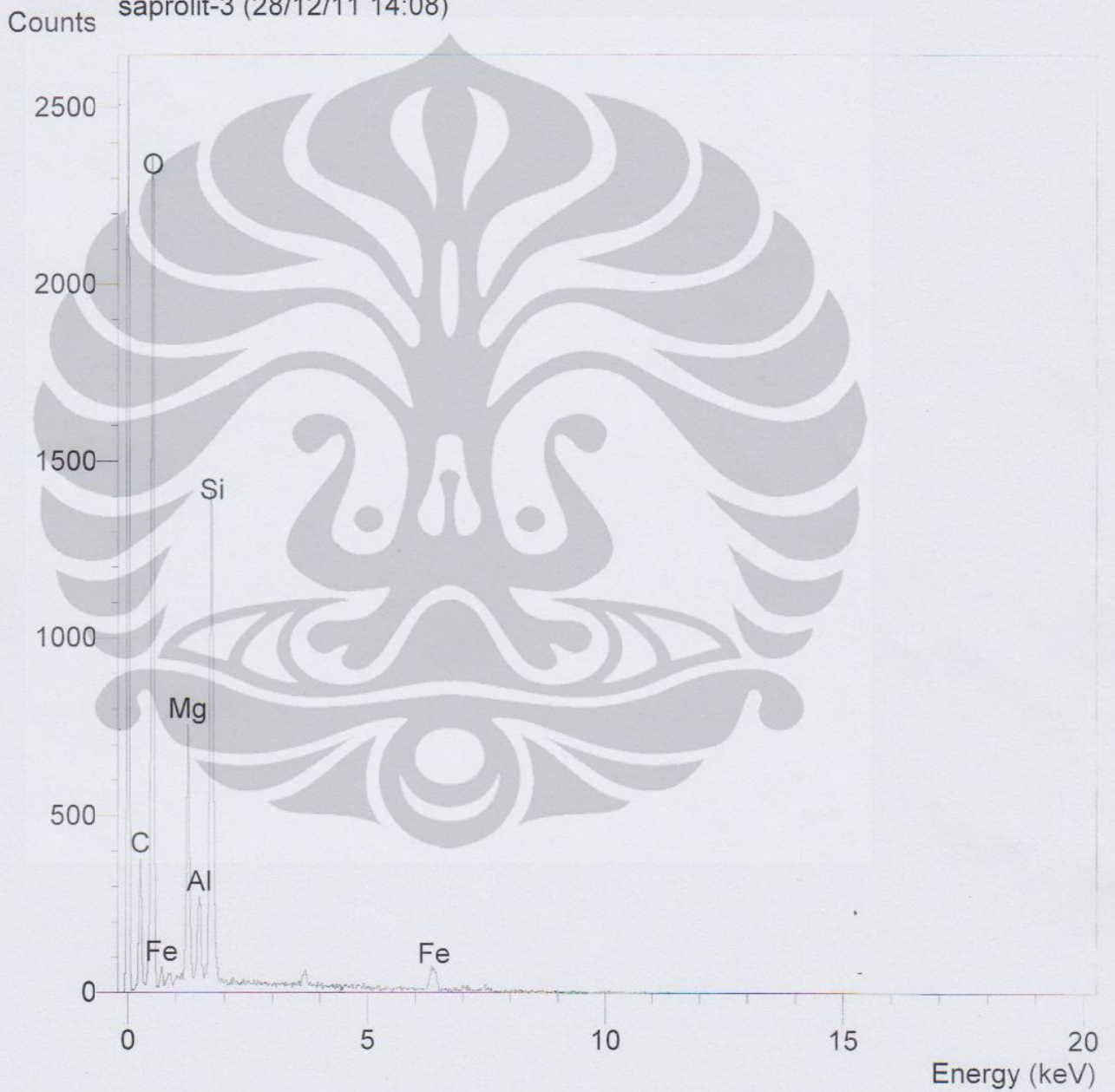
Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
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
Ni K Nickel 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.19	3.68
O K	ED	51.29	64.82
Mg K	ED	14.86	12.36
Al K	ED	1.32	0.99
Si K	ED	20.23	14.57
Fe K	ED	5.84	2.12
Ni K	ED	4.27	1.47
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
saprolit-3 (28/12/11 14:08)



SEMQuant results. Listed at 13:47:49 on 29/12/11
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: saprolit-3

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 3.68 keV

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	1.55	2.55
O K	ED	54.33	67.25
Mg K	ED	9.44	7.69
Al K	ED	6.93	5.09
Si K	ED	21.63	15.25
Fe K	ED	6.13	2.17
Total		100.00	100.00

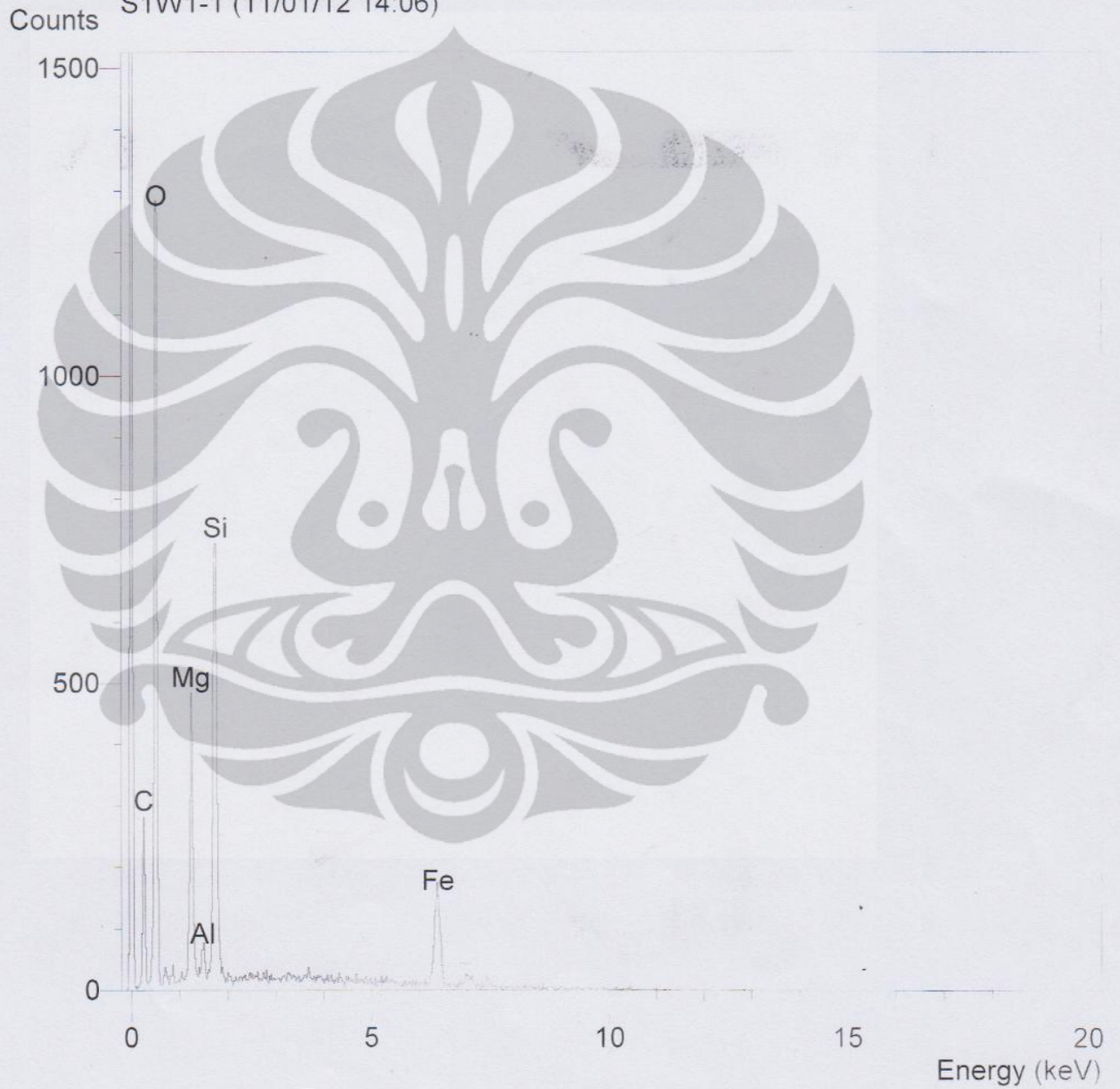
* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin

Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job : Energy Dispersive X-ray Analysis

S1W1-1 (11/01/12 14:06)



SEMQuant results. Listed at 11:15:50 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W1-1

System resolution = 60 eV

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

Standards :

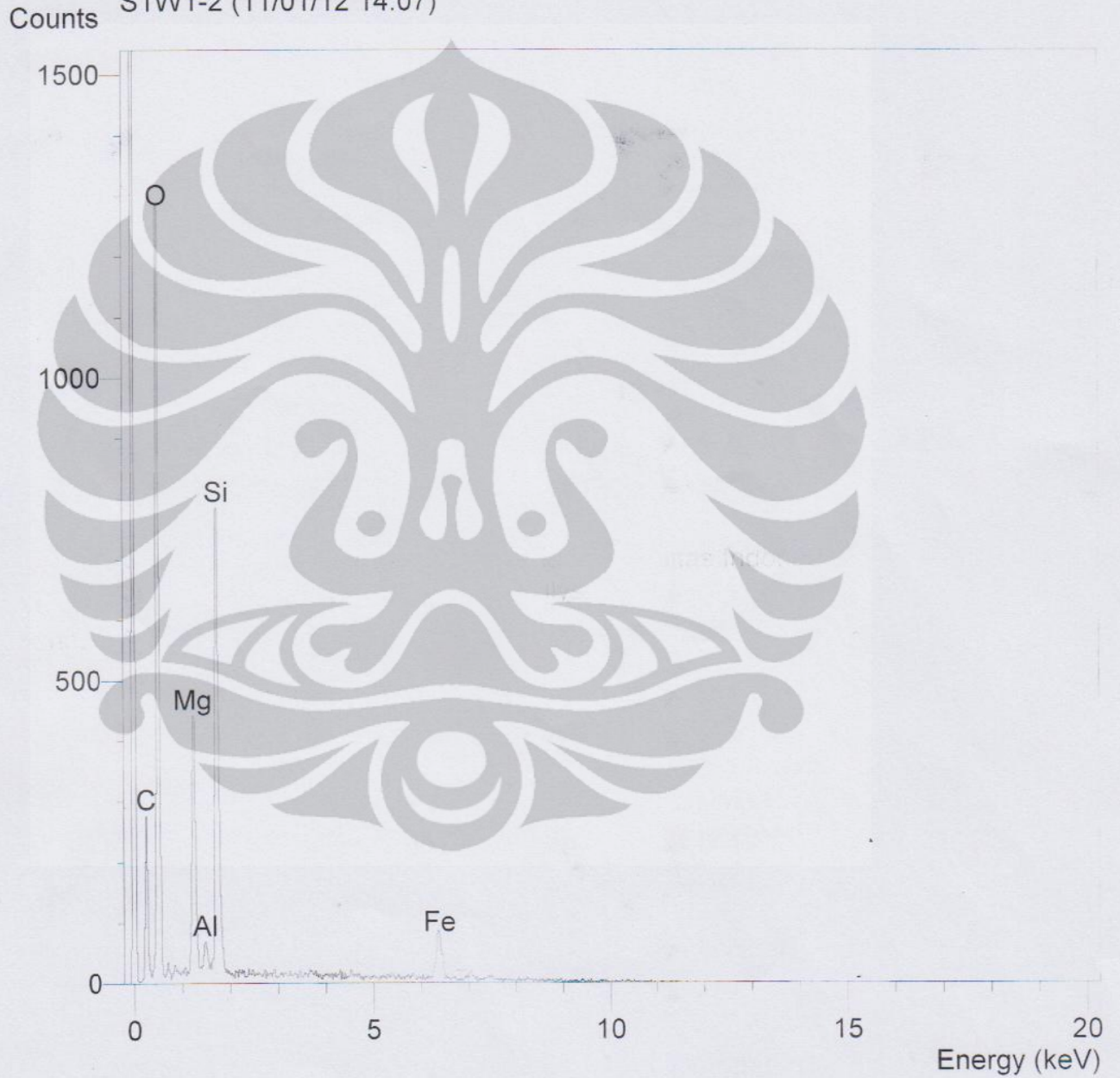
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.64	3.03
O K	ED	44.77	62.06
Mg K	ED	10.55	9.63
Al K	ED	2.24	1.84
Si K	ED	18.41	14.54
Fe K	ED	22.38	8.89
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W1-2 (11/01/12 14:07)



SEMQuant results. Listed at 11:15:58 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W1-2

System resolution = 60 eV

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

Standards :

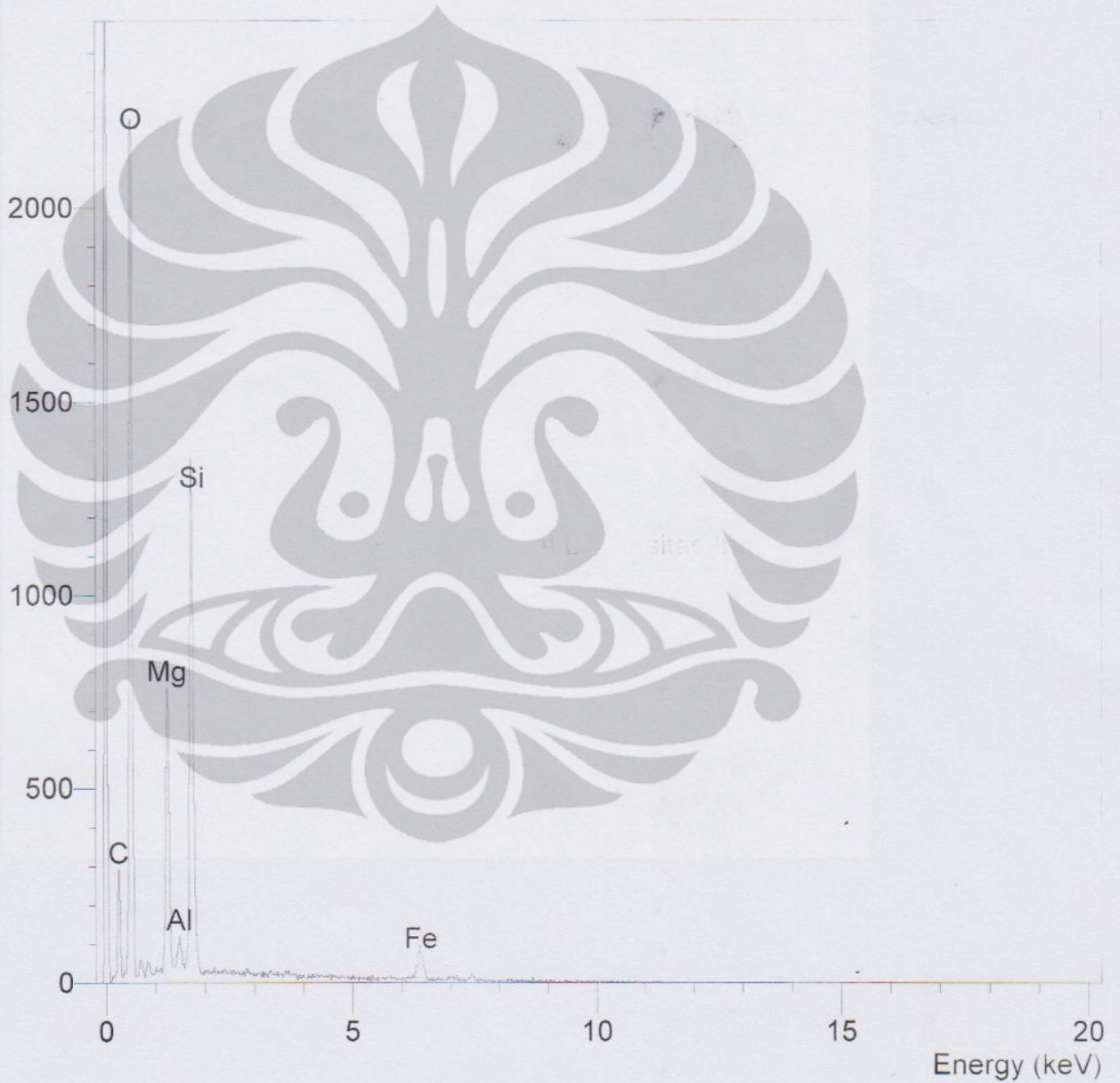
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	3.73	6.32
O K	ED	49.79	63.22
Mg K	ED	11.16	9.32
Al K	ED	2.34	1.76
Si K	ED	20.55	14.86
Fe K	ED	12.42	4.52
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W1-3 (11/01/12 14:08)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:16:04 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W1-3

