



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 10, 13, 15 DAN 20% REDUKTOR
ANTRASIT, DAN ARANG BATOK KELAPA TERHADAP REAKSI
KARBOTERMIK BIJIH NIKEL SAPROLIT**

SKRIPSI

**REZA MIFTAHUL ULUM
0405040619**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
JULI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH PENAMBAHAN 10, 13, 15 DAN 20% REDUKTOR
ANTRASIT, DAN ARANG BATOK KELAPA TERHADAP REAKSI
KARBOTERMIK BIJIH NIKEL SAPROLIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**REZA MIFTAHUL ULUM
0405040619**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI METALURGI DAN MATERIAL
KEKHUSUSAN LOGAM
DEPOK
JULI 2009**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

**PENGARUH PENAMBAHAN 10, 13, 15 DAN 20% REDUKTOR
ANTRASIT, DAN ARANG BATOK KELAPA TERHADAP REAKSI
KARBOTERMIC BIJIH NIKEL SAPROLIT**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Logam Departemen Metalurgi dan Material Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 15 Juli 2009

Reza Miftahul Ulum

NPM 0405040619

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Reza Miftahul Ulum
NPM : 0405040619
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan 10, 13, 15, dan 20%
Reduktor Antrasit dan Arang Batok Kelapa
Terhadap Reaksi Karbotermik Bijih Nikel
Saprolit

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto ()

Penguji 1 : Prof. Dr-Ing. Ir. Bambang Suharno ()

Penguji 2 : Deni Ferdian, ST, MSc. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Juli 2009

KATA PENGANTAR

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

1. Dr. Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Pihak PT. Industri Mineral Utama telah banyak membantu dalam usaha pengadaan bahan dan peralatan yang saya perlukan;
3. Orang tua dan keluarga saya, serta Ir. Myrna Ariati, MS sebagai orang tua angkat saya yang telah memberikan dukungan moral dan material; serta
4. Ilham Firmansyah, Khalid Mawardi, Mutiaro Banggalino, Ahmad Zakiyuddin, Irwan, Suryadi, Aulia Irsyadi dan Agung Prihantono serta teman – teman metalurgi dan material 2005 lainnya.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Juli 2009

Penulis

LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

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

Nama : Reza Miftahul Ulum
NPM : 0405040619
Program Studi : Logam
Departemen : Teknik Metalurgi Material
Fakultas : Teknik Universitas Indonesia
Jenis karya : Skripsi

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

**PENGARUH PENAMBAHAN 10, 13, 15 DAN 20%
REDUKTOR ANTRASIT, DAN ARANG BATOK KELAPA
TERHADAP REAKSI KARBOTERMIC BIJIH NIKEL
SAPROLIT**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan 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

Pada tanggal : 15 Juli 2009

Yang menyatakan

Reza Miftahul Ulum

ABSTRAK

Reza Miftahul Ulum

NPM 0405040619

Departemen Metalurgi dan Material

STUDI PENGARUH PENAMBAHAN 10, 13, 15 DAN 20% REDUKTOR ANTRASIT, DAN ARANG BATOK KELAPA TERHADAP REAKSI KARBOTERMIC BIJIH NIKEL SAPROLIT

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki deposit laterit yang cukup tinggi, khususnya pulau Sulawesi, sehingga Indonesia memiliki bahan baku yang cukup untuk memproduksi *ferronickel*. Di dalam lapisan laterit, saprolit memiliki kadar Ni yang lebih tinggi dibandingkan lapisan lainnya.

Tujuan dari skripsi ini adalah mengetahui pengaruh penambahan kadar karbon terhadap perolehan unsur nikel yang terbentuk (nilai % *recovery* Ni) dari bijih saprolit setelah dilakukan reaksi karbotermik, serta mengetahui sumber reduktor yang tepat antara grafit, antrasit dan arang batok kelapa sehingga dihasilkan *ferronickel* yang optimum.

Pada penelitian ini sumber reduktor berasal dari grafit, antrasit dan arang batok kelapa dengan kadar yang sama yaitu 10, 13, 15, dan 20%, temperatur reduksi yang dilakukan pada penelitian ini adalah 1250 °C. Uji komposisi kimia sebelum dan setelah penelitian digunakan sebagai parameter untuk memastikan pengaruh dari reduktor tersebut. Saprolit dicampur merata dengan reduktor karbon, lalu dikompaksi sebelum dilakukan proses karbotermik. Sampel hasil proses karbotermik dilakukan magnetik separasi lalu dikarakterisasi dengan pengujian XRD, XRF, sedangkan karakterisasi dengan SEM, sampel yang digunakan adalah sampel hasil karbotermik tanpa magnetik separasi sebelumnya.

Hasil perhitungan % *recovery* menunjukkan kecenderungan % *recovery* Ni yang meningkat untuk penambahan dengan reduktor (optimum pada penambahan 20% reduktor) yang semakin meningkat pula pada penambahan antrasit dan arang batok kelapa, sedangkan untuk grafit akan mencapai % *recovery* optimum pada penambahan 13% grafit, lalu % *recovery* Ni mengalami penurunan. Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM menunjukkan daerah terang atau abu – abu terang untuk bagian yang mengandung FeNi atau Ni, dan daerah berwarna gelap didominasi dengan silika.

Kata kunci: Reaksi reduksi, Bijih saprolit, Reduktor karbon, *Ferronickel*

ABSTRACT

Reza Miftahul Ulum

NPM 0405040619

Metallurgy and Material Department

EFFECT OF 10, 13, 15, AND 20% ANTHRACITE, AND COCONUTCHARCOAL REDUCTOR ADDITION ON CARBOTHERMIC REACTION OF SAPROLITIC NICKEL ORE

Indonesia is one of the country that has high deposit of laterit ore, especially Sulawesi Island, thus Indonesia has enough raw material to produce ferronickel. In the lateritic layer, saprolite has higher content of Ni compared to other layer.

The aim of this research is to know the effect of carbon content addition to the recovery of Ni from saprolite ore after carbothermic reaction is subjected, it also to know the appropriate reductor between graphite, anthracite, and coconut charcoal thus an optimum ferronickel is produced.

On this research, the reductor sources are graphite, anthracite, and coconut charcoal with the same content which is 10, 13, 15, and 20%, reducing temperature is 1250°C. Chemical content testing before and after the research is used as parameter to ascertain the effect of those reductors. Saprolite is mixed with carbon reductor, and then compacted before carbothermic process is subjected. Sample from carbothermic process then magnetic separated then characterized by XRD, XRF. Characterization sample with SEM use samples without magnetic separation process before.

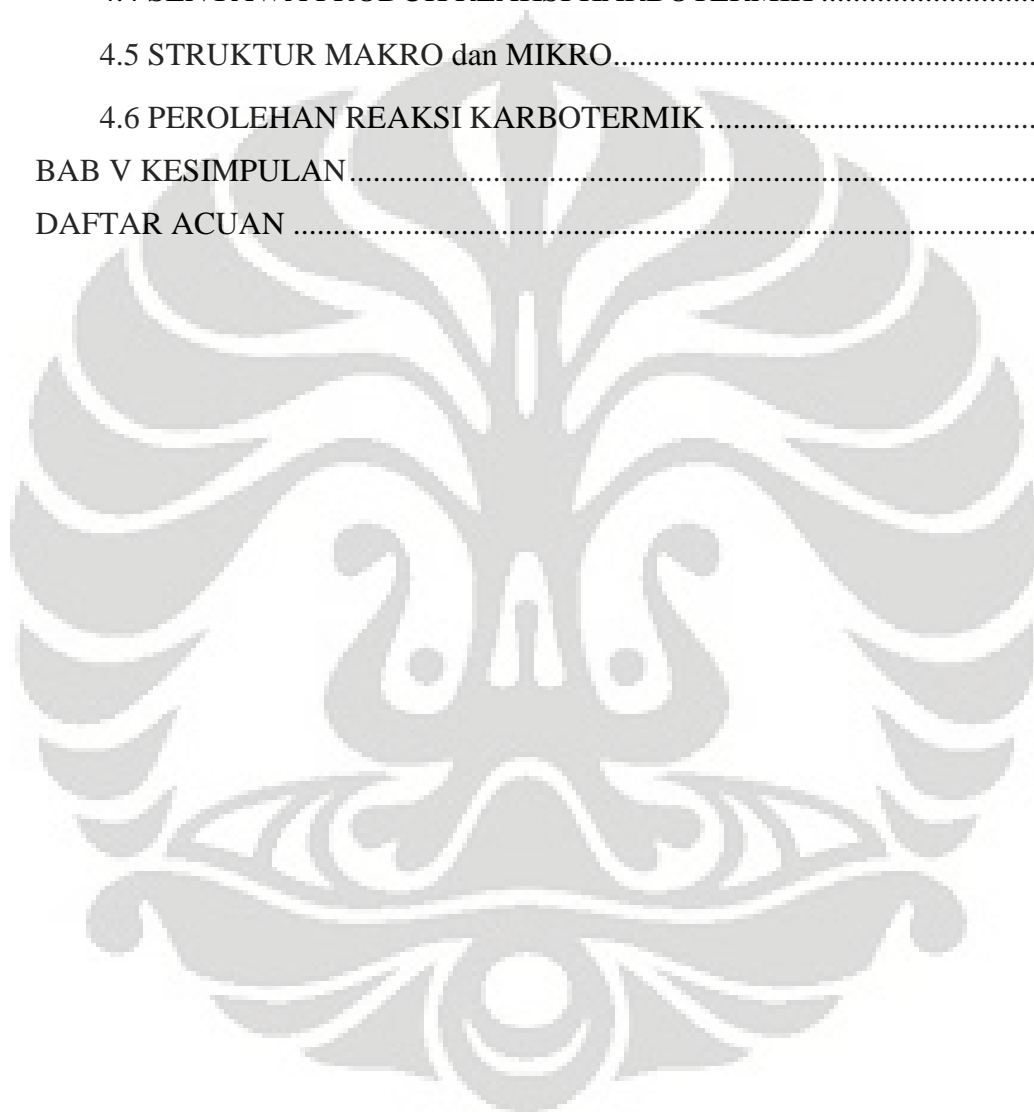
The result of % recovery calculation shows that the % recovery of Ni is tend to increase along with the increasing of anthracite and coconut charcoal reductor (optimum result obtained at 20% addition of reductor); whereas, the % recovery will reach the optimum level at for addition of 13% graphite, then the % recovery decreasing. The microstructure observation by SEM shows bright or soft grey region for the part that contain FeNi or Ni, while the dark region is dominated by silicate.

Keywords: Reduction reaction, Saprolitic Nickel ore, Carboneus reductor, Ferronickel

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	2
1.3 RUANG LINGKUP KAJIAN	2
1.3.1 Material	3
1.3.2 Parameter Penelitian.....	3
1.4 BATASAN.....	3
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 NIKEL DAN BIJIH SAPROLIT	5
2.2 PENGOLAHAN NIKEL	7
2.3 PROSES REDUKSI (KARBOTERMIK).....	8
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	13
3.2 PROSEDUR PENELITIAN.....	14
3.2.1 Peralatan dan Bahan.....	14
3.2.2 Bahan.....	14

3.2.3 Tahapan Penelitian.....	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
4.1 DATA BERAT SAMPEL.....	22
4.2 HASIL PENGUJIAN XRF dan XRD SAPROLIT.....	22
4.3 DATA KOMPOSISI SUMBER KARBON.....	24
4.4 SENYAWA PRODUK REAKSI KARBOTERMIK	25
4.5 STRUKTUR MAKRO dan MIKRO.....	28
4.6 PEROLEHAN REAKSI KARBOTERMIK	33
BAB V KESIMPULAN.....	36
DAFTAR ACUAN	37



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data berat sampel hingga sebelum dikarakterisasi.	22
Tabel 4.2 Komposisi Kimia Awal Saprolit hasil pengujian XRF.....	23
Tabel 4.3 Komposisi Reduktor	24
Tabel 4.4 Perkiraan senyawa dominan yang terbentuk berdasarkan uji EDX pada penambahan antrasit.....	30
Tabel 4.5 Perkiraan senyawa dominan yang terbentuk berdasarkan uji EDX pada penambahan arang.....	31
Tabel 4.6 Perkiraan senyawa dominan yang terbentuk berdasarkan uji EDX pada penambahan grafit.....	32
Tabel 4.7 Hasil Recovery nikel setelah reaksi karbotermik.....	33

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Profil endapan Laterit di Indonesia.	1
Gambar 2.1 Sebaran Bijih Nikel di dunia berdasarkan tipe bijihnya.....	5
Gambar 2.2 Lapisan penyusun Laterit	6
Gambar 2.3 Diagram Boudouard	10
Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Ni	11
Gambar 3.1. Mesin Pressing (kiri) dan Cetakannya (kanan).	16
Gambar 3.2 Sampel setelah kompaksi, (a) Sampel dengan penambahan Grafit, dan (b) Sampel dengan penambahan Arang, dan (c) Sampel dengan penambahan Antrasit.....	17
Gambar 3.3 Grafik Pemanasan.	18
Gambar 3.4 Sampel setelah dikeluarkan dari dapur, (a) Sampel dengan penambahan Grafit, dan (b) Sampel dengan penambahan Antrasit, (c) Sampel dengan penambahan Arang.....	19
Gambar 3.5 Sampel yang dapat ditarik magnet.	20
Gambar 3.6 Alat Uji XRD milik Departemen Metalurgi dan Material FT-UI.....	20
Gambar 3.7 Sampel setelah dilakukan amplas dan poles, (a) Sampel dengan penambahan Grafit, dan (b) Sampel dengan penambahan Antrasit, (c) Sampel dengan penambahan Arang.....	21
Gambar 4.1 Grafik hasil uji XRD Saprolit dan keterangan mengenai senyawa yang terbentuk serta nomor kartu pada <i>database</i>	23
Gambar 4.2 Hasil Uji XRD sampel dengan penambahan Antrasit, Arang dan Grafit serta keterangan mengenai senyawa yang terbentuk serta nomor kartu pada <i>database</i>	25
Gambar 4.3 Foto Makro Sampel.....	28
Gambar 4.4 Struktur mikro sampel dengan penambahan Antrasit.	30

Gambar 4.5 Struktur mikro sampel dengan penambahan Arang	31
Gambar 4.6 Struktur mikro sampel dengan penambahan Grafit.....	32
Gambar 4.7 Pengaruh penambahan kadar reduktor terhadap % <i>recovery</i> Ni.....	33
Gambar 4.8. Pengaruh Tekanan pada Grafit-C-O.....	35



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Hasil Pengujian XRD.....	38
Lampiran Hasil Pengujian XRF.....	43
Lampiran Hasil Pengujian SEM.....	56
Lampiran Hasil Pengujian EDX.....	62

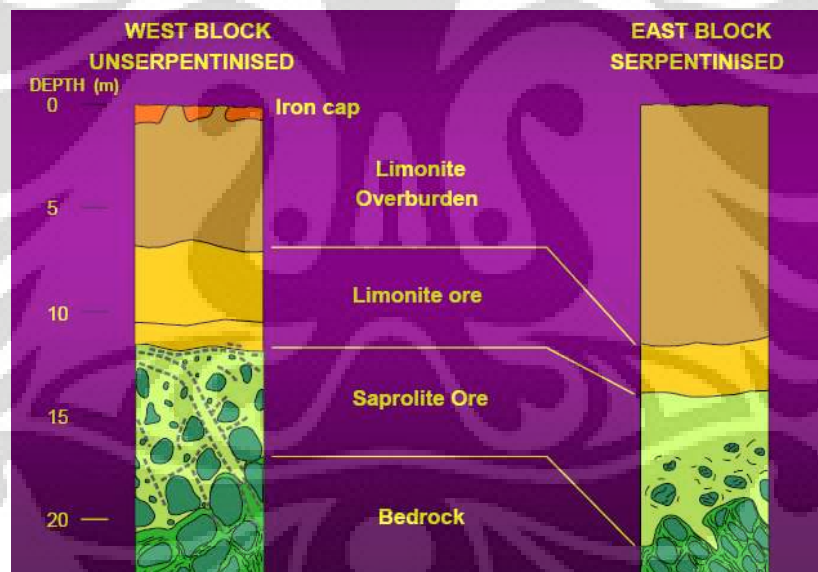


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Deposit nikel di alam ada dua jenis (yang bernilai ekonomis untuk diolah) yaitu konsentrasi residual nikel silika hasil pelapukan batuan beku ultrabasa yang sering disebut endapan Nikel Laterit dan deposit Nikel Sulfida yang terbentuk akibat injeksi magma. Saprolit merupakan salah satu penyusun laterit. Saprolit memiliki kadar nikel yang cukup tinggi berkisar 1,5 – 3% Ni. Di dalam laterit, saprolit merupakan mineral yang lebih kaya akan nikel dibandingkan limonit. Keberadaan saprolit dalam lapisan laterit serta tipe profil endapan laterit di Indonesia dapat dilihat pada gambar 1^[1].



Gambar 1. Profil endapan Laterit di Indonesia.

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki deposit laterit yang cukup tinggi, khususnya pulau Sulawesi, sehingga Indonesia memiliki bahan baku yang cukup untuk memproduksi *ferronickel* yang selanjutnya dapat diteruskan menjadi bahan baku untuk menghasilkan baja tahan karat. Pada penelitian ini, saprolit yang digunakan didapatkan dari Sulawesi Tenggara. Umumnya laterit diklasifikasikan menjadi dua kelompok^[2], yaitu

kelompok bijih dengan kadar magnesia yang tinggi, seperti saprolit dan kelompok dengan kadar magnesia rendah tapi memiliki kadar besi (Fe) yang tinggi. Kelompok dengan kadar magnesia yang tinggi umumnya diproses dengan cara *smelting*. Alasan utama dilakukannya *smelting* pada kelompok bijih ini karena nikel menggantikan magnesium pada kisi magnesium-silikat dan untuk mendapatkan nikel, diperlukan cara untuk menghancurkan kisi tersebut, dan hal inilah yang terjadi bila dilakukan *smelting* (dalam kondisi reduksi). Yang menarik disini adalah pada saat dilakukan proses reduksi, umumnya dilakukan dengan penambahan *carboneus agent*. Ada beberapa *carboneus agent* yang dapat digunakan seperti grafit, antrasit, kokas, bituminus, subituminus, *coal*, arang kayu, arang batok kelapa, dan sumber karbon lainnya. Untuk itulah, Pada penelitian ini akan dicari sumber karbon yang optimum diantara grafit, antrasit dan arang batok kelapa yang menghasilkan senyawa besi-nikel yang optimum dan *recovery* nikel yang optimum.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui sumber karbon yang tepat, diantara grafit, antrasit dan arang batok kelapa yang menghasilkan senyawa besi-nikel yang optimum.
2. Mengetahui pengaruh penambahan kadar karbon terhadap pembentukan unsur nikel yang terbentuk (nilai *recovery*) pada bijih saprolit setelah dilakukan reaksi karbotermik.

1.3 RUANG LINGKUP KAJIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan proses reduksi bijih saprolit dengan reaksi karbotermik. Oleh karena itu, dicari jenis reduktor (sumber karbon) yang tepat yang berasal dari sumber karbon yang berbeda dengan kadar karbon (persentase) yang optimum sehingga diperoleh senyawa besi-nikel yang optimum,

setelah dilakukan pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD). Untuk mengetahui nilai *recovery* kadar nikel setelah proses karbotermik, dilakukan pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF), serta dilakukan pula pengamatan mikrostruktur dari sampel hasil reaksi karbotermik menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dengan bantuan *Back Scattered Electron* (BSE).

1.3.1 Material

1. Bijih Saprolit
2. Reduktor berasal dari sumber karbon: grafit, antrasit dan arang batok kelapa, dengan variasi kadar reduktan 10, 13, 15, dan 20%.

1.3.2 Parameter Penelitian

1. Penambahan unsur karbon melalui penambahan antrasit dan arang batok kelapa, masing – masing sebanyak 10%, 13%, 15%, dan 20% kedalam saprolit.
2. Karakterisasi sampel limonit dan saprolit dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *X-Ray Fluoresence* (XRF).

1.4 BATASAN

Batasan – batasan pada penelitian ini antara lain:

1. Jenis reduktor yang digunakan sebagai variabel adalah grafit, antrasit, dan arang batok kelapa.
2. Proses reduksi dilakukan pada temperatur 1250 °C dan atmosfer furnace.
3. Kadar masing – masing reduktor yang digunakan adalah sama yaitu 10, 13, 15, dan 20%.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan disusun sedemikian rupa sehingga konsep dalam penulisan skripsi menjadi berurutan sehingga akan didapat kerangka alur pemikiran yang mudah dan praktis. Sistematika tersebut dapat diuraikan dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan satu sama lain, diantaranya ialah:

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang penelitian secara umum, yang meliputi latar belakang, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI

Berisi tentang teori-teori pendukung.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Membahas mengenai diagram alir penelitian, alat, bahan, prosedur penelitian, dan pengujian benda uji.

BAB IV DATA HASIL PENELITIAN

Berisi tentang data-data penelitian yang telah diolah.

BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN

Membahas mengenai analisa dari hasil pengujian dan membandingkannya dengan teori serta hasil penelitian lain sebelumnya.

BAB VI KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

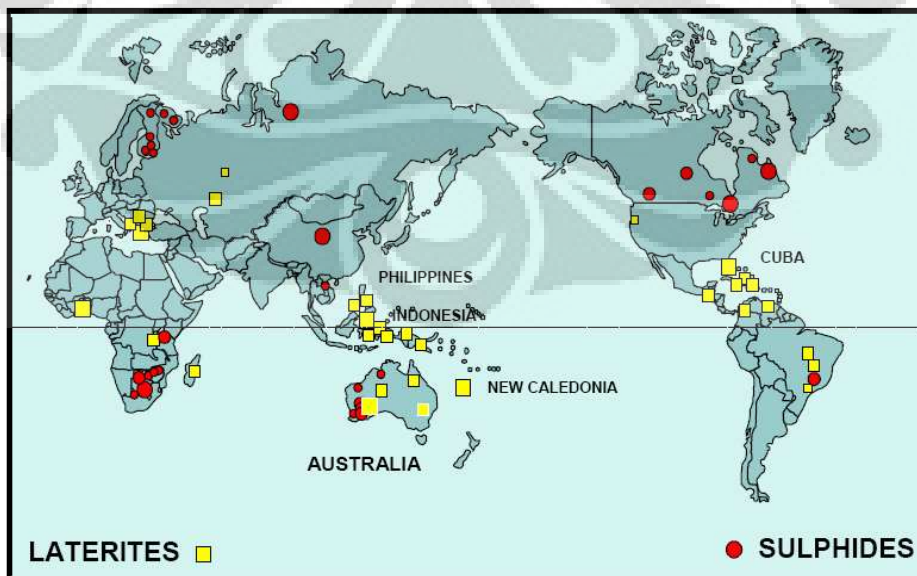
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 NIKEL DAN BIJIH SAPROLIT

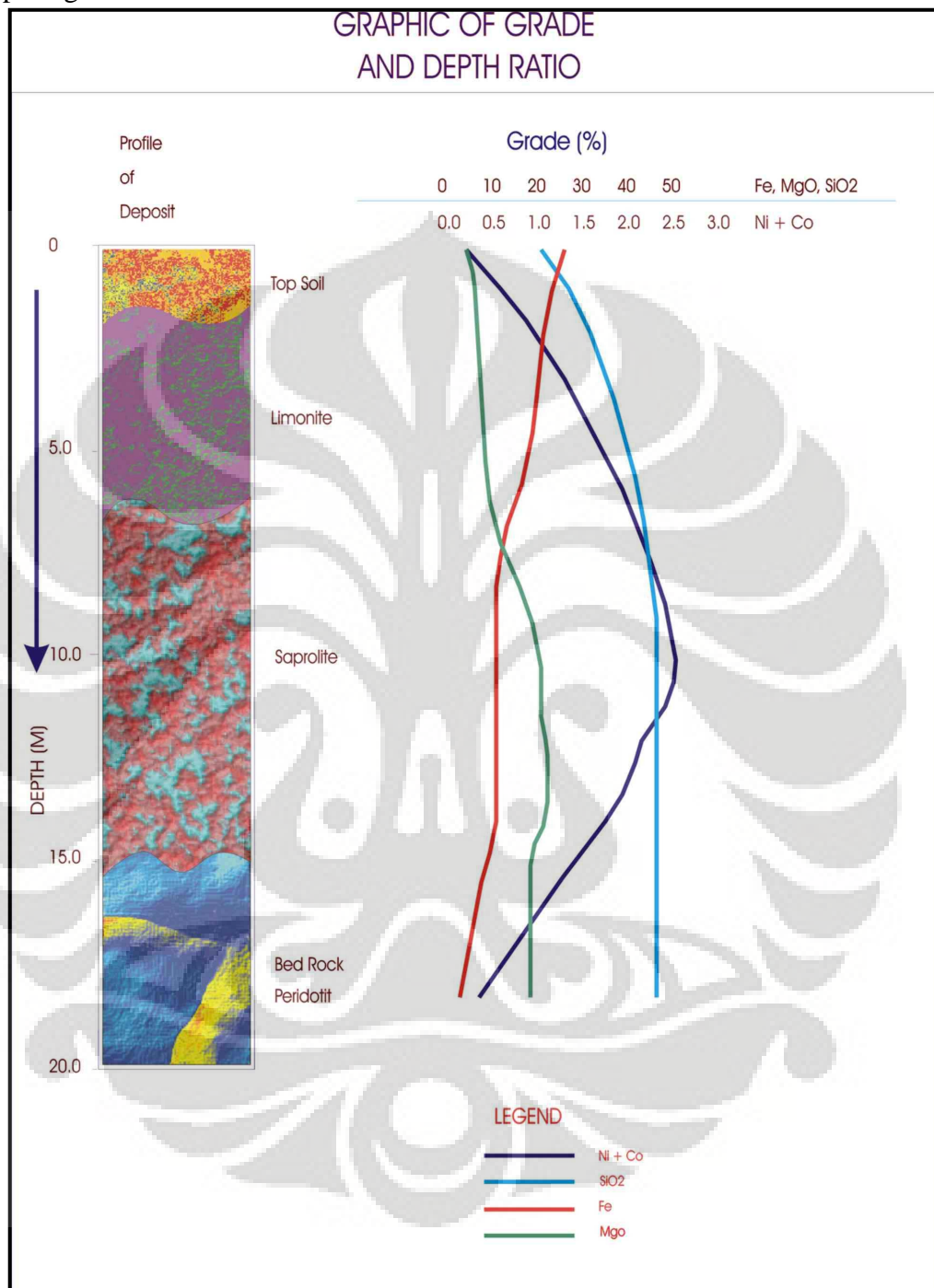
Nikel adalah logam putih keperak-perakan, bila dipadukan dengan logam lain, akan meningkatkan kekuatan, ketangguhan dan ketahanan korosi paduannya. Merupakan logam transisi yang keras dan juga ulet, umumnya terdapat dalam bentuk kombinasi dengan belerang dan besi pada *pentlandite* $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$, dengan belerang pada *millerite* (NiS) , dengan arsen pada *niccolite* (NiAs) dan dalam bentuk senyawa lainnya. Karena sifatnya yang kurang reaktif di udara dan juga sifat ketahanannya terhadap oksidasi, nikel digunakan pada uang logam, untuk pelapis baja, untuk zat-zat kimia, dan sebagai *alloying element* pada beberapa logam paduan. Nikel bersifat magnetik, dan sering dijumpai bersama kobalt. Merupakan logam yang sangat penting untuk jenis paduannya, khususnya pada paduan super, dan baja tahan karat.

Bijih nikel yang penting secara ekonomis terbagi menjadi dua tipe (seperti gambar 2.1^[1]), sulfida dan oksida. Indonesia memiliki deposit nikel yang cukup tinggi dalam bentuk oksida, yaitu berupa laterit, seperti gambar berikut:



Gambar 2.1 Sebaran Bijih Nikel di dunia berdasarkan tipe bijihnya.

Laterit itu sendiri merupakan bijih yang tersusun atas beberapa lapisan, seperti gambar berikut:



Gambar 2.2 Lapisan penyusun Laterit

Salah satu penyusun laterit yaitu saprolit, bijih yang mengandung nikel dengan kadar yang relatif tinggi bila dibandingkan dengan lapisan yang lain misalnya limonit. Lapisan saprolit ini merupakan hasil pelapukan batuan peridotit,

berwarna kuning-kecoklatan, terletak di bagian bawah dari lapisan limonit, dengan ketebalan rata-rata 7 meter. Campuran dari sisa-sisa batuan, butiran halus limonit, *saprolitic rims*, urat dari endapan garnierit, *nickeliferous quartz*, dan mangan, bentukan dari suatu zona transisi dari limonit ke bedrock. Terkadang terdapat mineral kuarsa yang mengisi rekahan. Memiliki kadar (sekitar) Ni 1,5 – 3%, Fe 10 – 25%, MgO 10 – 35%, Co 0.02 – 0.1%^[1].

2.2 PENGOLAHAN NIKEL

Pengolahan bijih nikel dilakukan berdasarkan tipe bijih dan produk yang akan dihasilkan. Pada pembahasan ini, bijih yang digunakan dibatasi hanya pada bijih laterit dan produk yang dihasilkan adalah *ferronickel*. Dan untuk mengolah tipe bijih nikel oksida (laterit), umumnya dilakukanlah pirometalurgi. Sedangkan untuk bijih sulfida, bijih yang sudah menjadi konsentrat dilakukan proses *smelting* untuk mengeliminasi *gangue mineral* dan kebanyakan FeS agar terjadi peningkatan kadar menjadi *high grade metal*^[4].

Pirometalurgi

Proses pirometalurgi adalah proses yang cocok untuk bijih yang mengandung umumnya saprolit. Pada proses pirometalurgi konvensional, bijih dibakar atau dikeringkan (*drying*), dikalsinasi pada *rotary kiln* dan dilebur pada *electric furnace*. Jika *matte* adalah produk yang diinginkan, maka ditambahkan sulfur. Logam mentah atau *matte* diproses atau dimurnikan lebih lanjut untuk menghasilkan produk akhir. Pada proses pirometalurgi ini, dibutuhkan energi yang besar karena semua *moisture* (uap air) dan air kristal harus dihilangkan pada proses ini dan semua bahan sebelumnya harus dilakukan kalsinasi dan kemudian dilebur membentuk *slag* pada temperatur 1600 °C. Pada proses ini dibutuhkan baik bahan bakar hidrokarbon (batu bara, minyak atau *naphta*) maupun tenaga listrik^[2].

Smelting untuk produksi FeNi (*Ferronickel*)^[2]

Bijih yang cocok untuk produksi *ferronickel* dengan kadar karbon tinggi, memiliki kriteria sebagai berikut:

- Kadar nikelnya tinggi > 2,1 % Ni
- Rasio silika/magnesia nya rendah
- Kandungan Fe rendah (Rasio Fe/Ni < 6)

Contoh: SLN Doniambo, Pamco, Hyuga, P.T. Aneka Tambang

Bijih yang cocok untuk produksi *ferronickel* kadar karbon rendah, memiliki kriteria sebagai berikut:

- Rasio Fe/Ni lebih tinggi (6-12)
- Titik leleh *slag* relatif tinggi (baik dengan rasio S/M seperti di Cerro Matoso ataupun dengan rasio S/M yang rendah seperti di Falcando)

2.3 PROSES REDUKSI (KARBOTERMIK)

Pada penelitian ini, proses reduksi yang dilakukan memanfaatkan karbon sebagai bahan untuk mereduksi bijih saprolit atau lebih dikenal dengan reaksi karbotermik. Reduksi karbotermik merupakan reduksi bijih menggunakan media gas berbasis karbon. Sumber gas CO yang digunakan adalah kokas (*cooking coal*), briket antrasit (*coal briquette*), serbuk batubara (*pulverized coal*), arang kelapa (*coconut charcoal*), gas alam dan minyak bumi (hidrokarbon) dapat menjadi sumber gas CO, namun juga memproduksi gas hidrogen yang memiliki kecepatan mereduksi bijih yang lebih baik dari gas CO^[5]. Untuk batubara, secara geologis dikelompokkan menjadi *lignite*, *bituminous coal*, dan *anthracite*^[8]. *Lignite*: terbentuk dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami karbonisasi atau perkayaan akan kandungan C di bawah lapisan tanah dalam jangka waktu yang lama. *Bituminous coal*: terbentuk pada periode geologi “*carboniferous*” dari tumbuh - tumbuhan yang mengalami karbonisasi, kandungan abu dan airnya rendah (5-10%). Jika kandungan abunya tinggi, biasanya dipakai pada *steam power plant*. Batubara yang berwarna hitam tidak bersifat higroskopis. *Anthracite*: batubara yang terjadi pada umur geologi yang paling tua. Struktur kompak, berat jenis tinggi, berwarna hitam metalik, kandungan VCM rendah, kandungan abu dan air

rendah, mudah ditepung. Jika dibakar, hampir seluruhnya habis terbakar tanpa timbul nyala.

Reaktivitas yang dimiliki oleh material yang mengandung karbon (*carbaceous material*) sangat bervariasi. Luas permukaan karbon yang memungkinkan terjadinya reaksi antara karbon dengan CO₂ merupakan hal yang penting, yang ditentukan oleh ukuran partikel material dan juga porositas yang dimiliki oleh material. Pada banyak kasus, laju reaksi serta produktivitas dari proses reduksi langsung ditentukan oleh beberapa faktor yang saling terhubung yaitu :

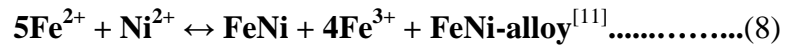
- Transfer panas
- Reaktivitas karbon
- *Reducibility* besi oksida

Ukuran partikel karbon, jumlah karbon yang tersedia, serta tipe karbon yang digunakan sangat berpengaruh terhadap laju gasifikasi. Ukuran partikel yang kecil dan ketersediaan dalam jumlah banyak akan meningkatkan luas permukaan yang mungkin untuk terjadi reaksi gasifikasi karbon sehingga dapat meningkatkan laju reaksi^[5]. Reaksi yang terjadi melibatkan oksidasi karbon menjadi gas CO yang menjadi gas reduktor pada proses reduksi karbotermik.



Pada saat yang sama, akan terjadi reduksi bijih besi dan nikel melalui reaksi sebagai berikut :





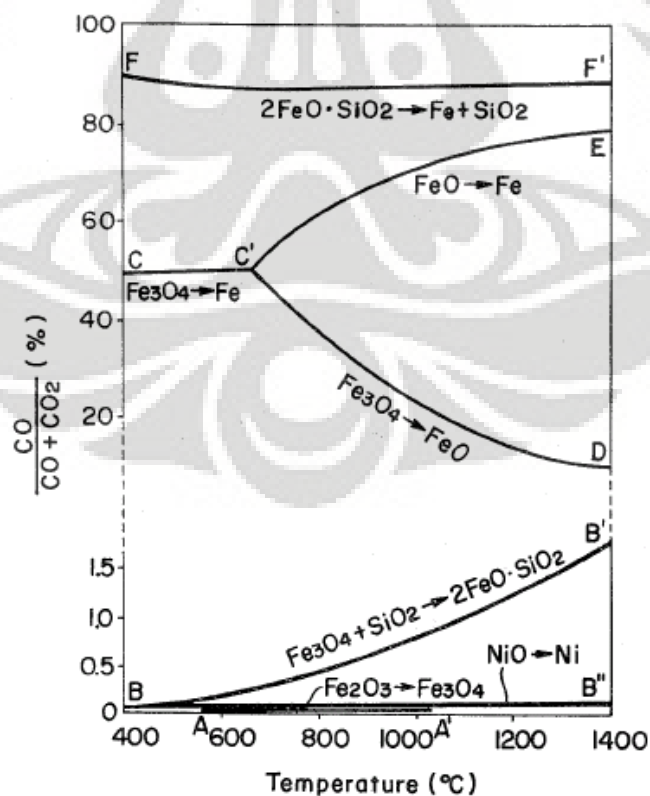
Secara termodinamika, proses reduksi karbotermik mengikuti aturan reaksi-reaksi pembentukkan oksida material yang berhubungan dengan kekuatan ikatan kimia atau afinitas terhadap oksigen. Misal pada reaksi reduksi:



Reaksi akan berlangsung ke arah pembentukkan logam, dalam hal ini reaksi reduksi, bila afinitas oksigen terhadap karbon lebih tinggi dibandingkan afinitas oksigen terhadap logam M.

