



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGGUNAAN BAHAN BAKAR BRIKET KOKAS
DAN CAMPURAN KOKAS-BRIKET KOKAS
PADA PROSES SINTERING BIJIH NIKEL SAPROLIT**

SKRIPSI

**HIKMAT SURYA HIMANDA
0806369013**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
Januari 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGGUNAAN BAHAN BAKAR BRIKET KOKAS
DAN CAMPURAN KOKAS-BRIKET KOKAS
PADA PROSES SINTERING BIJIH NIKEL SAPROLIT**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**HIKMAT SURYA HIMANDA
0806369013**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK METALURGI DAN MATERIAL
DEPOK
Januari 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Hikmat Surya Himanda

NPM : 0806369013

Tanda Tangan :

Tanggal : 7 Januari 2011



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Hikmat Surya Himanda
NPM : 0806369013
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul Skripsi : Penggunaan Bahan Bakar Briket Kokas dan
Campuran Kokas-Briket Kokas pada Proses
Sintering Bijih Nikel Saprolit

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Sri Harjanto ()
Penguji 1 : Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Eng ()
Penguji 2 : Deni Ferdian ST. M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 7 Januari 2011

KATA PENGANTAR

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

1. Dr.Ir. Sri Harjanto, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan tenaga, waktu dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Orang tua, keluarga, Mbak Ari dan Mas Koko, yang telah banyak memberikan dukungan moral dan material;
3. Heri sebagai rekan kerja dalam menjalankan penelitian dan teman-teman ekstensi metalurgi: Badak, Cumi, Ruth; serta
4. Zakiyuddin, Reza MU, Mamat, Bu Tati (Tekmira), Pak Pri (UIN), Pak Wisnu (Batan), Pak Bahtiar (Labfor Mabes Polri) dan berbagai pihak yang membantu dalam proses penelitian.

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

Depok, 7 Januari 2011

Penulis

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

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

Nama : Hikmat Surya Himanda
NPM : 0806369013
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Departemen : Teknik Metalurgi dan Material
Fakultas : Teknk
Jenis karya : Skripsi

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

Penggunaan Bahan Bakar Briket Kokas dan Campuran Kokas-Briket Kokas pada Proses Sintering Bijih Nikel Saprolit

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 7 Januari 2011

Yang menyatakan

(Hikmat Surya Himanda)

ABSTRAK

Nama : Hikmat Surya Himanda
Program Studi : Teknik Metalurgi dan Material
Judul : Penggunaan Bahan Bakar Briket Kokas dan Campuran
Kokas-Briket Kokas pada Proses Sintering Bijih Nikel Saprolit

Saprolit merupakan bijih nikel laterit yang bisa diproses secara pirometalurgi, salah satunya adalah melalui proses sintering. Pada proses sintering nikel saprolit, pembakaran bahan bakar padat dapat menghasilkan panas yang dibutuhkan untuk sintering partikel-partikel halus dan menentukan kualitas saprolit sinter. Kokas merupakan bahan bakar ideal untuk proses sintering, namun penggantian atau substitusi sebagian kokas dengan bahan bakar yang lebih murah dianggap cukup efektif dalam aplikasinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar briket kokas sebanyak 10,12, dan 14% serta campuran kokas-briket kokas sebanyak (4%,8%), (6%,6%), dan (8%,4%) terhadap kekuatan, mineralogi dan struktur saprolit sinter. Proses sintering dan produknya kemudian dibandingkan dengan sintering yang menggunakan bahan bakar kokas 12%.

Pengujian XRD dan XRF dilakukan untuk mengetahui mineralogi dan komposisi saprolit sebelum sintering. Pengujian XRD, XRF, SEM dan *Shatter Test* masing-masing dilakukan untuk mengetahui mineralogi, komposisi kimia (%Ni), struktur mikro dan kekuatan sinter. Pengamatan profil temperatur dengan menggunakan termokopel tipe-R dilakukan untuk membandingkan laju pemanasan, laju pendinginan, temperatur maksimum, dan lamanya waktu di zona pembakaran antara sintering dengan bahan bakar kokas dan briket kokas.

Hasil XRD menunjukkan fasa utama penyusun saprolit sinter adalah $MgFe_2O_4$, SiO_2 dan senyawa-senyawa Cr oksida. Ni pada saprolit sinter membentuk senyawa spinel $NiFe_2O_4$ dan $NiCr_2O_4$. %Ni sinter tertinggi diperoleh dengan bahan bakar briket kokas 10%. Peningkatan komposisi briket kokas menurunkan %Ni sinter. %Ni sinter tertinggi untuk campuran bahan bakar briket kokas dan kokas dicapai pada komposisi briket kokas 8% - kokas 4%, pengurangan proporsi briket kokas pada campuran bahan bakar juga diikuti oleh penurunan %Ni. Secara keseluruhan, kualitas sinter terbaik dicapai dengan penggunaan bahan bakar briket kokas 10%.

Kata kunci: substitusi kokas, briket kokas, saprolit sinter, sintering bijih nikel

ABSTRACT

Name : Hikmat Surya Himanda
Major : Metallurgy and Material
Title : Utilization of Coke Briquette as Coke Substitute And
The Mixture of Coke Briquette-Coke in The Sintering of
Saprolitic Nickel Ore

Saprolite is a lateritic nickel ore that can be processed by pyrometallurgical methods, one of which is through sintering. In a nickel ore sintering, combustion of solid fuel supplies heat needed for sintering of fine particles and determines the quality of the sintered ores. Coke has been widely used as an ideal fuel for sintering process, but recent attempts to partially replace or substitute coke with a less expensive fuel have been considered effective in a real applications. The aim of this research was to investigate the effects of using coke briquette fuel with composition of 10%, 12%, 14% and coke briquette-coke mixture with compositions of (4%, 8%), (6%, 6%), (8%, 4%) on the strength, mineralogy, and structure of the sintered saprolites. The process and its product were then compared to the sintering that used coke fuel with composition of 12%.

XRD and XRF tests were done to find out the mineralogy and chemical composition of saprolite prior to sintering. XRD, XRF, SEM and Shatter Tests were respectively conducted to determine the mineralogy, chemical composition (%Ni), microstructure, and strength of the sinter. Observation of the temperature profile using R-type thermocouples were done to compare the heating rate, cooling rate, maximum temperature, and duration time in the combustion zone between the sintering with coke and coke briquette fuels.

XRD results show that the main phases of the sinter are $MgFe_2O_4$, SiO_2 , and Cr oxides. Ni formed as spinel compounds in $NiFe_2O_4$ and $NiCr_2O_4$. The highest %Ni is obtained by sintering with coke briquette of 10% composition. Increasing coke briquette composition lowers %Ni of the sintered ores. The highest %Ni for fuel mixture was attained by the composition of 8% coke briquettes and 4% cokes. Reduction in the proportion of coke briquette in the fuel mixture was also followed by a decrease in %Ni. Overall, the best quality of sinter achieved with the use of 10% coke briquettes.

Keywords: coke substitute, coke briquette, sintered saprolite, nickel ore sintering

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan permasalahan.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Proses Sintering.....	6
2.2 Pembagian Zona Sintering.....	8
2.2.1 zona basah.....	8
2.2.2 zona reaksi sintering.....	9
2.2.3 zona akhir.....	10
2.3 Profil Temperatur dan Input Panas.....	10
2.4 Struktur Sinter.....	12
2.5 Mineralogi Saproilit Sinter.....	12
2.6 Bahan Bakar Sintering.....	12
2.7 Kualitas Sinter.....	13
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	15
3.2 Prosedur Penelitian.....	16
3.2.1 Bahan Penelitian.....	16
3.2.2 Peralatan.....	16
3.2.3 Persiapan dan Sintering.....	17
3.2.4 Karakterisasi dan Pengujian.....	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	20
4.1 Komposisi Bahan Bakar.....	20
4.2 Berat Saproilit Sinter.....	20
4.3 Mineralogi Nikel Saproilit.....	21
4.4 Profil Temperatur.....	24
4.5 Mineralogi Saproilit Sinter.....	27
4.6 Reduksi Saproilit Sinter dan Pengaruh Bahan Bakar.....	31
4.7 Struktur Makro dan Mikro Saproilit Sinter.....	36
4.8 Kekuatan Sinter.....	40

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....43
DAFTAR PUSTAKA44



DAFTAR GAMBAR

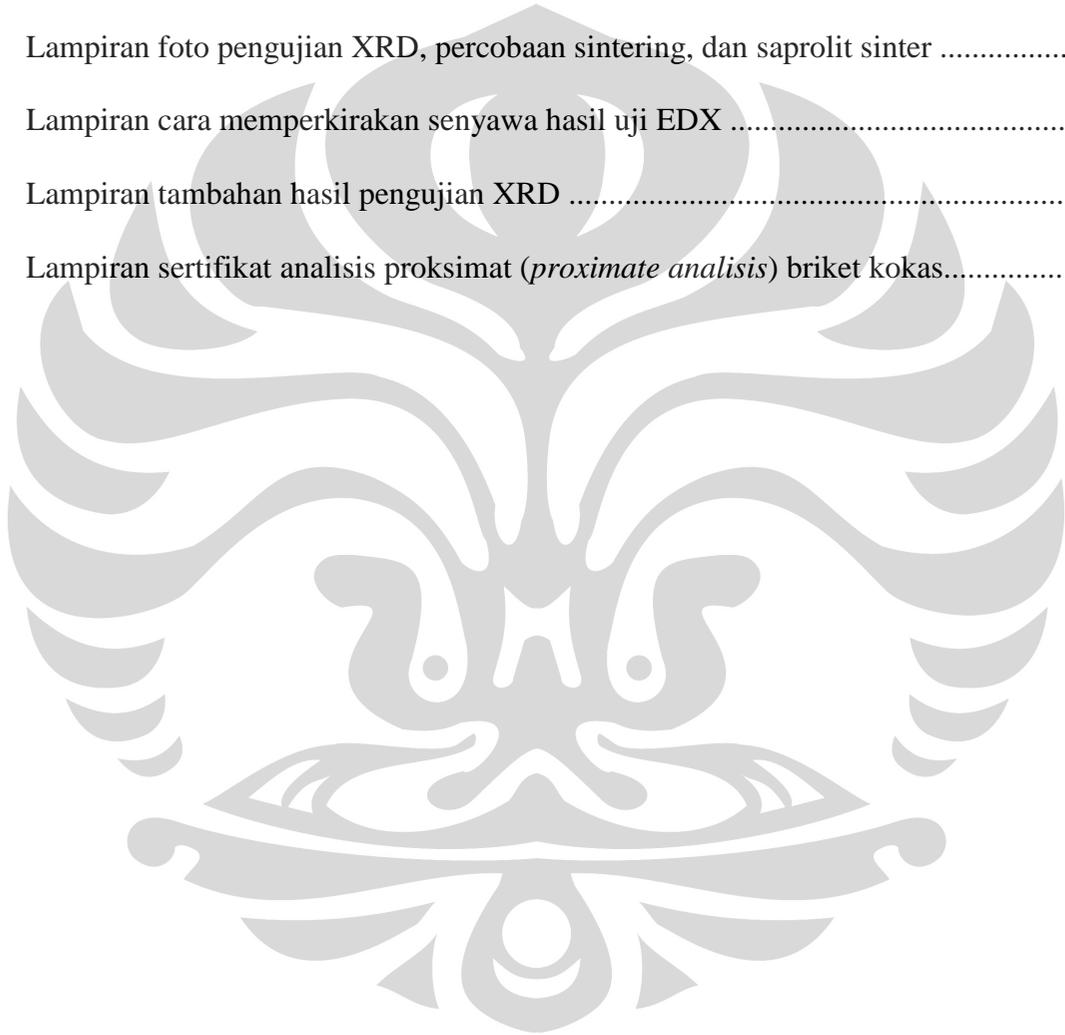
Gambar 1.1.	Profil Nikel Laterit dan Distribusi Jenis Bijih Laterit.....	2
Gambar 2.1.	Gambar 2.1 Skema Proses Sintering.....	6
Gambar 2.2.	Ilustrasi Karakteristik Waktu-Temperatur.....	11
Gambar 3.1.	Diagram alir (<i>flow chart</i>) proses preparasi dan sintering bijih nikel saprolit.....	15
Gambar 3.2.	Diagram alir (<i>flow chart</i>) proses karakterisasi Sampel bijih nikel saprolit, saprolit sinter, dan bahan bakar kokas serta briket kokas....	15
Gambar 3.3.	Skema Bed Sinter	16
Gambar 4.1.	Grafik XRD Saprolit	22
Gambar 4.2.	Perbandingan Si:Mg:(Fe+Ni) hidro-silikat kristalin.....	24
Gambar 4.3.	Karakteristik Waktu-Temperatur Sintering dengan Kokas.....	25
Gambar 4.4.	Grafik Waktu-Temperatur Sintering dengan Briket Kokas.....	26
Gambar 4.5.	Hasil Pengujian XRD Saprolit Sinter	27
Gambar 4.6.	Diagram Fasa Sistem MgO-FeO-SiO ₂	30
Gambar 4.7.	Grafik %Ni Sebelum dan Setelah Sintering dengan Peningkatan Kadar Bahan Bakar serta Variasi Bahan Bakar Briket Kokas dan Kokas	33
Gambar 4.8.	Profil Struktur Saprolit Sinter	36
Gambar 4.9.	Hasil SEM sampel kokas12%	37
Gambar 4.10.	Struktur Mikro Sampel dengan Bahan Bakar Briket Kokas.....	38
Gambar 4.11.	Struktur Mikro Sampel dengan Bahan Bakar Campuran Briket Kokas dan Kokas.....	39
Gambar 4.12.	Grafik Berat dan Shatter Test.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data <i>Proximate Analysis</i> Bahan Bakar	20
Tabel 4.2 Data Berat Saprolit Sinter.....	20
Tabel 4.3 Komposisi kimia saprolit	22
Tabel 4.4 Karakteristik Waktu-Temperatur Sintering	26
Tabel 4.5 Komposisi Sinter Sampel Kokas dan Campuran Kokas-Briket Kokas.....	31
Tabel 4.6 Perbandingan Komposisi Saprolit Sinter dengan Variasi Bahan Bakar....	32
Tabel 4.7 %Ni dan %Reduksi Saprolit Sinter dengan Campuran Bahan Bakar Briket Kokas dan Kokas	34
Tabel 4.8 %Ni dan %Reduksi Saprolit Sinter dengan Briket Kokas	35
Tabel 4.9 Perkiraan Senyawa Dominan Berdasarkan Uji EDX untuk Bahan Bakar Briket Kokas.....	39
Tabel 4.10 Perkiraan Senyawa Dominan Berdasarkan Uji EDX untuk Bahan Bakar Campuran Briket Kokas dan Kokas	40
Tabel 4.11 Hasil pengujian <i>Drop of Shatter Test</i>	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran hasil pengujian XRD	47
Lampiran hasil pengujian XRF	55
Lampiran hasil pengujian SEM	63
Lampiran hasil pengujian EDX	67
Lampiran foto pengujian XRD, percobaan sintering, dan saprolit sinter	104
Lampiran cara memperkirakan senyawa hasil uji EDX	105
Lampiran tambahan hasil pengujian XRD	106
Lampiran sertifikat analisis proksimat (<i>proximate analysis</i>) briket kokas.....	109



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Bijih nikel di alam terbagi menjadi dua jenis, yaitu: bijih nikel sulfida yang berada di daerah subtropis, dan bijih nikel oksida yang lazim disebut laterit berada di daerah katulistiwa. Cadangan bijih nikel dunia sekitar 70% adalah laterit, namun nikel yang dihasilkan dari cadangan laterit saat ini masih sekitar 40%. Di masa mendatang kebutuhan nikel yang dihasilkan dari bijih laterit semakin meningkat seiring dengan berkurangnya cadangan nikel sulfida di alam.

Indonesia merupakan negara dengan cadangan bijih nikel nomor 2 di dunia (sampai tahun 1999) dan mempunyai peran strategis untuk pemanfaatan laterit bagi kebutuhan nikel di dunia. Bijih laterit tersebut tersebar di Kawasan Timur Indonesia (KTI), seperti di Kalimantan, Sulawesi, Maluku dan Papua¹.

Saat ini, pemanfaatan bijih nikel sulfida lebih banyak dibandingkan laterit, karena bijih sulfida lebih mudah diproses, dan menggunakan metode penambangan yang konvensional, dibandingkan dengan bijih laterit yang menggunakan energi yang lebih tinggi. Namun, deposit nikel sulfida yang menipis diikuti oleh biaya *underground mining* dan kualitas bijih sulfida yang kurang baik di bagian yang semakin ke dalam, menyebabkan perlunya memikirkan bagaimana memanfaatkan cadangan bijih nikel laterit dengan proses yang ekonomis.

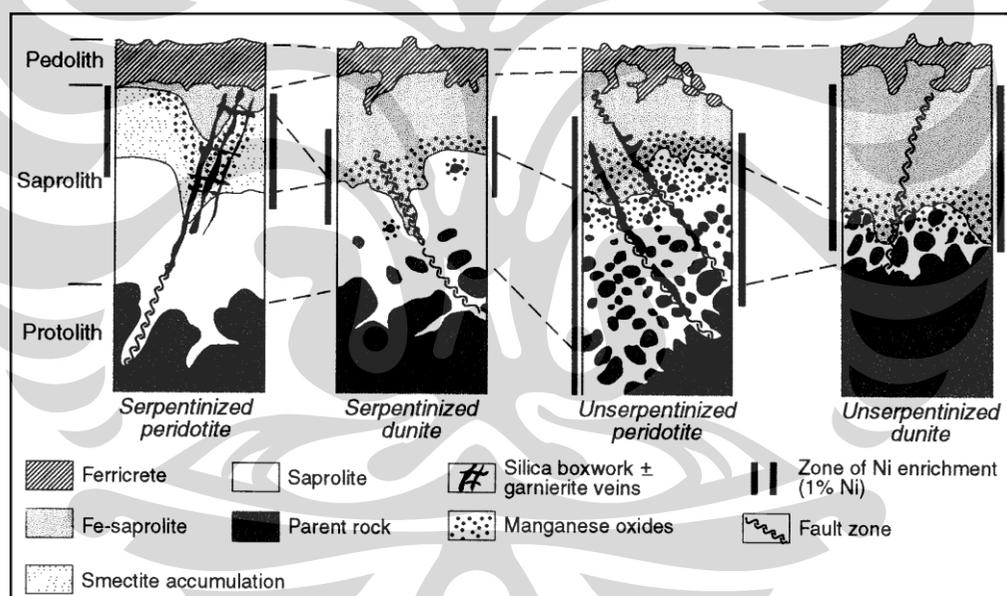
Bijih nikel laterit umumnya terbagi menjadi dua, yaitu saprolit dan limonit. Saprolit merupakan mineral silikat atau hidrosilikat dan limonit adalah mineral oksida atau hidroksida. Bijih saprolit biasanya diproses dengan pirometalurgi karena nikel berikatan dengan senyawa serpentine atau chlorite pada kisi magnesia membentuk semacam larutan padat. Untuk melepaskan nikel dari kisi Kristal magnesia memerlukan energi yang tinggi. Sedangkan limonit biasa diproses dengan cara hidrometalurgi karena Ni yang berikatan dengan goethite relatif lebih mudah dilepaskan.

Kandungan Ni yang terdapat pada saprolit lebih banyak dibandingkan limonit. Kandungan Ni saprolit sekitar 1,5 – 3%. Hal ini yang mendasari pengembangan

pemanfaatan bijih nikel saprolit, meskipun diperlukan energi lebih besar dibandingkan bijih limonit.

Oleh karena itu proses sintering sebagai salah satu rangkaian pengolahan bijih nikel saprolit menjadi bagian yang penting dalam pengembangan pemanfaatan bijih nikel secara keseluruhan. Sintering biasa dilakukan pada bijih besi untuk mendapatkan aglomerat sebagai umpan *blast furnace*. Kemiripan dalam aspek mineralogis bijih besi dan bijih nikel mendorong untuk mengadopsi metode sintering yang digunakan untuk bijih besi dan diterapkan terhadap bijih nikel.

Upaya paling penting dan mendasar adalah bagaimana menghasilkan proses yang ekonomis, dalam hal ini tentu signifikan bila mengupayakan penghematan bahan bakar yang digunakan dalam proses sintering bijih nikel saprolit, yaitu dengan cara mensubstitusi kokas yang sebagian besar adalah impor dengan briket kokas (lokal) yang harganya lebih murah.



Gambar 1.1 Profil Nikel Laterit dan Distribusi Jenis Bijih Laterit²

Nikel Laterit

Nikel terbentuk bersama mineral silikat kaya unsur Mg (olivine). Olivine adalah jenis mineral yang tidak stabil selama pelapukan berlangsung. Saprolit adalah produk pelapukan pertama. Batas antara batuan dasar, saprolit dan indikasi awal pelapukan (*weathering front*) tidak jelas dan bahkan perubahannya gradasional. Selama pelapukan berlangsung, Mg dan Silika larut bersama air tanah. Hasilnya,

oksida besi mendominasi dengan membentuk lapisan horizontal di atas saprolit yang sekarang kita kenal sebagai mineral oksida besi jenis *Limonite*. Nikel berasosiasi juga dengan mineral jenis oksida besi yang lain terutama dari jenis *Goethite*. Rata-rata nikel yang berasosiasi dengan oksida besi diatas berkadar 1,2 %. Gambar 1.1 mengilustrasikan profil nikel laterit beserta distribusi jenis bijihnya.

Secara mineralogi nikel laterit dapat dibagi dalam tiga kategori²:

a. *Hydrous Silicate Deposits*

Profil dari tipe ini secara vertikal dari bawah ke atas: *Ore horizon* pada lapisan *saprolite* (Mg-Ni *silicate*), kadar nikel antara 1,8% - 2,5%. Pada zona ini berkembang mineral yang kaya dengan nikel; *Garnierite* (maks. Ni 40%). Ni terlarut (*leached*) dari fase *limonite* (*Fe-Oxyhydroxide*) dan terendapkan bersama mineral silika hydrous atau mensubstitusi unsur Mg pada *serpentine* yang teralterasi. Tipe ini dapat ditemui di beberapa tempat seperti di New Caledonia, Indonesia, Philippina, Dominika, dan Columbia.

b. *Clay Silicate Deposits*

Pada jenis endapan ini, Si hanya sebagian terlarut melalui air tanah, sisanya akan bergabung dengan Fe, Ni, dan Al membentuk mineral lempung (*clay minerals*) seperti *Ni-rich Nontronite* pada bagian tengah profil saprolit. Kadar nikel pada endapan ini lebih rendah dari endapan *Hydrosilicate* yakni sekitar 1,2%².

c. *Oxide Deposits*

Tipe terakhir adalah *Oxide Deposit*. Endapan ini sangat rentan terhadap pelapukan terutama di daerah tropis. Di atasnya terbentuk saprolit dan mendekati permukaan terbentuk limonit dan *ferricrete*. Kandungan nikel pada tipe *Oxide deposit* ini berasosiasi dengan *goethite* (FeOOH) dan *Mn-Oxide*.

1.2 PERUMUSAN PERMASALAHAN

Komponen penting yang harus diperhatikan dalam melakukan sebuah proses sintering adalah penggunaan bahan bakar yang memadai. Karena sintering melibatkan mekanisme proses pada temperatur tinggi agar mengakomodasi terjadinya densifikasi dan pengikatan.

Selama ini, bahan bakar yang lazim digunakan dalam proses sintering adalah dengan kokas. Namun proses industri menilai penggunaan bahan kokas memakan

biaya yang tinggi, oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mengurangi biaya penggunaan bahan bakar kokas dengan mensubstitusi kokas, secara keseluruhan atau sebagian saja.

Artinya, perlu dicari sumber karbon lain selain kokas, salah satunya adalah dengan briket kokas. Briket kokas sendiri dibuat dari batubara atau *green coke* dengan proses karbonisasi. Tentu saja kadar karbon yang terkandung mungkin tidak sebanyak kokas. Akan tetapi, panas yang dihasilkan masih di atas 1200°C, artinya secara termodinamik mampu melakukan reaksi sintering.