System resolution = 60 eV

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

Standards :

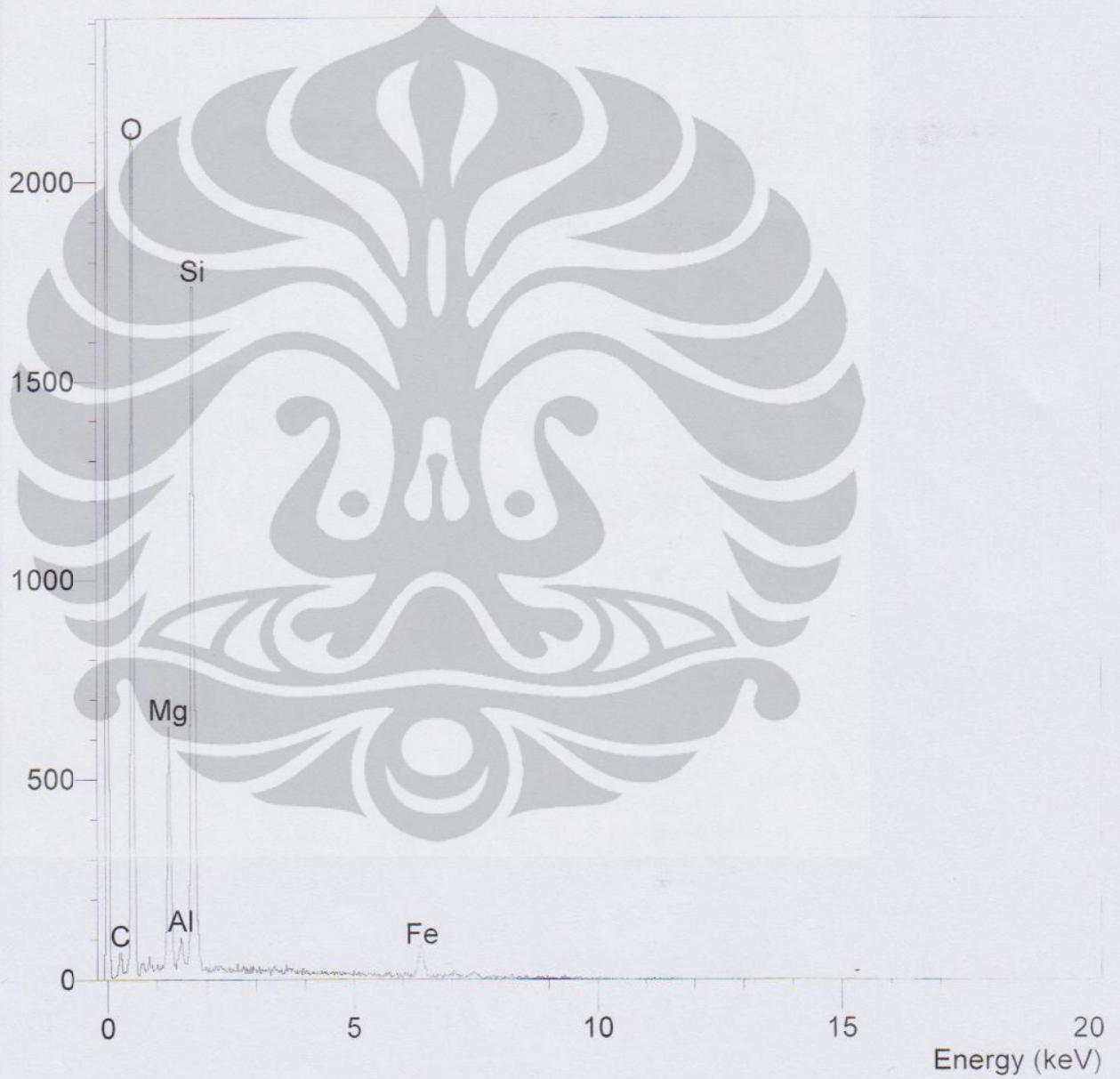
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.32	2.19
O K	ED	55.13	68.46
Mg K	ED	11.34	9.26
Al K	ED	2.44	1.80
Si K	ED	21.91	15.50
Fe K	ED	7.86	2.80
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W2-1 (11/01/12 14:08)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:16:11 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W2-1

System resolution = 60 eV

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

Standards :

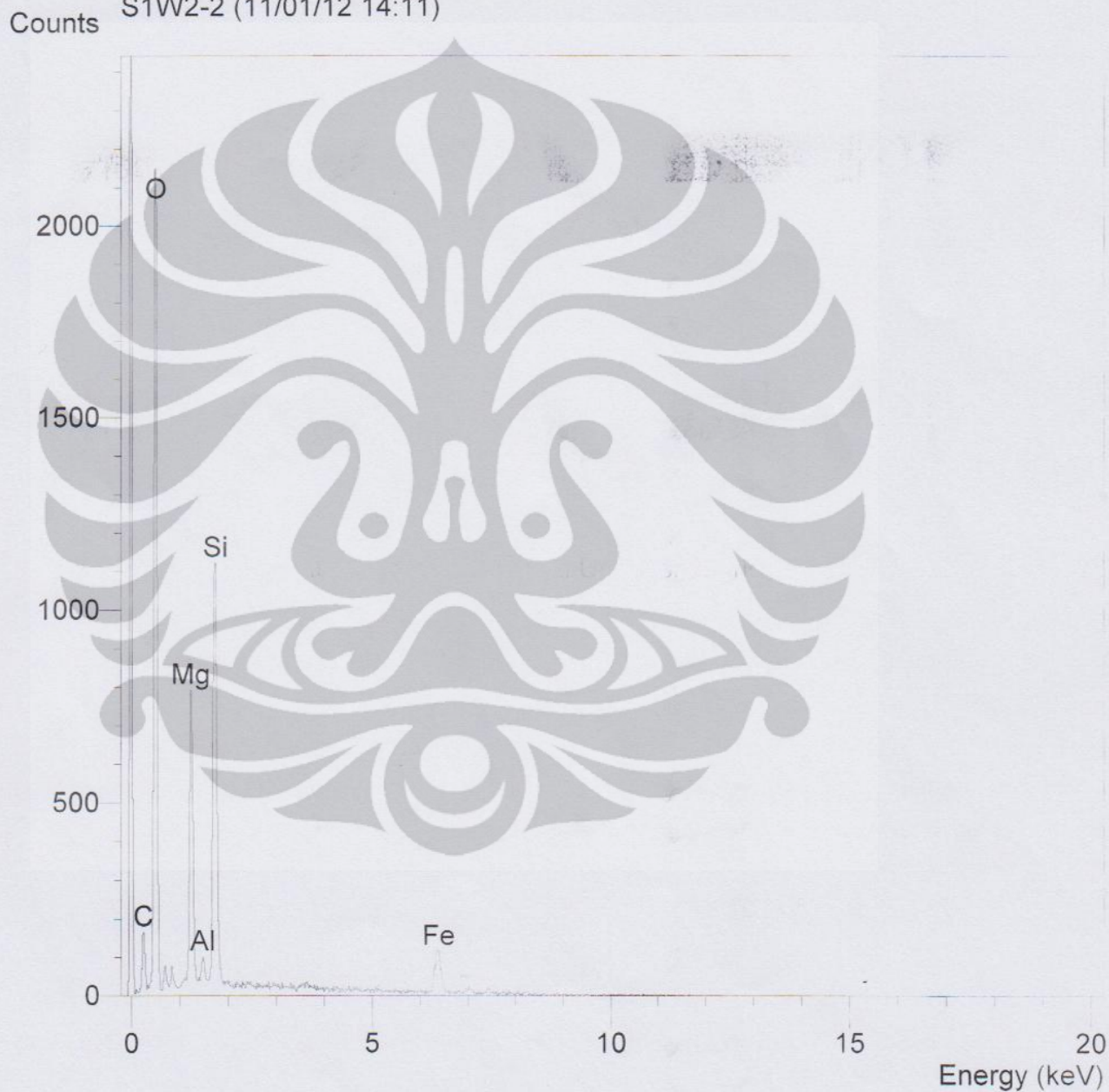
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.41	0.69
O K	ED	53.16	67.40
Mg K	ED	9.19	7.66
Al K	ED	1.90	1.43
Si K	ED	27.79	20.07
Fe K	ED	7.55	2.74
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W2-2 (11/01/12 14:11)