DIAGRAM BOUDOUARD

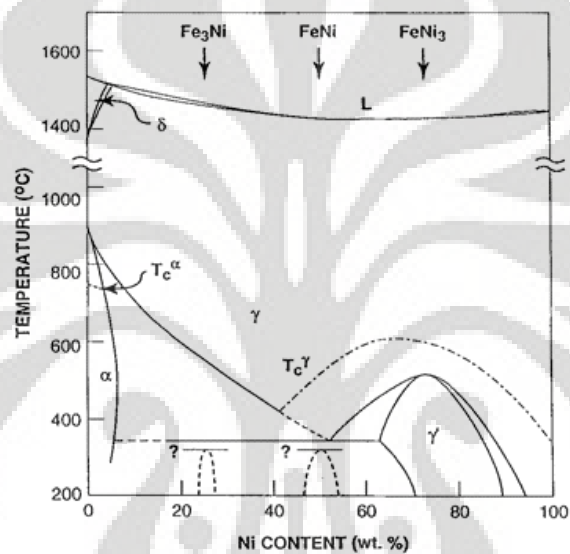
Gaussner – Boudouard membuat sebuah diagram yang menggambarkan kesetimbangan antara besi, hematit, magnetit, wustit, karbon padat, karbon monoksida, dan karbon dioksida. Diagram ini merupakan dasar untuk reduksi langsung dengan karbon.



Gambar 2.3 Diagram Boudouard ^[7]

Diagram boudouard^[5] dipergunakan sebagai alat untuk memperkirakan pembentukan senyawa – senyawa saat dilakukannya proses karbotermik. Dalam hal ini, temperatur reduksi yang dilakukan adalah 1250 °C dan kadar karbon yang digunakan adalah 10, 13, 15, dan 20%, sehingga dapat diperkirakan bahwa senyawa – senyawa yang akan terbentuk adalah senyawa yang berada pada daerah diatas 1250 °C. Dari sini, dapat diperkirakan bahwa senyawa yang tereduksi pertama kali adalah Fe₂O₃, NiO, kemudian Fe₃O₄.

DIAGRAM FASA *FERRONICKEL*



Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Ni ^[12]

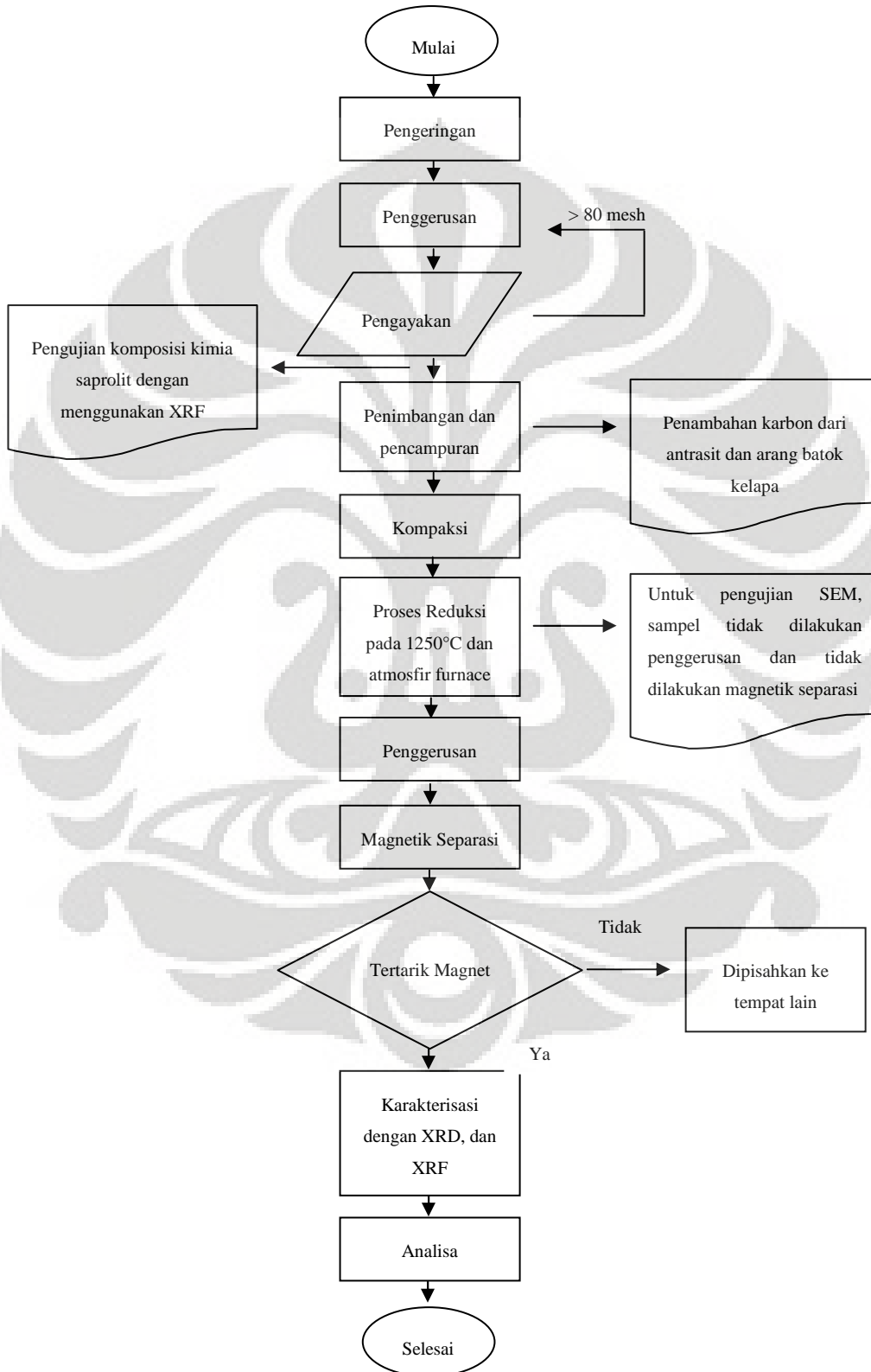
Di atas temperatur 912 °C, merupakan daerah dengan *solid solubility* yang sempurna (fasa gamma). Di bawah 912 °C, fasa alpha stabil dalam Fe murni. Fasa gamma stabil ketika jumlah nikel meningkat. Perubahan fasa gamma menjadi fasa alpha dalam diagram biner Fe-Ni berlangsung relatif lambat, sehubungan dengan lambatnya difusi nikel. Maka, fasa yang terbentuk ketika paduan Fe-Ni dalam bentuk ingot hasil pengecoran berhubungan dengan diagram kesetimbangan tersebut. Ketika didinginkan pada temperatur yang cukup rendah, fasa gamma akan bertransformasi menjadi lewat jenuh, tidak setimbang, fasa berstruktur BCC yang dinamakan fasa α₂, yang komposisi kimianya sama dengan fasa gamma mula – mula. Temperatur yang menyebabkan terbentuknya fasa α₂ disebut dengan temperatur M_s ^[12].

Dari diagram fasa tersebut, dapat diperkirakan fasa yang terbentuk bila sudah diketahui kadar atau wt.% Ni dari hasil pengujian XRF. Dan karena proses pendinginan pada penelitian ini adalah pendinginan lambat maka fasa yang terbentuk hasil karbotermik adalah fasa yang berada disekitar temperatur rendah (atau temperatur 200 °C berdasarkan gambar 2.4 diatas) tergantung dari kadar nikelnya.



BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



3.2 PROSEDUR PENELITIAN

3.2.1 Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan saat melakukan pengujian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Oven*
2. Alat Penggerus dan tumbukan
3. Mesin ayakan dan *pan mesh*
4. Timbangan Digital
5. Mesin kompaksi dan Cetakannya
6. *Carbolite Reheating Furnace*
7. Magnet
8. Plastik Klip
9. XRF dan XRD
10. *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan EDX
11. Perangkat lunak komputer *PowderX*

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan saat melakukan pengujian ini diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Saprolit
2. Grafit (berasal dari batangan elektroda)
3. Antrasit
4. Arang batok kelapa
5. *Spray cleaner (WD-40)*

3.2.3 Tahapan Penelitian

Preparasi Sampel

Penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan sampel sebelum dilakukan reaksi karbotermik. Tahap preparasi sampel terdiri atas beberapa bagian:

1. Pengeringan
2. Penggerusan
3. Pengayakan
4. Penimbangan dan Pencampuran
5. Kompaksi

1. Pengeringan

Bijih saprolit yang didatangkan dari Sulawesi Tenggara masih memiliki kelembaban yang cukup tinggi, oleh karena itu diperlukan tahap pengeringan dengan cara memanaskan bijih saprolit tersebut ke dalam oven yang tersedia di Departemen Teknik Metalurgi dan Material. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 250 °C dan dipanaskan selama 8 jam, hal ini dilakukan untuk menghilangkan air yang berikatan secara fisik.

2. Penggerusan

Setelah sampel kering, bijih saprolit perlu dilakukan penggerusan untuk menyamakan ukuran, karena butiran – butiran bijih saprolit masih berukuran tidak seragam. Selain itu, penggerusan juga bermaksud untuk meliberasi logam yang diinginkan dari *gangue* mineralnya^[3]. Proses penggerusan dilakukan manual dengan menggunakan alat penggerus yang terbuat dari *tool steel*. Penggerusan inipun dilakukan pada ketiga reduktor.

3. Pengayakan

Bahan baku saprolit, serta grafit, antrasit dan arang batok kelapa dalam penelitian ini kemudian diseragamkan ukurannya dengan menggunakan alat *sieving*. Sampel yang dapat digunakan dalam penelitian ini adalah sampel dengan

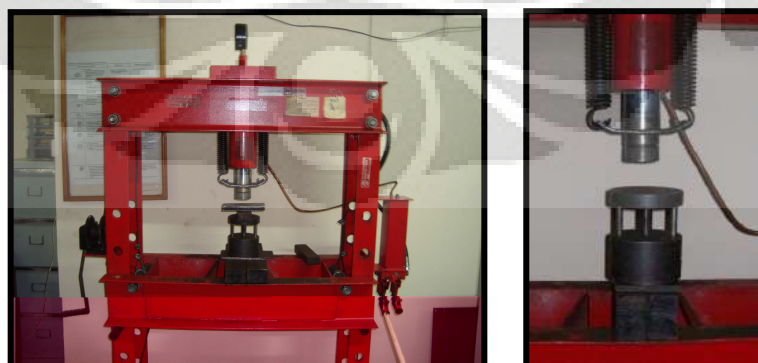
ukuran *mesh #80*. Sampel yang berukuran lebih besar dari ukuran *mesh #80* dilakukan proses reduksi ukuran kembali, yang diikuti dengan proses *sieving* kembali. Lalu, sebelum dilakukan pencampuran masing – masing bahan (baik saprolit, grafit, antrasit, dan arang batok kelapa) dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui unsur – unsur penyusun masing – masing bahan.

4. Penimbangan dan pencampuran

Saprolit dan sumber – sumber karbon yang telah memiliki ukuran yang seragam kemudian ditimbang dengan menggunakan timbangan digital yang tersedia di Departemen Metalurgi dan Material UI. Dalam penelitian ini, kadar reduktor yang dipakai adalah 10, 13, 15, dan 20%. Oleh karena itu, untuk sampel yang menggunakan 10% reduktor digunakan 9 gram saprolit dan 1 gram reduktor (antrasit, arang batok, atau grafit), sehingga total berat satu buah sampel adalah 10 gram, dan demikian seterusnya untuk sampel dengan kadar 13, 15, dan 20%. Setelah saprolit dan bahan reduktor ditimbang, lalu dicampur secara merata dan dimasukkan kedalam plastik sampel.

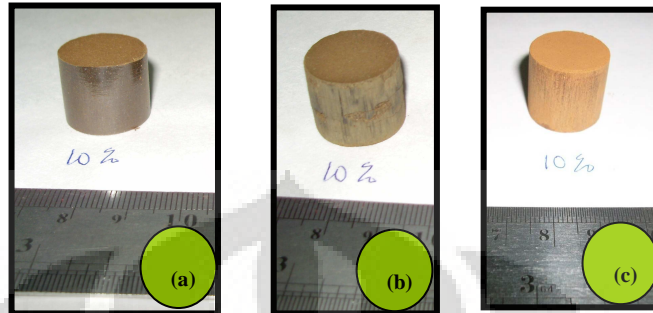
5. Kompaksi

Sampel yang telah ditimbang dan dicampur merata, masih berupa serbuk, dan bentuk serbuk ini sangat mudah tertiuip angin, oleh karena itu, untuk mempermudah penanganan saat dilakukan proses reduksi, maka sampel dilakukan kompaksi dengan menggunakan mesin *pressing*.



Gambar 3.1. Mesin Pressing (kiri) dan Cetakannya (kanan).

Proses kompaksi dilakukan dengan memberikan tekanan pada sampel serbuk (yang terlebih dahulu dimasukkan kedalam cetakkan) sebesar 200 bar dan ditahan selama 1 menit.



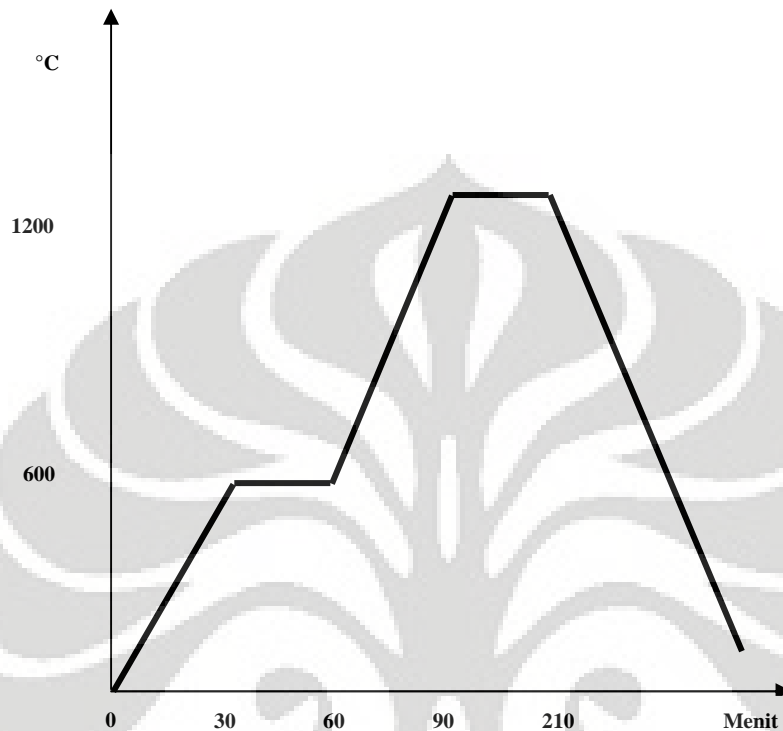
Gambar 3.2 Sampel setelah kompaksi, (a) Sampel dengan penambahan Grafit, dan (b) Sampel dengan penambahan Arang, dan (c) Sampel dengan penambahan Antrasit.

Bila dibandingkan dengan sampel yang telah dicampurkan dengan grafit atau antrasit, sampel yang ditambahkan dengan arang memiliki tekstur yang kurang baik. Seperti yang dapat dilihat dari gambar diatas, sampel dengan arang memiliki retakan – retakan disekeliling tepinya, dan hal ini terjadi pada seluruh sampel dengan penambahan arang. Hal ini mungkin disebabkan karena masa jenis arang yang lebih kecil dibandingkan dengan grafit dan antrasit, sehingga untuk mengisi cetakan yang sama dan dengan massa yang sama pula (10 gram) sampel dengan arang hampir mengisi penuh semua rongga cetakan, berbeda dengan grafit dan antrasit yang hanya mengisi rongga cetakan sekitar 80% rongga cetakan. Arang yang memiliki pengotor yang lebih banyak dibandingkan dua reduktan lainnya menyebabkan sampel yang ditambahkan arang memiliki *formability* yang buruk.

Proses Reduksi (Reaksi Karbotermik)

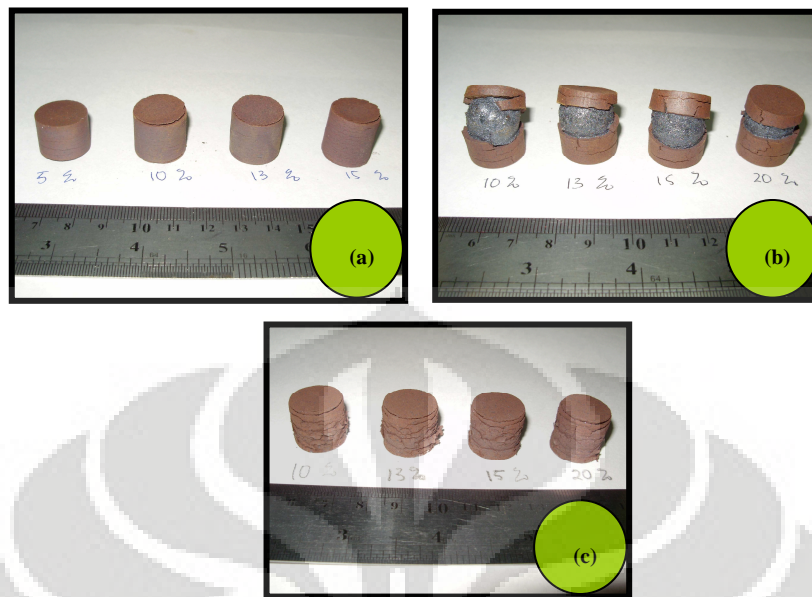
Proses karbotermik berlangsung di dalam *reheating carbolite furnace* pada temperatur 1250 °C dan atmosfer saat reaksi tersebut berlangsung adalah atmosfer furnace, dimana tidak digunakan gas *inert* saat reaksi berlangsung.

Sampel yang telah dikompaksi diletakkan di sampel *boat* lalu kemudian dimasukkan ke dalam *furnace*. Siklus termal yang diatur pada penelitian ini dapat dilihat dari gambar 3.3



Gambar 3.3 Grafik Pemanasan.

Dari gambar diatas, dapat dilihat bahwa dari temperatur ruang, sampel dipanaskan hingga temperatur 600 °C selama 30 menit, lalu pada temperatur yang sama dilakukan penahanan selama 30 menit yang bertujuan untuk pre-heating. Setelah itu, sampel kembali dipanaskan hingga temperatur 1250 °C dalam waktu 30 menit, pada saat temperatur 1250 °C sampel ditahan selama 120 menit untuk memastikan bahwa reaksi karbotermik telah berjalan sempurna. Setelah itu, sampel dibiarkan mengalami pendinginan di dalam *furnace*. Tampilan visual sampel setelah sampel diangkat dari *furnace* dapat dilihat dari gambar 3.4



Gambar 3.4 Sampel setelah dikeluarkan dari dapur, (a) Sampel dengan penambahan Grafit, dan (b) Sampel dengan penambahan Antrasit, (c) Sampel dengan penambahan Arang.

Setelah sampel direduksi, lalu tahap selanjutnya adalah mempersiapkan sampel tersebut agar dapat dilakukan karakterisasi dengan XRD, XRF dan SEM.

Karakterisasi Sampel

Setelah sampel dikeluarkan dari *reheating carbolite furnace*, lalu sampel – sampel tersebut ditimbang beratnya kembali dengan timbangan digital milik Departemen Metalurgi dan Material. Sampel yang akan dipreparasi dibagi menjadi dua kelompok, yang pertama adalah sampel yang dipersiapkan untuk pengujian XRD dan XRF, dan kelompok yang kedua adalah yang dipersiapkan untuk pengujian SEM.

Preparasi Sampel untuk pengujian XRD dan XRF

Sampel hasil reduksi yang berbentuk seperti gambar 3.4 dihaluskan kembali secara manual dengan menggunakan *tool steel*. Sampel hasil penggerusan tersebut berupa serbuk yang serupa dengan sampel setelah dilakukan pengayakan. Lalu dengan bantuan *mesh-80* dan beralaskan kertas, sampel yang telah berbentuk serbuk diayak dengan *mesh-80* sehingga berjatuh di atas kertas yang dijadikan sebagai alas. Dengan bantuan magnet *ferromagnet* yang terdapat di laboratorium

metalurgi mekanik Departemen Metalurgi dan Material, yang biasanya digunakan sebagai *toucher* pada mesin *deep drawing*. Selanjutnya magnet yang sebelumnya telah dibungkus dengan plastik dan juga plat baja didekatkan kepada serpihan-serpihan sampel di atas kertas tadi, seperti gambar 3.5. Lalu serpihan yang tertarik magnet dan yang tidak tertarik magnet diletakan kedalam wadah yang berbeda. Serpihan yang tertarik magnet merupakan produk akhir dari *ferronickel*, sedangkan yang tidak tertarik magnet merupakan *non-magnetic wustite*. Sampel yang tertarik magnet inilah yang akan diuji dengan XRD dan XRF. Proses separasi magnetik ini diharapkan akan terjadi peningkatan kadar / pengayaan pada produk hasil karbotermik.



Gambar 3.5 Sampel yang dapat ditarik magnet.

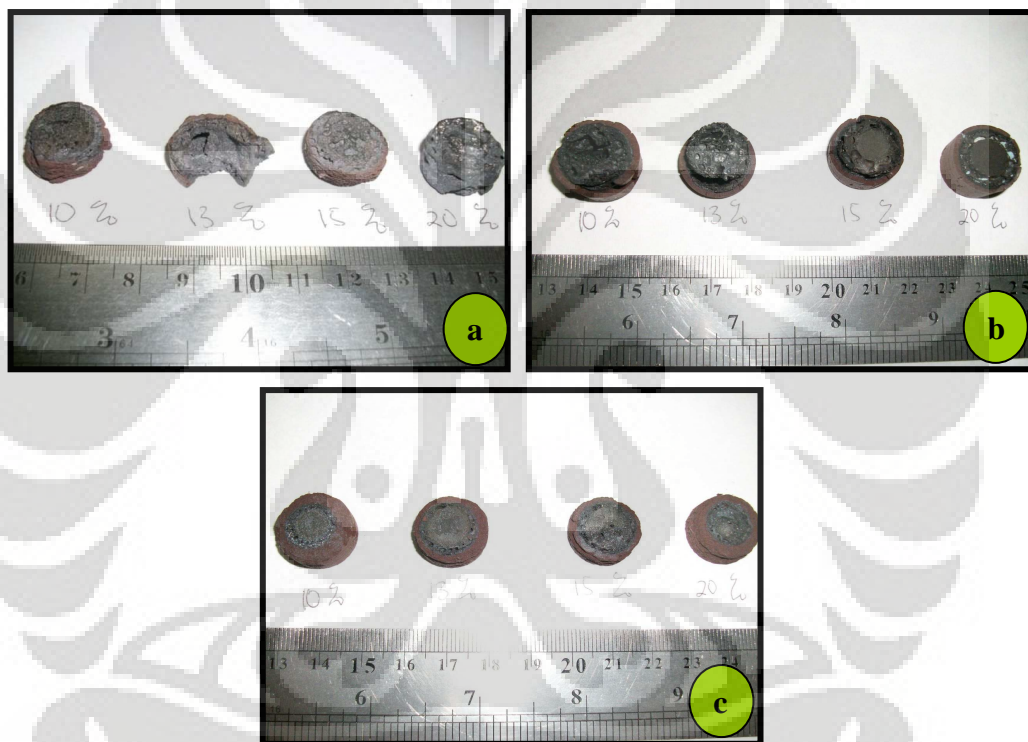
Sampel yang dapat ditarik oleh magnet, dilakukan pengujian XRD (gambar 3.5). Pengujian XRD ini dilakukan di Departemen Metalurgi dan Material. Sampel diuji selama satu jam dan dari pengujian ini diperoleh grafik 2 theta vs intensitas.



Gambar 3.6 Alat Uji XRD milik Departemen Metalurgi dan Material FT-UI.

Preparasi SEM

Sedangkan untuk kelompok sampel yang lainnya dilakukan preparasi untuk melihat struktur mikro dengan menggunakan SEM. Sampel pada gambar 3.4 dipotong bagian tengahnya lalu dilakukan proses amplas dan poles. Karena untuk dilakukan pengujian SEM dengan detektor QBSD dibutuhkan permukaan sampel yang benar – benar rata agar elektron yang dipancarkan dapat dipantulkan kembali dengan baik sehingga pantulan tersebut dapat ditangkap dengan baik sehingga dihasilkan gambar yang baik pula, untuk itulah proses amplas dan poles ini dilakukan. Sampel hasil amplas dan poles dapat dilihat pada gambar 3.7



Gambar 3.7 Sampel setelah dilakukan amplas dan poles, (a) Sampel dengan penambahan Grafit, dan (b) Sampel dengan penambahan Antrasit, (c) Sampel dengan penambahan Arang.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 DATA BERAT SAMPEL

Tabel 4.1 Data berat sampel hingga sebelum dikarakterisasi.

Sampel	Berat awal (g)	Berat akhir (g)	Magnet (g)
10% Antrasit	9.62	7.94	6.35
13% Antrasit	9.55	8.09	6.72
15% Antrasit	8.78	7.70	7.21
20% Antrasit	9.2	7.57	7.69
10% Arang	9.45	7.78	6.24
13% Arang	9.55	7.30	6.1
15% Arang	9.28	7.12	6.21
20% Arang	9.33	6.78	6.34
10% Grafit	9.9	8.09	7.04
13% Grafit	9.84	7.49	6.99
15% Grafit	9.98	7.28	7.15
20% Grafit	10.05	7.00	6.52

Berat awal merupakan berat sampel setelah dikompaksi dengan mesin *pressing* dengan tekanan 200 bar dan ditahan selama 1 menit, dan belum dilakukan proses reaksi karbotermik. Sedangkan berat akhir merupakan berat sampel setelah dikeluarkan dari *reheating carbolite furnace*, dan kolom magnet merupakan kolom data berat sampel yang dapat ditarik oleh magnet.

4.2 HASIL PENGUJIAN XRF dan XRD SAPROLIT

Untuk mengetahui komposisi kimia sampel sebelum dilakukan reduksi, maka dilakukanlah pengujian XRF, data pengujian komposisi kimia awal sampel sebelum dilakukan reduksi, dapat dilihat pada tabel 4.2. Sedangkan hasil pengujian XRD saprolit sebelum proses reduksi dapat dilihat pada gambar 4.1

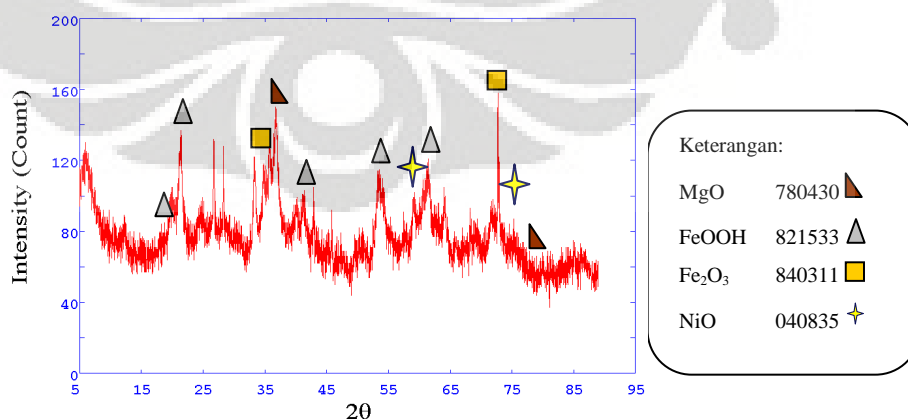
Hasil Pengujian XRF saprolit

Tabel 4.2 Komposisi Kimia Awal Saprolit hasil pengujian XRF.

Unsur	%
Fe	21.86
Mg	4.29
Si	13.82
Ca	0.14
Cr	0.76
Al	1.96
Ni	1.78
Mn	0.29
K	0.09
O	55

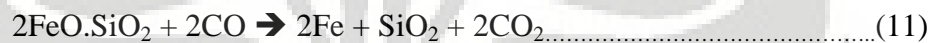
Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan peralatan XRF di *Research Center for Materials Science Faculty of Mathematics and Sciences University of Indonesia* di Salemba Raya, Jakarta, dimana dapat menghasilkan data berupa nilai persentase unsur-unsur yang terkandung pada sampel.

Hasil Pengujian XRD Bahan Baku (saprolit)



Gambar 4.1 Grafik hasil uji XRD Saprolit dan keterangan mengenai senyawa yang terbentuk serta nomor kartu pada *database*.

Bijih saprolit yang digunakan untuk penelitian ini kemungkinan mengandung mineral – mineral^[1] seperti *garnierite* (hidrat Mg-Ni silikat, [(Ni,Mg)₆Si₄O₁₀(OH)₈]), *smectite* (Fe (Ca, Na, Mg, Al) clay), *goethite* (FeOOH atau [Fe,Ni]O(OH)). Mineral – mineral inilah yang akan menjadi bahan yang akan direduksi oleh gas berbasis karbon (CO-CO₂). Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian XRF dimana terdapat kandungan Mg, Si dan Al yang tinggi, dengan Mg 5.44% dan Si 18.11% (diperkirakan yang berasal dari *garnierite*), serta Al 2.53% (diperkirakan berasal dari *smectite* / *nontronite*). Selama proses reduksi, keberadaan silika yang berasal dari reduksi *garnierite* dengan gas CO akan memicu pembentukan (10) dan dekomposisi *fayalite* (11), dengan reaksi^[7]:



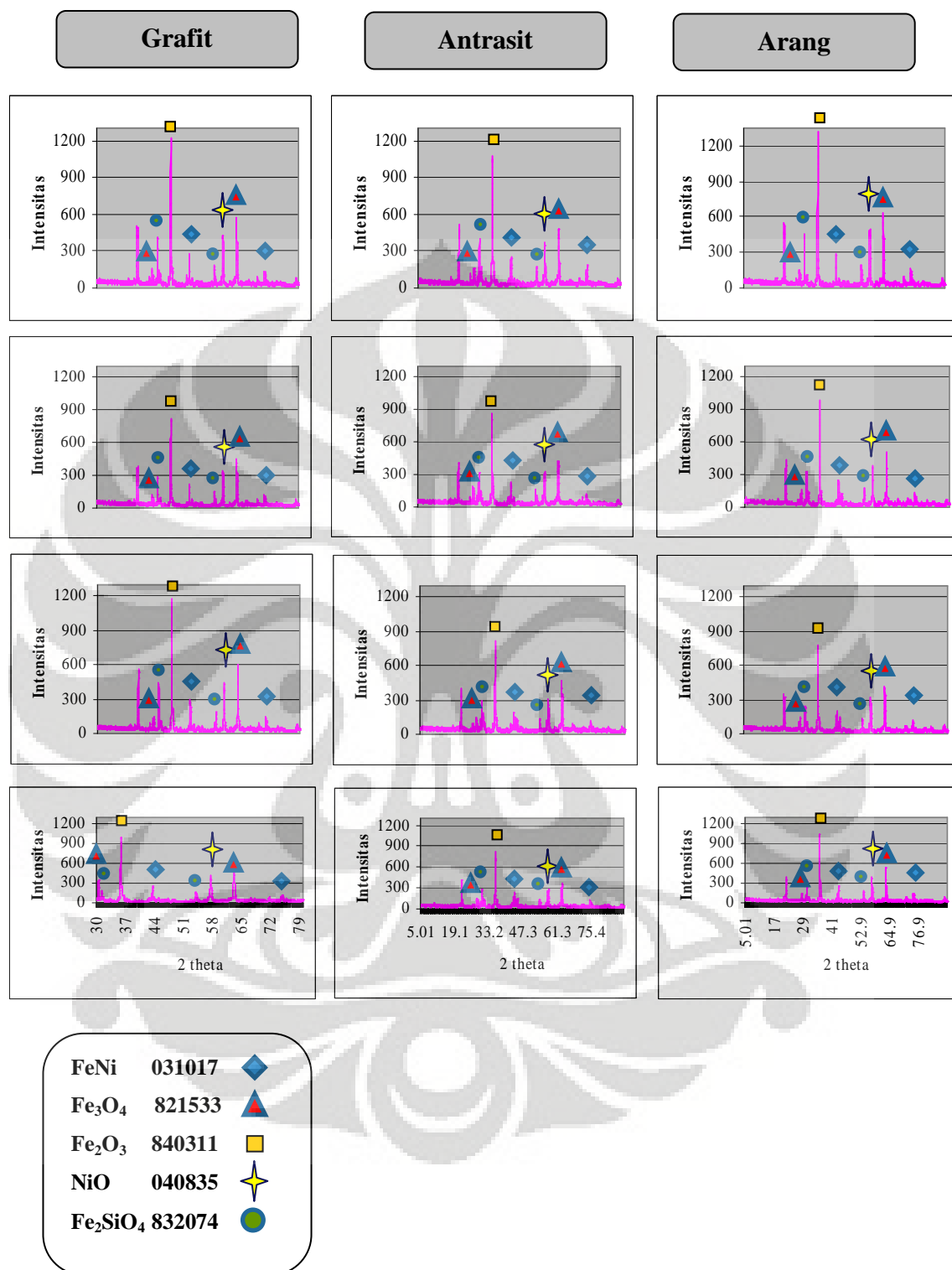
Selain itu, saprolit pada penelitian ini pun memiliki kandungan *goethite*. Hal ini dibuktikan dengan hasil XRD sampel saprolit awal.

4.3 DATA KOMPOSISI SUMBER KARBON

Tabel 4.3 Komposisi Reduktor

Tipe Reduktor	Komposisi		
	Kadar Air (%)	% C	Ash
Antrasit	3.5	72	21
Arang Batok kelapa	10	64	24
Grafit	0.5	97	1

4.4 SENYAWA PRODUK REAKSI KARBOTERMIK



Gambar 4.2 Hasil Uji XRD sampel dengan penambahan Antrasit, Arang dan Grafit serta keterangan mengenai senyawa yang terbentuk serta nomor kartu pada *database*.

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa terjadi perubahan pembentukan senyawa bila dibandingkan dengan gambar 4.1. Setelah direduksi dengan 10% reduktor pada temperatur 1250 °C, senyawa *goethite* yang terdeteksi pada sampel awal, kini tidak lagi terlihat dan muncul beberapa senyawa baru seperti FeNi, NiO, Fe₂SiO₄ dan Fe₃O₄, disertai peningkatan Fe₂O₃. Hal ini terjadi karena [Fe,Ni]O(OH) pada saprolit tereduksi atau terjadi pemutusan ikatan OOH dan terbentuklah FeNi. Selain itu, terbentuk pula Fe₃O₄ sebagai produk reduksi Fe₂O₃ dengan reaksi:



Seiring dengan peningkatan temperatur dan kadar gas CO (dalam hal ini 1250 °C), maka pembentukan Fe₃O₄ pun semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada gambar 2.3. Dari gambar 2.3 dapat diperkirakan bahwa pada temperatur reduksi di penelitian ini (1250 °C) akan tereduksi beberapa senyawa menjadi senyawa baru, tentunya tergantung dari banyaknya gas yang terbentuk karena terbakarnya reduktor (rasio (CO)/(CO+CO₂)). Berdasarkan gambar 2.3 tersebut, pada saat temperatur reduksi 1250 °C Fe₂O₃ akan tereduksi menjadi Fe₃O₄, lalu diikuti reduksi NiO menjadi Ni, dan bila rasio (CO)/(CO+CO₂) mencapai 20% terjadi reduksi Fe₃O₄ menjadi FeO.

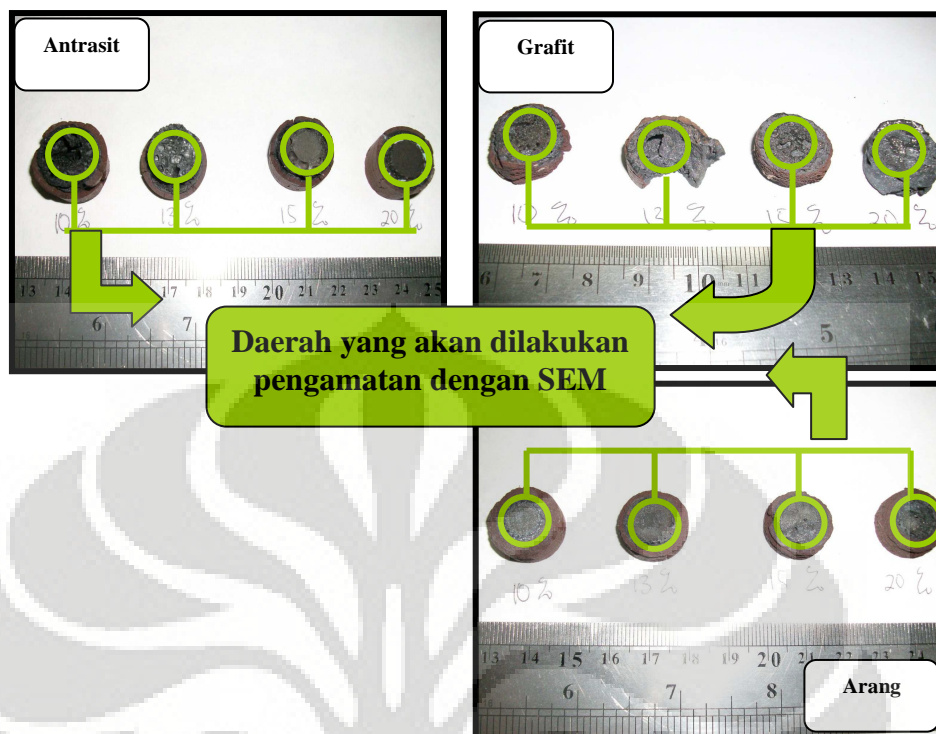
Bila dibandingkan dengan hasil reduksi dengan arang dan grafit, hasil reduksi dengan antrasit menghasilkan produk dengan intensitas NiO dan Fe₂O₃ yang lebih kecil bila dibandingkan dengan hasil reduksi dengan arang dan grafit pada gambar 4.2. Hal ini dikarenakan pada produk dengan penambahan antrasit dihasilkan gas CO yang cukup untuk mereduksi NiO dan Fe₂O₃. Sehingga NiO pada produk dengan penambahan antrasit memiliki intensitas yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan yang lain, tapi memiliki *recovery* Ni yang tinggi (walaupun tidak setinggi grafit), dibuktikan pada hasil XRF pada tabel 4.7 Hal ini sesuai dengan literatur^[7], karena grafit yang memiliki *fixed carbon* yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang lain, memiliki nilai *recovery* yang paling baik pada kadar 10% reduktor ini. Secara teoritis, berdasarkan gambar 2.3 senyawa yang tereduksi terlebih dulu adalah Fe₂O₃, NiO, kemudian Fe₃O₄.