Berdasarkan penjabaran tersebut di atas maka dapat disimpulkan bahwa perumusan permasalahan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh substitusi bahan bakar briket kokas dan variasi campuran bahan bakar briket kokas dan kokas terhadap saprolit sinter yang dihasilkan, jika dibandingkan dengan hasil proses sintering dengan menggunakan bahan bakar kokas.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengetahui sifat mekanik (dengan pengujian shatter test), (perubahan) komposisi kimia, dan struktur saprolit sinter serta tingkat reduksi nikel setelah proses sintering.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh variasi komposisi bahan bakar substitusi briket kokas serta campuran bahan bakar briket kokas dan kokas terhadap sifat mekanik, komposisi kimia, dan struktur saprolit sinter.
3. Mempelajari dan mengamati proses dan karakteristik sintering bijih nikel saprolit

1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini (komposisi sinter) adalah: bijih nikel saprolit, kokas, briket kokas, *limestone* (kapur), air. Komposisi kapur sebanyak 2% dan air kurang lebih 11 - 15%.
- b. Formulasi yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 7, yaitu K, B1, B2, B3, BK1, BK2, dan BK3 yang merupakan formulasi untuk komposisi bahan

bakar kokas (K), briket kokas (B) dan campuran briket kokas-kokas (BK) yang ditambahkan untuk proses sintering saprolit.

- c. Formulasi K, B1, B2, B3, BK1, BK2, dan BK3 berturut-turut adalah komposisi bahan bakar sebesar 12% kokas; 10%,12%,14% briket kokas; (4%,8%), (6%,6%), (8%,4%) briket kokas-kokas.
- d. Proses pencampuran material dilakukan dengan menggunakan mesin pencampuran (*rotating disk*) selama kurang lebih 10 - 12 menit hingga terbentuk granulat.
- e. Proses sintering berlangsung kira-kira 25 - 40 menit, dengan perkiraan temperatur mencapai 1400°C pada daerah pembakaran maksimum.
- f. Pengujian sifat mekanik saprolit sinter dilakukan dengan uji jatuh bebas (*shatter test*).
- g. Pembuatan spesimen uji SEM dilakukan dengan mounting, amplas, dan poles.
- h. Pengujian komposisi bahan bakar kokas dan briket kokas dilakukan prosedur pengujian ASTM D-3172, untuk *proximate analysis*.
- i. Karakterisasi sampel bijih nikel saprolit dan hasil sinternya dilakukan dengan XRF dan XRD, dan karakterisasi struktur dan fasa saprolit sinter dilakukan dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) serta analisa komposisi unsur kimia pada permukaan saprolit sinter dilakukan dengan metode *Energy Dispersed Spectroscopy* (EDS).

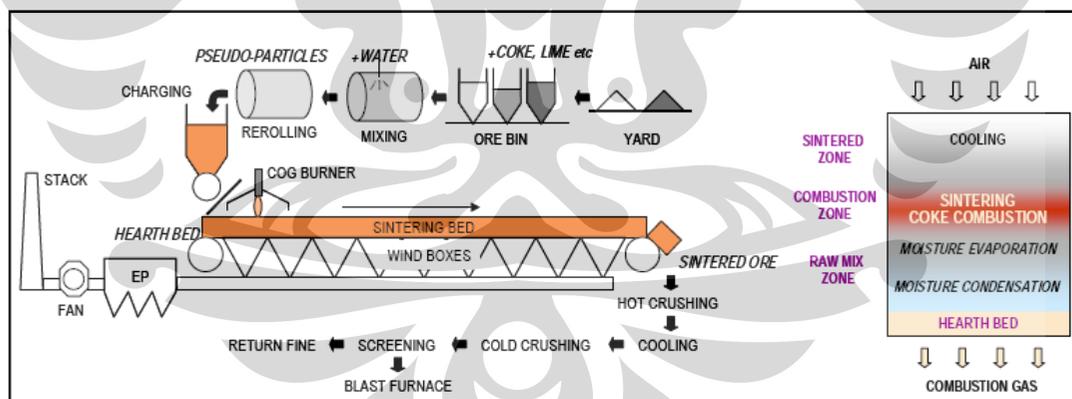
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 PROSES SINTERING

Sintering adalah istilah umum yang menggambarkan suatu proses pada temperatur tinggi dimana suatu campuran material awal dikonversi menjadi bentuk aglomerat tertentu yang disebut sinter^{3,4}.

Proses produksi membagi sintering menjadi beberapa sub-proses^{3,4}:

- a. Pencampuran dan granulasi campuran sinter.
- b. *Charging* ke dalam *sinter cars* pada mesin sinter untuk membentuk sebuah *sinter bed*.
- c. Pembakaran awal (*ignition*) bahan bakar pada permukaan *bed*.
- d. Rentetan pembakaran bahan bakar di lapisan-lapisan horizontal.
- e. Reaksi pada temperatur tinggi yang melibatkan lelehan (*melt*) dan padatan (*solid*).
- f. Pendinginan dan solidifikasi.
- g. Penggerusan agglomerat untuk memperoleh distribusi ukuran yang diharapkan.



Gambar 2.1 Skema Proses Sintering⁵

Bijih nikel saprolit, butiran bahan bakar (kokas), fluks dan material tambahan lain dicampur, serta ditambahkan air. Campuran tersebut kemudian digranulasi menjadi patikel-partikel yang lebih besar dengan alat *rotary mixer*. Proses granulasi tersebut menyangkut pelapisan partikel-partikel halus (<0,25mm) ke permukaan partikel-partikel yang lebih kasar (>1mm). Dengan demikian, partikel yang lebih

besar (*pseudo-particle*) terdiri dari suatu partikel kasar sebagai nukleus dan partikel-partikel halus yang menempel pada partikel nukleus. Partikel yang berukuran diantara 0,25mm dan 1mm, disebut partikel (halus) *intermediate*, tidak ikut menempel dan akan menempati kekosongan atau *void* pada *sinter bed*. Granulasi yang baik tercapai apabila terjadi pengkasaran campuran awal dan penyempitan distribusi ukuran.

Tujuan dari granulasi adalah untuk meningkatkan permeabilitas bed yang akan memperlancar aliran udara pembakaran yang melewati sinter bed. Hal ini akan memberikan kontribusi terhadap peningkatan kualitas dan produktifitas sinter. Pada saat sintering permeabilitas sinter bed dapat terjaga karena partikel nukleus yang berukuran besar tidak meleleh. Jika tidak terdapat partikel nukleus sama sekali, akan berakibat turunnya permeabilitas yang disebabkan oleh hilangnya celah-celah atau kekosongan antar partikel⁴. Bahan pengikat seperti batu kapur bisa ditambahkan saat proses granulasi untuk membantu menjaga agar mikrostruktur hasil granulasi (*pseudo-particle*) tetap stabil saat kelembaban (air) hilang ketika terjadi sintering.

Campuran hasil granulasi kemudian dimasukkan ke dalam sinter cars pada mesin sinter. Tinggi bed bervariasi dalam setiap proses dan dapat mencapai 60cm. Bed kemudian akan bergerak melewati alat penyalaan api (*ignition*) untuk terjadinya awal pembakaran, dimana bahan bakar pada lapisan permukaan disulut menggunakan nyala api dari bahan bakar gas. Seiring dengan Bergeraknya sinter car, pembakaran terjadi dengan bantuan aliran udara yang dihisap ke bawah sinter bed menggunakan alat *wind box* yang terletak di bawah sinter bed. Penurunan tekanan di atas sinter bed dapat mencapai 2000mm H₂O⁶.

Pada proses sintering temperatur campuran sinter dinaikkan sampai antara 1200°C dan 1400°C agar meleleh sebagian (*partial fusion*). Ketika siklus pemanasan dan pendinginan setiap spesies yang berbeda akan saling bereaksi menghasilkan fasa-fasa tertentu. Terbentuknya material yang meleleh kemudian akan mengalami kristalisasi atau solidifikasi menjadi berbagai macam fasa yang mengikat mikrostruktur⁷. Dengan demikian, sinter tersusun atas rangkaian berbagai macam fasa seperti olivine, spinel, magnetit, silika, dan lain-lain tergantung dari komposisi awal sinter. Setiap fasa memiliki pengaruh yang unik terhadap kualitas sinter.

Produk sinter (*sinter cake*) didinginkan di mesin sinter (*on-strand cooling*) atau di luar mesin sintering (*off-strand cooling*). Sinter kemudian dihancurkan dan di saring dengan ukuran yang cocok untuk proses blast furnace, misalnya di atas 5mm.

2.2 PEMBAGIAN ZONA SINTERING

Bakalan sinter mengalami kondisi termal dan fisik yang berbeda saat sintering berlangsung. Sehingga memungkinkan untuk membagi sinter bed ke dalam zona-zona yang berbeda saat proses sintering. Setiap zona memiliki pengaruh pada performa sintering dan kualitas sinter⁸.

Dengan membagi bed secara vertikal maka dapat diketahui bahwa lapisan pembakaran terdapat di antara lapisan yang tidak tersinter pada bagian bawah dan sinter yang telah dingin di bagian atas bed⁹. Lapisan pembakaran bergerak ke bawah dengan kecepatan 1cm/menit hingga 3cm/menit menuju dasar (*grate*)¹⁰.

Ketika berlangsung pembakaran setiap bagian sinter bed mengalami siklus temperatur. Temperatur meningkat dengan cepat hingga mencapai maksimum dan bertahan selama beberapa menit. Dengan Bergeraknya lapisan pembakaran ke bawah, maka produk sinter mengalami pendingin sejalan dengan waktu.

Pada dasarnya sintering adalah proses perpindahan panas yang efisien dimana panas secara kontinu berpindah ke bawah melalui bed⁹. Udara yang memasuki bed dipanaskan oleh sinter yang masih panas yang terletak di atas lapisan pembakaran dan mencapai temperatur puncak pada lapisan pembakaran. Gas yang meninggalkan lapisan pembakaran memindahkan panas ke bakalan sinter yang ada di bawah. Gas tersebut berfungsi membakar butiran bahan bakar (kokas) dan menginisiasi reaksi-reaksi serta perubahan endotermik.

Lapisan pembakaran terdiri atas zona-zona berikut ini:

- Zona basah
- Zona reaksi sintering
- Zona akhir

2.2.1 Zona Basah

Bagian bawah sinter bed bertindak sebagai de-humidifier (penurun kelembaban) dan memindahkan air dari udara yang mengalir. Akumulasi air pada bagian ini menghasilkan suatu zona yang basah. Awal dari zona basah biasanya bisa

diidentifikasi dengan adanya lapisan tipis dari partikel-partikel halus⁸. Partikel-partikel halus tersebut telah terlepas dari partikel yang lebih besar (*pseudo-particle*) di zona reaksi sintering dan terkumpul pada zona basah. Kehadirannya tentu saja akan meningkatkan ketahanan zona basah terhadap aliran udara⁸. Seiring dengan pergerakan lapisan pembakaran yang bergerak ke bawah, lapisan partikel-partikel halus pun bergerak ke bawah. Zona basah akan hilang pada saat lapisan pembakaran berpindah lagi ke bawah mendekati dasar sinter bed. Akumulasi lapisan partikel-partikel halus dan material yang terlarut akan meninggalkan sinter bed melalui gas-buang.

2.2.2 Zona Reaksi Sintering

Ketinggian zona reaksi sintering sekitar 7cm (tinggi sinter bed 60cm) dan lama reaksi di zona ini adalah 3 menit⁴. Berbagai macam perubahan dapat terjadi di zona ini ketika temperatur meningkat, pun saat pendinginan. Diasumsikan proses telah selesai ketika temperatur turun di bawah 1100°C⁷. Berikut ini adalah proses yang terjadi pada zona reaksi sintering:

- Reaksi-reaksi pada kondisi padat
- Produk meleleh membentuk cairan (liquid) primer
- Larutnya padatan ke dalam cairan (primer) membentuk cairan (liquid) sekunder
- Kristalisasi fasa-fasa dari cairan saat proses pendinginan.
- Solidifikasi cairan membentuk glass.

Zona reaksi sintering juga dibagi menjadi beberapa zona sebagai berikut⁴:

- Zona kering
- Zona kalsinasi
- Zona reduksi
- Zona fusi

a) Zona Kering

Lapisan pembakaran yang bergerak ke bawah menyebabkan campuran bakalan sinter yang terletak di depannya mengering akibat gas panas yang meninggalkan lapisan pembakaran menuju ke bawah.

b) Zona Kalsinasi

Temperatur meningkat hingga pada suatu titik dimana kalsinasi dari beberapa material bahan baku dapat terjadi. Chlorite kehilangan gugus hidroksil (dehidroksilasi) kira-kira dimulai pada temperatur 597°C^{11} . Kristal air serpentine hilang di atas 500°C (dehidrasi) dengan membentuk $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, kemudian dilanjutkan dengan hilangnya gugus hidroksil membentuk $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ($520^{\circ}\text{-}800^{\circ}\text{C}^{11}$), yang diikuti dengan reaksi dekomposisi menjadi MgO dan SiO_2 pada tahap selanjutnya.

c) Zona Reduksi

Pembakaran kokas (bahan bakar) dimulai antara 700°C dan 800°C^4 . Dengan meningkatnya temperatur, gas CO_2 bereaksi dengan kokas menghasilkan gas CO . Gas ini berfungsi sebagai reduktor, misalnya untuk reaksi reduksi hematit yang menghasilkan magnetit. Jika reduksi berlanjut, magnetit akan tereduksi membentuk wusite.

d) Zona Fusi

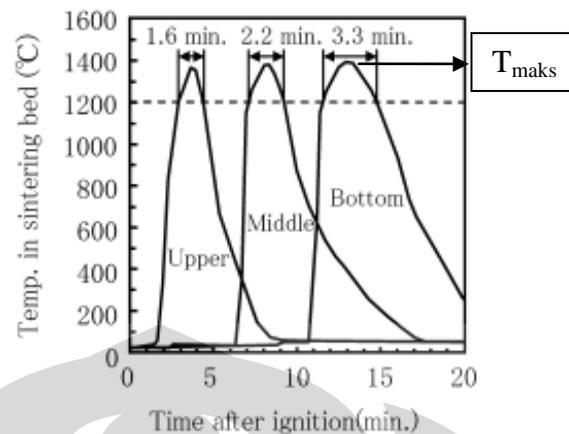
disebut reaksi sintering. Reaksi-reaksi tersebut menentukan mineralogi dan struktur sinter dan konsekuensinya menentukan sifat-sifat sinter³. Reaksi yang terjadi begitu kompleks, menyangkut faktor-faktor fisik dan kimia dari berbagai macam sifat-sifat yang terdapat pada bahan baku sinter.

2.2.3 Zona Akhir

Proses kristalisasi dan solidifikasi terjadi ketika pendinginan. Reaksi akhir antara fasa dan spesies kimia yang berbeda menghasilkan komposisi fasa dan mikrostruktur akhir sinter.

2.3 PROFIL TEMPERATUR DAN INPUT PANAS

Profil temperatur dalam sinter bed secara skematis ditunjukkan pada gambar 2.2. Profil ini memiliki karakteristik kenaikan temperatur yang cepat hingga mencapai titik maksimum (T_{maks}) ketika siklus pemanasan. Biasanya memerlukan waktu sekitar 2 menit¹² untuk memanaskan bakalan mencapai temperatur maksimum. Temperatur maksimum dapat mencapai 1300°C atau lebih¹³. Temperatur maksimum yang dicapai tergantung pada kuantitas, lokasi, jumlah kokas yang digunakan dan kemampubakaran (*combustibility*) kokas (bahan bakar).



Gambar 2.2 Ilustrasi Karakteristik Waktu-Temperatur

Kedalaman bed dan laju aliran udara juga mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap temperatur maksimum yang dapat dicapai. Grafik penurunan temperatur yang lebih landai setelah mencapai titik maksimum mengindikasikan pendinginan yang lambat yang dialami sinter ketika siklus pendinginan. Waktu yang diperlukan untuk kembali ke temperatur ruang merupakan fungsi dari temperatur maksimum⁹. Semakin tinggi temperatur maksimum maka semakin lama pula waktu yang diperlukan untuk proses pendinginan.

Di setiap ketinggian sinter bed memiliki profil temperatur yang berbeda-beda. Baik temperatur maksimum dan luasan area di bawah profil temperatur bervariasi dari atas hingga dasar bed. Temperatur maksimum lebih rendah dan waktu retensi temperatur maksimum lebih pendek pada lapisan paling atas dibandingkan dengan lapisan terbawah¹⁴. Untuk meningkatkan mikrostruktur sinter, maka penting untuk meminimalkan perbedaan profil temperatur dan mengontrolnya agar diperoleh pola panas yang sesuai. Karena perbedaan profil temperatur di setiap posisi dalam sinter bed ini, maka produk sinter dapat diklasifikasikan menjadi:

1. Sinter Atas; biasanya lemah dan rapuh sehingga menghasilkan yield yang kecil dalam hal ukuran yang dapat diterima untuk proses selanjutnya.
2. Sinter tengah sinter ini terbentuk dengan fusi dan anil pada kondisi optimum dan menghasilkan jumlah sinter yang maksimal ditinjau dari ukurannya. sinter dikeluarkan dari mesin (*strand*) pada keadaan dingin.

3. Sinter dasar; sinter ini dikeluarkan dalam keadaan panas dan didinginkan dengan cepat setelah melalui *breaker* dan *screening*. Hal ini akan menghasilkan sifat fisik yang tidak baik dan menghasilkan sinter (dengan ukuran yang dapat diterima) yang lebih sedikit dibandingkan bagian tengah. Jika digunakan metode pendinginan *on-strand cooling*, sinter yang dihasilkan akan memiliki sifat-sifat yang hampir sama dengan lapisan tengah.

2.4 STRUKTUR SINTER

Terdapat dua tipe mikrostruktur sinter yang dapat dihasilkan dari proses sintering, yang karakteristiknya dipengaruhi oleh kondisi sintering khususnya temperatur sintering⁷.

Mikrostruktur homogen dihasilkan pada temperatur sintering yang tinggi ($T > 1300^{\circ}\text{C}$) dan biasanya hanya terdapat fasa-fasa yang berpresipitasi. Pada mikrostruktur heterogen, terdapat sejumlah partikel yang cukup besar dan tidak bereaksi pada waktu sintering. Mikrostruktur ini dapat dihasilkan oleh temperatur proses yang kurang dari 1300°C . Karakteristik utama dari sinter jenis ini adalah dengan adanya partikel-partikel yang tidak ikut bereaksi¹⁵.

2.5 MINERALOGI SAPROLIT SINTER

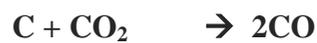
Saat pemanasan mineral laterit (saprolit) dari jenis serpentine atau chlorite terdekomposisi menjadi Fe_2O_3 , MgO , dan SiO_2 yang dapat membentuk MgSiO_4 , MgFe_2O_4 , dan $(\text{Fe,Mg})_2\text{Si}_2\text{O}_6$ ¹¹. Selain itu juga dapat membentuk $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ (olivine) dan $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ (*ferrosilite*) ketika mengalami dehidrasi¹⁶. Oleh karena itu, mineralogi yang ada pada saprolit sinter terdiri dari senyawa-senyawa tersebut. Reaksi pembentukan senyawa-senyawa tersebut adalah sebagai berikut:



2.6 BAHAN BAKAR SINTERING

Bahan bakar yang digunakan pada proses sintering berupa sumber karbon yang digunakan untuk menghasilkan gas reduktor. Bahan bakar padat yang biasa digunakan adalah kokas (biasanya kurang dari 3mm), namun batubara dan sumber

karbon lain juga bisa digunakan. Bahan bakar sebaiknya memiliki kandungan bahan-bahan mudah menguap (*volatile matter*), abu, dan sulfur yang rendah. Selain itu juga memiliki nilai kalori dan temperatur pembakaran yang tinggi. Kemampuan pembakaran batubara ataupun kokas dapat dilihat dari kadar karbon (*fixed carbon*) yang dikandungnya. Pada saat pembakaran, partikel-partikel karbon (kokas/barubara) melakukan reaksi-reaksi sebagai berikut:



Kokas adalah hasil karbonasi dari batubara atau lebih mudahnya adalah arangnya batubara. Proses pengarangan batubara disebut karbonasi yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas batubara. Pengkokasan pada dasarnya adalah proses karbonisasi batubara, yaitu proses destruktif batubara melalui pemanasan tanpa udara yang menghasilkan kokas. Jika sejumlah batubara bituminous dipanaskan, batubara tersebut akan melunak. Untuk batubara kualitas prima, pelunakan terjadi sebelum panas mulai memutuskan struktur batubara menjadi gas-gas produk dekomposisi¹⁸.

Kokas merupakan bahan bakar yang sangat diperlukan pada industri logam. Pada saat ini konsumsi kokas di sentra industri dipenuhi dari produk impor. Proses ganda (pembriketan kokas) dapat diterapkan untuk pembuatan kokas menggunakan bahan baku batu bara Indonesia yang umumnya termasuk *non-coking coal*¹⁹.

Kondisi proses yang optimal pada pembuatan briket kokas (pengecoran) adalah¹⁹ :

- Temperatur karbonisasi batubara = 900°C
- Ukuran butir kokas = -8 mesh
- Bahan pengikat = aspal sebanyak 15% berat kokas
- Tekanan pembriketan = 200 kg/cm²
- Temperatur karbonisasi = 800°C

2.7 KUALITAS SINTER

Kualitas sinter mengacu pada sifat-sifat fisik dan metalurgis yang dimiliki oleh sinter tersebut. Kualitas sinter biasanya ditentukan melalui beberapa cara:

- Penentuan kekuatan fisik sinter pada temperatur kamar yang dilakukan dengan pengujian *shatter* atau *tumbler*.

- Reduksi pada temperatur rendah (550°C) yang dilakukan dengan pengujian degradasi reduksi (RDI).
- *Reducibility* sinter yang dilakukan dengan uji reduksi (*reducibility test*) atau RI pada 900°C.
- Penentuan sifat-sifat *melting* dan *softening* sinter pada temperatur tinggi.

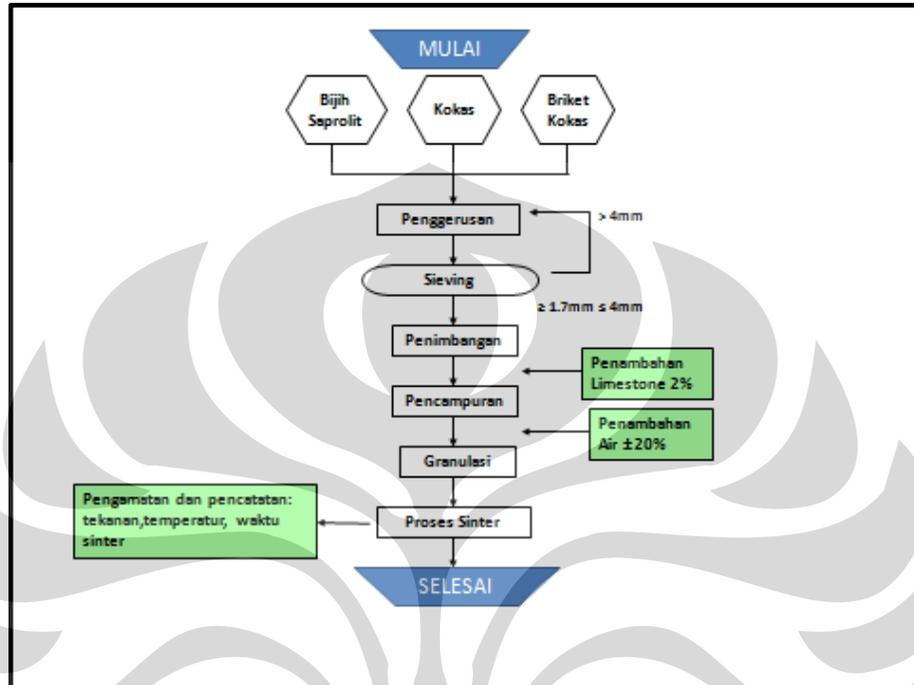
Sinter merupakan suatu agregat yang terdiri atas fasa-fasa yang berikatan, partikel-partikel yang tidak meleleh, dan juga terdapat pori. Sehingga kualitas sinter sangat ditentukan oleh mikrostruktur dan komposisi fasa sinter. Ukuran, bentuk, distribusi dan interaksi antar fasa dalam sinter merupakan faktor-faktor yang amat penting¹⁷.

