



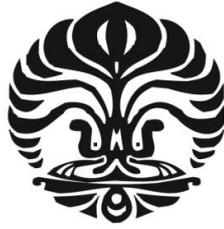
UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUNAAN KOLEKTOR ASAM OLEIK DAN
FROTHER MINYAK PINUS PADA PROSES FLOTASI
BIJIH NIKEL LIMONIT**

SKRIPSI

**ILHAM FIRMANSYAH
040504035X**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGGUNAAN KOLEKTOR ASAM OLEIK DAN
FROTHER MINYAK PINUS PADA PROSES FLOTASI
BIJIH NIKEL LIMONIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ILHAM FIRMANSYAH
040504035X**

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

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

PENGGUNAAN KOLEKTOR ASAM OLEIK DAN *FROTHER* MINYAK PINUS PADA PROSES FLOTASI BIJIH NIKEL LIMONIT

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, 30 Desember 2009

Ilham Firmansyah
NPM 040504035X

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ilham Firmansyah
NPM : 040504035X
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Penggunaan Kolektor Asam Oleik dan *Frother*
Minyak Pinus Pada Proses Flotasi Bijih Nikel
Limonit

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 : Ir. Andi Rustandi M.T ()

Penguji 2 : Deni Ferdian, S.T., M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Desember 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 bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik;
2. Orang tua, adik, serta keluarga yang selalu memberikan dukungan;
3. Ir. Sulaksana Permana, selaku senior dan teman yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan masukan-masukan yang bermanfaat;
4. Teman-teman seperguruan : Reza MU, Udin, Abank, Rifky, Alid, Irwan, Bokop, Anto serta teman – teman metalurgi dan material 2005 lainnya;
5. Semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan semuanya.

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

Depok, 30 Desember 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ilham Firmansyah
NPM : 040504035X
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 (*Nonexclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGGUNAAN KOLEKTOR ASAM OLEIK DAN *FROTHER* MINYAK PINUS PADA PROSES FLOTASI BIJIH NIKEL LIMONIT

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 : 30 Desember 2009

Yang menyatakan

Ilham Firmansyah

ABSTRAK

Ilham Firmansyah

NPM 040504035X

Departemen Metalurgi dan Material

PENGGUNAAN KOLEKTOR ASAM OLEIK DAN FROTHER MINYAK PINUS PADA PROSES FLOTASI BIJIH NIKEL LIMONIT

Limonit $[(Fe, Ni)O(OH).nH_2O]$ adalah bijih lateritik yang mengandung kandungan kadar nikel 0,8% - 2% dan kandungan besi 25% - 50%. Salah satu cara untuk meningkatkan kadar dari suatu mineral sekaligus memberikan nilai tambah dari suatu proses pengolahan mineral dengan menggunakan proses flotasi. Proses flotasi ini bergantung pada reagen-reagen seperti : kolektor, *frother* dan *modifier*. Pada penelitian ini menggunakan asam oleik sebagai kolektor dan minyak pinus sebagai *frother*. Sedangkan pH yang digunakan dijaga tetap 10. Untuk menjaga pH ini digunakan *soda ash* (Na_2CO_3). Pengujian yang dilakukan adalah pengujian XRD untuk mengetahui senyawa-senyawa yang ada, serta pengujian XRF untuk mengetahui kadar dari masing-masing unsur. Produk buih sebagai konsentrat dan produk endapan sebagai *tailing*, karena senyawa Ni dan Fe terangkat di buih dan terpisah dengan pengotornya. Nilai *recovery* aktual tertinggi pada Ni terjadi pada saat penambahan kolektor: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton, yaitu sebesar 50,67%. Sedangkan nilai *recovery* aktual tertinggi pada Fe terjadi pada saat penambahan kolektor: 1491,67 g/ton dan *frother*: 90 g/ton, yaitu sebesar 50,22%.

Kata kunci: Bijih nikel limonit, Flotasi, Asam oleik, Minyak pinus

ABSTRACT

Ilham Firmansyah

NPM 040504035X

Metallurgy and Material Department

THE USE OF OLEIC ACID COLLECTOR AND PINE OIL FROTHER ON THE FLOTATION PROCESS OF NICKEL LIMONITE ORE

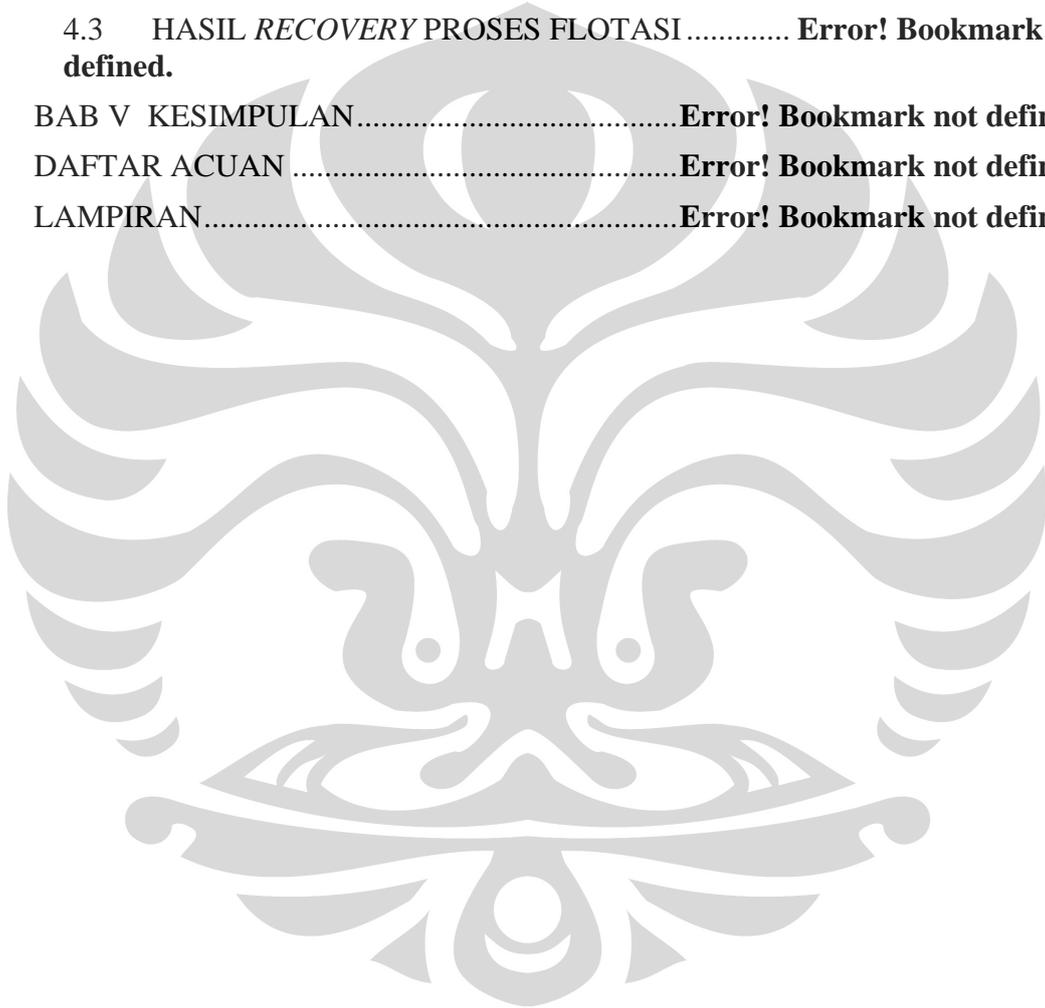
Limonit [(Fe, Ni)O(OH).nH₂O] is lateritic nickel ore, composed of 0,8% - 2% Ni and 25% - 50% Fe. One way to improve contents of a valuable mineral while providing added value from mineral processing is using flotation process. This flotation process depends on reagents such as : collector, frother and modifier. This research used oleic acid collector and pine oil frother. A constant pH is at 10. To maintain this pH, soda ash (Na₂CO₃) was utilized. Characterizations were constructed using XRD to determine the compounds in the ore, and XRF to determine contents of each element. The product was at foam as concentrate and the tailing was precipitated. Higher Ni and Fe compounds grade were accumulated in the foam and separate with their gangues. The highest value of the actual recovery of Ni that occurs during the addition of *collector*: 895 g/ton and *frother*: 30 g/ton is 50.67%. Whereas the highest value of the actual recovery of Fe that occurs during the addition of *collector*: 1491.67 g/ton and *frother*: 90 g/ton is 50.22%.

Keywords : Limonit nickel ore, Flotation, Oleic acid, Pine oil

DAFTAR ISI

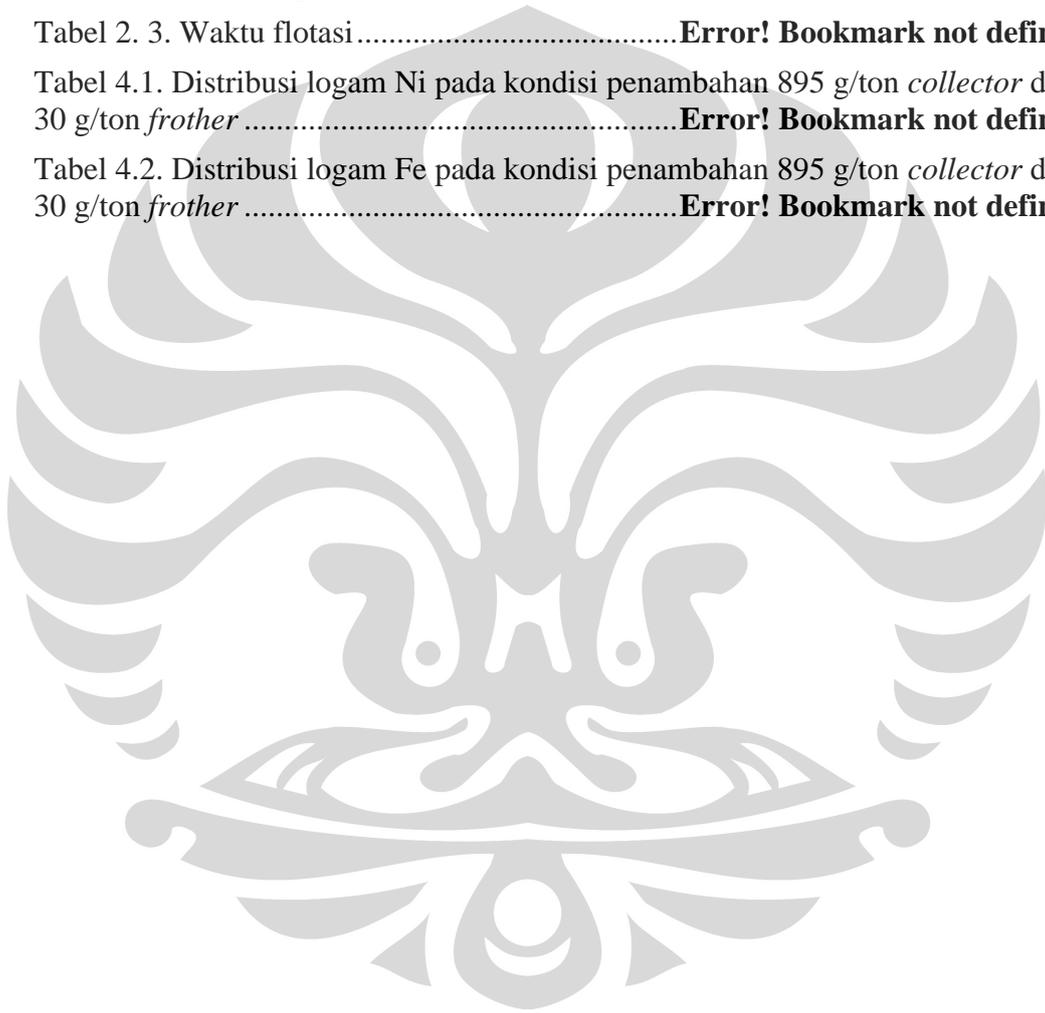
HALAMAN JUDUL	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.
BAB I PENDAHULUAN	Error! Bookmark not defined.
1.1 LATAR BELAKANG	Error! Bookmark not defined.
1.2 TUJUAN PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
1.4 SISTEMATIKA PENULISAN	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
2.1 MINERAL	Error! Bookmark not defined.
2.1.1 Pengertian dan Penggolongan Bahan Galian	Error! Bookmark not defined.
2.1.2 Nikel	Error! Bookmark not defined.
2.1.3 Bijih Limonit	Error! Bookmark not defined.
2.2 FLOTASI	Error! Bookmark not defined.
2.2.1 Proses Flotasi	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Mesin Flotasi	Error! Bookmark not defined.
2.2.3 Daya Apung (<i>Flotability</i>) dan Kemampuan Pembasahan (<i>Wettability</i>)	Error! Bookmark not defined.
2.2.4 Reagen Flotasi	Error! Bookmark not defined.
2.2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Flotasi ..	Error! Bookmark not defined.
2.2.6 <i>Recovery</i> Dalam Flotasi	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.

3.1	DIAGRAM ALIR PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.
3.2	ALAT DAN BAHAN	Error! Bookmark not defined.
3.2.1	Alat.....	Error! Bookmark not defined.
3.2.2	Bahan	Error! Bookmark not defined.
3.3	PROSEDUR PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1	SENYAWA HASIL FLOTASI.....	Error! Bookmark not defined.
4.2	NERACA MATERIAL.....	Error! Bookmark not defined.
4.3	HASIL <i>RECOVERY</i> PROSES FLOTASI.....	Error! Bookmark not defined.
BAB V	KESIMPULAN.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR	ACUAN	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Beberapa karakteristik Nikel.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2. Dosis reagen flotasi.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2. 3. Waktu flotasi.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1. Distribusi logam Ni pada kondisi penambahan 895 g/ton <i>collector</i> dan 30 g/ton <i>frother</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2. Distribusi logam Fe pada kondisi penambahan 895 g/ton <i>collector</i> dan 30 g/ton <i>frother</i>	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Penyebaran Nikel laterites dan Nikel sulphides di dunia..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.2. Perbandingan cadangan nikel laterit dan sulfida di dunia (a) dan perbandingan produksi nikel dari nikel laterit dan sulfida (b).. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.3. Contoh Bijih Limonit **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.4. Profil laterit daerah tropis **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.5. Lapisan penyusun laterit **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.6. Prinsip flotasi **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.7. Mesin flotasi skala laboratorium..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.8. Sudut kontak gelembung dan partikel dalam pulp. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.9. Contoh struktur molekul dari sodium oleate... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.10. Adsorpsi collector pada permukaan mineral. **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.11. Klasifikasi collector **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.12. Cationic amine collector **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.13. Mekanisme frother **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 2.14. Rumus kimia pine oil **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.1. Sampel limonit **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.2. Infra red dryer **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.3. Oven **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.4. Rotary mill **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.5. Alat ayakan dan *pan mesh* **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.6. Timbangan digital **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.7. Mesin flotasi Denver : (a) tampak depan dan (b) tampak samping **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.8. Hasil flotasi : (a) buih dan (b) endapan..... **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.9. Alat penyaring **Error! Bookmark not defined.**
- Gambar 3.10. Mesin XRF merek Jeol **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 3.11. Mesin XRD merek Philips**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.1. Grafik hasil XRD sampel awal, produk buih dan endapan pada penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.2. Grafik nilai *recovery* aktual dari Ni pada buih **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.3. Grafik nilai *recovery* aktual dari Fe pada buih **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4. Grafik nilai *recovery* aktual dari Ni pada endapan **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5. Grafik nilai *recovery* aktual dari Fe pada endapan **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN

Nilai <i>Recovery</i>	Error! Bookmark not defined.
Distribusi Logam	Error! Bookmark not defined.
<i>Ratio of Concentration</i>	Error! Bookmark not defined.
Hasil XRF	Error! Bookmark not defined.
Hasil XRD.....	Error! Bookmark not defined.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Indonesia adalah negara yang kaya akan hasil tambang. Salah satunya adalah memiliki kandungan endapan laterit yang cukup banyak, misalnya di daerah Sulawesi Tenggara. Laterit adalah jenis batuan/endapan yang kaya kandungan Fe, biasanya terkandung mineral ikutan Ni. Secara umum endapan Nikel laterit dibedakan menjadi beberapa bagian lapisan, seperti tanah *Iron capping*, *limonite layer*, *silika boxwork*, *saprolite*, *bedrock*^[1].

Limonit [(Fe, Ni)O(OH).nH₂O] adalah zona laterit dengan bentuk *fine grained*, merah coklat atau kuning. Ketebalan rata-rata 12,21 meter. Kandungan kadar nikel 0,8% - 1,5% dan kandungan besi 40% - 50%^[1]. Disebabkan kandungan nikel yang terdapat pada limonit cukup kecil, maka tidak efisien bila langsung diproses lebih lanjut misal melalui proses *pyrometallurgy*. Kebanyakan di Indonesia bijih dengan kadar nikel tinggi ($\geq 1,8\%$) akan diproses lebih lanjut, sedangkan bijih dengan kadar nikel rendah ($< 1,8\%$) akan langsung di ekspor ke luar negeri. Berdasarkan hal tersebut, amat disayangkan bila bijih dengan kadar nikel rendah ($< 1,8\%$) langsung di ekspor ke luar negeri tanpa diberikan nilai tambah terlebih dahulu. Maka, diperlukanlah suatu proses yang dapat digunakan untuk meningkatkan kadar nikel dari bijih limonit tersebut.

Selain itu, Undang-Undang Republik Indonesia nomor 4 tahun 2009 yang sebagian isinya memberikan persyaratan bahwa pemerintah berwenang dalam pengelolaan pertambangan mineral dan pengelola wajib memberikan pengembangan dan peningkatan nilai tambah dari kegiatan usaha pertambangan tersebut sebelum menjualnya^[2]. Hal ini semakin menegaskan dan membatasi para pengelola tambang untuk langsung menjual atau mengekspor ke luar negeri hasil tambang dengan kadar rendah atau yang dianggap tidak efisien di Indonesia tanpa dilakukannya suatu proses awal untuk memberikan nilai tambah dari hasil

tambang tersebut. Sehingga diharapkan dengan meningkatkan kadar nikel dari bijih dengan kadar nikel rendah dapat diproses lebih lanjut dan di jual dengan nilai yang lebih tinggi.

Berdasarkan uraian di atas, salah satu cara untuk meningkatkan kadar dari suatu mineral sekaligus memberikan nilai tambah dari suatu proses pertambangan adalah dengan menggunakan proses flotasi. Flotasi adalah metode fisika kimia untuk memisahkan mineral dengan mineral lainnya dengan memanfaatkan sifat permukaan mineral, yaitu mineral yang mempunyai sifat mudah dibasahi air (*hidrofilik*) dan mineral yang sulit dibasahi air (*hidrofobik*). Partikel yang mudah dibasahi akan berada dalam pulp, sementara mineral yang sukar dibasahi menempel pada gelembung udara dan terbawa naik ke permukaan^[3]. Untuk menghasilkan sifat-sifat permukaan yang diinginkan, dalam flotasi ditambahkan reagen-reagen antara lain : *collector*, *frother* dan *modifier*. Reagen yang dipakai harus bekerja secara selektif terhadap permukaan mineral tertentu sehingga permukaannya menjadi hidrofobik sedangkan permukaan mineral lainnya menjadi hidrofilik (afinitas terhadap air lebih besar daripada udara).

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memperoleh nilai *recovery* Nikel dan Besi dari proses flotasi limonit yang dilakukan.
2. Mengetahui nilai optimal *recovery* Nikel dan Besi dari penambahan asam oleik sebagai kolektor dan minyak pinus sebagai *frother* untuk proses flotasi limonit.
3. Mengetahui senyawa-senyawa yang ada pada bijih limonit awal, serta senyawa-senyawa yang ada pada produk buih dan endapan hasil proses flotasi.

1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup untuk penelitian ini antara lain :

1. Variabel yang tetap dijaga konstan adalah : ukuran bijih limonit (-200 mesh), *pulp density* (30%), pH (10), kecepatan putaran *impeller* (1250 rpm), waktu *conditioning* (15 menit), waktu flotasi (10 menit).
2. Variabel yang diubah-ubah adalah : konsentrasi asam oleik (298,33 , 596,67 , 895 , 1193,33 , dan 1491,67 g/ton) dan minyak pinus (30, 60, dan 90 g/ton).
3. Pengujian yang dilakukan adalah :
 - a. Pengujian *X-Ray Fluoresence* (XRF) untuk memperoleh kadar unsur yang terdapat pada bijih limonit sebelum dan sesudah proses flotasi.
 - b. Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) untuk mengetahui senyawa apa saja yang ada.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun dalam bentuk bab-bab yang saling berkaitan sehingga menjadi lebih sistematis. Adapun bab-bab tersebut adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang 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-pengujian yang dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang data-data penelitian yang telah diolah serta analisa dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN

Berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 MINERAL

2.1.1 Pengertian dan Penggolongan Bahan Galian

Mineral sesuai dengan definisinya adalah bahan alam anorganik yang mempunyai komposisi kimia dan struktur / susunan atom tertentu, dapat berunsur tunggal atau bentuk persenyawaan^[3]. Tetapi dalam pengolahan bahan galian pengertian mineral dikembangkan menjadi bahan galian, yaitu semua bentukan alam berupa unsur-unsur kimia, batuan, mineral dan mineral bahan bakar yang merupakan endapan-endapan alam, yang cara memperolehnya dengan kegiatan menggali atau mengebor atau menambang.

Jadi, bahan galian merupakan hasil tambang, baik berupa bahan anorganik maupun bahan organik yang terbentuk dan terdapat di alam pada kulit bumi atau sebagai endapan di dasar laut yang dapat diambil dan dimanfaatkan secara ekonomis. Dengan demikian istilah mineral atau bahan galian seperti yang kita kenal dalam kehidupan sehari-hari dapat berupa bijih emas, perak, nikel, galena (PbS), kasiterit (SnO₂), pasir besi, batubara, minyak bumi, lempung, pasir kuarsa dan lain-lain.

Dilihat dari pemanfaatannya mineral / bahan galian dapat dibagi dalam tiga golongan, yaitu :

1. Mineral Logam (*metallic mineral* = bijih)

Mineral logam adalah bahan galian dari mana dapat diambil satu macam logam atau lebih secara ekonomis :

- Logam mulia : emas, perak, dan platina.
- Logam dasar : tembaga, seng, dan timah.

- Logam *ferous* (*steel industry*) : besi, nikel, chromium, tungsten, dan vanadium.
- Logam *radioactive* : uranium, thorium, dan radium.

2. Mineral non-logam (*non-metallic mineral* = bahan galian industri)

Mineral non-logam yang juga disebut mineral industri adalah mineral yang bukan penghasil / sumber logam maupun energi, tetapi bahan galian yang dapat dipakai langsung atau sebagai bahan baku untuk industri :

- Isolator : mika dan asbes.
- *Refractory material* : silika, alumina, zirkon, dan granit.
- Abrasive mineral : corundum, garnet, intan, dan topaz.
- *General industrial mineral* : fosfat, belerang, clay, batu gamping dan lain-lain.

3. Mineral energi (*fuel mineral*)

Mineral energi adalah bahan galian yang dipakai sebagai sumber energi primer :

- Solid (zat padat) : *coal*, *lignite*, dan *oil shale*.
- Liquid (zat cair) : minyak bumi.

2.1.2 Nikel

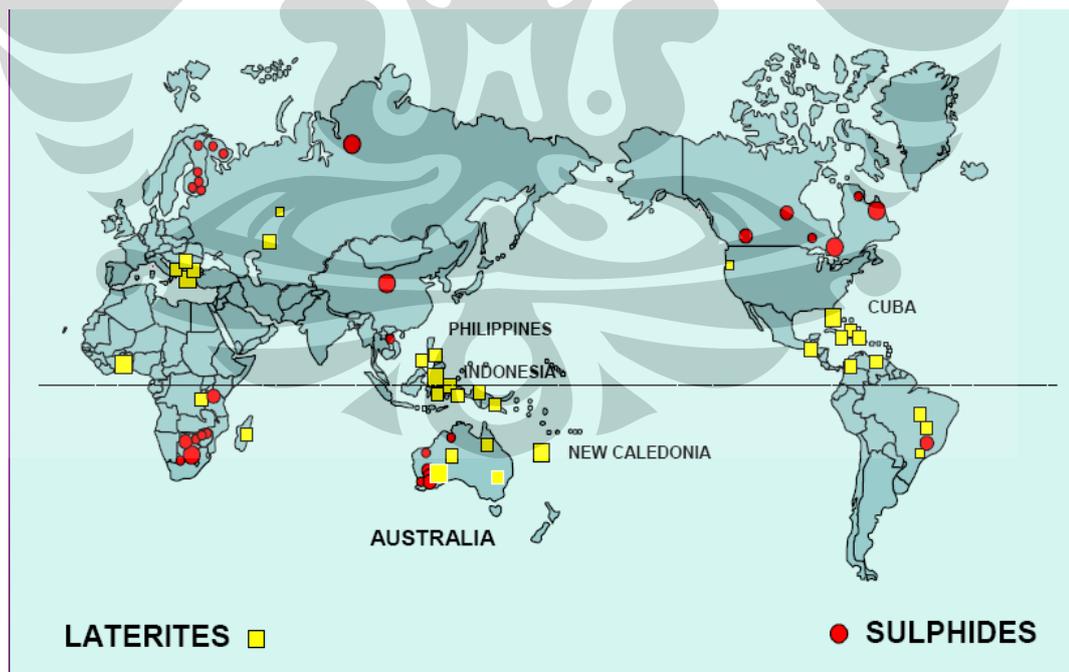
Nikel adalah logam putih keperakan dengan sifat-sifatnya tipe metalik^[1]. Beberapa karakteristik Nikel dapat dilihat pada tabel 2.1^[4]. Nikel mempunyai sifat tahan karat. Dalam keadaan murni, nikel bersifat lunak, tetapi jika dipadukan dengan besi, krom, dan logam lainnya, dapat membentuk baja tahan karat yang keras. Perpaduan nikel, krom dan besi menghasilkan baja tahan karat (stainless

steel) yang banyak diaplikasikan pada peralatan dapur (sendok, dan peralatan memasak), ornamen-ornamen rumah dan gedung, serta komponen industri.

Tabel 2.1. Beberapa karakteristik Nikel

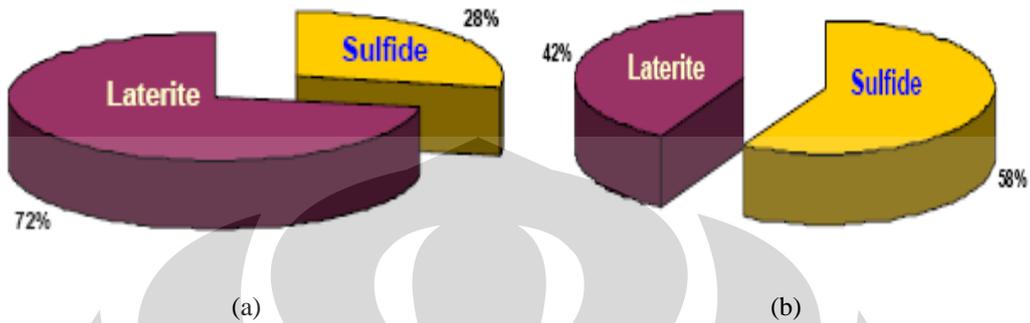
Simbol	Ni
Atomic number	29
Atomic weight	58.71
Density at 293 K	8902 Kg/m ³
Melting point	1453 °C
Boiling point	2732 °C
Crystal structure	Face centred cubic

Nikel tidak terbentuk dalam bentuk *native metal*. Nikel diperoleh dari endapan atau bijih nikel. Secara ekonomis, bijih nikel dapat dibedakan menjadi dua, yaitu nikel laterit dan nikel sulfida. Penyebarannya di dunia dapat dilihat pada gambar 2.1^[5].



Gambar 2.1. Penyebaran Nikel laterites dan Nikel sulphides di dunia

Cadangan nikel laterit di dunia lebih banyak dibandingkan nikel sulfida, akan tetapi produksi nikel lebih besar diperoleh dari nikel sulfida (gambar 2.2^[6]). Dengan adanya hal ini, maka diharapkan dapat meningkatkan produksi nikel dari nikel laterit terutama bijih limonit.



Gambar 2.2. Perbandingan cadangan nikel laterit dan sulfida di dunia (a) dan perbandingan produksi nikel dari nikel laterit dan sulfida (b)

2.1.3 Bijih Limonit

Limonit $[(\text{FeNi})(\text{OH})\text{O}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}]$ adalah salah penyusun laterit dengan bentuk *fine grained*, merah coklat atau kuning seperti terlihat pada Gambar 2.3. Ketebalan rata-rata 12,21 meter. Kandungan kadar nikel dari 0,8% - 1,5% dan kandungan besi 40% - 50%^[1].



Gambar 2.3. Contoh Bijih Limonit^[7]

Batuan induk bijih nikel adalah batuan peridotit. Unsur nikel tersebut terdapat dalam kisi-kisi kristal mineral olivin $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Ni})_2\text{SiO}_4]$ dan piroksin $[\text{XY}(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6]$ (dimana X mewakili ion-ion dari Ca, Na, Fe^{2+} , Mg dan dalam jumlah kecil Zn, Mn, Li, sedangkan Y mewakili ion-ion yang berukuran lebih

kecil seperti Cr, Al, Mn, Sc, Ti, dan Va), sebagai hasil substitusi terhadap atom Fe dan Mg. Proses serpentinisasi yang terjadi pada batuan peridotit akibat pengaruh larutan *hydrothermal*, akan merubah batuan peridotit menjadi batuan serpentinit atau batuan serpentinit peridotit. Sedangkan proses kimia dan fisika dari udara, air serta pergantian panas dingin yang bekerja kontinu, menyebabkan disintegrasi dan dekomposisi pada batuan induk.

Pada pelapukan kimia khususnya, air tanah yang kaya akan CO₂ berasal dari udara dan pembusukan tumbuh-tumbuhan menguraikan mineral-mineral yang tidak stabil (olivin dan piroksin) pada batuan ultra basa, menghasilkan Mg, Fe, Ni yang larut; Si cenderung membentuk koloid dari partikel-partikel silika yang sangat halus. Didalam larutan, Fe teroksidasi dan mengendap sebagai ferri-hidroksida, akhirnya membentuk mineral-mineral seperti goethit, limonit, dan haematit dekat permukaan. Bersama mineral-mineral ini selalu ikut serta unsur cobalt dalam jumlah kecil.

Larutan yang mengandung Mg, Ni, dan Si terus menerus kebawah selama larutannya bersifat asam, hingga pada suatu kondisi dimana suasana cukup netral akibat adanya kontak dengan tanah dan batuan, maka ada kecenderungan untuk membentuk endapan hydrosilikat. Nikel yang terkandung dalam rantai silikat atau hydrosilikat dengan komposisi yang mungkin bervariasi tersebut akan mengendap pada celah-celah atau rekahan-rekahan yang dikenal dengan urat-urat garnierit dan krisopras. Sedangkan larutan residunya akan membentuk suatu senyawa yang disebut saprolit yang berwarna coklat kuning kemerahan. Unsur-unsur lainnya seperti Ca dan Mg yang terlarut sebagai bikarbonat akan terbawa kebawah sampai batas pelapukan dan akan diendapkan sebagai dolomit, magnesit yang biasa mengisi celah-celah atau rekahan-rekahan pada batuan induk. Dilapangan urat-urat ini dikenal sebagai batas petunjuk antara zona pelapukan dengan zona batuan segar yang disebut dengan akar pelapukan (*root of weathering*).

Endapan nikel laterit merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan ultramafik pembawa Ni-Silikat. Umumnya terdapat pada daerah dengan iklim tropis sampai dengan subtropis. Pengaruh iklim tropis di Indonesia

mengakibatkan proses pelapukan yang intensif, sehingga beberapa daerah di Indonesia memiliki profil laterit (produk pelapukan) yang tebal dan menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara penghasil nikel laterit yang utama. Proses konsentrasi nikel pada endapan nikel laterit dikendalikan oleh beberapa faktor yaitu, batuan dasar, iklim, topografi, airtanah, stabilitas mineral, mobilitas unsur, dan kondisi lingkungan yang berpengaruh terhadap tingkat kelarutan mineral.

Faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukan bijih nikel laterit ini adalah^[8]:

a. 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 diantara 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.

b. 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.

c. 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 didalam proses pelapukan kimia. Asam-asam humus menyebabkan dekomposisi batuan

dan dapat merubah pH larutan. Asam-asam humus ini erat kaitannya dengan vegetasi daerah. Dalam hal ini, vegetasi akan mengakibatkan : penetrasi air dapat lebih dalam dan lebih mudah dengan mengikuti jalur akar pohon-pohonan, akumulasi air hujan akan lebih banyak, 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.

d. Struktur.

Struktur yang sangat dominan yang terdapat didaerah 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.

e. Topografi.

Keadaan topografi setempat akan sangat mempengaruhi 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.

f. Waktu.

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

Laterit itu sendiri merupakan bijih yang tersusun atas beberapa lapisan, seperti Gambar 2.4 berikut:

SCHEMATIC LATERITE PROFILE	COMMON NAME	APPROXIMATE ANALYSIS (%)			
		Ni	Co	Fe	MgO
	RED LIMONITE	<0.8	<0.1	>50	<0.5
	YELLOW LIMONITE	0.8 to 1.5	0.1 to 0.2	40 to 50	0.5 to 5
	TRANSITION	1.5 to 4		25 to 40	5 to 15
	SAPROLITE/ GARNIERITE/ SERPENTINE	1.8 to 3	0.02 to 0.1	10 to 25	15 to 35
	FRESH ROCK	0.3	0.01	5	35 to 45

Gambar 2.4. Profil laterit daerah tropis^[9]

Profil nikel laterit secara keseluruhan terdiri dari beberapa lapisan sebagai berikut^[8] :

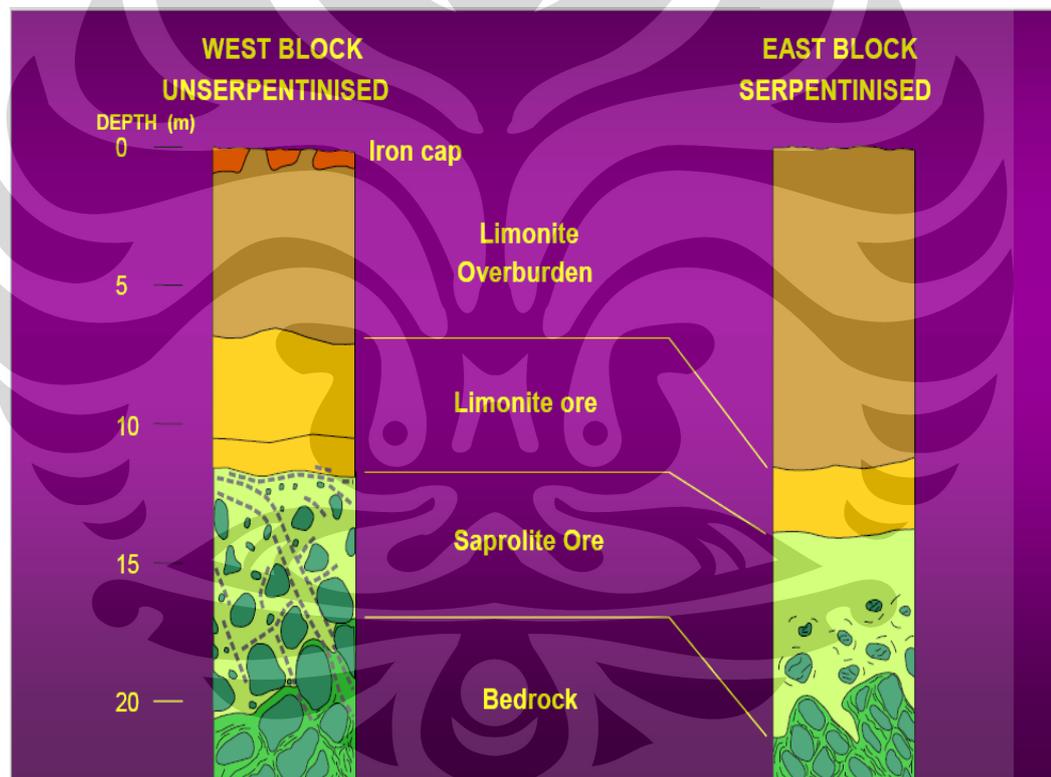
1. *Iron Capping* : merah tua, merupakan kumpulan massa goethite dan limonite. Iron capping mempunyai kadar besi yang tinggi tapi kadar nikel yang rendah. Terkadang terdapat mineral-mineral hematite, chromiferous.
2. *Limonite Layer* : fine grained, merah coklat atau kuning, lapisan kaya besi dari limonit soil menyelimuti seluruh area. Lapisan ini tipis pada daerah yang terjal, dan sempat hilang karena erosi. Sebagian dari nikel pada zona ini hadir di dalam mineral manganese oxide, lithiophorite. Terkadang terdapat mineral talc, tremolite, chromiferous, quartz, gibbsite, maghemite.

Merupakan hasil pelapukan lanjut dari batuan beku ultrabasa. Komposisinya meliputi oksida besi yang dominan, goethit, dan magnetit. Ketebalan lapisan ini rata-rata 8-15 m. Dalam limonit dapat dijumpai adanya akar tumbuhan, meskipun dalam persentase yang sangat kecil. Kemunculan bongkah-bongkah batuan beku ultrabasa pada zona ini tidak dominan atau hampir tidak ada, umumnya mineral-mineral di batuan beku basa-ultrabasa telah berubah menjadi serpentin akibat hasil dari pelapukan yang belum tuntas.

3. *Silika Boxwork* : putih – orange chert, quartz, mengisi sepanjang fractured dan sebagian menggantikan zona terluar dari unserpentine fragmen peridotite, sebagian mengawetkan struktur dan tekstur dari batuan asal. Terkadang terdapat mineral opal, magnesite. Akumulasi dari garnierite-pimelite di dalam boxwork mungkin berasal dari nikel ore yang kaya silika. Zona boxwork jarang terdapat pada bedrock yang serpentinized.
4. *Saprolite* : campuran dari sisa-sisa batuan, butiran halus limonite, saprolitic rims, vein dari endapan garnierite, nickeliferous quartz, mangan dan pada beberapa kasus terdapat silika boxwork, bentukan dari suatu zona transisi dari limonite ke bedrock. Terkadang terdapat mineral quartz yang mengisi rekahan, mineral-mineral primer yang terlapukkan, chlorite. Garnierite di lapangan biasanya diidentifikasi sebagai koloidal talc dengan lebih atau kurang nickeliferous serpentin. Struktur dan tekstur batuan asal masih terlihat. Zona ini merupakan zona pengayaan unsur Ni. Komposisinya berupa oksida besi, serpentin sekitar <0,4% kuarsa magnetit dan tekstur batuan asal yang masih terlihat. Ketebalan lapisan ini berkisar 5-18 m. Kemunculan bongkah-bongkah sangat sering dan pada rekahan-rekahan batuan asal dijumpai magnesit, serpentin, krisopras dan garnierit. Bongkah batuan asal yang muncul pada umumnya memiliki kadar SiO_2 dan MgO yang tinggi serta Ni dan Fe yang rendah.
5. *Bedrock* : bagian terbawah dari profil laterit. Batuan dasar merupakan batuan asal dari nikel laterit yang umumnya merupakan batuan beku ultrabasa yaitu harzburgit dan dunit yang pada rekahannya telah terisi oleh oksida besi 5-10%, garnierit minor dan silika > 35%. Permeabilitas batuan

dasar meningkat sebanding dengan intensitas serpentinisasi. Tersusun atas bongkah yang lebih besar dari 75 cm dan blok peridotit (batuan dasar) dan secara umum sudah tidak mengandung mineral ekonomis (kadar logam sudah mendekati atau sama dengan batuan dasar). Zona ini terfrakturisasi kuat, kadang membuka, terisi oleh mineral garnierite dan silika. Frakturisasi ini diperkirakan menjadi penyebab adanya root zone yaitu zona high grade Ni, akan tetapi posisinya tersembunyi.

Berdasarkan uraian di atas, dapat diketahui bahwa limonit adalah salah satu lapisan penyusun dari laterit. Contoh keberadaan limonit di Indonesia, khususnya daerah Sulawesi, dapat dilihat pada Gambar 2.5.



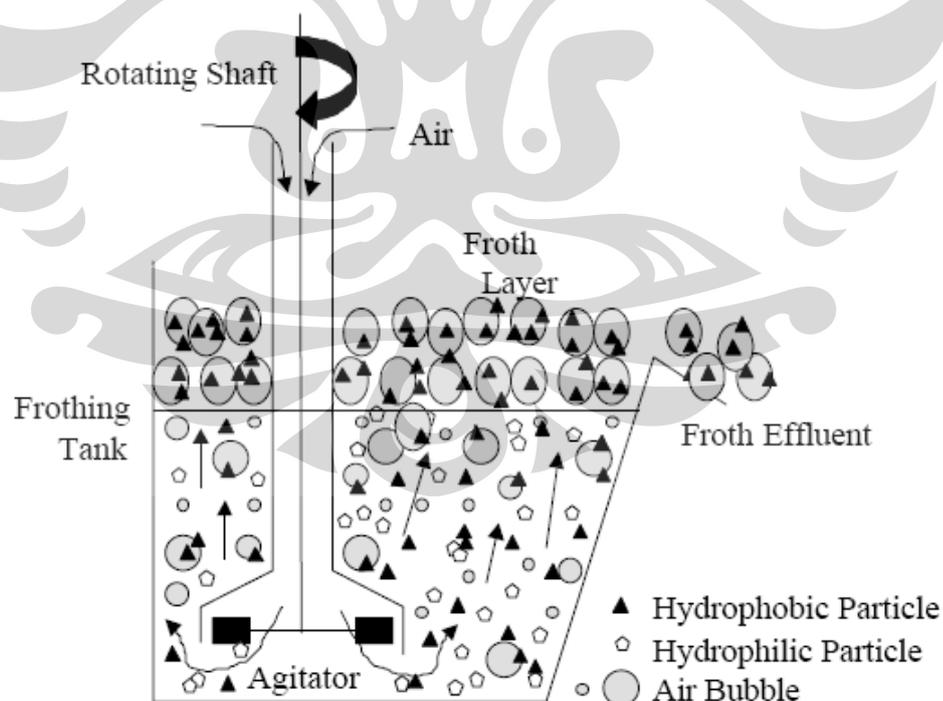
Gambar 2.5. Lapisan penyusun laterit^[9]

2.2 FLOTASI

2.2.1 Proses Flotasi

Flotasi tidak diragukan lagi sebagai teknik pengolahan mineral yang sangat penting^[10]. Banyak peneliti yang telah mendefinisikan arti flotasi. Salah satunya adalah A. M. Gaudin yang mendefinisikan flotasi sebagai proses pengonsentrasian berdasarkan pelekatan partikel ke udara didalam *pulp* dan bersamaan terjadi pelekatan dari partikel lain ke air^[11]. Selain itu, flotasi dapat didefinisikan sebagai proses konsentrasi untuk memisahkan butiran-butiran mineral yang sangat halus dengan memanfaatkan perbedaan sifat fisika-kimia dari permukaan butiran mineral-mineral tersebut. Pemisahan tersebut dapat terjadi karena permukaan mineral tertentu menempel pada gelembung udara yang ditambahkan sehingga mengapung, sedangkan mineral yang lain tetap tinggal dalam cairan pulp seperti terlihat pada Gambar 2.6.

Sekarang ini proses flotasi mulai banyak digunakan dan dikembangkan oleh perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan. Hal ini dikarenakan banyak mineral berharga yang ingin diperoleh tetapi kandungannya hanya sedikit dari bijih yang diperoleh. Dengan dilakukan proses flotasi, maka akan diperoleh peningkatan yang lebih tinggi dari kandungan mineral yang ingin kita dapatkan.



Gambar 2.6. Prinsip flotasi^[12]

Proses flotasi yang dilakukan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *directional flotation* dan *reverse flotation*. *Directional flotation* yaitu proses flotasi dimana mineral berharga akan terangkat ke atas membentuk buih yang mengapung di permukaan pulp. Sedangkan *reverse flotation* adalah proses flotasi dimana partikel mineral yang diapungkan merupakan mineral pengotor (*gangue*).

Secara sederhana urutan kerja dari flotasi buih adalah sebagai berikut^[13] : bijih yang akan di flotasi dihancurkan atau digerus sampai sesuai ukuran yang diinginkan, lalu dicampur dengan air sampai diperoleh *pulp* dengan ukuran yang sesuai. Setelah *pulp* siap, maka ditambahkan reagen-reagen yang akan digunakan. *Collector* ditambahkan sesuai ukuran yang dipakai sambil diaduk agar merata. Lalu ditambahkan *frother* sesuai ukuran sambil diaduk juga. Setelah itu dilakukan penyesuaian pH dengan menambahkan pH regulator. Setelah semua reagen tercampur, maka dilakukan proses flotasi di mesin flotasi. Setelah selesai, maka akan diperoleh buih dan endapan yang nantinya akan di siapkan untuk di uji.

Saat ini, telah ada beberapa penelitian untuk meningkatkan kadar besi dan Nikel dari limonit diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Pramusanto, Yuhelda dan Nuryadi Saleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara^[14]. Percobaan dalam skala laboratorium telah dilakukan untuk meningkatkan baik kadar besi maupun nikel. Metode flotasi buih, flotasi terbalik, kombinasi pemanggangan magnetasi dan pemisahan magnetik, serta pemanggangan magnetasi diikuti dengan flotasi terbalik telah dilakukan dalam upaya peningkatan kadar besi ataupun nikel.

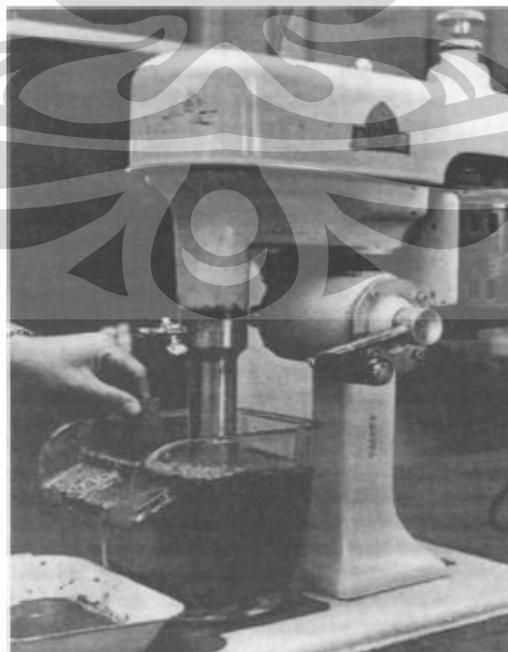
Melalui metoda flotasi buih diperoleh konsentrat dari tudung besi berkadar 57,9% Fe, 0,3% Ni, 2,06% Al_2O_3 dan 6,3% SiO_2 , dengan perolehan besi 78,29% dan nikel 34,05%, sedangkan dengan flotasi terbalik dihasilkan kadar konsentrat 39,08% Fe. Dengan kombinasi metode pemanggangan magnetasi dan pemisahan magnetik dihasilkan konsentrat berkadar 66% Fe dengan perolehan 65,66%. Sedangkan melalui kombinasi metode pemanggangan magnetasi dan flotasi terbalik diperoleh konsentrat berkadar 70,44% Fe dan 0,72% Ni dengan perolehan besi 68,16% dan nikel 63,39%. Sedangkan terhadap bijih nikel kadar rendah telah

dilakukan metoda flotasi terbalik, menghasilkan kadar konsentrat 2,33% Ni; 5,25% Fe dan 25,34% Si dengan perolehan nikel 75,90%.

Selain itu, Pramusanto dkk juga melakukan *reverse flotation* terhadap bijih *iron-rich laterite* dari Indonesia tepatnya dari daerah Pomalaa untuk memisahkan mineral silica dari mineral besi^[15]. Mereka menggunakan amine complex, ARMAC C, sebagai *collector*. Hasilnya menunjukkan pada konsentrat paling optimal terdapat 1,72% Ni dan 30,1% Fe dengan nilai *recovery* 92,36% Ni dan 41.24% Fe.

2.2.2 Mesin Flotasi

Mesin flotasi dirancang untuk memikul 3 fungsi secara efisien dan ekonomis^[3], yaitu untuk agitasi dan mencampur, penambahan udara dan pemisahan busa-busa gelembung udara untuk mengambil mineralnya. Karakter mesin flotasi sangat ditentukan oleh cara mendapatkan dan pemasukan udara atau gas ke dalam tangki, karena pemisahan butiran-butiran mineral tergantung pada adanya gelembung udara atau gas. Pada penelitian ini, mesin flotasi yang digunakan adalah mesin flotasi Denver seperti pada gambar 2.7^[10].



Gambar 2.7. Mesin flotasi skala laboratorium

Setiap mesin flotasi harus mempunyai^[3] :

1. Penerimaan arus pulp, pengeluaran busa-busa yang mengandung mineral dan pengeluaran material yang belum atau tidak terangkat.
2. Harus dilengkapi alat-alat agitasi dan aerasi yang sempurna. Aerasi harus mendistribusikan udara dengan sempurna dan membuat gelembung-gelembung udara. Udara mungkin di dapat oleh mesin sendiri atau sengaja udara dimasukkan dengan bantuan alat lain.
3. Harus mempunyai permukaan bebas dimana gelebung-gelembung udara yang bermuatan mineral berharga dapat bergerak, dijaga supaya pulp tetap dalam keadaan diam dan tidak dipengaruhi oleh agitasi.
4. Dilengkapi dengan alat pengeluaran busa yang bermuatan secara terus-menerus.

Jadi, mesin flotasi terdiri dari satu tangki dimana *pulp* diagitasi dan diaerasi pada waktu *pulp* berada di dalamnya dan melewatinya, adanya sirkulasi, mencegah pengendapan dan ada bagian-bagian dimana terjadi pemisahan.

2.2.3 Daya Apung (*Flotability*) dan Kemampuan Pembasahan (*Wettability*)

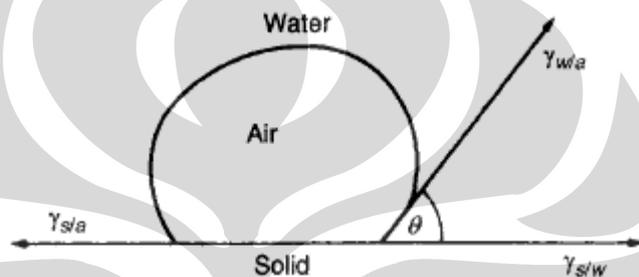
Daya Apung (*flotability*)^[3] adalah kemampuan kemampuan butiran untuk dapat mengapung yang ditentukan oleh tendensi (hasrat) dari butiran mineral untuk melekat (mengikatkan diri) kepada gelembung udara yang relatif lebih besar dan kemudian mengapung kepermukaan cairan *pulp*.

Daya apung suatu butiran mineral tergantung pada sifat permukaan butiran mineral tersebut, sedangkan sifat permukaan butiran mineral tersebut dapat dikontrol dan diubah-ubah dalam proses flotasi dengan mempergunakan reagen kimia yang berbeda-beda.

Flotasi yang dilakukan akan melibatkan tiga fasa yaitu padat, cair dan gas serta berhubungan dengan tegangan batas antar fasa yaitu padat-cair, padat-gas, cair-gas dan padat-cair-gas seperti terlihat pada Gambar 2.8. Sifat hidrofobik dan hidrofilik dari suatu padatan pada batas fasa padat-cair-gas ditentukan oleh kemampuan pembasahan (*wettability*)^[10] dari padatan. Aktifitas permukaan

butiran mineral yang berhubungan dengan reagen kimia di dalam cairan *pulp*, tergantung pada gaya-gaya yang ada pada permukaan tersebut (padat, cair, dan gas). Gaya-gaya tersebut cenderung untuk memisahkan butiran mineral dari gelembung udara, sebab gelembung udara menempel pada butiran mineral, karena dia dapat menggantikan air dari permukaan butiran mineral tersebut. Pemindahan air oleh gelembung udara tidak akan terjadi kalau tidak ada perbedaan tegangan sebelum dan sesudah proses. Tidak mungkin timbul bidang batas udara-mineral (*air-solid*), kalau tidak ada perusakan bidang batas mineral-air (*solid-water*).

Dalam keadaan seimbang dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.8. Sudut kontak gelembung dan partikel dalam *pulp*^[10]

$$\gamma_{S/A} = \gamma_{S/W} + \gamma_{W/A} \cos \theta \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana $\gamma_{S/A}$, $\gamma_{S/W}$, dan $\gamma_{W/A}$ adalah tegangan permukaan *solid-air*, *solid-water*, dan *water-air*, dan θ adalah sudut kontak antara permukaan butiran mineral dengan gelembung udara.

Tenaga atau daya yang dibutuhkan untuk melepaskan butiran mineral dengan gelembung udara disebut *Work of adhesion* (gaya adhesi *solid-air*), $W_{S/A}$, dan gaya ini sama besar dengan gaya yang dibutuhkan untuk memisahkan permukaan *solid-air* dan menghasilkan pemisahan *air-water* dan *solid-water* :

$$W_{S/A} = \gamma_{W/A} + \gamma_{S/W} - \gamma_{S/A} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dari kedua persamaan di atas dapat dihasilkan :

$$W_{S/A} = \gamma_{W/A} (1 - \cos \theta) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dapat dilihat bahwa gaya yang harus dilakukan untuk kontak antara udara dengan zat padat tergantung pada sudut kontak. Makin besar sudut kontak, maka makin besar pula gaya adhesi antara butiran mineral dengan gelembung udara, sehingga daya memegangnya semakin tahan terhadap gaya yang mengganggu. Kalau sudut $\theta = 0^{\circ}$, maka $W = 0$, tidak terjadi pelekatan, air membasahi mineral. Kalau sudut $\theta = 90^{\circ}$, maka $W = \gamma_{W/A}$, pelekatan sempurna dan terjadi pengapungan.

Jadi, daya apung mineral akan meningkat kalau sudut kontakannya semakin besar. Mineral yang mempunyai sudut kontak yang besar disebut *aerophilic* (suka udara), mempunyai daya tarik yang lebih besar kepada udara dibanding kepada air. Kebanyakan mineral tidak menolak air pada keadaan aslinya, tetapi karena penambahan reagen ke dalam cairan *pulp* membuatnya berubah menjadi menolak air (*hydrophobic*) dan suka kepada udara (*aerophilic*).

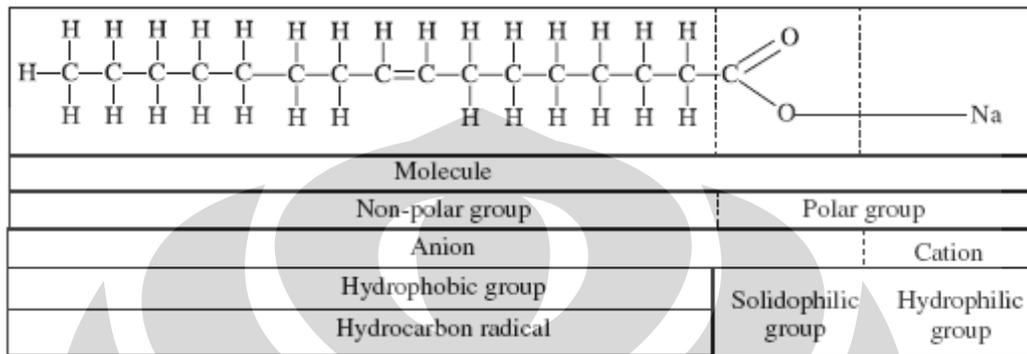
2.2.4 Reagen Flotasi

Reagen-reagen adalah bagian yang sangat penting dalam proses flotasi. Proses flotasi dapat berlangsung optimal bergantung dari reagen-reagen yang digunakan. Reagen-reagen yang digunakan juga beragam tergantung dari mineral yang ingin kita peroleh. Klasifikasi reagen dapat dibagi menjadi 3, yaitu : *collector*, *frother*, dan *modifier*^[3]. Reagen-reagen tersebut memiliki masing-masing kegunaan ataupun saling melengkapi antar reagen. Berikut kegunaan masing-masing reagent yang digunakan:

1. *Collector*

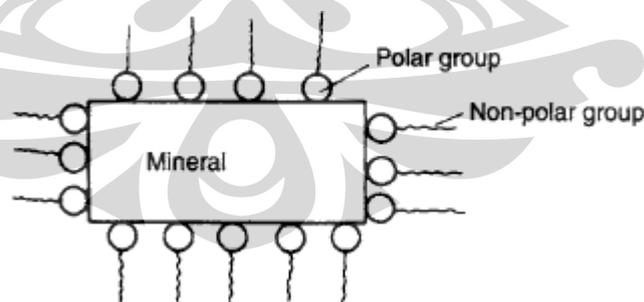
Collector adalah senyawa organik yang dapat menyebabkan permukaan mineral menjadi menolak air (hidrofobik) dengan menyerap ion atau molekul pada permukaan mineral, mengurangi kestabilan dari lapisan hidrat yang memisahkan permukaan mineral dan gelembung udara sehingga permukaan mineral akan mampu menempel pada gelembung udara^[10]. *Collector* biasanya merupakan mineral organik heteropolar, mengandung gugus polar dan non-polar. Gugus non-polar terbentuk dari senyawa hidrokarbon yang cenderung bersifat

hidrofobik dan akan menempel pada gelembung udara, sedangkan gugus polar akan menempel pada partikel solid tertentu sehingga partikel solid tersebut ikut terapung bersama gelembung udara. Contoh grup polar dan nonpolar dapat dilihat pada struktur molekul dari sodium oleate seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Contoh struktur molekul dari sodium oleate^[16]

Collector yang ditambahkan dalam larutan akan menyebabkan terjadinya penyerapan kimia atau ikatan ion antara gugus *polar* dengan mineral atau ion pada permukaan mineral. Sedangkan gugus *nonpolar* akan mengelilingi partikel mineral dan membuatnya *hydrophobic* sehingga akan menempel pada gelembung udara seperti terlihat pada Gambar 2.10. *Collector* akan membuat lapisan tipis pada permukaan mineral yang bersifat *hydrophobic*.



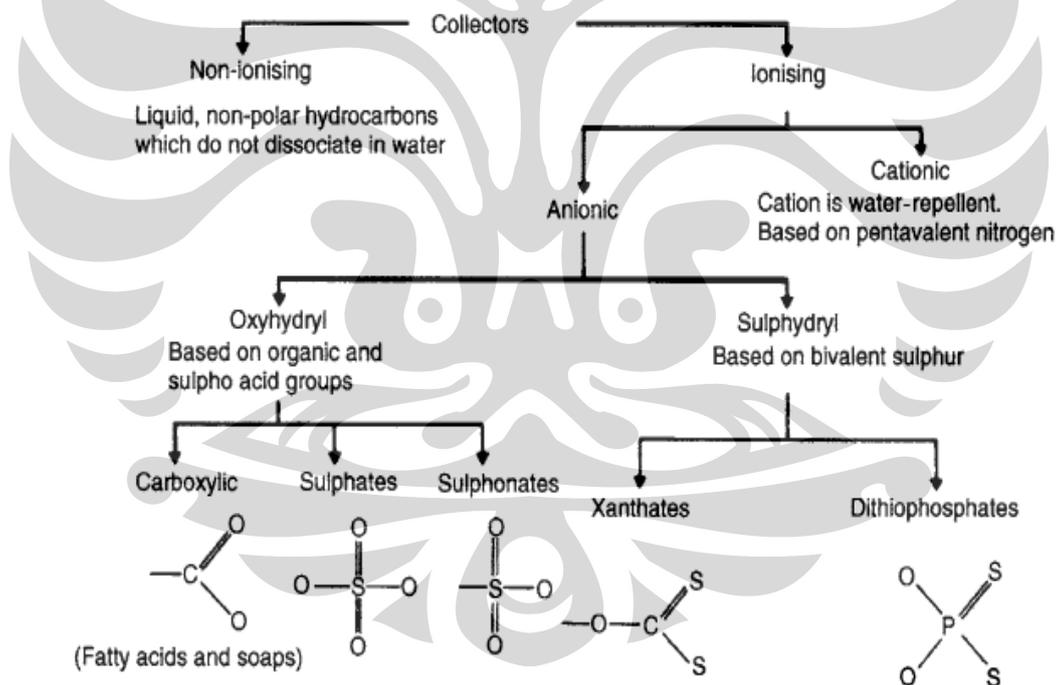
Gambar 2.10. Adsorpsi *collector* pada permukaan mineral^[10]

Zat yang mula-mula diketahui mempunyai sifat *collecting* adalah semacam minyak yang tidak larut dalam air, seperti *oleic acid* dan minyak binatang atau tumbuh-tumbuhan yang banyak mengandung *fatty acid*. Selain itu juga minyak

bumi yang mengandung belerang. Dan yang ketiga diambil dari lumpur sisa proses pemurnian minyak bumi, sebagai sumber yang murah. Lumpur sisa minyak ini diolah bersama *sulphuric acid* yang mengandung *alkyl sulphuric* dan *alkyl sulphonic acid*.

Komponen kimia yang yang efektif dari ketiga grup ini adalah komponen *alkyl carboxyl acid*, *alkyl thio acid*, *alkyl sulphuric* dan *alkyl sulphonic acid*. Biasanya komponen ini dipakai dalam bentuk garam-garaman alkali seperti sabun dan xanthate.

Collector dapat diklasifikasikan seperti pada gambar 2.11. *Collector* dapat dibagi dalam 2 grup besar, yaitu : *anionic collector* dan *cationic collector*. *Anionic collector* dapat dibedakan lagi berdasarkan struktur formulanya menjadi : *oxyhydril collector* dan *sulphydril collector*.



Gambar 2.11. Klasifikasi *collector*^[15]

A. Anionic Collector

Anionic collector ditentukan oleh adanya *organic acid* grup yang terpenting atau adanya ion dari hidrokarbon grup dimana ion yang efektif adalah anion. *Anionic collector* merupakan *collector* yang paling banyak digunakan

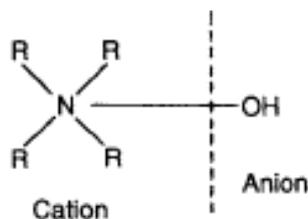
dalam flotasi mineral. *Anionic Collector* dapat dibagi menjadi dua jenis, *oxyhydril collector* dan *sulphydril collector*.

Pada *oxyhydril collector*, *organic acid* dan asam sulfo (*sulpho-acid*) sebagai grup polar. Dimana acid hydrogen (equivalent metal) dihubungkan dengan rantai hidrokarbon oleh satu atom oksigen. Contoh dari *oxyhydril* adalah *carboxylates (fatty acid)*, *sulphate* dan *sulphonate*. *Carboxylates* adalah *oxyhydril collector* yang luas digunakan di industri. Seperti hampir semua *ionic collector*, makin panjang rantai hidrokarbonnya maka makin kuat tenaganya untuk menolak air, tetapi daya larutnya semakin berkurang. Anggota dari *carboxylates* antara lain *oleic acid* (yang digunakan pada penelitian ini), *sodium oleate*, *synthetics fatty acids*, dan *tall oils*. *Oleic acid* [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$] adalah contoh dari *unsaturated fatty acids* yang mana lebih penting dibandingkan *saturated fatty acids* (seperti *stearic* dan *palmitic acid*) karena lebih selektif^[16].

Jenis *anionic collector* yang lain adalah *sulphydril collector*. *Sulphydril collector* merupakan jenis yang paling banyak digunakan. Polar grupnya berisi bivalent sulphur (*thio compound*) dan acid hydrogen (atau equivalent metal) dihubungkan melalui atom belerang (bivalent). Jenis ini sangat kuat dan sangat selektif dalam flotasi mineral-mineral sulfida. *Collector thiol* yang paling banyak digunakan adalah *xanthogenates* atau secara teknis disebut dengan *xanthates* dan *dithiophosphates*. *Xanthates* merupakan *collector* yang penting untuk mineral sulfida.

B. *Cationic Collector*

Cationic collector adalah *collector* dimana ion yang efektif adalah cation. Sifat menolak airnya dihasilkan dari kation yang grup polarnya berdasarkan *pentavalen* nitrogen, biasanya digunakan senyawa amine seperti pada Gambar 2.12. Anion yang digunakan berupa halida atau hidroksida yang tidak beraksi secara aktif dengan mineral.