Dengan melihat gambar 4.2, pada penambahan 13% reduktor terjadi beberapa perubahan intensitas pada beberapa senyawa yang menandakan terjadinya reaksi reduksi. Untuk penambahan grafit dan arang terjadi penurunan intensitas Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 . Turunnya intensitas Fe_2O_3 menandakan tereduksinya Fe_2O_3 menjadi Fe_3O_4 , namun pada grafik tidak memperlihatkan adanya kenaikan Fe_3O_4 . Hal ini disebabkan terbentuknya *wustite* (FeO), hasil reduksi Fe_3O_4 . *Wustite* tersebut tidak terdeteksi pada gambar 4.2 karena *wustite* telah terpisahkan oleh proses magnetik separasi, sehingga tidak terdapat / sangat sedikit sekali *wustite* di dalam sampel yang telah diuji XRD. Dan untuk senyawa NiO pun untuk ketiga reduktor mengalami penurunan intensitas, hal ini disebabkan tereduksinya NiO menjadi Ni . Pembentukan Ni hasil reduksi NiO dibuktikan dengan pengujian EDX, dan struktur mikro.

Hasil reduksi dengan penambahan 15% reduktor pun intensitas Fe_2O_3 mengalami penurunan (untuk sampel dengan penambahan antrasit dan arang), dimana semakin tinggi kadar CO , maka reduksi Fe_2O_3 menjadi Fe_3O_4 menjadi lebih banyak, seperti pada gambar 2.3. Namun lain halnya dengan sampel yang ditambahkan grafit, dimana intensitas Fe_2O_3 mengalami kenaikan. Hal ini mungkin dikarenakan Fe_3O_4 yang terbentuk teroksidasi kembali menjadi Fe_2O_3 . Sedangkan untuk senyawa FeNi cenderung meningkat untuk semua reduktor.

Dari grafik, dapat dilihat dan dibandingkan (gambar 4.2), dimana Intensitas FeNi cenderung meningkat walaupun tidak signifikan, dan hal inipun diperkuat dengan hasil XRF, dimana % *recovery* nikel meningkat dari penambahan 15% hingga 20% reduktor baik pada penambahan antrasit maupun arang, kecuali pada penambahan grafit.

4.5 STRUKTUR MAKRO dan MIKRO



Gambar 4.3 Foto Makro Sampel

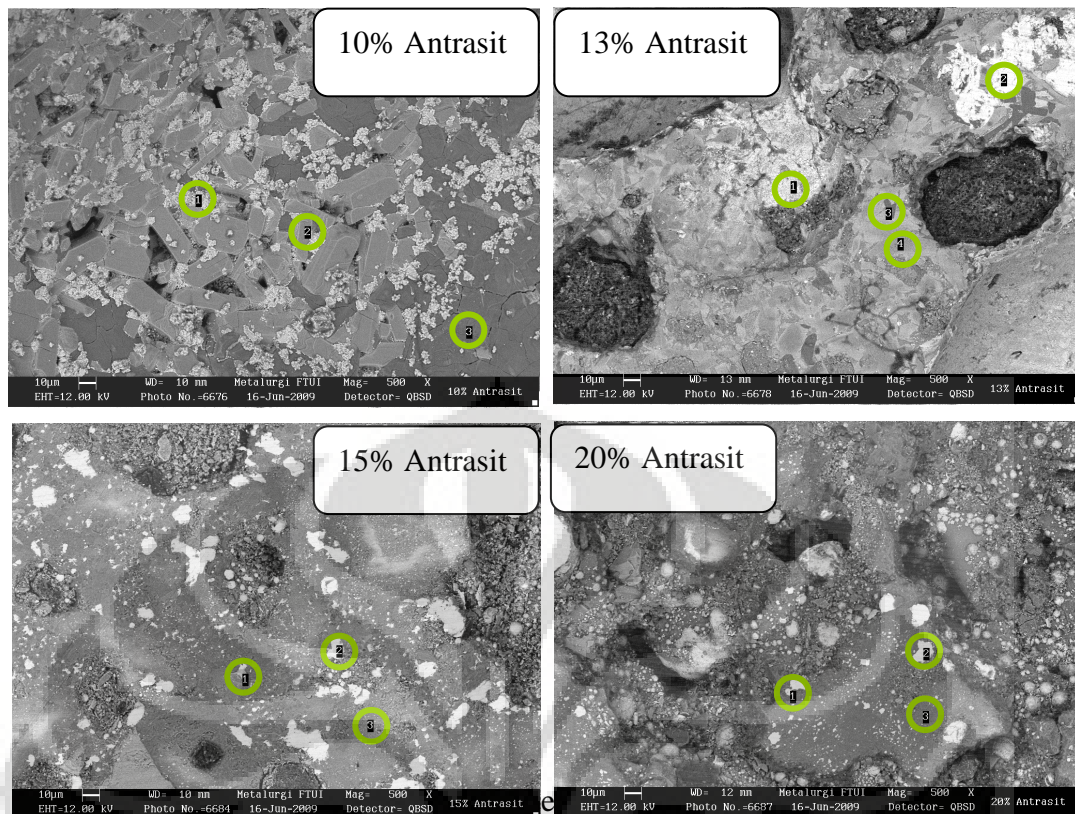
Sebelum dilakukan pengamatan mikro, terlebih dahulu dilakukan pengamatan makro dari tiap – tiap sampel. Pengamatan makro ini dilakukan dengan cara memotong sampel searah sumbu x. Setelah dipotong, dapat dilihat dari gambar 4.3 bahwa secara umum terdapat 2 bagian yang berbeda, bagian yang pertama adalah bagian tengah sampel yang berwarna kelabu yang mengindikasikan telah terbentuknya produk hasil proses karbotermik. Dan bagian yang lain berwarna merah kecoklatan yang serupa dengan sampel yang belum dilakukan proses karbotermik. Pada daerah berwarna kelabu inilah dilakukan pengamatan dengan SEM untuk mengetahui struktur mikro seperti apa yang dihasilkan dari proses karbotermik ini (seperti yang dapat dilihat pada gambar 4.3). Secara makro, sampel dengan penambahan antrasit memiliki daerah kelabu yang banyak sekali rongga / lubang yang mengindikasikan banyaknya gas yang terbentuk saat proses karbotermik.

Untuk mengetahui terbentuk atau tidaknya senyawa FeNi ataupun Ni, dapat dilakukan dengan melakukan pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM perbesaran 500X dengan bantuan *backscatter*, dimana akan

dihasilkan gambar struktur mikro dengan perbedaan terang gelap pada gambar yang dihasilkan. FeNi atau Ni yang dihasilkan akan memberikan efek warna terang, sedangkan untuk daerah yang berwarna gelap diidentifikasi sebagai daerah non-logam.

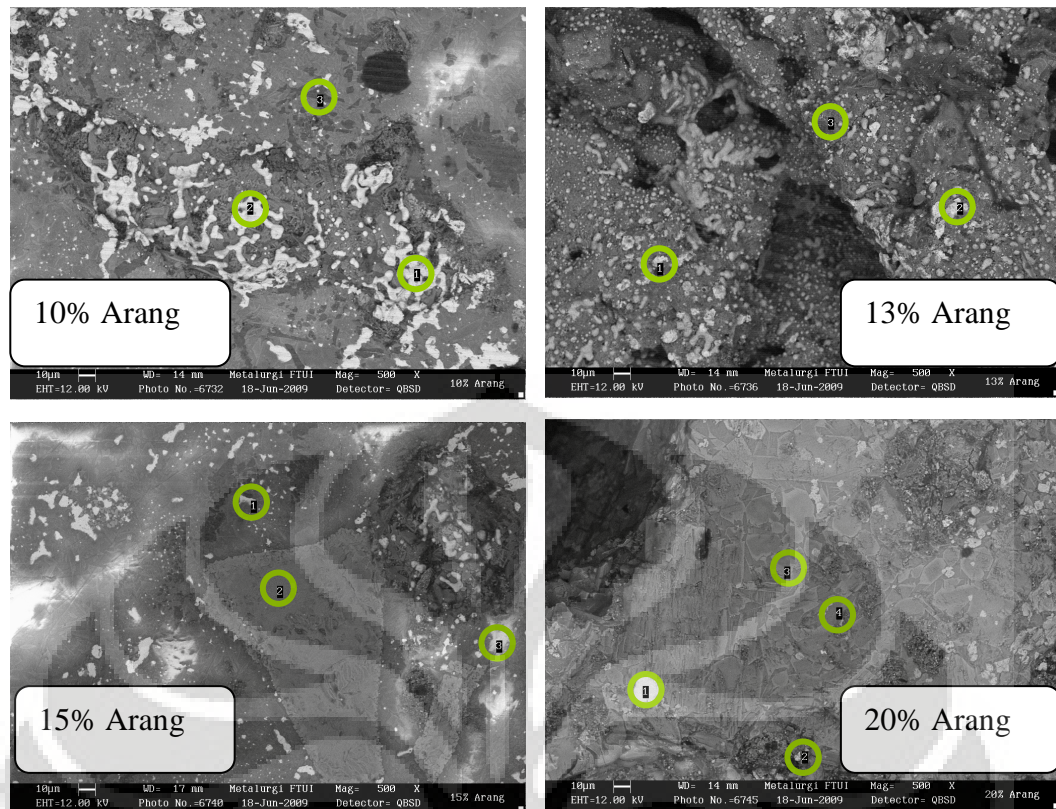
Untuk penambahan antrasit, arang dan grafit dapat dilihat dari gambar diatas, terdapat tiga kategori warna yang muncul yaitu warna putih (terang), kelabu terang, dan warna kehitam-hitaman (gelap), pada ketiga daerah tersebut dilakukanlah pengujian EDX untuk mengetahui senyawa penyusunnya (berdasarkan perkiraan dengan menghitung % atomik dari unsur yang terdeteksi). Umumnya, daerah yang mengandung FeNi dan atau Ni menghasilkan warna abu – abu terang, untuk senyawa Fe berwarna putih terang, sedangkan daerah yang berwarna gelap umumnya didominasi oleh silika. Umumnya, pengamatan dengan metode ini dilakukan untuk mengetahui derajat metalisasi (seberapa banyak senyawa logam yang terbentuk setelah dilakukan reduksi) suatu sampel. Namun pada pengamatan di penelitian ini, gambar struktur mikro yang dihasilkan tidak dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan derajat metalisasi, sebab sampel yang dilakukan pengamatan dengan SEM memiliki permukaan yang berlubang – lubang sehingga kurang mewakili sifat sampel secara keseluruhan. Namun, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui seperti apakah senyawa FeNi atau Ni yang terbentuk, karena dari hasil penelitian M.A RHAMADHANI ^[9], Ni atau senyawa Ni akan membentuk struktur mikro tertentu.

Dari gambar 4.4 – 4.6 dapat dilihat bahwa dari penelitian ini, dihasilkan daerah logam yang tersebar tidak merata di permukaan sampel, dan dari tampilan visual, sampel dengan penambahan antrasit dan grafit memiliki daerah logam yang cukup luas dibandingkan dengan arang, hal ini mungkin dikarenakan baik antrasit maupun grafit mereduksi sampel cukup baik dibandingkan dengan arang, tapi untuk membuktikannya secara kuantitatif dilakukanlah pengujian XRF (*X-ray Fluorescence*).



Tabel 4.4 Perkiraan senyawa dominan yang terbentuk berdasarkan uji EDX pada penambahan antrasit.

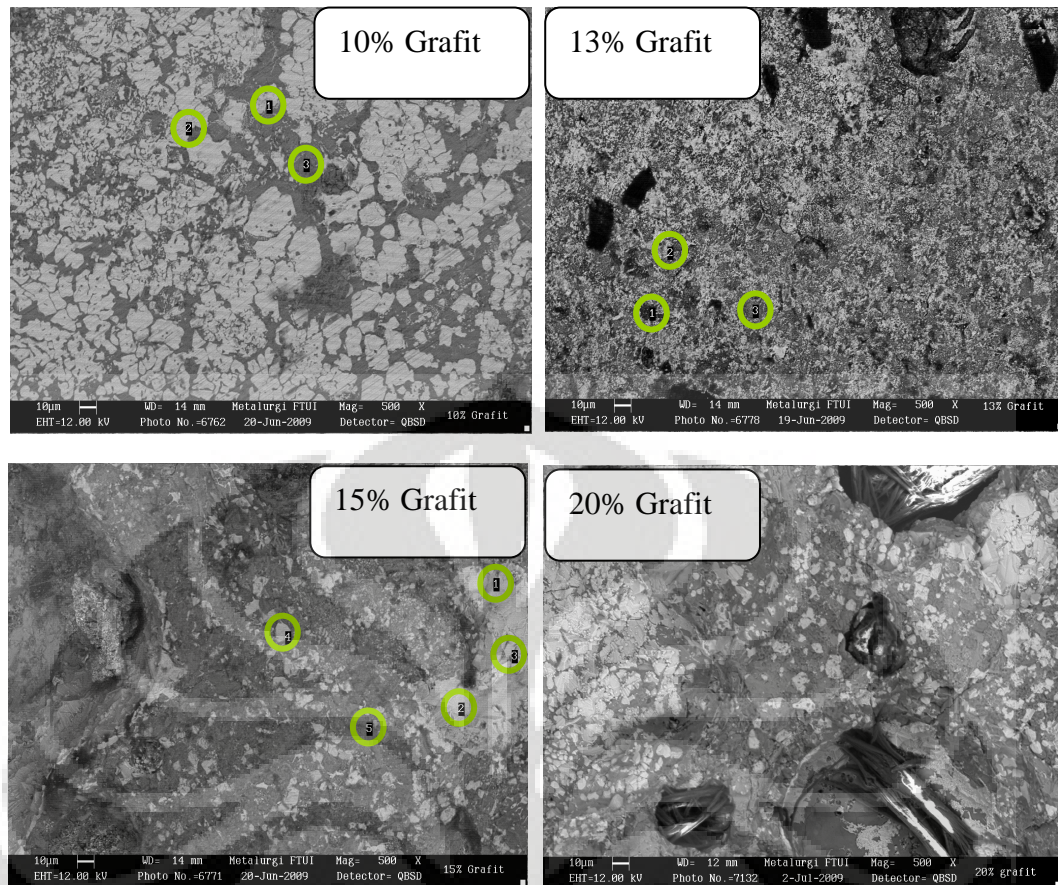
Sampel	Titik Uji	Perkiraan Senyawa Dominan yang terbentuk
10% Antrasit	1	Fe ₂ O ₃ , Ni
	2	FeSiO ₃
	3	SiO ₂
13% Antrasit	1	Fe ₂ O ₃ , Ni
	2	FeS, NiO
	3	FeSiO ₃
	4	FeSiO ₃
15% Antrasit	1	Fe ₂ O ₃
	2	Fe
	3	SiO ₂
20% Antrasit	1	FeO, FeNi
	2	Fe, FeSiO ₃
	3	SiO ₂ , MgO



Gambar 4.5 Struktur mikro sampel dengan penambahan Arang.

Tabel 4.5 Perkiraan senyawa dominan yang terbentuk berdasarkan uji EDX pada penambahan arang.

Sampel	Titik Uji	Perkiraan Senyawa Dominan yang terbentuk
10% Arang	1	FeO, FeNi
	2	FeO, FeNi, Fe
	3	SiO ₂
13% Arang	1	FeSiO ₃ , FeNi, Fe
	2	FeSiO ₃ , Fe
	3	SiO ₂
15% Arang	1	FeSiO ₂ , FeNi
	2	Cr ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃
	3	SiO ₂ , MgO
20% Arang	1	NiS, FeNi
	2	FeNi, FeO
	3	SiO ₂ , FeO
	4	SiO ₂



Gambar 4.6 Struktur mikro sampel dengan penambahan Grafrit.

Tabel 4.6 Perkiraan senyawa dominan yang terbentuk berdasarkan uji EDX pada penambahan grafrit.

Sampel	Titik Uji	Perkiraan Senyawa Dominan yang terbentuk
10% Grafrit	1	Fe ₂ O ₃ , Ni
	2	Fe ₂ O ₃
	3	FeO
13% Grafrit	1	SiO ₂
	2	Fe ₂ O ₃ , Ni
	3	Fe ₂ O ₃ , Ni
15% Grafrit	1	FeNi, FeO
	2	FeNi, FeO
	3	FeNi, FeO
	4	FeO, Fe, Ni
	5	FeO, Fe

(Untuk penambahan grafrit 20% tidak dilakukan pengujian dengan EDX karena kendala alat saat penelitian ini dilakukan)

4.6 PEROLEHAN REAKSI KARBOTERMIK

Tabel 4.7 Hasil Recovery nikel setelah reaksi karbotermik.

Sampel		<i>F</i>	<i>f</i>	<i>C</i>	<i>c</i>	<i>R</i>
		Berat Bijih (gram)	% Ni Bijih	Berat Konsentrat	% Ni Konsentrat	% Recovery Ni
	10% Antrasit	9.62	1.78	6.35	1.87	69.35
	13% Antrasit	9.55	1.78	6.72	1.91	75.51
	15% Antrasit	8.78	1.78	7.21	1.62	74.74
	20% Antrasit	9.2	1.78	7.69	1.7	79.83
Saprolit	10% Arang	9.45	1.78	6.24	1.99	73.82
	13% Arang	9.55	1.78	6.1	1.94	69.62
	15% Arang	9.28	1.78	6.21	2.01	75.56
	20% Arang	9.33	1.78	6.34	1.99	75.97
	10% Grafit	9.9	1.78	7.04	1.85	72.82
	13% Grafit	9.84	1.78	6.99	1.87	74.33
	15% Grafit	9.98	1.78	7.15	1.8	71.89
	20% Grafit	10.05	1.78	6.52	1.72	62.69

$$\% \text{ Recovery} = \frac{F \times f}{C \times c}$$

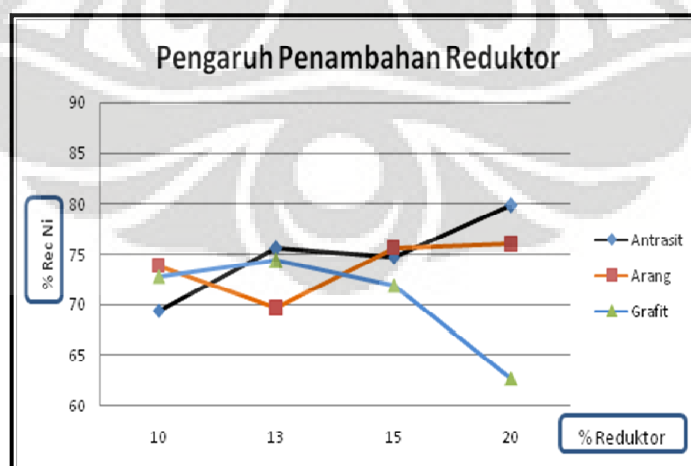
Dimana:

F = Berat sampel setelah kompaksi

f = Kadar nikel dalam bijih (bahan baku) hasil uji XRF

C = Berat sampel yang dapat ditarik magnet

c = Kadar nikel setelah reaksi reduksi dan separasi magnetik hasil uji XRF

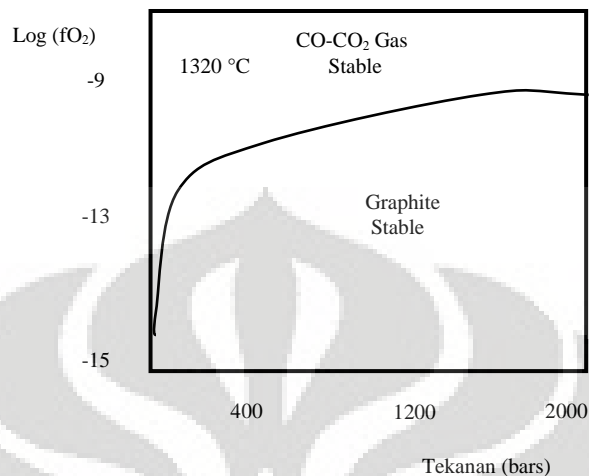


Gambar 4.7 Pengaruh penambahan kadar reduktor terhadap % recovery Ni.

Hasil pengujian XRF berisikan data – data % unsur dari suatu sampel. Dan dari gambar 5.10, reduktor yang menghasilkan % *recovery* Ni yang paling baik pada penelitian ini adalah antrasit, dimana dengan semakin banyaknya kadar karbon, maka *recovery* Ni yang dihasilkan pun semakin meningkat. Dan dalam hal ini % *recovery* Ni paling optimum adalah 79.83% pada saat penambahan 20% antrasit. Maksud dari % *recovery* 79.83% adalah kadar nikel yang terkandung pada sampel adalah sebanyak 79.83% sedangkan sisanya terpisahkan saat magnetik separasi. Pada penambahan dengan arang batok kelapa pun menunjukkan kecenderungan % *recovery* Ni yang meningkat dengan semakin banyaknya penambahan arang batok kelapa. Lain halnya dengan penambahan grafit, dimana % *recovery* Ni meningkat pada penambahan 13% grafit, lalu menurun pada penambahan 15 dan 20% grafit. Perbedaan nilai *recovery* ini mungkin disebabkan oleh beberapa faktor seperti luas permukaan karbon yang bereaksi dengan sampel, kadar *fixed* carbon, dan kemampuan reduktor membentuk gas CO-CO₂ pada saat proses pemanasan.

Luas permukaan karbon yang memungkinkan terjadinya reaksi antara karbon dengan O₂ merupakan hal yang penting, yang ditentukan oleh ukuran partikel material dan juga porositas yang dimiliki oleh material serta proses pencampuran yang merata, dimana semakin besar kontak permukaan maka reaksi reduksi dapat berlangsung dengan baik. Kadar *fixed* karbon akan menentukan seberapa banyak gas CO-CO₂ yang terbentuk, semakin tinggi kadar karbon yang terkandung pada reduktor tentunya gas yang dihasilkan akan semakin banyak. Antrasit dan arang batok kelapa memiliki *fixed* karbon yang tidak jauh berbeda, oleh karenanya hasil % *recovery* Ni antara sampel dengan penambahan antrasit dan arang batok kelapa tidak jauh berbeda. Selain itu, secara fisik juga dapat dilihat dari sampel dengan penambahan antrasit yang mengalami perubahan bentuk (mengembang), dapat dilihat pada gambar 3.4. Pada sampel antrasit yang mengembang bila dilakukan pemotongan searah sumbu x, maka kita dapat melihat banyak rongga – rongga yang mengindikasikan terbentuknya gas, berbeda dengan sampel yang dicampurkan dengan arang ataupun grafit. Namun pada sampel dengan penambahan grafit % *recovery* Ni yang dihasilkan tidak seperti pada penambahan antrasit dan arang batok kelapa. Kemungkinannya adalah stabilitas

dari grafit yang tinggi, dimana pembentukan gas CO-CO₂ yang stabil dari reduktor grafit dapat terjadi jika reduktor grafit dikondisikan pada temperatur dan tekanan yang tinggi, seperti dapat dilihat dari gambar berikut ^[10]:



Gambar 4.8. Pengaruh Tekanan pada Grafit-C-O^[10]

Dengan stabilitas grafit yang tinggi, sehingga gas CO yang diperlukan untuk mereduksi tidak mencukupi dan akibatnya Ni atau % recovery Ni pun akan rendah. Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa agar terbentuk gas CO-CO₂ yang berasal dari grafit, maka grafit perlu dikondisikan pada tekanan yang tinggi dan pada temperatur tertentu. Sehingga, walaupun grafit memiliki kadar *fixed* karbon yang lebih tinggi dibandingkan antrasit dan arang batok kelapa, kemampuan grafit untuk membentuk gas membutuhkan kondisi tertentu.

BAB V

KESIMPULAN

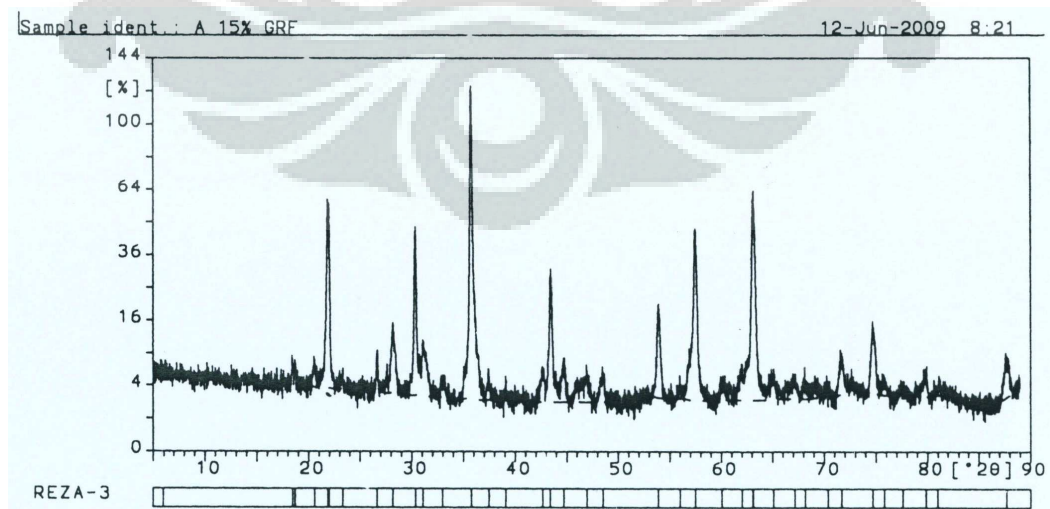
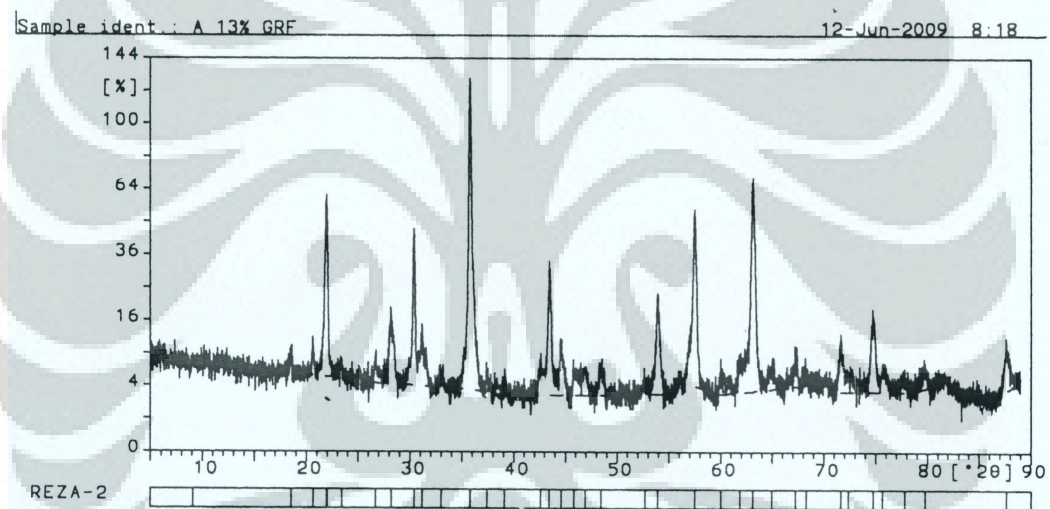
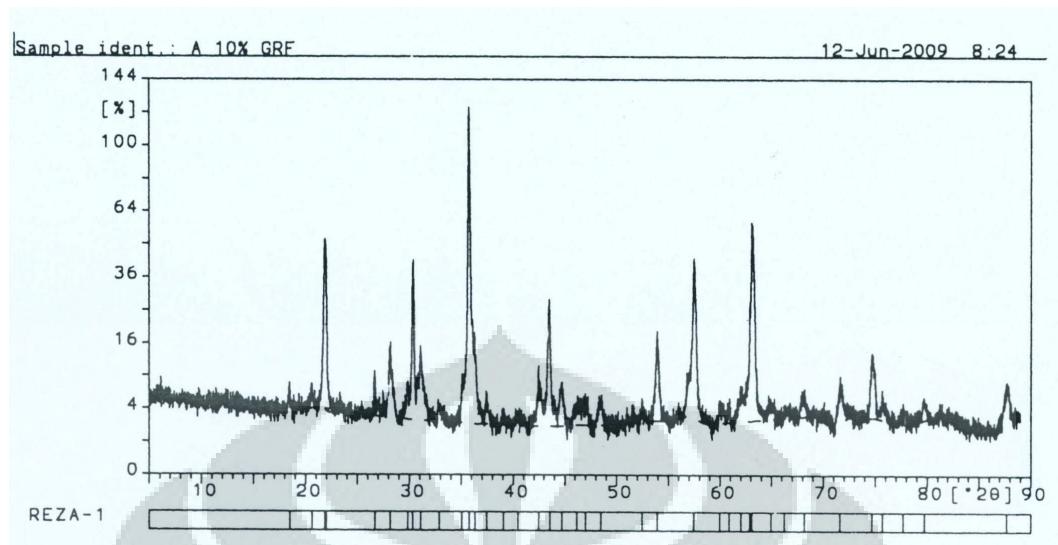
1. Senyawa – senyawa yang terbentuk setelah dilakukan reaksi karbotermik berdasarkan hasil uji XRD yaitu Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeNi , dan FeSiO_2 .
2. Pada penambahan reduktor grafit terjadi kenaikan % *recovery* Ni hingga kadar 13% grafit yaitu sebesar 74.33%, kemudian % *recovery* Ni tersebut mengalami penurunan hingga 62.69% pada penambahan 20% grafit.
3. Pada penambahan reduktor antrasit, % *recovery* Ni cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya antrasit yang ditambahkan. % *Recovery* Ni pada penambahan antrasit optimum pada penambahan 20% antrasit yang menghasilkan 79.83% *recovery* Ni.
4. Pada penambahan reduktor arang batok kelapa, % *recovery* Ni cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya arang batok kelapa yang ditambahkan. % *Recovery* Ni pada penambahan arang batok kelapa optimum pada penambahan 20% arang batok kelapa yang menghasilkan 75.97% *recovery* Ni.
5. Dari hasil pengujian SEM dapat diketahui bahwa dengan menambahkan reduktor antrasit dan arang batok kelapa akan menghasilkan produk dengan daerah logam yang tersebar dipermukaan sampel, sedangkan pada penambahan grafit akan menghasilkan produk dengan daerah logam yang cenderung mengelompok atau terlokalisasi pada daerah tertentu di permukaan sampel.