Kualitas sinter juga berhubungan dengan profil temperatur dalam *sinter bed* saat berlangsung proses sintering¹³. Pada sintering bijih nikel, kandungan NiO dalam sinter berkaitan dengan temperatur maksimum. *Reducibility* meningkat jika luasan di bawah kurva temperatur menurun untuk temperatur di atas 1100°C. Dengan demikian *reducibility* meningkat dengan menurunnya input panas⁷. Kekuatan sinter dapat ditingkatkan dengan meningkatkan laju kokas sampai pada batas kritis, setelah itu kekuatan menjadi turun¹³.

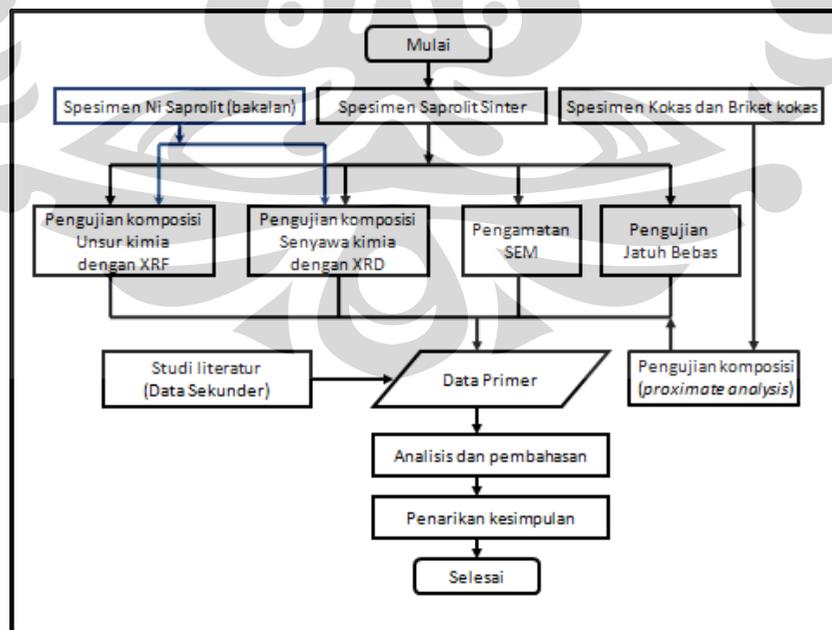
Sinter merupakan material yang berpori dan getas. Pori tersebut bervariasi, ada pori tertutup dan terbuka, dan berukuran makro serta mikro. Porositas dapat berkurang dengan naiknya temperatur sinter¹³. Sinter dengan banyak pori terbuka cenderung lebih mudah rusak daripada sinter yang memiliki mikrostruktur padat. Porositas yang tinggi dapat membantu proses reduksi selama sintering, misalnya transformasi hematit menjadi magnetit, karena gas reduktor mudah mengakses mikrostruktur sinter yang berpori.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alir (flow chart) proses preparasi dan sintering bijih nikel saprolit



Gambar 3.2. Diagram alir (flow chart) proses karakterisasi Sampel bijih nikel saprolit, saprolit sinter, dan bahan bakar kokas serta briket kokas

3.2 PROSEDUR PENELITIAN

3.2.1 Bahan Penelitian (bakalan sinter)

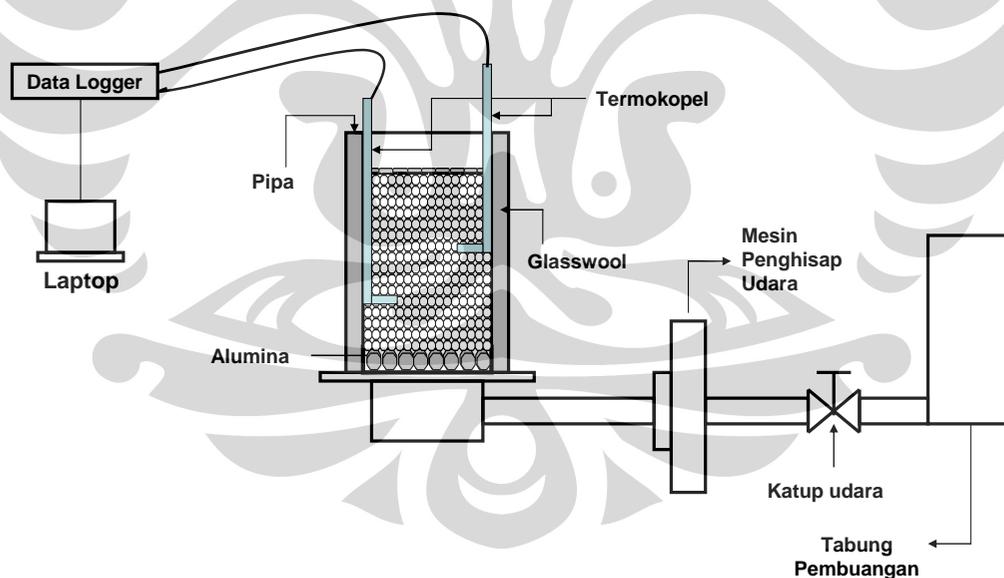
Bahan-bahan yang digunakan pada proses sintering bijih nikel laterit adalah sebagai berikut:

1. Saprolit; yaitu bijih nikel laterit (silikat/hidrosilikat) yang berupa tanah (mengandung lempung dan batuan).
2. Kokas; yaitu sumber karbon yang dipergunakan sebagai bahan bakar pada penelitian ini.
3. Briket Kokas; yaitu bahan bakar yang dibuat dari batubara atau *green coke* melalu proses karbonisasi.
4. *Limestone*; yaitu serbuk batu kapur yang mengandung CaO yang biasa digunakan sebagai bahan pengikat atau fluks.
5. Air; digunakan untuk pembuatan granulat bakalan sinter.

3.2.2 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah:

1. Sinter Bed



Gambar 3.3, Skema Bed Sinter

Keterangan gambar:

- Pipa (tabung):
 - Tinggi : 22 cm
 - Diameter : 15 cm

- Termokopel Tipe R (1400°C), digunakan sebagai sensor temperatur ketika proses sinter berlangsung. Ada dua buah termokopel yang digunakan dalam penelitian ini, dimana posisi dari termokopel pertama dan kedua adalah 5 dan 10 cm dari bawah bed sinter dan 4 cm dari dinding bed sinter.
 - *Data logger*, sebagai alat penangkap dan pembaca sensor yang berasal dari termokopel
 - Laptop, menampilkan hasil yang dibaca oleh *data logger*
 - *Glasswool*, untuk melindungi pipa dari panas
2. Alat pengerus
 3. Pan mesh
 4. Timbangan digital
 5. Rotating disk
 6. XRD, XRF, SEM dan EDS

3.2.3. Persiapan dan Sintering

a. Penggerusan (*size reduction*)

Penggerusan dilakukan untuk memperkecil ukuran kokas dan briket kokas dengan menggunakan alat gerus.

b. Pengayakan (*sieving*)

Pengayakan dilakukan pada bahan bakar antrasit dan kokas yang telah digerus untuk memperoleh ukuran yang ditentukan. Pada penelitian ini ukuran yang digunakan adalah 1,7 – 4 mm. Saprolit tidak direduksi ukurannya dan juga tidak dilakukan pengayakan. Namun yang digunakan sebagai bahan penelitian adalah saprolit yang relatif halus dan telah dipisahkan dari bebatuannya.

c. Penimbangan dan Pencampuran

Bahan-bahan berupa saprolit, bahan bakar (kokas, briket kokas) dan limestone kemudian ditimbang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Setelah itu dicampur agar terdistribusi merata sebelum dilakukan granulasi.

d. Granulasi

Bahan yang telah dicampur selanjutnya digranulasi dengan menggunakan alat *rotating disk* dengan diameter 60cm dan kemiringan 30° , dimana pada tahap ini air yang telah ditimbang sesuai dengan kebutuhan (200 – 250ml) disemprotkan untuk membantu pembentukan granulat. Proses granulasi dilakukan selama kurang lebih 12 menit dengan kecepatan putar 24rpm dan arah putaran berlawanan arah jarum jam.

e. Sintering

Sampel yang telah digranulasi (*mixing*) selanjutnya ditempatkan ke dalam *sinter bed* untuk dilakukan proses sintering. Diawali dengan menyulut bahan bakar pembentuk api (arang batok kelapa) yang diletakkan di bagian atas *sinter feed* pada *sinter bed*, sehingga terjadi pembakaran awal dan zona pembakaran akan bergerak turun karena dilakukan penghisapan udara yang mengarah ke dalam *sinter bed*. Daya hisap yang digunakan sebesar 16kPa^{20} . Penghisapan dilakukan hingga sintering selesai untuk pendinginan sinter. Saprolit sinter yang telah dingin selanjutnya akan diuji dan dikarakterisasi. Dimensi *sinter bed*: tinggi 22 cm, dengan diameter kira-kira 15 cm. Bakalan sinter sekitar 1905 - 1955 gram (saprolit, bahan bakar, kapur, air).

3.2.4 Karakterisasi dan Pengujian

Karakterisasi dan pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Uji Komposisi Kokas dan Briket Kokas

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kokas dan briket kokas, dalam hal ini adalah komposisi *fixed carbon*, *moisture*, *ash*, dan kandungan bahan-bahan yang mudah menguap. Komposisi ini disebut *proximate analysis* (ASTM D-5142, ISO:1171).

2. Shatter Test (Uji jatuh bebas)

Pengujian ini dilakukan dengan menjatuhkan saprolit sinter di atas sebuah pelat baja dari ketinggian 4 hingga 10 kaki dan dilakukan sebanyak 1 – 4 kali²¹. Hasil uji jatuh bebas dengan ukuran ≥ 5 mm dianggap memenuhi

syarat sebagai bahan baku blast furnace, sedang yang berukuran lebih halus dalam prakteknya akan dikembalikan sebagai campuran bakalan sinter.

3. X-Ray Fluorescence (XRF)

Digunakan untuk mengetahui unsur-unsur yang terdapat pada saprolit dan saprolit sinter. Sampel yang digunakan sebanyak 5 gram, ditambah 1 gram wax (pengikat). Wax memiliki senyawa kimia yang tidak terdeteksi pada XRF sehingga tidak mengganggu akurasi hasil pengujian.

4. X-Ray Diffraction (XRD)

Digunakan untuk mengetahui fasa atau (kandungan) senyawa yang ada pada saprolit dan hasil sinteringnya. Pengujian dilakukan dengan menembakkan sinar-x pada sampel dengan panjang gelombang tertentu dari berbagai arah, selanjutnya sampel akan memantulkan kembali sinar ini dan akan ditangkap oleh detektor yang menampilkan data berupa grafik 2θ vs intensitas.

5. Scanning Electron Microscope (SEM)

Digunakan untuk mengamati struktur saprolit sinter. Sebelum diuji, sampel dipreparasi terlebih dahulu dengan cara di mounting, lalu diampas dan dipoles untuk mendapatkan permukaan yang rata dan halus agar pantulan sinar-x dapat menghasilkan pola yang baik.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 KOMPOSISI BAHAN BAKAR

Tabel 4.1 Data *Proximate Analysis* Bahan Bakar

	<i>FIXED CARBON</i>	<i>MOISTURE</i>	ABU	<i>VOLATILE MATTER</i>	SULFUR
	(% berat)				
kokas australia	84,82	0,51	14,13	0,54	0,37
briket kokas	94,96	1,36	2,18	1,5	-

Dari data komposisi bahan bakar kokas dan briket kokas pada tabel 4.1, kadar karbon (*fixed carbon*) briket kokas ternyata lebih tinggi daripada kokas. Hal ini tidak sesuai dengan prediksi awal sebelum penelitian, dimana kadar *fixed carbon* kokas diperkirakan lebih tinggi daripada briket kokas. Dengan demikian, briket kokas sebagai bahan bakar substitusi kokas pun memiliki potensial yang sangat baik sebagai pengganti kokas ditinjau dari kadar karbonnya. Karena kadar *fixed carbon* berhubungan dengan nilai kalori dan kemampuan kokas atau batubara sebagai reduktor.

4.2 BERAT SAPROLIT SINTER

Tabel 4.2 Data Berat Saprolit Sinter

Sampel	Air (ml)	<i>Sinter feed</i> (gram)	berat sinter (gram)	sinter/feed (%)
B1	225	1930	949,4	49,19
B2	225	1930	887	45,96
B3	250	1955	946	48,39
K	200	1905	924	48,5
BK1	250	1955	1008	51,56
BK2	225	1930	890	46,11
BK3	225	1930	890	46,11

Data tabel 4.2 menunjukkan berat rata-rata saprolit sinter untuk campuran bahan bakar briket kokas dan kokas adalah 929,33 gram. Berat paling ringan diperoleh dari saprolit sinter dengan bahan bakar briket kokas 12% (887 gram). Dari data tabel tersebut juga bisa dilihat bahwa penambahan air sebanyak 250 ml juga menambah berat akhir saprolit sinter. Berat saprolit sinter ini bisa dikaitkan dengan efektifitas dan produktifitas proses sintering. Berkurangnya berat pada proses sintering dapat terjadi karena beberapa hal diantaranya hilangnya kandungan air, baik air yang ditambahkan pada saat granulasi maupun kandungan air atau kelembaban yang terkandung dalam bahan baku (kokas, briket kokas, saprolit). Penambahan air yang terlalu banyak juga mempengaruhi keberhasilan sintering, karena untuk menghilangkan air dari bakalan juga diperlukan panas dan energi. Dari pengamatan data tersebut di atas, penambahan air sekitar 225 ml adalah yang paling baik. Namun hal ini tentu saja masih suatu hal yang relatif, mengingat kelembaban saprolit pada saat itu tidak terukur.

Bahan bakar 12% memiliki rata-rata berat sinter paling rendah, dan bisa diartikan terjadi reaksi sintering paling sempurna. Hal ini mungkin berkaitan dengan panas, energi dan fusi yang dihasilkan sehingga memungkinkan terjadinya lebih banyak reaksi yang menghasilkan uap, gas buang dan partikulat yang terhambur sebagai produk atau hasil reaksi. Bahan bakar yang berlebih bisa jadi menghasilkan pelelehan terlalu banyak dan cepat, sehingga memperbanyak bahan baku yang tidak ikut bereaksi, terutama di bagian dasar, karena tertutup oleh lelehan sinter di atasnya. Pada pengamatan dengan SEM akan terlihat lebih jelas keberadaan *relict*⁴, yaitu (residu) bahan baku sinter, berupa partikel-partikel, yang masih memiliki kandungan ataupun senyawa mineral asalnya karena tidak mengalami reaksi selama sintering.

4.3 MINERALOGI NIKEL SAPROLIT

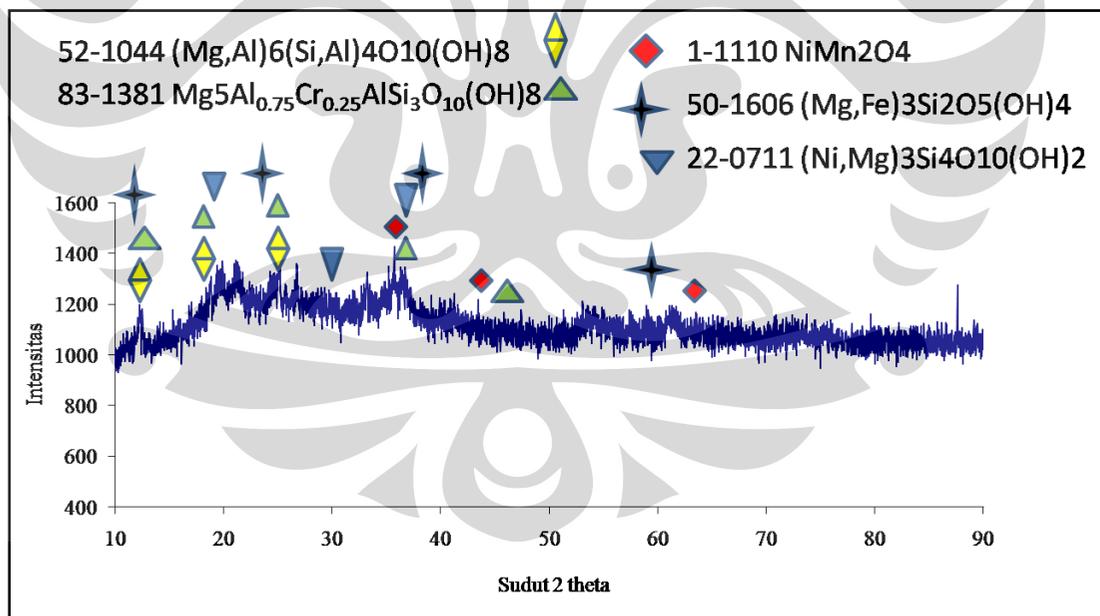
Untuk mengetahui komposisi kimia dan spesies penyusun saprolit yang akan digunakan dalam penelitian, maka dilakukan pengujian XRF yang datanya dapat dilihat pada tabel 4.3. Sedangkan untuk mengetahui senyawa kimia yang terdapat pada saprolit dilakukan dengan pengujian XRD yang dapat dilihat pada gambar 4.1.

Pengujian komposisi XRF dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik Mabes Polri di daerah Kebayoran Baru dengan alat *Axios Advanced PANalytical*. Pengujian

XRD dilaksanakan di Pusat Laboratorium terpadu Universitas Islam Negeri yang berada di Ciputat, Jakarta Selatan, dengan menggunakan alat *X-Ray Diffractometer Maxima*.

Tabel 4.3 Komposisi kimia saprolit

unsur	(%)
Mg	2.490
Al	1.376
Si	17.258
P	0.006
S	0.010
K	0.026
Ca	0.107
Ti	0.029
Cr	0.590
Mn	0.327
Fe	18.959
Co	0.046
Ni	1.691



Gambar 4.1 Grafik XRD Saprolit

Data hasil pengujian XRF menunjukkan kesesuaian dengan hasil pengujian XRD. Dimana unsur-unsur utama yang ditemukan pada pengujian XRF cocok dengan hasil temuan pada pengujian XRD. Unsur-unsur utama yang ditemukan pada

pengujian XRF adalah Mg, Fe, Si, Al, Cr, dan Ni. Unsur-unsur sekunder adalah Mn dan Co yang seringkali terdeposit bersama dengan Ni. Unsur-unsur minor yang merupakan bagian dari clay juga ditemukan pada pengujian XRF, yang memang didukung oleh hasil XRD.

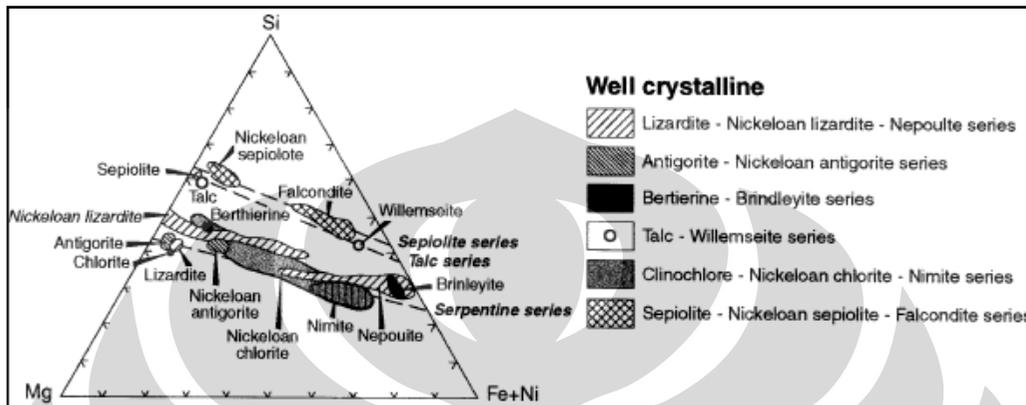
Senyawa yang diperoleh dari pengujian XRD adalah sebagai berikut:

1. NiMn_2O_4 ; juga biasa disebut *asbolane*. Ni dan Mn sering ditemukan bersama pada lapisan laterit. Ni yang tidak berikatan dengan chlorite maupun serpentine kemungkinan berbentuk oksida yang berpresipitasi bersama-sama dengan Mn dan Co^{2+} . Kadar Co yang terdeteksi di pengujian XRF sangat kecil, sehingga mungkin tidak terdeteksi di XRD. Ni yang ada pada oksida Mn (spinel) ini menempel pada serpentine dengan mekanisme sorpsi.
2. $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$; termasuk jenis mineral *chlorite*, disebut juga *nimite*. Dapat memiliki kandungan Ni maksimum sebesar 16,9%
3. $(\text{Mg}_5\text{Al}_{0,75}\text{Cr}_{0,25})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$; yaitu *chlorite-chromian*. Mineral ini juga disebut *clinocllore*². Mineral ini memiliki kontribusi yang kecil sebagai pembawa Ni. Kandungan Ni rata-rata sebesar 0,3%.
4. $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$; yaitu *willemseite*. Termasuk ke dalam kelompok mineral *Talc*. Mengandung kadar Ni hingga sekitar 27,1%.
5. $(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$; yaitu *Lizardite*. Termasuk golongan mineral *serpentine*, dengan kandungan Ni rata-rata 0,15%.

Dari data di atas maka kemungkinan yang memberikan kontribusi terhadap kandungan Ni pada saprolit adalah mineral Chlorite (*Nimite*) dan *Willemseite (Talc)*. Namun dari analisis XRD menunjukkan mineral *chlorite-chromian* paling dominan dalam susunan saprolit. Hal ini kemudian digunakan sebagai penjelasan mengapa pada saprolit sinter banyak terdapat senyawa yang mengandung Cr. Gambar 4.2 memberikan ilustrasi pemetakan dan klasifikasi mineral silikat hidroksida yang mengandung Ni.

Yang menarik dari data yang diperoleh dari pengujian XRF adalah, bahwa biasanya bijih nikel saprolit memiliki kadar magnesium yang cukup tinggi, bahkan mungkin di atas 10%, namun pada pengujian hanya terdeteksi 2,49%. Sedangkan kadar besi yang biasanya hanya sekitar 15% atau kurang, justru terdeteksi sebanyak 17,258%. Tingginya kadar besi bijih nikel biasanya dikaitkan dengan adanya *Goethite*,

namun dalam pengujian tidak ditemukan *Goethite*. Jika melihat pemetaan senyawa hasil XRD pada gambar 4.2, maka dapat dipahami mengapa kadar Fe tinggi dan kadar Mg relatif rendah. Pengujian XRD mendeteksi mineral *willemseite*, *nimite*, *clinocllore* yang mungkin mengandung unsur Fe, meskipun dalam rumus kimia yang ditulis secara umum tidak mencantumkan unsur Fe.



Gambar 4.2 Perbandingan Si:Mg:(Fe+Ni) hidro-silikat kristalin²

4.4 PROFIL TEMPARATUR

Profil temperatur proses sintering menggambarkan perubahan temperatur di sinter bed pada setiap waktu dan ketinggian yang berbeda-beda. Pengamatan dan pengukuran dilakukan dengan termokopel tipe-R pada 2 titik ketinggian yang berbeda (5cm dan 10cm dari permukaan bakalan sinter dalam bed).