SEMQuant results. Listed at 11:16:17 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W2-2

System resolution = 60 eV

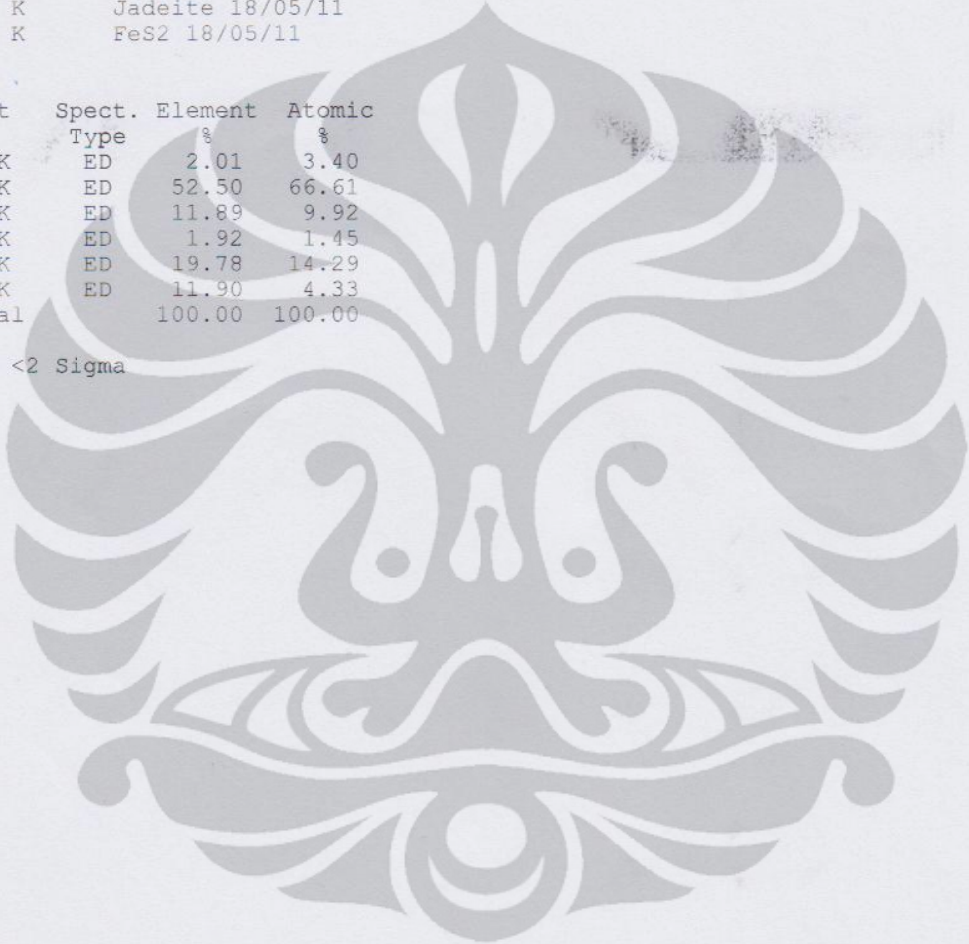
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

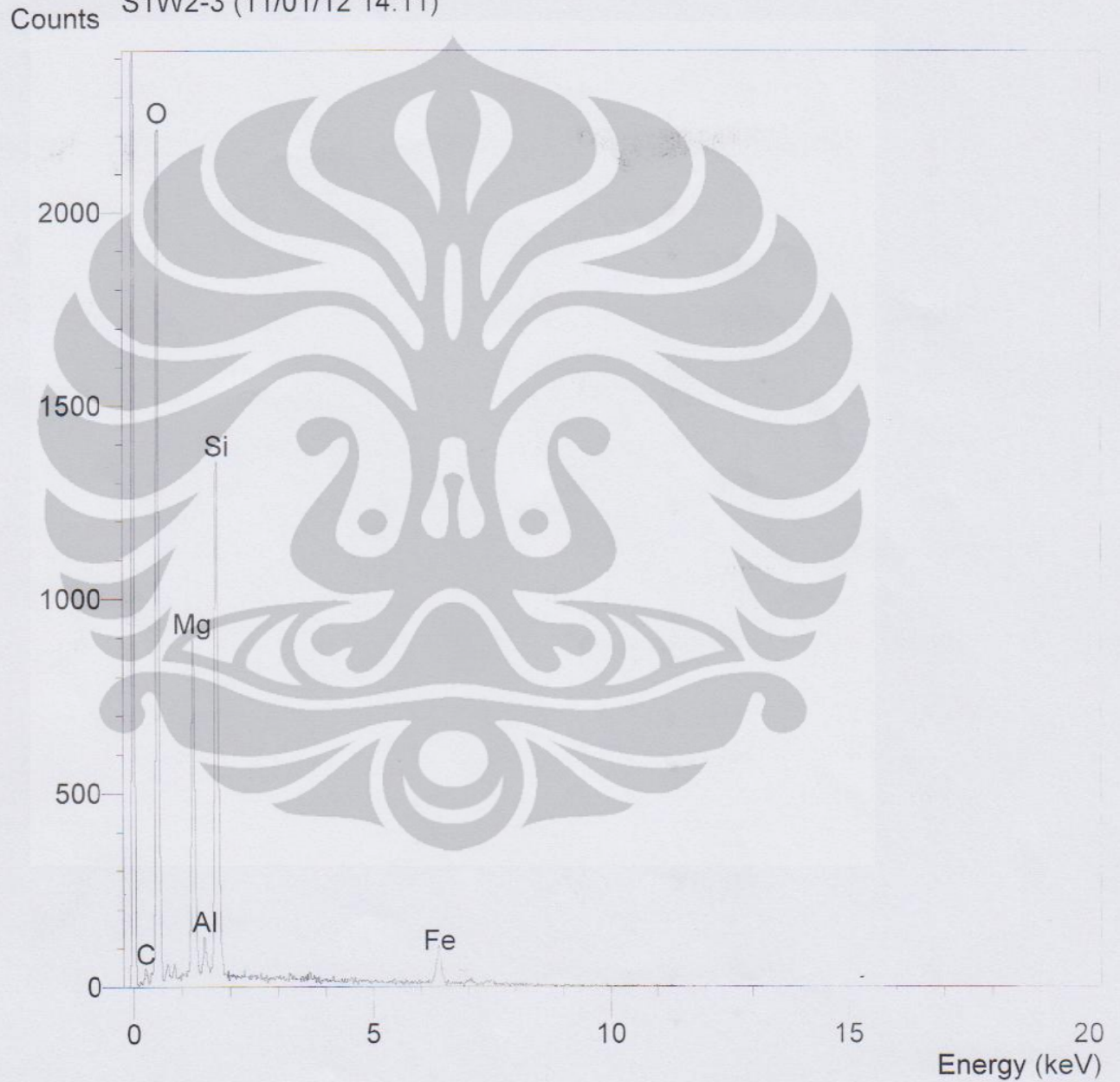
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.01	3.40
O K	ED	52.50	66.61
Mg K	ED	11.89	9.92
Al K	ED	1.92	1.45
Si K	ED	19.78	14.29
Fe K	ED	11.90	4.33
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W2-3 (11/01/12 14:11)



SEMQuant results. Listed at 11:16:24 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W2-3