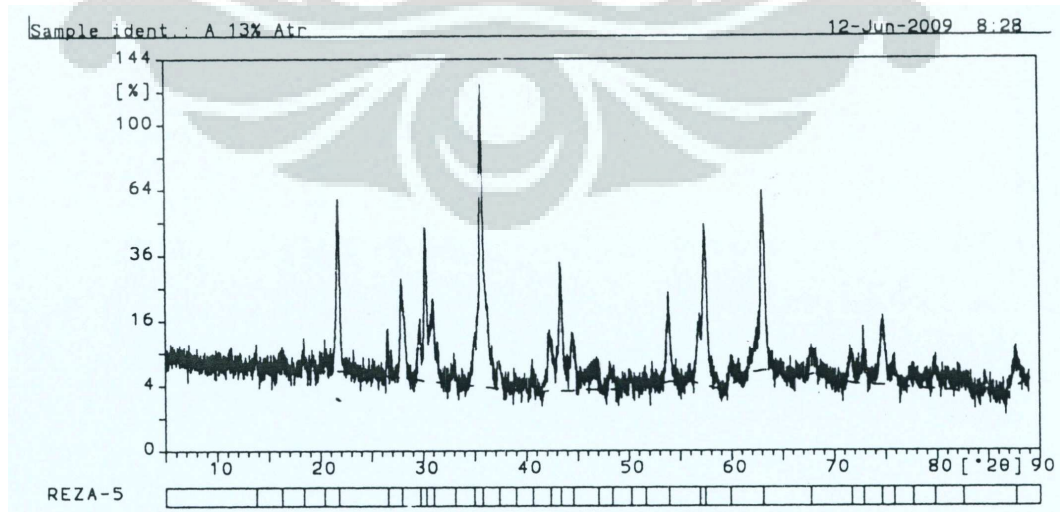
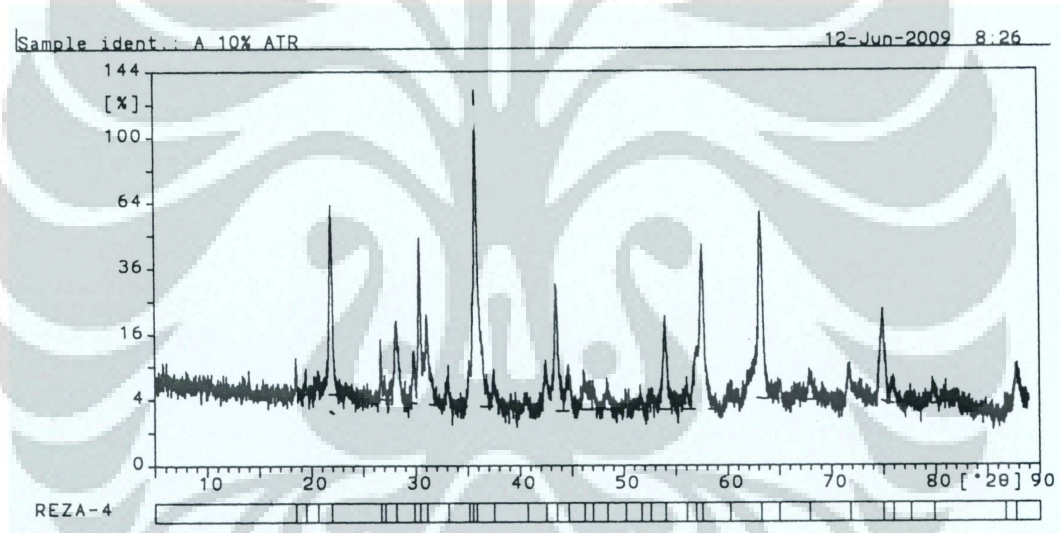
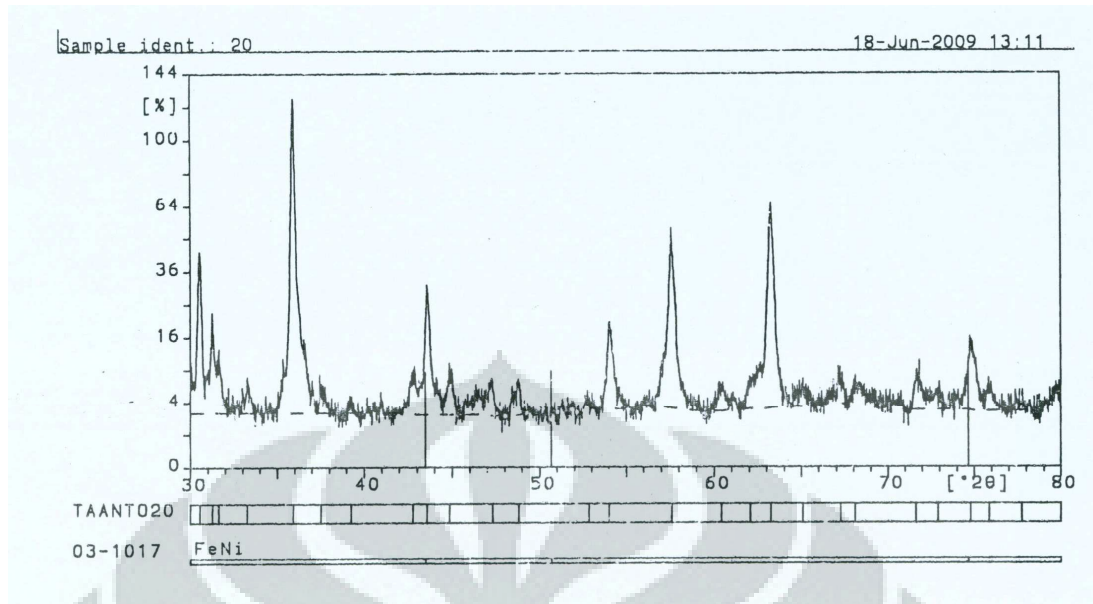
DAFTAR ACUAN

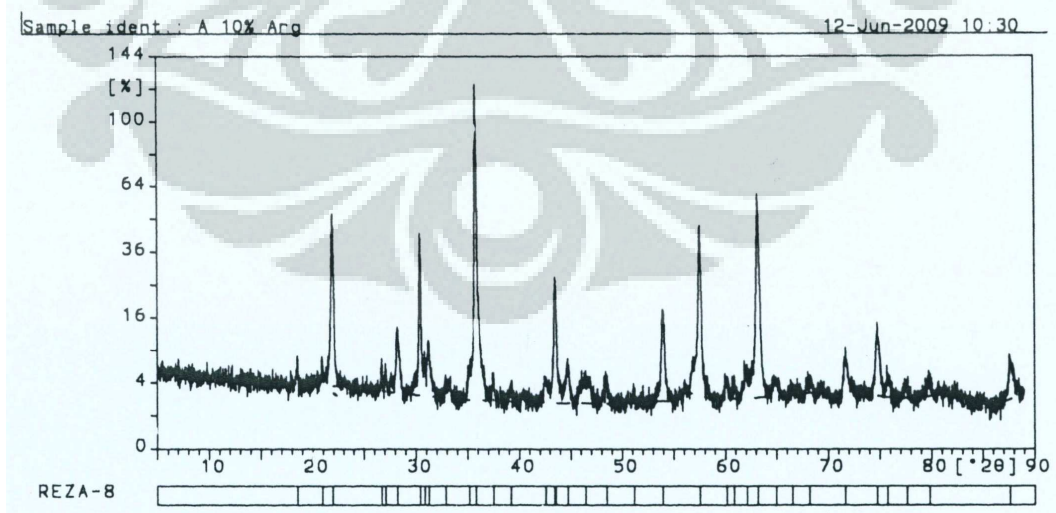
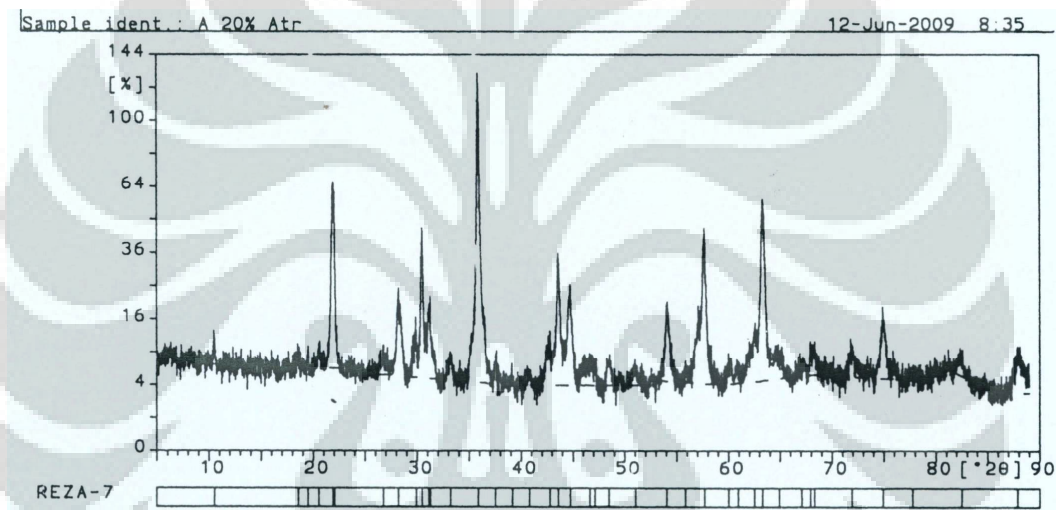
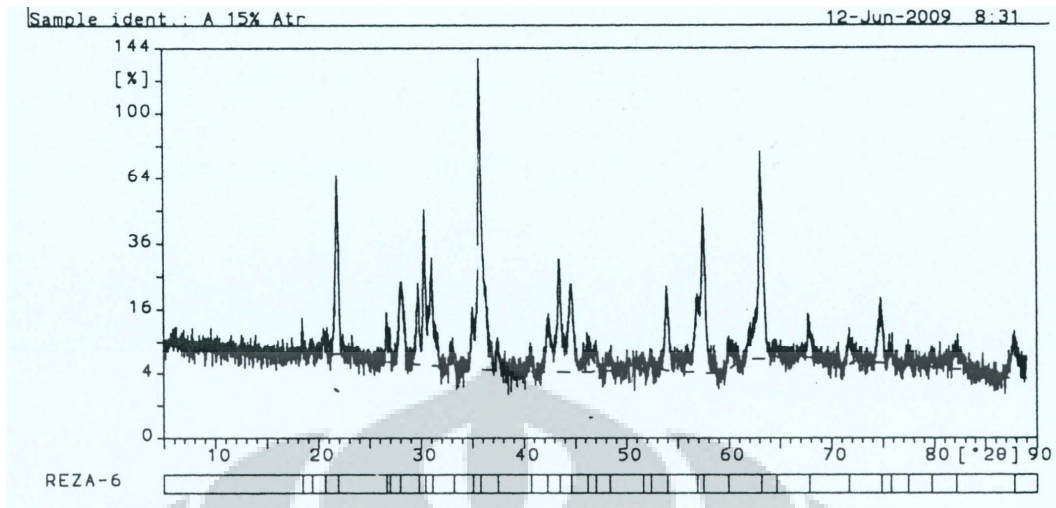
- [1] Elias, Mick. 2002. *Nickel laterite deposits – geological overview, resources and exploitation*. Tasmania
- [2] Bergman, Rolland A. 2003. *Nickel production from low-iron laterite ores: Process description*.
- [3] B.A.Wills. 1988. *Mineral Processing Technology : An Introduction to The Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. 4th edition. Pergamon Press, United Kingdom.p.200
- [4] Fathiabashi. 1997. *Handbook of Extractive Metallurgy*. WILEY-VCH
- [5] Robert.L.Steperson. 1980. *Direct Reduced Iron (Technology and Economics of Production and Use)*, USA iron steel society of aime.
- [6] S.K.Dutta, A.Ghosh. 1994. *Study of Nonisothermal Reduction of Iron Ore-Coal/Char Composite Pellet*. Metallurgical and Materials Transactions B. Vol 25B. p. 16.
- [7] Sato, Yohta.dkk. 1970. *Method of Producing Ferronickel or Metallic Nickel*. Jepang: US Patent.
- [8] http://www.chemeng.ui.ac.id/~wulan/Materi/lecture%20notes/padat_new.PDF (diakses pada Juni 2009).
- [9] RHAMADANI, MA dkk. 2008. *BASIC NICKEL CARBONATE: Microstructure Evolution during Industrial Production from Basic Nickel Carbonate*. Brisbane.
- [10]. Nicholis, M G dan M J Rutherford. 2005. *Pressure Dependence of Graphite-C-O Phase Equilibria and Its Role in Lunar Mare Volcanism*.
- [11]. S. KESSON, A.E dkk. 1997. *RINGWOOD Reaction between magnesiowustite of lower mantle composition and core-forming Fe-Ni alloy at 1–40 GPa*. Australia
- [12] <http://www.calphad.com/iron-nickel.html> (diakses Juli 2009).
- [13] Yang, CW dan D B Williams *A Revision of The Fe-Ni Phase Diagram at Low Temperatures (< 400°C)*.1996. Massachusetts.

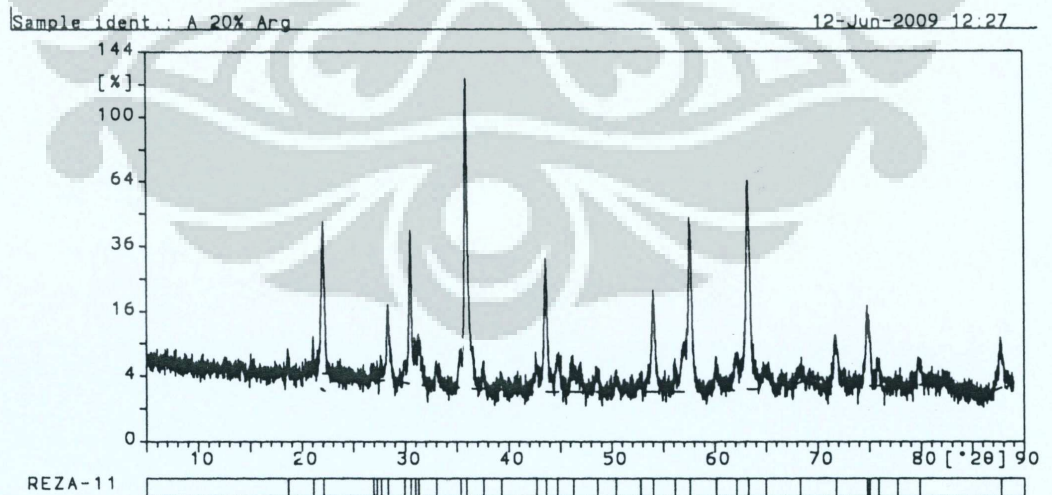
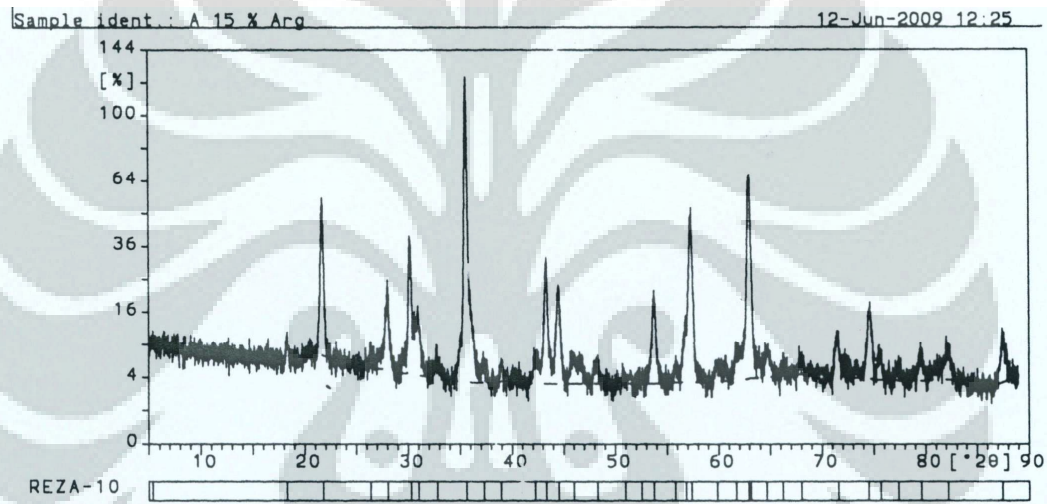
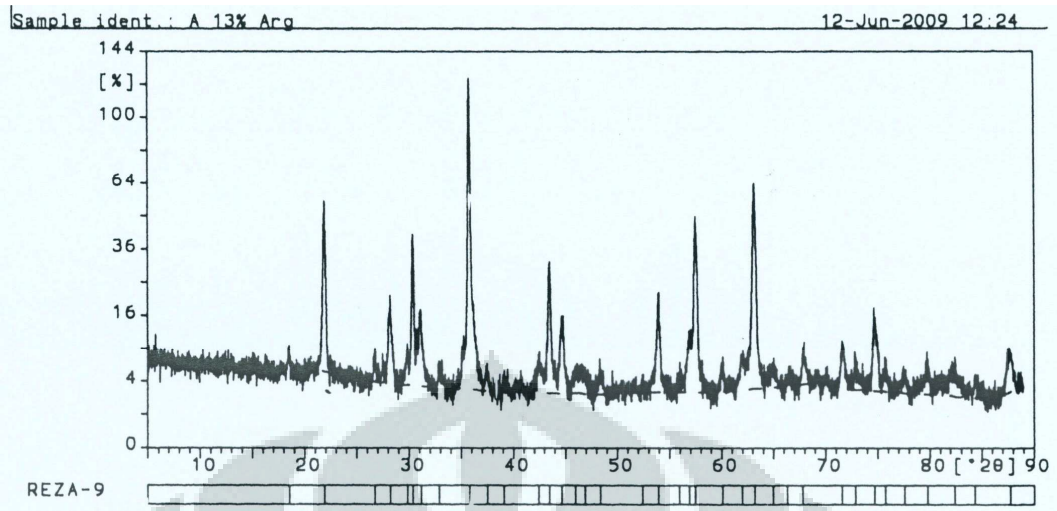