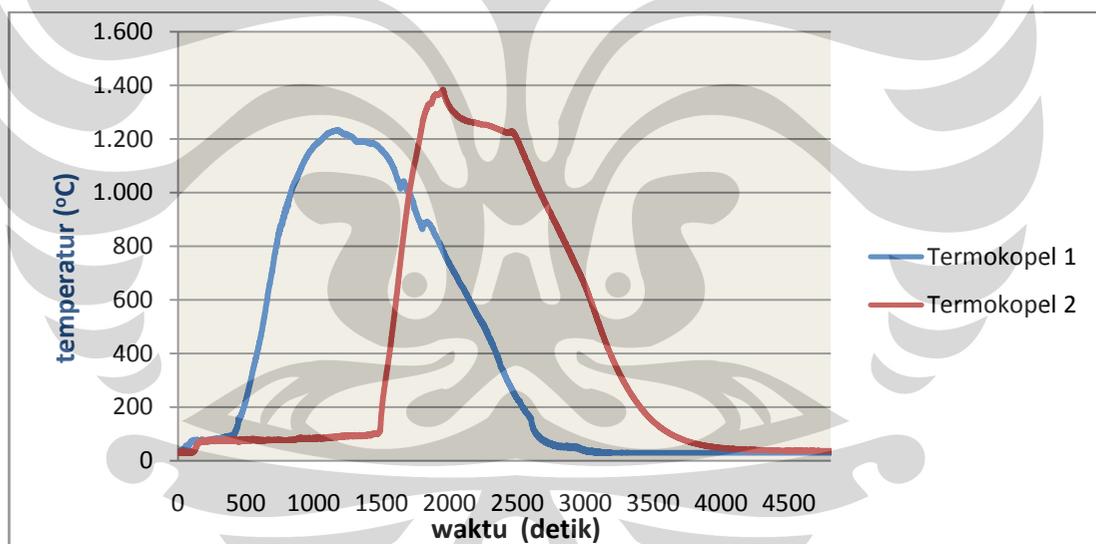
Gambar 4.3 dan 4.4 menggambarkan karakteristik temperatur terhadap waktu selama proses sintering saprolit dengan bahan bakar kokas 12% dan briket kokas 14%. Data mengenai karakteristik waktu-temperatur pada lapisan bed dapat dilihat pada tabel 4.4.

Laju pemanasan ditentukan dengan menarik garis lurus dari temperatur kira-kira 70°C hingga 700°C. Sedangkan laju pendinginan dilakukan sebaliknya dengan rentang temperatur yang sama. Termokopel 1 mewakili profil lapisan atas-tengah, sedangkan termokopel 2 mewakili lapisan tengah-bawah pada bed sinter. Dari data waktu-temperatur briket kokas dan kokas, laju pemanasan termokopel 2 lebih cepat dibandingkan termokopel 1. Artinya laju pemanasan di lapisan tengah ke bawah bed lebih cepat. Laju pemanasan dengan kokas lebih cepat dibandingkan dengan briket kokas. Hal ini mungkin karena kokas memiliki kadar kelembaban dan bahan-bahan mudah menguap yang lebih sedikit dibanding briket kokas (menurut data *proximate*

analysis), sehingga akselerasi konsumsi kokas lebih cepat pada awal pembakaran dengan demikian laju pemanasannya juga lebih cepat.

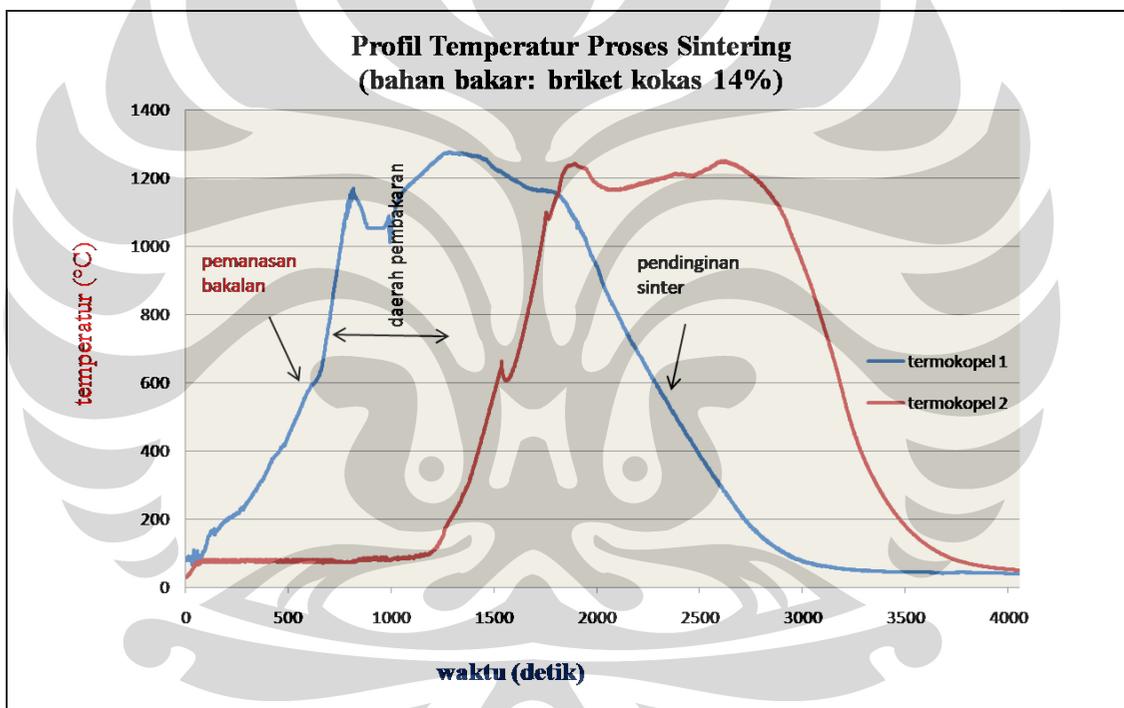
Temperatur maksimum untuk sintering dengan briket kokas tidak terdapat banyak perbedaan pada kedua termokopel, hal ini mungkin karena konsumsi bahan bakar yang tinggi (14%). Sedangkan untuk kokas terdapat perbedaan yang cukup signifikan pada pencatatan temperatur maksimum yang dapat dicapai termokopel 1 dan 2. Perberaan keduanya mencapai sekitar 150°C. Hal ini disebabkan oleh konsumsi bahan bakar yang tidak terlalu banyak (12%) dan panas pada bagian atas-tengah terserap oleh bagian atas bed serta ke bawah, terutama ke zona basah yang banyak menyerap panas. Ketika zona pembakaran bergerak turun, sinter di bagian atas masih menyimpan panas, zona basah telah menyempit dan kadar air berkurang sehingga bisa dicapai temperatur yang lebih tinggi pada termokopel 2.

Gambar 4.3 Karakteristik Waktu-Temperatur Sintering dengan Kokas



Tabel 4.4 Karakteristik Waktu-Temperatur Sintering

Kokas 12%	termokopel 1	termokopel 2
Laju pemanasan ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	101,58	241,76
T maksimum ($^{\circ}\text{C}$)	1231,3	1383
Laju pendinginan ($^{\circ}\text{C}/\text{menit}$)	68,36	55,5
waktu pada $T > 1100^{\circ}\text{C}$ (min)	9,17	12
Briket Kokas 14%	termokopel 1	termokopel 2
Laju pemanasan ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	55,07	73,39
T maksimum ($^{\circ}\text{C}$)	1275	1250
Laju pendinginan ($^{\circ}\text{C}/\text{menit}$)	45,75	56,38
Waktu pada $T > 1100^{\circ}\text{C}$ (min)	18,07	18,67



Gambar 4.4 Grafik Waktu-Temperatur Sintering dengan Briket Kokas

Observasi lain yang penting adalah lamanya waktu proses sintering (*residence time*) di atas temperatur 1100°C pada tiap lapisan bed. Di bagian tengah-bawah (untuk sintering dengan bahan bakar kokas 12%) ternyata memperlihatkan waktu residensial temperatur di atas 1100°C yang lebih lama, yang diwakili oleh termokopel 2. Pada sintering dengan briket kokas 14% tidak terdapat banyak perbedaan, hal ini mungkin karena konsumsi bahan bakar yang lebih besar. Waktu residensial di atas 1100°C dipandang penting karena pembentukan fasa-fasa terjadi pada temperatur tersebut⁷. Diasumsikan bahwa proses sintering telah selesai pada

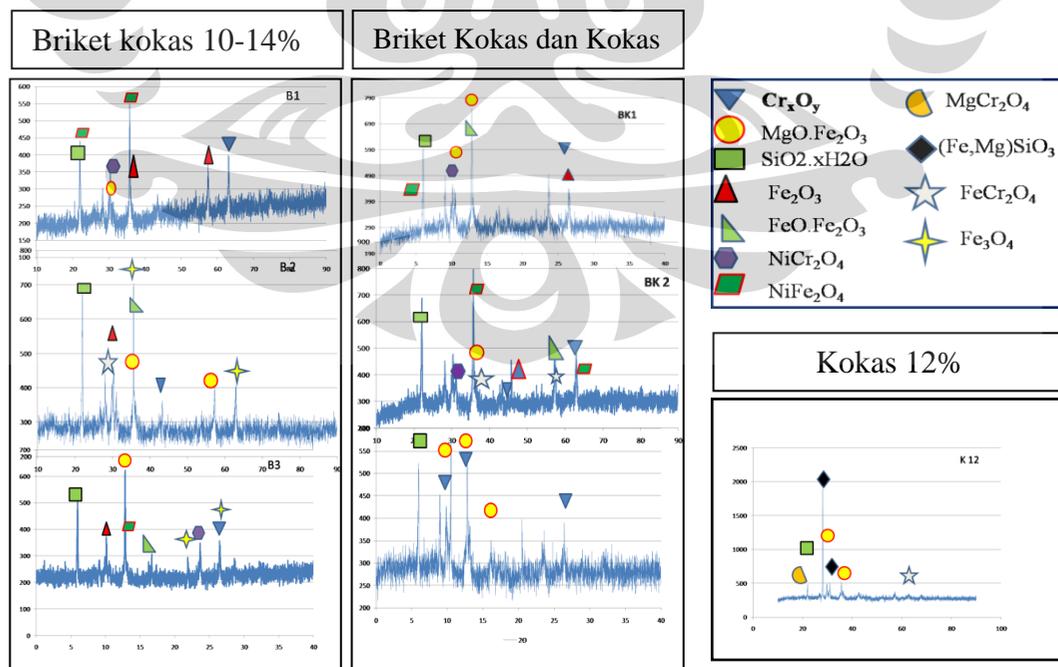
temperatur di bawah 1100°C . Dengan demikian, semakin lama waktu sintering di atas temperatur 1100°C maka waktu yang dimiliki untuk pembentukan fasa-fasa sinter semakin banyak. Sebagai hasilnya, akan lebih banyak dihasilkan fasa-fasa yang dapat meningkatkan kualitas sinter, seperti olivine dan mungkin juga spinel pada mineral saprolit tertentu. Pun pada temperatur tinggi lebih banyak terjadi pelelehan, yang dapat menguatkan komposit sinter dengan bertindak sebagai matriks.

Tekanan penghisapan juga akan mempengaruhi laju pemanasan dan pendinginan. Semakin tinggi daya/tekanan penghisapan, semakin tinggi pula laju aliran udara yang dihisap, maka pergerakan pembakaran juga semakin cepat. Pada kadar bahan bakar tertentu, hal ini akan meningkatkan laju pemanasan dan pendinginan. Pun dapat mempersingkat waktu residensial temperatur di atas 1100°C . Pada penelitian ini, penyulutan awal (*ignition*) tidak dilakukan penghisapan udara, maka waktu penyulutan jadi agak lama, jika dibanding percobaan awal yang menggunakan daya penghisapan ketika menyulut arang batok sebagai pembakaran awal.

4.5 MINERALOGI SAPROLIT SINTER

Analisis Pengujian XRD

Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD Saprolit Sinter



Untuk mengetahui senyawa-senyawa hasil dari proses sintering nikel saprolit, maka dilakukan pengujian XRD. Hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5. Hasil ini akan dihubungkan dan dibandingkan dengan pengujian XRD saprolit terdahulu sebelum dilakukan sintering.

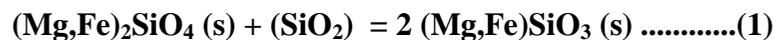
Dari pengujian XRD, terlihat bahwa senyawa yang dihasilkan cukup banyak dan bermacam-macam, didominasi oleh senyawa spinel, silika, dan chromite. Dapat dikatakan bahwa saprolit sinter ini memiliki struktur yang heterogen, berdasar pada senyawa-senyawa yang dihasilkan.

Secara umum persenyawaan hasil pengujian XRD dapat dibagi menjadi 3, yaitu kelompok senyawa Cr-O (Chromite), Fe-O (Fe_2O_3) dan SiO_2 . Kemungkinan senyawa Chromite merupakan produk dekomposisi dari Chlorite-chromian. Senyawa Fe oksida bisa merupakan produk dekomposisi dari *nimite (chlorite)*, *willemseite (Talc)*, dan *lizardite (serpentine)*. Dan $(\text{Fe},\text{Mg})\text{SiO}_3$ (*Ferrosilite*) atau *pyroxene* kemungkinan berasal dari *lizardite*.

Dapat disimpulkan bahwa fasa/senyawa utama dari saprolit sinter adalah SiO_2 , $\text{MgO}.\text{Fe}_2\text{O}_3$ (*magnesioferite/spinel*), dan Cr oksida. Ketiganya terdeteksi di setiap sampel XRD kecuali Cr-O yang tidak terdapat pada sampel kokas. Senyawa-senyawa spinel juga mendominasi mikrostruktur saprolit sinter, yaitu spinel chromite dan spinel magnetit. Juga terdapat hematit dan magnetit di beberapa sampel. Di sini terlihat bahwa chromite dan Fe oksida mendominasi persenyawaan saprolit sinter. Lain halnya dengan Fe yang terdeteksi memiliki kadar yang tinggi pada pengujian XRF, unsur Cr yang terdeteksi pada pengujian XRF relatif kecil, ternyata memiliki kontribusi yang signifikan dalam susunan komposit saprolit sinter. Hal ini bisa dimengerti karena pada pengujian XRD, mineral *Chlorite-chromian* diperkirakan memiliki persentase terbesar pada saprolit yang diuji. Sehingga, meski kadar Cr kecil, distribusinya mungkin merata karena unsur tersebut merupakan bagian dari *chlorite-chromian*.

Temuan yang menarik adalah terdeteksinya senyawa *Ferrosilite* $(\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_3$ yang berfungsi sebagai matriks pengikat. Penelitian yang dilakukan Xuewei (2010) tentang mineralogi laterit sinter menyatakan bahwa pengikat utama komposit sinter adalah olivine, Mg_2SiO_4 ¹¹. Namun pada penelitian ini tidak ditemukan adanya olivine. Perbandingan komposisi MgO/SiO_2 yang kecil dapat mempengaruhi

kestabilan olivine pada reaksi kesetimbangan olivine-pyroxene seperti reaksi di bawah ini:

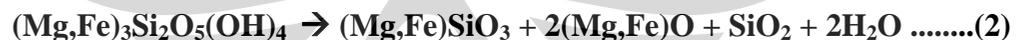


Tingginya konsentrasi SiO_2 akan menggeser reaksi ke kanan. Hal ini semakin jelas terlihat pada diagram fasa MgO-FeO-SiO_2 seperti gambar 4.6, bahwa tingginya proporsi SiO_2 pada garis MgO-SiO_2 akan semakin memperbesar kemungkinan terbentuknya *pyroxene* atau *ferrosilite*, $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$.

Kemudian timbul pertanyaan, mengapa kemunculan *pyroxene* tersebut hanya pada 1 sampel saja, yaitu di sampel kokas. Hal ini tentu saja tidak ada kaitannya dengan bahan bakar yang digunakan, namun berhubungan langsung dengan mineral saprolit yang digunakan.

Kemungkinan pertama adalah, saprolit memiliki berbagai macam jenis senyawa kimia seperti yang telah terdeteksi pada pengujian XRD, dan distribusi mineral-mineral tersebut belum tentu merata. Meskipun pada tahap awal penelitian telah dilakukan pencampuran saprolit, masih ada kemungkinan terdapat perbedaan (heterogenitas) senyawa mineral pada sampel saprolit yang digunakan pada penelitian ini. Jika misalnya saja mineral *lizardite* mengelompok pada suatu fraksi, maka kemungkinan terbentuknya *ferrosilite* juga meningkat.

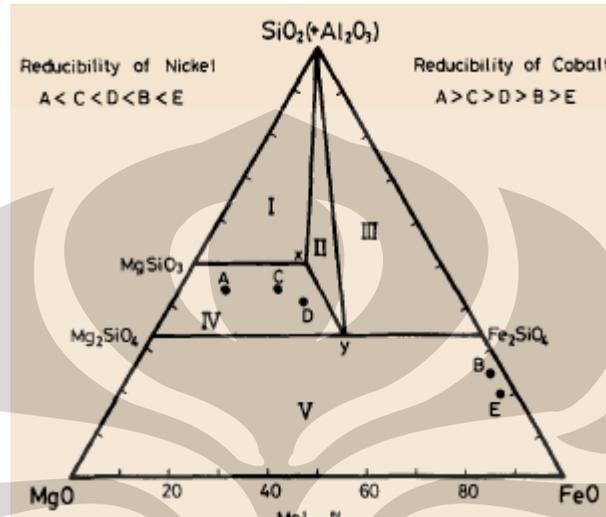
Penjelasan lain adalah, *ferrosilite* terbentuk dari hasil dekomposisi senyawa mineral *lizardite*. Dari pengujian XRD diperkirakan kandungan *lizardite* tidak sebanyak *chlorite-chromian* ataupun *willemseite*, sehingga dapat menjelaskan mengapa senyawa *ferrosilite* hanya ditemukan pada satu sampel saja. Adapun reaksi pembentukan *ferrosilite* dari dekomposisi (dehidrasi) *lizardite* adalah sebagai berikut:



$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$ sebenarnya adalah *pyroxene*, yang merupakan larutan padat antara enstatit MgSiO_3 dan *ferrosilite* FeSiO_3 . Namun pada data base XRD yang muncul adalah nama *ferrosilite*. Hal ini mungkin saja karena pada *pyroxene* tersebut lebih besar proporsi *ferrosilite* daripada enstatit. Dan ini tentu saja memungkinkan mengingat kadar Fe yang tinggi jika dibandingkan dengan kadar Mg.

Pada saprolit sinter ditemukan $\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ dan MgFe_2O_4 di setiap sampel XRD. Kemungkinan reaksi di bawah ini (dekomposisi dan dehidrasi) mendasari

terbentuknya kedua senyawa tersebut dan menjadikannya sebagai pengikat utama pada saprolit sinter



Gambar 4.6 Diagram Fasa Sistem MgO-FeO-SiO₂²²

Berikut ini adalah kemungkinan reaksi-raeksi serta dekomposisi senyawa-senyawa mineral saprolit saat proses sintering, yang ditemukan pada pengujian XRD:

- $\text{NiMn}_2\text{O}_4 \rightarrow \text{NiO} + \text{Mn}_2\text{O}_3$
- $(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \rightarrow x\text{MgO} + y\text{Al}_2\text{O}_3 + m\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$
- $(\text{Mg}_5\text{Al}_{0.75}\text{Cr}_{0.25})(\text{AlSi}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_8 \rightarrow x\text{MgO} + y\text{Al}_2\text{O}_3 + z\text{Cr}_2\text{O}_3 + m\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$
- $(\text{Ni,Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \rightarrow 3(\text{Mg,Ni})\text{O} + 4\text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $2(\text{Mg,Ni})\text{O} + 4\text{CrO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MgCr}_2\text{O}_4 + \text{NiCr}_2\text{O}_4$
- $2(\text{Mg,Ni})\text{O} + 4\text{FeO} + \text{O}_2 \rightarrow \text{MgFe}_2\text{O}_4 + \text{NiFe}_2\text{O}_4$
- $(\text{Mg,Fe})_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 2\text{CO} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{MgFe}_2\text{O}_4 + 2\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$
- $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$
- $2(\text{Mg,Fe,Ni})\text{O} + 3\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{Cr}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{MgFe}_2\text{O}_4 + \text{MgCr}_2\text{O}_4 + \text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeCr}_2\text{O}_4 + \text{NiFe}_2\text{O}_4 + \text{NiCr}_2\text{O}_4$
- $2\text{Fe}_3\text{O}_4 + 1/2\text{O}_2 \rightarrow 3\text{Fe}_2\text{O}_3$

Dengan membandingkan senyawa-senyawa saprolit sinter yang didapatkan dari pengujian XRD dengan reaksi di atas, maka dapat dilihat adanya korelasi dan kesesuaian mineralogi saprolit sebelum dan setelah proses sintering.

Jika melihat reaksi-reaksi di atas, beberapa diantaranya adalah reaksi oksidasi. Penjelasan adalah, setelah terjadi reaksi reduksi dan dekomposisi pada temperatur tinggi, kemudian diikuti oleh pendinginan yang di saat bersamaan juga masih dialirkan udara melalui pengisapan. Dengan kondisi seperti itu, maka meskipun tidak dialiri udara secara paksa (*forced convection*), tetap akan ada reaksi oksidasi. Apalagi dengan adanya konveksi paksa udara tersebut, potensial oksigen di dalam bed akan meningkat sehingga mempermudah reaksi oksidasi. Maka pembentukan senyawa atau mineralogi saprolit sinter sangat dipengaruhi oleh reaktivitasnya dengan udara pada proses pendinginan. Semakin banyak pori atau mikropori yang dihasilkan, semakin tinggi pula kemungkinannya untuk mengalami reaksi-reaksi oksidasi. Kemungkinan oksidasi terjadi pada senyawa-senyawa seperti FeO dan MgO yang memang tidak ditemukan pada hasil pengujian XRD.

4.6 REDUKSI SAPROLIT SINTER DAN PENGARUH BAHAN BAKAR

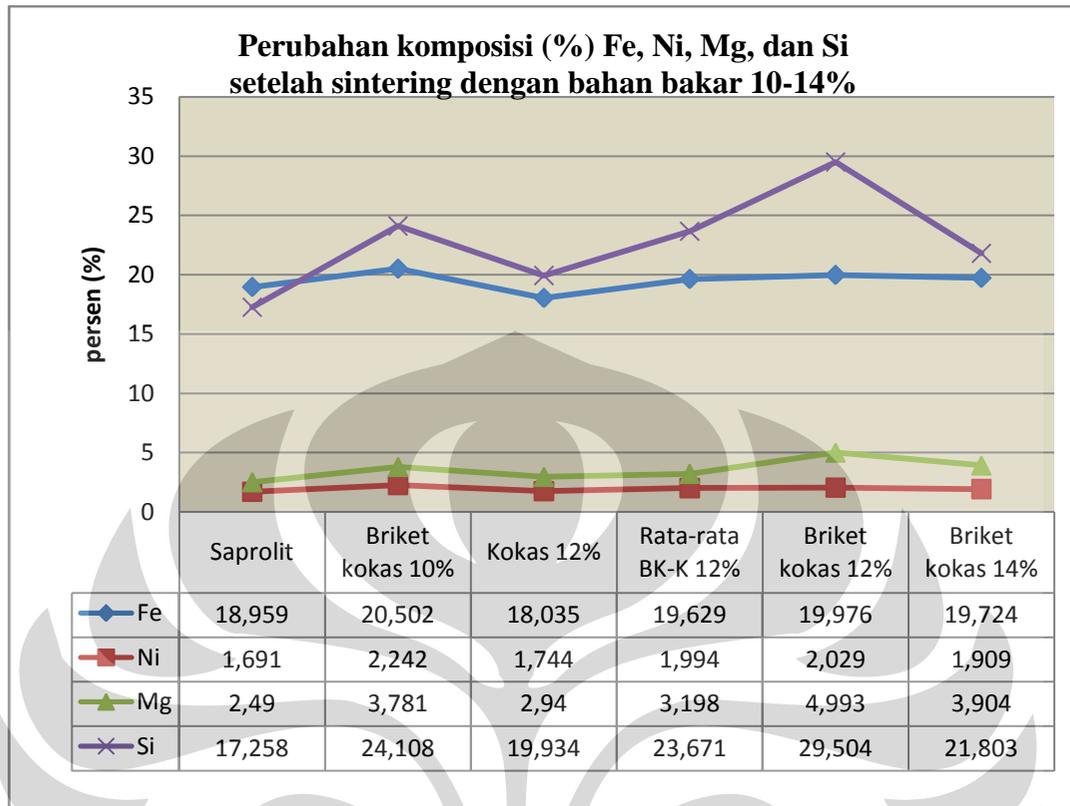
Analisis Pengujian XRF

Tabel 4.5 dan 4.6 adalah statistik hasil pengujian XRF. Dari data tersebut dapat diketahui komposisi berbagai unsur penyusun komposit saprolit sinter.