System resolution = 60 eV

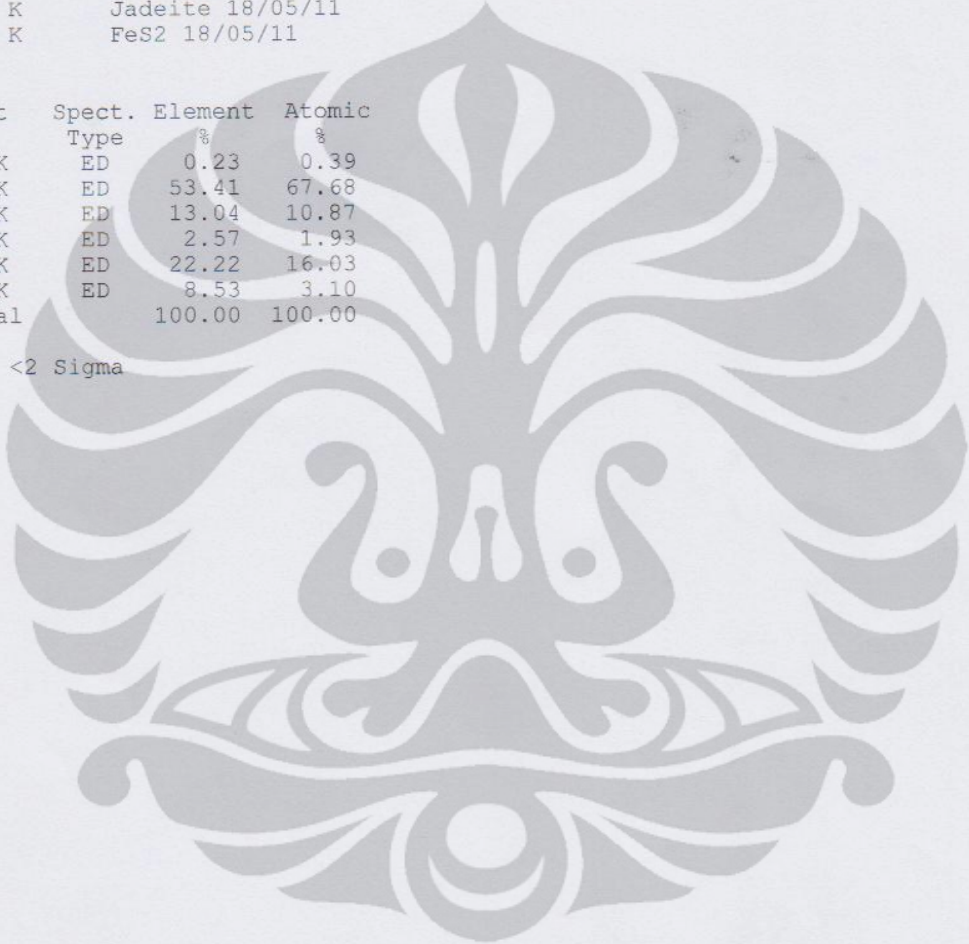
Quantitative method: ZAF (3 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

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

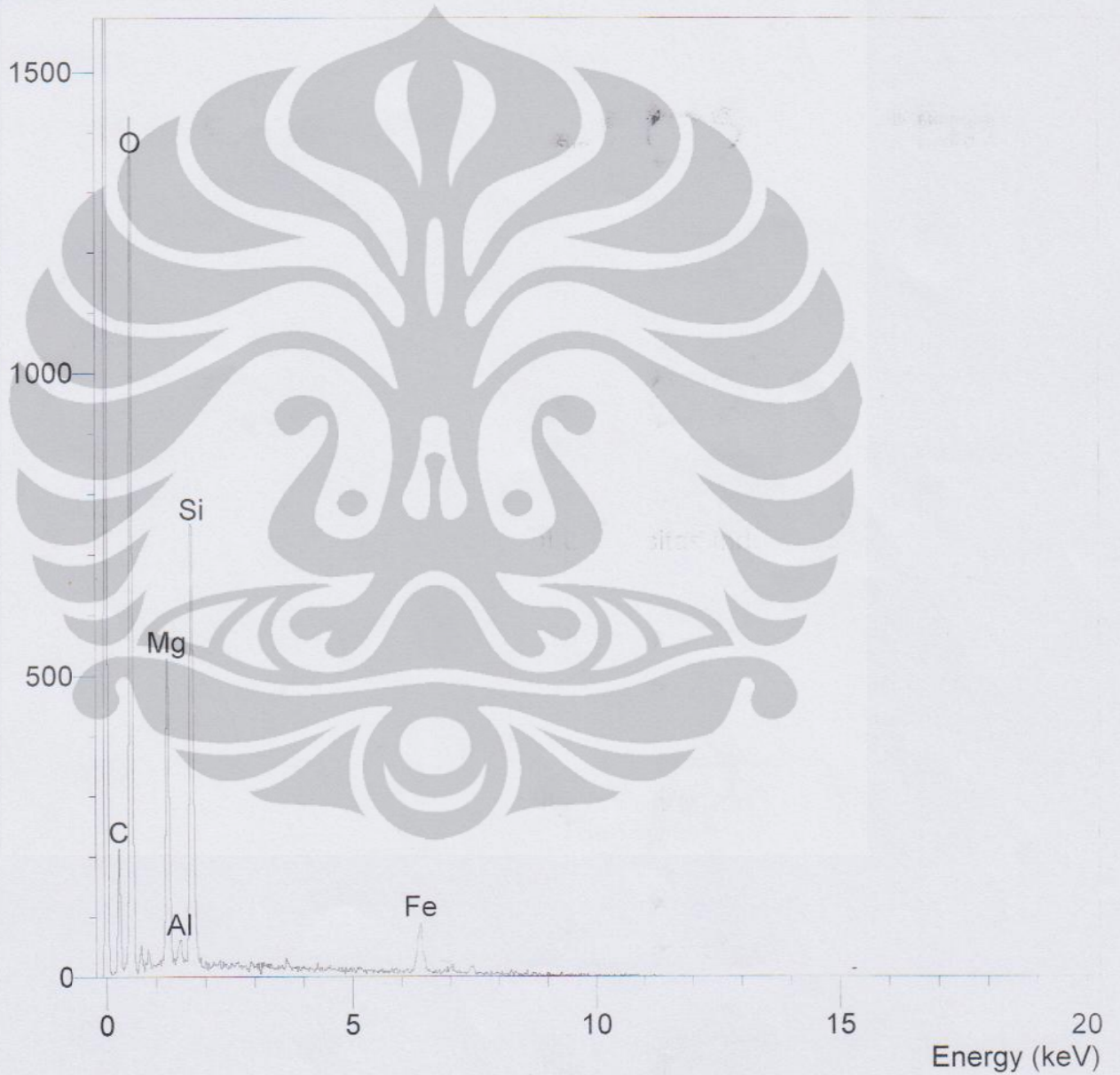
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.23	0.39
O K	ED	53.41	67.68
Mg K	ED	13.04	10.87
Al K	ED	2.57	1.93
Si K	ED	22.22	16.03
Fe K	ED	8.53	3.10
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W3-1 (11/01/12 14:12)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:16:32 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W3-1

System resolution = 60 eV

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

Standards :