Gambar 2.12. *Cationic amine collector*^[10]

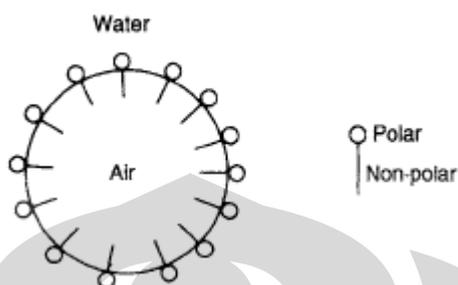
Berlawanan dengan *anionic collector*, dimana zat organik dengan ion yang mengandung hydro-carbon grup, sebagai ion yang reaktif (efektif), ada pada anion, sedangkan pada *cationic collector* yang juga dari zat organik, dimana ion hydro-carbon yang reaktif pada cation. *Cationic collector* sangat sensitive terhadap pH dari medium, sangat aktif dalam larutan yang sedikit asam, dan tidak aktif dalam larutan yang basa ataupun asam^[3]. *Cationic collector* digunakan untuk flotasi *acidic mineral, carbonates, silicates*, dan *alkali earth metals* seperti barite, carnallite, dansylvite.

2. *Frother*

Ketika permukaan partikel telah menjadi hidrofobik, partikel tersebut harus mampu menempel pada gelembung udara yang disuntikkan (aerasi). Namun muncul masalah ketika gelembung-gelembung tersebut tidak stabil dan mudah pecah akibat tumbukan dengan partikel padat, dinding sel dan gelembung-gelembung lain. Oleh karena itu perlu adanya penambahan material ke dalam pulp yang dapat menstabilkan gelembung udara. Material yang ditambahkan tersebut dikenal sebagai *frother*. *Frother* adalah senyawa yang dapat menurunkan tegangan permukaan gelembung, sehingga dapat menghasilkan dan menstabilkan gelembung agar tidak mudah pecah.

Bahan-bahan organik kalau larut dalam air merendahkan tegangan permukaan, sebaliknya zat anorganik meninggikan tegangan permukaan. Hal ini diduga karena karena konsentrasi zat organik di permukaan lebih besar dari pada di bagian dalam dari cairan sendiri. Untuk zat anorganik keadaan menjadi sebaliknya. Pada zat organik adsorpsinya disebut adsorpsi positif, sedangkan pada zat anorganik di sebut adsorpsi negatif. Meskipun beberapa zat anorganik dapat menyebabkan *frothing*, tetapi reagen yang efektif untuk *frother* adalah zat

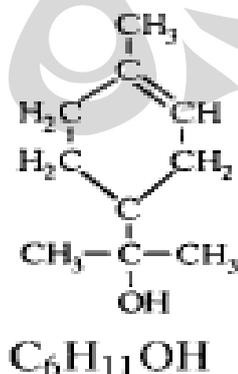
organik. Jadi, *frother* adalah zat organik yang memiliki struktur heteropolar seperti pada Gambar 2.13, yang mana bagian polar adalah grup yang suka pada air dan bagian non polar (hydrocarbon) adalah grup yang menolak air.



Gambar 2.13. Mekanisme *frother*^[10]

Frother harus dapat larut dalam air, jika tidak larut maka zat ini akan tidak tersebar merata pada larutan sehingga tidak efektif. Tipe *frother* yang paling sering digunakan, yaitu^[10] : *hydroxyl* (–OH), *carboxyl* (–COOH), *carbonyl* (=C=O), *amino* (–NH₂), dan *sulfo* (–OSO₂OH, –SO₂OH).

Frother tipe asam, amino, dan alkohol adalah yang paling mudah larut. Tipe alkohol (–OH) adalah yang paling sering digunakan, karena tidak mempunyai sifat seperti *collector*. Contoh dari tipe alkohol (–OH) ini adalah *pine oil* (seperti pada Gambar 2.14) yang biasanya dihasilkan dari destilasi kayu pinus. *Frother* seperti *carboxyl* bersifat *collector* yang sangat kuat, adanya sifat *collector* dan *frother* pada zat kimia yang sama akan membuat proses flotasi menjadi sulit.



Gambar 2.14. Rumus kimia *pine oil*^[6]

3. Modifier

Modifier seperti : aktifator, depresant, *dispersant* dan pH *regulator* sering ditambahkan ke dalam proses flotasi. Aktifator adalah reagen yang digunakan untuk menambah interaksi antara partikel solid dengan kolektor. *Depresant* membentuk lapisan kimia polar yang membungkus partikel solid sehingga menambah sifat hidrofobik ke partikel solid yang tidak diinginkan. *Dispersant* digunakan untuk mencegah penggumpalan partikel, sehingga partikel dapat berinteraksi dengan kolektor dan gelembung udara dengan lebih baik. pH regulator terdapat dua macam : asam dan basa. Pada penelitian ini, *modifier* yang digunakan hanya pH regulator. pH regulator digunakan untuk mengontrol pH karena sifat hidrofobik system dapat optimal pada range pH tertentu.

Kebanyakan proses flotasi sangat dipengaruhi oleh derajat keasaman dan kebasaaan dari cairan *pulp* medium dimana terjadi pemisahan, yang dapat diperiksa dengan pH meter. Umumnya flotasi bekerja dalam keadaan basa dengan pH antara 7 – 13, kadang-kadang ada juga yang bekerja dalam suasana asam (jarang sekali) karena bijih yang dikerjakan bersifat asam atau dalam hal mana kapur (lime = CaO) sukar diperoleh. Flotasi banyak dilakukan dalam kondisi media basa, seperti kebanyakan kolektor seperti *xanthate*, stabil dalam kondisi basa dan korosi pada sel dan pipa sirkuit flotasi dapat dihindari.

Reagen pengatur pH yang banyak dipakai adalah (lime = CaO) karena murah harganya, digunakan dalam bentuk larutan CaO atau suspensi Ca(OH)₂. Walaupun harga kapur murah, tetapi harus diingat apakah ion-ion Ca tidak mengganggu jalannya proses flotasi. Misalnya mineral pyrite dan galena dalam flotasi mempunyai kecenderungan untuk lebih banyak mengadsorpsi ion-ion Ca dari pada kolektornya sendiri, sehingga kedua macam mineral tersebut jadi suka diapungkan. Untuk menghindarinya ditambahkan soda ash (Na₂CO₃) untuk mengendapkan CaCO₃. Reagen yang umum dipakai untuk mengatur pH cairan *pulp* adalah kapur dalam segala bentuknya, soda ash untuk kondisi basa dan asam sulfat untuk kondisi asam.

2.2.5 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Flotasi

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi proses flotasi, yaitu :

1. Ukuran partikel umpan

Setiap partikel yang memiliki ukuran berbeda maka mempunyai kemampuan mengapung yang berbeda pula. Semakin kecil ukuran partikel umpan maka akan semakin baik proses flotasi. Namun, terdapat batas optimal ukuran partikel agar terjadi proses flotasi secara maksimal. Ukuran partikel umpan yang terlalu besar akan sulit diapungkan dalam proses flotasi, sedang ukuran umpan yang terlalu kecil akan sulit diflotasi karena akan mudah diselimuti pengotor dan sulit diadsorpsi oleh kolektor. Batas atas ukuran partikel umpan untuk flotasi sekitar 300 μm dan batas bawah ukuran partikel sekitar 5 μm ^[10]. *Recovery* biasanya optimal pada ukuran partikel sekitar 100 – 10 μm .

2. Densitas *pulp*

Densitas *pulp* ditentukan oleh perbandingan berat mineral (*solid*) dengan berat *pulp* secara keseluruhan. Proses pemisahan akan semakin bersih bila *pulp* semakin rendah densitasnya yang berarti semakin encer. Hal itu dikarenakan bila *pulp* encer maka gelembung udara akan mampu bergerak lebih cepat didalam *pulp* untuk mencapai permukaan. Kebanyakan proses flotasi menggunakan *pulp* sekitar 25 – 40% padatan dari berat^[10].

3. Dosis reagen

Dosis dari reagen-reagen flotasi yang dimasukkan kedalam proses flotasi harus tepat agar dapat terjadi proses flotasi secara maksimal dan terjadi pemisahan secara selektif. Batasan / panduan mengenai dosis reagen-reagen flotasi yang dapat digunakan pada proses flotasi salah satunya dijabarkan oleh Gaudin^[11]. Panduan tersebut dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.2. Dosis reagen flotasi

Reagen Flotasi	Dosis (Pounds/Ton)
Frother	0,05 – 2,5
Collector	0,025 – 0,25
pH regulator	0,5 – 10
Activator	0,5 – 2
Depressant	0,05 – 1
Deactivator	0,05 – 0,5

4. Waktu *conditioning*

Conditioning merupakan salah satu faktor yang turut menentukan keefektifan dari proses flotasi. *Conditioning* mungkin merupakan cara paling ekonomis untuk meningkatkan kapasitas dari sirkuit flotasi^[10]. *Conditioning* dilakukan dengan mencampurkan umpan dan reagen. Reaksi ini terjadi melalui pengadukan dan penyampuran antara umpan dan reagen flotasi. Kondisiasi dilakukan sebelum umpan masuk dalam sirkuit flotasi. Hasil dari proses kondisiasi akan didapat mineral umpan yang siap untuk diflotasi sehingga diperoleh volume konsentrat yang lebih besar. Biasanya lama waktu kondisiasi berkisar 15 hingga 20 menit, tergantung dari jenis umpan dan reagen yang diberikan^[13].

5. Waktu flotasi

Waktu flotasi tergantung dari ukuran partikel serta reagen yang digunakan. Dalam penentuan waktu flotasi yang optimal maka perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Dibawah ini diberikan tabel tentang waktu flotasi untuk beberapa jenis mineral^[17] :

Tabel 2. 3. Waktu flotasi

Mineral	Waktu Flotasi (menit)
Batubara	4 – 6
Timbal	6 – 8

Seng	8 – 12
Nikel	10 – 14
Tembaga	13 – 16
Molibdenum	14 – 20

2.2.6 Recovery Dalam Flotasi

Recovery, dalam hal ini konsentrasi mineral bijih logam, adalah keseluruhan persentase mineral yang terkandung dalam bijih yang diperoleh (*recovered*) dalam konsentrat. Kadar (*grade*) atau assay biasanya mengacu pada kandungan produk akhir dalam material yang dapat terjual. Terdapat dua kategori nilai *recovery* yaitu *recovery* aktual dan *recovery* teoritis^[13].

Recovery aktual mengacu pada rasio antara berat logam dalam konsentrat yang diperoleh sebenarnya (berat aktual dari konsentrat dikalikan dengan kadar logam dalam konsentrat) terhadap berat logam dalam umpan yang sebenarnya (berat aktual dari umpan dikalikan dengan kadar logam dalam umpan). Sehingga, perumusan untuk *recovery* aktual sebagai berikut:

$$\% Recovery = \frac{Cc}{Ff} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana : C = berat aktual konsentrat (unit berat)

c = kadar logam dalam konsentrat (%)

F = berat aktual umpan (unit berat)

f = kadar logam dalam umpan (%)

Sedangkan *recovery* teoritis merupakan nilai yang diperoleh dari perhitungan kadar logam dalam umpan dan produk. Perhitungan perolehan teoritis ini berdasarkan pada prinsip kesetimbangan berat dan kesetimbangan kandungan.

$$\text{Kesetimbangan Berat} \quad : F = C + T \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{Kesetimbangan Kandungan} : F.f = C.c + T.t \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan : F = berat umpan

f = kadar logam dalam umpan

C = berat konsentrat

c = kadar logam dalam konsentrat

T = berat *tail*

t = kadar logam dalam *tail*

Bila rumus (2.6) dikembangkan berdasarkan rumus (2.5), maka :

$$F.f = C.c + (F-C).t$$

$$F.f = C.c + F.t - C.t$$

$$F.(f-t) = C.(c-t) \dots\dots\dots (2.7)$$

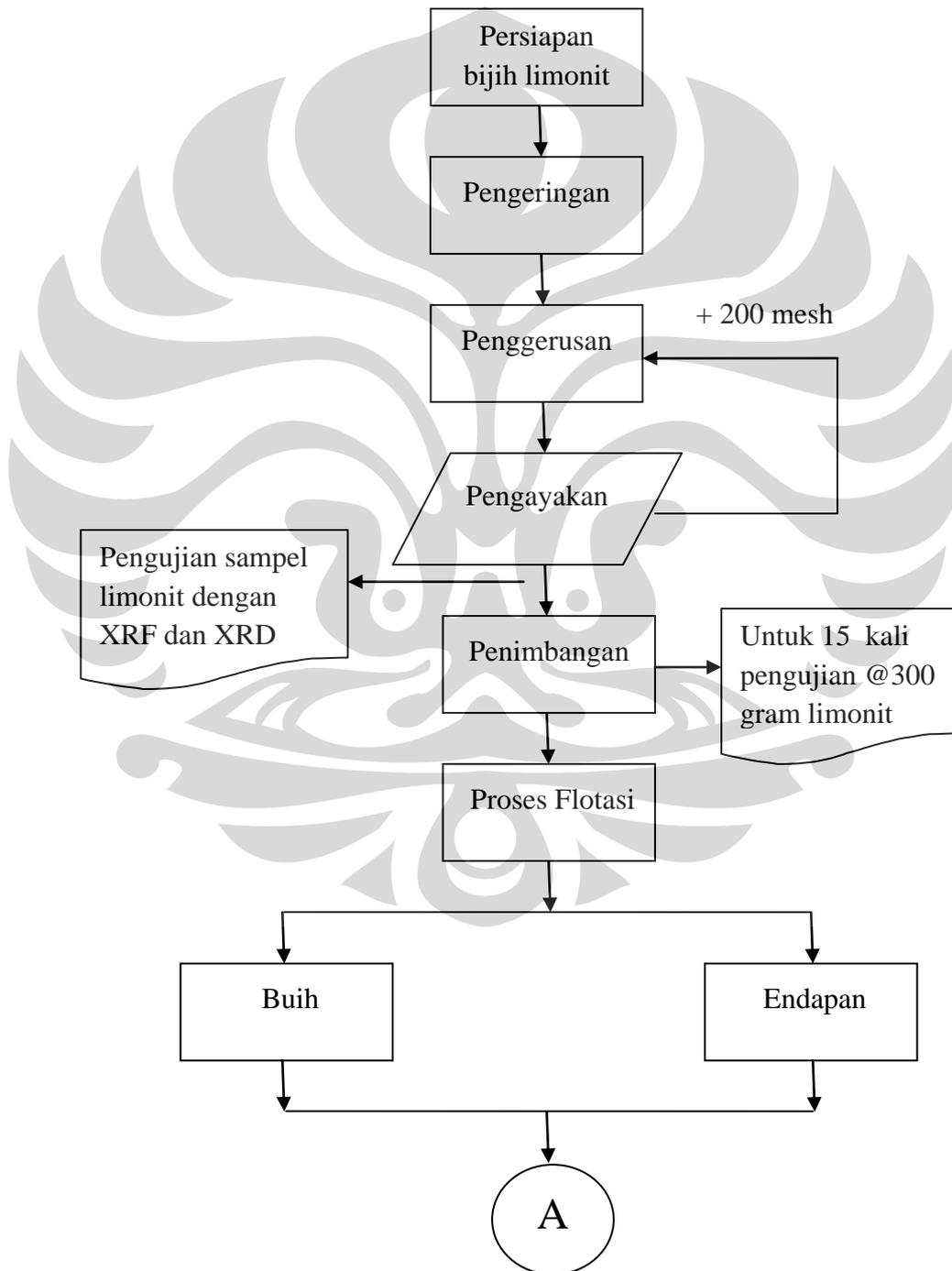
Substitusi persamaan (2.7) ke persamaan (2.4), maka akan menghasilkan perhitungan *recovery* teoritis :

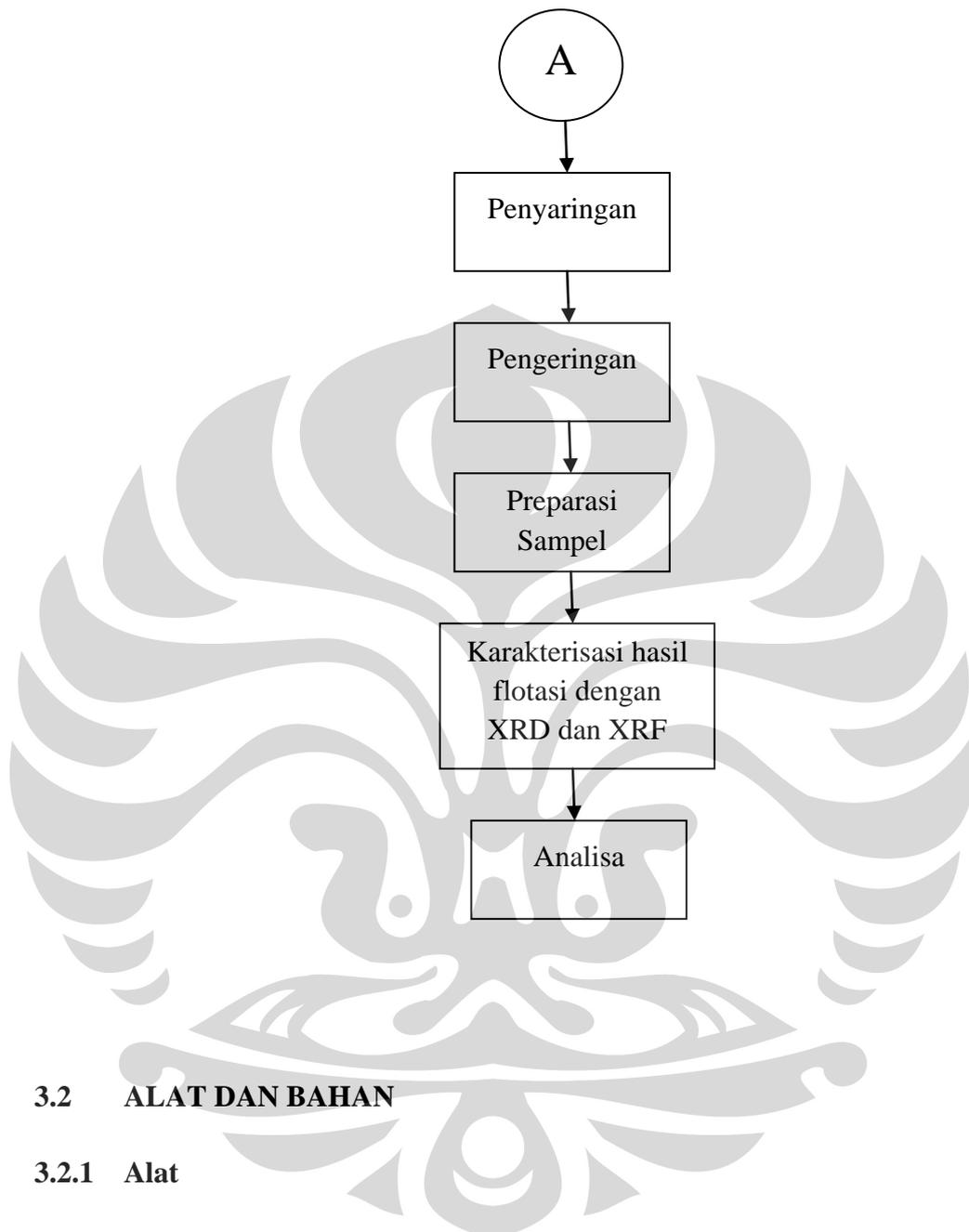
$$\% \text{ Recovery} = \frac{[c(f-t)]}{[f(c-t)]} \times 100\% \dots\dots\dots(2.8)$$

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN





3.2 ALAT DAN BAHAN

3.2.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Loyang
2. Oven
3. *Infra red dryer*
4. Alat penggerus dan tumbukan
5. *Alat rotary mill*
6. Mesin ayakan dan *pan mesh*

7. Timbangan digital
8. Mesin *X-Ray Fluoresence* (XRF)
9. Mesin *X-Ray Diffraction* (XRD)
10. Alat flotasi Denver
11. Suntikan
12. Pipet
13. Alat pengaduk
14. pH meter
15. Kertas saring
16. Corong plastik
17. Alat penyaring
18. Plastik klip
19. Perangkat lunak komputer *PowderX*

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Limonit
2. *Oleic acid*
3. *Pine oil*
4. *Soda ash*
5. Aquades

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

A. Preparasi Sampel

Pada penelitian ini sampel bijih *limonite* yang digunakan berasal dari Sulawesi Tenggara dan dikirim dalam karung dengan bentuk bongkahan-bongkahan yang memiliki ukuran tidak merata. Sebelum proses flotasi dilakukan, ada beberapa tahapan preparasi sampel dari bijih *limonite* yang digunakan pada penelitian ini. Tahapan tersebut adalah : pengeringan, penggerusan, pengayakan, dan penimbangan.



Gambar 3.1. Sampel limonit

1. Pengeringan

Bijih limonit yang didatangkan dari Sulawesi Tenggara masih memiliki kelembaban / kadar air yang cukup tinggi berdasarkan pengujian dengan *infra red dryer*, yaitu sekitar 15%.



Gambar 3.2. *Infra red dryer*

Kadar air harus dikurangi terlebih dahulu agar proses penggerusan bijih menjadi lebih mudah. Keberadaan air dalam bijih dapat menyebabkan bijih akan menempel pada alat penggerus ataupun pada alat ayakan sehingga proses tidak optimal. Oleh karena itu diperlukan tahap pengeringan dengan cara memanaskan bijih limonit tersebut ke dalam oven sehingga kadar air yang berikatan secara fisik dapat dikurangi atau dihilangkan. Proses pemanasan dilakukan pada temperatur 150 °C dan dipanaskan selama 6 jam.



Gambar 3.3. Oven

2. Penggerusan

Bijih limonit masih berukuran tidak seragam sehingga setelah bijih dikeringkan dilakukan penggerusan untuk menyamakan ukuran. Selain itu, penggerusan dilakukan agar diperoleh ukuran bijih seragam yang lebih kecil dari 200 mesh sebagai bahan untuk flotasi. Proses penggerusan dilakukan secara manual dengan menggunakan alat penggerus yang terbuat dari *tool steel* dan juga menggunakan alat *milling*. Penggerusan sampel hasil flotasi yang akan dilakukan karakterisasi menggunakan alat penggerus manual.



Gambar 3.4. Rotary mill

3. Pengayakan

Setelah bijih *limonite* selesai digerus, maka selanjutnya dilakukan proses pengayakan (*screening*) untuk mendapatkan ukuran butir yang diinginkan. Ukuran butir yang diinginkan adalah kurang dari 200 mesh. Pada proses ini

digunakan ayakan dengan ukuran 200 mesh. Butir yang memiliki ukuran lebih kecil sama dengan 200 mesh akan jatuh kebawah dan yang lebih besar dari 200 mesh akan tertinggal pada ayakan.



Gambar 3.5. Alat ayakan dan *pan mesh*

4. Penimbangan

Setelah diperoleh bijih limonit dengan ukuran – 200 mesh, maka dilakukan proses penimbangan, Penimbangan dilakukan untuk mendapatkan 15 sampel yang akan dipakai dalam proses flotasi sebanyak 15 kali penelitian. Masing-masing sampel ditimbang sampai 300 gram.



Gambar 3.6. Timbangan digital

B. Proses Flotasi

Setelah sampel di siapkan sebanyak 15 sampel masing-masing 300 gram, maka dilakukan proses flotasi dengan urutan sebagai berikut :

a. Pembuatan *pulp*

Pembuatan *pulp* dilakukan dengan memasukkan sampel 300 gram limonit ke dalam bak alat flotasi, lalu ditambahkan 1 liter air. Proses dilakukan secara perlahan sambil diaduk agar tercampur dengan rata.

b. Penambahan reagen

Setelah *pulp* selesai dibuat, maka ditambahkan reagen-reagen, yaitu *collector* dan *frother*. Variabel untuk *collector*, yaitu : konsentrasi asam oleik (298,33 , 596,67 , 895 , 1193,33 , dan 1491,67 g/ton). Sedangkan variabel untuk *frother*, yaitu : konsentrasi minyak pinus (30, 60, dan 90 g/ton). Setelah tercampur, selanjutnya diukur pH dari *pulp* dengan menggunakan pH meter dan dijaga agar pH menjadi 10 dengan penambahan *soda ash*. Waktu *conditioning* yang dibutuhkan sekitar 15 menit.

c. Proses flotasi

Proses dilanjutkan dengan melakukan flotasi menggunakan alat flotasi yang tersedia di laboratorium korosi Departemen Metalurgi dan Material UI seperti terlihat pada gambar 3.7.



(a)



(b)

Gambar 3.7. Mesin flotasi Denver : (a) tampak depan dan (b) tampak samping

Proses flotasi dilakukan selama 10 menit dengan kecepatan putaran *impeller* 1250 rpm. Setelah proses flotasi dilakukan, maka akan diperoleh bagian terpisah antara buih dan endapan seperti terlihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8. Hasil flotasi : (a) buih dan (b) endapan

d. Penyaringan

Hasil dari flotasi tersebut akan di saring agar kadar air yang masih cukup banyak dapat dikurangi. Proses penyaringan dilakukan dengan alat saring yang dibuat secara sederhana dan dengan bantuan *vacuum cleaner* seperti terlihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9. Alat penyaring

e. Pengeringan

Setelah kadar air cukup berkurang, maka dilanjutkan dengan proses pengeringan yang dilakukan menggunakan oven. Temperatur yang digunakan 150°C dengan waktu 5 jam.

f. Penimbangan

Setelah sampel pengujian kering, maka ditimbang berat masing-masing buih dan endapan yang diperoleh.

C. Karakteristik Sampel

Setelah sampel hasil flotasi dikeringkan di oven, maka ditimbang beratnya dan disimpan dalam plastik klip dengan diberi tanda untuk membedakan antara buih dan endapan serta urutan penelitiannya. Kemudian sampel tersebut dipreparasi dengan cara ditumbuk hingga halus untuk dianalisis dengan menggunakan XRF dan XRD. Mesin XRF yang digunakan adalah merek Jeol. Dari pengujian XRF maka diperoleh data kadar unsur-unsur yang terkandung dari sampel dalam satuan persen. Sampel limonit awal yang belum di flotasi juga diuji XRF agar dapat dianalisa peningkatan atau penurunan kadar masing-masing unsur dari sampel sebelum dan sesudah proses flotasi.



Gambar 3.10. Mesin XRF merek Jeol

Sedangkan mesin XRD yang digunakan adalah merek Philips. Untuk analisis XRD, hasil yang didapat dari pengujian ini berupa jenis unsur-unsur dan senyawa yang terkandung di dalam sampel. Sampel bijih *limonite* hasil flotasi dianalisis menggunakan XRD untuk mengetahui jenis mineral yang terkandung didalam bijih. Hasil dari mesin XRD berupa grafik yang terdiri dari susunan-susunan *peak* untuk mengetahui senyawa yang terdapat dalam bijih limonite. Grafik tersebut harus diolah terlebih dahulu menggunakan *software powderX*, untuk menentukan jenis mineral.berdasarkan *peak* yang muncul dalam grafik.



Gambar 3.11. Mesin XRD merek Philips

BAB IV

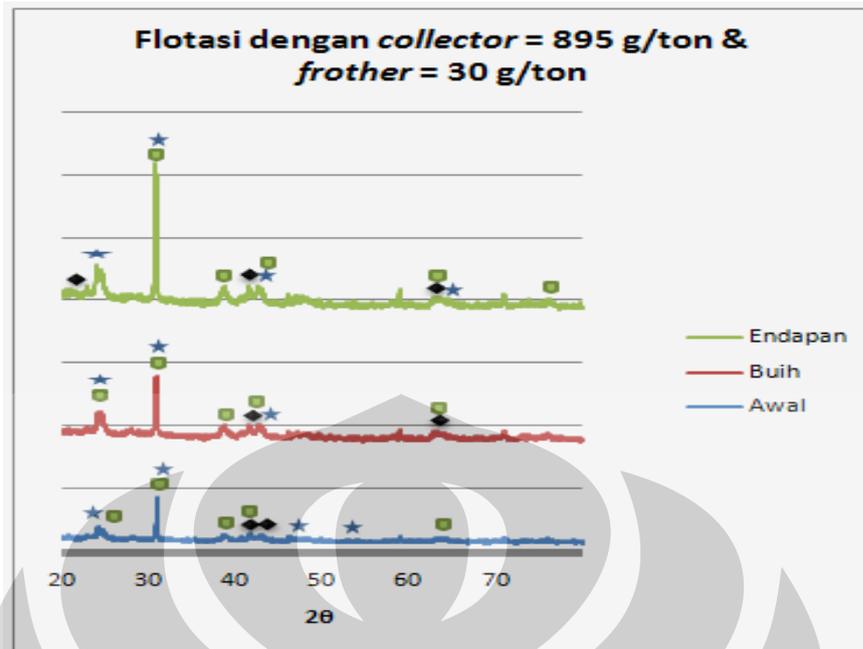
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 SENYAWA HASIL FLOTASI

Dari pengujian XRD maka diperoleh data senyawa yang terkandung di dalam sampel. Pengujian yang dilakukan meliputi sampel awal (yang belum di flotasi) beserta sampel hasil flotasi (buih dan endapan) hanya sebagian, yaitu sampel dengan penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton. Sampel limonit awal yang belum di flotasi juga diuji XRD agar dapat dianalisa senyawa apa saja yang ada pada sampel awal tersebut sebelum dilakukan proses flotasi. Sedangkan sampel produk hasil flotasi yang berupa buih dan endapan juga sebagian dilakukan pengujian XRD agar dapat dibandingkan dengan sampel limonit awal apakah senyawa yang terdapat di sampel limonit awal itu tetap ada atau berubah sesudah proses flotasi. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui proses flotasi yang dilakukan merubah senyawa dari suatu sampel dari sebelum proses flotasi dengan sesudah dilakukannya proses flotasi atau hanya memisahkannya dari senyawa yang lain.

Hasil dari mesin XRD berupa grafik yang terdiri dari susunan-susunan *peak* untuk mengetahui senyawa yang terdapat dalam bijih limonite. Grafik tersebut harus diolah terlebih dahulu menggunakan *software powderX* dan disesuaikan dengan ICDDPDF (International Centre for Diffraction Data - Powder Diffraction Files) untuk menentukan jenis mineral.berdasarkan *peak* yang muncul dalam grafik.

Grafik hasil pengujian XRD dari sampel awal (*raw material*) limonit, produk buih dan endapan pada penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton dapat dilihat pada gambar 4.1, yaitu:



Gambar 4.1. Grafik hasil XRD sampel awal, produk buih dan endapan pada penambahan collector: 895 g/ton dan frother: 30 g/ton

Keterangan :

- ★ = Quartz (SiO₂)
- ◆ = Magnetite [(Fe,Ni)O.Fe₂O₃]
- = Goethite [(Fe,Ni)O(OH)]

Dari data grafik XRD bijih limonit awal (*raw material*) yang dapat dilihat pada Gambar 4.1, terlihat bahwa mineral penyusun sampel limonit awal yang terdeteksi adalah *goethite* [(Fe,Ni)O(OH)], *magnetite* [(Fe,Ni)O.Fe₂O₃], dan *quartz* (SiO₂). Dalam bijih limonit, nikel terkandung di dalam struktur *goethite* yang membentuk *solid solution* dengan besi oksida sehingga rumus molekul limonit dapat ditulis dengan formula (Fe,Ni)O(OH).nH₂O^[1].

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa tidak terjadi perubahan atau pembentukan senyawa baru bila dibandingkan dengan sampel limonit awal (*raw material*) seperti pada Gambar 4.1. Pada produk buih ini, senyawa-senyawa yang

terdeteksi adalah *goethite* [(Fe,Ni)O(OH)], *magnetite* [(Fe,Ni)O.Fe₂O₃], dan *quartz* (SiO₂).

Sama seperti pada produk buih, hasil XRD untuk produk endapan juga menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan atau pembentukan senyawa baru bila dibandingkan dengan sampel limonit awal (*raw material*) seperti pada Gambar 4.1. Pada produk endapan ini, senyawa-senyawa yang terdeteksi juga sama, yaitu *goethite* [(Fe,Ni)O(OH)], *magnetite* [(Fe,Ni)O.Fe₂O₃], dan *quartz* (SiO₂).