Tabel 4.5 Komposisi Sinter Sampel Kokas dan Campuran Kokas-Briket Kokas

	KOKAS 12%	B.K4% - K 8%	B.K 6% - K 6%	B.K 8% - K 4%	BRIKET KOKAS 12%	RATA2 BK-K
Fe	18,035	19,07	20,031	19,785	19,976	19,629
Ni	1,744	1,93	2,006	2,047	2,029	1,994
Mg	2,94	3,46	4,565	1,569	4,993	3,198
Si	19,934	23,584	27,155	20,275	29,504	23,671

Tabel 4.6 Perbandingan Komposisi Saprolit Sinter dengan Variasi Bahan Bakar



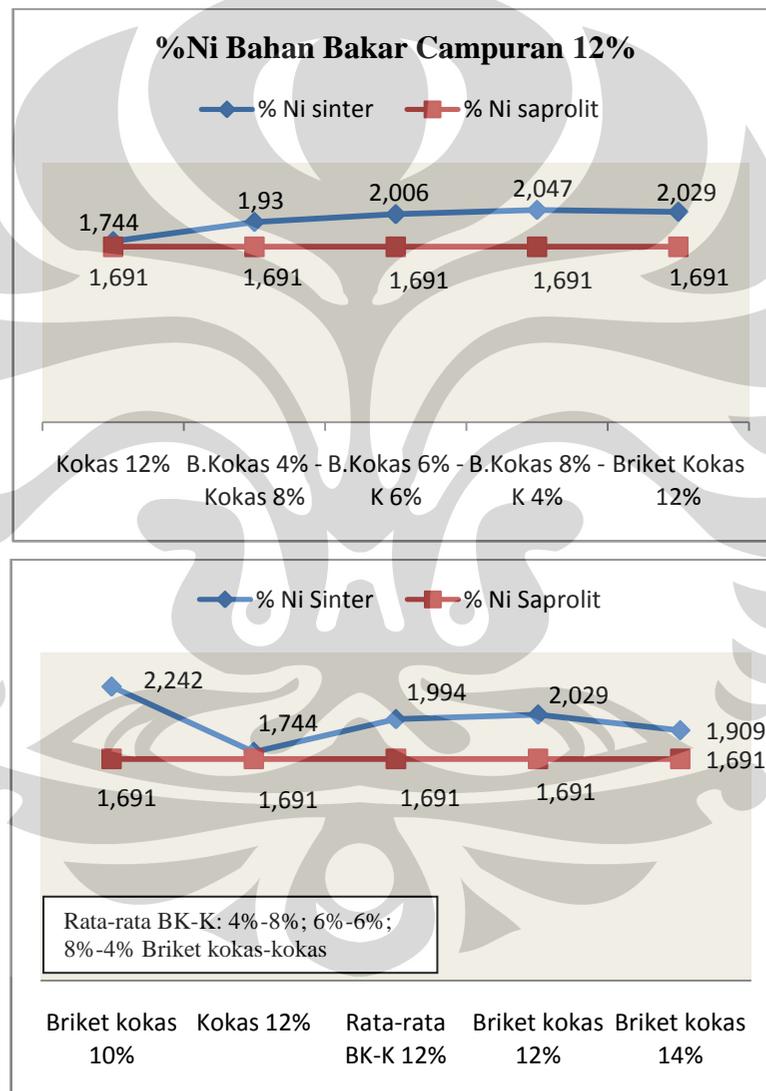
Dari tabel 4.5 dan 4.6 dapat dilihat bahwa kadar Fe, Ni, Mg dan Si mengalami peningkatan setelah sintering. Artinya saprolit mengalami reduksi selama berlangsungnya proses sintering.

Perubahan komposisi Si dan Mg tidak memiliki pola tertentu terhadap variasi penggunaan jenis dan komposisi bahan bakar. Terlihat di grafik bahwa Fe, Ni, Mg, dan Si memiliki pola kenaikan dan penurunan yang selaras. Perbandingan komposisi Mg/Si bisa dihubungkan dengan ukuran basasitas MgO/SiO_2 . Perbandingan MgO/SiO_2 biasa dikaitkan dengan kemampuan reduksi (*reducibility*) bijih nikel laterit²². Semakin tinggi perbandingan MgO/SiO_2 , maka kemampuan nikel untuk tereduksi semakin rendah. Namun pada penelitian ini hanya dilakukan satu kali pengujian komposisi saprolit, sehingga tidak mungkin mengetahui korelasi antara reduksi nikel saprolit pada proses sintering terhadap nilai MgO/SiO_2 . Justru jika melihat data pengujian XRF, kenaikan atau penurunan Mg dan Si juga akan diikuti pola yang sama pada Ni.

Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa sintering menggunakan bahan bakar briket kokas menghasilkan %Ni yang lebih tinggi dibandingkan dengan

menggunakan bahan bakar kokas. Dan dari variasi campuran bahan bakar briket kokas dan kokas menunjukkan tren kenaikan %Ni seiring dengan kenaikan penambahan briket kokas pada campuran bahan bakar briket kokas dan kokas. Dapat disimpulkan bahwa briket kokas dapat menggantikan kokas ditinjau dari kemampuannya untuk mereduksi Ni dalam bijih saprolit pada proses sintering.

Gambar 4.7 Grafik %Ni Sebelum dan Setelah Sintering dengan Peningkatan Kadar Bahan Bakar serta Variasi Bahan Bakar Briket Kokas dan Kokas



Pada variasi persen bahan bakar yang digunakan pada proses sintering (gambar 4.7) menunjukkan bahwa %Ni tertinggi didapat dengan bahan bakar briket kokas 10% dan yang terendah adalah dengan bahan bakar kokas 12%. Penambahan

bahan bakar sebanyak 12% dan kemudian 14% pada bahan bakar briket kokas memperlihatkan tren penurunan %Ni saprolit sinter. Maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan bahan bakar briket kokas sebanyak 10% dapat memperoleh %Ni sinter yang optimal, justru penambahan kadar bahan bakar akan mengurangi perolehan %Ni sinter yang didapat. Hal ini mungkin karena pada penambahan bahan bakar sebanyak 12% dan 14% menimbulkan pelelehan saprolit berlebih yang justru menghambat reaksi padatan (mineral) dan gas (reduktor), karena lelehan tersebut melingkupi mineral atau bahkan mungkin bahan bakar yang belum terbakar, dengan demikian dapat menghambat reaksi sintering.

Tabel 4.7 %Ni dan %Reduksi Saprolit Sinter dengan Campuran Bahan Bakar Briket Kokas dan Kokas

	Kokas 12%	B.Kokas 4% - Kokas 8%	B.Kokas 6%- K 6%	B.Kokas 8%-K 4%	Briket Kokas 12%
% Ni	1,744	1,93	2,006	2,047	2,029
% reduksi	3,13	14,13	18,63	21,05	19,99

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar briket kokas pada proses sintering saprolit akan menghasilkan % reduksi Ni yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan kokas. Bahkan dengan menggunakan kadar yang sama sebanyak 12%, hasil %reduksi nikel dari bahan bakar briket kokas jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kokas (lebih dari 6 kali lipat). meskipun perbedaan yang jauh ini belum tentu mewakili hasil yang sebenarnya, karena seperti pada pembahasan pengujian XRD, sampel saprolit sinter dengan bahan bakar kokas kemungkinan didominasi oleh senyawa yang berasal dari mineral *lizardite*, dan ditambah dengan *chlorite-chromian*. Kedua mineral tersebut menurut Brand et.al (1998) berturut-turut hanya memiliki kandungan nikel rata-rata sebesar 0,15% dan 0,3%². Hal inilah yang mungkin menyebabkan perbedaan yang mencolok tersebut.

Pada penggunaan campuran bahan bakar briket kokas dan kokas, terlihat bahwa setiap kenaikan proporsi briket kokas akan diikuti oleh kenaikan % reduksi nikel. Maka penggunaan briket kokas memang terbukti akan menghasilkan % reduksi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kokas. Hal ini tentu saja didukung oleh data *proximate analysis* bahwa kadar *fixed carbon* briket kokas lebih

tinggi dibandingkan kokas, sehingga briket kokas dapat menghasilkan reduksi yang lebih tinggi.

Tabel 4.8 %Ni dan %Reduksi Saprolit Sinter dengan Briket Kokas

	Briket kokas 10%	Briket kokas 12%	Briket kokas 14%
% Ni sinter	2,242	2,029	1,909
% reduksi Ni	32,58	19,99	12,89

Seperti telah dijelaskan di atas bahwa sampel bahan bakar briket kokas 10% menghasilkan %Ni sinter tertinggi, dan tentu saja %reduksi nya juga tinggi. Sehingga dapat disimpulkan penggunaan bahan bakar briket kokas 10% akan menghasilkan saprolit sinter paling baik ditinjau dari %Ni atau %reduksi yang diperoleh.

Seperti kita ketahui bahwa bijih nikel oksida mengandung konsentrasi magnesia yang tinggi, sehingga memiliki *reducibility* yang rendah. Fenomena ini berhubungan dengan pembentukan olivine. Karena radius Ni mendekati radius Mg, maka dapat melakukan pertukaran tempat dalam kisi Mg-silikat. Ketika sudah terikat pada kisi itu, sulit untuk dilakukan reduksi (dengan gas) bahkan pada temperatur tinggi sekalipun. Aktifitas Ni dalam larutan padat MgNi-silikat sangat rendah pada konsentrasi Ni di bawah 5%²², hal inilah yang menjadi alasan dari rendahnya *reducibility* Ni pada konsentrasi Mg yang tinggi. Ketika kandungan Mg dan silika turun, maka menurut diagram fasa sistem FeO-MgO-SiO₂ (gambar 4.6), olivine tidak mampu menampung fraksi nikel yang lebih besar, akibatnya persentase reduksi nikel akan naik pada temperatur tinggi. Hal ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Kawahara (1988), bahwa reduksi bijih nikel akan naik pada temperatur tinggi dan pada kadar Fe yang tinggi²². Dan dari data XRF sangat mendukung teori tersebut, karena perbandingan kadar Fe terhadap Mg sangat besar, maka diperoleh hasil reduksi nikel yang cukup tinggi.

Pun Kawahara (1988) menambahkan bahwa NiO dalam olivine sangat sulit direduksi, sedangkan keberadaannya dalam (Mg,Ni)O (*magnesiowusite*) akan lebih mudah direduksi²². Terlepasnya nikel dari kisi magnesia tersebut dapat dijadikan sebagai penjelasan, mengapa pada pengujian XRD banyak ditemukan Ni yang tidak berikatan dengan magnesia seperti NiFe₂O₄ dan NiCr₂O₄. Dan hal ini sekaligus dapat menjadi landasan mengapa tingkat reduksi Ni cukup tinggi.

4.7 STRUKTUR MAKRO DAN MIKRO SAPROLIT SINTER

Proses sintering menghasilkan bentuk struktur sinter yang mengalami granulasi dan densifikasi. Hal ini dapat dilihat pada foto makro dari saprolit sinter tersebut (gambar 4.8).

Gambar 4.8 Profil Struktur Saprolit Sinter



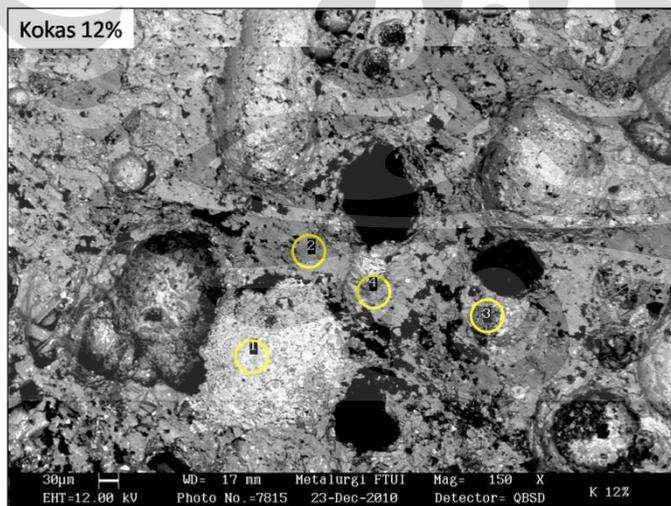
Struktur makro saprolit sinter dari bahan bakar kokas maupun briket kokas secara umum tidak menampilkan perbedaan yang berarti. Keduanya mempunyai struktur yang bisa dikatakan sama, hanya saja perbedaannya terletak pada densifikasi yang terjadi. Kandungan *fixed carbon* pada briket kokas yang lebih tinggi menyebabkan pembakaran yang lebih sempurna, ditandai oleh profil temperatur pembakaran briket kokas yang mampu mempertahankan temperatur di atas 1100°C lebih lama (18 menit) dibandingkan kokas (9-12 menit). Dengan semakin lamanya temperatur tinggi tersebut dipertahankan, maka semakin banyak kemungkinan terjadi pelelehan dan reaksi sintering. Sehingga secara umum produk sinter dengan menggunakan briket kokas akan lebih banyak mengalami densifikasi.

Densifikasi terjadi karena adanya mekanisme pelelehan (*partial melting*) saprolit saat berlangsungnya proses sintering. Nampak pada gambar 4.8 bahwa densifikasi mengakibatkan terbentuknya rongga di bagian tengah. Hal ini pada awalnya dimulai dengan terjadinya penyusutan. Penyusutan tersebut disebabkan karena hilangnya kandungan air dan pembakaran yang terus bergerak ke bawah. Bagian atas sinter tidak runtuh karena saat pembakaran bergerak ke bawah, di bagian

atas telah terbentuk produk sinter yang cepat dingin dan saling berikatan, ditopang oleh produk sinter di bagian pinggir yang menempel pada dinding bed. Ketika terjadi densifikasi, maka bagian tengah ini membentuk rongga.

Pada profil struktur makro sinter juga terdapat bentuk-bentuk granulat yang merupakan ciri hasil proses sintering. Dibandingkan dengan bagian yang mengalami densifikasi, granulat ini lebih rapuh karena ikatannya lebih lemah. Meskipun secara mikro sebenarnya juga mengalami *partial melting* namun secara kuantitas dan kualitas tidaklah sebanyak pada bagian yang mengalami densifikasi. Bagian yang mengalami granulasi ini memiliki mikro dan makro pori jauh lebih banyak dibandingkan bagian yang mengalami densifikasi. Tetapi masih terdapat bagian yang tidak bereaksi atau tidak tersinter. Terutama granulat yang letaknya di bagian pinggir. Ada pula granulat yang letaknya di dasar bed, dan banyak bagiannya yang tidak ikut bereaksi selama sintering, karena tertutup/terlingkupi oleh hasil densifikasi. Bagian dasar ini, yang disebut zona akhir, seringkali menyisakan bagian-bagian yang tidak tersinter. Kumpulan partikel yang tidak tersinter berwarna kecoklatan, menandakan tidak terjadi reaksi (pembakaran) saat berlangsung sintering.

Analisis SEM dan EDX



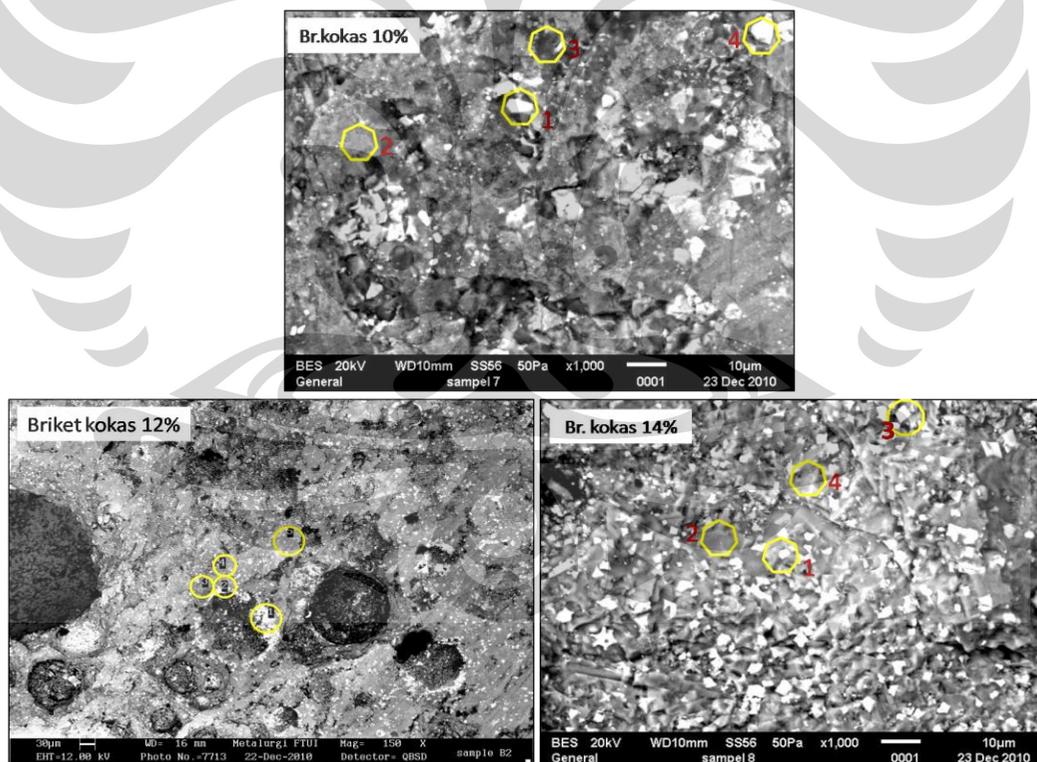
Gambar 4.9 Hasil SEM sampel kokas 12%

Gambar 4.9 memperlihatkan hasil pengujian SEM pada sampel kokas. Kemungkinan senyawa yang menyusun mikrostrukturnya adalah sebagai berikut:

- (1) kemungkinan terbesar adalah $(Mg,Ni)Fe_2O_4$ dan mungkin juga terdapat Fe_2O_3 serta residu serpentine.

- (2) terdapat $(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$, SiO_2 , dan terdapat sedikit CaO , Al_2O_3 , dan sulfur dari kokas. Disini terlihat bahwa ferrosilite bersama dengan silika bertindak sebagai matriks pengikat pada komposit sapolit sinter.
- (3) kemungkinan adalah mineral yang tidak mengalami reaksi sintering (*relict*), yaitu senyawa chlorite $(\text{Mg,Fe,Al})_3\text{Si}_2\text{O}_7$ dan SiO_2 .
- (4) terdapat residu atau endapan sulfur yang kemungkinan berasal dari kokas. Juga terdapat kandungan Ca (CaO) yang tinggi berasal dari *limestone*.

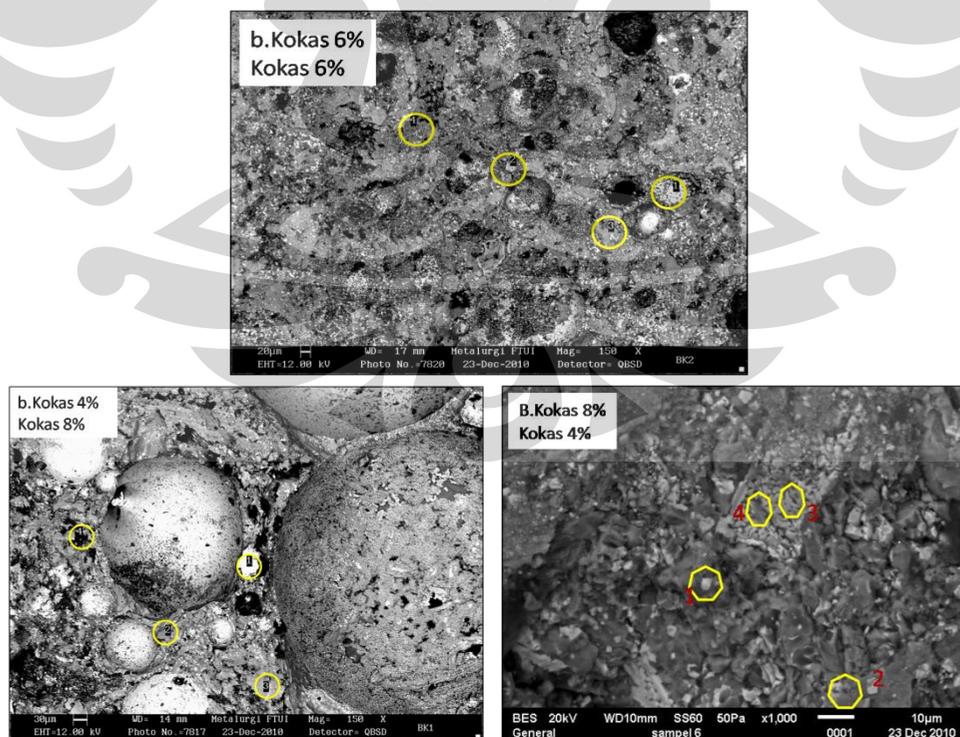
Pada pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM yang dilengkapi dengan EDX, sampel sebelumnya di mounting dan poles terlebih dahulu ada dapat layak untuk pengamatan dengan mikroskop elektron. Terdapat beberapa profil yang menggambarkan suatu struktur sinter. Terdapat bagian yang terang dan gelap, dimana daerah yang terang adalah daerah yang banyak mengandung logam, sedangkan daerah yang keabuan atau gelap adalah sebaliknya.



Gambar 4.10 Struktur Mikro Sampel dengan Bahan Bakar Briket Kokas

Tabel 4.9 Perkiraan Senyawa Dominan Berdasarkan Uji EDX
untuk Bahan Bakar Briket Kokas

Sampel	Titik Uji	Perkiraan senyawa dominan
Briket kokas 10%	1	(Mg,Ni)Fe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃ , relict chlorite
	2	SiO ₂ , (Mg,Fe,Al,Ca)SiO ₃
	3	Relict chlorite-Cr, C, Fe ₂ O ₃
	4	(Mg,Ni,Ca,Al)(Fe,Cr) ₂ O ₄ , SiO ₂
Briket kokas 12%	1	Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄
	2	MgFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃ , (MgAlCr) ₃ Si ₂ O ₇
	3	(Mg,Fe)O, CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂
	4	(Mg,Ca)(Al,Fe) ₂ O ₄ , SiO ₂
	5	MgO, Fe ₃ O ₄ , SiO ₂ .H ₂ O
Briket kokas 14%	1	C, MgO, (Mg,Ni)(Al,Fe) ₂ O ₄ , SiO ₂
	2	(Mg,Fe,Al,Ca)SiO ₃ , SiO ₂
	3	(Mg,Ni,Ca)(Fe,Cr,Al) ₂ O ₄ , SiO ₂
	4	(Mg,Fe,Al,Ca)SiO ₂ , SiO ₂



Gambar 4.11 Struktur Mikro Sampel dengan Bahan Bakar Campuran Briket Kokas dan Kokas

Tabel 4.10 Perkiraan Senyawa Dominan Berdasarkan Uji EDX untuk Bahan Bakar Campuran Briket Kokas dan Kokas

Sampel	Titik Uji	Perkiraan senyawa dominan
BK 4% - K 8%	1	Ni(Fe,Cr) ₂ O ₄ , MgFe ₂ O ₄ , Fe ₂ O ₃
	2	MgO, SiO ₂ , NiFe ₂ O ₄
	3	MgO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂
	4	MgO, Fe ₂ O ₃ , SiO ₂
BK 6% -K 6%	1	(Mg,Fe)Fe ₂ O ₄ , Ni(Fe,Cr) ₂ O ₄
	2	(Mg,Ca)(Al,Fe,Cr) ₂ O ₄ , SiO ₂
	3	(Mg,Fe,Al)SiO ₃ , CaO, SiO ₂
	4	(Mg,Fe,Al) ₃ Si ₂ O ₇ , MgO, Fe ₂ O ₃
BK 8% - K 4%	1	(Mg,Ni,Ca)(Fe,Cr,Al) ₂ O ₄ , SiO ₂
	2	(Mg,Fe,Ni)SiO ₃ , SiO ₂
	3	(Mg,Al,Ni)(Fe,Cr) ₂ O ₄ , SiO ₂
	4	(Mg,Ni, Ca)(Fe,Cr) ₂ O ₄ , SiO ₂

Hasil analisis pengujian SEM dan EDX dengan memperkirakan senyawa yang terbentuk memperlihatkan kemiripan dengan hasil pengujian XRD.