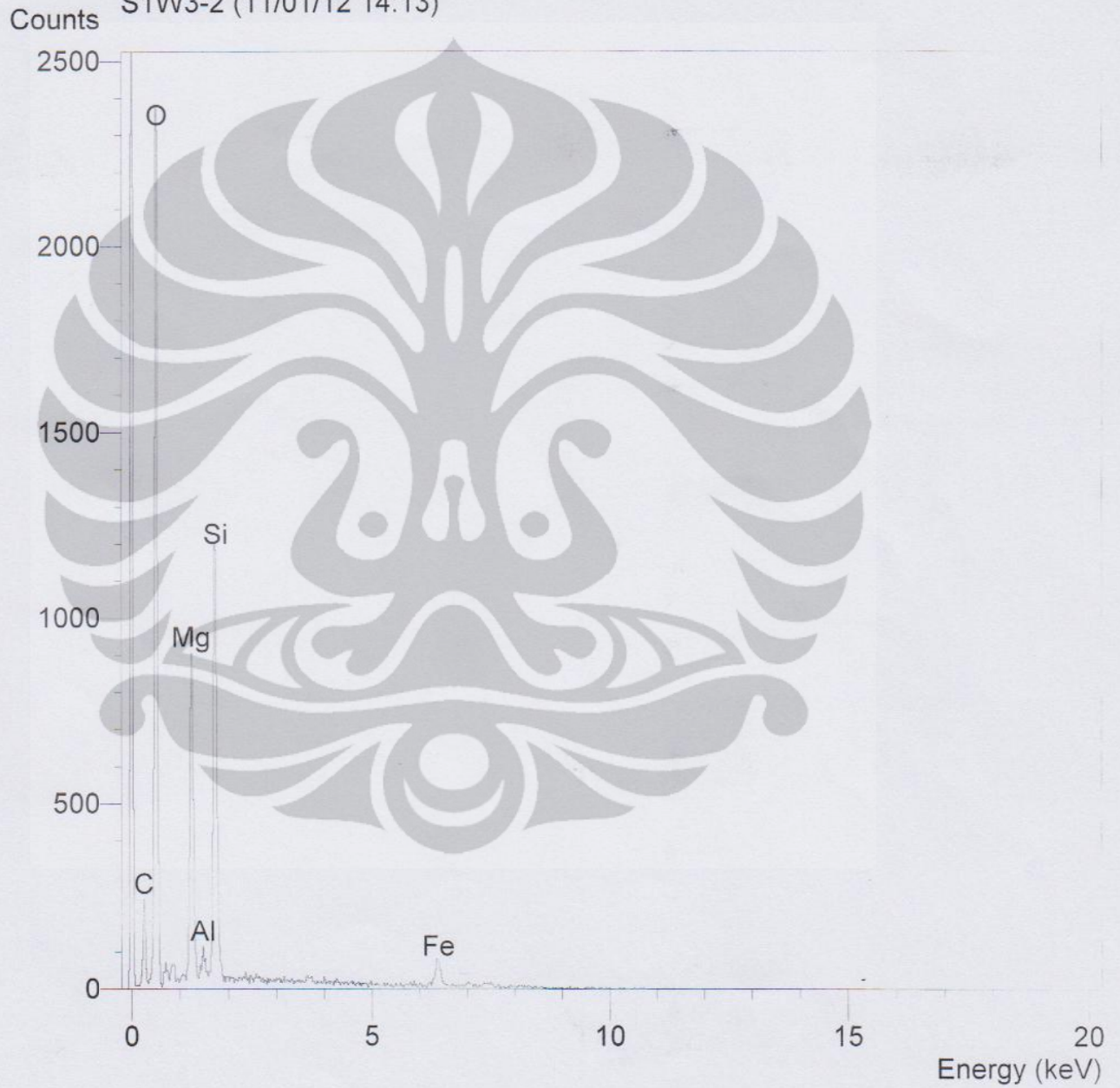
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	1.36	2.30
O K	ED	52.67	67.05
Mg K	ED	12.66	10.60
Al K	ED	2.06	1.55
Si K	ED	19.68	14.27
Fe K	ED	11.57	4.22
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W3-2 (11/01/12 14:13)



SEMQuant results. Listed at 11:16:38 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W3-2

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 3.70 keV

Standards :

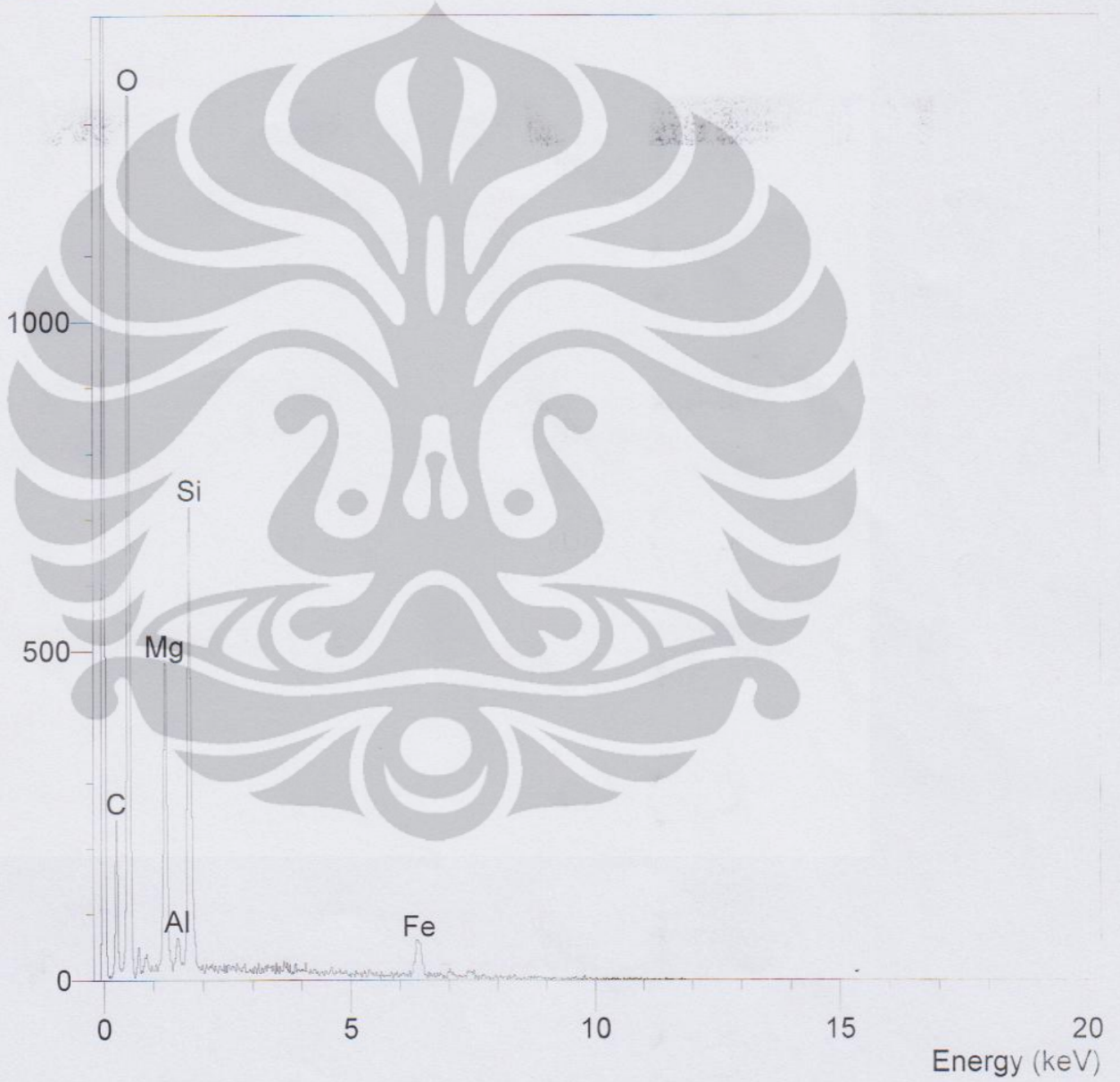
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	1.01	1.65
O K	ED	56.47	69.26
Mg K	ED	13.92	11.23
Al K	ED	2.07	1.51
Si K	ED	20.23	14.13
Fe K	ED	6.30	2.21
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W3-3 (11/01/12 14:14)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:16:46 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W3-3