Berdasarkan grafik-grafik di atas, maka dapat diketahui bahwa proses flotasi yang dilakukan tidak merubah atau membentuk senyawa baru dari bijih limonit. Proses yang terjadi hanyalah pemisahan senyawa-senyawa yang mengandung Ni dan Fe (seperti *goethite* dan *magnetite*) dengan pengotornya seperti *quartz*. Seperti diketahui, suatu senyawa yang terdapat dalam suatu sampel biasanya dapat berubah menjadi senyawa lain bila dilakukan proses *roasting*^[18].

4.2 NERACA MATERIAL

Dari pengujian XRF maka diperoleh data kadar / berat unsur-unsur yang terkandung dari sampel dalam satuan persen. Pengujian yang dilakukan meliputi sampel awal (yang belum di flotasi) beserta 30 sampel hasil flotasi (buih dan endapan). Sampel limonit awal yang belum di flotasi juga diuji XRF agar dapat dianalisa peningkatan atau penurunan kadar dari sampel sebelum dan sesudah proses flotasi. Hasil pengujian XRF dapat dilihat di lampiran.

Hasil dari pengujian XRF pada bijih limonit awal seperti terlihat di lampiran, dapat diketahui bahwa bijih limonit yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kandungan logam-logam utama seperti Ni, Fe, Si dengan kadar masing-masing unsur berurutan sebesar 1,45%, 52,53%, dan 14,85%. Dengan kadar Ni sebesar 1,45% maka bijih limonit yang digunakan tergolong dalam bijih nikel kadar rendah (*low-grade*), karena kandungan nikelnya kurang dari 2%. Hal ini sesuai dengan literatur^[1], yang menyatakan bahwa limonit adalah bijih nikel kadar rendah dan kaya akan kandungan besi, sehingga bijih limonit disebut juga

dengan istilah *nickeliferous limonite* dengan kandungan nikel dari 0,8% - 1,5% dan kandungan besi 40% - 50%.

Dapat dianalisa bahwa kadar Ni dan Fe selalu lebih besar diproduk flotasi buih dibandingkan dengan di endapannya. Sedangkan untuk Si, kadarnya selalu lebih besar diproduk flotasi endapan dibandingkan dengan di buihnya. Hal ini menandakan bahwa proses flotasi yang terjadi adalah flotasi langsung (*direct flotation*), karena mineral berharga yang kita harapkan terambil dapat terangkat menjadi produk buih dari proses flotasi sedangkan mineral pengotor seperti *quartz* yang ingin kita pisahkan dapat terendapkan. Untuk proses flotasi ini, produk buih sebagai konsentrat dan produk endapan sebagai *tail*.

Berdasarkan data berat hasil flotasi baik buih maupun endapan dan data XRF yang diperoleh maka dapat diuraikan kesetimbangan material distribusi logam dari proses flotasi yang berlangsung yang dapat ditampilkan dalam bentuk tabel seperti yang di contohkan oleh B.A Wills^[10]. Sebagai contoh, dapat dilihat pada tabel 4.1 (untuk Ni) dan tabel 4.2 (untuk Fe).

Tabel 4.1. Distribusi logam Ni pada kondisi penambahan 895 g/ton *collector* dan 30 g/ton *frother*

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
895	30	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	153,52	1,44	2,21	50,80
		Endapan	139,46	1,22	1,70	39,08
		Hilang	7,02	-	0,44	10,11

Tabel 4.2. Distribusi logam Fe pada kondisi penambahan 895 g/ton *collector* dan 30 g/ton *frother*

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
895	30	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	153,52	50,55	77,60	49,24
		Endapan	139,46	46,07	64,25	40,77
		Hilang	7,02	-	15,74	9,99

Tabel 4.1 dan 4.2 di atas menerangkan tentang kondisi kesetimbangan material antara berat umpan yang masuk sama dengan berat konsentrat (dalam proses flotasi ini adalah buih) dijumlah dengan berat *tail* (dalam proses flotasi ini adalah endapan). Dalam proses flotasi ini, sulit memperoleh kesetimbangan yang pas. Hal ini dikarenakan adanya sejumlah sampel yang hilang (misal : masih tersisa di alat flotasi dan di kertas saring).

Sedangkan untuk perhitungan distribusi logam menggunakan cara membagi berat logam di buih dengan berat logam di umpan lalu dikalikan 100 %. Perhitungan seperti ini sama dengan cara untuk mendapatkan nilai *recovery* aktual. Untuk data tabel kesetimbangan material dan distribusi logam yang lain tersedia di lampiran.

Untuk dapat menilai suatu proses pengolahan mineral logam, yang perlu diperhatikan selain besar nilai *recovery* (R), kadar *concentrate* (%), dan *ratio of concentration* (K).

Ratio of concentration (K) adalah hasil bagi antara berat feed yang diolah dengan berat *concentrate* yang dihasilkan dalam suatu proses pengolahan, atau dengan kata lain jumlah ton feed yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu ton *concentrate*.

Rumus *ratio of concentration* (K) adalah :

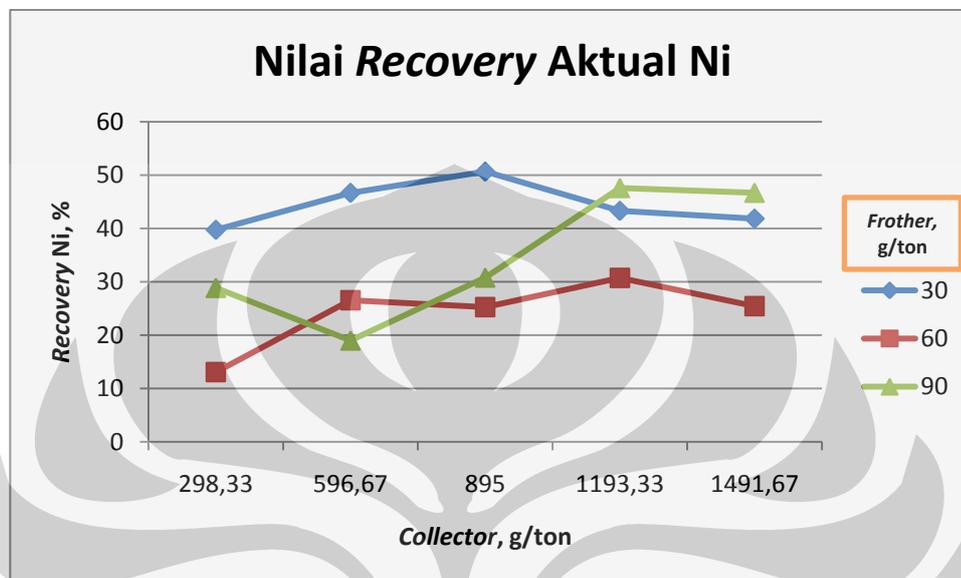
$$K = \frac{F}{C} \dots\dots\dots (4.1)$$

Untuk data *ratio of concentration* (K) dari semua proses flotasi yang dilakukan tersedia di lampiran.

4.3 HASIL RECOVERY PROSES FLOTASI

Berdasarkan data-data berupa berat hasil flotasi dan data persen berat unsur dari hasil pengujian XRF maka dapat diperoleh nilai *recovery* dari proses flotasi yang dilakukan. Nilai *recovery* yang dipakai adalah nilai *recovery* aktual yang melibatkan perhitungan berat umpan dan konsentrat seperti pada rumus 2.4.

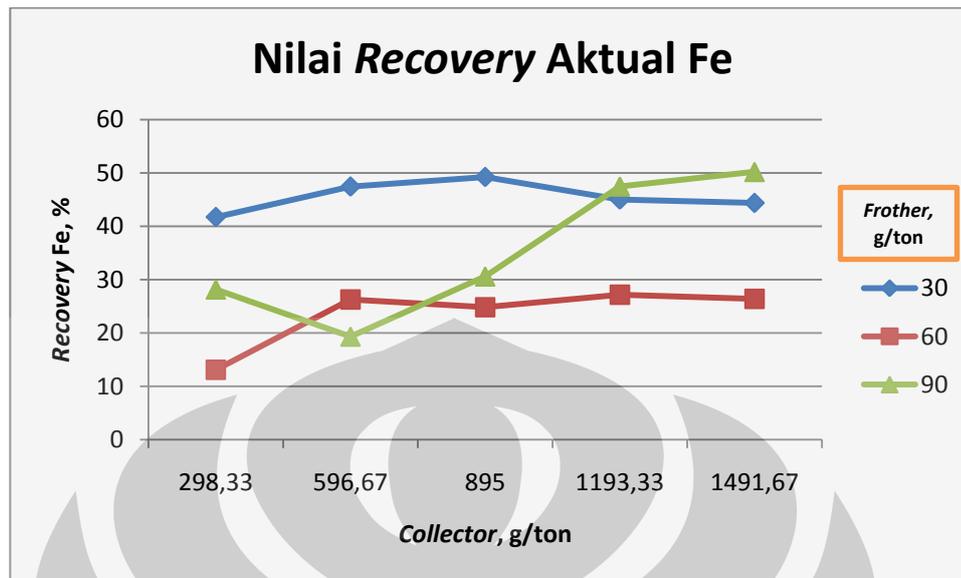
Setelah nilai-nilai *recovery* dari masing-masing proses flotasi telah diketahui, maka dapat ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik untuk *recovery* aktual Ni pada buih dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik nilai *recovery* aktual dari Ni pada buih

Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai *recovery* tertinggi terjadi pada saat penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton. Sedangkan untuk nilai *recovery* terendah terjadi pada saat penambahan *collector*: 298,33 g/ton dan *frother*: 60 g/ton. Untuk penambahan *frother* 30 g/ton, nilai *recovery* terus meningkat pada penambahan *collector* 298,33 g/ton sampai 895 g/ton, dan kemudian turun ketika penambahan *collector* lebih dari 895 g/ton. Untuk penambahan *frother* 60 g/ton, nilai *recovery* cenderung tidak berpola namun terus meningkat dimulai dari penambahan *collector* 298,33 g/ton sampai 1491,67 g/ton. Sedangkan untuk penambahan *frother* 90 g/ton, nilai *recovery* menurun pada penambahan *collector* 298,33 g/ton sampai 596,67 g/ton, dan kemudian meningkat ketika penambahan *collector* lebih dari 596,67 g/ton .

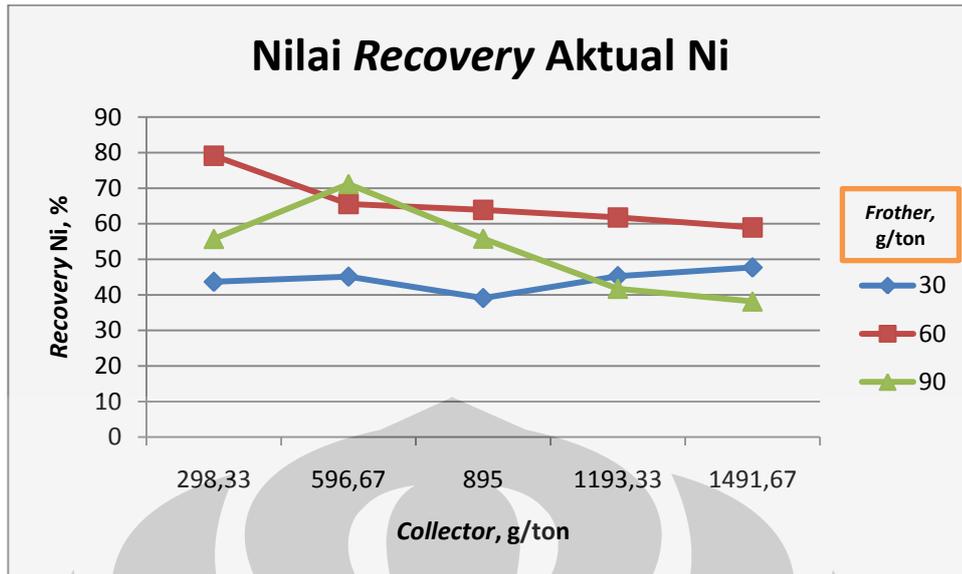
Grafik untuk *recovery* aktual Fe pada buih dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Grafik nilai *recovery* aktual dari Fe pada buih

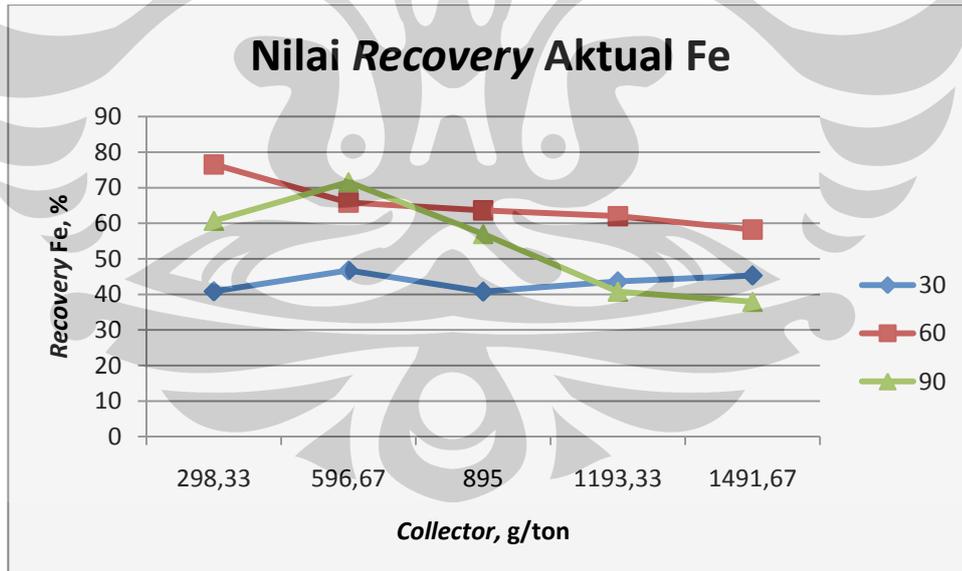
Dari grafik di atas, dapat dilihat bahwa nilai *recovery* tertinggi terjadi pada saat penambahan *collector*: 1491,67 g/ton dan *frother*: 90 g/ton. Bila dibandingkan dengan nilai *recovery* tertinggi pada Ni yang terjadi pada saat penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton, maka pada penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton untuk *recovery* Fe juga cukup tinggi yaitu 49,25% yang merupakan nilai tertinggi kedua dari *recovery* Fe. Grafik yang terjadi tidak terlalu berbeda dengan grafik pada Ni, karena Ni dan Fe yang terangkat di buih merupakan senyawa-senyawa yang mengandung Ni dan Fe seperti *magnetite* [(Fe,Ni)O.Fe₂O₃] dan *goethite* [(Fe,Ni)O(OH)].

Grafik untuk *recovery* aktual Ni pada endapan dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik nilai *recovery* aktual dari Ni pada endapan

Grafik untuk *recovery* aktual Fe pada endapan dapat dilihat pada Gambar 4.5.

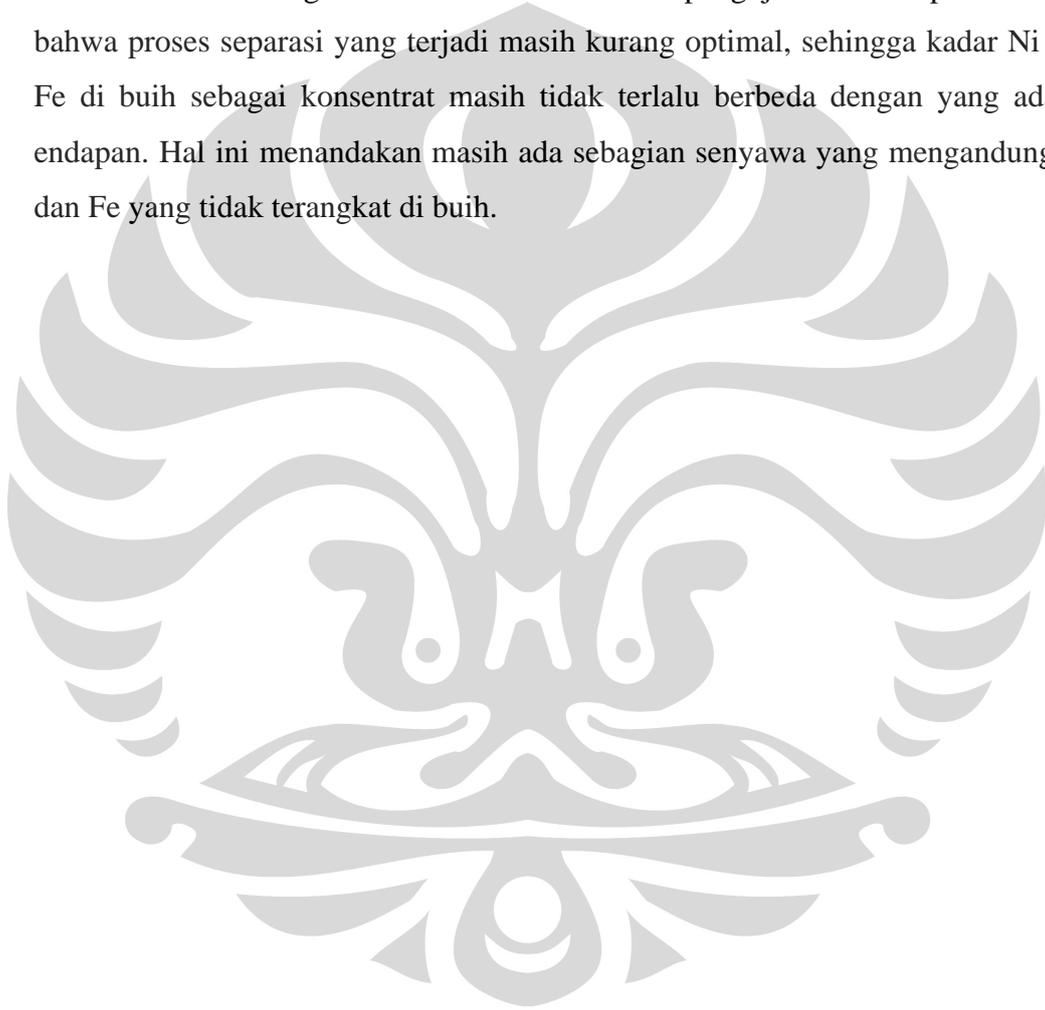


Gambar 4.5. Grafik nilai *recovery* aktual dari Fe pada endapan

Kedua grafik di atas merupakan grafik *recovery* Ni dan Fe di endapan yang sebagian nilainya lebih tinggi dibandingkan di buih karena yang digunakan

adalah perhitungan *recovery* aktual yang melibatkan berat dari sampel awal dan produk. Namun, yang berperan sebagai konsentrat adalah produk buih dikarenakan berdasarkan pengujian XRF, nilai kadar dari Ni dan Fe selalu lebih besar di buih dibandingkan dengan di endapan walaupun tidak terlalu jauh. Sedangkan Si sebagai pengotor dalam bentuk senyawa *quartz*, kadarnya selalu lebih besar di endapan di banding di buih.

Berdasarkan grafik dan kadar unsur dari pengujian XRF dapat dianalisa bahwa proses separasi yang terjadi masih kurang optimal, sehingga kadar Ni dan Fe di buih sebagai konsentrat masih tidak terlalu berbeda dengan yang ada di endapan. Hal ini menandakan masih ada sebagian senyawa yang mengandung Ni dan Fe yang tidak terangkat di buih.



BAB V

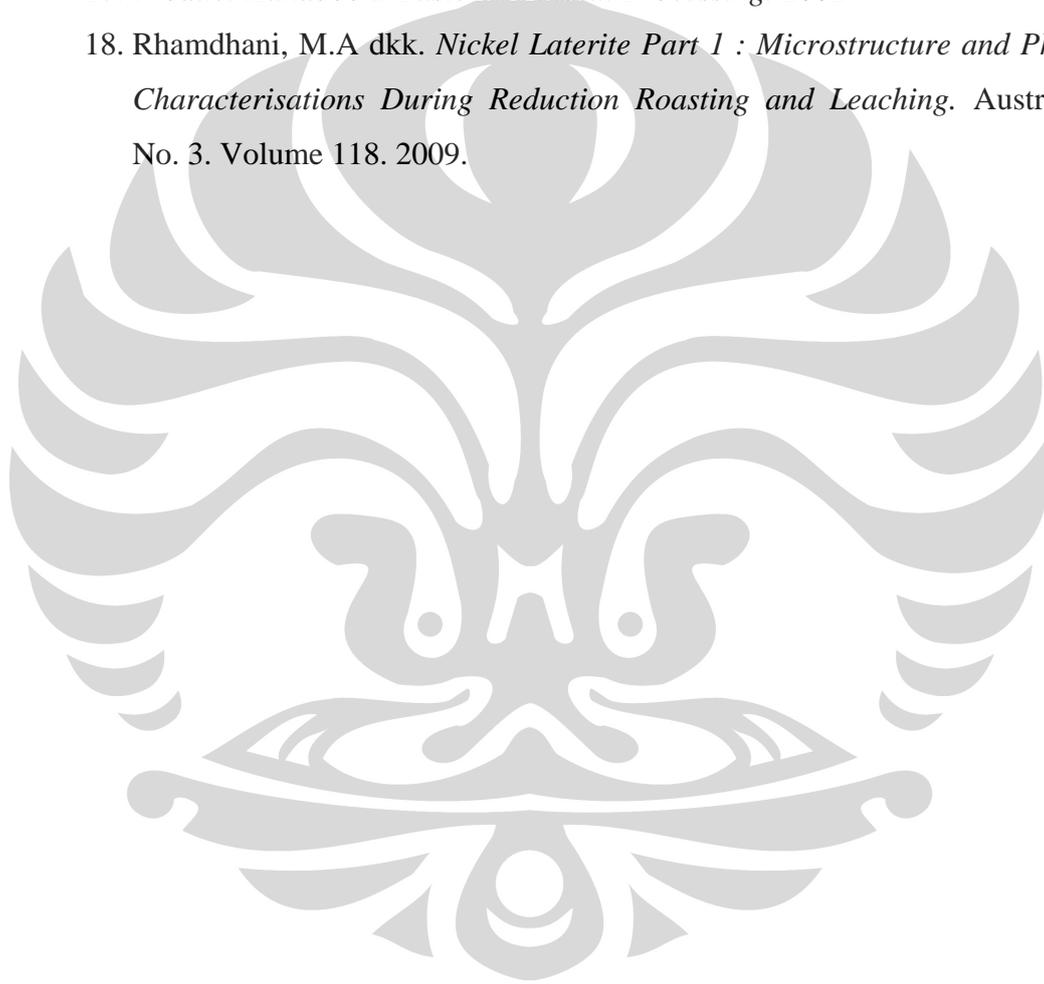
KESIMPULAN

1. Senyawa – senyawa yang ada pada sampel limonit awal (*raw material*) berdasarkan hasil uji XRD dengan radiasi Cobalt, yaitu : *goethite* [(Fe,Ni)O(OH)], *magnetite* [(Fe,Ni)O.Fe₂O₃], dan *quartz* (SiO₂). Begitu pula pada produk hasil flotasi baik buih atau endapan tidak terbentuk senyawa baru atau berubahnya senyawa-senyawa dari limonit awal (*raw material*).
2. Proses flotasi yang terjadi adalah mineral berharga yang kita harapkan terambil dapat terangkat menjadi produk buih dari proses flotasi sedangkan mineral pengotor seperti quartz yang ingin kita pisahkan dapat terendapkan yang sesuai dengan data XRF yang dilakukan.
3. *Recovery* Ni paling tinggi yaitu sebesar 50,67% didapatkan pada pengujian terjadi pada saat penambahan *collector*: 895 g/ton dan *frother*: 30 g/ton.
4. *Recovery* Fe paling tinggi yaitu sebesar 50,22% didapatkan pada pengujian terjadi pada saat penambahan *collector*: 1491,67 g/ton dan *frother*: 90 g/ton.

DAFTAR ACUAN

1. Habashi, Fathi., *Handbook of Extractive Metallurgy*. Weinheim: WILEY-VCH. 1997.
2. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 4 Tahun 2009 Tentang Pertambangan Mineral dan Batubara.
3. Tobing, H.S.L., *Prinsip Dasar Pengolahan Bahan Galian*, Bandung 2005.
4. BRITISH GEOLOGICAL SURVEY. 2008. *Production 2002-2005*. Tersedia dari : www.mineralsUK.com
5. Ashok D. Dalvi, W Gordon Bacon, Robert C. Osborne, “*The Past and The Future of Nickel Laterites*”. PDAC 2004 International Convention, Trade Show & Investors Exchange March 7-10, 2004. Diakses 2 Desember 2009.
<http://www.pdac.ca/pdac/publications/papers/2004/techprgm-dalvi-bacon.pdf>.
6. Laskowski, J.S., *Coal Flotation and Fine Coal Utilization*. Volume 14. Elsevier. 2001.
7. http://inherent.brawijaya.ac.id/vlm/file.php/32/materi/trans/per_1/besi.htm
Diakses 24 November 2009.
8. http://id.wikipedia.org/wiki/Nikel_laterit
Diakses 7 Juni 2009.
9. Elias, Mick. *Nickel laterite deposits – geological overview, resources and exploitation*. Tasmania. 2002.
10. Wills, B.A., *Mineral Processing Technology : An Introduction to The Practical Aspects of Ore Treatment and Mineral Recovery*. 4th edition. Pergamon Press, United Kingdom. 1988.
11. Gaudin, A.M., *Principles of Mineral Dressing*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd. 1977.
12. Gupta, Chiranjib K., *Chemical Metallurgy Principles and Practises*. Weinheim: Wiley-VCH. 2003.

13. Taggart, Arthur F., *Handbook of Mineral Dressing*. New York: John Wiley & Sons. 1954.
14. Pramusanto,dkk. *Beberapa Alternative Metode Peningkatatan Kadar Besi Dan Nikel dari Bijih Laterit Sulawesi Tenggara*.2007.
15. Pramusanto,dkk. *Application of Reverse Flotation Method for the Upgrading of IronOxide Contained in Calcine Laterite Ore*. 2007.
16. Bulatovic, S.M., *Handbook of Flotation Reagents*. Elsevier. 2007.
17. *Product Handbook: Basic In Mineral Processing*. 2002.
18. Rhamdhani, M.A dkk. *Nickel Laterite Part 1 : Microstructure and Phase Characterisations During Reduction Roasting and Leaching*. Australia. No. 3. Volume 118. 2009.





No	Frödder (g/ton)	Collector (g/ton)	Berat (g)				Kadar Ni (%)			Recovery di Buih (%)	Recovery di Endapan (%)
			Umpan	Buih	Endapan	Umpan	Buih	Endapan			
1	30	298,33		122,11	168,49		1,42	1,13	39,74	43,68	
2		596,67		143,17	158,38		1,42	1,24	46,68	45,12	
3	30	895		153,52	139,46		1,44	1,22	50,67	39,10	
4		1193,33		136,80	155,43		1,38	1,27	43,31	45,27	
5	60	1491,67		132,36	161,43		1,38	1,29	41,84	47,71	
6		298,33		38,24	254,76		1,49	1,35	13,07	79,11	
7	60	596,67		77,22	218,61		1,49	1,31	26,55	65,57	
8		895		73,19	221,09		1,50	1,26	25,26	63,91	
9	90	1193,33	300	82,08	215,64		1,63	1,25	30,75	61,77	
10		1491,67		78,95	215,73		1,41	1,19	25,45	58,97	
11	90	298,33		86,70	211,40		1,45	1,15	28,86	55,75	
12		596,67		55,66	243,51		1,49	1,27	18,99	71,16	
13	90	895		94,78	198,37		1,42	1,22	30,79	55,82	
14		1193,33		148,96	142,70		1,39	1,27	47,59	41,73	
15	90	1491,67		153,86	137,84		1,32	1,21	46,70	38,16	

No	Frondier (g/ton)	Collector (g/ton)	Berat (g)			Kadar Fe (%)			Recovery di buih (%)	Recovery di endapan (%)
			Umpuran	Buih	Endapan	Umpuran	Buih	Endapan		
1		298,33		122,11	168,49		53,86	38,23	41,74	40,87
2		596,67		143,17	158,38		52,23	46,49	47,45	46,72
3	30	895		153,52	139,46		50,55	46,07	49,25	40,78
4		1193,33		136,80	155,43		51,86	44,26	45,01	43,65
5		1491,67		132,36	161,43		52,84	44,25	44,38	45,32
6		298,33		38,24	254,76		64,02	47,35	13,11	76,54
7		596,67		77,22	218,61		53,64	47,45	26,28	65,82
8	60	895	300	73,19	221,09	52,53	53,47	45,36	24,83	63,64
9		1193,33		82,08	215,64		52,17	45,30	27,17	61,99
10		1491,67		78,95	215,73		52,71	42,54	26,40	58,24
11		298,33		86,70	211,40		51,22	45,27	28,18	60,72
12		596,67		55,66	243,51		54,75	46,32	19,34	71,57
13	90	895		94,78	198,37		50,93	45,28	30,62	56,99
14		1193,33		148,96	142,70		50,24	45,06	47,49	40,79
15		1491,67		153,86	137,84		51,44	43,37	50,22	37,93

No	Fröher (g/ton)	Collector (g/ton)	Berat (g)			Kadar Si (%)			Recovery di buih (%)	Recovery di endapan (%)
			Umpam	Buuh	Endapan	Umpam	Buuh	Endapan		
1	30	298,33		122,11	168,49		14,44	28,15	39,57	106,4
2		596,67		143,17	158,38		15,94	20,29	51,18	72,08
3	30	895		153,52	139,46		16,29	21,47	56,08	67,17
4		1193,33		136,80	155,43		14,42	23,31	44,25	81,26
5	60	1491,67		132,36	161,43		13,58	23,23	40,32	84,12
6		298,33		38,24	254,76		13,83	19,99	11,86	114,26
7	60	596,67		77,22	218,61		13,25	20,38	22,96	99,92
8		895		73,19	221,09	14,86	13,89	21,62	22,82	107,25
9	90	1193,33	300	82,08	215,64		14,08	21,79	25,92	105,45
10		1491,67		78,95	215,73		12,66	22,47	22,43	108,73
11	90	298,33		86,70	211,40		15,46	21,99	30,07	104,27
12		596,67		55,66	243,51		12,99	21,38	16,23	116,76
13	90	895		94,78	198,37		15,66	21,59	33,29	96,09
14		1193,33		148,96	142,70		16,43	21,51	54,89	68,84
15	90	1491,67		153,86	137,84		16,35	24,14	56,42	74,66

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
298,33	30	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	122,11	1,42	1,73	39,77
		Endapan	168,49	1,13	1,90	43,68
		Hilang	9,40	-	0,72	16,55

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
596,67	30	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	143,17	1,42	2,03	46,67
		Endapan	158,38	1,24	1,96	45,06
		Hilang	-	-	0,36	8,28

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
895	30	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	153,52	1,44	2,21	50,80
		Endapan	139,46	1,22	1,70	39,08
		Hilang	7,02	-	0,44	10,11

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
1193,33	30	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	136,80	1,38	1,89	43,45
		Endapan	155,43	1,27	1,97	45,29
		Hilang	7,77	-	0,49	11,26

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
1491,67	30	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	132,36	1,38	1,83	42,07
		Endapan	161,43	1,29	2,08	47,82
		Hilang	6,21	-	0,44	10,11

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
298,33	60	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	38,24	1,49	0,57	13,10
		Endapan	254,76	1,35	3,44	79,08
		Hilang	7	-	0,34	7,82

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
596,67	60	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	77,22	1,49	1,15	26,44
		Endapan	218,61	1,31	2,86	65,75
		Hilang	4,17	-	0,34	7,82

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
895	60	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	73,19	1,50	1,09	25,06
		Endapan	221,09	1,26	2,79	64,14
		Hilang	5,72	-	0,47	10,80

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
1193,33	60	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	82,08	1,63	1,34	30,80
		Endapan	215,64	1,25	2,69	61,84
		Hilang	2,28	-	0,32	7,36

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
1491,67	60	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	78,95	1,41	1,11	25,52
		Endapan	215,73	1,19	2,57	59,08
		Hilang	5,31	-	0,67	15,40