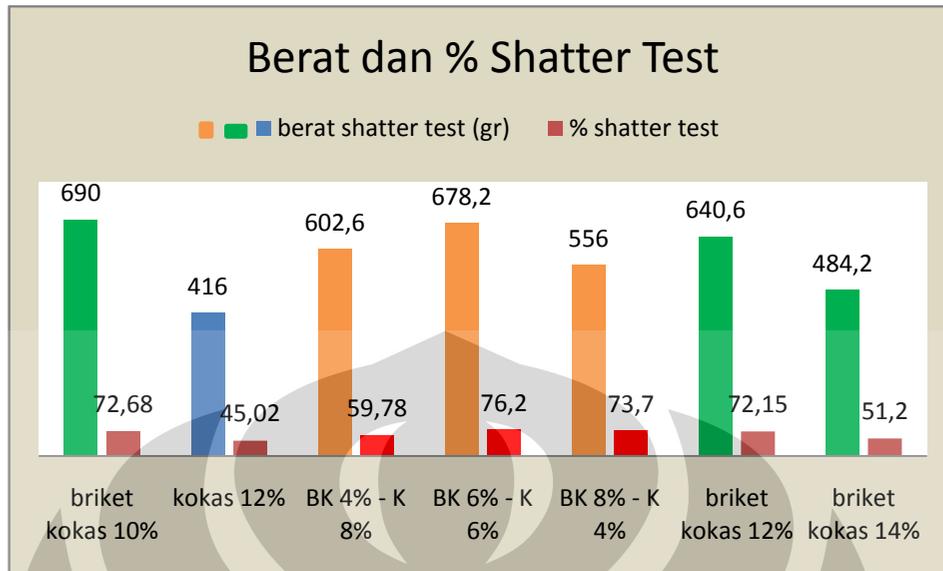
4.8 KEKUATAN SINTER

Kekuatan sinter salah satunya dapat ditentukan dengan pengujian *Drop of Shatter Test*. Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan sinter dari ketinggian 4-10 kaki sebanyak 1-4 kali. Dalam pengujian kali ini dilakukan sebanyak 3 kali. Kemudian fraksi yang masih berukuran di atas 5mm dianggap memenuhi syarat kekuatan sinter.

Tabel 4.11 Hasil pengujian *Drop of Shatter Test*

sampel	berat sinter (gr)	berat shatter test	% shatter test
briket kokas 10%	949,4	690	72,68
kokas 12%	924	416	45,02
BK 4% - K 8%	1008	602,6	59,78
BK 6% - K 6%	890	678,2	76,2
BK 8% - K 4%	890	556	73,7
briket kokas 12%	887	640,6	72,15
briket kokas 14%	946	484,2	51,2

Gambar 4.12 Grafik Berat dan Shatter Test



Dari tabel 4.11 dan gambar 4.12 terlihat sampel briket kokas 10% memiliki berat shatter test paling tinggi, sebesar 690 gram. Namun % shatter test tertinggi dicapai oleh sampel BK 2 (bahan bakar campuran briket kokas 6%-kokas 6%), dengan perolehan 76,2%.

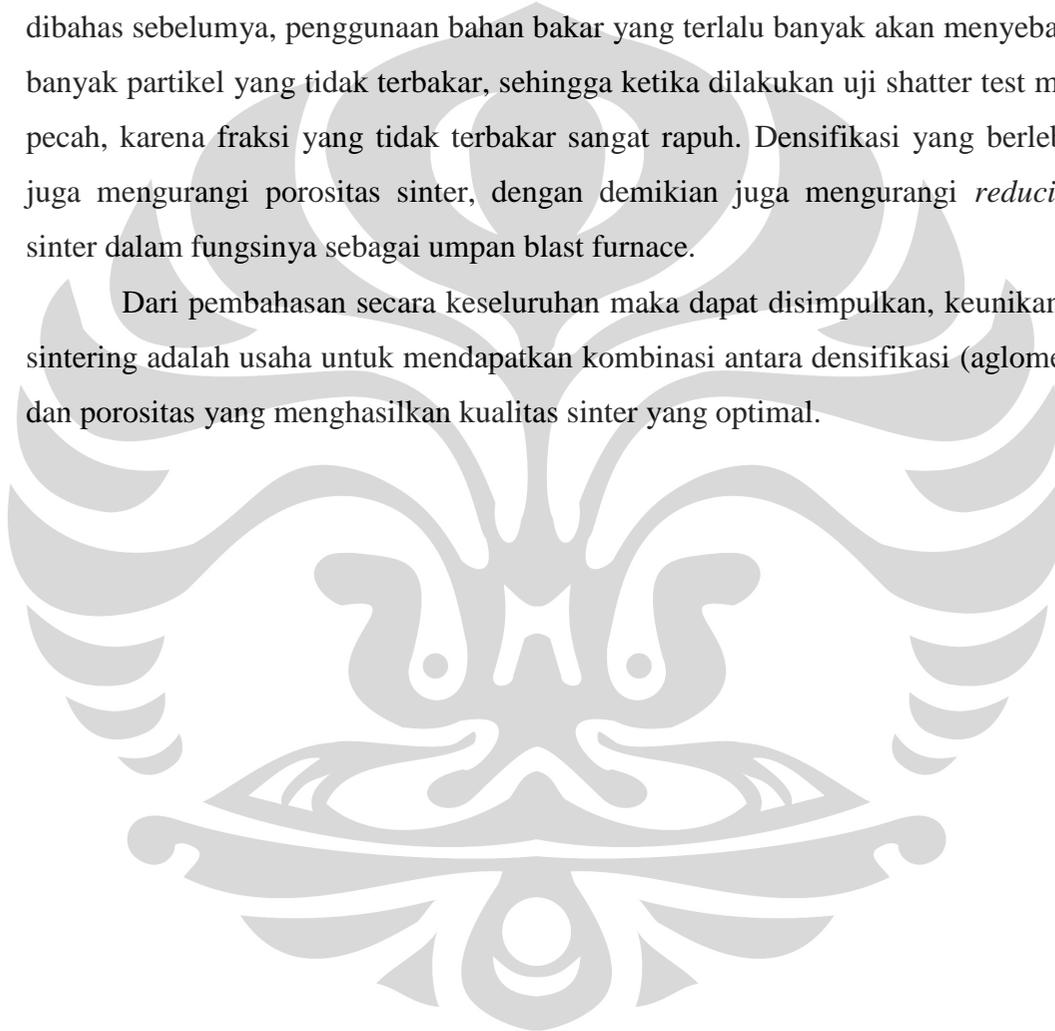
Setelah dilakukan *drop of shatter test* pada sampel briket kokas, dapat disimpulkan % shatter test tertinggi didapat pada sampel briket kokas 10% (72,68%), kemudian mengalami sedikit penurunan yang tidak terlalu signifikan pada sampel briket kokas 12% (72,15%). Penurunan % shatter test yang signifikan terjadi pada penggunaan bahan bakar briket kokas 14% (51,2%). Dengan demikian, kekuatan sinter sampel briket kokas 10% dan 12% relatif sama, dan penurunan kekuatan terjadi dengan penggunaan bahan bakar briket kokas sebanyak 14%. Penurunan kekuatan tersebut dikarenakan terjadi pelelehan yang berlebihan, sehingga menghasilkan fraksi-fraksi (partikel) saprolit atau bahkan bahan bakar yang tidak terbakar karena tertutup lelehan tadi.

Hasil yang menarik adalah % shatter test pada bahan bakar campuran kokas-briket kokas, dimana sampel BK 2 memperoleh 76,2% dan merupakan % shatter test tertinggi dari seluruh sampel. Hasil ini jauh lebih baik dibandingkan sampel BK 1 dan kokas 12% serta sedikit diatas sampel BK 3 dan briket kokas 12%. Meskipun hasil shatter test sampel kokas 12% paling rendah, namun pada penggunaan bahan bakar campuran memberikan pengaruh yang positif terhadap kekuatan sinter pada sampel BK 2 dan BK 3. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kokas memiliki

karakteristik laju pembakaran yang lebih cepat dibandingkan briket kokas, serta temperatur maksimum yang tinggi. Sehingga pada penggunaan bahan bakar campuran 12%, penambahan kokas sebanyak 6% dan 4% memberikan efek yang positif terhadap kekuatan sinter.

Komposisi bahan bakar yang besar ternyata tidak menjamin terjadinya lebih banyak densifikasi secara keseluruhan, yang dapat menguatkan produk sintering. Justru yang lebih penting adalah efektifitas pembakaran bahan bakar. Seperti telah dibahas sebelumnya, penggunaan bahan bakar yang terlalu banyak akan menyebabkan banyak partikel yang tidak terbakar, sehingga ketika dilakukan uji shatter test mudah pecah, karena fraksi yang tidak terbakar sangat rapuh. Densifikasi yang berlebihan juga mengurangi porositas sinter, dengan demikian juga mengurangi *reducibility* sinter dalam fungsinya sebagai umpan blast furnace.

Dari pembahasan secara keseluruhan maka dapat disimpulkan, keunikan dari sintering adalah usaha untuk mendapatkan kombinasi antara densifikasi (aglomerasi) dan porositas yang menghasilkan kualitas sinter yang optimal.



BAB V

KESIMPULAN

1. Fasa utama penyusun saprolit sinter adalah $MgFe_2O_4$, SiO_2 dan berbagai senyawa Cr oksida.
2. Ni pada saprolit sinter berikatan dengan chromite dan hematit, membentuk senyawa spinel $NiFe_2O_4$ dan $NiCr_2O_4$.
3. %Ni sinter tertinggi diperoleh dengan bahan bakar briket kokas 10%, yaitu 2,242%. Peningkatan komposisi briket kokas hingga 14% menurunkan %Ni sinter hingga 1,909%.
4. %Ni sinter tertinggi untuk campuran bahan bakar briket kokas dan kokas dicapai pada komposisi briket kokas 8% - kokas 4% (2,047%Ni). Pengurangan proporsi briket kokas pada campuran bahan bakar juga diikuti oleh penurunan %Ni, dan %Ni terendah diperoleh dari komposisi bahan bakar briket kokas 4%-kokas 8%, yaitu 1,93%.
5. % Reduksi tertinggi diperoleh dengan bahan bakar briket kokas 10% (32,58%) dan terendah diperoleh dengan bahan bakar kokas 12% (3,13%).
6. Kekuatan saprolit sinter tertinggi dicapai dengan bahan bakar campuran kokas 6%-briket kokas 6% (76,2% shatter test). Penggunaan kokas pada bahan bakar campuran memberikan efek positif pada campuran briket kokas 6%-kokas 6% dan briket kokas 8%-kokas 4%. Kekuatan saprolit sinter tertinggi untuk bahan bakar briket kokas didapat dengan komposisi briket kokas 10%. Penambahan komposisi bahan bakar briket kokas 12% dan 14% menurunkan kekuatan sinter.
7. Secara keseluruhan kualitas sinter terbaik dicapai dengan penggunaan bahan bakar briket kokas 10%. Kualitas sinter tersebut meliputi %Ni yang diperoleh, %reduksi, dan kekuatan sinter dengan pengujian *Drop of Shatter Test*.

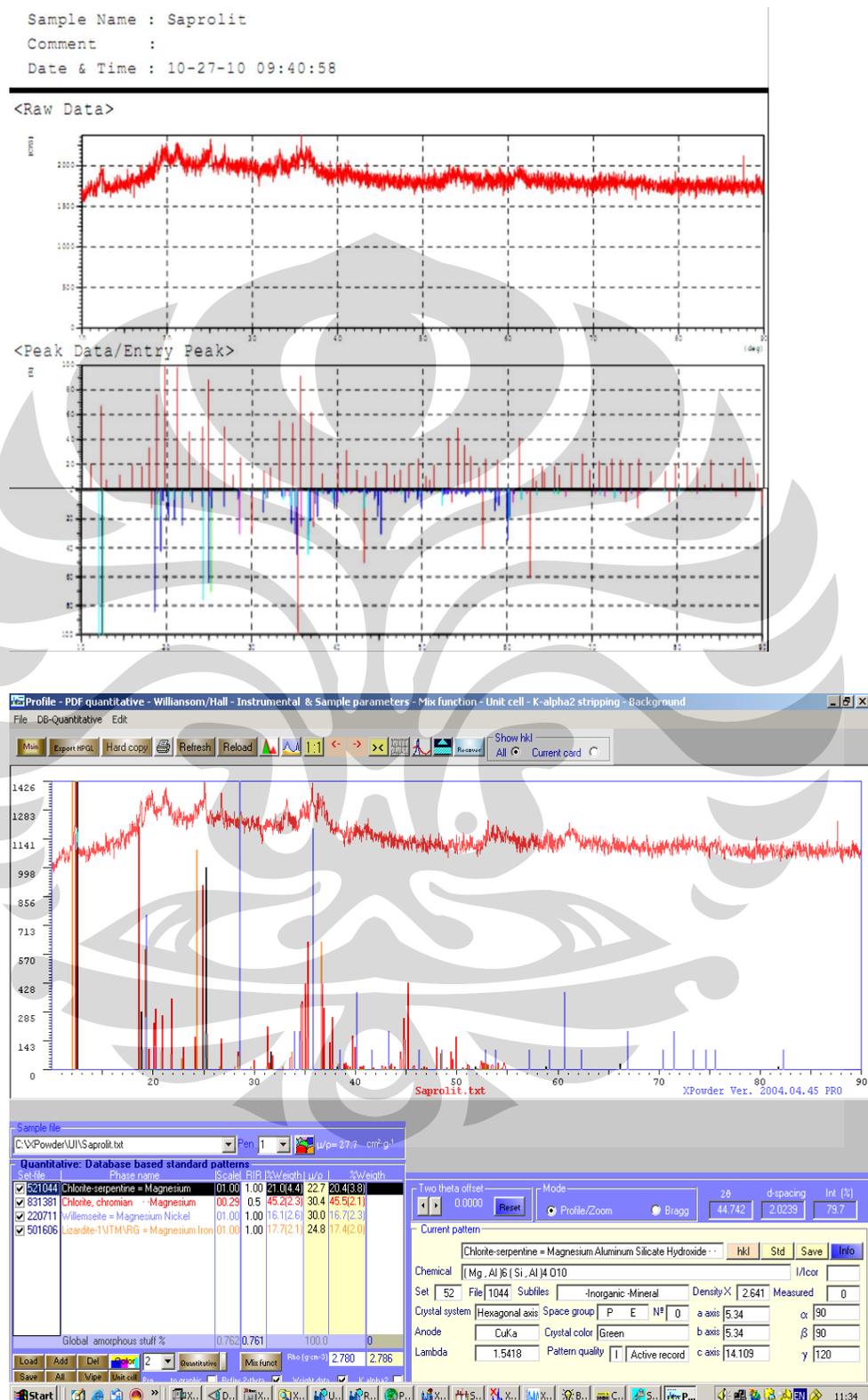
DAFTAR PUSTAKA

1. Alcock, R.,A. “*The character and Occurence of Primary Resources Available to the nickel industry*”, INCO Limited,ontario, canada, L5K 1Z9
2. Brand, N.W., Butt, C.R.M., & Ellias, M. *Nickel Laterites: Classification and Features*. Journal of Australian Geology and Geophysics.1998. 17(4),81-88.
3. Loo, CE., Williams, R.P., & Matthews, L.T. *Influence of Material Properties on High Temperature Zone Reactions in Sintering of Iron Ore*. Trans. of The Institute of Mining and Metallurgy,101, January-April. 1992. PP C7-C16
4. Jordaan, W.J., *The Variation of Sinter Strength in The Sinter Bed due to The Mineral Phase Distribution*. Thesis. 2003. University of Pretoria.
5. Yang, W., Yang, K., & Choi, S. *Numerical Investigation of Effects of Fuel Characteristics on an Iron Ore Sintering Process*. 2005. The university of adelaide, australia
6. Cappel, F. *The History and Development of Iron Ore Sintering*. Ironmaking conference proceedings. Vol.50.1991. pp.525-5
7. Dawson, P.R., *Reaserch Study on Sintering and Sinter Quality*. Ironmaking and Steel making.vol 20.no.2.1993.pp.137-143
8. Loo, C.E. *Some Progress in Understanding The Science of Iron Ore Sintering*. ISTI Ironmaking Conference Proceedings. 1998. Pp.1299-1316
9. Davies, W. *Some Practical Applications of Fundamental Sinter Research*. Canadian mining and metallurgical transactions.vol.63.1960.pp.114-126
10. Wendeborn H.B. *Sintering as a Physical Process*. Journal of the Iron and Steel institute.vol 175,november 1953. Pp 280-288
11. Xuewei L.V., Chenguang B.A.I., Shengping H.E. & Qingyun Huang. *Mineral Change of Philippine and Indonesia Nickel Lateritic Ore during Sintering and Mineralogy of Their Sinter*. ISIJ International, vol.50, no.3,pp.380-385
12. Hsieh, Li-Heng & Whiteman, JA. *Sintering Conditions for Simulating The Formation of Mineral Phases in Industrial Iron Ore Sinter*. ISIJ international.vol 29.no.1.1989. pp.24-32

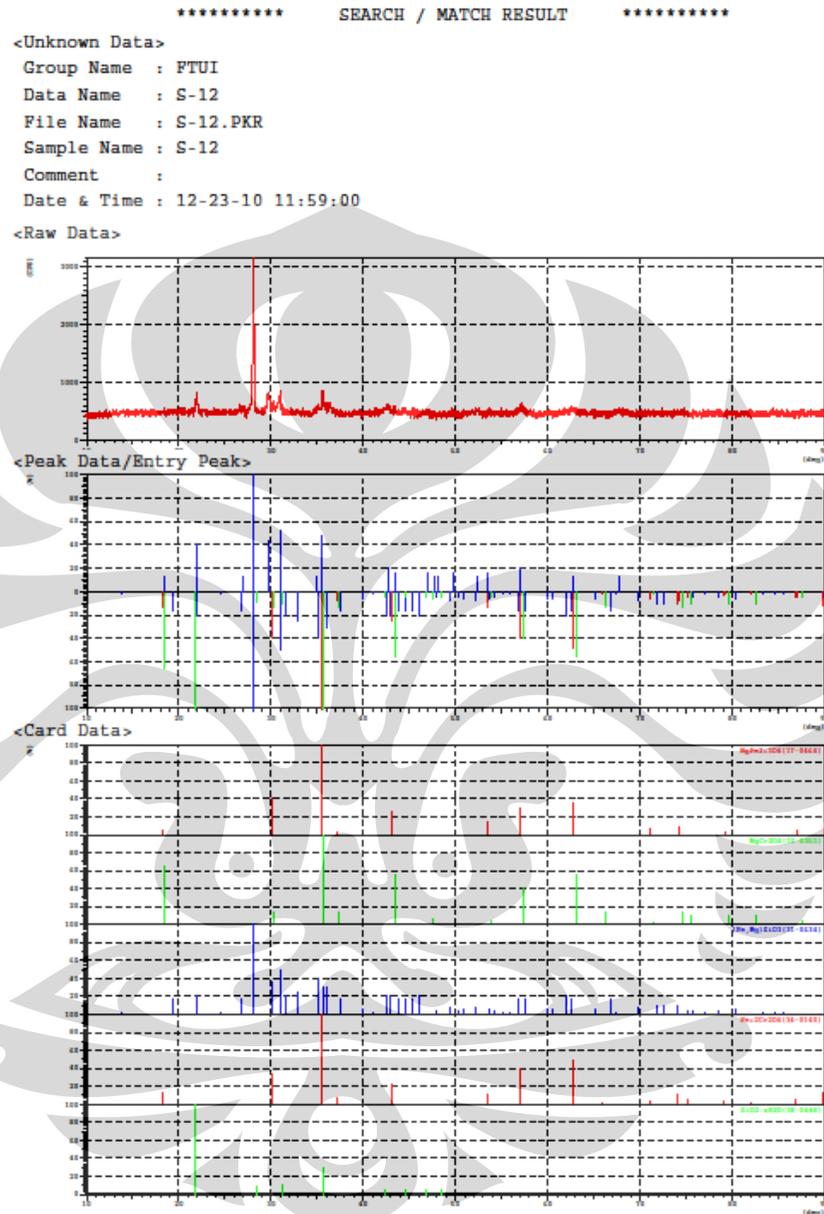
13. Dawson, P.R., Ostwald, J., & Hayes, KM., *The Influence of The Sintering Temperature Profile on The Mineralogy and Properties of Iron Ore Sinters*. proc. australas. Inst. Min. Metall. no 289. june/july, 1984. Pp 163-169
14. Hsieh, Li-Heng, & Whiteman, JA. *Effect of Oxygen Potential on Mineral in Lime Fluxed Iron Ore Sinter*. ISIJ int. Vol.29.no.8 1989. Pp 625-634
15. Loo, CE & Matthews L.T., *Assimilation of Large Ore and Flux Particles in Iron Ore Sintering*. Transaction of The Institute of Mining and Metallurgy.101, May-agust. 1992. Pp C105-C117
16. Higuchi, K., Tanaka, T.,& Sato, T., *Reaction Behavior of Dolomite Accompanied with Formation of Magnetite Solid Solution in Iron Ore Sintering Process*, ISIJ Int., vol.47 (2007).no.5,pp 669-678
17. Bristow, NJ. And Watres , AG. *Roles of SFCA in Promoting High-Temperature Reduction Properties of Iron Ore Sinters*. Transaction of the institute of mining and metallurgy. 100, jan-april. 1991. Pp C1-C10
18. <http://www.tekmira.esdm.go.id/kp/Batubara/pengembanganbriketkokas.asp> (diunduh desember 2010)
19. <http://www.tekmira.esdm.go.id/kp/Batubara/BriketKokasPengecoran.asp> (diunduh desember 2010)
20. Loo, CE. And Wong, DJ. *Fundamental Factors Determining Laboratory Sintering Results.*, ISIJ , vol 45.2005.pp 449-458
21. Strassburger J.H., Dwight Brown, & Robert Stephensen, *Blast Furnace – Theory and Practical*, vol 1, 1984(reprinted). pp. 221-273. New York: Gordon and Breach Science Publishers
22. Kawahara, M., Toguri, JM.,& Bergman RA., *Reducibility of Laterite Ores*. Metallurgical transactions B. Vol 19B, april 1988. pp 181-186



Hasil Pengujian XRD Saprolit



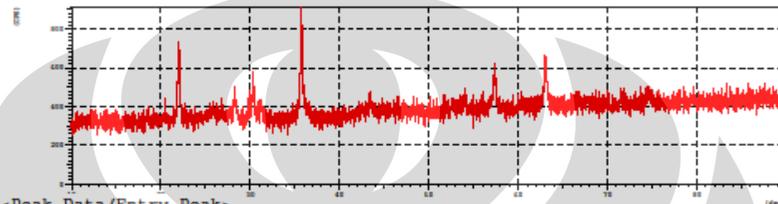
Hasil Pengujian XRD sampel kokas 12%



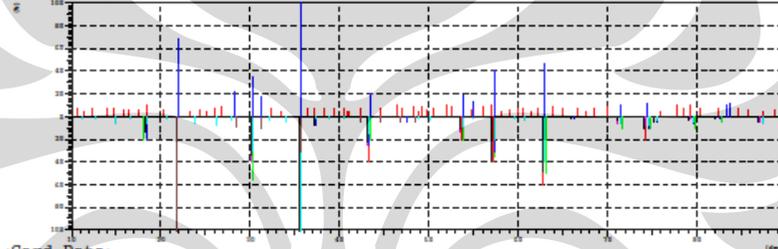
Hasil Pengujian XRD sampel briket kokas 10% (B1)

```
***** SEARCH / MATCH RESULT *****  
<Unknown Data>  
Group Name : FTUI  
Data Name : S-11  
File Name : S-11.PKR  
Sample Name : S-11  
Comment :  
Date & Time : 12-23-10 10:52:40
```