LAMPIRAN

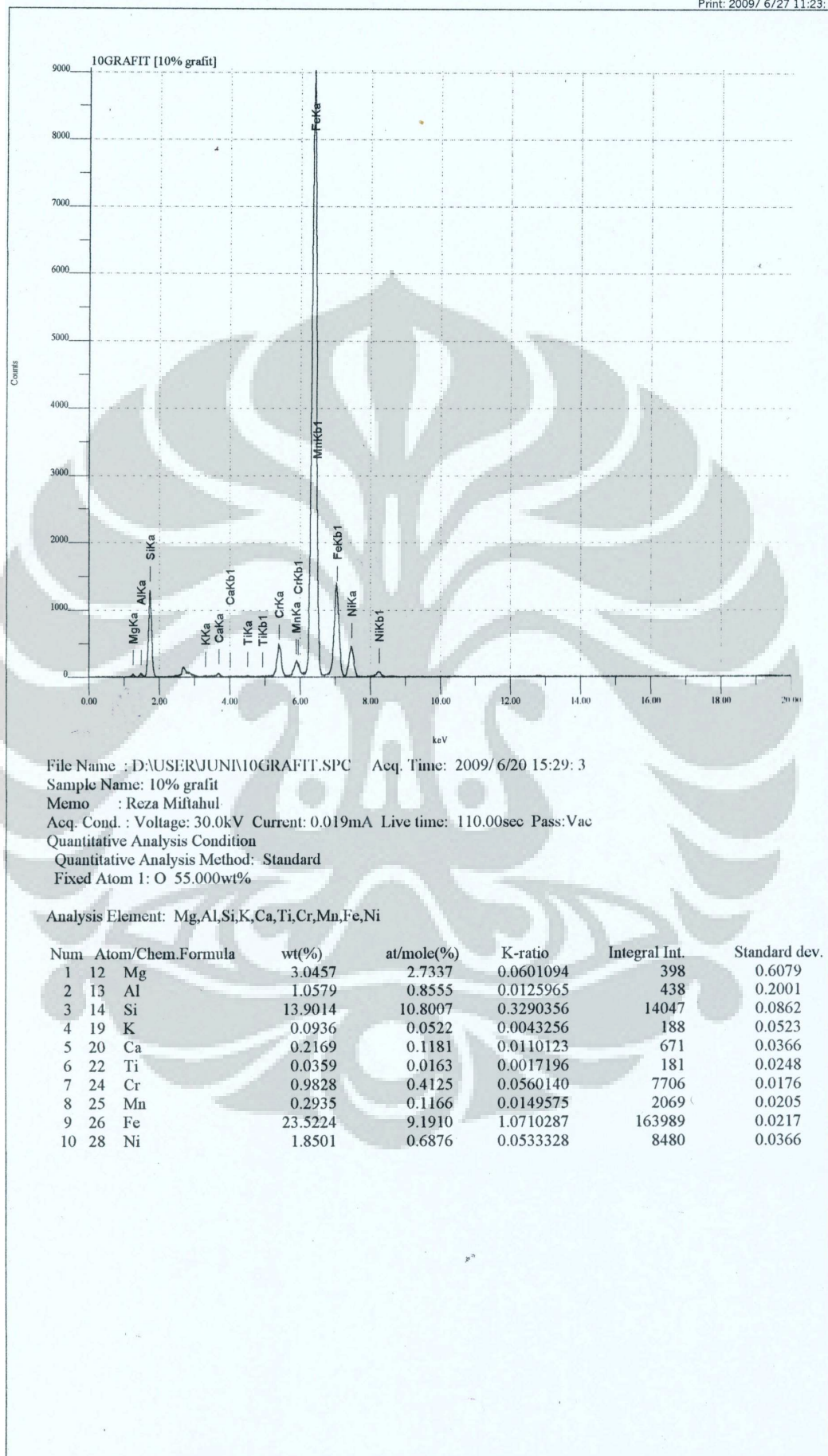




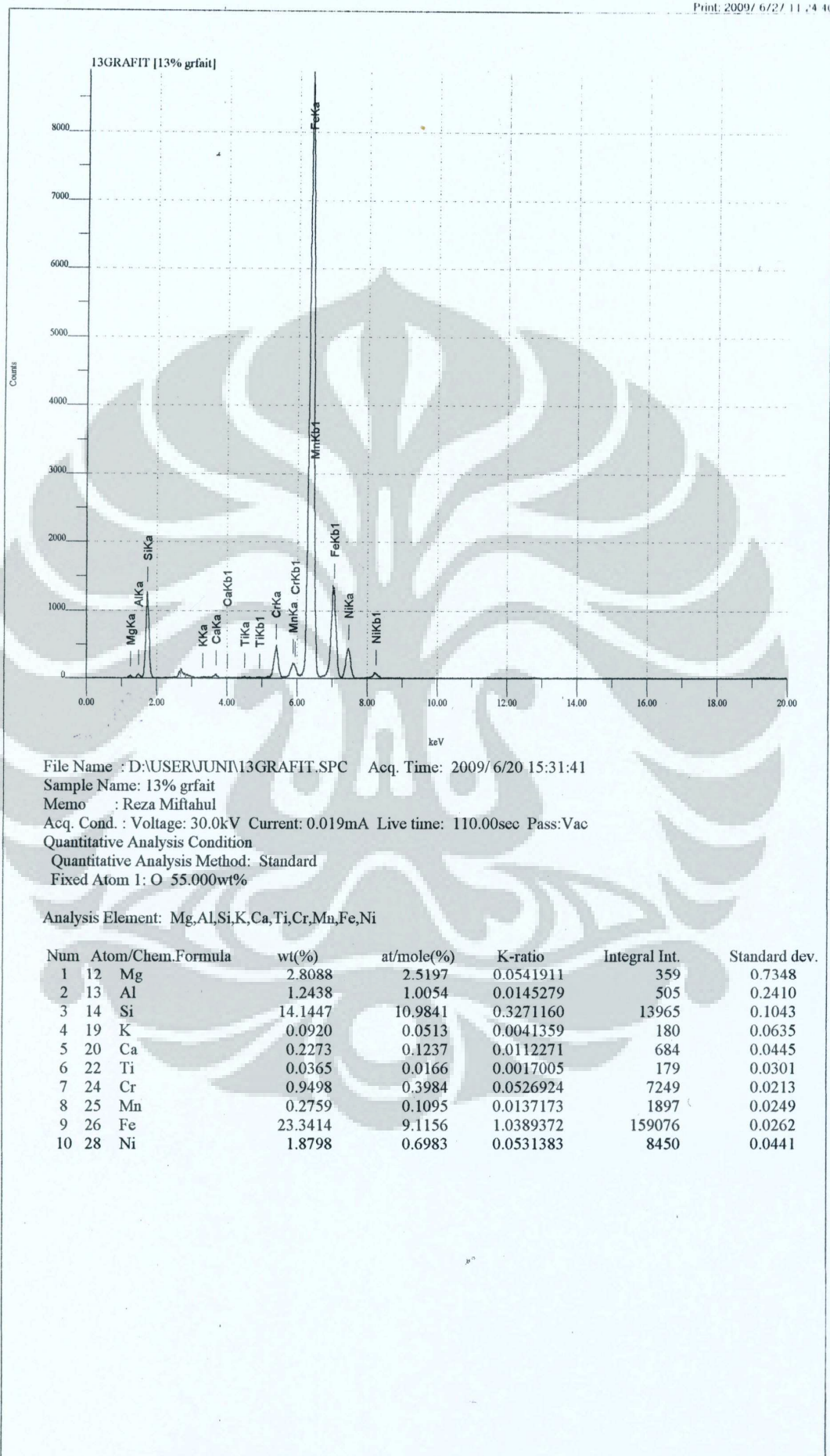


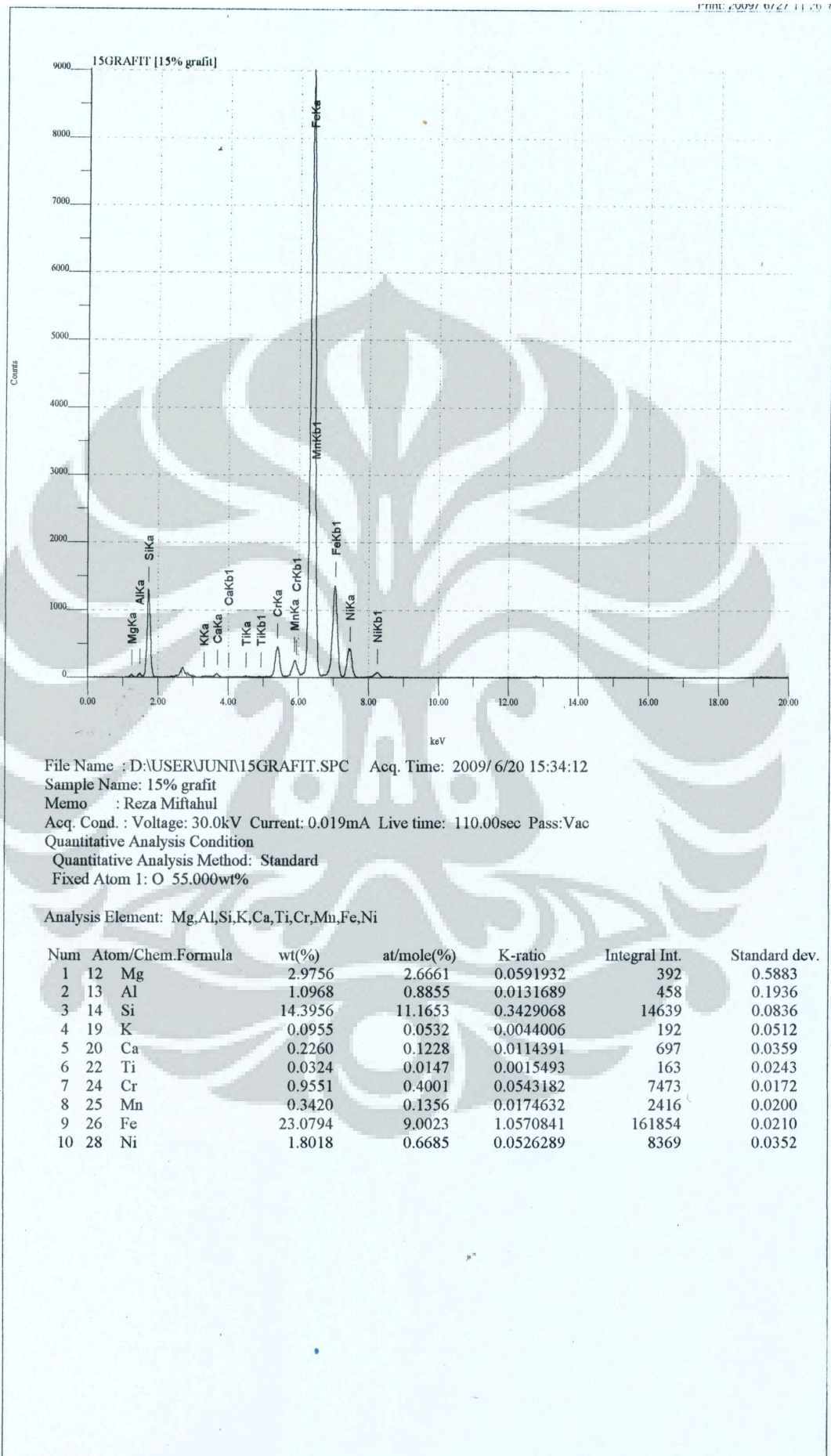


Print: 2009/ 6/27 11:23: 4

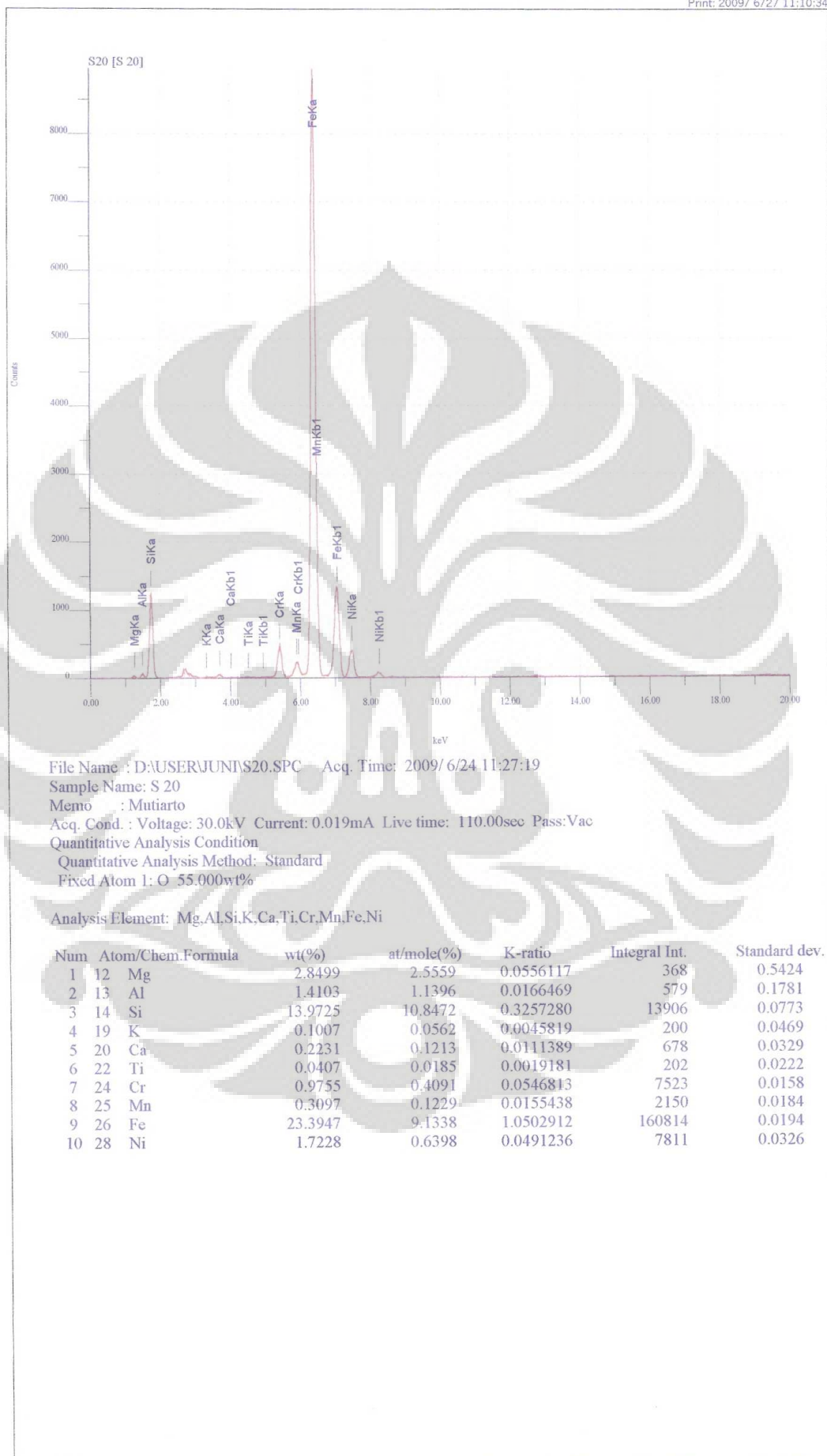


Print: 2009/ 6/2/ 11:44

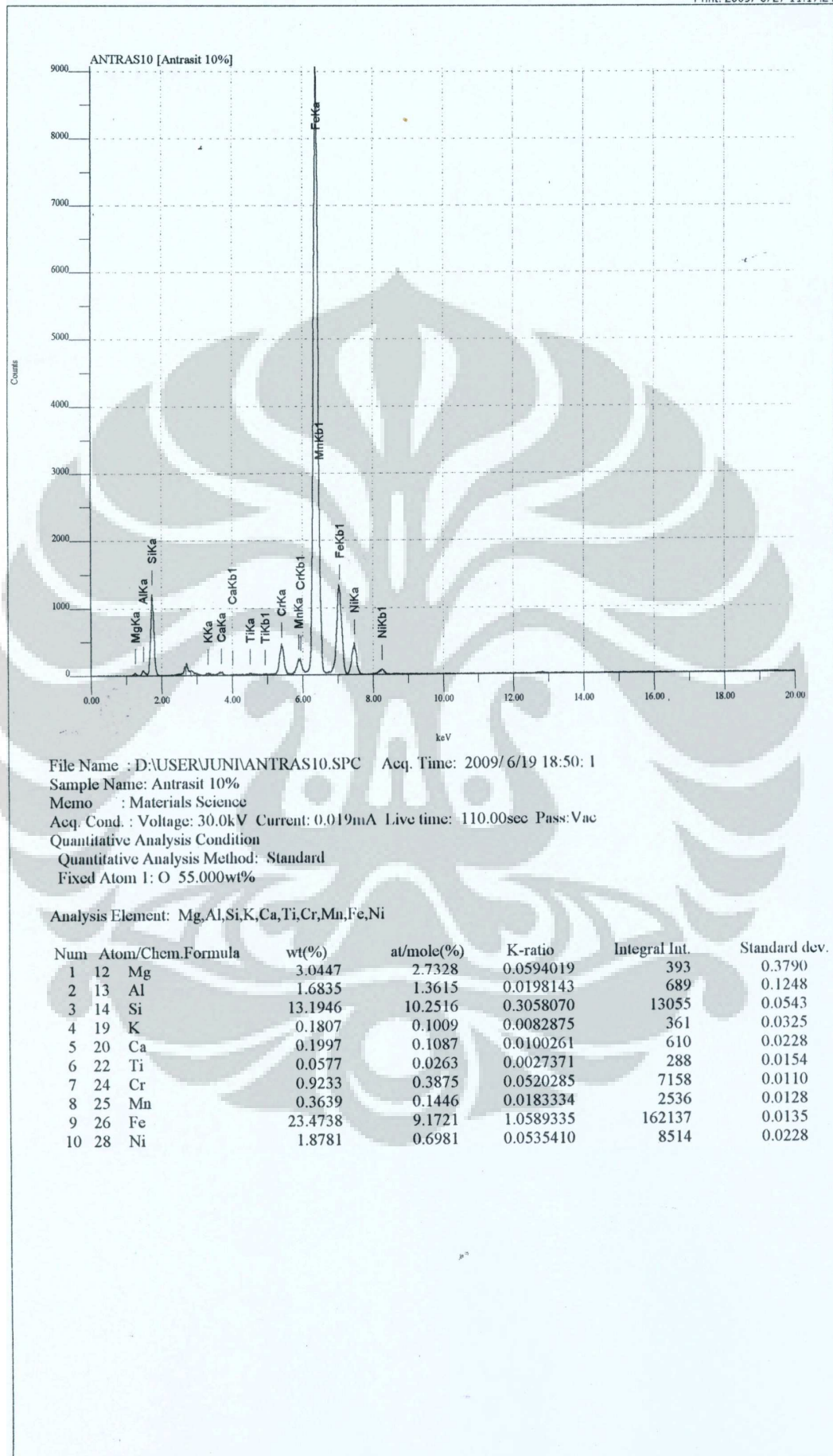


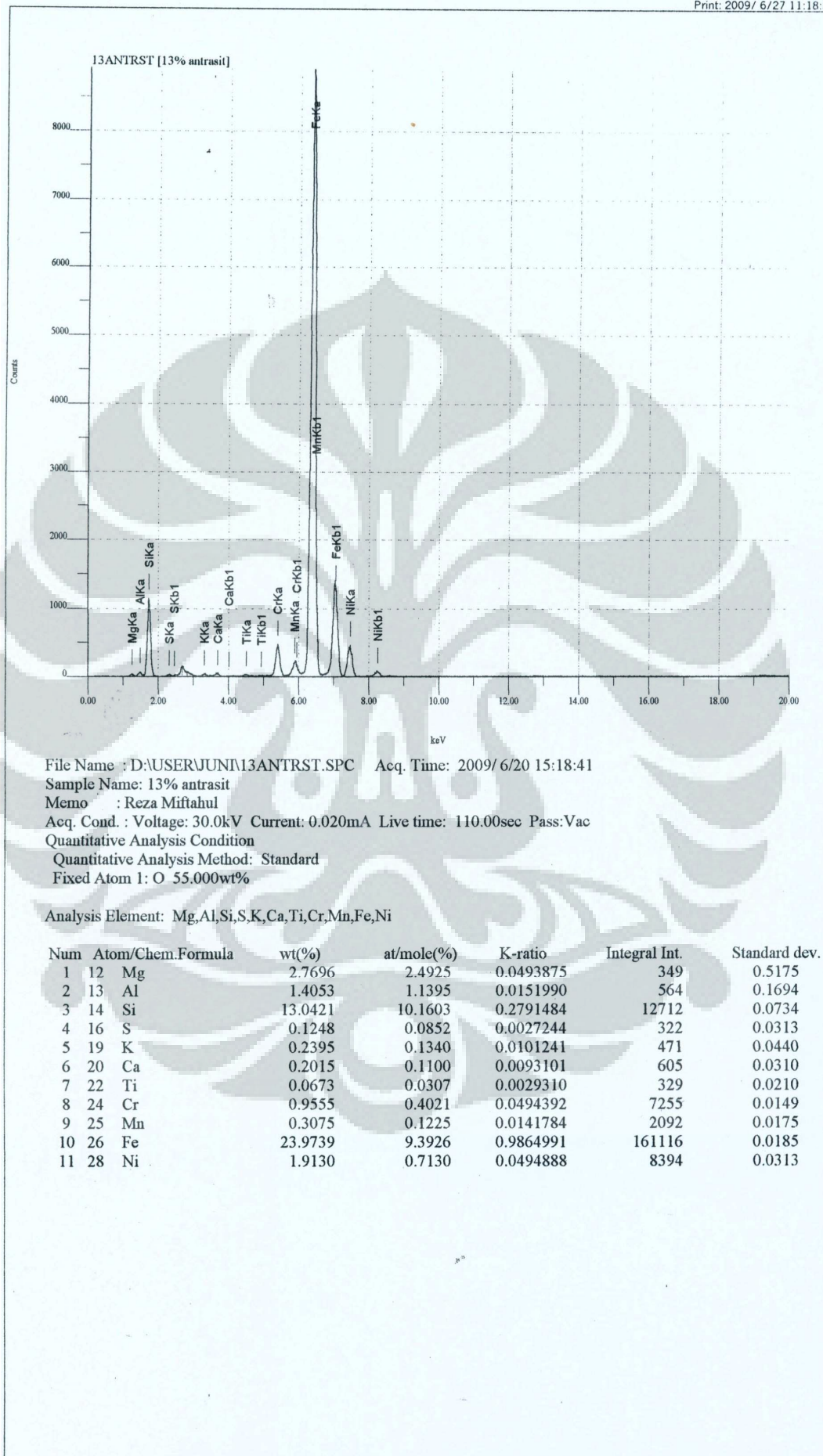


Print: 2009/ 6/27 11:10:34

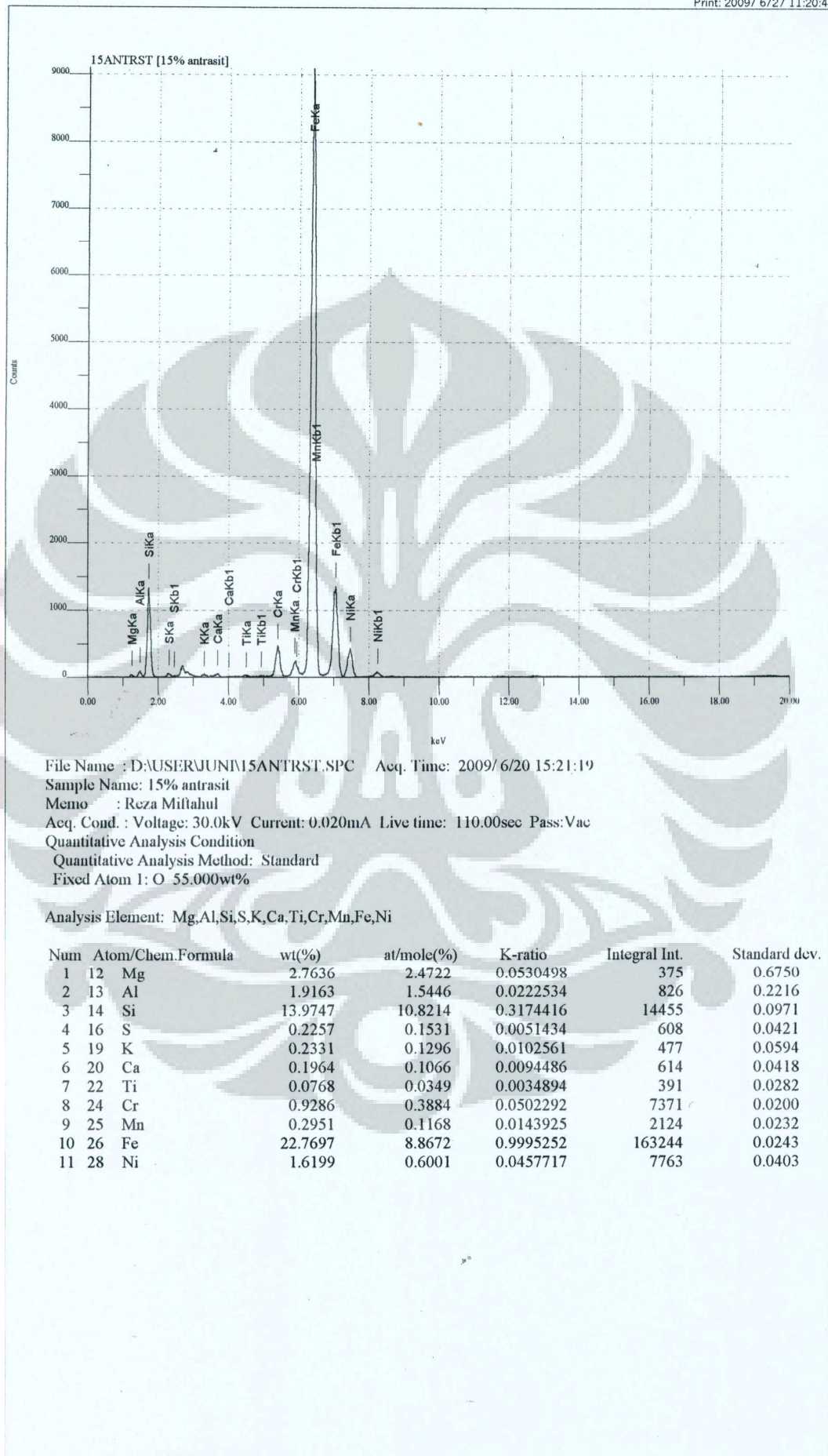


Print: 2009/ 6/27 11:17:24

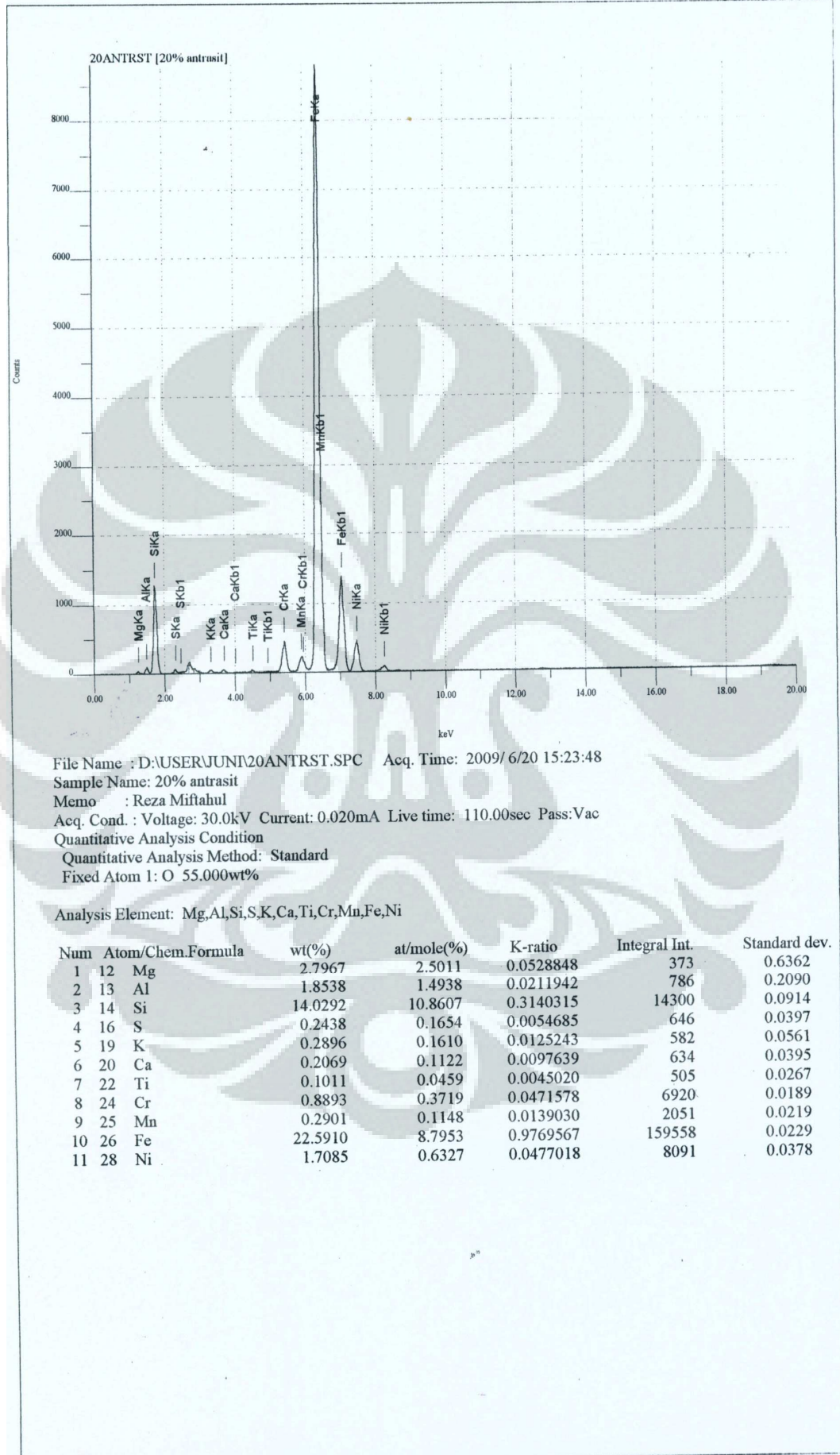


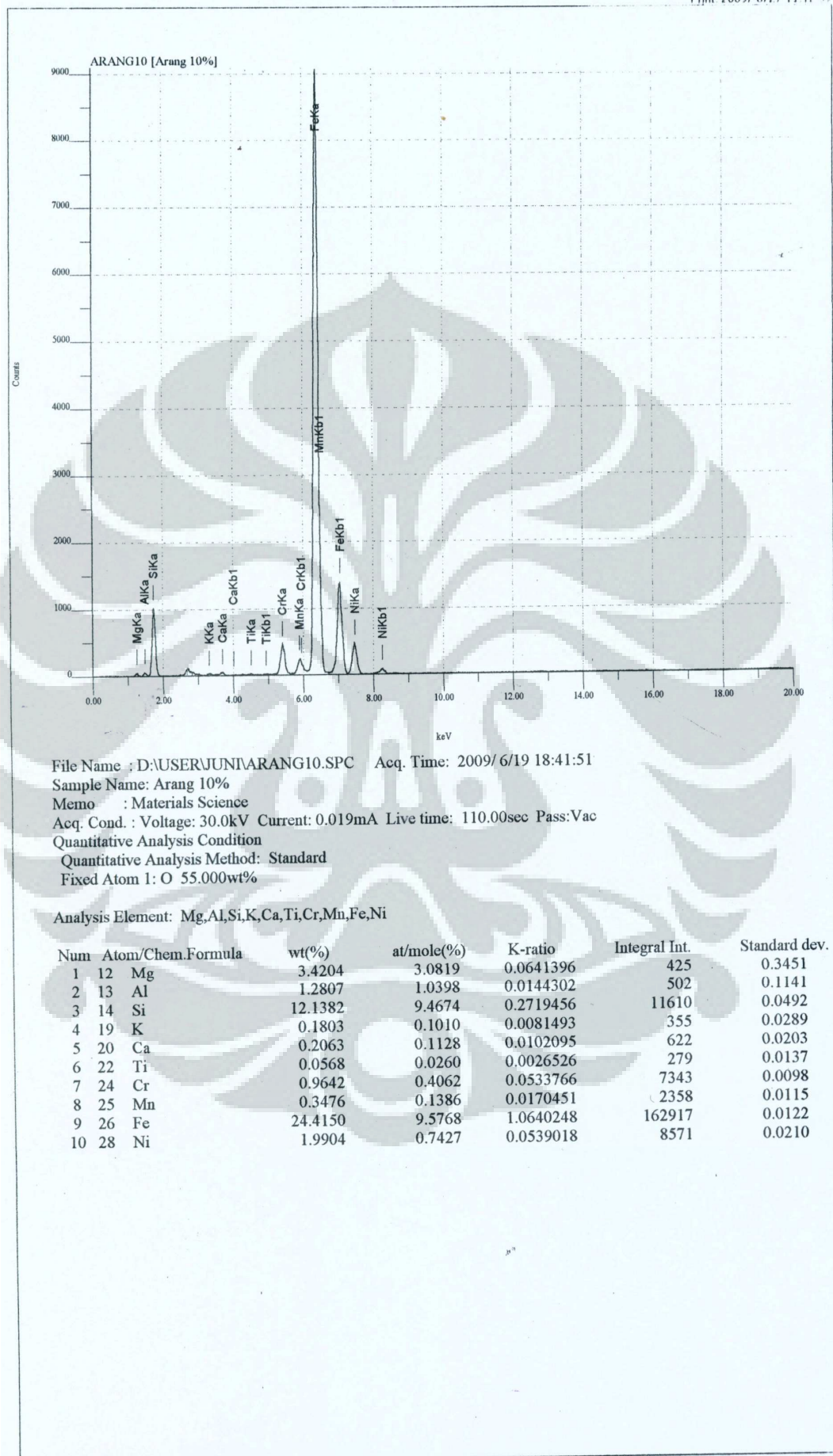


Print: 2009/ 6/27 11:20:47

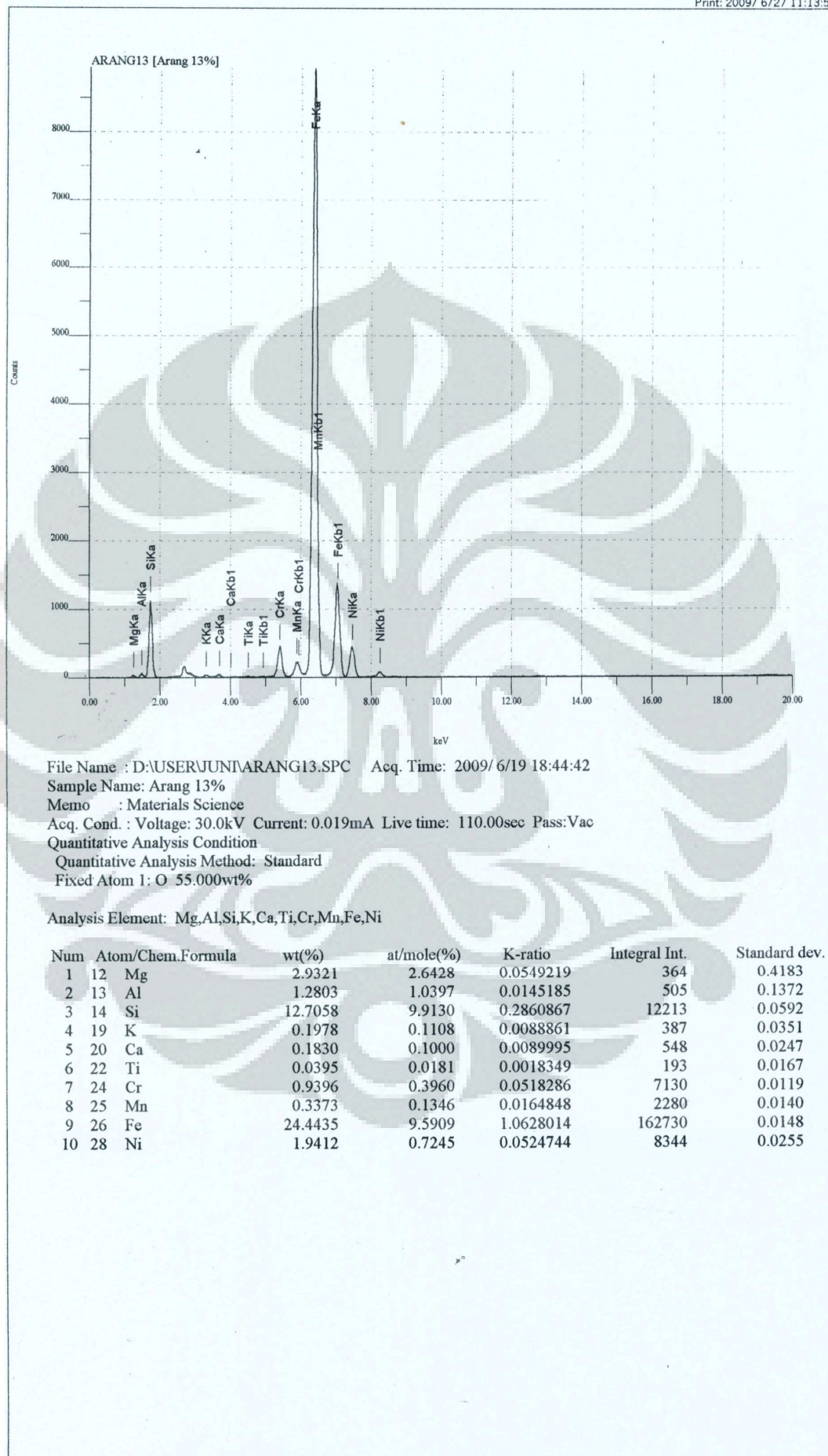


Print: 2009/ 6/27 11.21.57

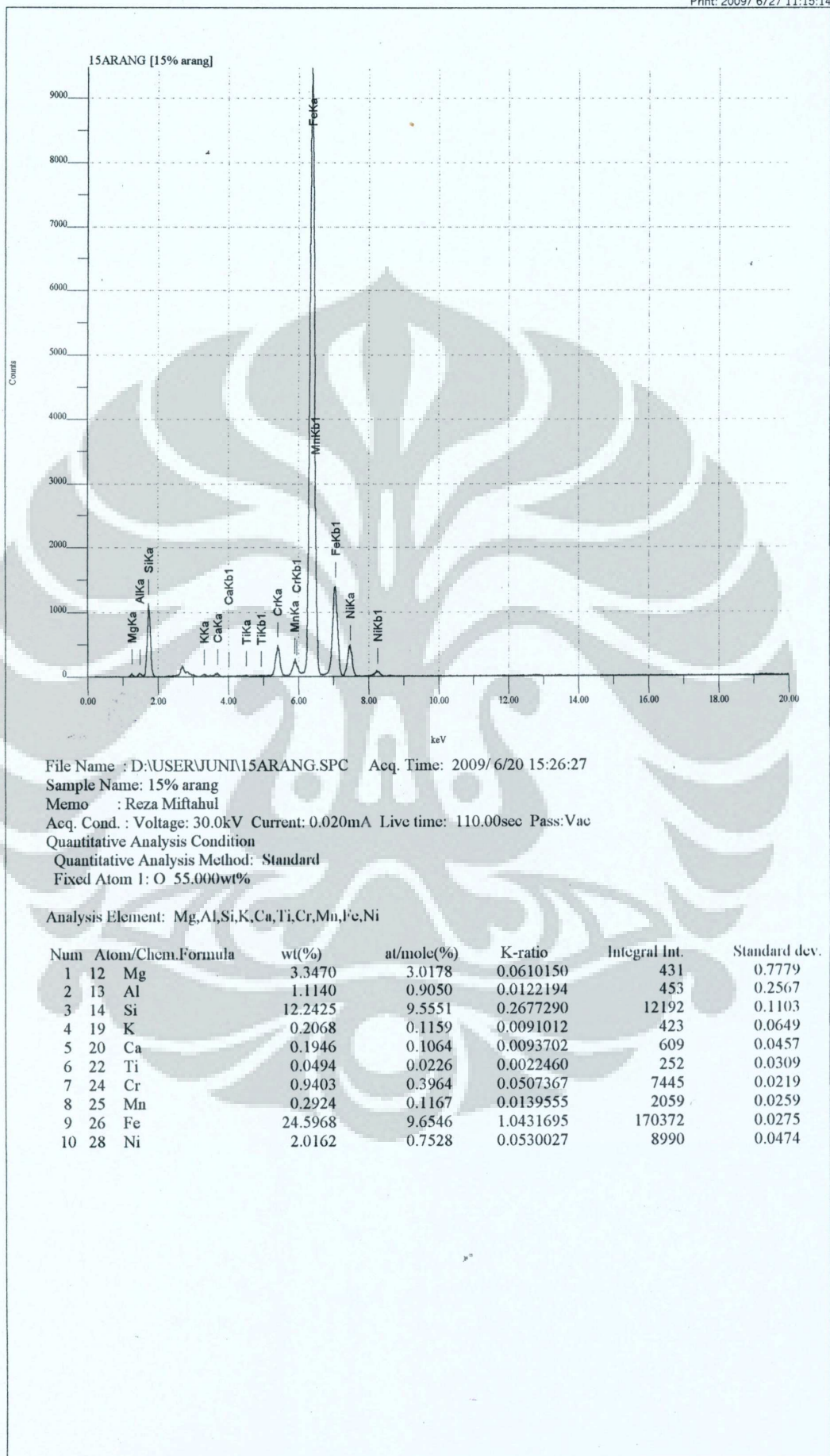




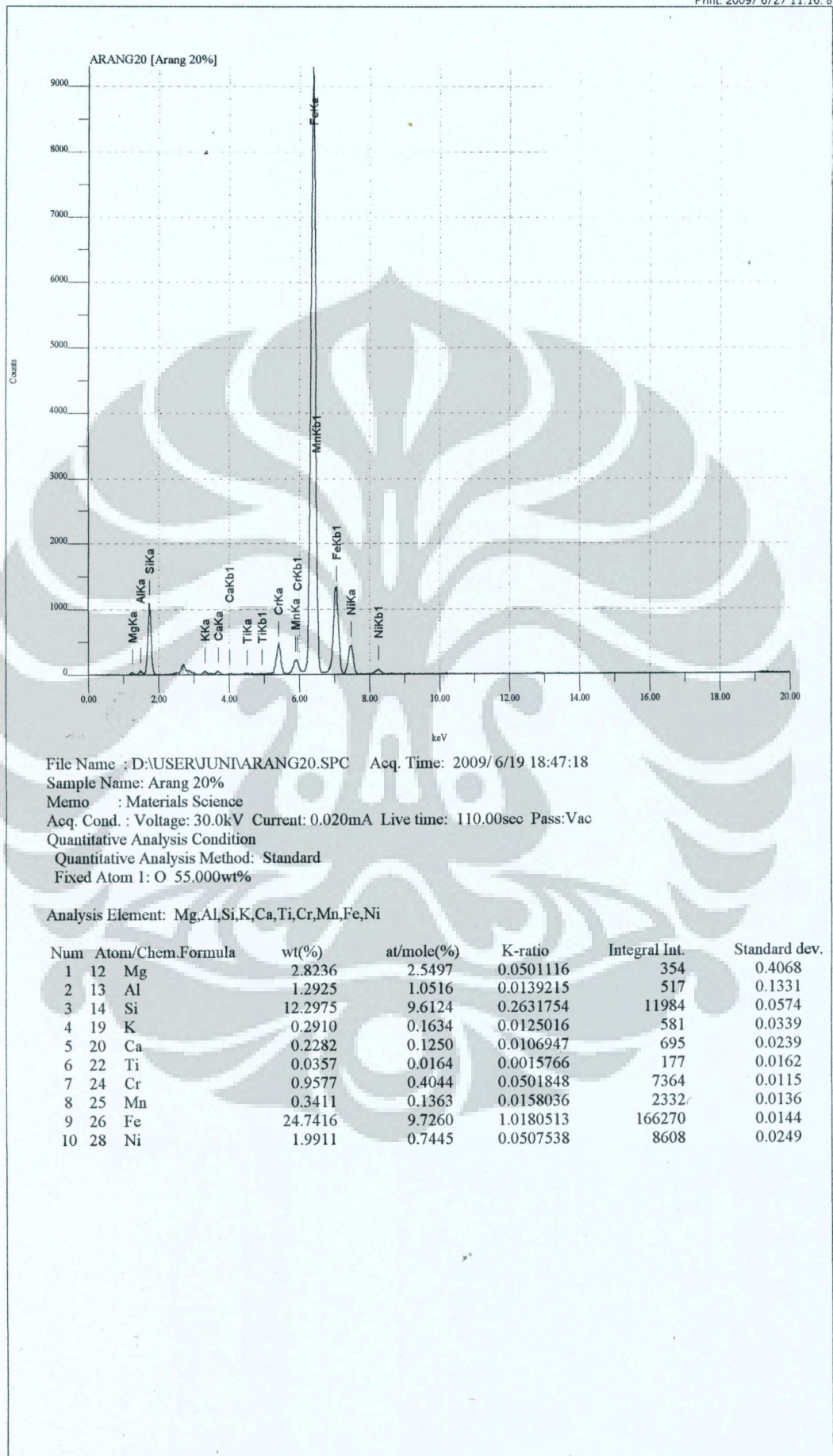
Print: 2009/ 6/27 11:13:58

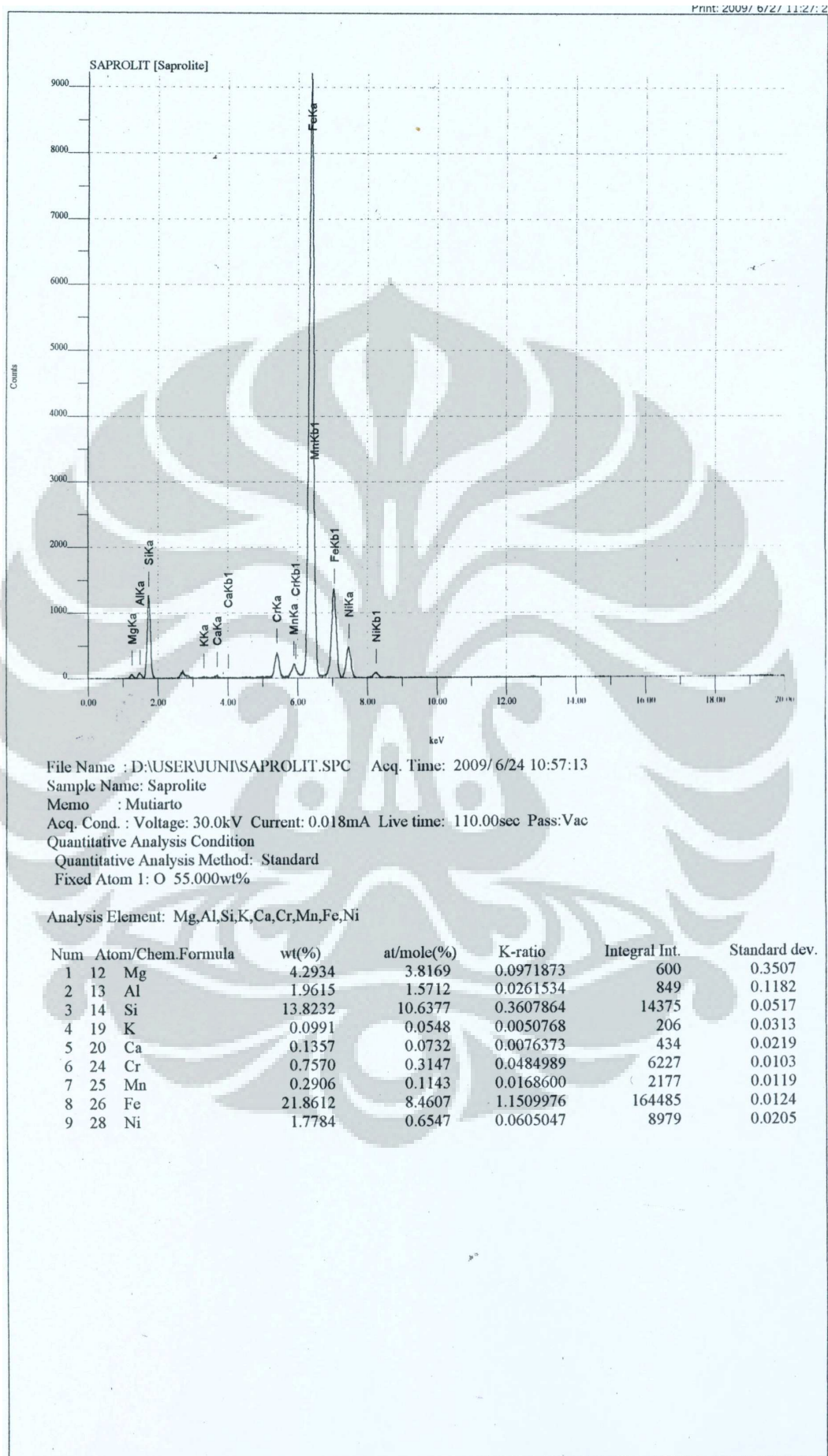


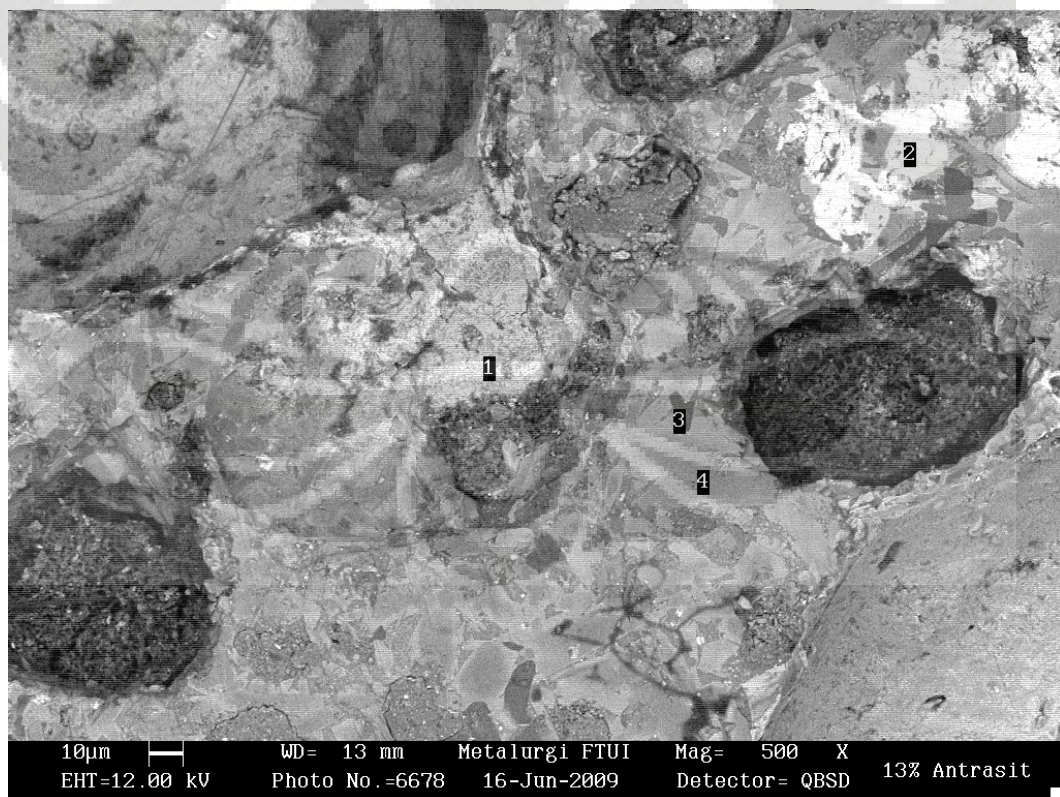
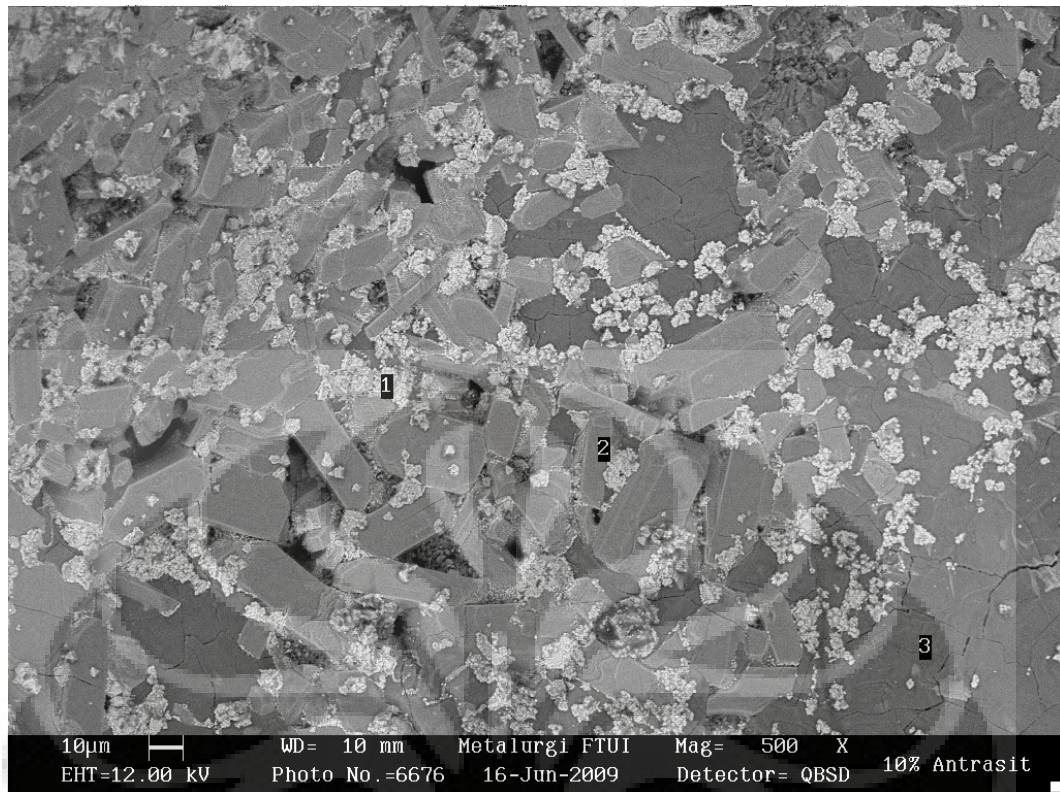
Print: 2009/ 6/27 11:15:14

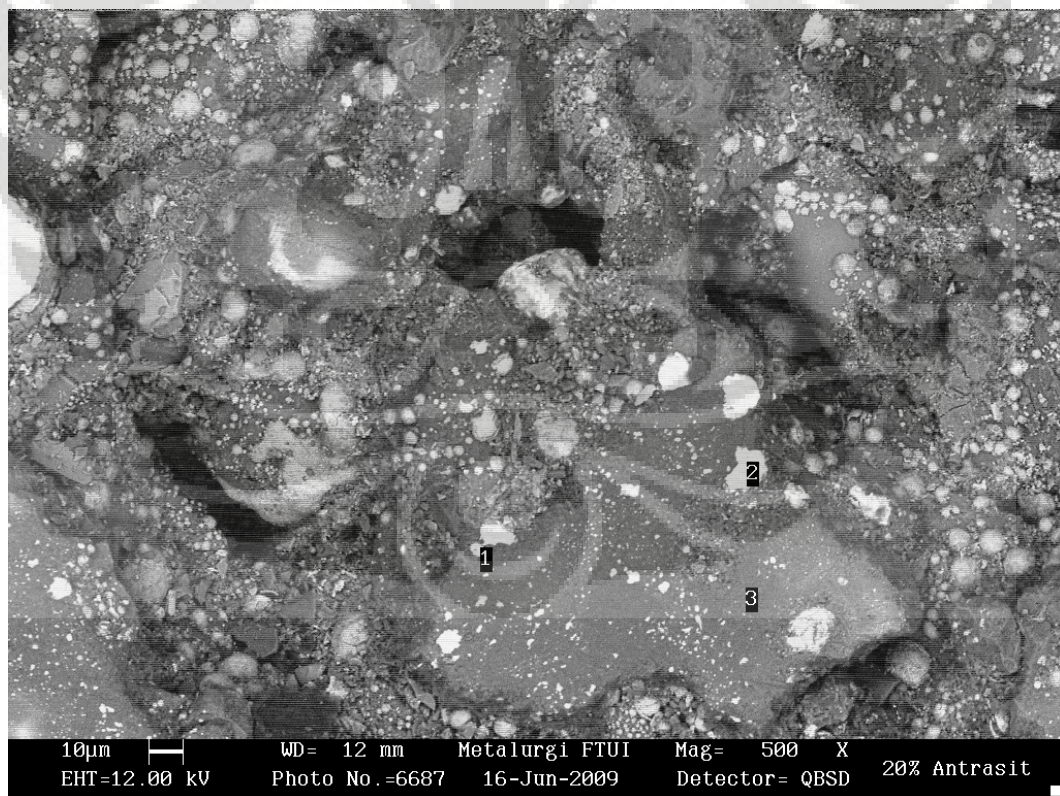
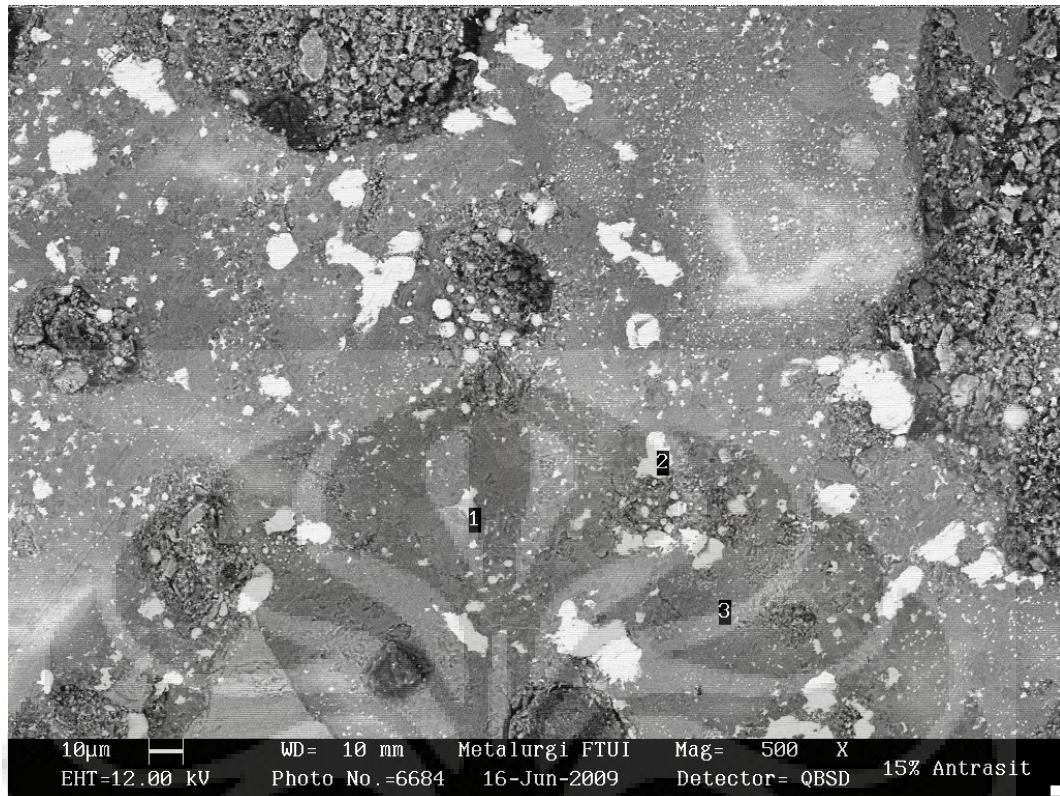