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
298,33	90	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	86,70	1,45	1,26	28,97
		Endapan	211,40	1,15	2,43	55,86
		Hilang	1,9	-	0,66	15,17

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
596,67	90	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	55,66	1,49	0,82	18,85
		Endapan	243,51	1,27	3,09	71,03
		Hilang	0,83	-	0,44	10,11

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
895	90	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	94,78	1,42	1,35	31,03
		Endapan	198,37	1,22	2,42	55,63
		Hilang	6,85	-	0,58	13,33

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
1193,33	90	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	148,96	1,39	2,07	47,59
		Endapan	142,70	1,27	1,81	41,61
		Hilang	8,34	-	0,47	10,80

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Ni (%)
1491,67	90	Umpan	300	1,45	4,35	100
		Buih	153,86	1,32	2,03	46,67
		Endapan	137,84	1,21	1,67	38,39
		Hilang	8,3	-	0,65	14,94

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
298,33	30	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	122,11	53,86	65,77	41,73
		Endapan	168,49	38,23	64,41	40,87
		Hilang	9,40	-	27,41	17,39

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
596,67	30	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	143,17	52,23	74,78	47,45
		Endapan	158,38	46,49	73,63	46,72
		Hilang	-	-	9,18	5,83

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
895	30	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	153,52	50,55	77,60	49,24
		Endapan	139,46	46,07	64,25	40,77
		Hilang	7,02	-	15,74	9,99

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
1193,33	30	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	136,80	51,86	70,94	45,02
		Endapan	155,43	44,26	68,79	43,65
		Hilang	7,77	-	17,86	11,33

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
1491,67	30	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	132,36	52,84	69,94	44,38
		Endapan	161,43	44,25	71,43	45,33
		Hilang	6,21	-	16,22	10,29

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
298,33	60	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	38,24	54,02	20,66	13,11
		Endapan	254,76	47,35	120,63	76,55
		Hilang	7	-	16,30	10,34

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
596,67	60	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	77,22	53,64	41,42	26,28
		Endapan	218,61	47,45	105,92	67,21
		Hilang	4,17	-	10,25	6,50

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
895	60	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	73,19	53,47	39,13	24,83
		Endapan	221,09	45,36	100,29	63,64
		Hilang	5,72	-	18,17	11,53

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
1193,33	60	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	82,08	52,17	42,82	27,17
		Endapan	215,64	45,30	97,68	61,98
		Hilang	2,28	-	17,09	10,84

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
1491,67	60	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	78,95	52,71	41,61	26,40
		Endapan	215,73	42,54	91,77	58,23
		Hilang	5,31	-	24,21	15,36

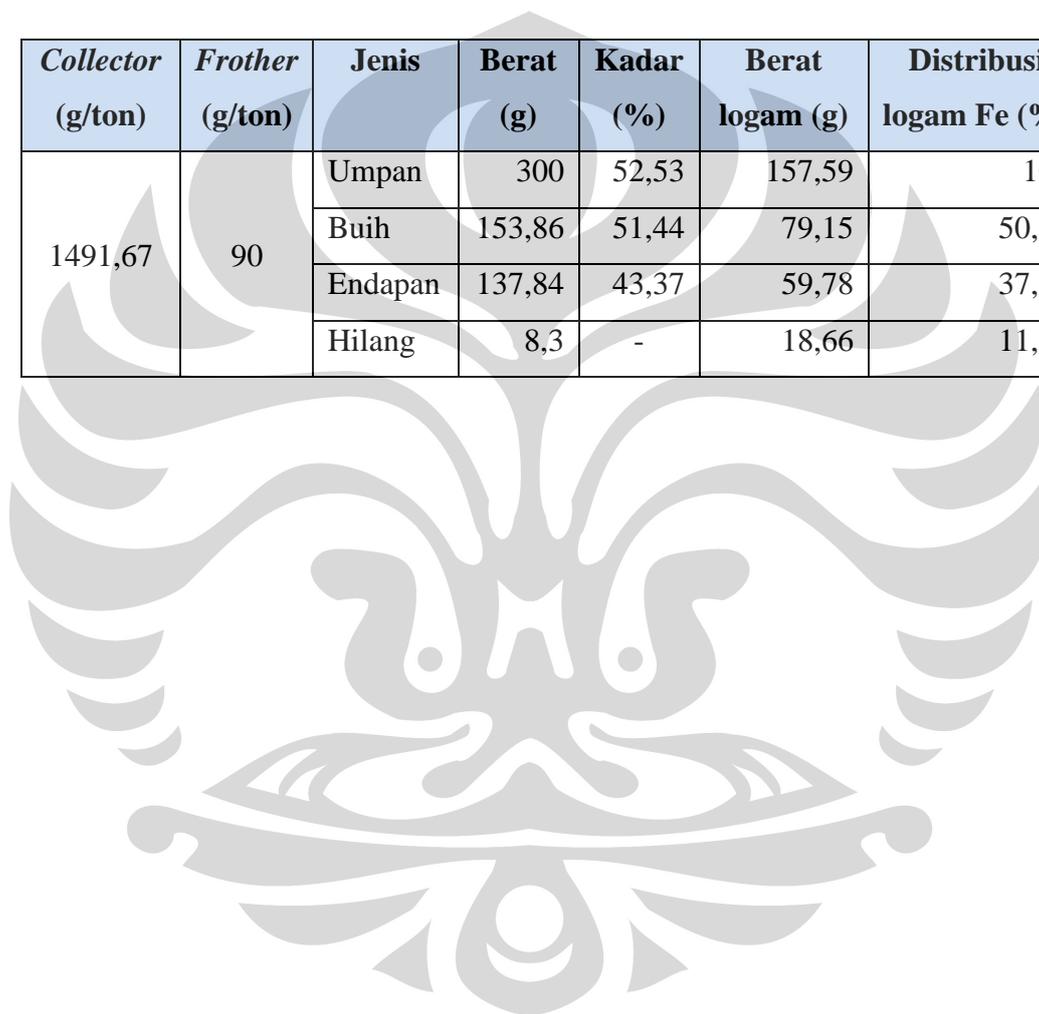
Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
298,33	90	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	86,70	51,22	44,41	28,18
		Endapan	211,40	45,27	95,70	60,73
		Hilang	1,9	-	17,48	11,09

Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
596,67	90	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	55,66	54,75	30,47	19,33
		Endapan	243,51	46,32	112,79	71,57
		Hilang	0,83	-	14,33	9,09

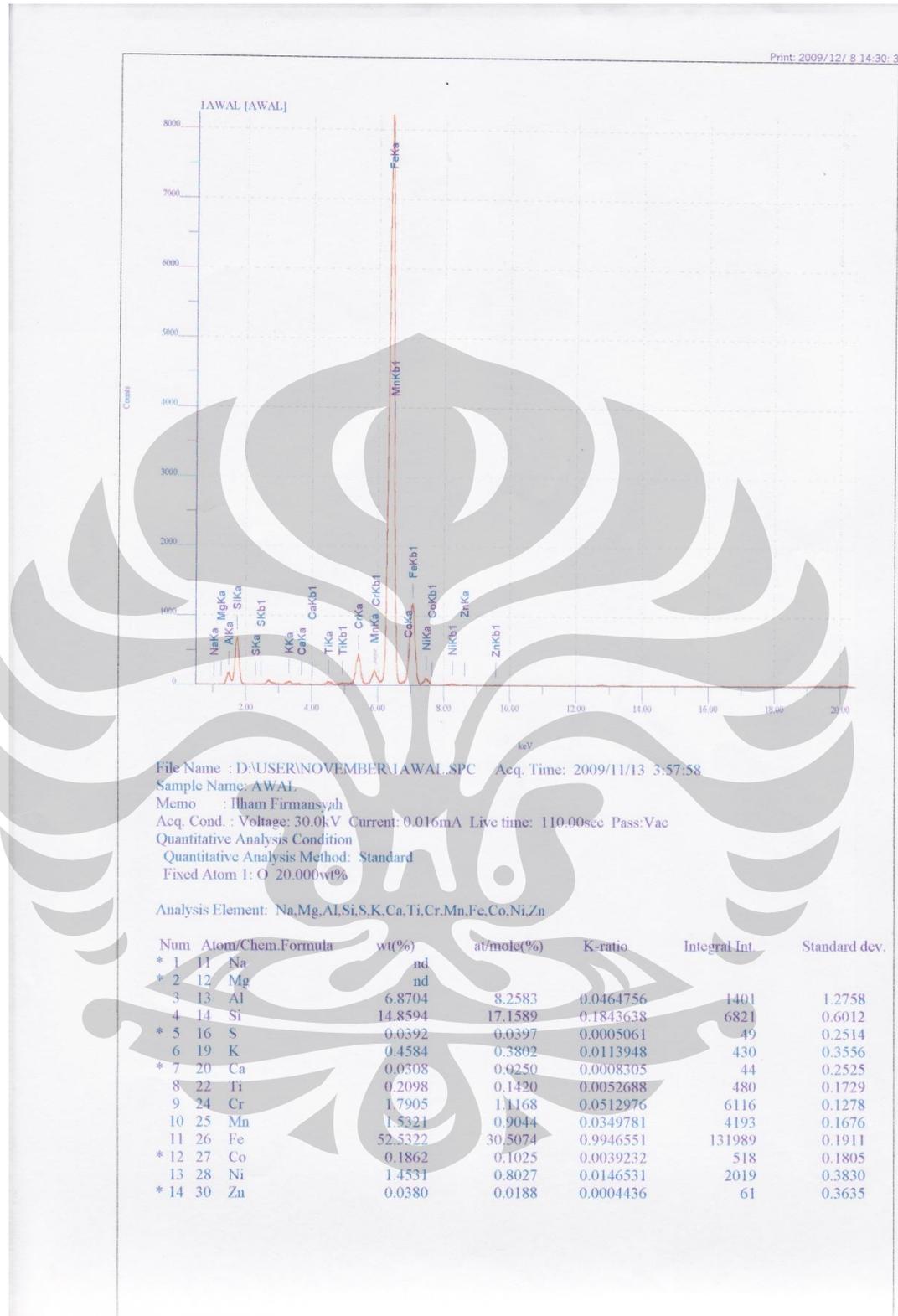
Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
895	90	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	94,78	50,93	48,27	30,63
		Endapan	198,37	45,28	89,82	56,99
		Hilang	6,85	-	19,50	12,37

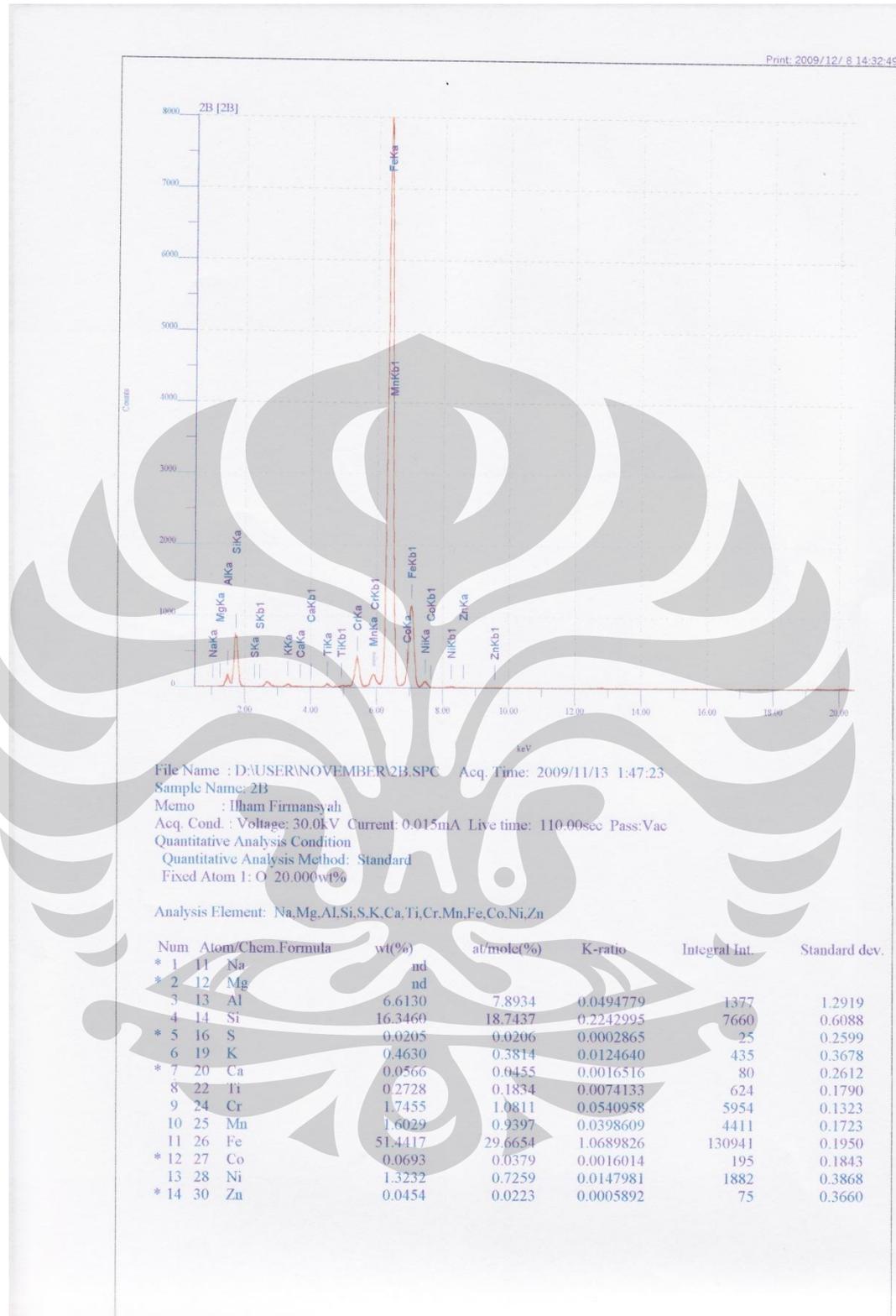
Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
1193,33	90	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	148,96	50,24	74,84	47,49
		Endapan	142,70	45,06	64,30	40,80
		Hilang	8,34	-	18,45	11,71

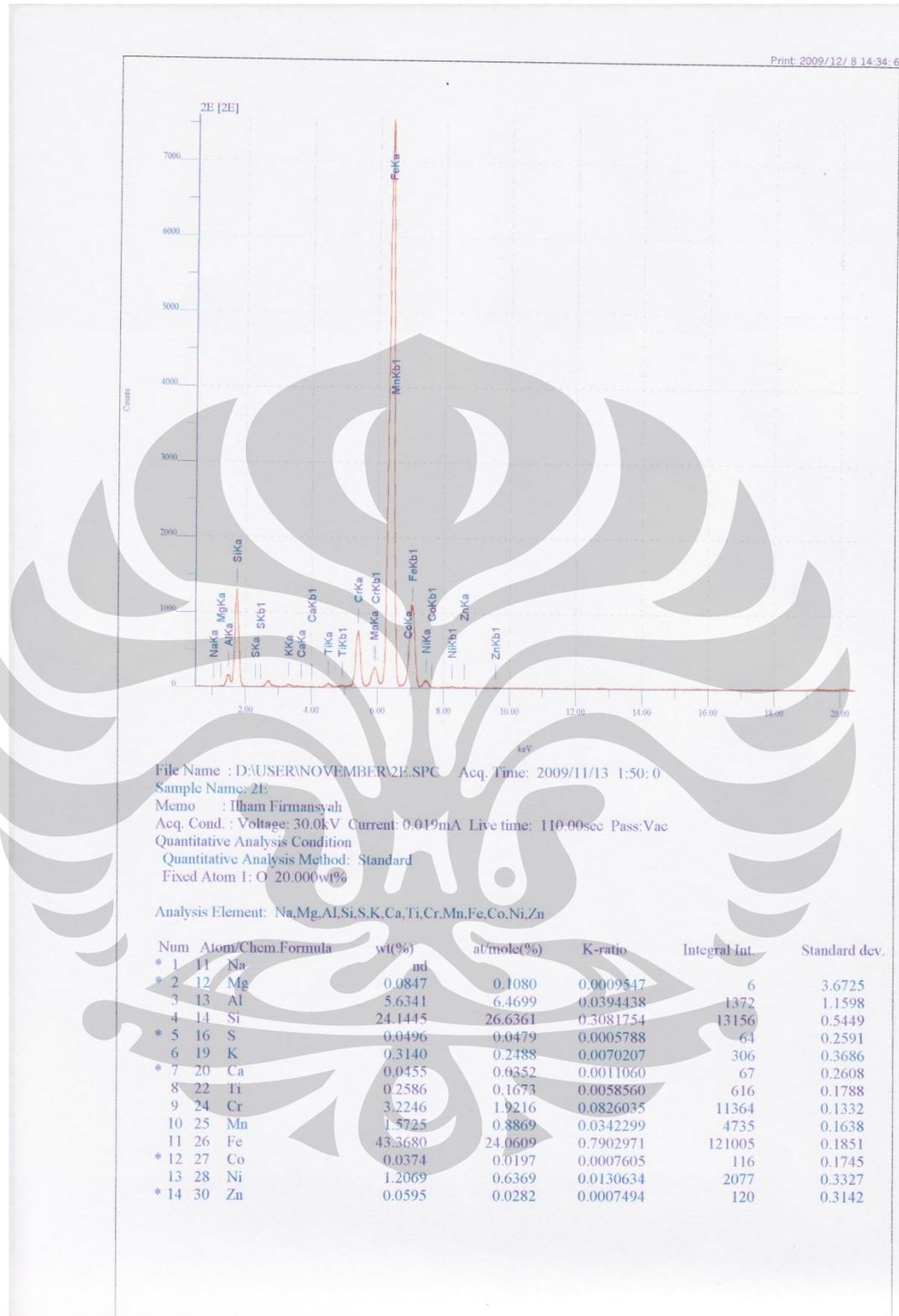
Collector (g/ton)	Frother (g/ton)	Jenis	Berat (g)	Kadar (%)	Berat logam (g)	Distribusi logam Fe (%)
1491,67	90	Umpan	300	52,53	157,59	100
		Buih	153,86	51,44	79,15	50,23
		Endapan	137,84	43,37	59,78	37,93
		Hilang	8,3	-	18,66	11,84

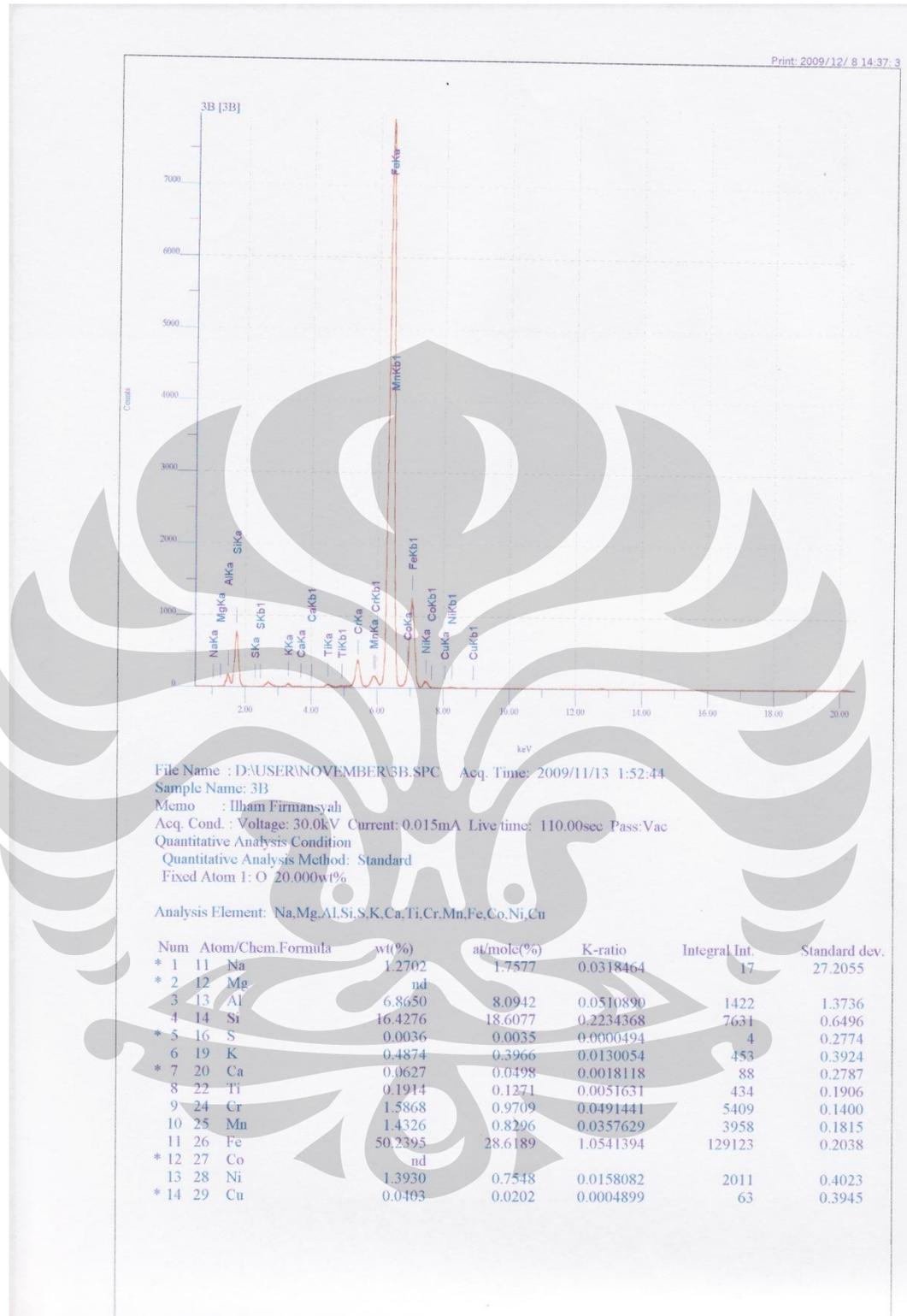


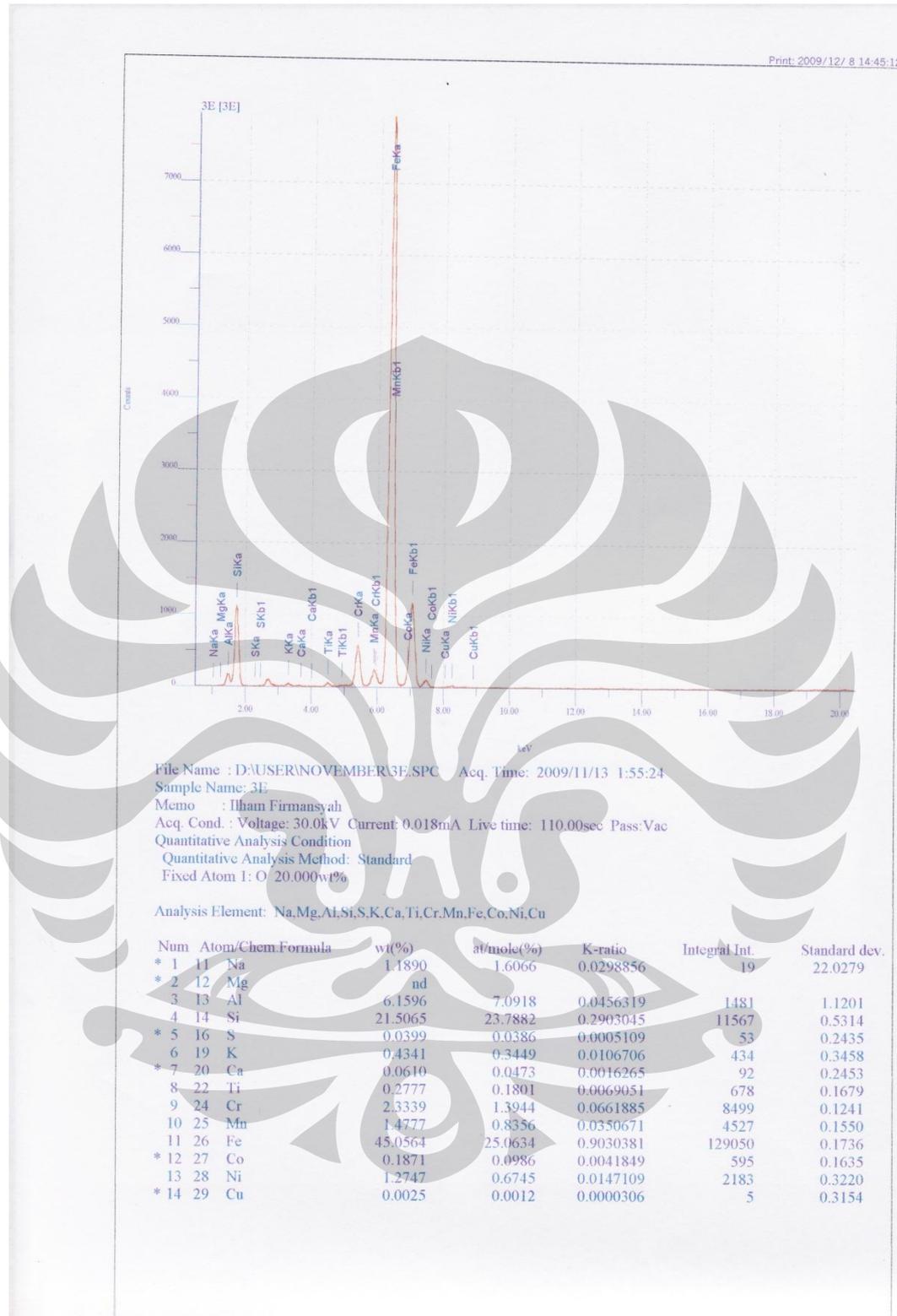
Berat (g)		<i>Ratio of Concentration</i>
Awal	Konsentrat / Buih	
300	122,11	2,46
	143,17	2,09
	153,52	1,95
	136,80	2,19
	132,36	2,27
	38,24	7,85
	77,22	3,89
	73,19	4,09
	82,08	3,65
	78,95	3,79
	86,70	3,46
	55,66	5,39
	94,78	3,17
	148,96	2,01
	153,86	1,95