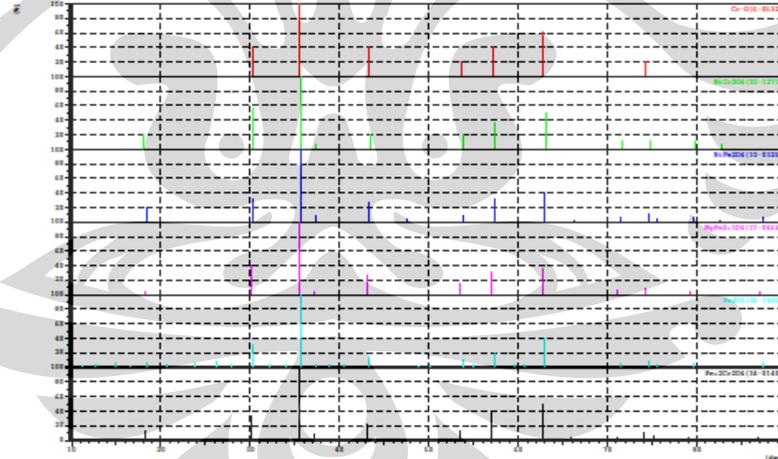
```
<Raw Data>
```



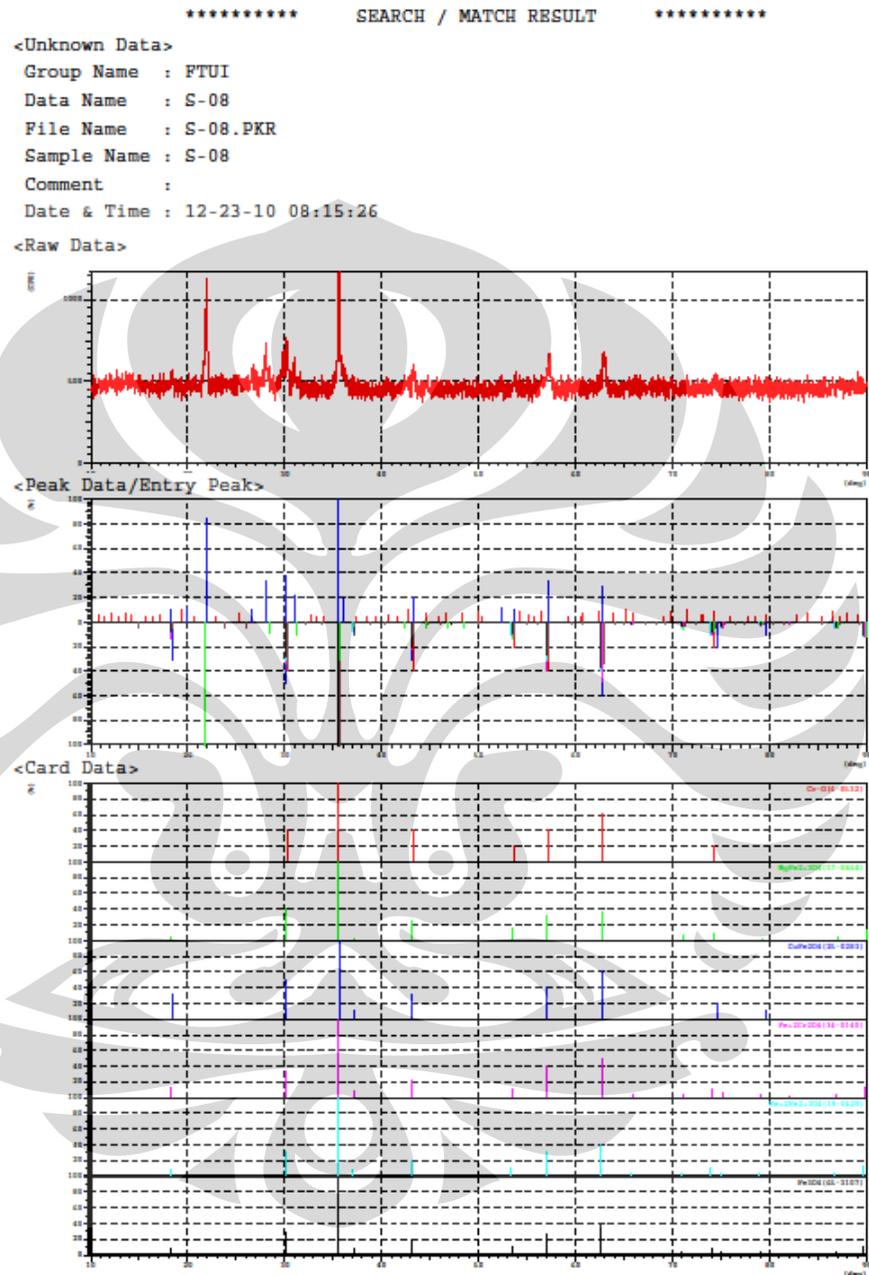
```
<Peak Data/Entry Peak>
```



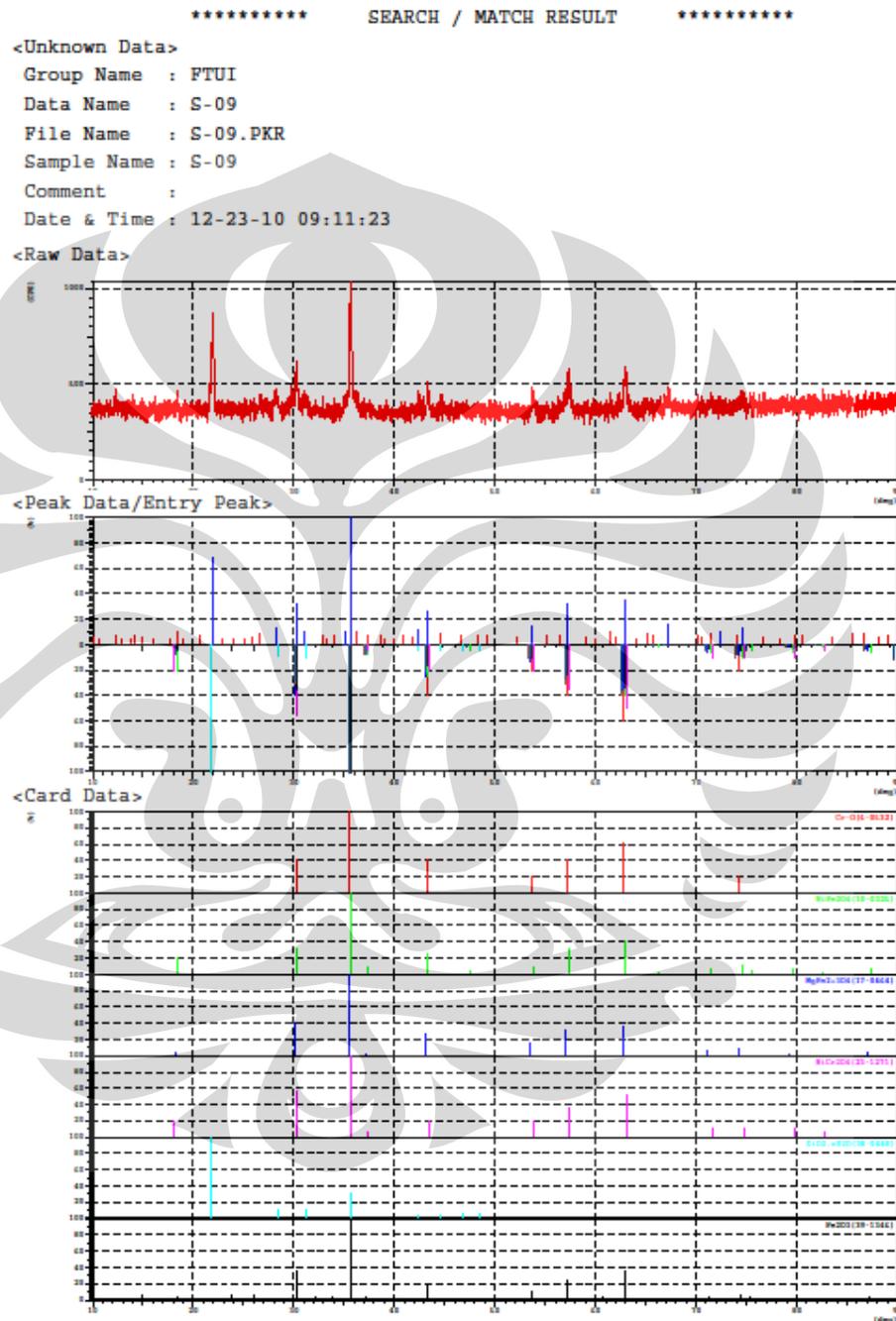
```
<Card Data>
```



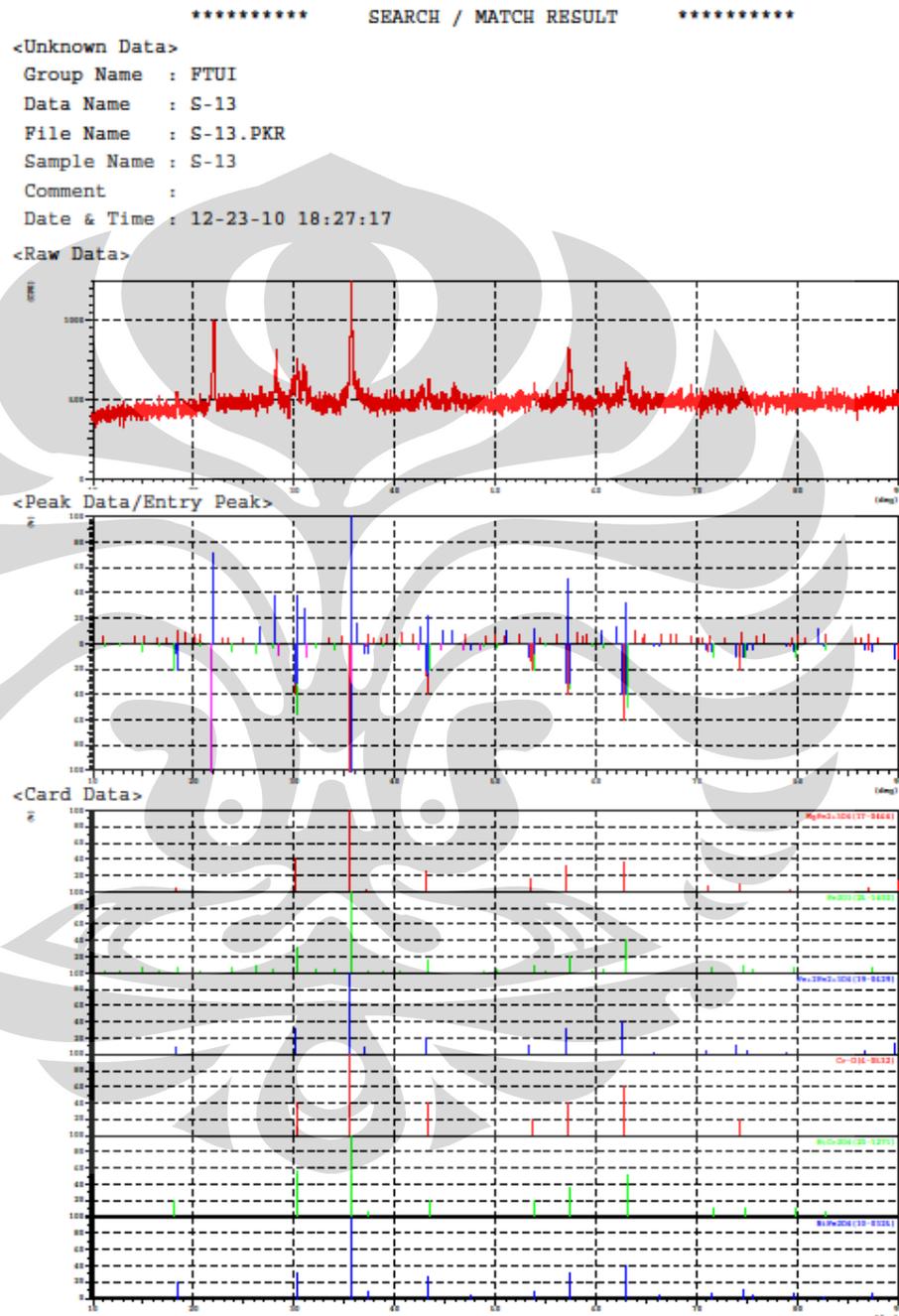
Hasil Pengujian XRD sampel briket kokas 12% (B2)



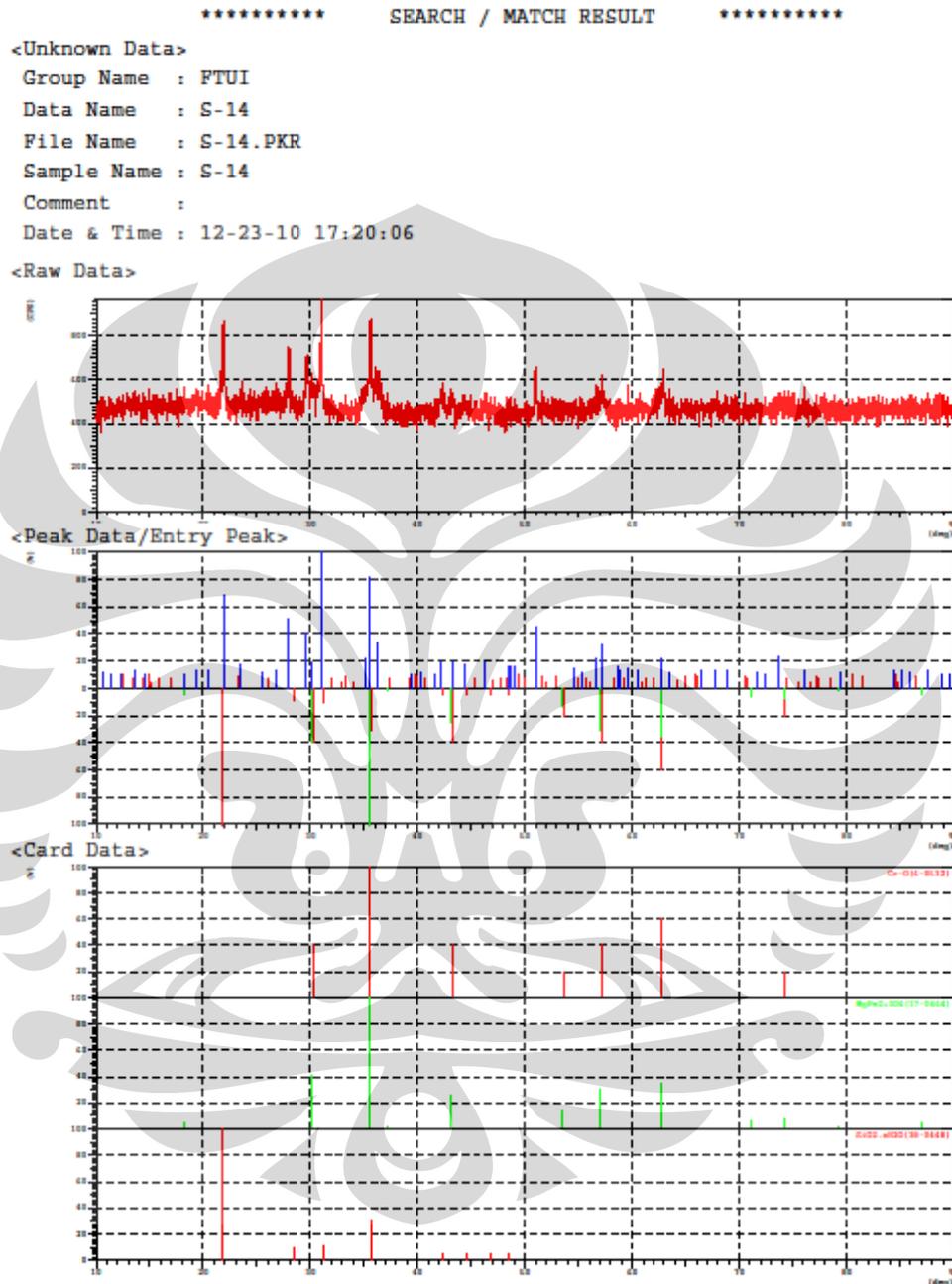
Hasil Pengujian XRD sampel briket kokas 14% (B3)



Hasil Pengujian XRD sampel briket kokas 4%-kokas 8% (BK1)



Hasil Pengujian XRD sampel briket kokas8%-kokas 4% (BK3)



Hasil Pengujian XRF Nikel Saprolit

PANalytical

Quantification of sample SAMPEL S

R.M.S. : 0.000
Sum : 42.92 %
Sample type : Pressed powder
Correction applied for medium : No
Correction applied for film : None
Used Compound list : IQ+
Results database : iq+ mask 37
Results database in : c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Mg	Calibrated	MgO	2.490	Calculate
Al	Calibrated	Al ₂ O ₃	1.376	Calculate
Si	Calibrated	SiO ₂	17.258	Calculate
P	Calibrated	P ₂ O ₅	0.006	Calculate
S	Calibrated	SO ₃	0.010	Calculate
K	Calibrated	K ₂ O	0.026	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	0.107	Calculate
Ti	Calibrated	TiO ₂	0.029	Calculate
Cr	Calibrated	Cr ₂ O ₃	0.590	Calculate
Mn	Calibrated	MnO ₂	0.327	Calculate
Fe	Calibrated	Fe ₂ O ₃	18.959	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.046	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	1.691	Calculate

Hasil Pengujian XRF sampel kokas 12%

12/21/2010 12:37:26 PM

PANalytical

Page 1

Quantification of sample K

R.M.S.:	0.099
Sum:	47.3 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Na	Calibrated	Na2O	0.021	Calculate
Mg	Calibrated	MgO	2.940	Calculate
Al	Calibrated	Al2O3	2.026	Calculate
Si	Calibrated	SiO2	19.934	Calculate
P	Calibrated	P2O5	0.014	Calculate
S	Calibrated	SO3	0.010	Calculate
K	Calibrated	K2O	0.036	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	1.430	Calculate
Ti	Calibrated	TiO2	0.046	Calculate
V	Calibrated	V2O5	0.013	Calculate
Cr	Calibrated	Cr2O3	0.727	Calculate
Mn	Calibrated	MnO2	0.280	Calculate
Fe	Calibrated	Fe2O3	18.035	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.030	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	1.744	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.011	Calculate

Hasil Pengujian XRF sampel briket kokas 10% (B1)

12/21/2010 12:16:54 PM

PANalytical

Page 1

Quantification of sample B1

R.M.S.:	0.000
Sum:	56.4 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Na	Calibrated	Na2O	0.042	Calculate
Mg	Calibrated	MgO	3.781	Calculate
Al	Calibrated	Al2O3	2.084	Calculate
Si	Calibrated	SiO2	24.108	Calculate
P	Calibrated	P2O5	0.008	Calculate
S	Calibrated	SO3	0.137	Calculate
K	Calibrated	K2O	0.045	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	1.908	Calculate
Ti	Calibrated	TiO2	0.026	Calculate
V	Calibrated	V2O5	0.018	Calculate
Cr	Calibrated	Cr2O3	1.005	Calculate
Mn	Calibrated	MnO2	0.428	Calculate
Fe	Calibrated	Fe2O3	20.502	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.052	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	2.242	Calculate
Zn	Calibrated	ZnO	0.027	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.008	Calculate
Pb	Calibrated	PbO	0.010	Calculate

Hasil Pengujian XRF sampel briket kokas 12% (B2)

12/21/2010 12:16:40 PM

PANalytical

Page 1

Quantification of sample B2

R.M.S.:	0.000
Sum:	63.4 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Na	Calibrated	Na2O	0.096	Calculate
Mg	Calibrated	MgO	4.993	Calculate
Al	Calibrated	Al2O3	2.456	Calculate
Si	Calibrated	SiO2	29.504	Calculate
P	Calibrated	P2O5	0.011	Calculate
S	Calibrated	SO3	0.388	Calculate
K	Calibrated	K2O	0.064	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	2.228	Calculate
Ti	Calibrated	TiO2	0.035	Calculate
V	Calibrated	V2O5	0.021	Calculate
Cr	Calibrated	Cr2O3	1.026	Calculate
Mn	Calibrated	MnO2	0.343	Calculate
Fe	Calibrated	Fe2O3	19.976	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.040	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	2.029	Calculate
Zn	Calibrated	ZnO	0.008	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.009	Calculate
Pb	Calibrated	PbO	0.159	Calculate

Hasil pengujian XRF sampel briket kokas 14% (B3)

12/21/2010 12:19:16 PM

PANalytical

Page 1

Quantification of sample B3

R.M.S.:	0.000
Sum:	52.5 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Na	Calibrated	Na2O	0.033	Calculate
Mg	Calibrated	MgO	3.904	Calculate
Al	Calibrated	Al2O3	1.805	Calculate
Si	Calibrated	SiO2	21.803	Calculate
P	Calibrated	P2O5	0.007	Calculate
S	Calibrated	SO3	0.045	Calculate
K	Calibrated	K2O	0.039	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	1.897	Calculate
Ti	Calibrated	TiO2	0.035	Calculate
V	Calibrated	V2O5	0.017	Calculate
Cr	Calibrated	Cr2O3	0.840	Calculate
Mn	Calibrated	MnO2	0.333	Calculate
Fe	Calibrated	Fe2O3	19.724	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.042	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	1.909	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.009	Calculate
Pb	Calibrated	PbO	0.013	Calculate

Hasil pengujian XRF sampel BK1 (bk4%-k8%)

12/21/2010 12:23:16 PM

PANalytical

Page 1

Quantification of sample BK1

R.M.S.:	0.000
Sum:	53.0 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Mg	Calibrated	MgO	3.460	Calculate
Al	Calibrated	Al ₂ O ₃	2.071	Calculate
Si	Calibrated	SiO ₂	23.584	Calculate
P	Calibrated	P ₂ O ₅	0.010	Calculate
S	Calibrated	SO ₃	0.019	Calculate
K	Calibrated	K ₂ O	0.038	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	1.419	Calculate
Ti	Calibrated	TiO ₂	0.042	Calculate
Cr	Calibrated	Cr ₂ O ₃	0.896	Calculate
Mn	Calibrated	MnO ₂	0.311	Calculate
Fe	Calibrated	Fe ₂ O ₃	19.070	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.035	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	1.930	Calculate
Zn	Calibrated	ZnO	0.057	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.007	Calculate
Pb	Calibrated	PbO	0.016	Calculate

Hasil pengujian XRF sampel BK2 (bk6%-k%)

12/21/2010 12:23:50 PM

PANalytical

Page 1

Quantification of sample BK2

R.M.S.:	0.000
Sum:	59.7 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Na	Calibrated	Na2O	0.028	Calculate
Mg	Calibrated	MgO	4.565	Calculate
Al	Calibrated	Al2O3	2.340	Calculate
Si	Calibrated	SiO2	27.155	Calculate
S	Calibrated	SO3	0.257	Calculate
K	Calibrated	K2O	0.040	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	1.785	Calculate
Ti	Calibrated	TiO2	0.042	Calculate
Cr	Calibrated	Cr2O3	1.010	Calculate
Mn	Calibrated	MnO2	0.340	Calculate
Fe	Calibrated	Fe2O3	20.031	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.045	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	2.006	Calculate
Cu	Calibrated	CuO	0.014	Calculate
Zn	Calibrated	ZnO	0.010	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.007	Calculate
Pb	Calibrated	PbO	0.032	Calculate

Hasil pengujian XRF sampel BK3 (bk8%-k4%)