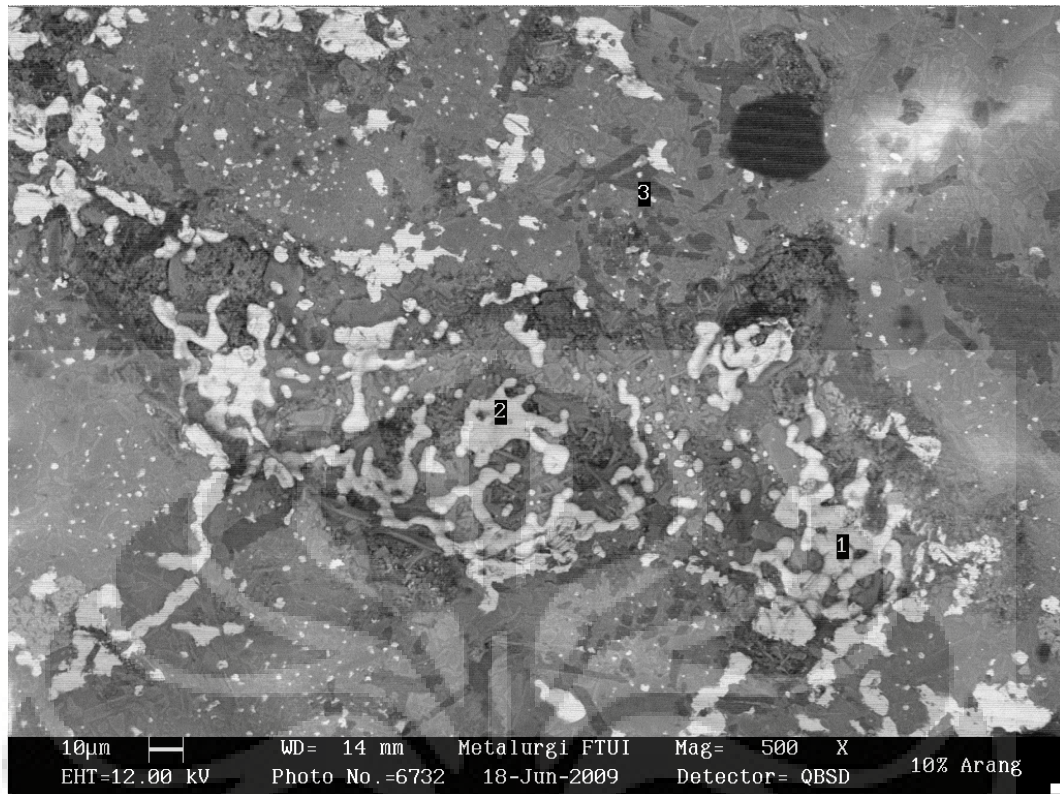
Print: 2009/ 6/27 11:16: 8

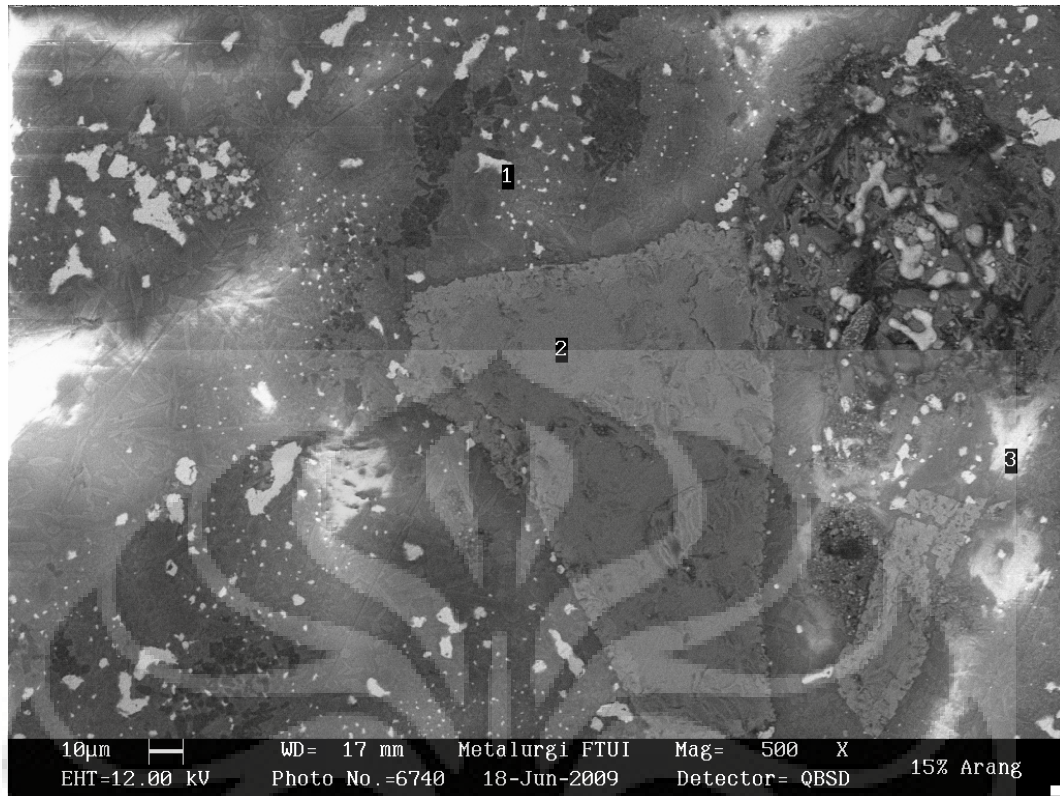


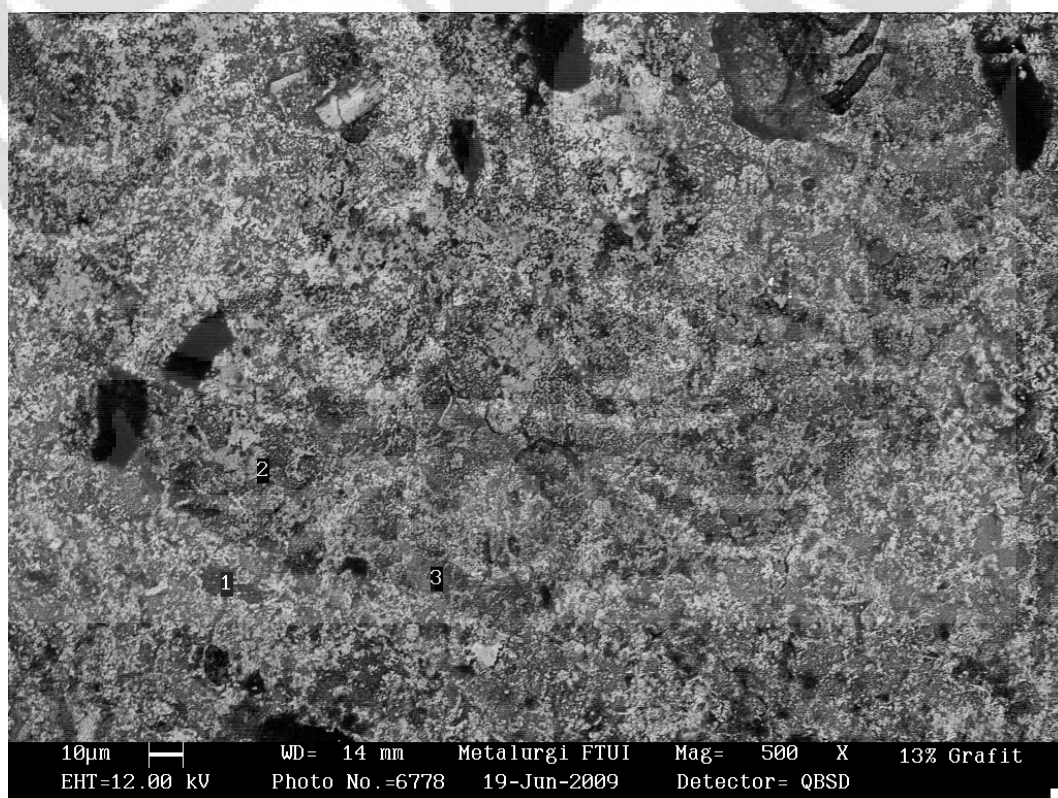
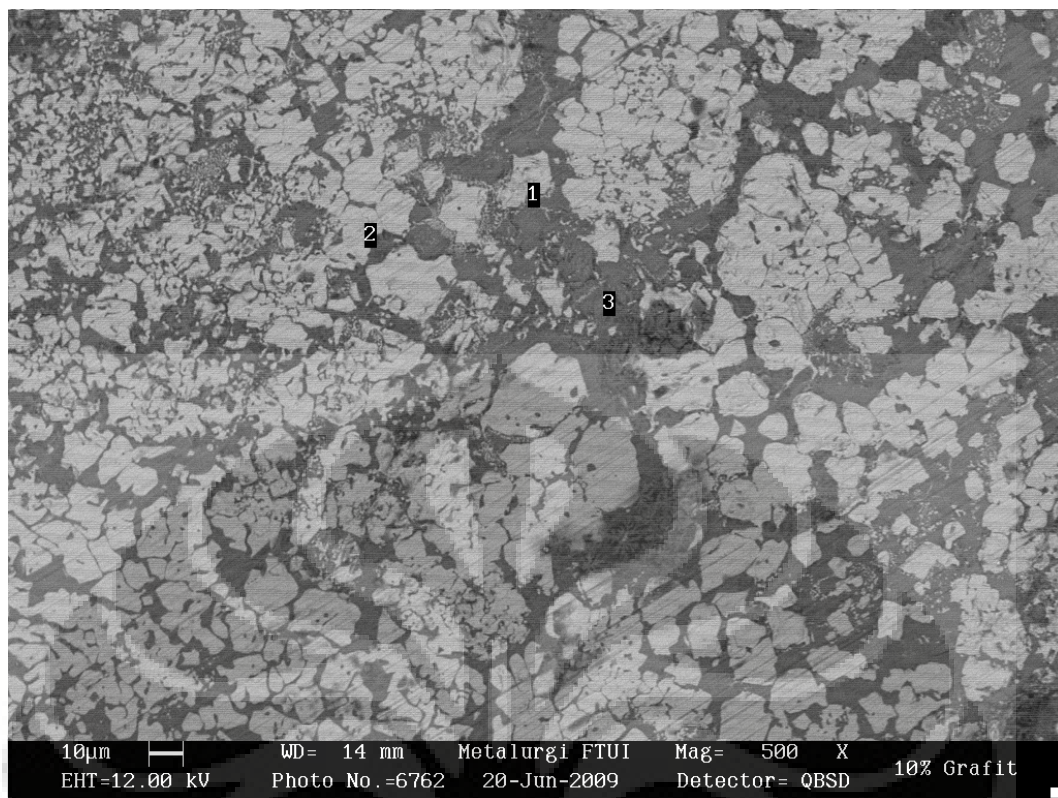


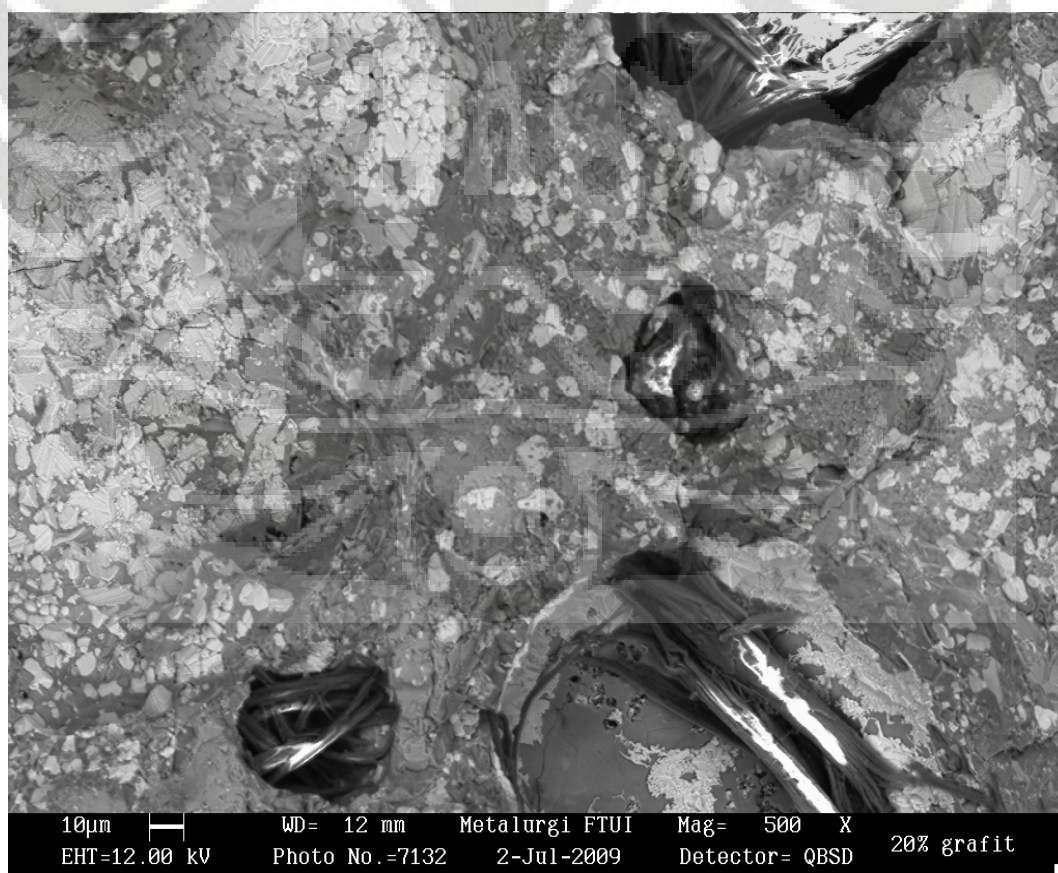
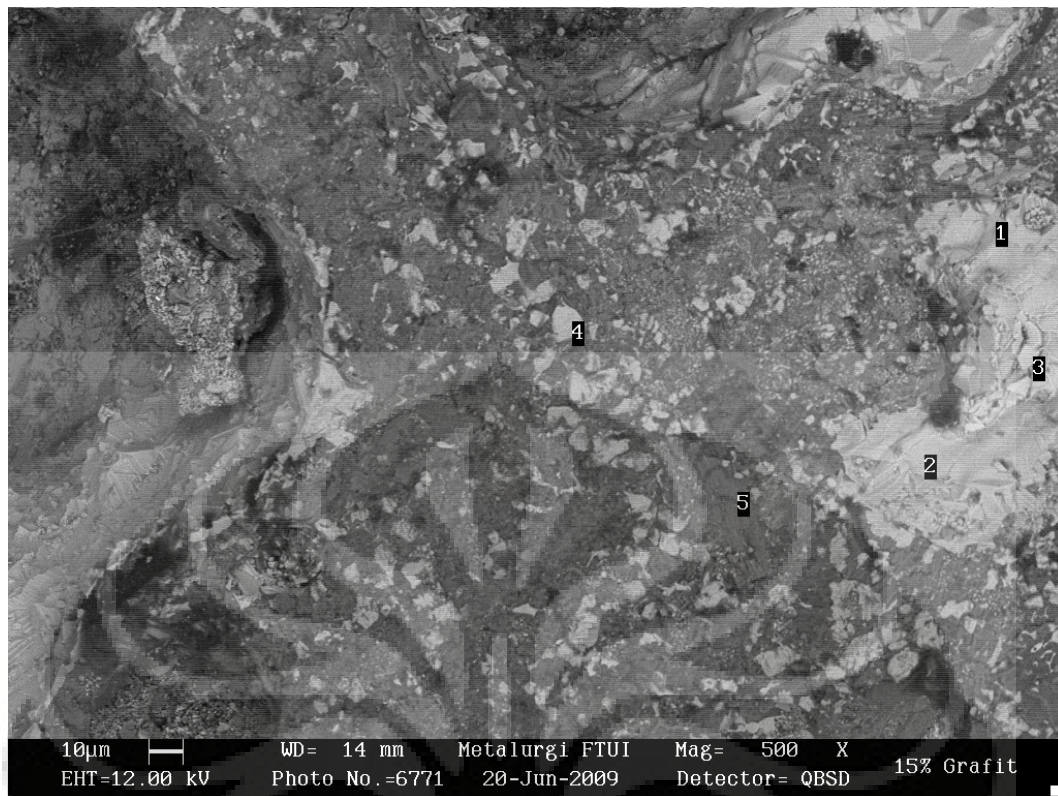


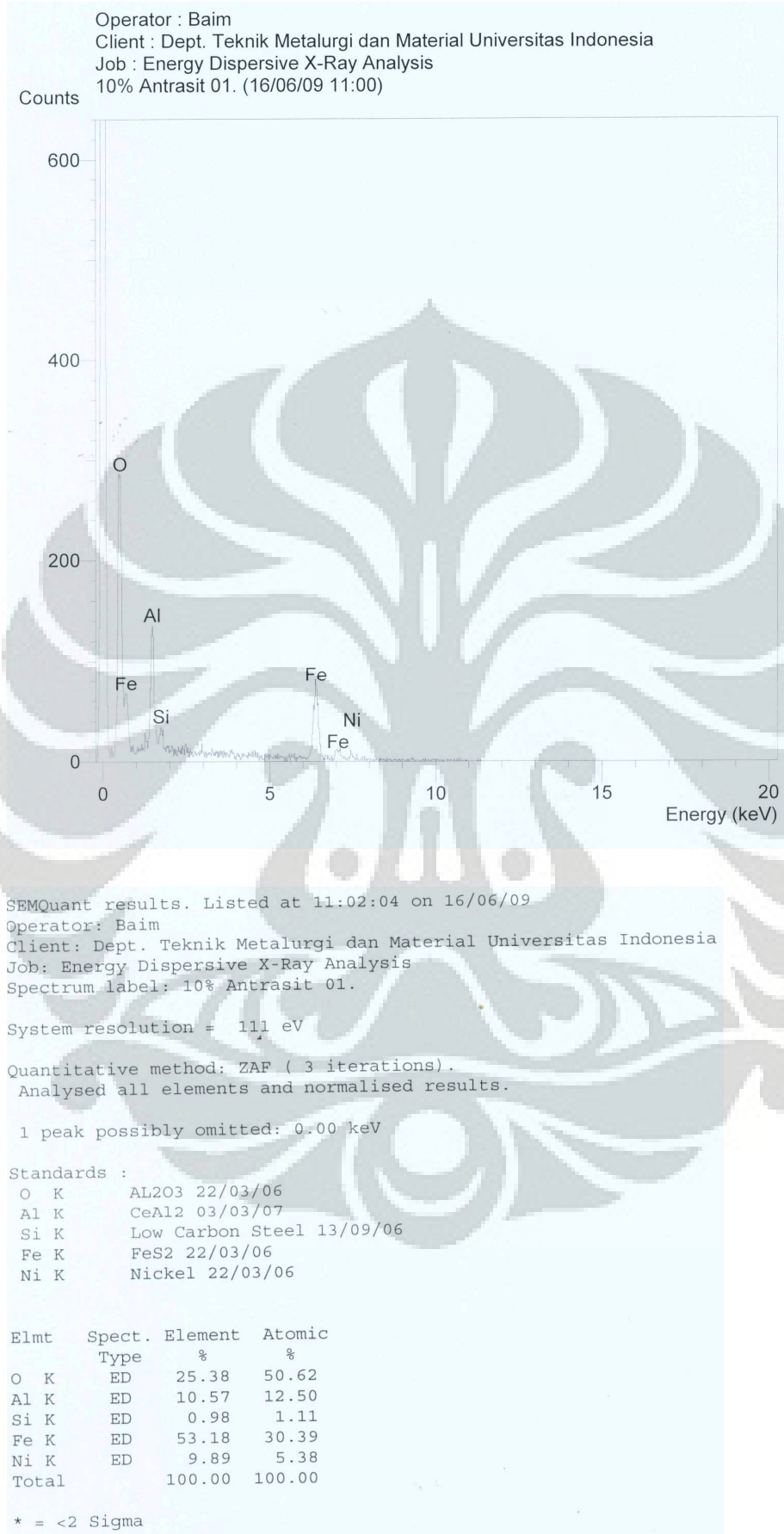


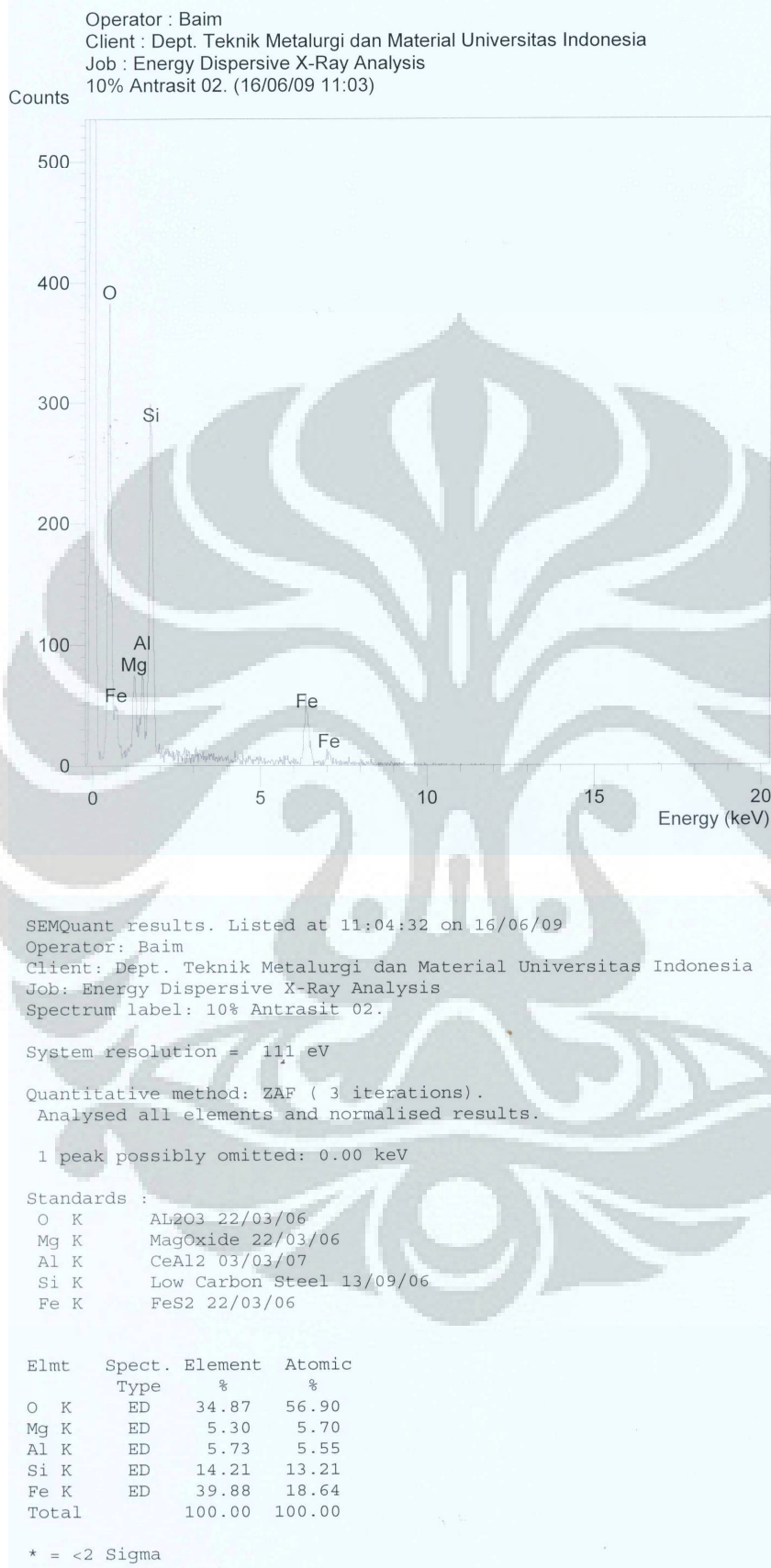


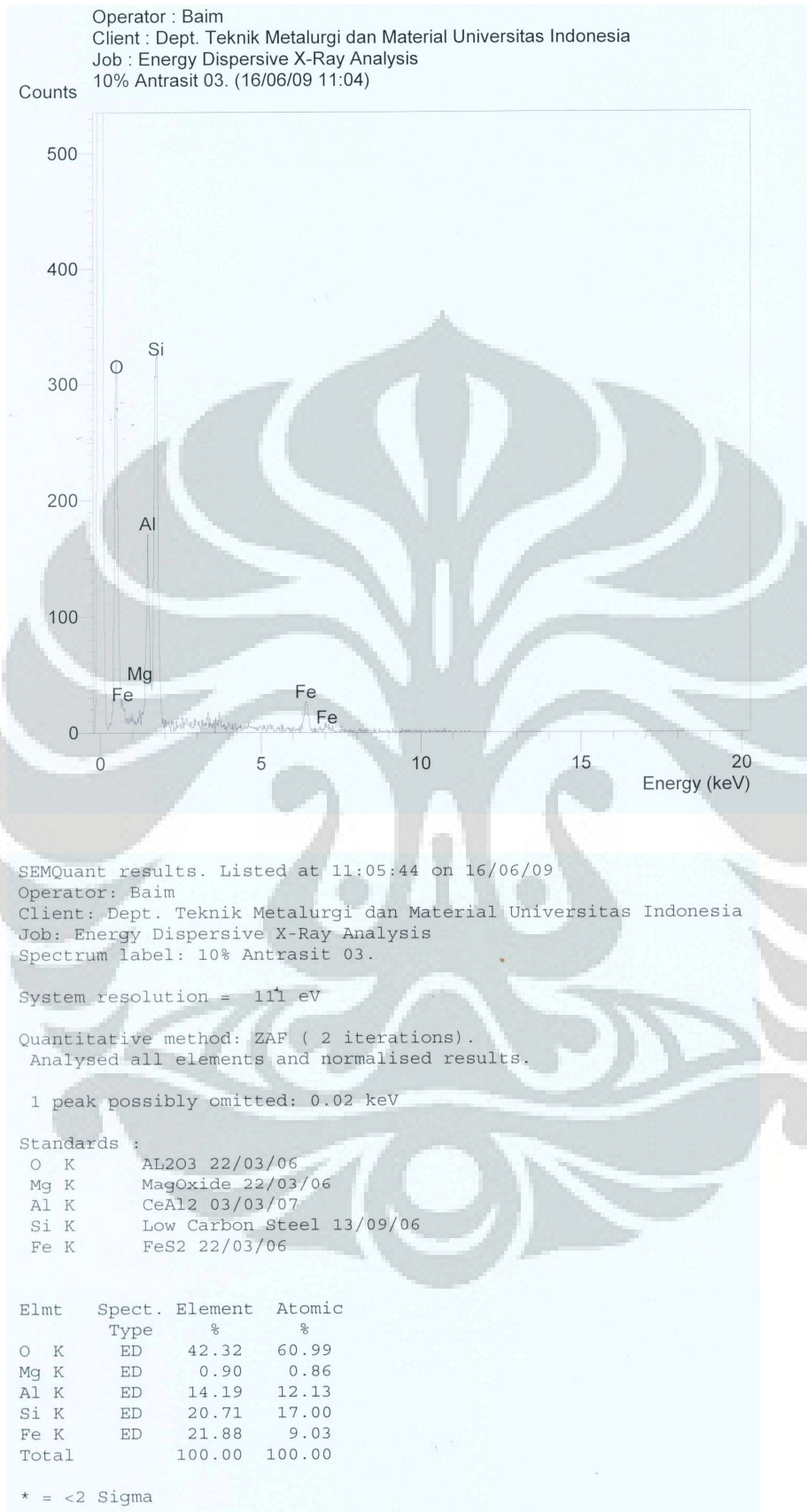


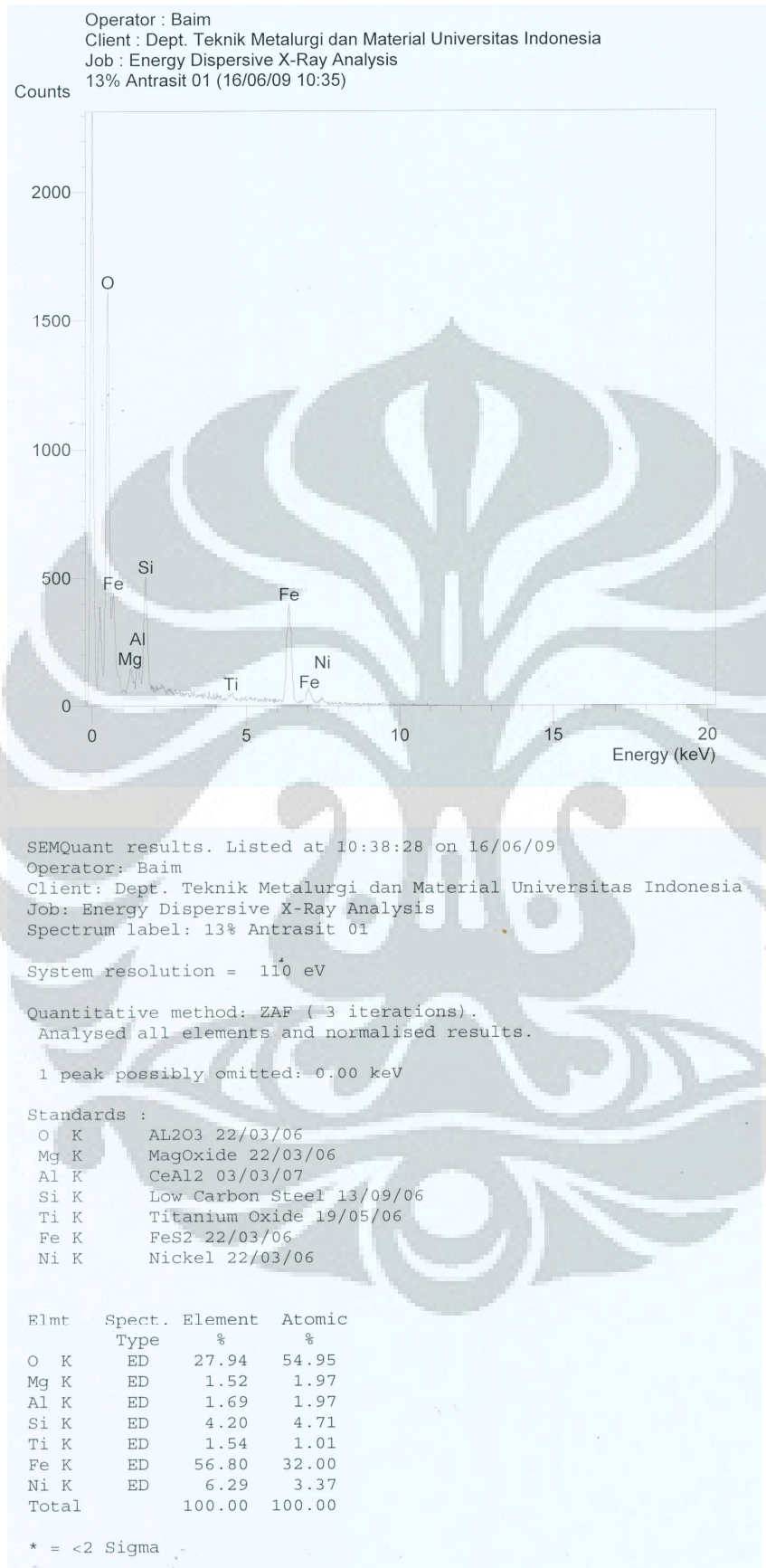


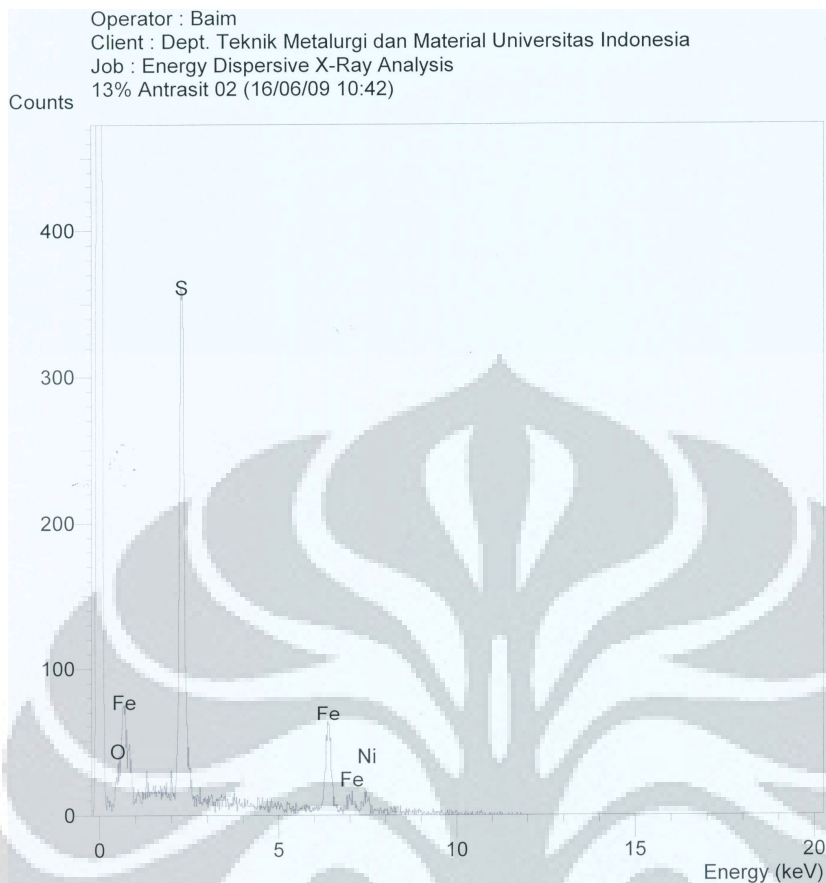












SEMQuant results. Listed at 10:43:33 on 16/06/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: 13% Antrasit 02

System resolution = 110 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :

O K AL2O3 22/03/06

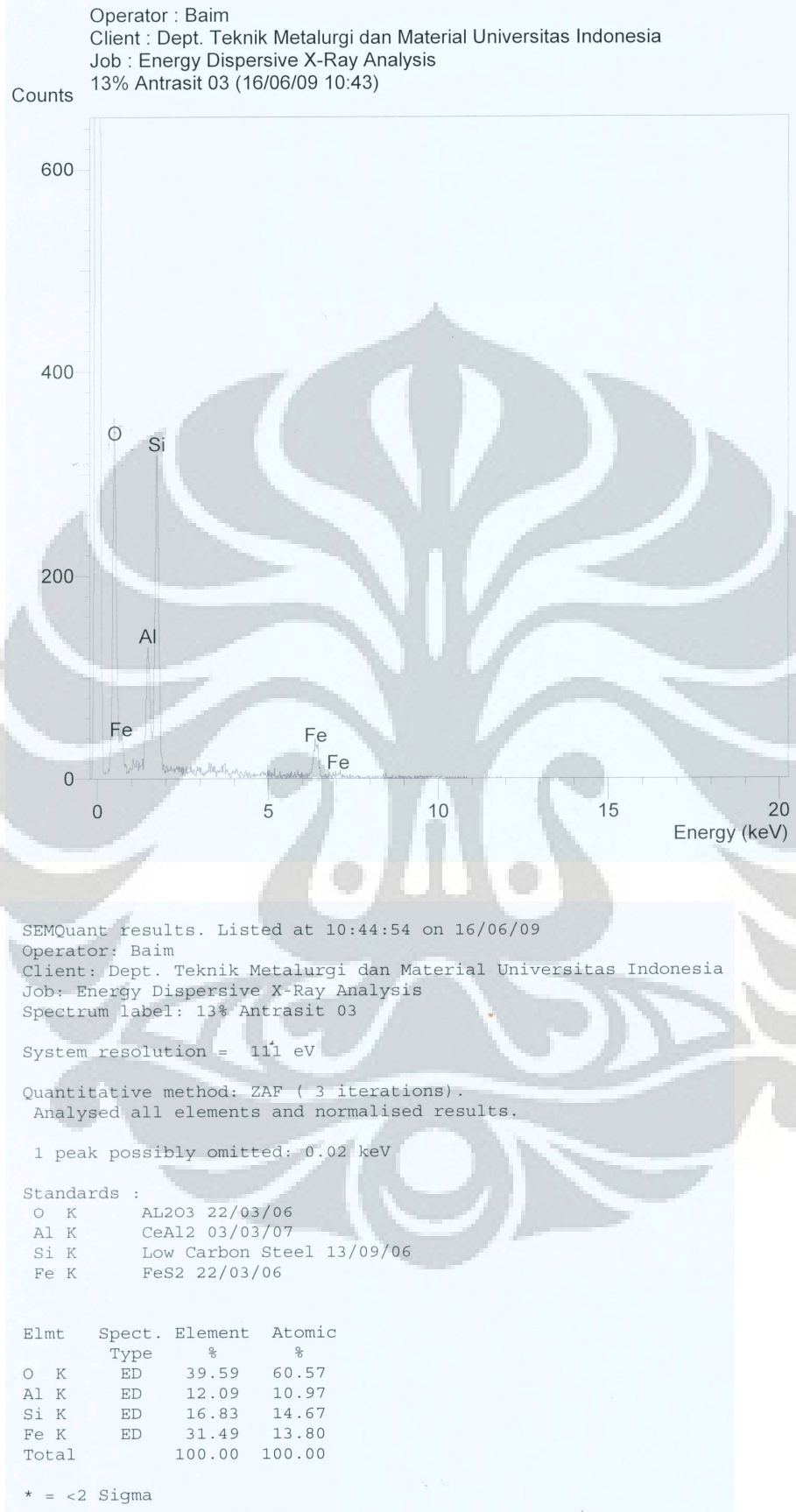
S K FeS2 22/03/06

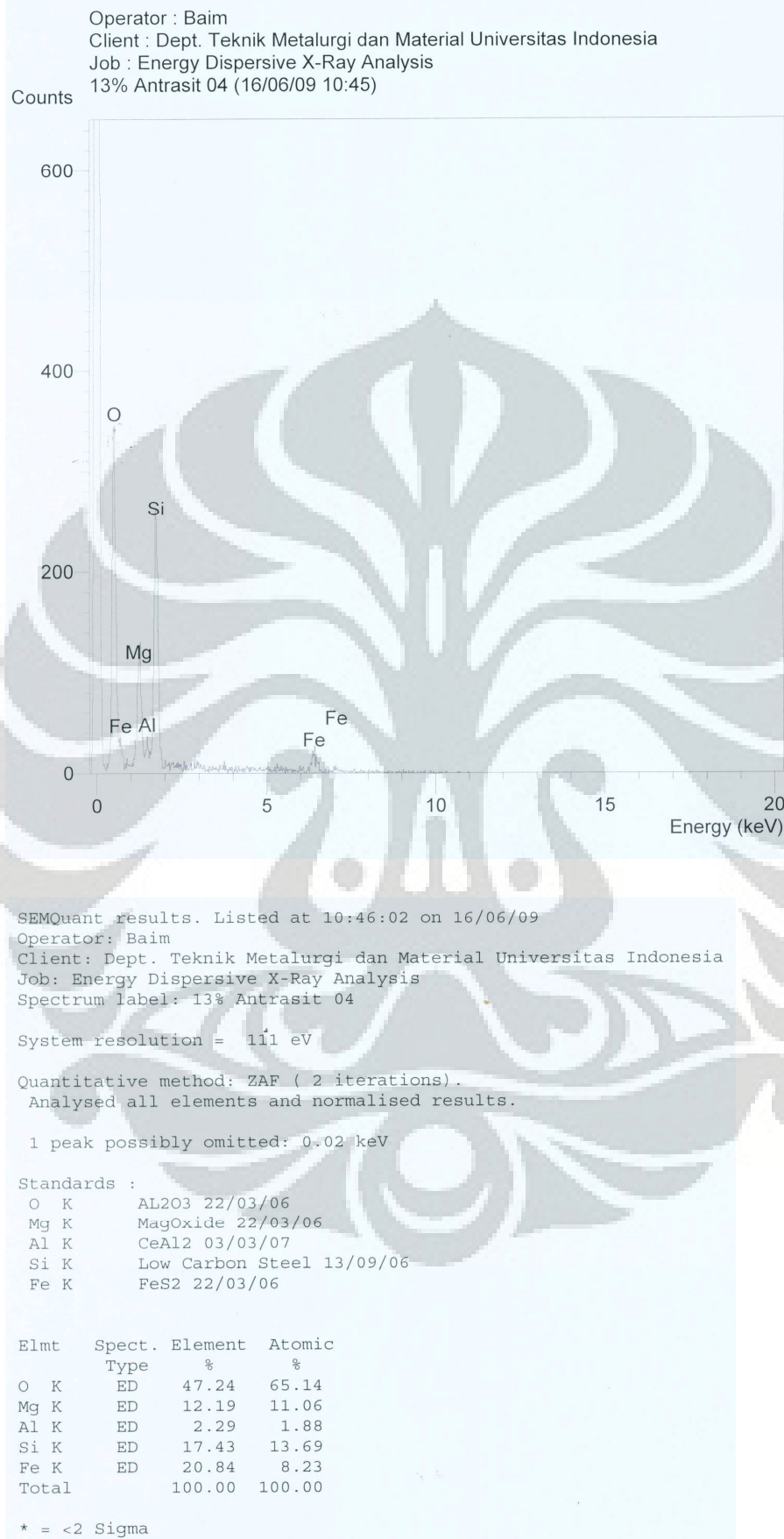
Fe K FeS2 22/03/06

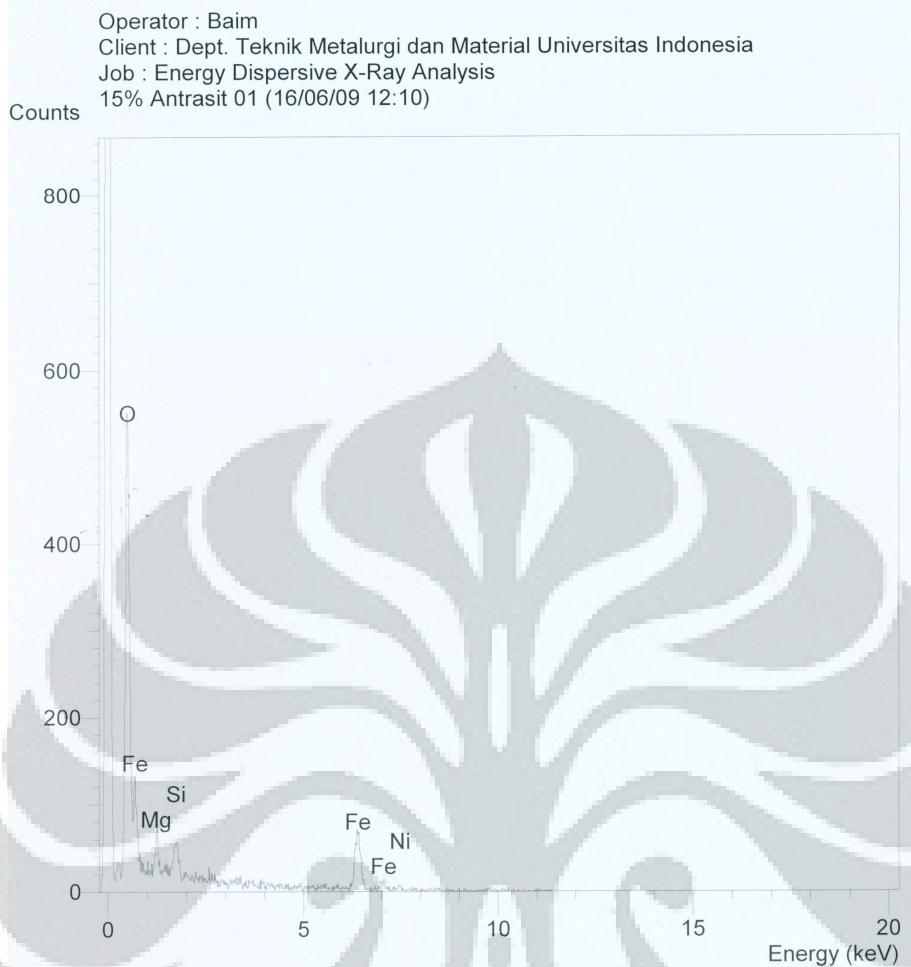
Ni K Nickel 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
O K	ED	2.34	6.18
S K	ED	36.78	48.48
Fe K	ED	41.19	31.17
Ni K	ED	19.70	14.18
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma







SEMQuant results. Listed at 12:11:48 on 16/06/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: 15% Antrasit 01

System resolution = 111 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

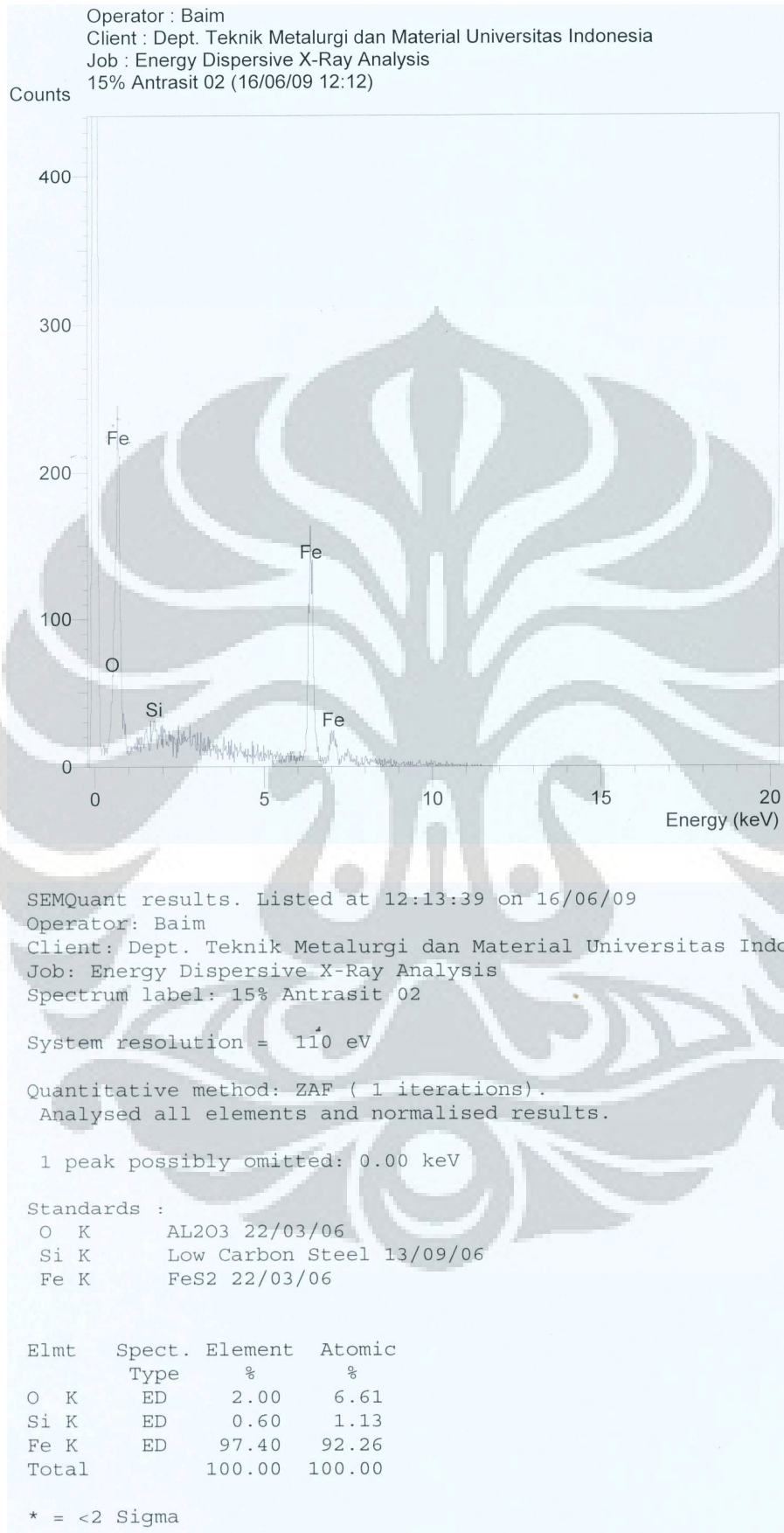
1 peak possibly omitted: 0.00 keV

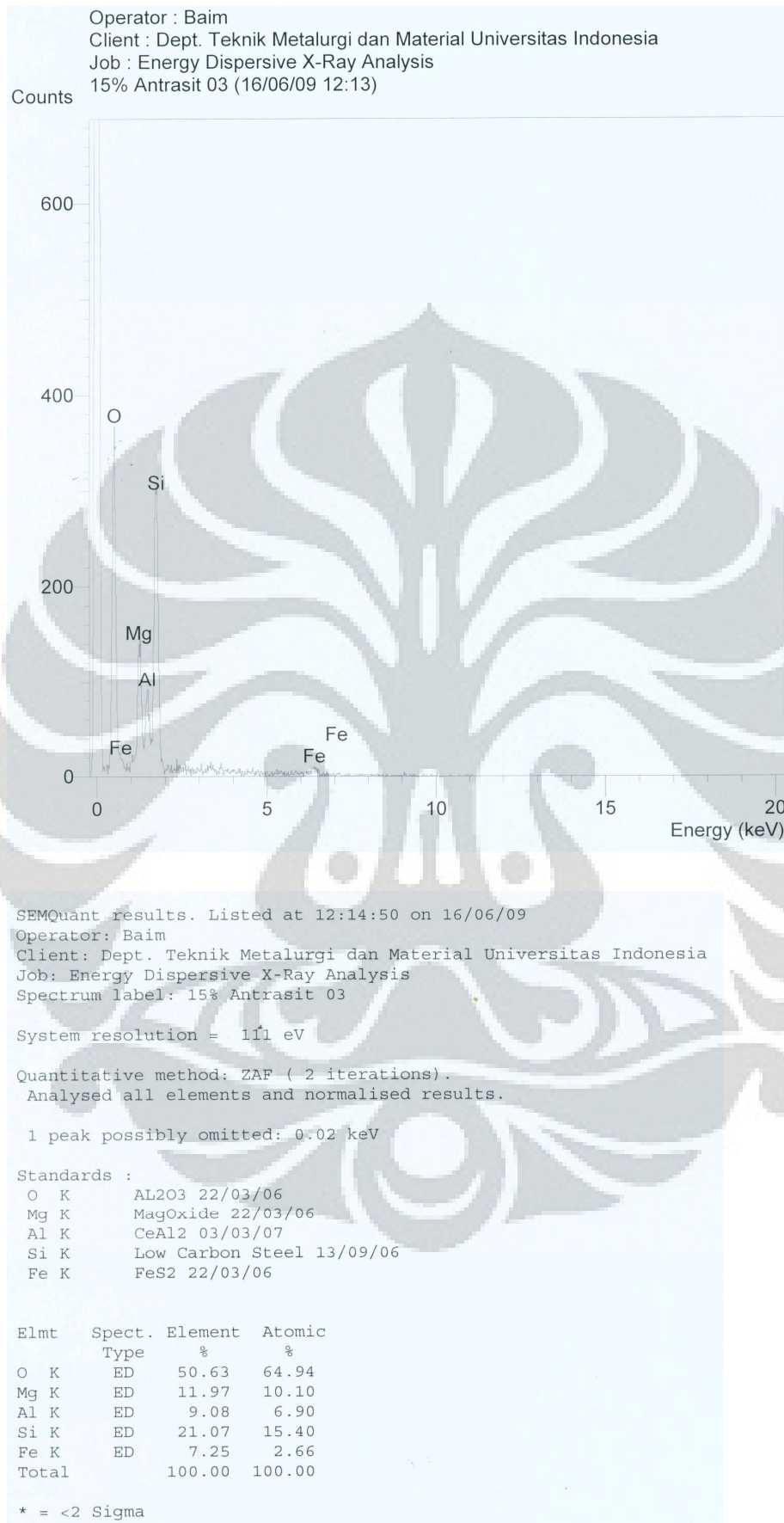
Standards :

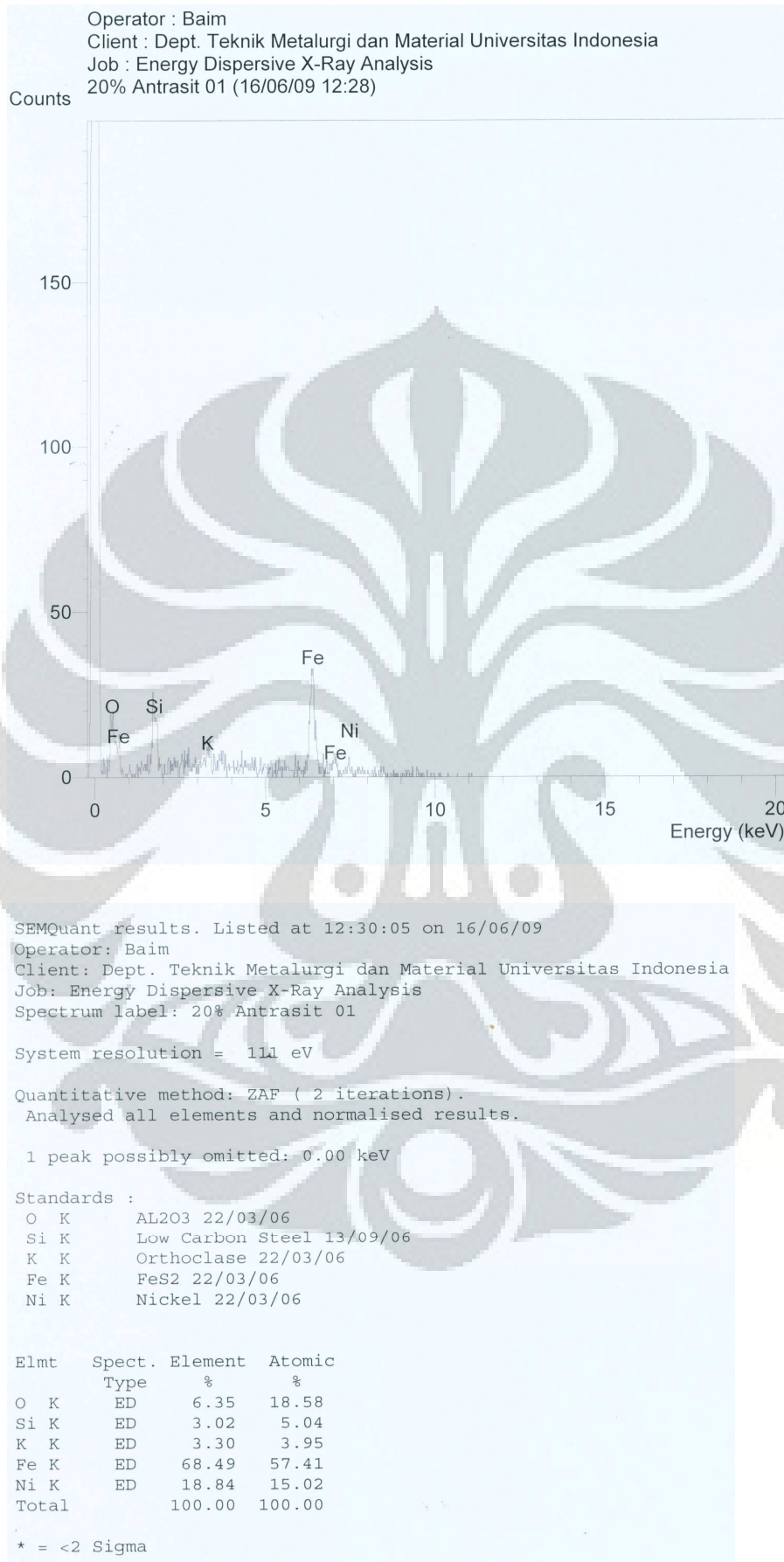
O K	AL2O3	22/03/06
Mg K	MagOxide	22/03/06
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
Fe K	FeS2	22/03/06
Ni K	Nickel	22/03/06

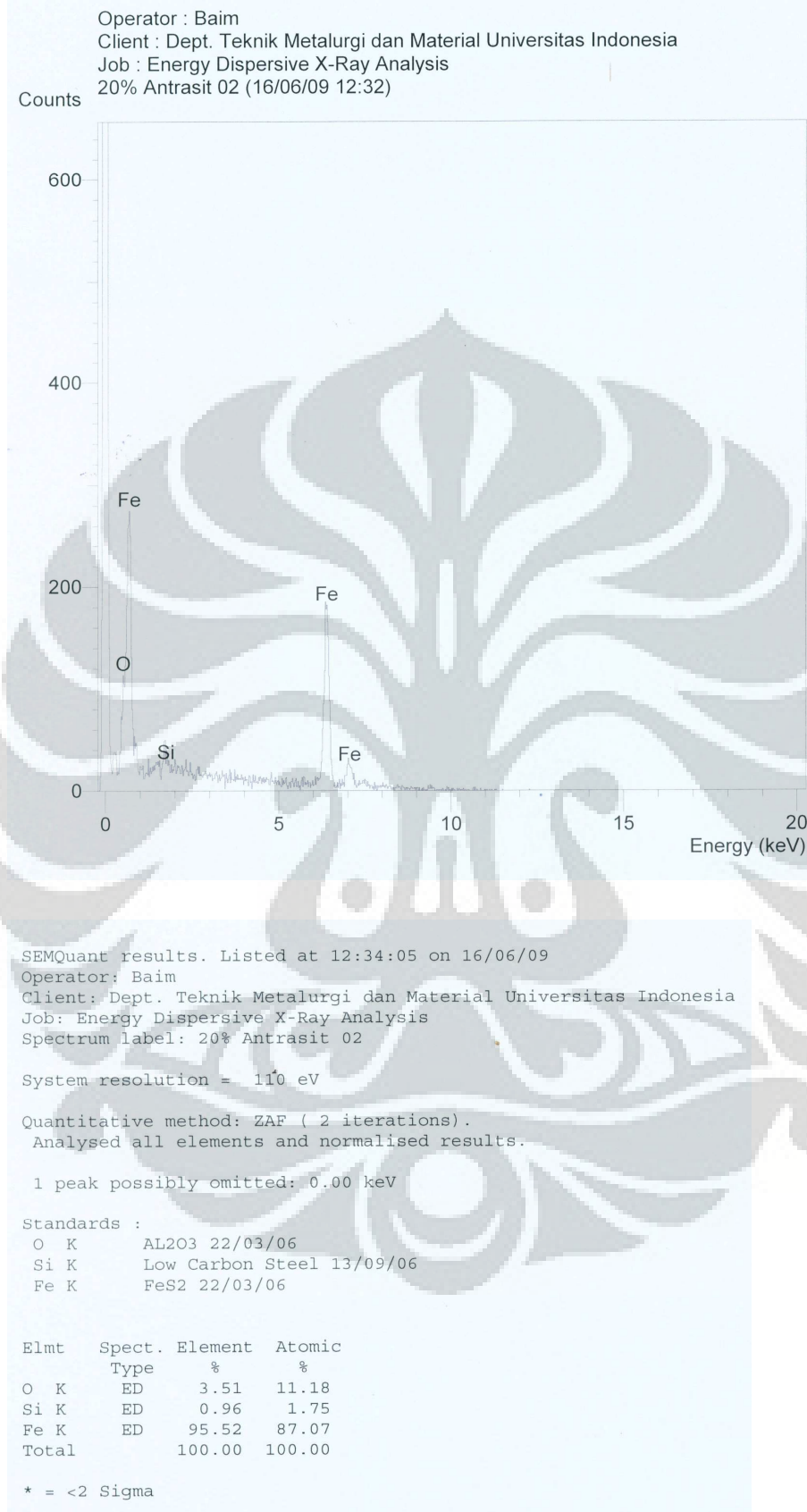
Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	40.20	68.02
Mg K	ED	3.62	4.03
Si K	ED	1.90	1.83
Fe K	ED	45.95	22.28
Ni K	ED	8.33	3.84
Total		100.00	100.00