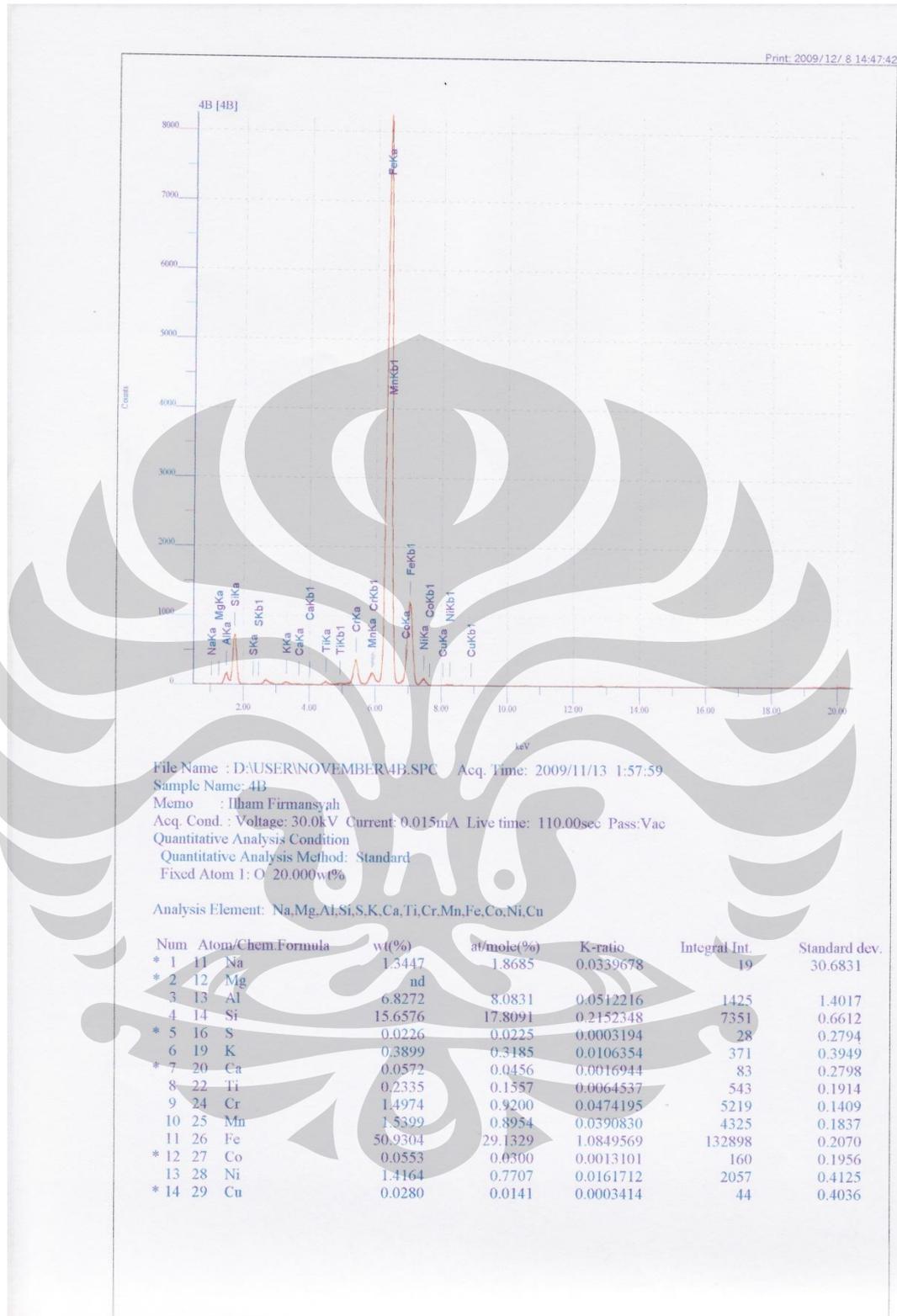


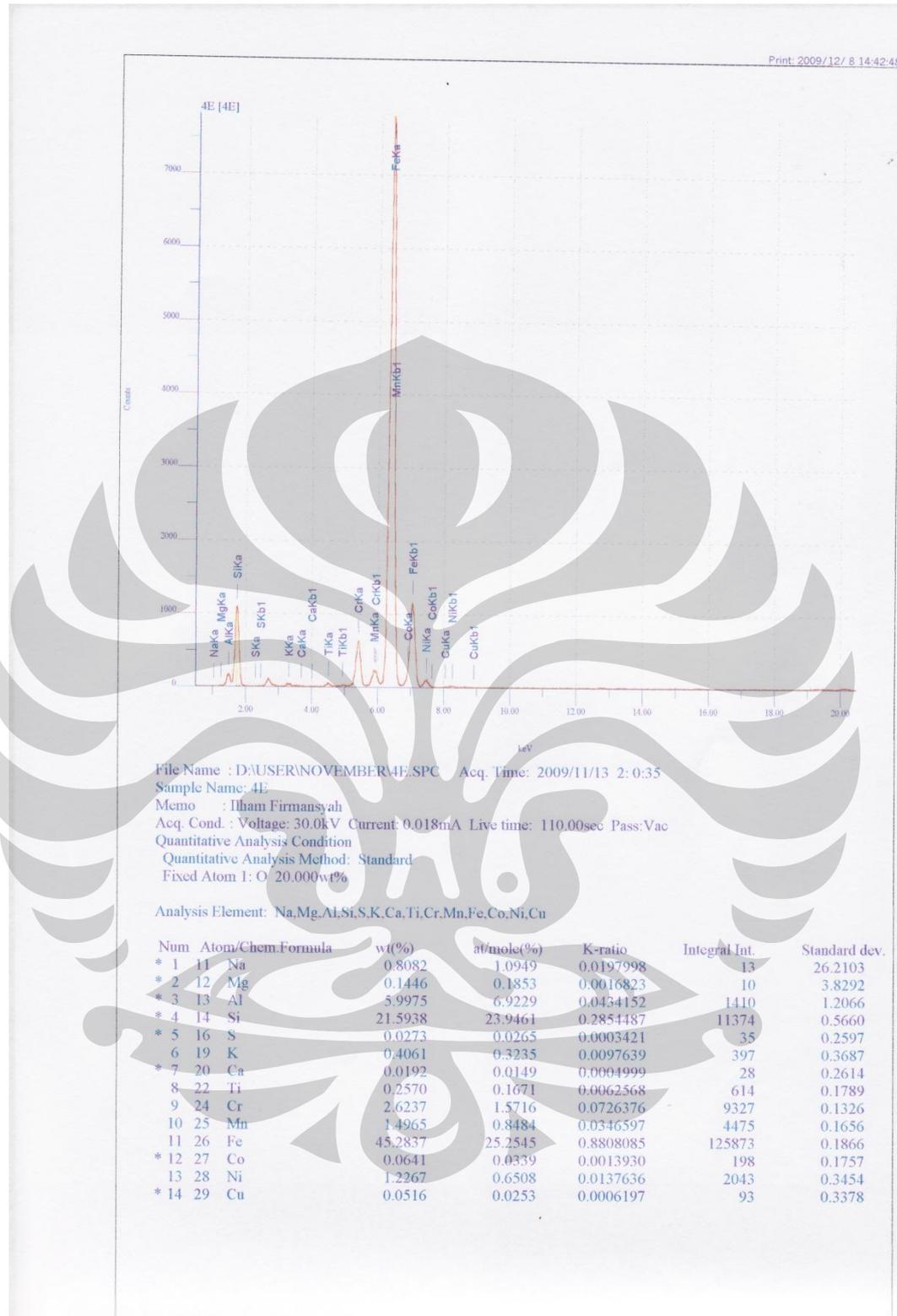


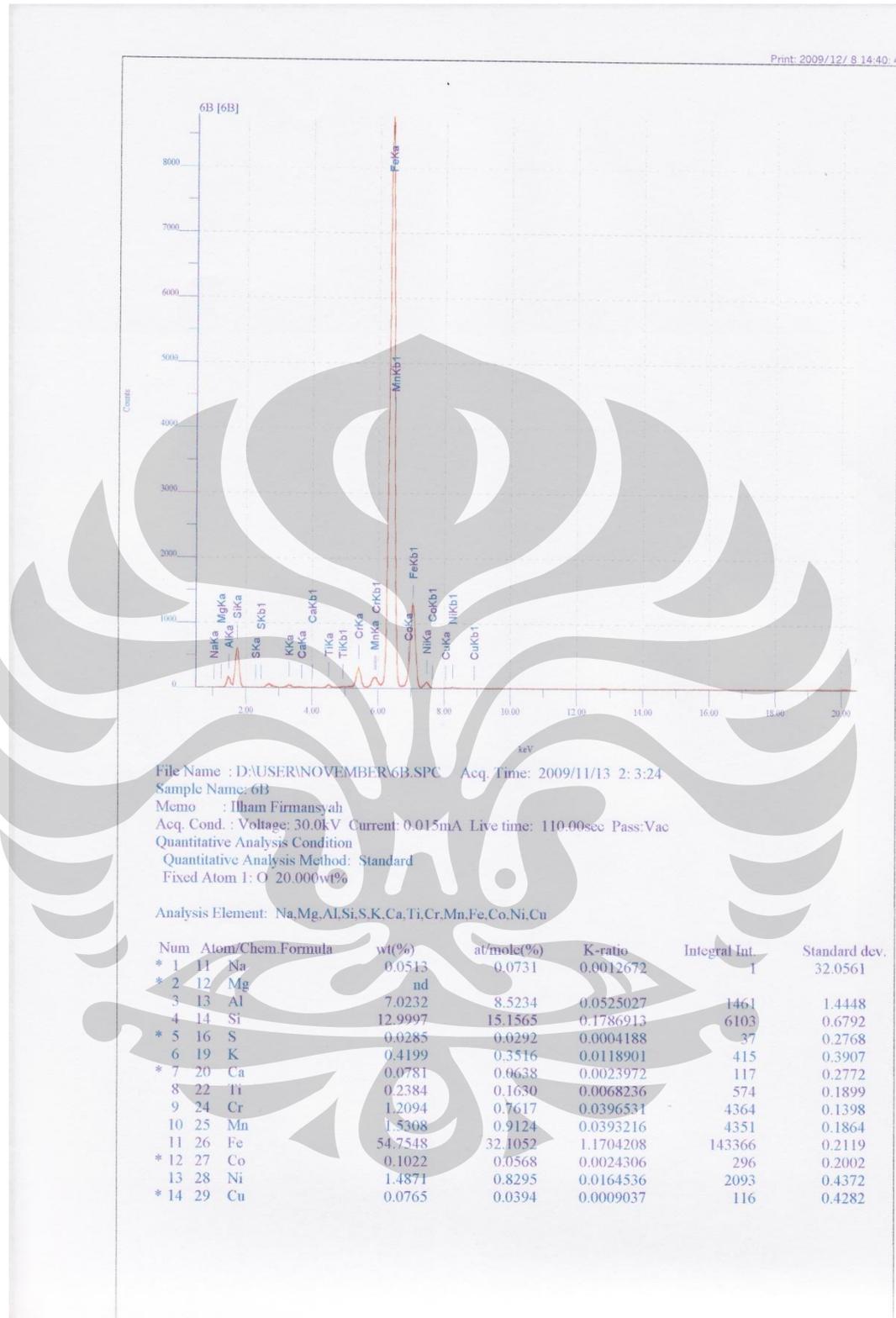


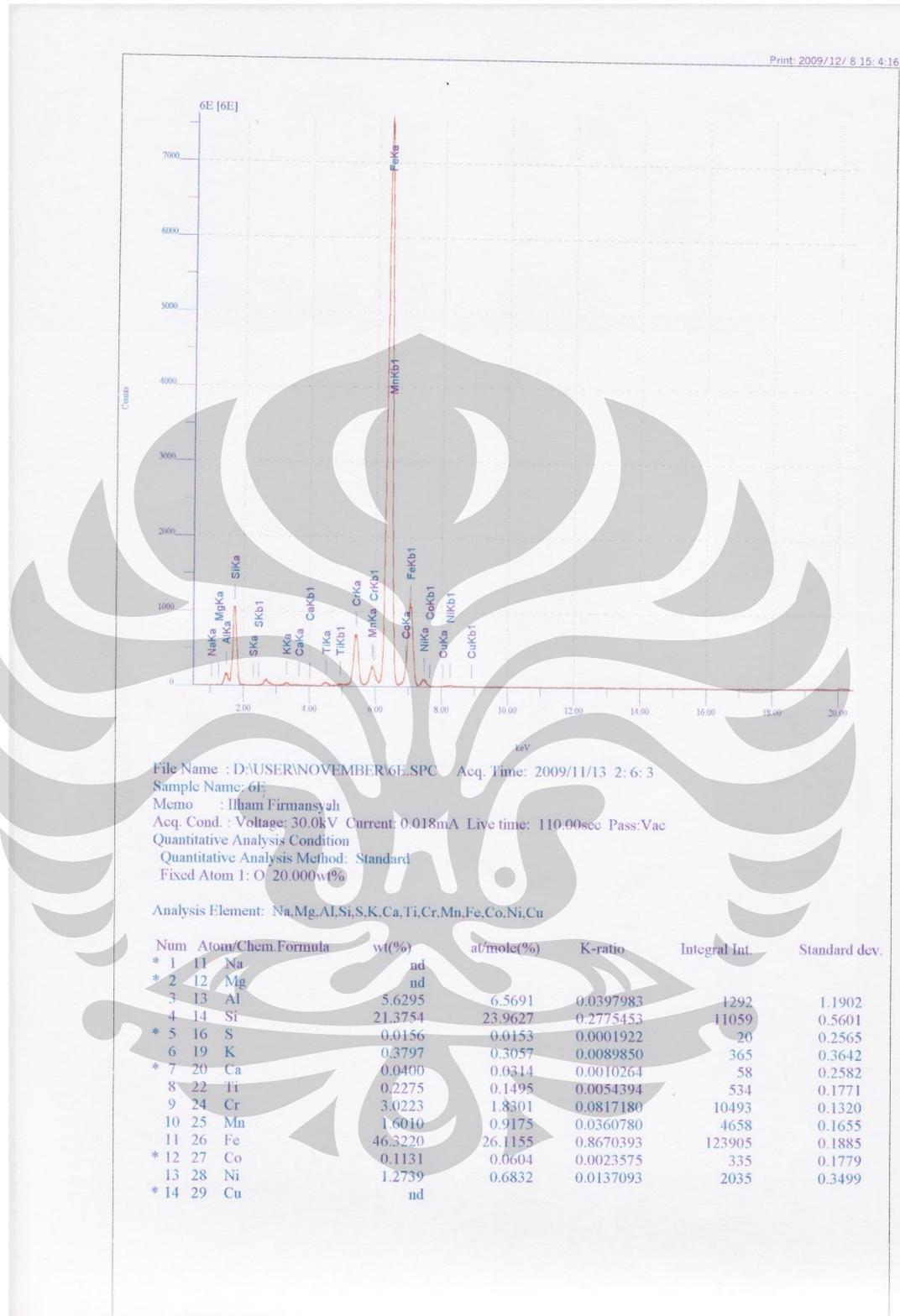


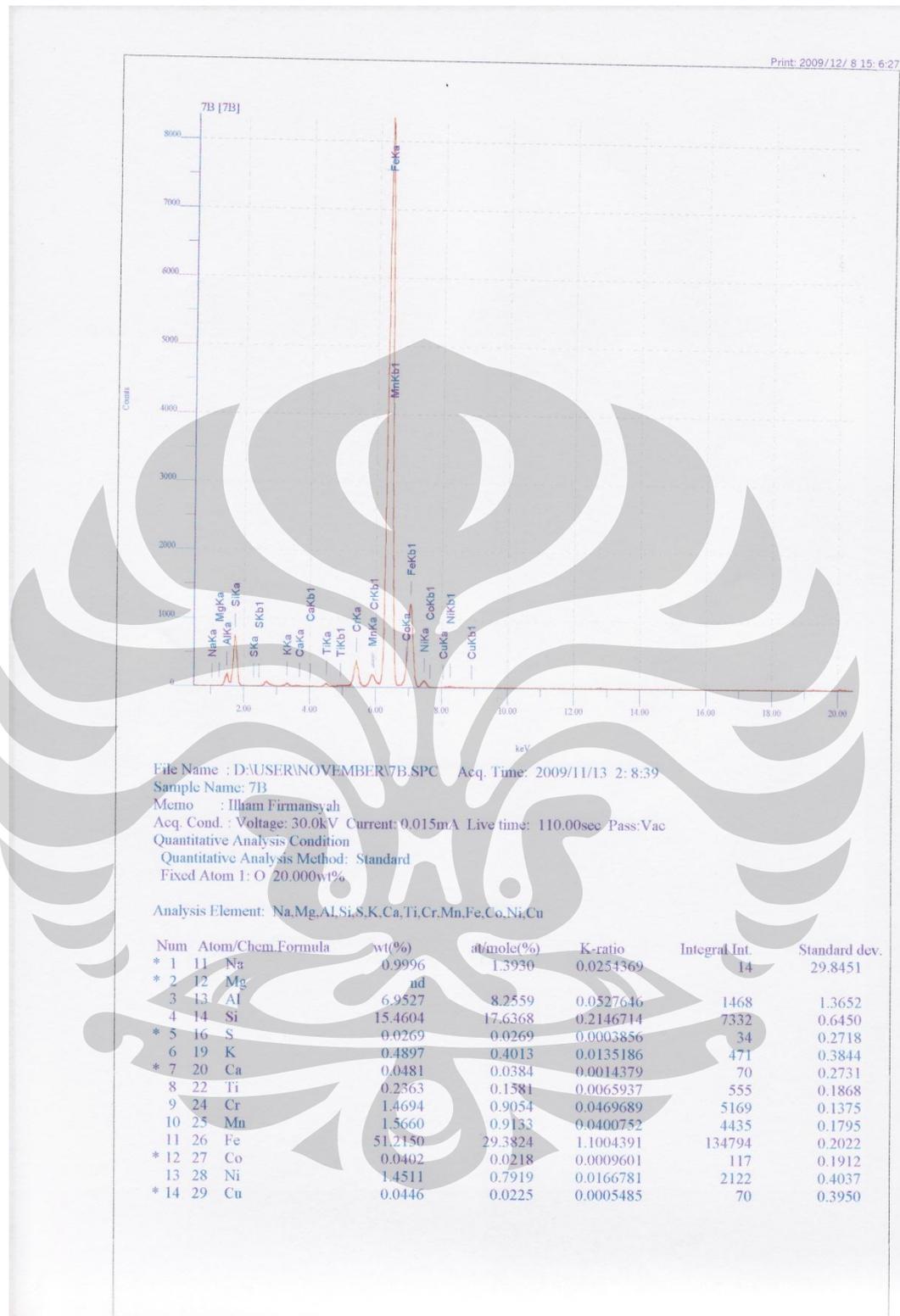


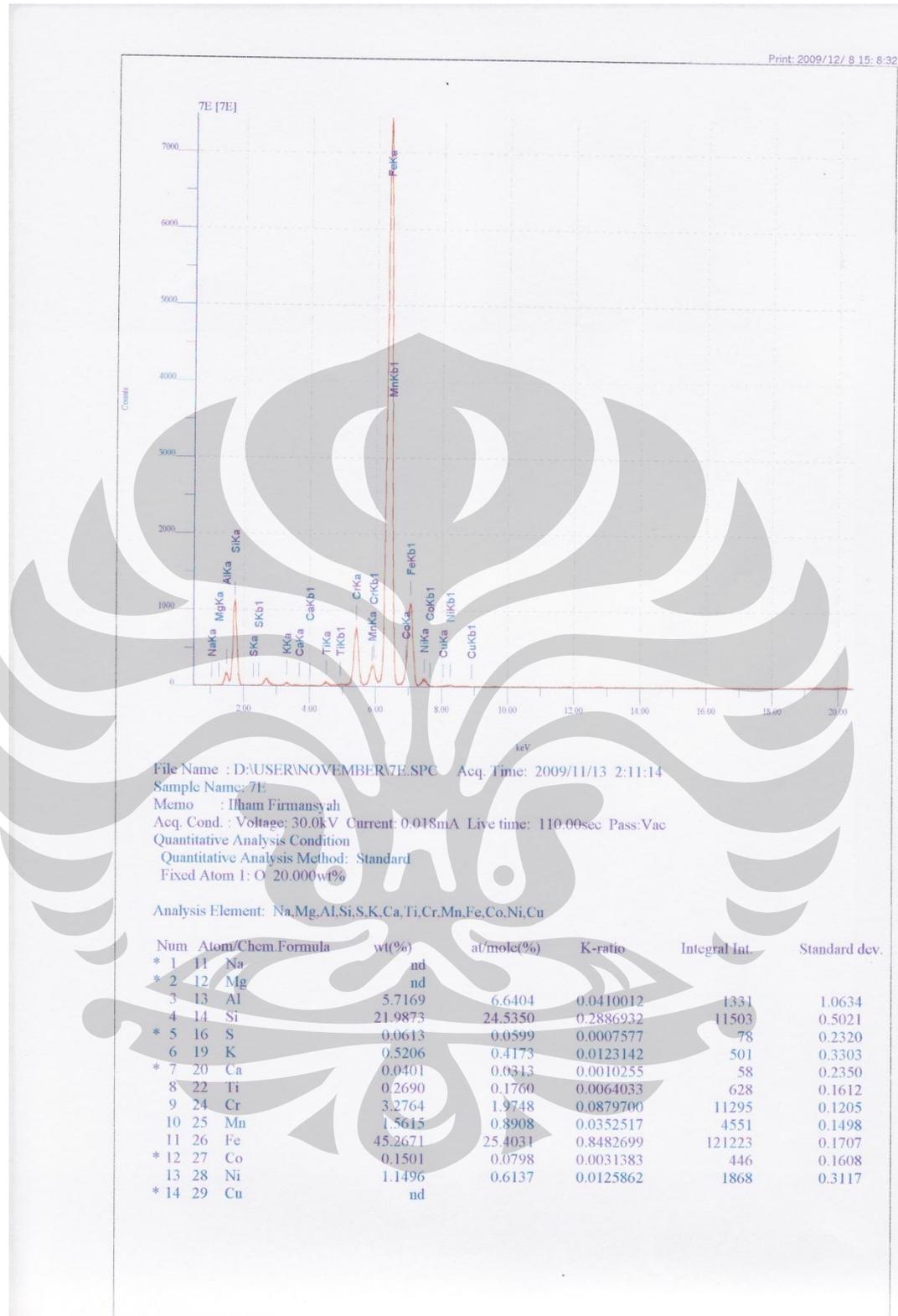


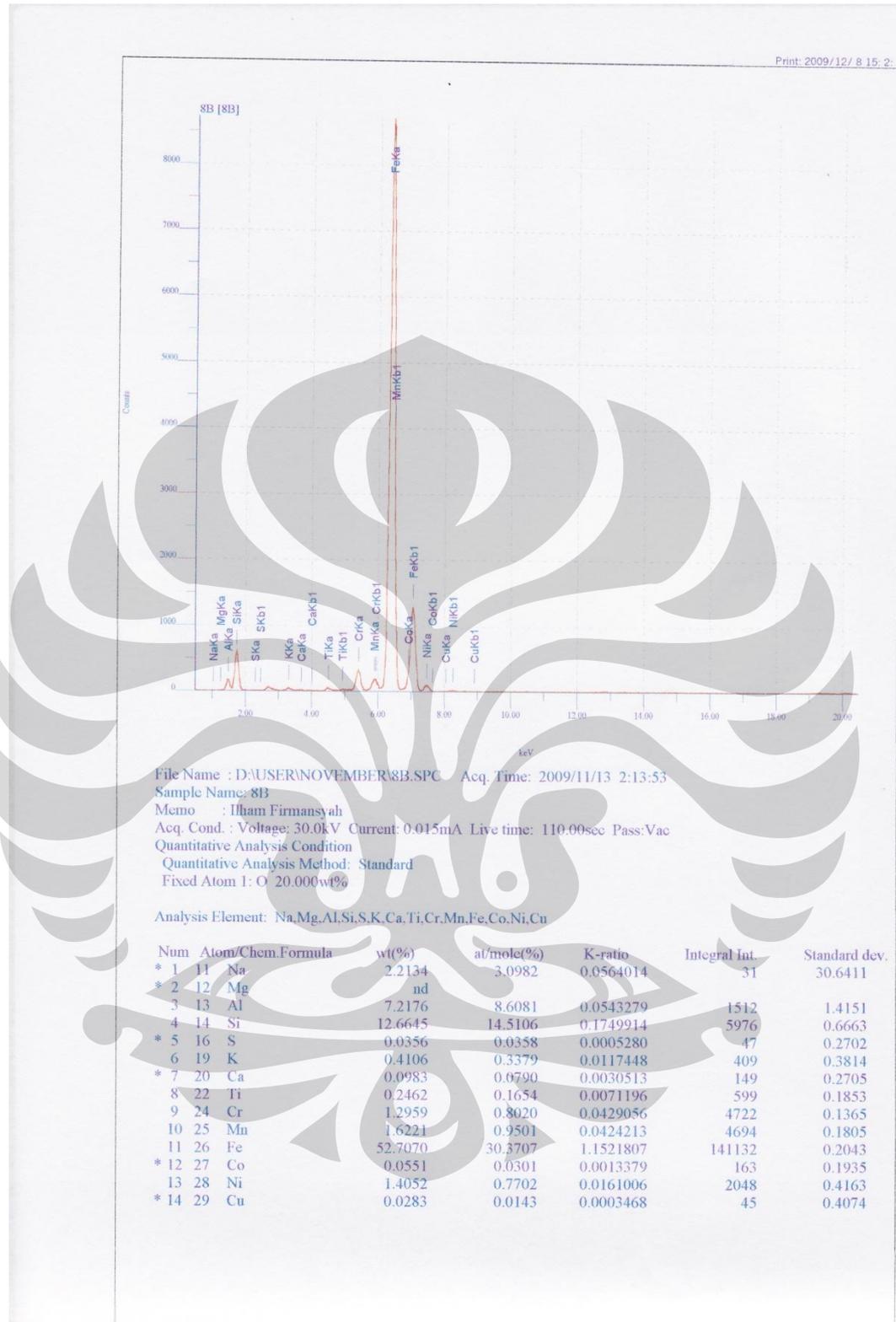


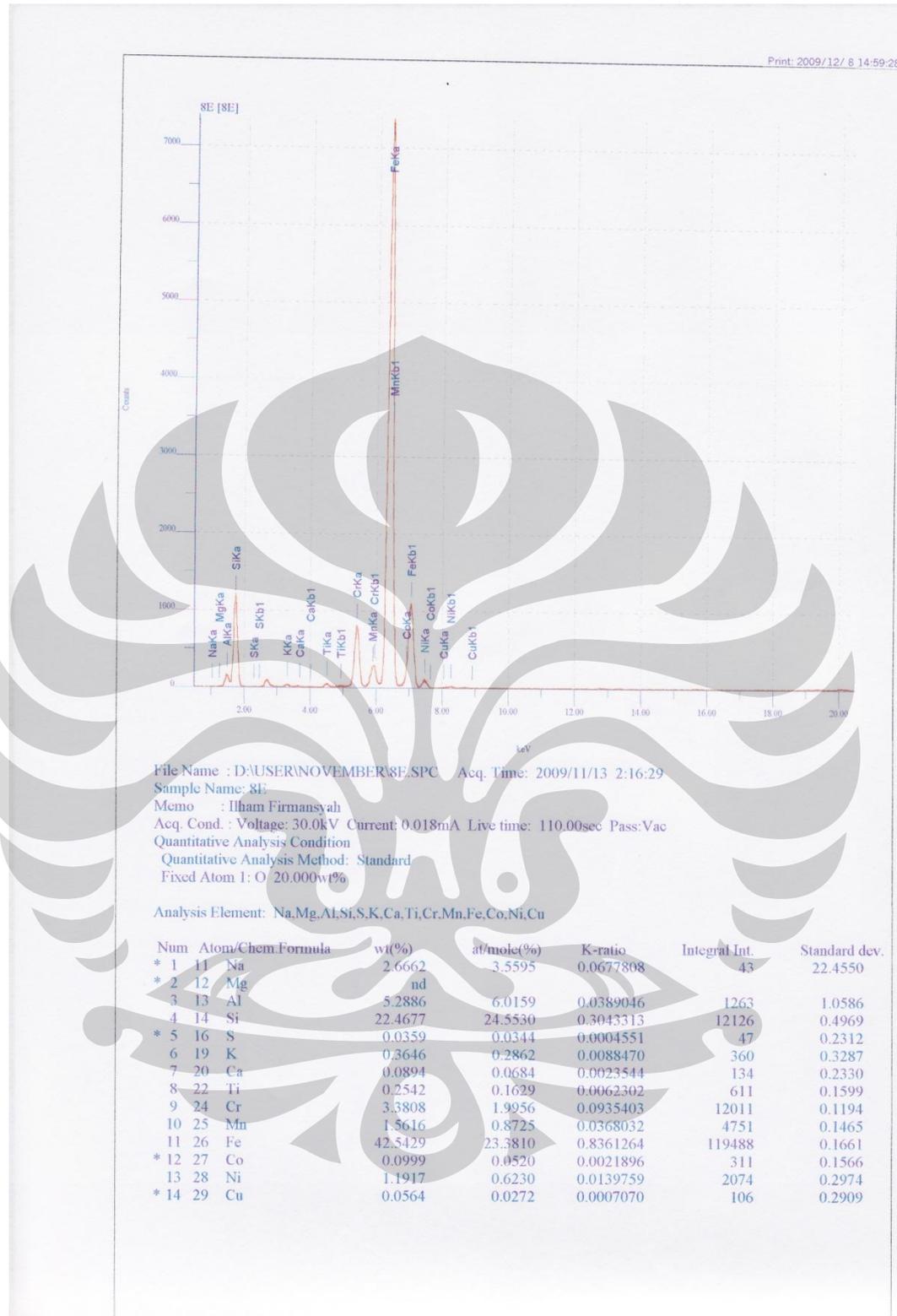


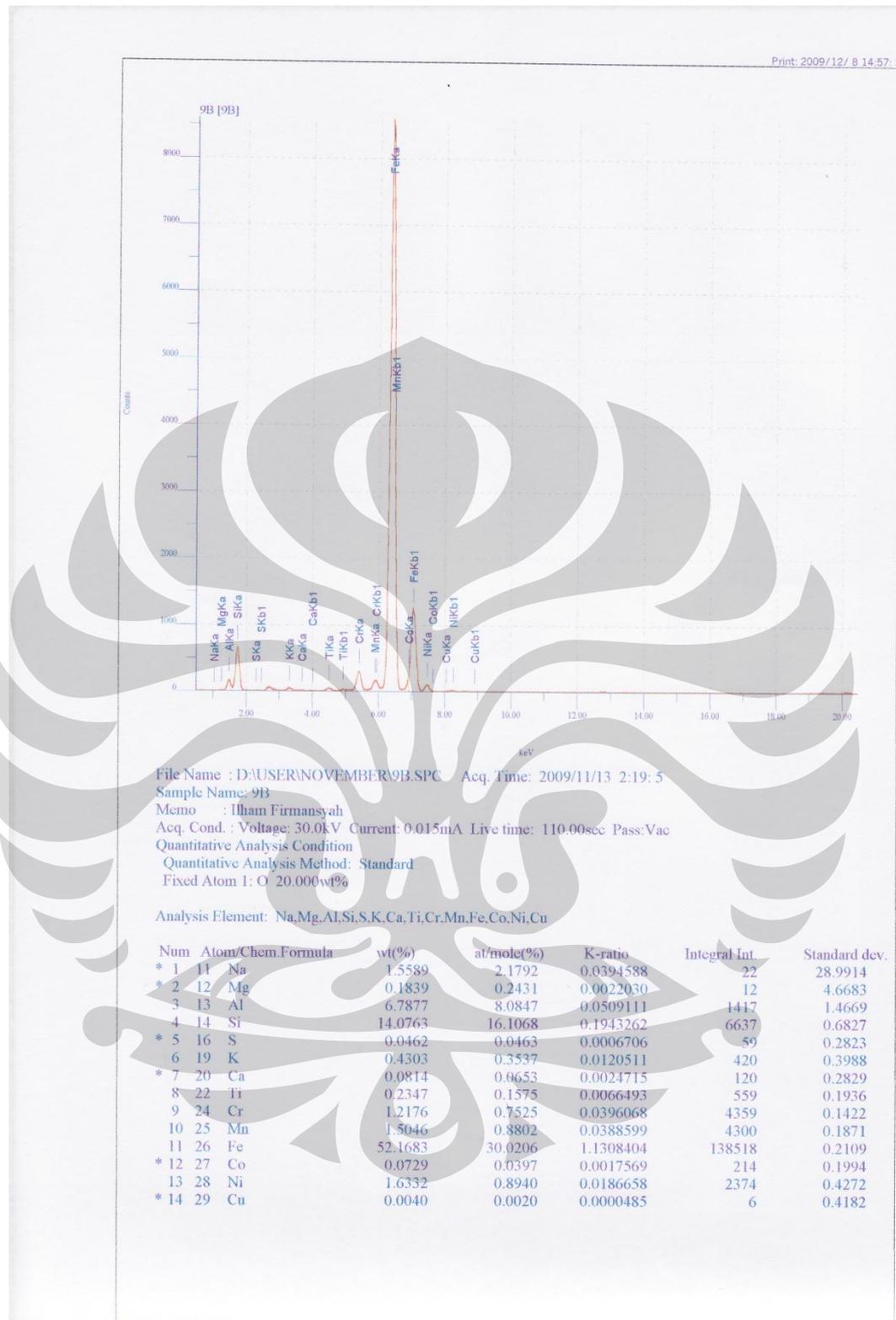


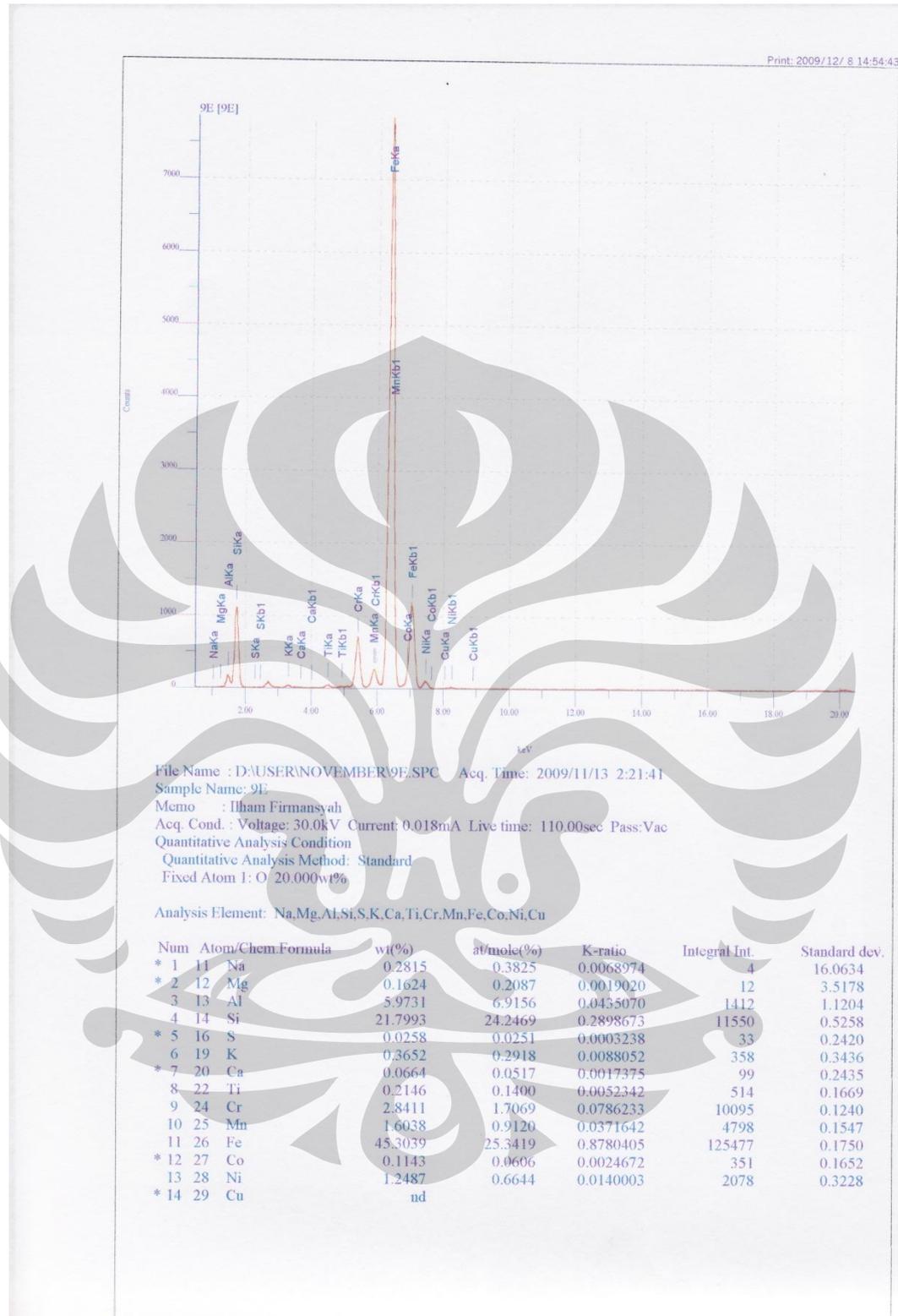


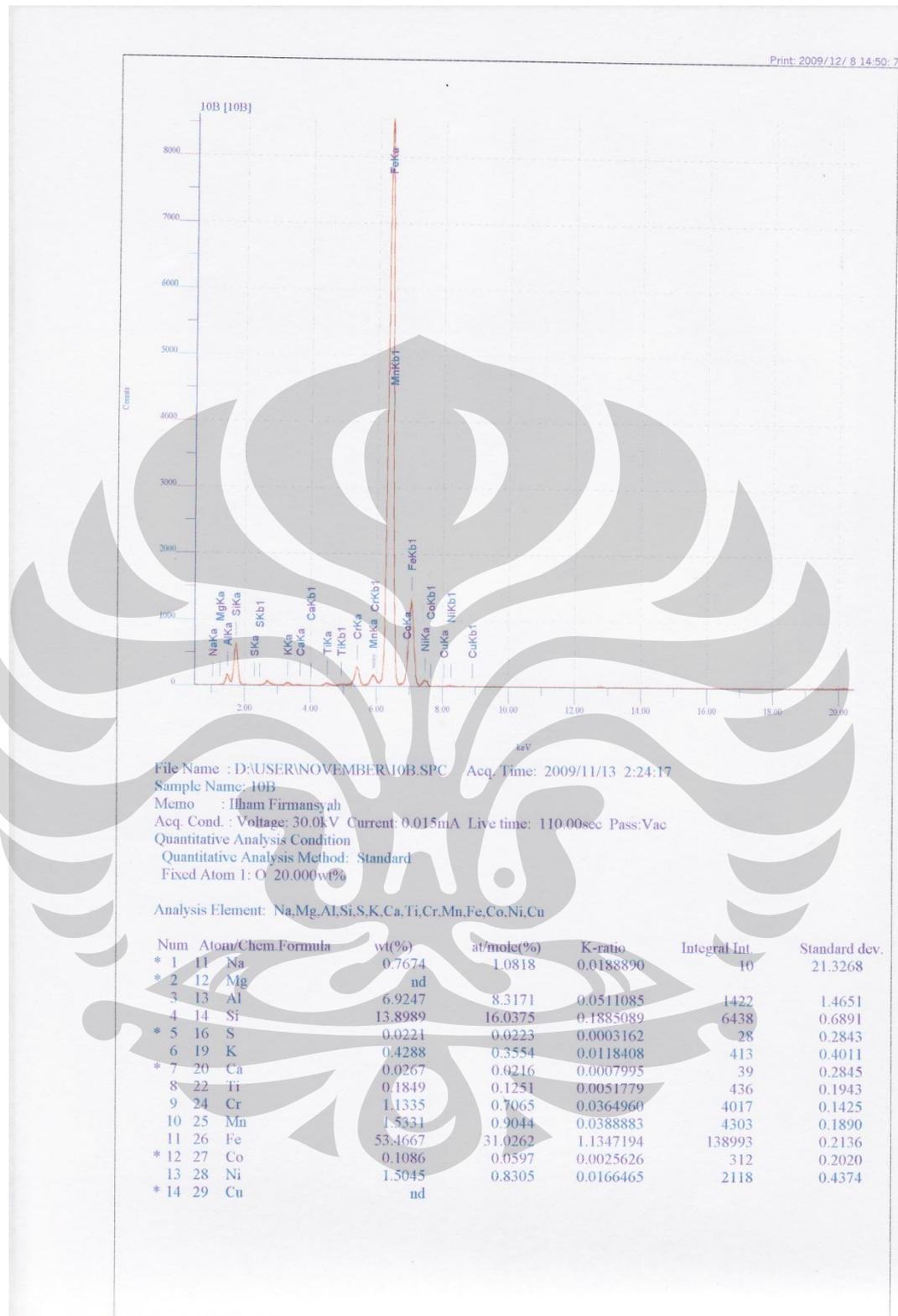


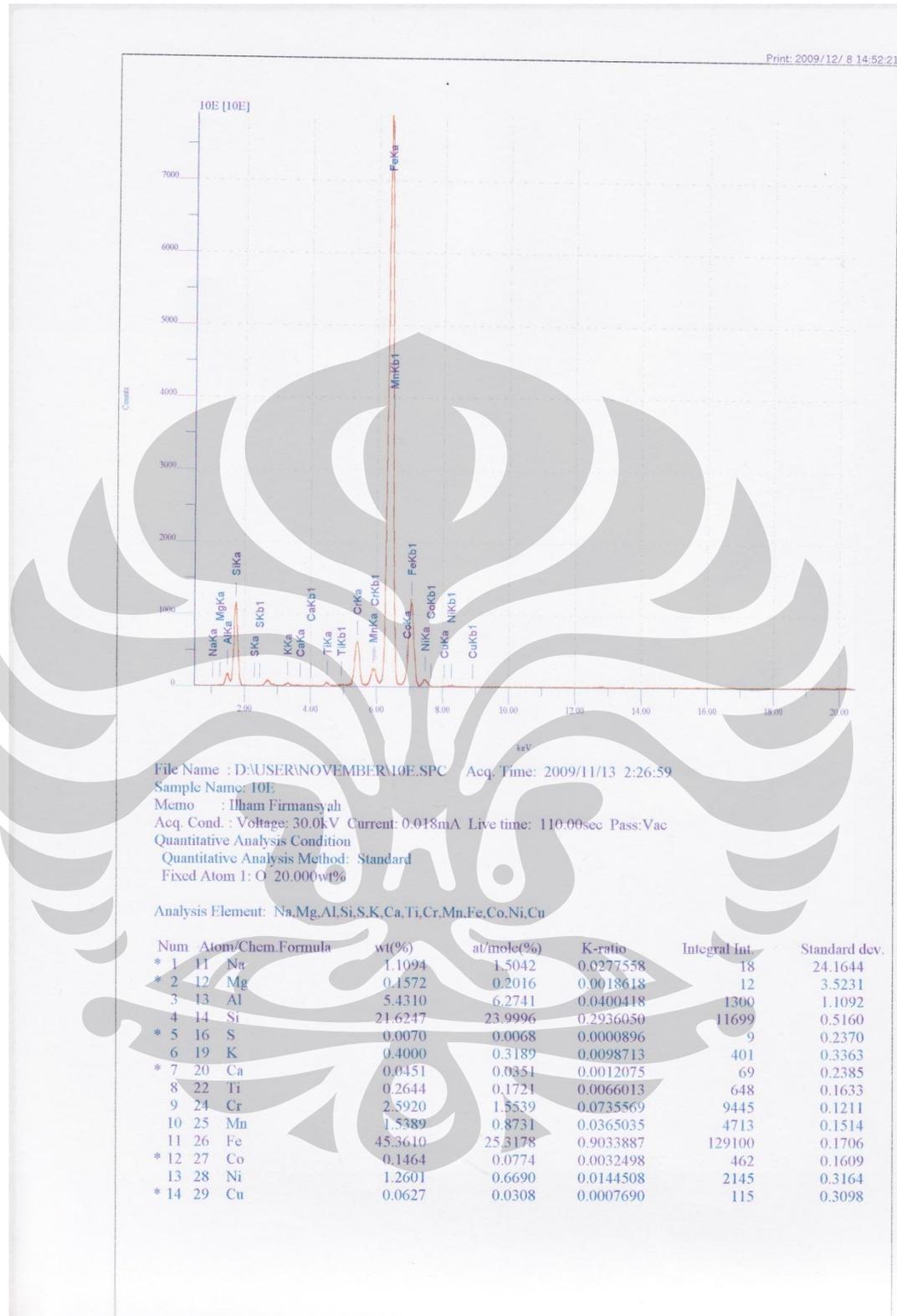


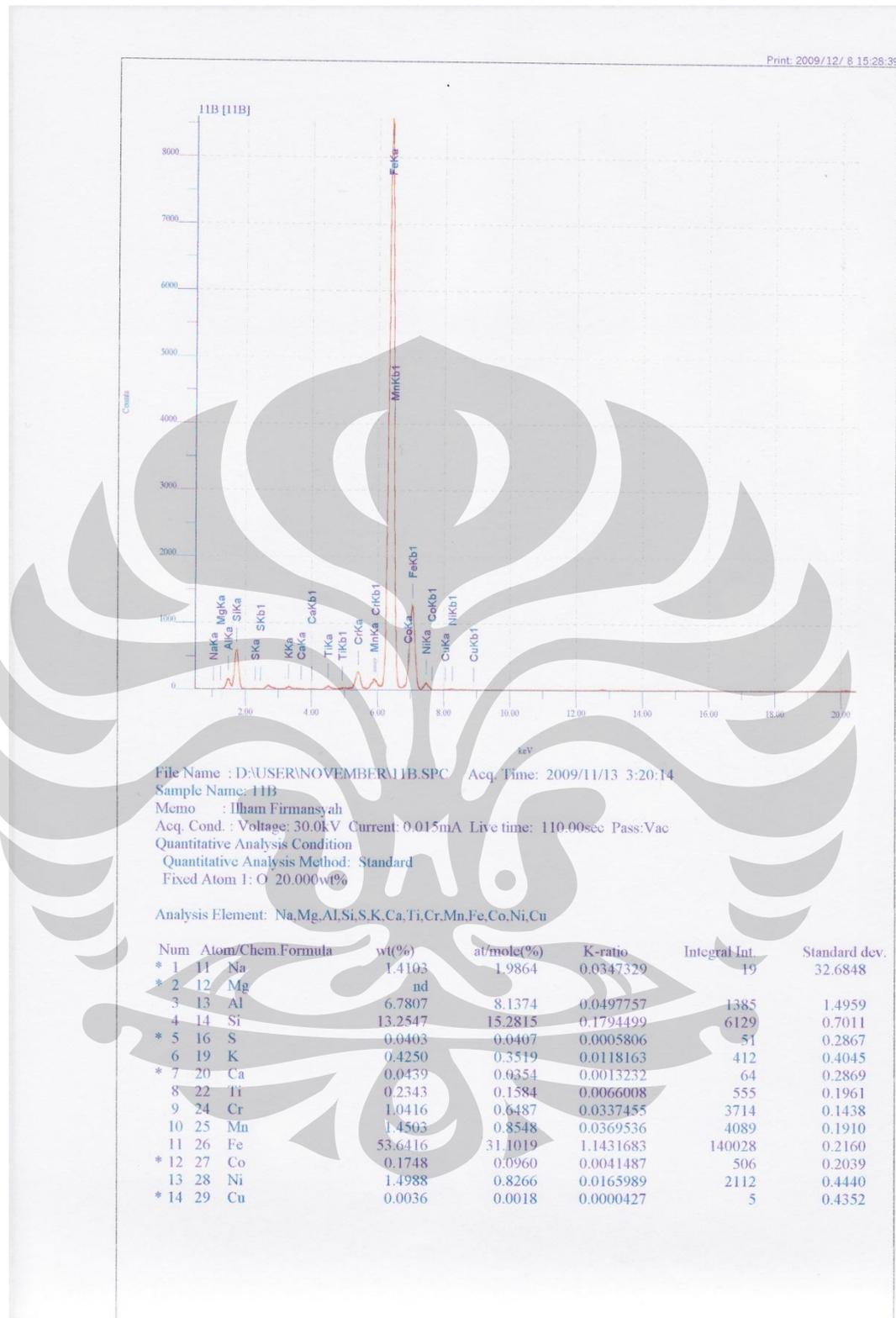


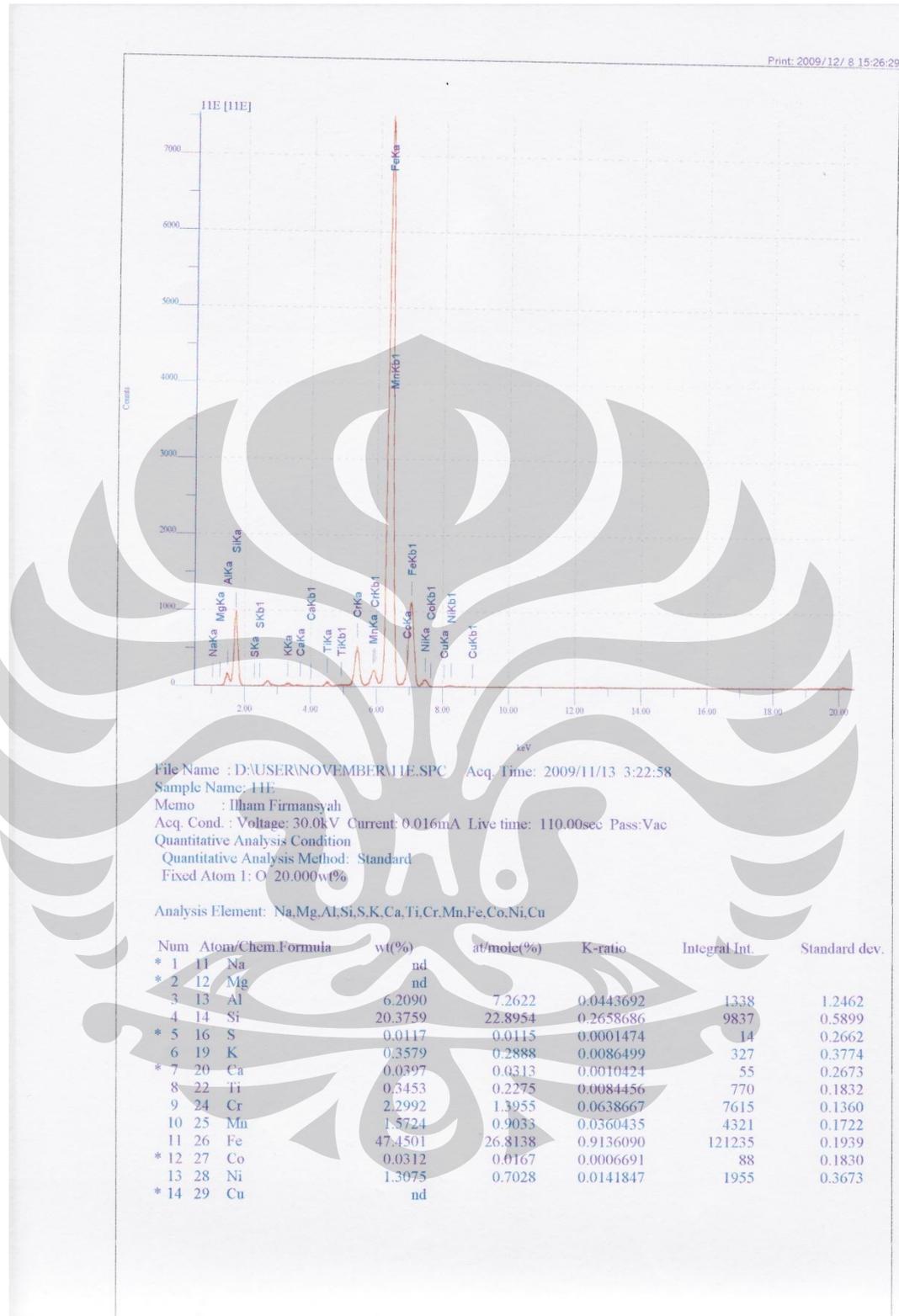


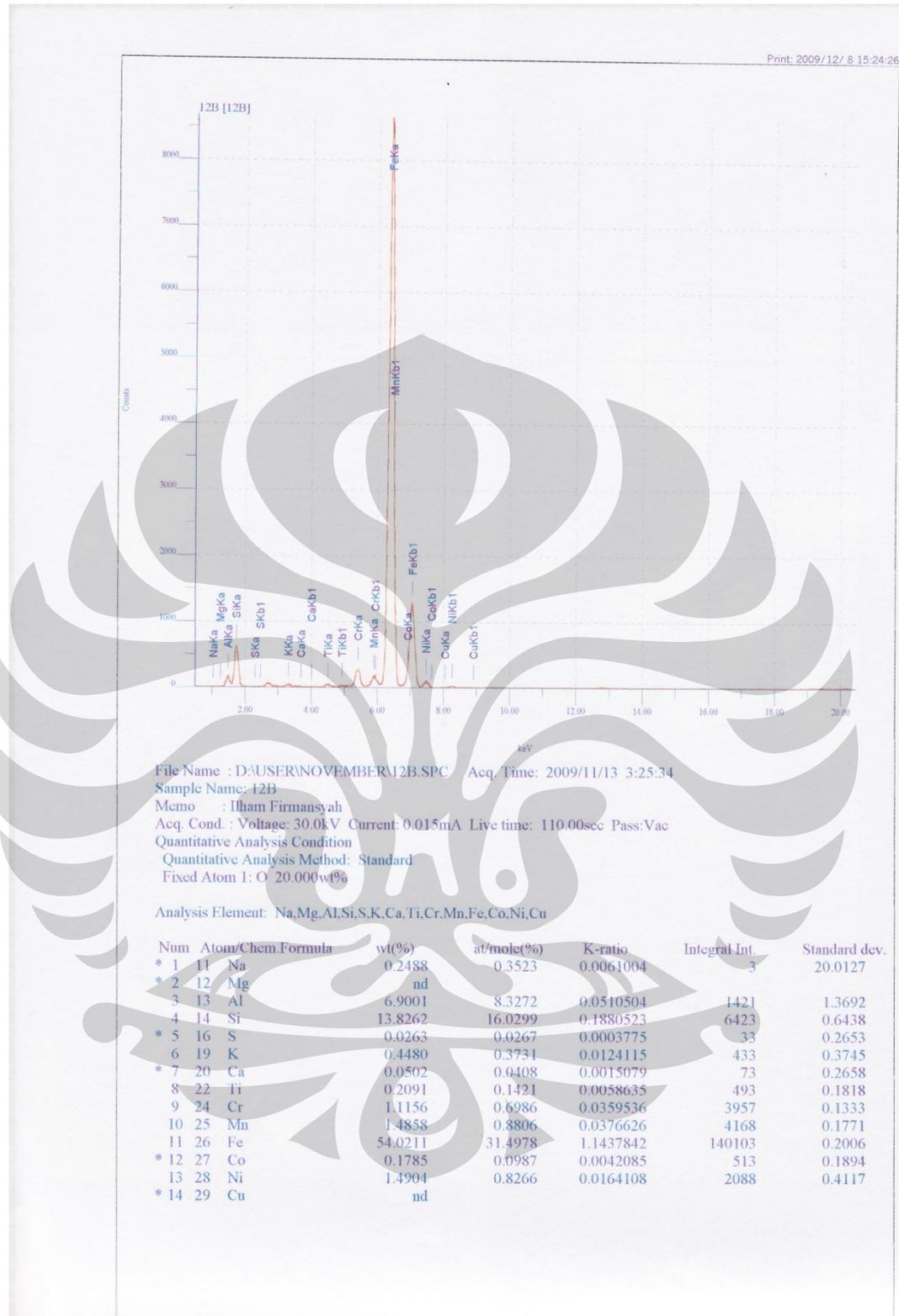


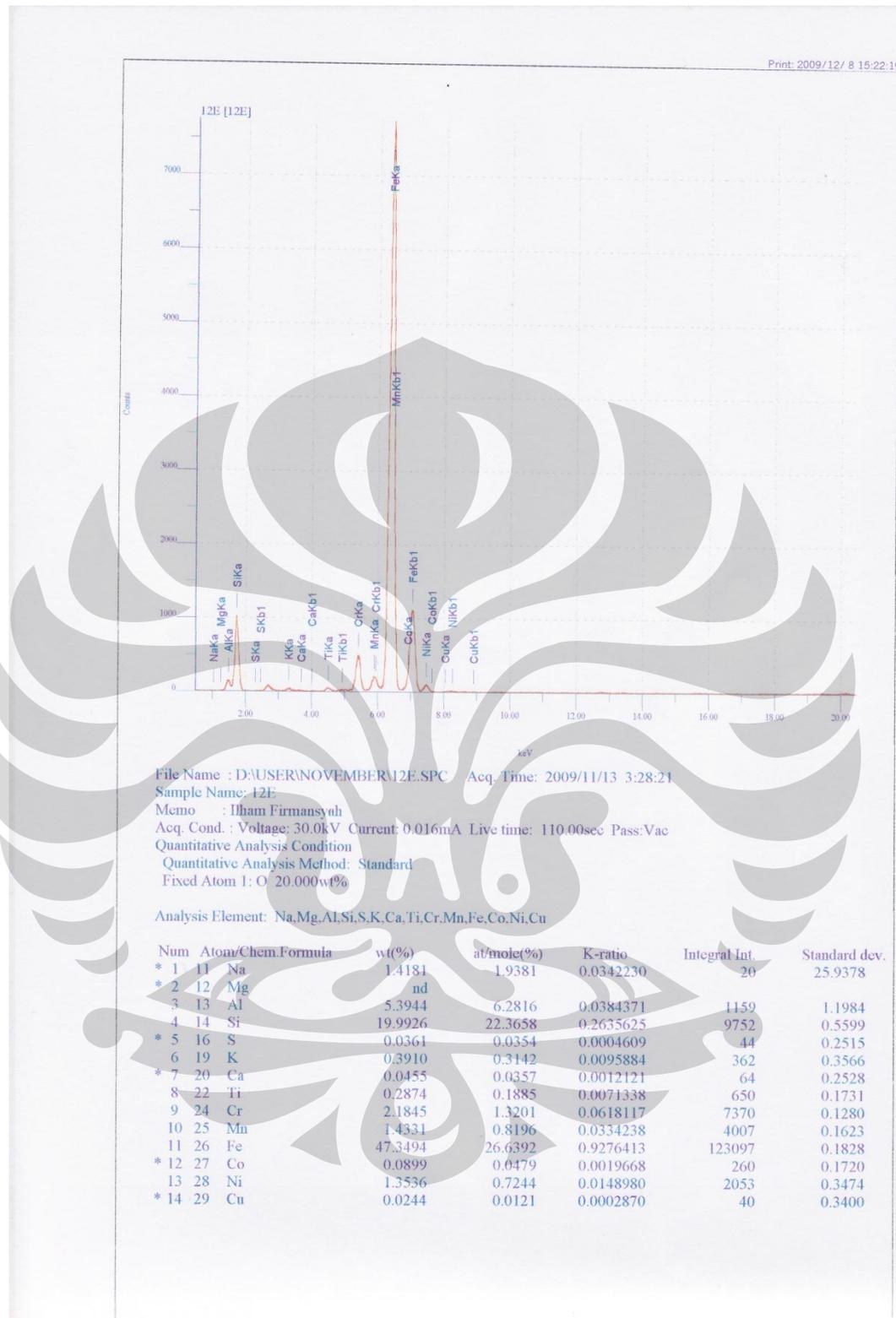


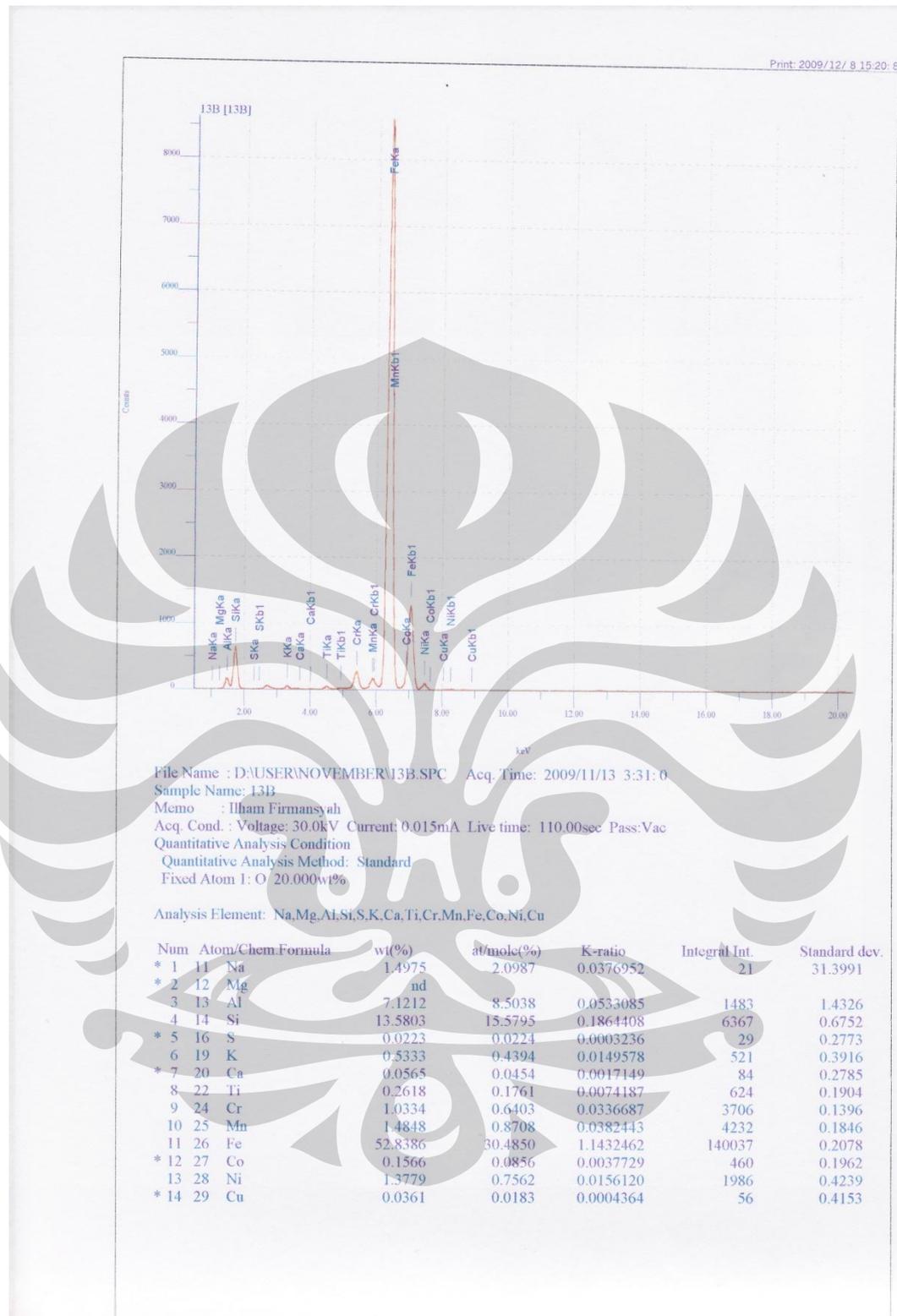


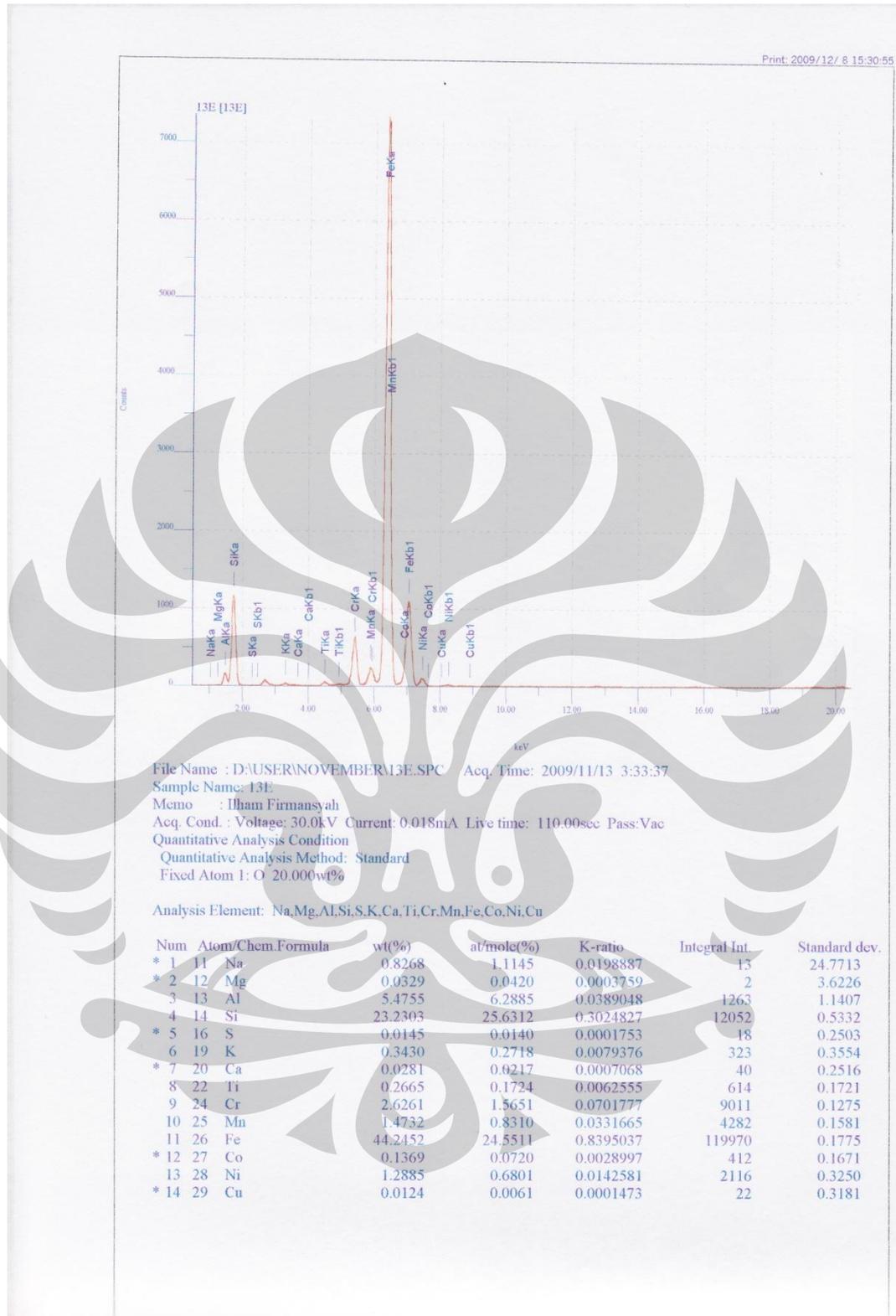


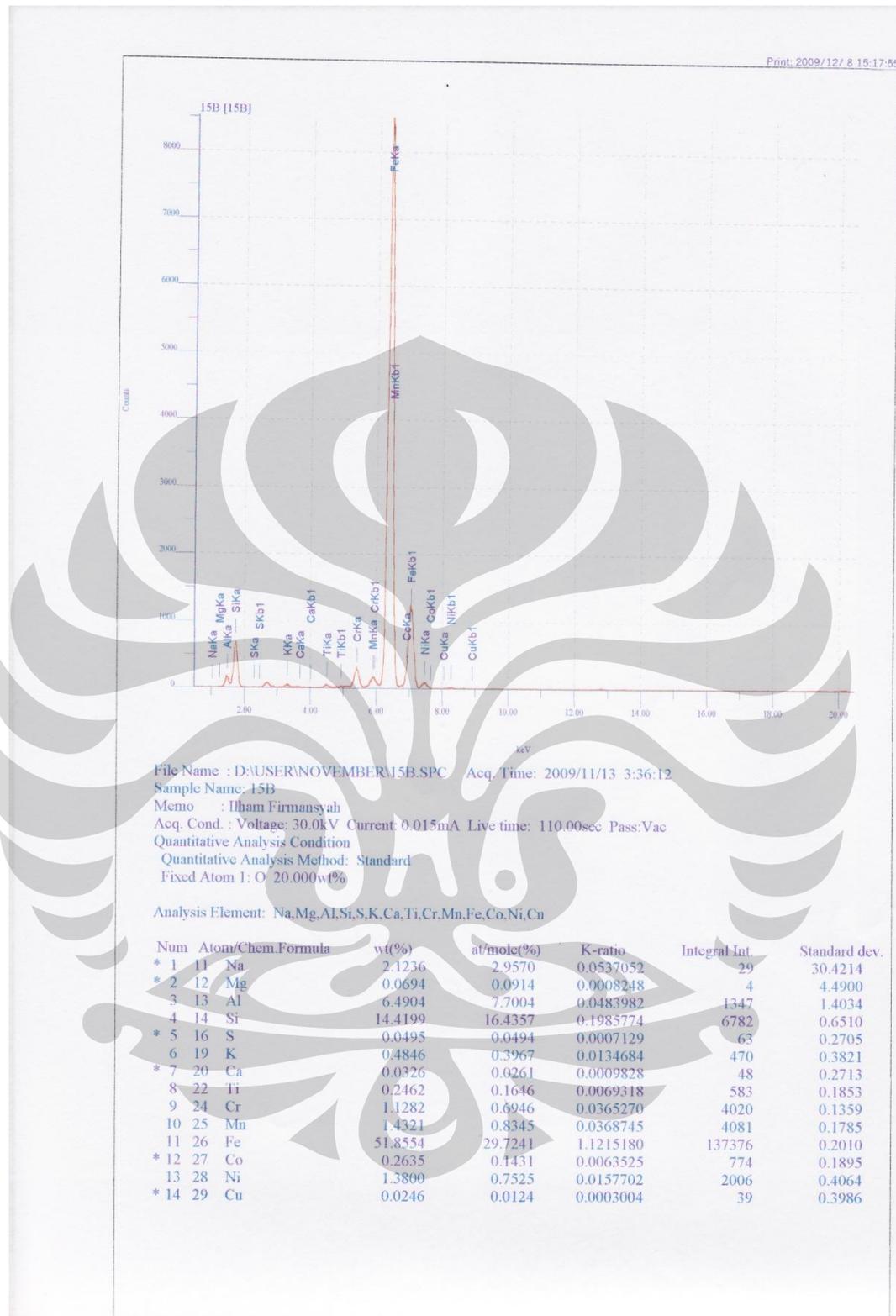


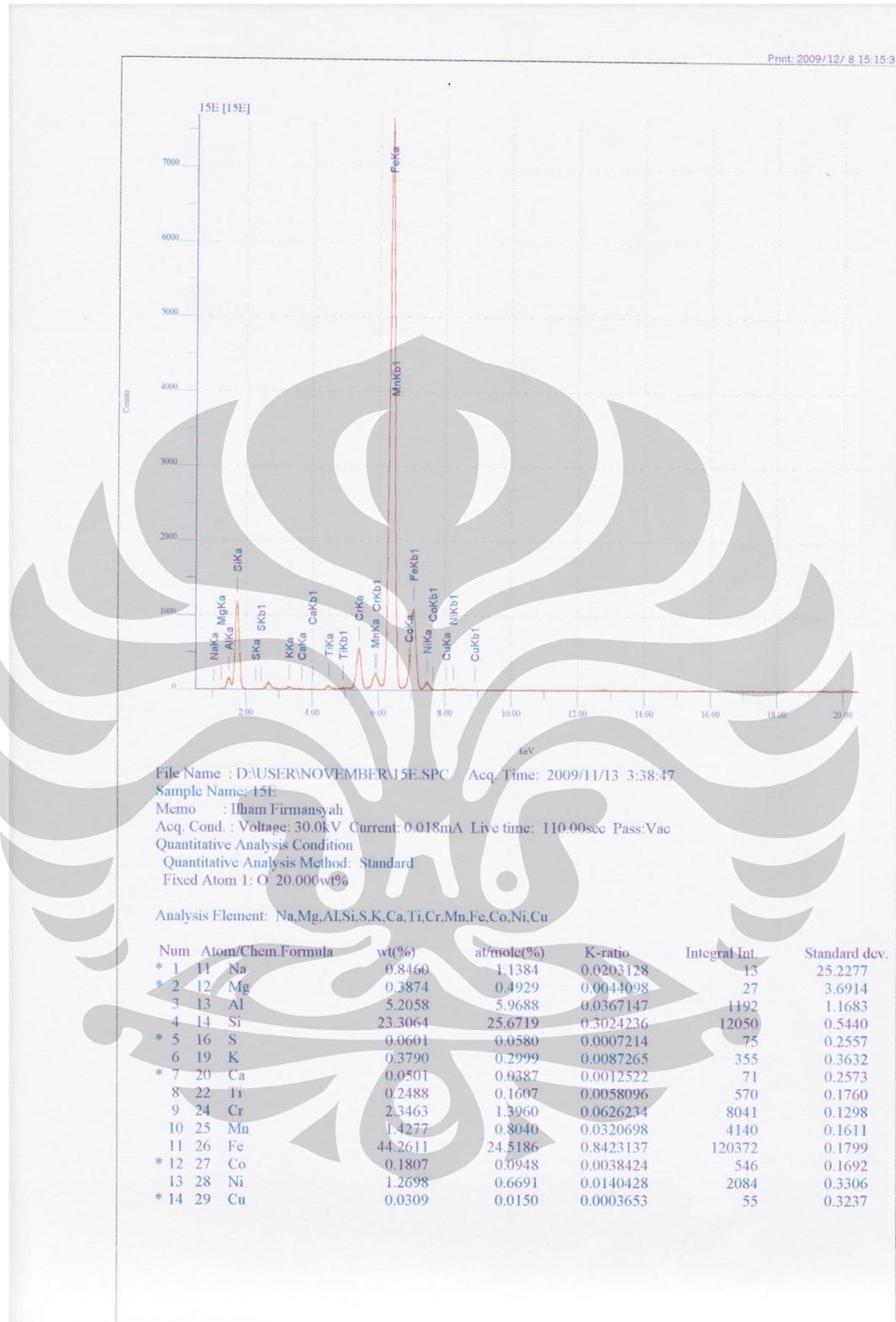


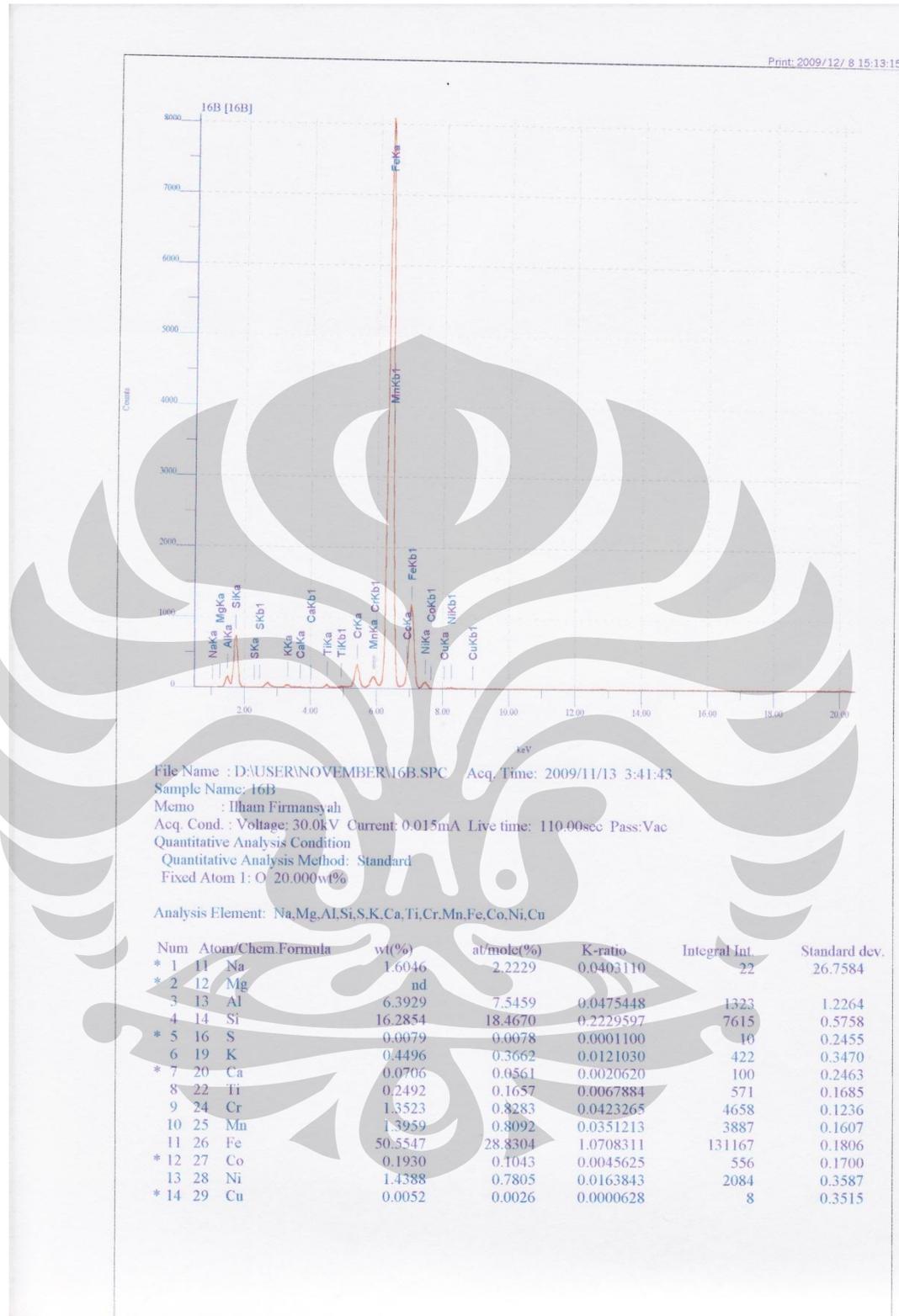


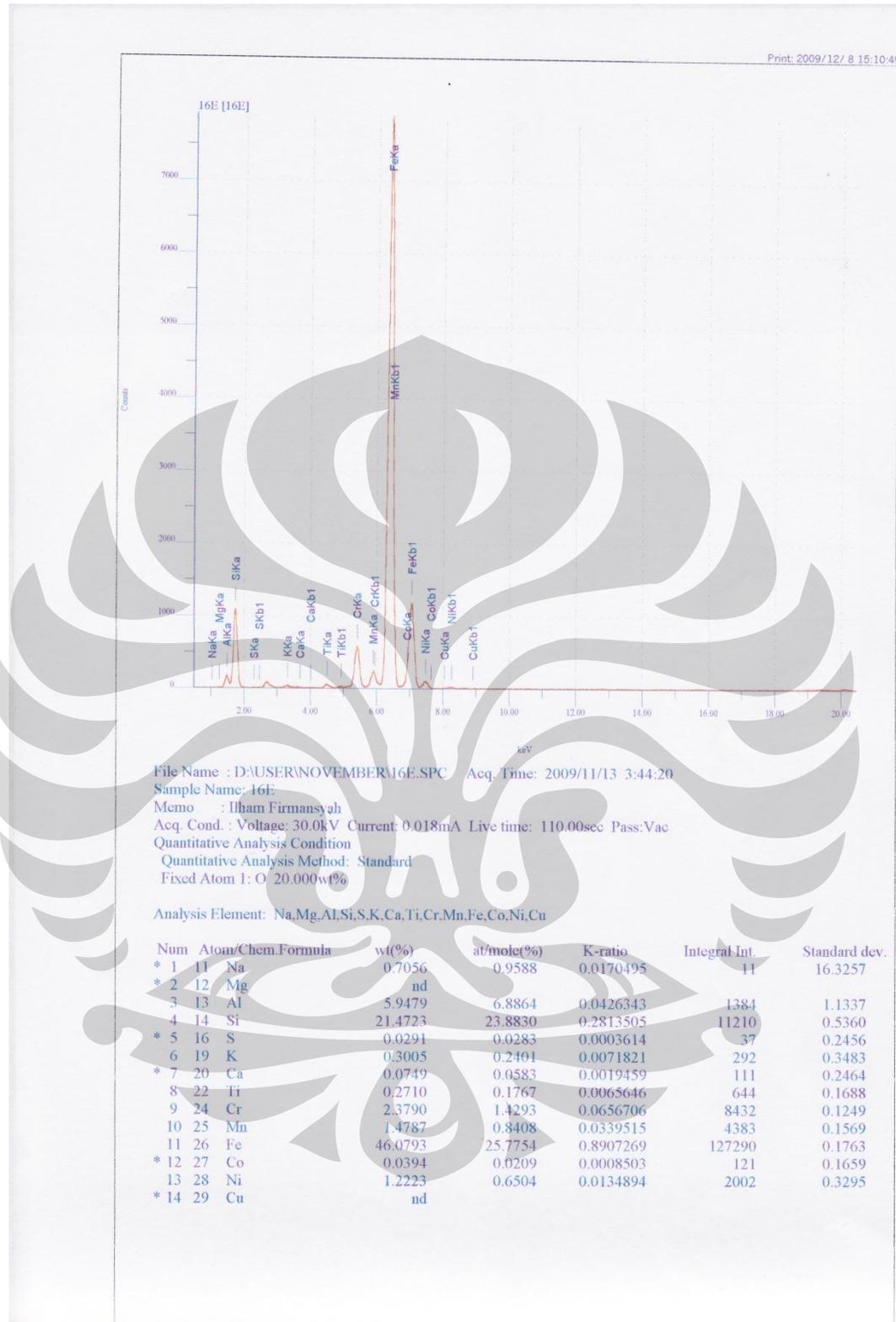


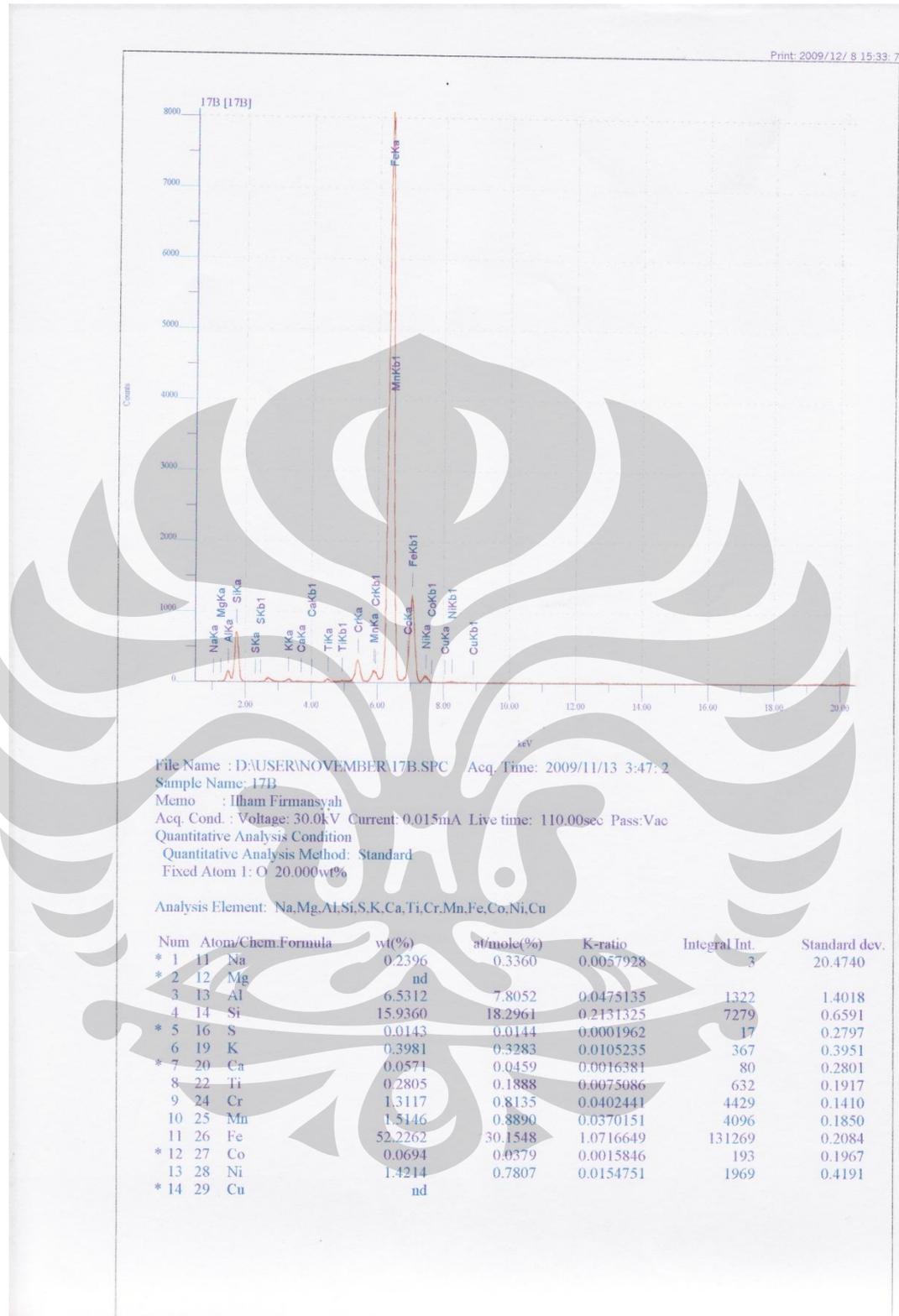


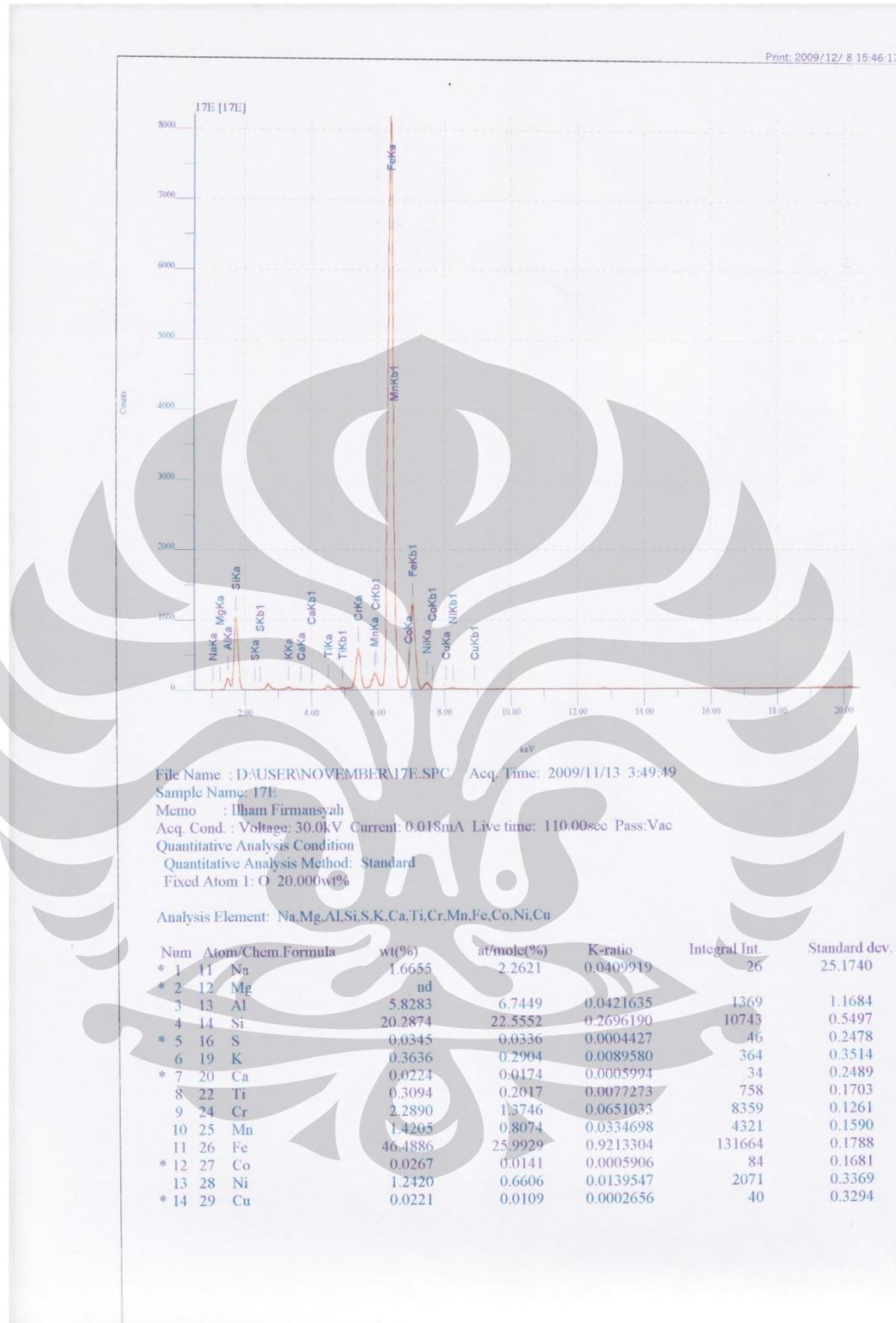


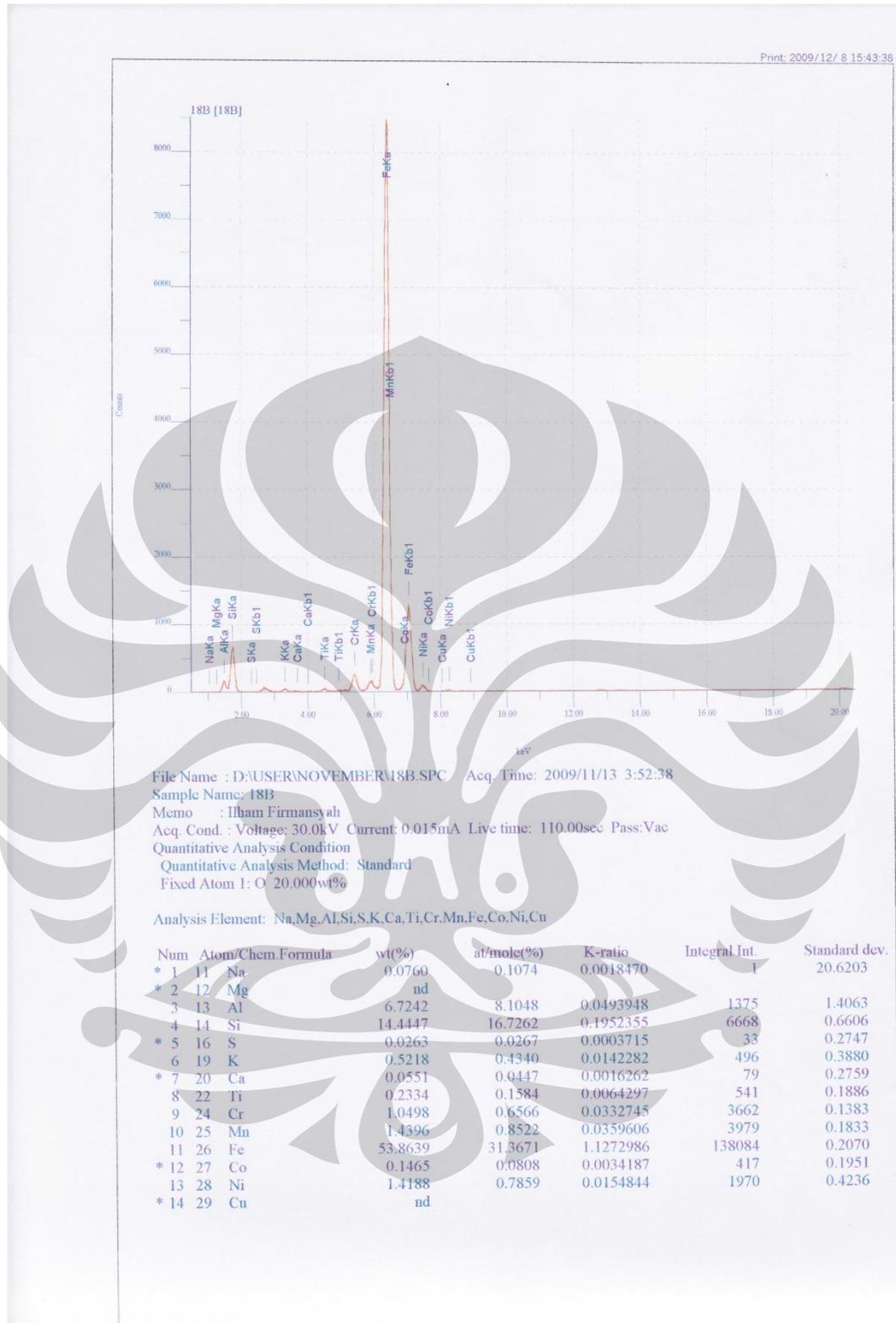


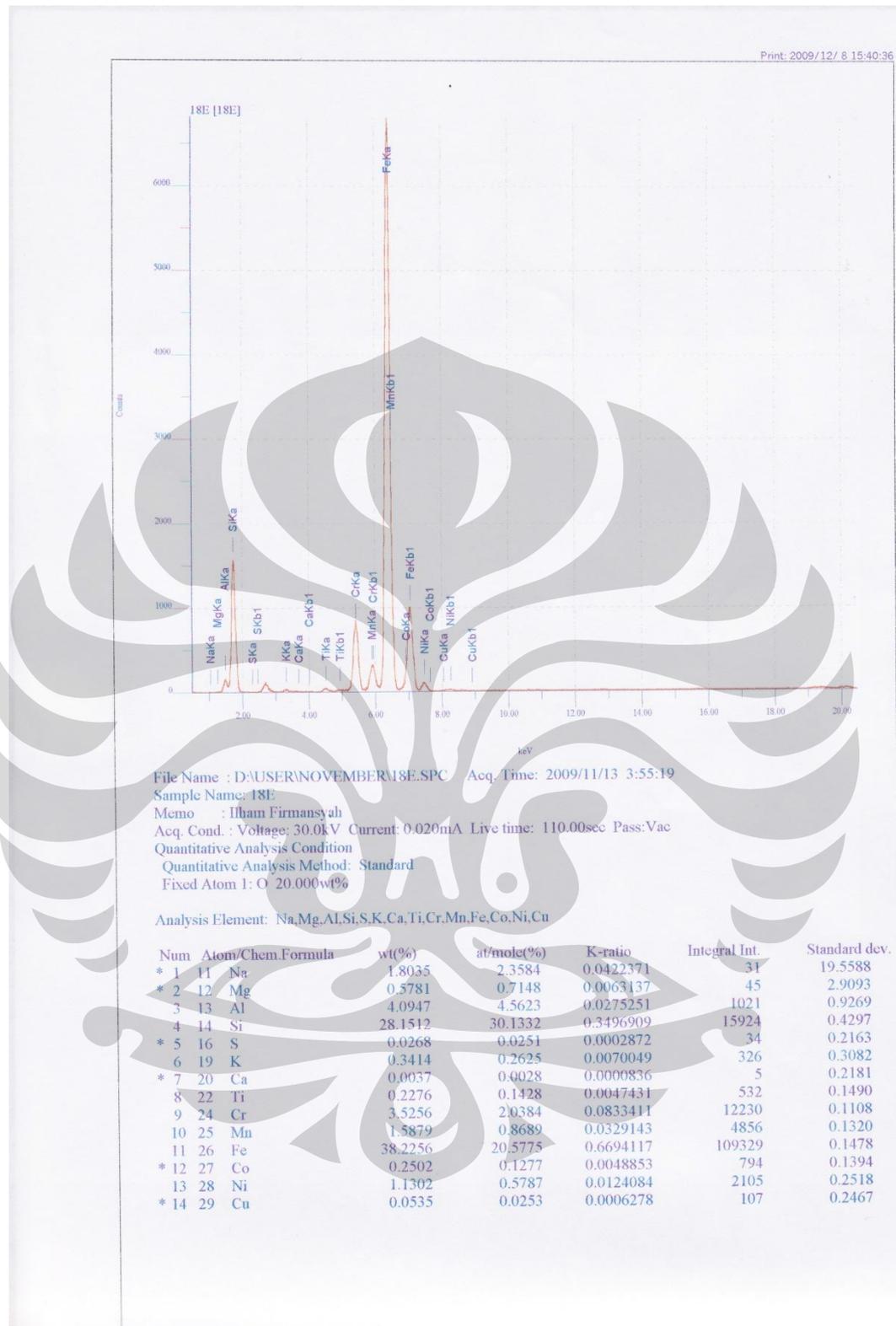












```

File: ILHAM31.DI                                     11-Dec-2009 15:27
=====
Material Science                                     PC-APD, Diffraction software

Sample identification: ilham31
Data measured at: 1-Dec-2009 16:20:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Co
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.78896
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.79285
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1/4°
Receiving slit: 0.2
Monochromator used: NO

Start angle [°2θ]: 20.000
End angle [°2θ]: 79.980
Step size [°2θ]: 0.020
Maximum intensity: 696.9600
Time per step [s]: 0.500
Type of scan: CONTINUOUS

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 17

Angle  d-value  d-value  Peak width  Peak int  Back. int  Rel. int  Signif.
[°2θ]  α1 [Å]  α2 [Å]  [°2θ]  [counts]  [counts]  [%]