System resolution = 60 eV

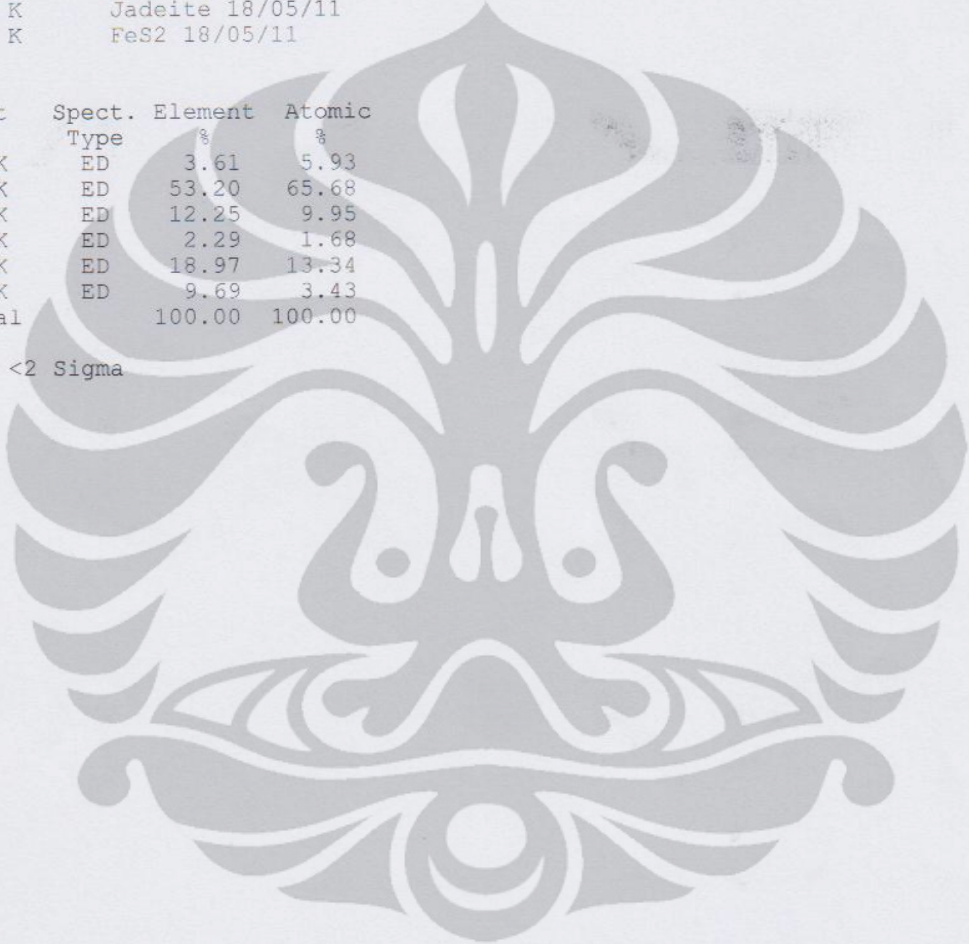
Quantitative method: ZAF (4 iterations).
Analysed all elements and normalised results.

Standards :

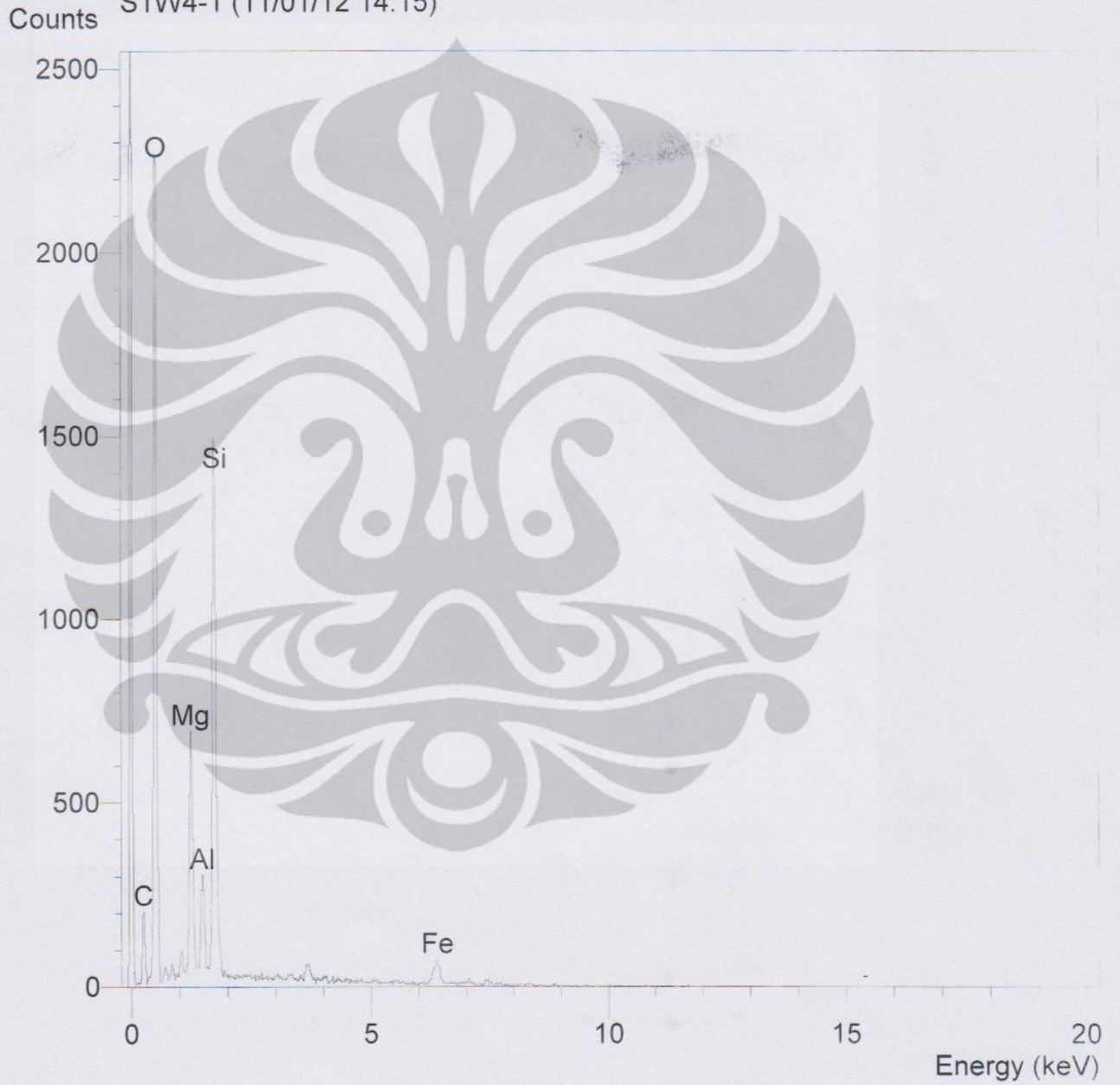
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	3.61	5.93
O K	ED	53.20	65.68
Mg K	ED	12.25	9.95
Al K	ED	2.29	1.68
Si K	ED	18.97	13.34
Fe K	ED	9.69	3.43
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W4-1 (11/01/12 14:15)



SEMQuant results. Listed at 11:16:53 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W4-1

System resolution = 60 eV

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

2 peaks possibly omitted: 3.32, 3.68 keV

Standards :

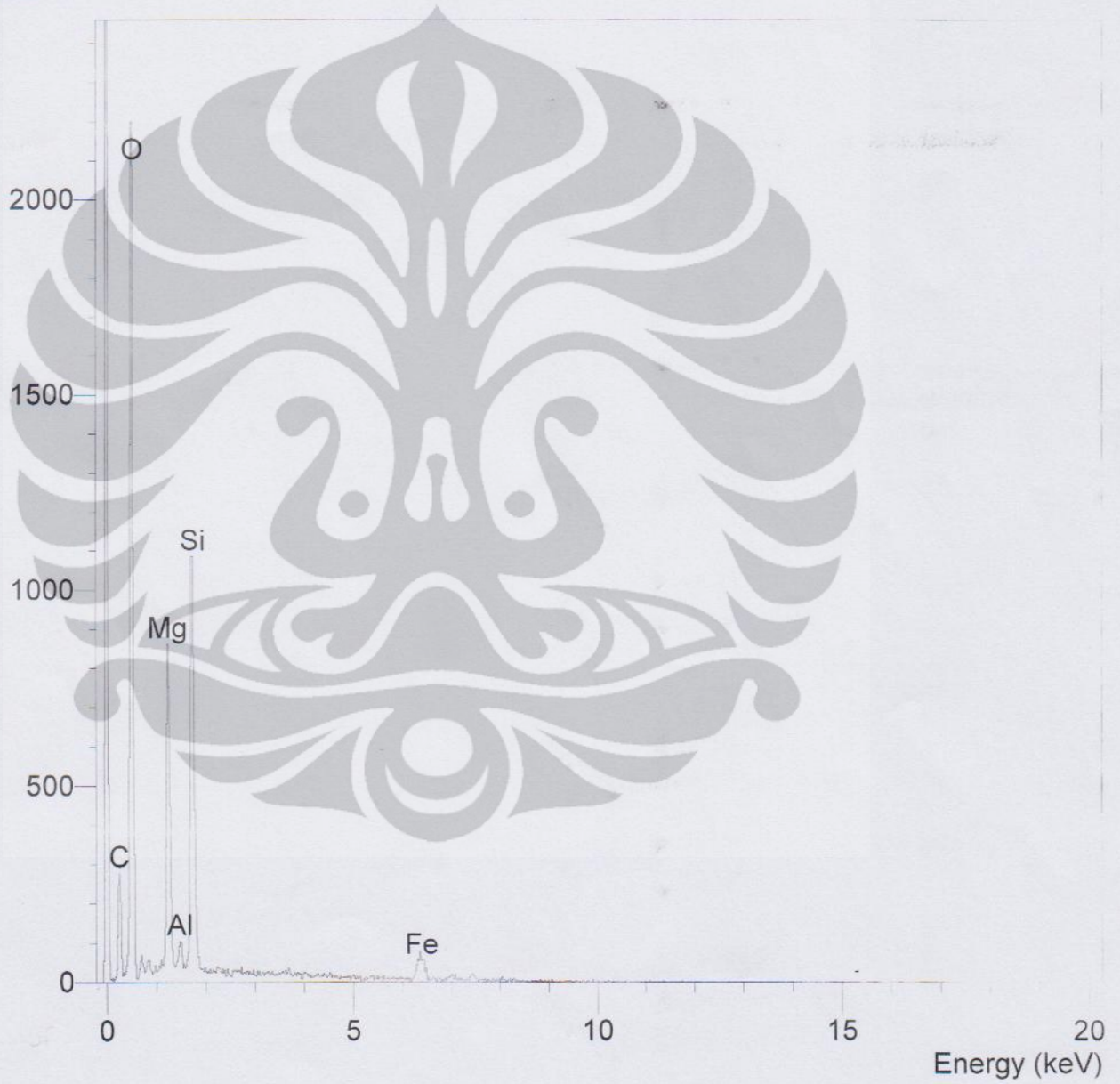
C K Carbon Low 13/09/06
O K AL2O3 20/05/11
Mg K Magnesium Oxide 20/05/11
Al K AL2O3 20/05/11
Si K Jadeite 18/05/11
Fe K FeS2 18/05/11