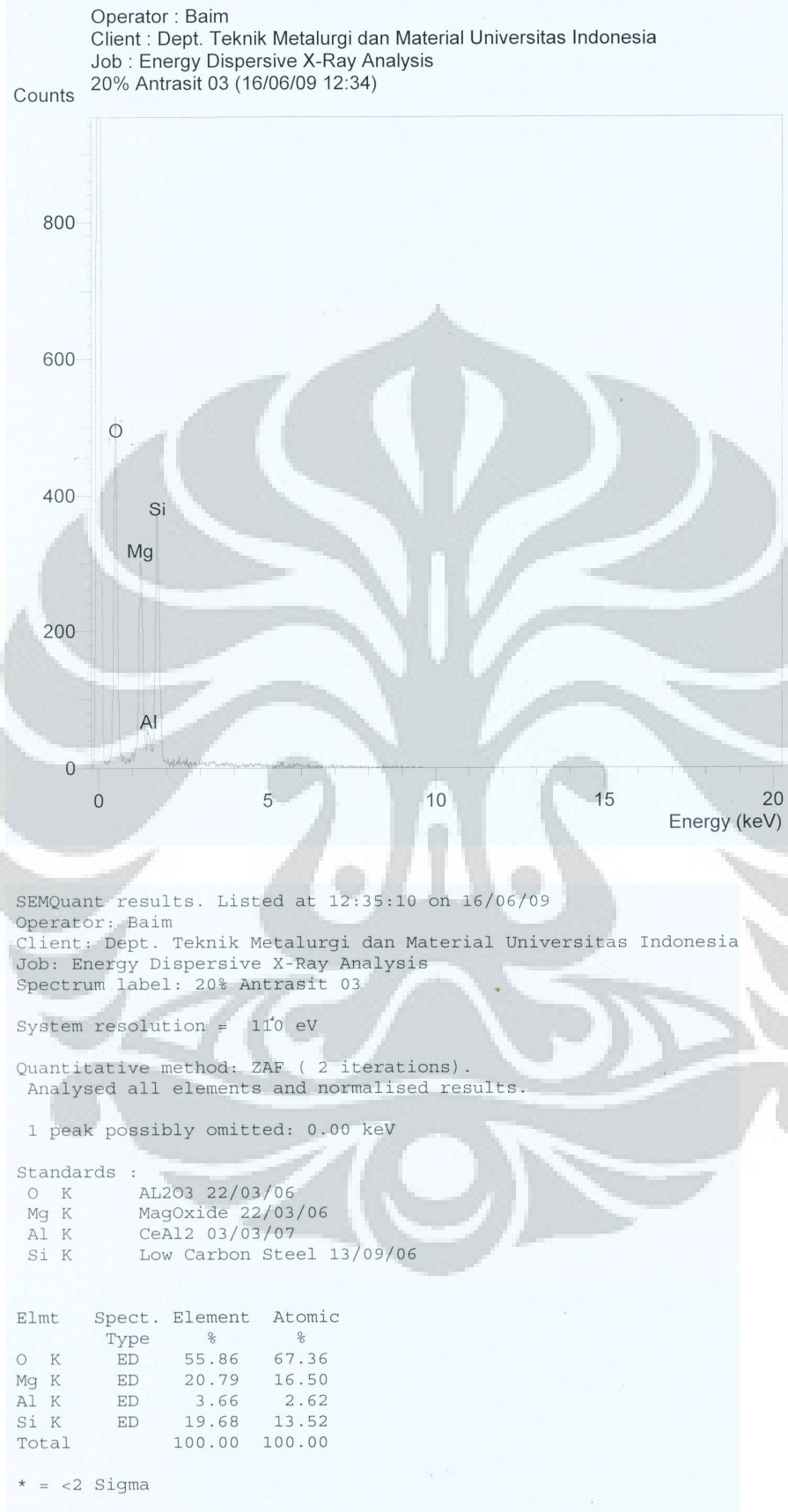
* = <2 Sigma

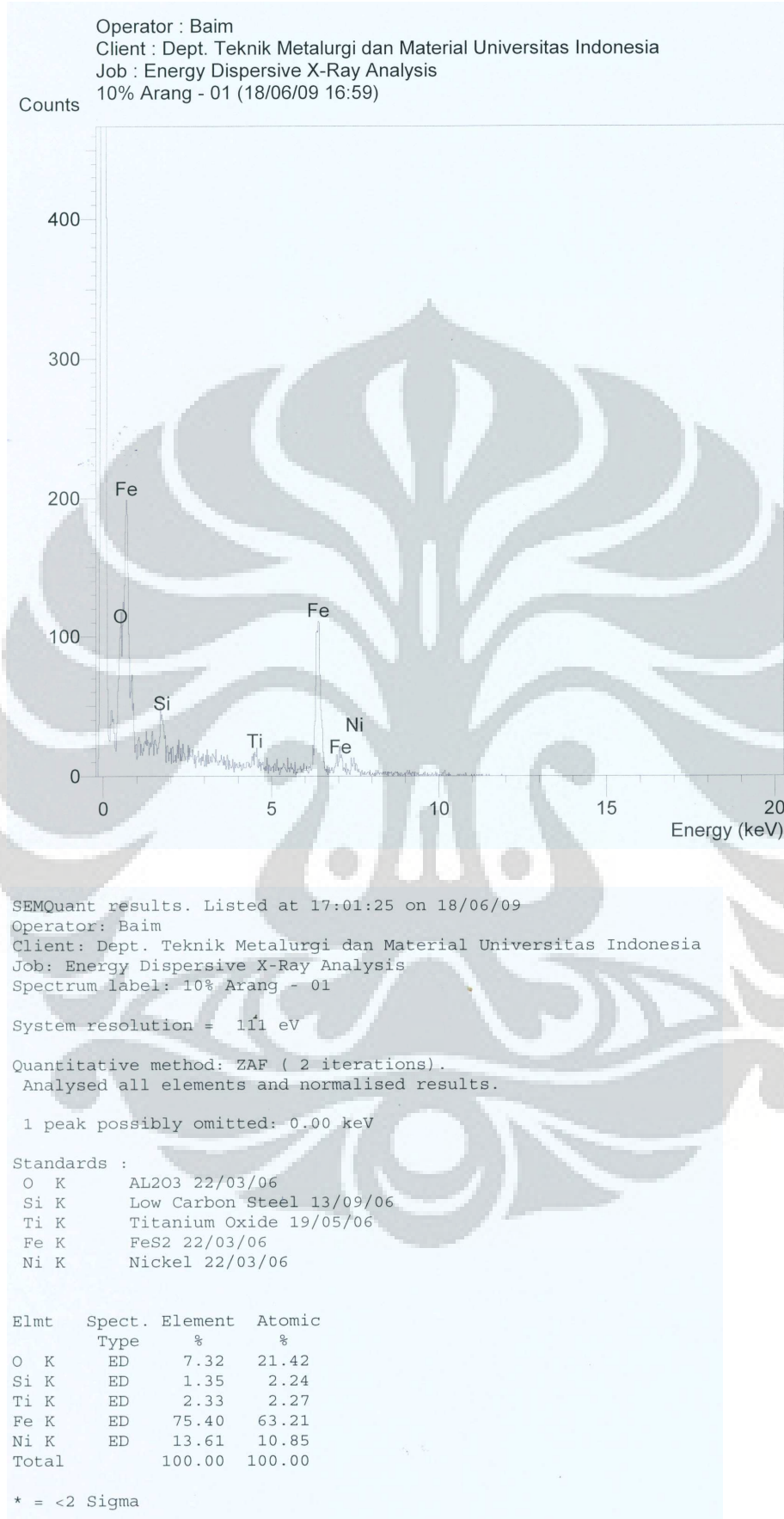


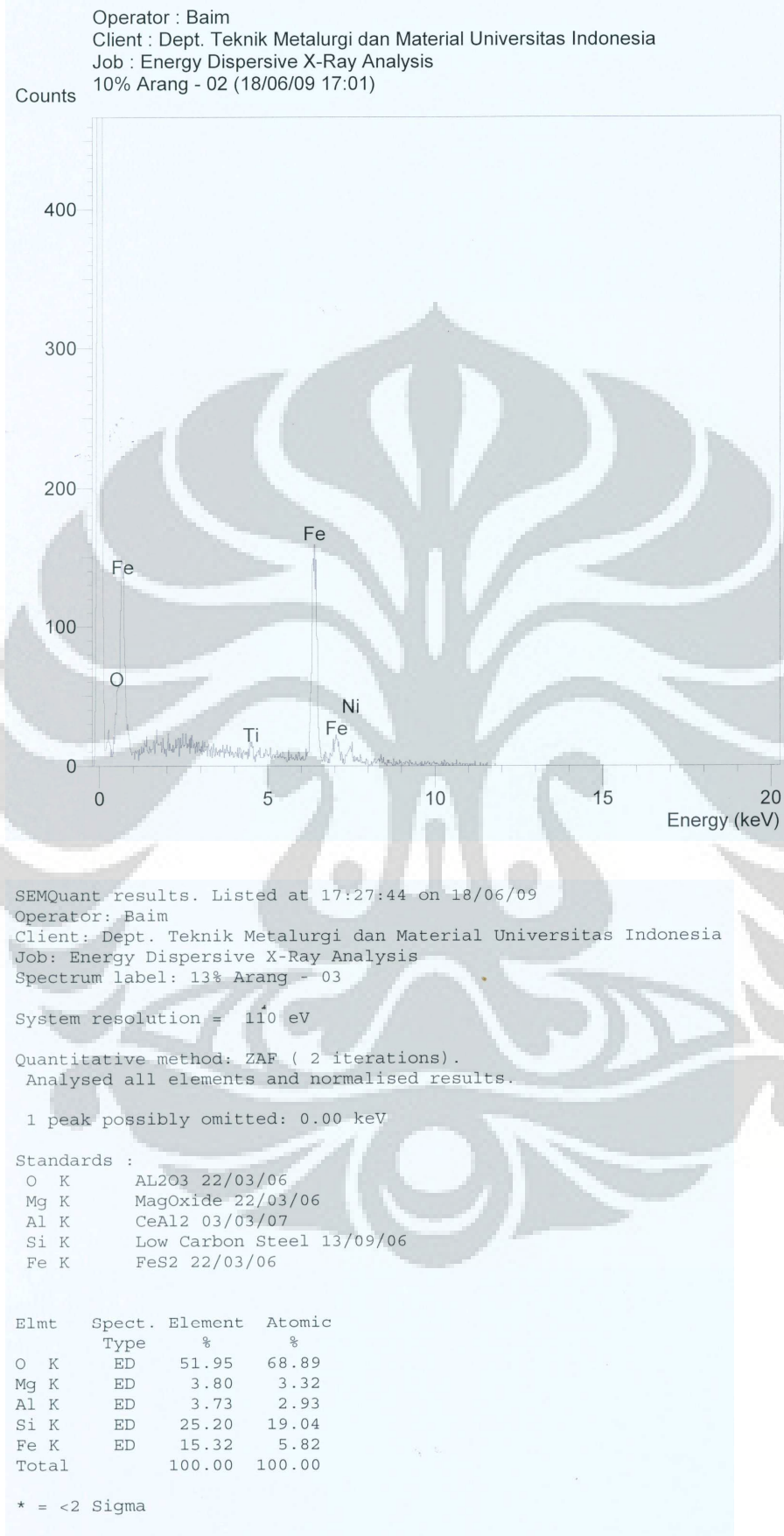


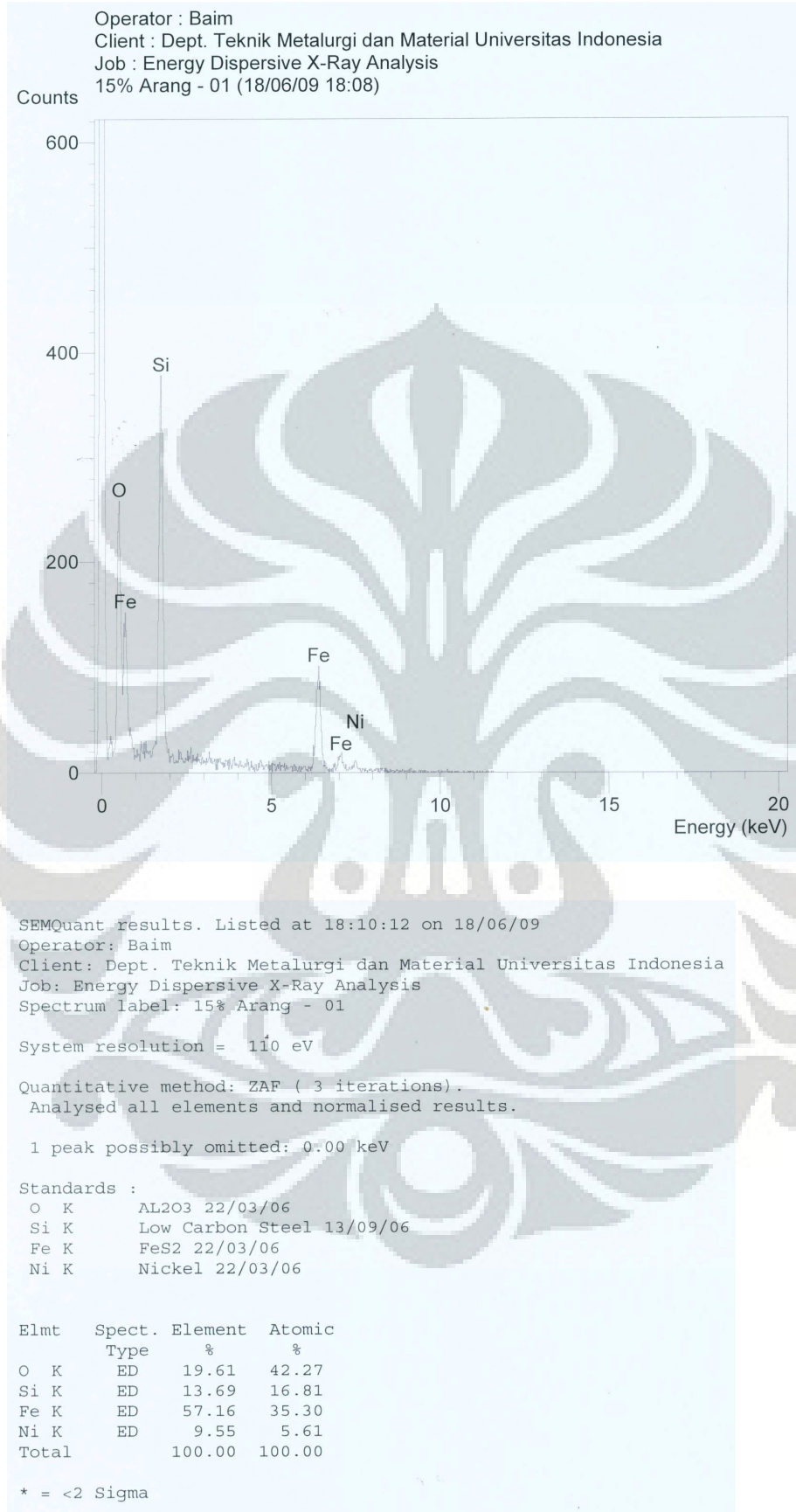


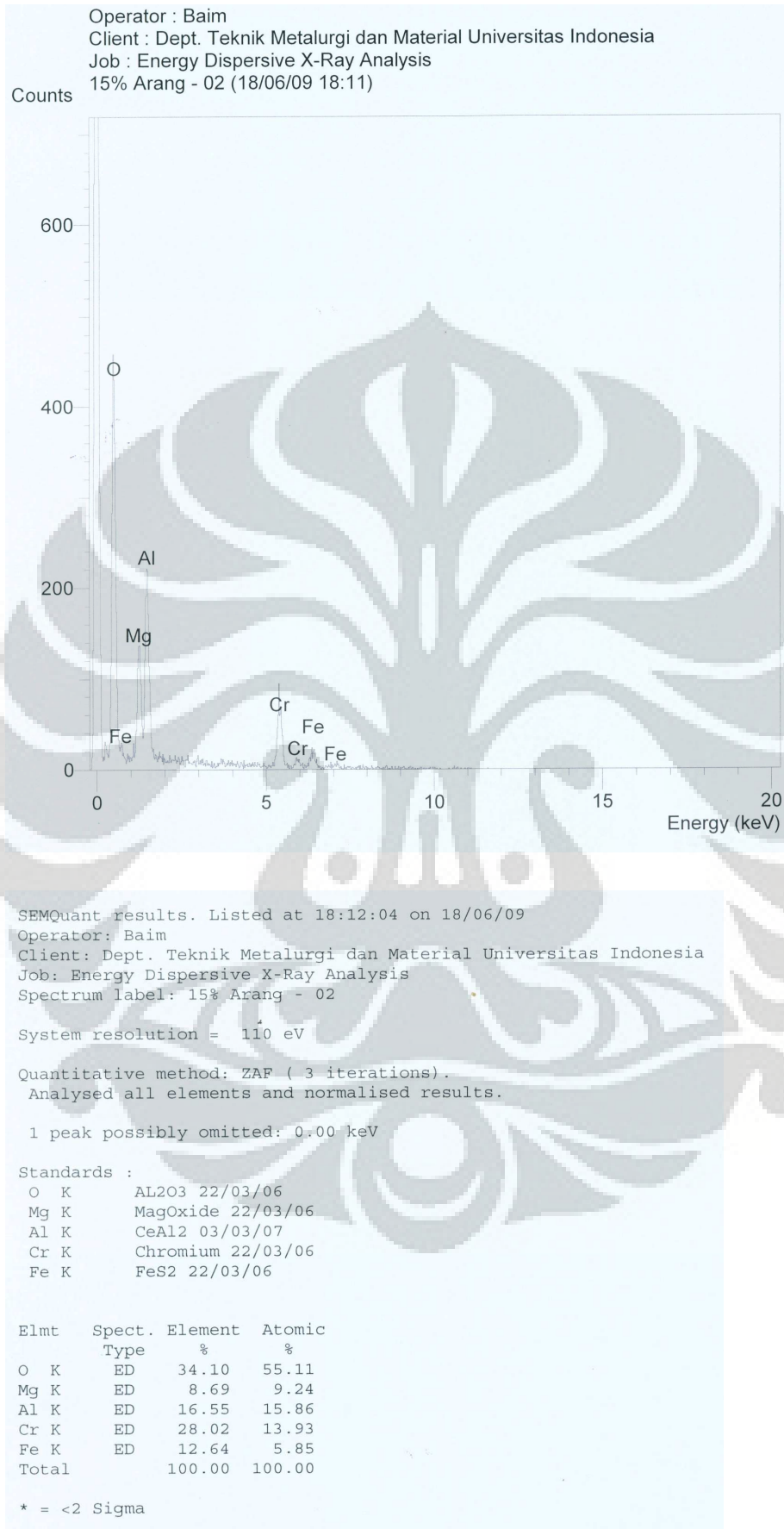


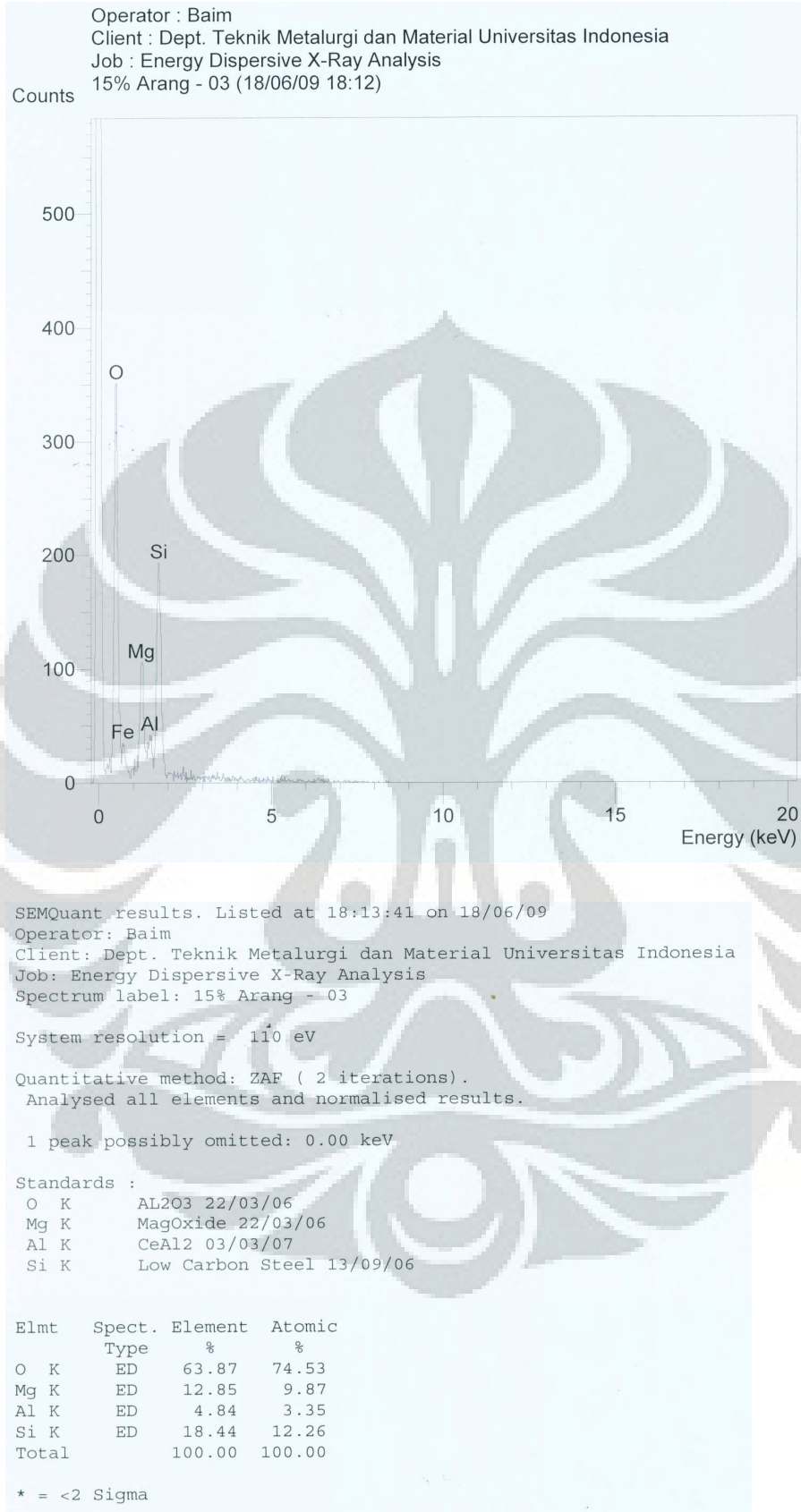


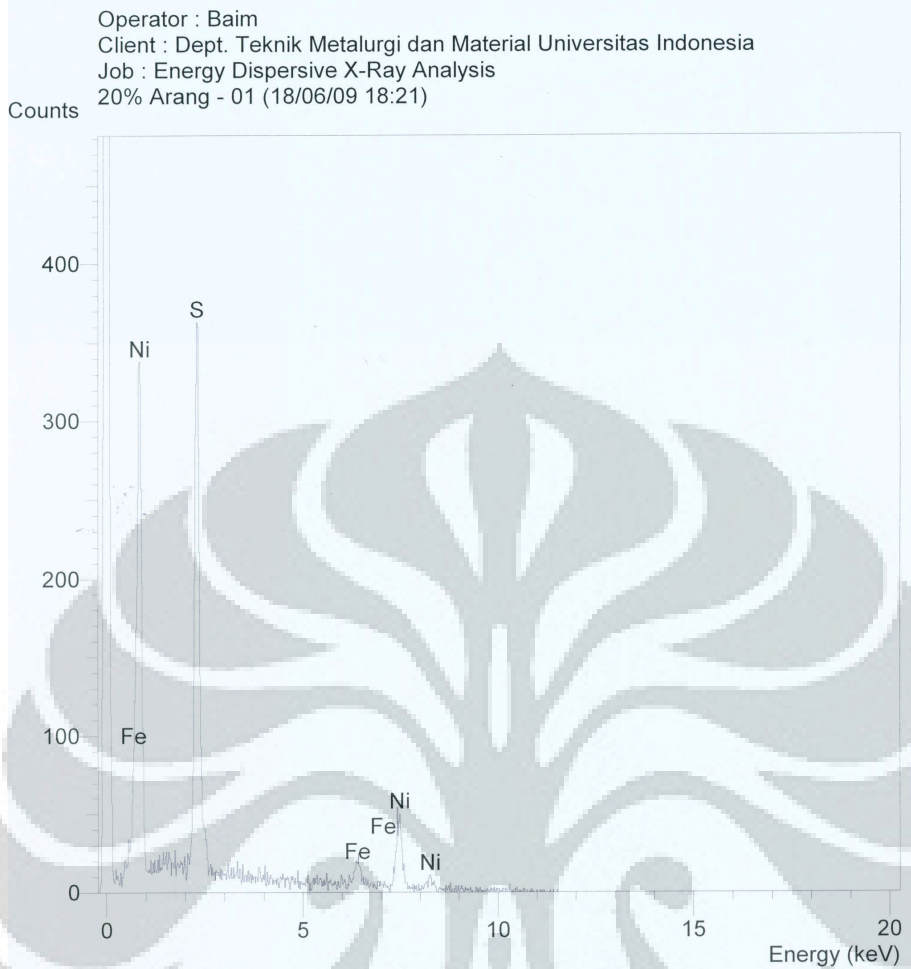












SEMQuant results. Listed at 18:23:50 on 18/06/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: 20% Arang - 01

System resolution = 110 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: 0.00 keV

Standards :

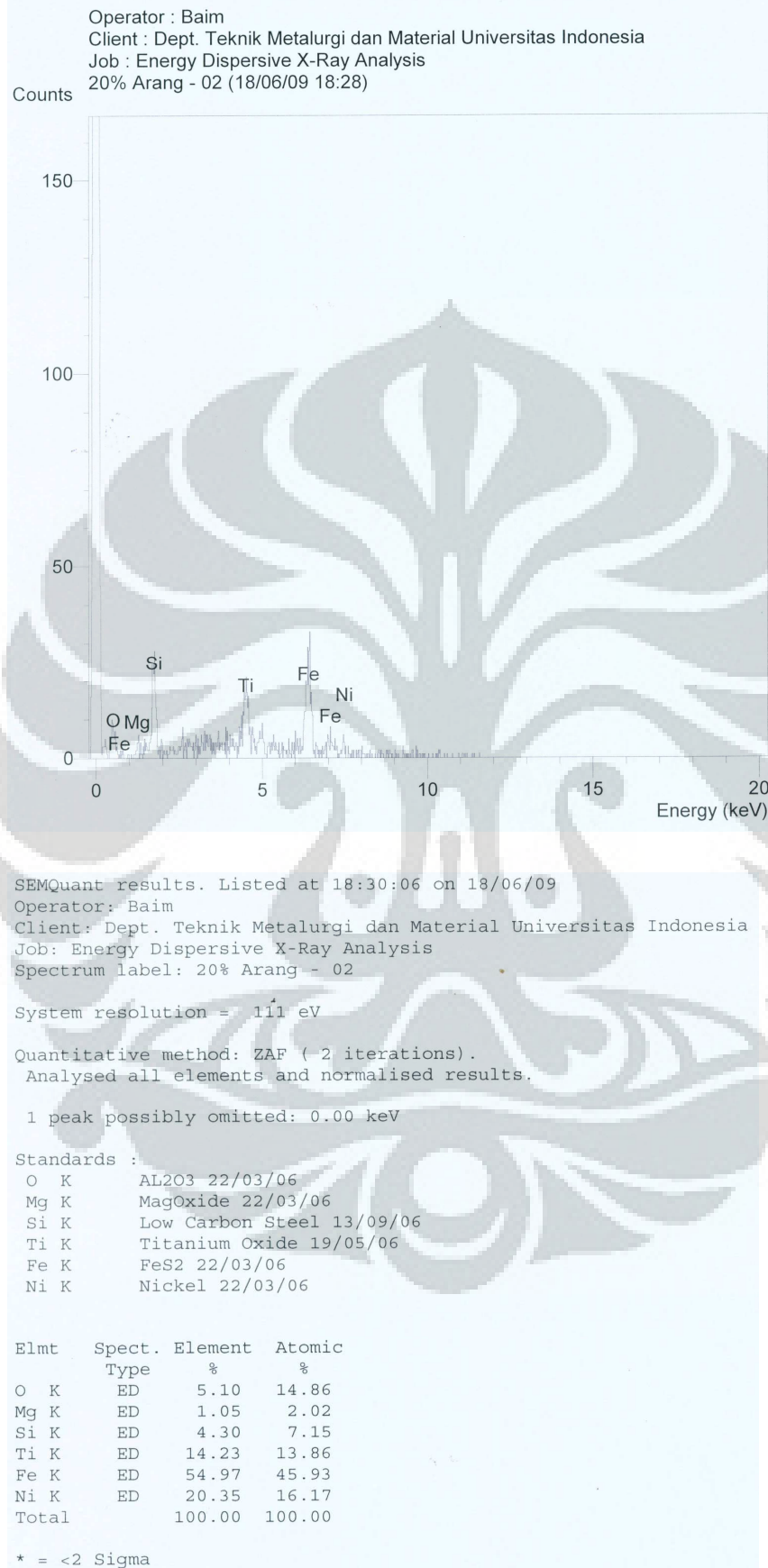
S K FeS2 22/03/06

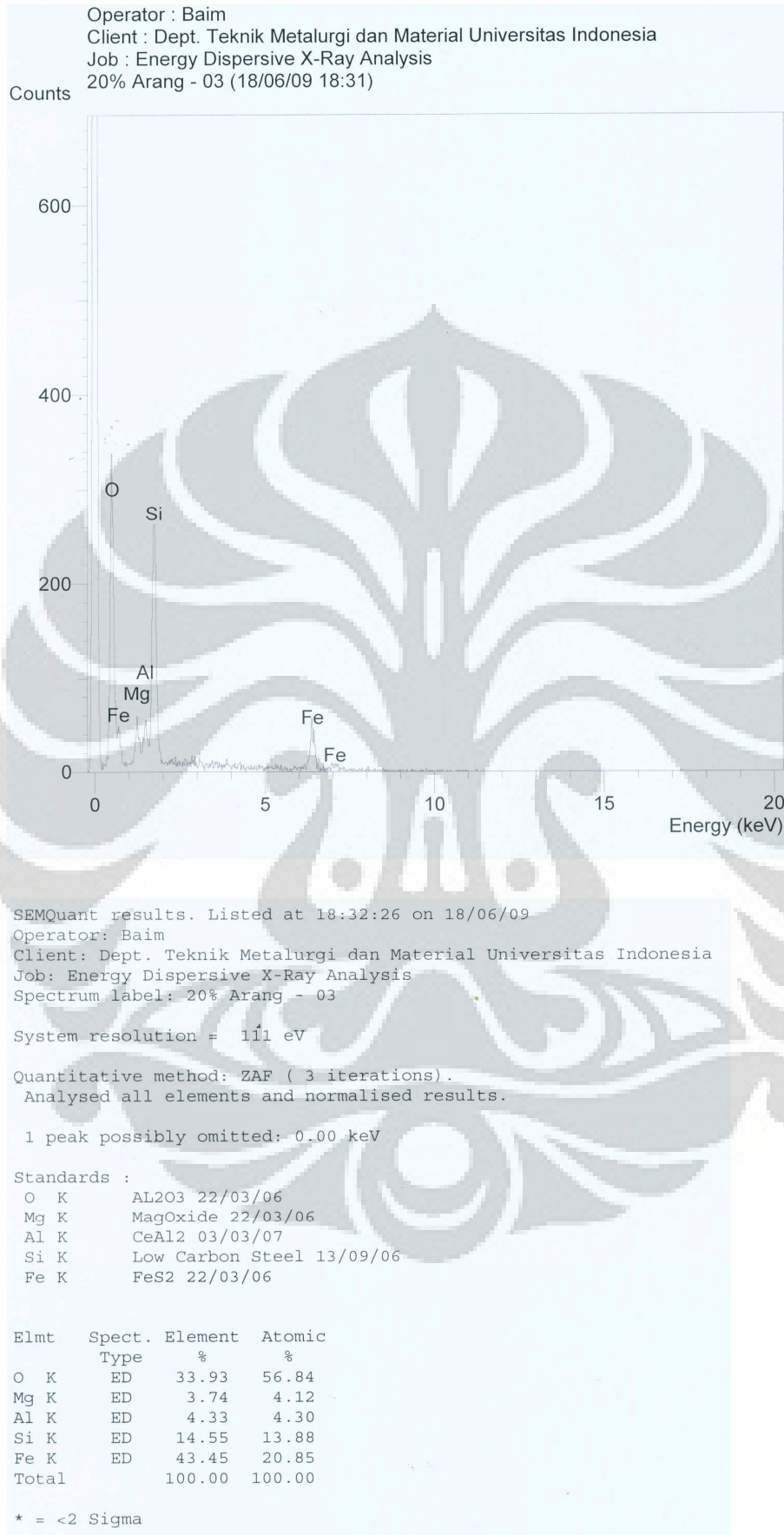
Fe K FeS2 22/03/06

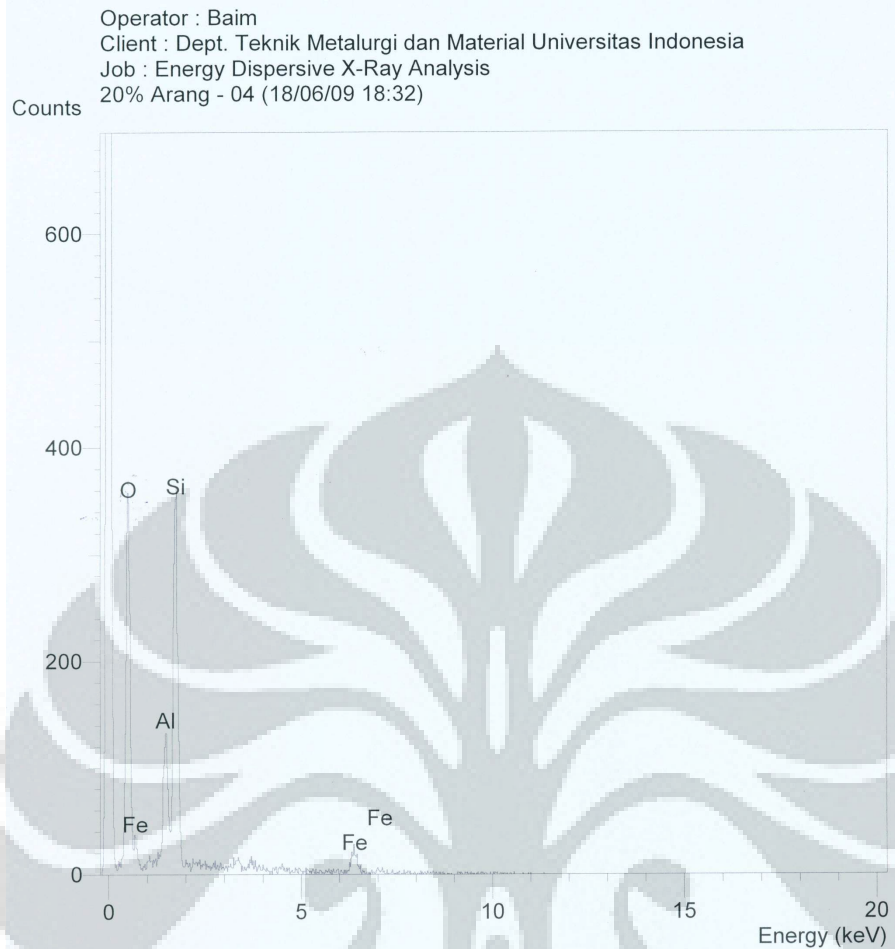
Ni K Nickel 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
S K	ED	29.39	43.12
Fe K	ED	7.47	6.29
Ni K	ED	63.14	50.59
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma







SEMQuant results. Listed at 18:33:39 on 18/06/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: 20% Arang - 04

System resolution = 110 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

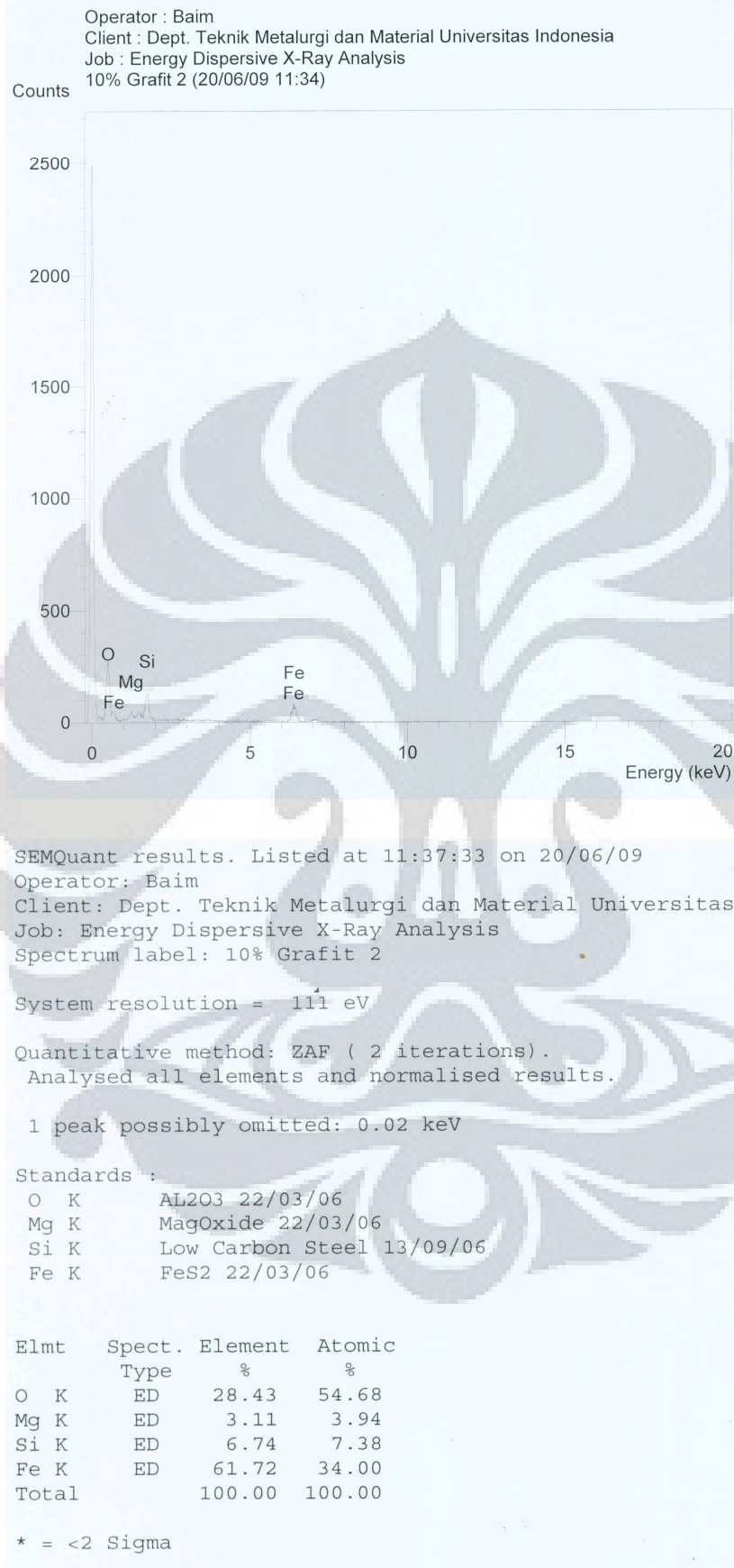
1 peak possibly omitted: 0.00 keV

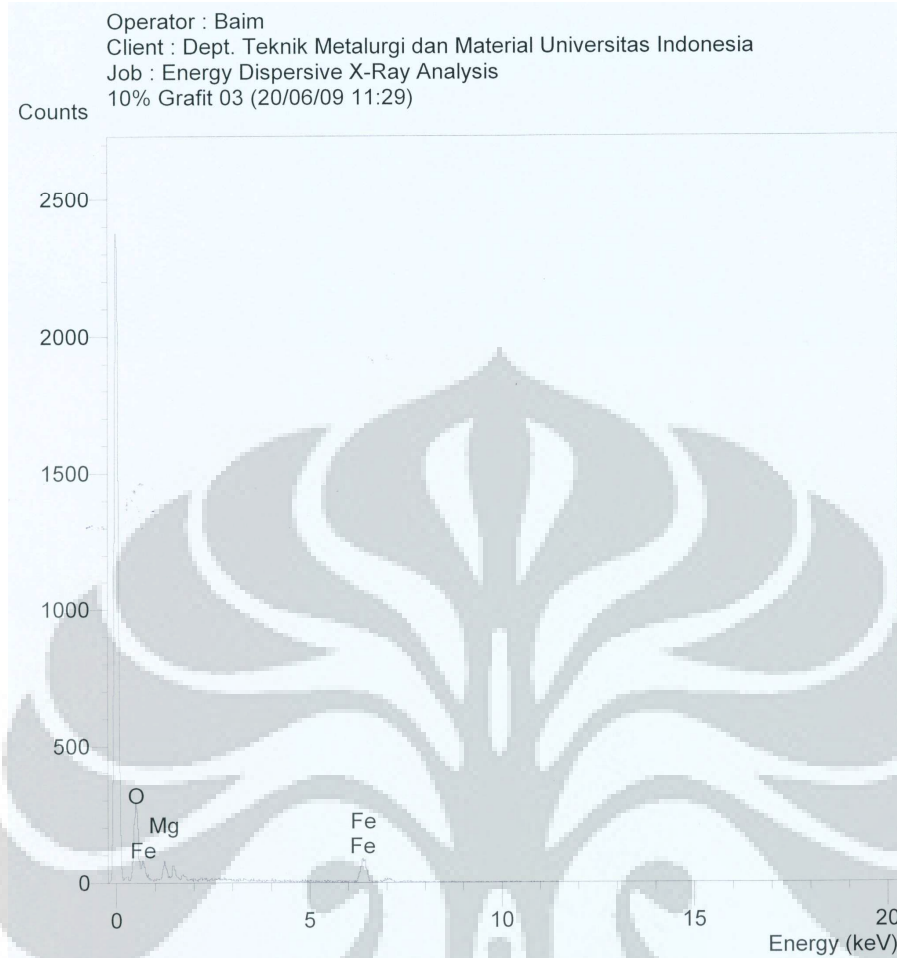
Standards :

O K	AL2O3	22/03/06
Al K	CeAl2	03/03/07
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
Fe K	FeS2	22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	45.20	63.87
Al K	ED	12.61	10.56
Si K	ED	21.22	17.08
Fe K	ED	20.97	8.49
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma





SEMQuant results. Listed at 11:33:47 on 20/06/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: 10% Grafit 03

System resolution = 111 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

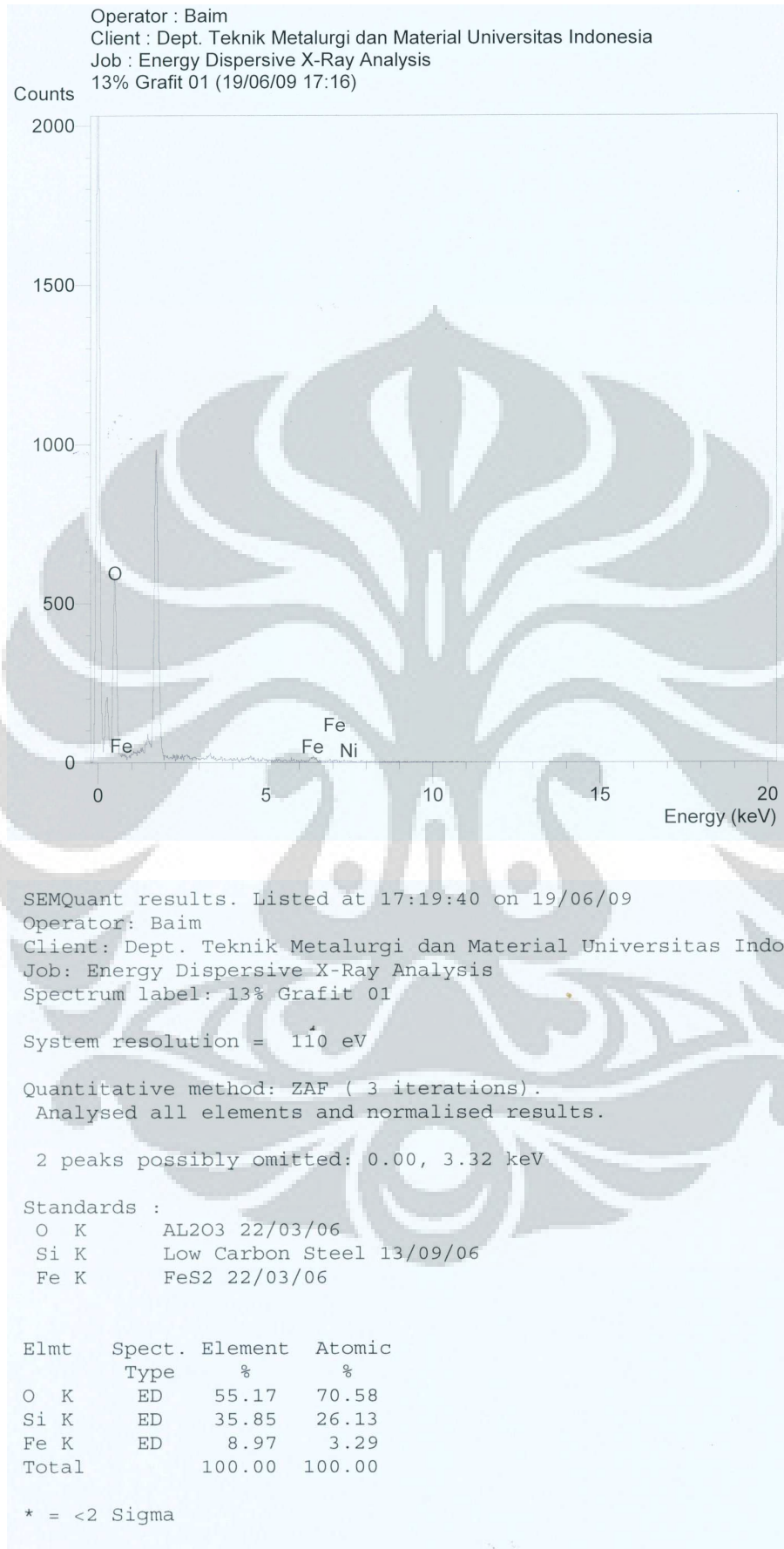
2 peaks possibly omitted: 0.02, 1.74 keV

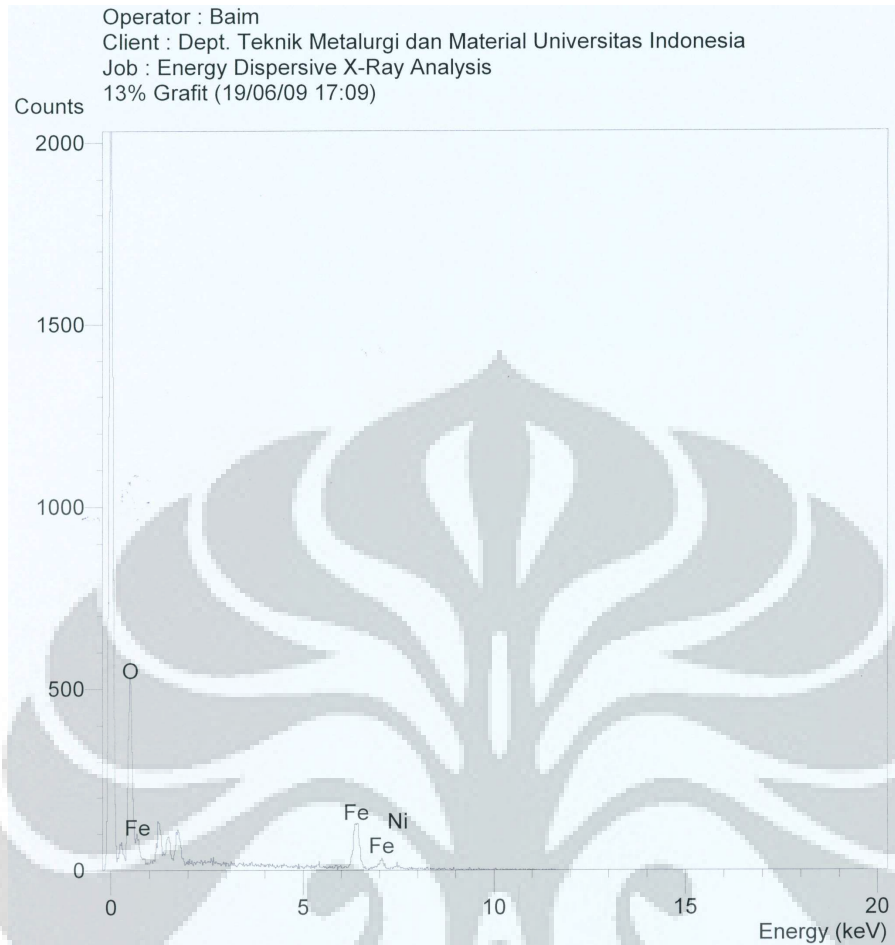
Standards :

O K AL2O3 22/03/06
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
O K	ED	25.49	52.05
Mg K	ED	5.75	7.72
Fe K	ED	68.77	40.23
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma





SEMQuant results. Listed at 17:13:38 on 19/06/09

Operator: Baim

Client: Dept. Teknik Metalurgi dan Material Universitas Indonesia

Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis

Spectrum label: 13% Grafit

System resolution = 111 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations).

Analysed all elements and normalised results.

3 peaks possibly omitted: 0.00, 1.50, 1.74 keV

Standards :

O K AL2O3 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Ni K Nickel 22/03/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
O K	ED	27.36	57.00
Fe K	ED	60.43	36.07
Ni K	ED	12.22	6.94
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