24.180  4.2707  4.2799  0.160  199  188  28.5  2.10
24.760  4.1721  4.1812  0.280  132  185  19.0  1.77
27.920  3.7078  3.7158  0.480  22  174  3.2  0.76
30.965  3.3508  3.3581  0.120  697  169  100.0  6.92
38.645  2.7033  2.7092  0.240  79  156  11.4  1.78
41.645  2.5163  2.5218  0.240  86  156  12.4  1.47
43.050  2.4379  2.4432  0.320  83  154  11.9  1.12
46.140  2.2827  2.2876  0.160  62  146  9.0  1.05
47.060  2.2405  2.2454  0.240  45  146  6.4  0.81
48.230  2.1893  2.1941  0.960  25  146  3.6  1.13
49.720  2.1277  2.1323  0.160  32  144  4.7  0.84
53.745  1.9789  1.9832  0.120  36  137  5.2  0.76
58.910  1.8190  1.8230  0.080  77  142  11.1  0.89
63.295  1.7048  1.7085  0.960  38  142  5.5  1.11
70.905  1.5421  1.5455  0.120  52  139  7.4  1.44
73.160  1.5009  1.5042  0.960  17  135  2.4  0.91
76.145  1.4505  1.4537  0.640  20  137  2.9  0.88

```

File: ILHAM25.DI

11-Dec-2009 15:25

Material Science

PC-APD, Diffraction software

Sample identification: ilham25
Data measured at: 1-Dec-2009 15:17:00

Diffraction type: PW3710 BASED
Tube anode: Co
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.78896
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.79285
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1/4°
Receiving slit: 0.2
Monochromator used: NO

Start angle [°2θ]: 20.000
End angle [°2θ]: 79.980
Step size [°2θ]: 0.020
Maximum intensity: 707.5600
Time per step [s]: 0.500
Type of scan: CONTINUOUS

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 18

Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
22.900	4.5059	4.5157	0.400	30	193	4.3	0.83
24.065	4.2908	4.3001	0.120	180	190	25.4	1.50
24.580	4.2022	4.2113	0.400	149	190	21.0	3.39
27.810	3.7221	3.7302	0.960	18	177	2.5	1.07
29.260	3.5414	3.5491	0.120	31	177	4.4	0.84
30.825	3.3657	3.3730	0.160	708	174	100.0	11.55
38.555	2.7094	2.7153	0.480	85	161	12.0	3.15
41.485	2.5256	2.5311	0.240	90	159	12.8	1.26