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	2.09	3.45
O K	ED	52.97	65.67
Mg K	ED	9.07	7.40
Al K	ED	7.50	5.52
Si K	ED	22.47	15.87
Fe K	ED	5.90	2.10
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
S1W4-2 (11/01/12 14:20)

Counts



SEMQuant results. Listed at 11:17:11 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W4-2

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	2.46	3.99
O K	ED	55.71	67.77
Mg K	ED	13.15	10.53
Al K	ED	2.44	1.76
Si K	ED	19.75	13.69
Fe K	ED	6.47	2.26
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma



Operator : zakiyudin
Client : Dept. Material dan Metalurgi Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-ray Analysis
SVM-3 (170112-1419)



SEMQuant results. Listed at 11:17:04 on 13/01/12
Operator: zakiyuddin
Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis
Spectrum label: S1W4-3

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 7.50 keV

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	0.61	1.01
O K	ED	54.10	67.95
Mg K	ED	11.45	9.47
Al K	ED	1.61	1.20
Si K	ED	24.66	17.64
Fe K	ED	7.56	2.72
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

NiO	2 θ	Int	h	k	l
Nickel Oxide	43.536	61	1	1	1
	50.705	100	2	0	0
	74.557	35	2	2	0
Bunsenite, syn	90.510	13	3	1	1
	95.773	8	2	2	2
Rad.: CuK α 1 λ : 1.540598 Filter: Graph Mono d-sp: Diff.	117.861	4	4	0	0
Cut off: 15.0 Int.: Diffract. I/Icor.: 6.15	137.945	3	3	3	1
Ref: Martin, K., McCarthy, G., North Dakota State Univ., Fargo, ND, USA, ICDD Grant-in-Aid, (1991)	146.548	7	4	2	0

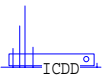
Sys.: Cubic S.G.: Fm3m (225)
a: 4.1771(8) b: c: A: C:
 α : β : γ : Z: 4 mp:
Ref: Ibid.

Dx: 6.808 Dm: SS/FOM: F θ = 259(.0039 , 8)

$\epsilon\alpha$: $\eta\omega\beta$: 2.27 $\epsilon\gamma$: Sign: 2V:

Ref: Winchell, Winchell, Elements of Optical Mineralogy, 58 (1964)

Color: Green
Sample obtained from J.T. Baker Chemical Corporation. CAS #: 1313-99-1. Sample annealed for 72 hours at 1100 C. Average relative standard deviation in intensity of the 5 strongest reflections for 3 specimen mounts = 1.1%. Validated by calculated pattern. Cl Na type. Halite group, periclase subgroup. Silicon used as an internal stand. PSC: cF8. To replace 4-835. Mwt: 74.70. Volume[CD]: 72.88.

 . 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01

FeO	2 θ	Int	h	k	l
Iron Oxide	42.145	668	1	1	1
	49.060	999*	2	0	0
	71.909	458	2	2	0
	87.020	164	3	1	1
	91.960	112	2	2	2

Rad.: CuK α 1 λ : 1.54060 Filter: d-sp: Calculated

Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/Icor.: 5.00

Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)

Ref: Jay, A.H., Andrews, K.W., J. Iron Steel Inst., London, 152, 15 (1946)

Sys.: Cubic

S.G.: Fm3m (225)


a: 4.309 b: c: A: C:

α : β : γ : Z: 4 mp:


Ref: Ibid.

Dx: 5.965 Dm: ICSD # : 060683

Peak height intensity. R-factor: 0.090. PSC: cF8. Mwt: 71.85. Volume[CD]: 80.01.


 . 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01

Fe203	2 θ	Int	h	k	l	2 θ	Int	h	k	l
Iron Oxide	28.123	312	0	1	2	97.546	31	1	2	8
	38.711	999*	1	0	4	100.582	38	0	2	10
	41.631	709	1	1	0	102.680	2	0	0	12
Hematite – synthetic	45.963	19	0	0	6	103.294	57	1	3	4
	47.839	188	1	1	3	108.369	51	2	2	6
Rad.: CuK α 1	λ : 1.54060	Filter:	d-sp: Calculated							
Cut off: 17.7	Int.: Calculated	I/Icor.: 3.19								
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)										
Ref: Shin, H.S., Kwon, S.-J., Yoop Hakhoechi, 30, 499 (1993)										
Sys.: Rhombohedral	S.G.: R $\bar{3}c$ (167)									
a: 5.0342	b:	c: 13.746	A:	C: 2.7305						
α :	β :	γ :	Z: 6	mp:						
Ref: Ibid.										
Dx: 5.274	Dm:	ICSD # : 066756								
Peak height intensity. R-factor: 0.012. PSC: hR10. Mwt: 159.69. Volume[CD]: 301.69.	90.588	49	2	2	0	93.588	17	0	3	6
	94.962	8	2	2	3	95.908	1	1	3	1
	97.373	14	3	1	2					

 . 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01

Fe3O4	2 θ	Int	h	k	l
Iron Oxide	21.265	100	1	1	1
	35.071	295	2	2	0
	41.379	999*	3	1	1
Magnetite – synthetic	43.309	77	2	2	2
	50.440	201	4	0	0
Rad.: CuK α 1 λ : 1.54060 Filter: d-sp: Calculated	55.334	5	3	3	1
Cut off: 17.7 Int.: Calculated I/Icor.: 5.13	62.914	86	4	2	2
Ref: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)	67.217	277	3	3	3
Ref: O'Neill, H.St.C., Dollase, W.A., Phys. Chem. Miner., 20, 541 (1994)	74.112	365	4	4	0
	78.131	8	5	3	1
	79.456	1	4	4	2
Sys.: Cubic S.G.: Fd3m (227)	84.710	28	6	2	0
a: 8.397(1) b: c: A: C:	88.618	69	5	3	3
	89.918	29	6	2	2
α : β : γ : Z: 8 mp:	95.127	21	4	4	4
Ref: Ibid.	99.058	4	7	1	1
	105.718	28	6	4	2
	109.815	99	7	3	1
Dx: 5.195 Dm: ICSD #: 075627					

Peak height intensity. R-factor: 0.041. PSC: cF56. Mwt: 231.54. Volume[CD]: 592.07.

 . 1998 JCPDS-International Centre for Diffraction Data. All rights reserved
PCPDFWIN v. 2.01