42.610	2.4619	2.4672	0.320	98	159	13.9	1.25
46.080	2.2855	2.2905	0.200	37	156	5.3	1.18
46.950	2.2455	2.2504	0.320	40	154	5.6	0.78
48.005	2.1989	2.2037	0.800	32	154	4.6	1.70
49.550	2.1345	2.1392	0.240	26	151	3.7	0.83
58.835	1.8211	1.8251	0.240	79	146	11.2	2.43
62.765	1.7177	1.7214	0.640	37	151	5.3	0.97
68.140	1.5967	1.6002	0.960	12	144	1.6	0.88
70.825	1.5436	1.5470	0.160	62	144	8.8	1.01
75.860	1.4552	1.4583	0.480	28	149	4.0	1.70

File: ILHAM26.DI

11-Dec-2009 15:26

Material Science

PC-APD, Diffraction software

Sample identification: ilham26
Data measured at: 1-Dec-2009 15:47:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Co
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.78896
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.79285
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1/4°
Receiving slit: 0.2
Monochromator used: NO

Start angle [°2θ]: 20.000
End angle [°2θ]: 79.980
Step size [°2θ]: 0.020
Maximum intensity: 1310.440
Time per step [s]: 0.500
Type of scan: CONTINUOUS

Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 18

Angle [°2θ]	d-value α1 [Å]	d-value α2 [Å]	Peak width [°2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
21.160	4.8717	4.8823	0.120	71	169	5.4	0.97
21.465	4.8032	4.8137	0.120	81	169	6.2	1.32
24.005	4.3013	4.3107	0.080	256	169	19.5	0.86
24.510	4.2140	4.2232	0.240	114	169	8.7	1.16
30.720	3.3769	3.3842	0.140	1310	156	100.0	11.11
30.880	3.3598	3.3671	0.080	942	156	71.9	0.96
38.505	2.7127	2.7186	0.400	62	144	4.8	1.71
41.475	2.5262	2.5317	0.080	77	144	5.9	0.94
42.710	2.4564	2.4617	0.800	62	144	4.8	3.61
46.010	2.2888	2.2938	0.200	52	135	4.0	1.47
46.940	2.2459	2.2508	0.160	42	135	3.2	1.00
47.575	2.2177	2.2225	0.960	18	135	1.3	1.25
53.675	1.9813	1.9856	0.480	18	123	1.4	0.93
58.870	1.8201	1.8241	0.100	100	128	7.6	0.96
62.715	1.7189	1.7226	0.480	30	125	2.3	1.25
64.580	1.6744	1.6781	0.240	61	128	4.6	3.10
70.925	1.5418	1.5451	0.280	37	128	2.8	2.09
75.950	1.4537	1.4568	0.480	26	125	2.0	1.18