12/21/2010 11:15:45 AM

PANalytical

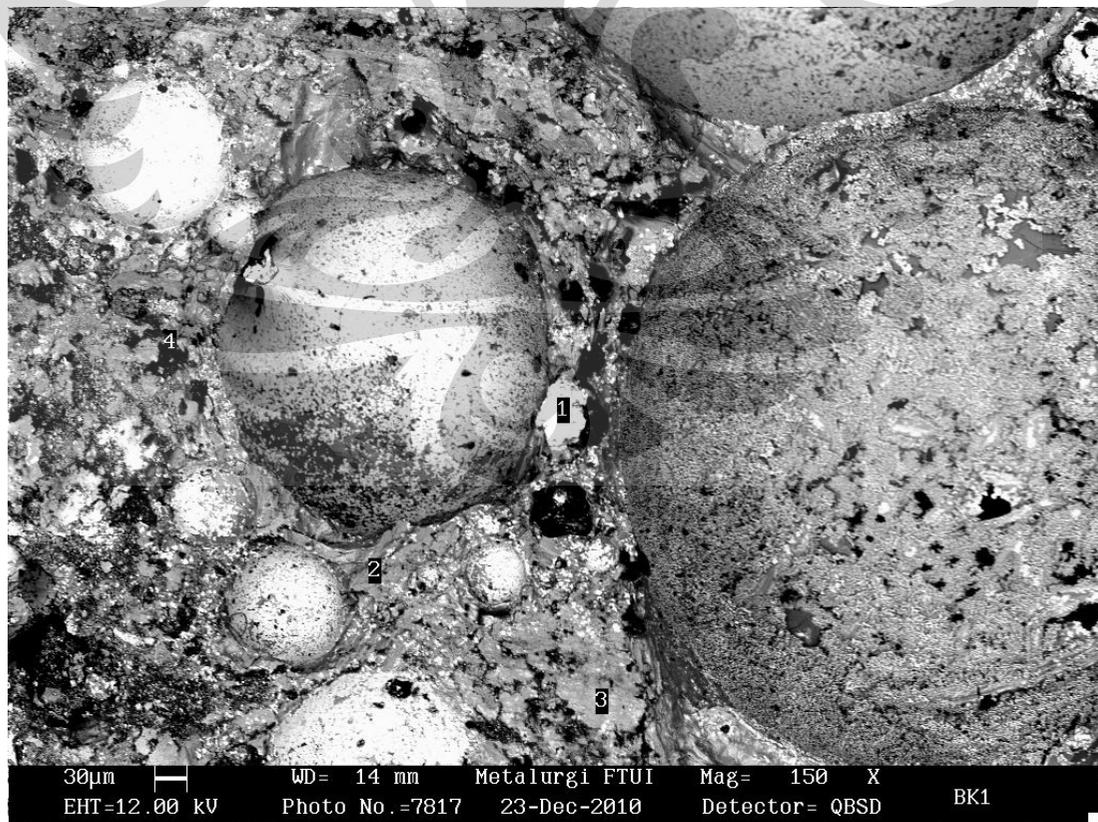
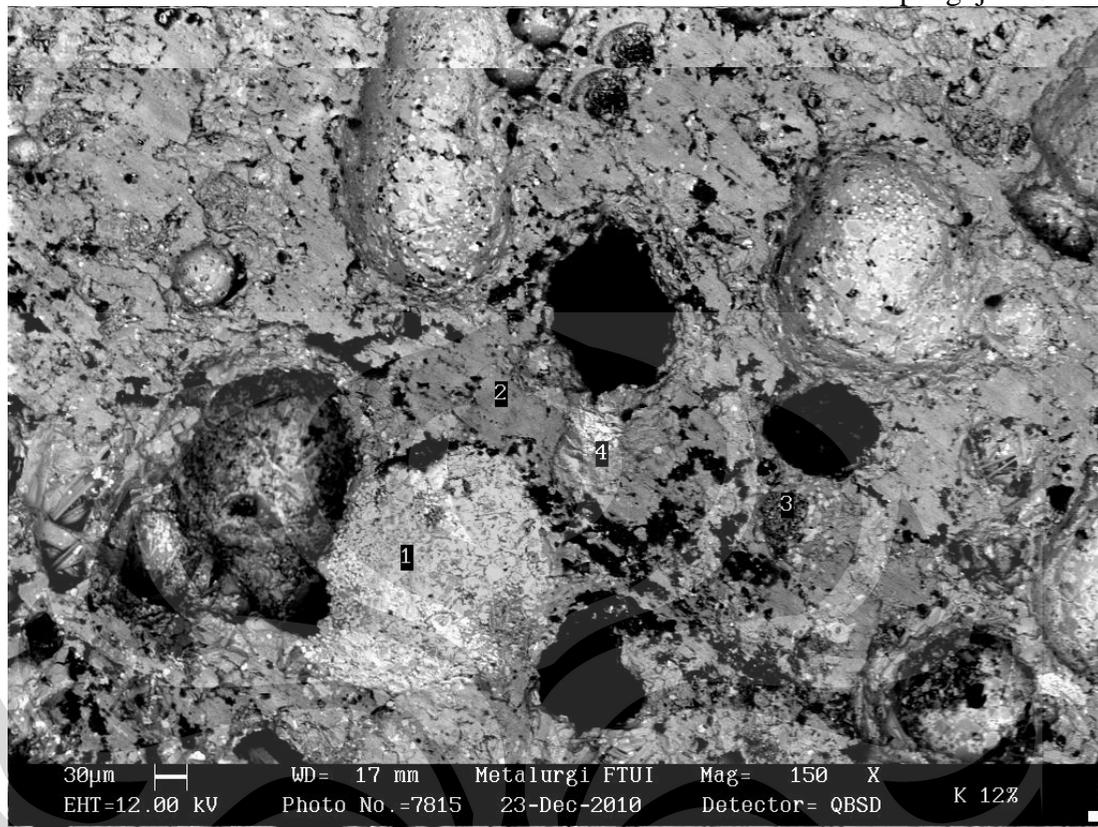
Page 1

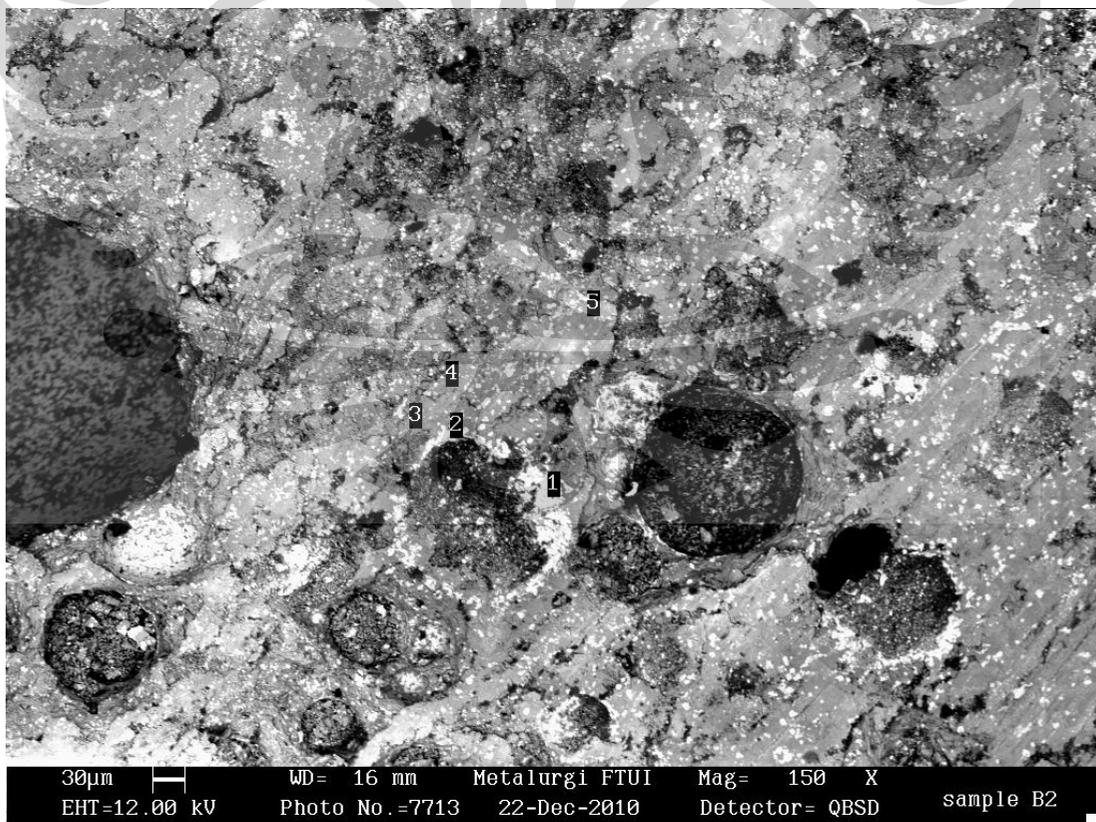
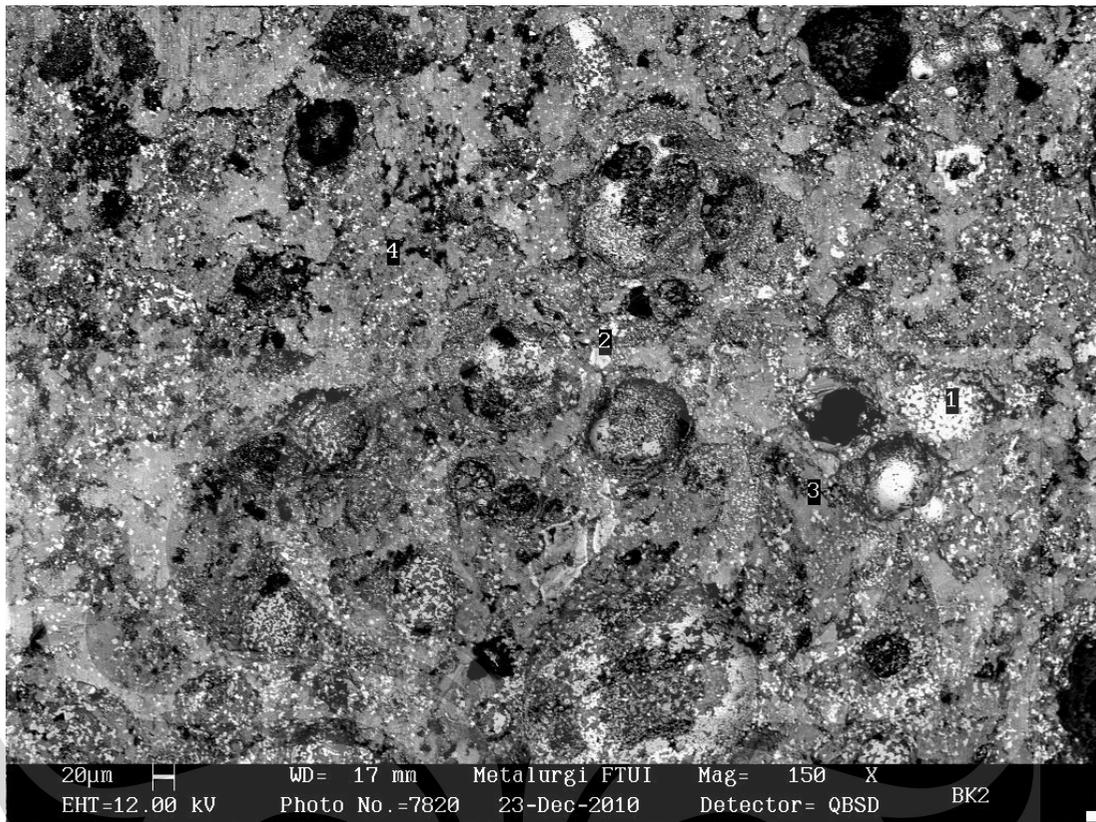
Quantification of sample BK3

R.M.S.:	0.093
Sum:	48.2 %
Sample type:	Pressed powder
Correction applied for medium:	No
Correction applied for film:	None
Used Compound list:	IQ+
Results database:	iq+ mask 37
Results database in:	c:\program files\panalytical\superq\userdata

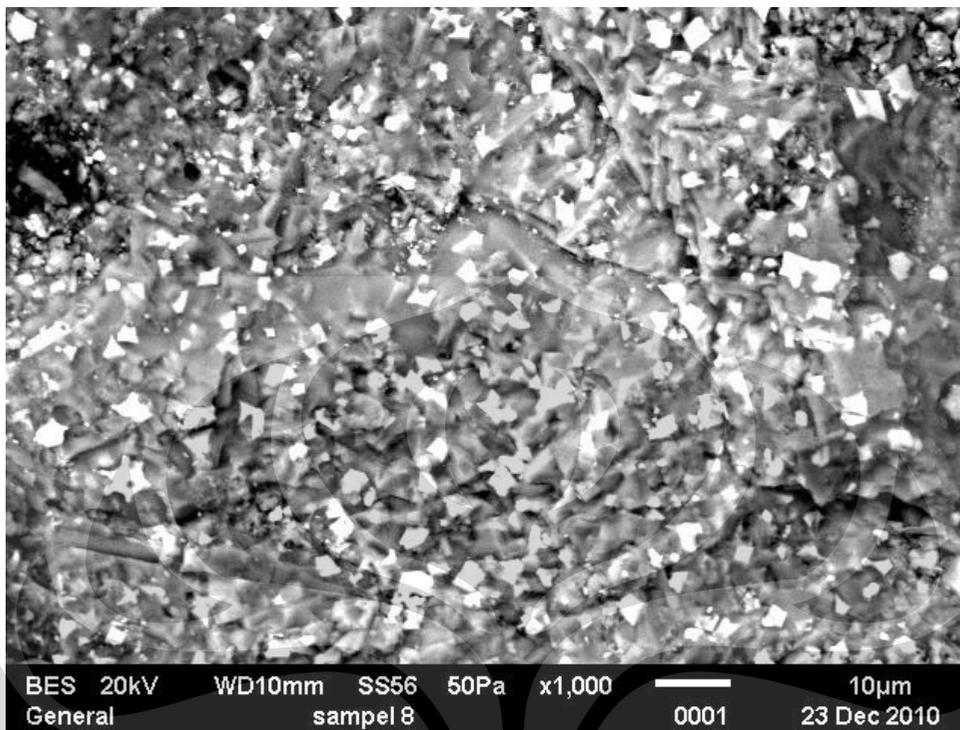
Analyte	Calibration status	Compound formula	Concentration (%)	Calculation method
Na	Calibrated	Na2O	0.020	Calculate
Mg	Calibrated	MgO	1.569	Calculate
Al	Calibrated	Al2O3	1.577	Calculate
Si	Calibrated	SiO2	20.275	Calculate
P	Calibrated	P2O5	0.006	Calculate
S	Calibrated	SO3	0.010	Calculate
K	Calibrated	K2O	0.027	Calculate
Ca	Calibrated	CaO	1.585	Calculate
Ti	Calibrated	TiO2	0.031	Calculate
Cr	Calibrated	Cr2O3	0.848	Calculate
Mn	Calibrated	MnO2	0.314	Calculate
Fe	Calibrated	Fe2O3	19.785	Calculate
Co	Calibrated	CoO	0.036	Calculate
Ni	Calibrated	NiO	2.047	Calculate
Cu	Calibrated	CuO	0.016	Calculate
Zn	Calibrated	ZnO	0.007	Calculate
Sr	Calibrated	SrO	0.011	Calculate
Pb	Calibrated	PbO	0.004	Calculate

Hasil pengujian SEM

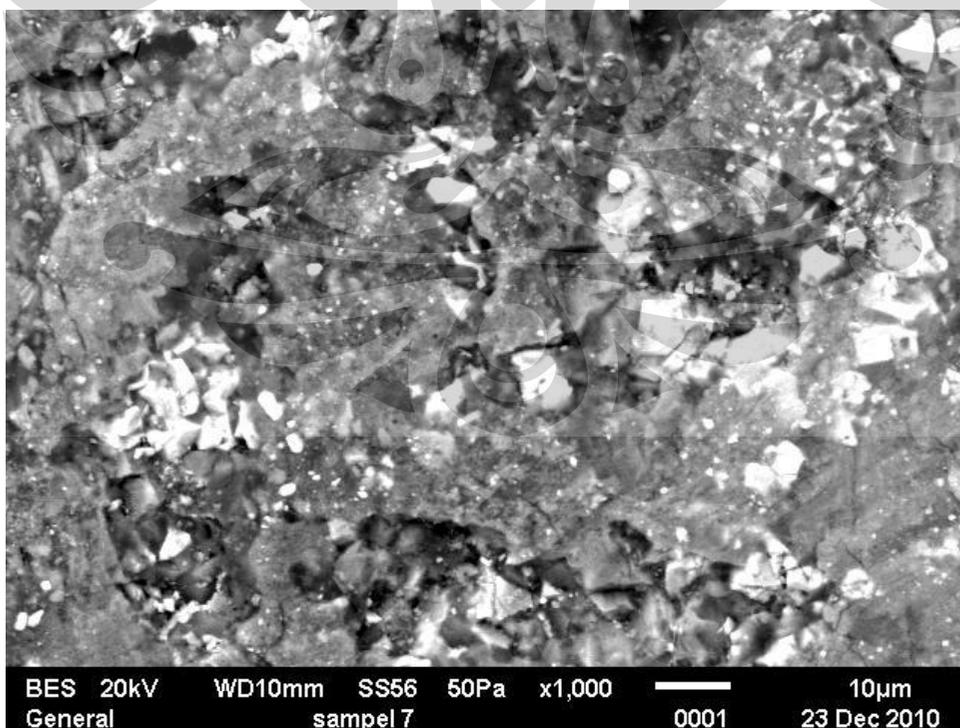




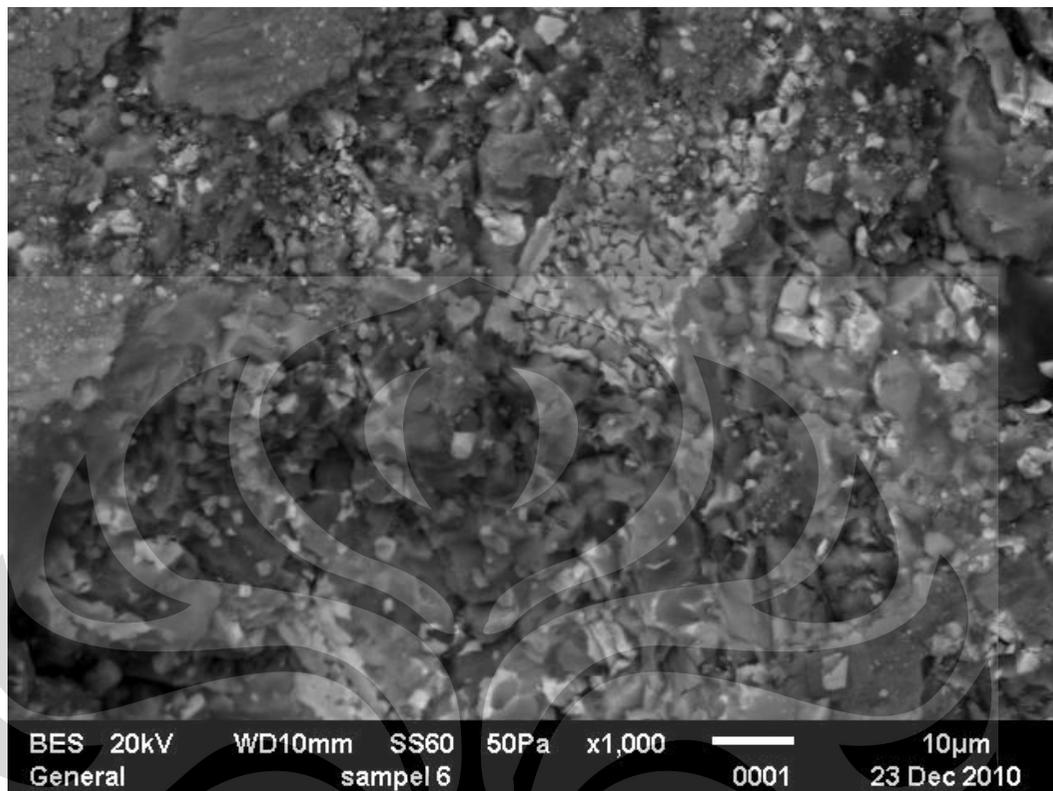
Hasil pengujian SEM sampel briket kokas 14% (B3)



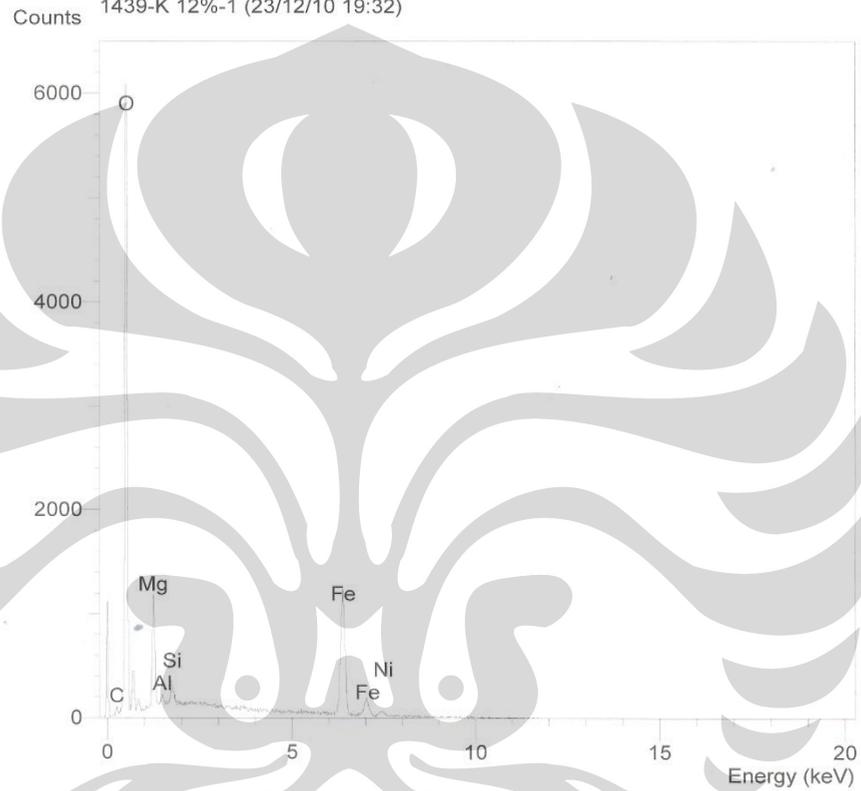
Hasil pengujian SEM sampel briket kokas 10% (B1)



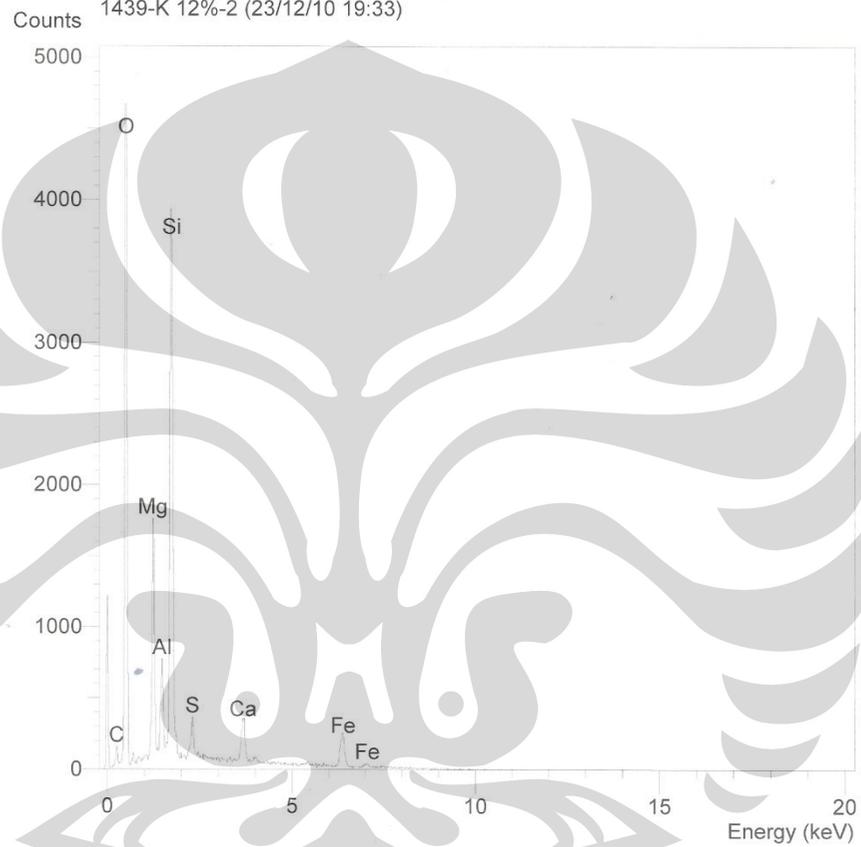
Hasil pengujian SEM sampel bk 8%- k4% (BK3)



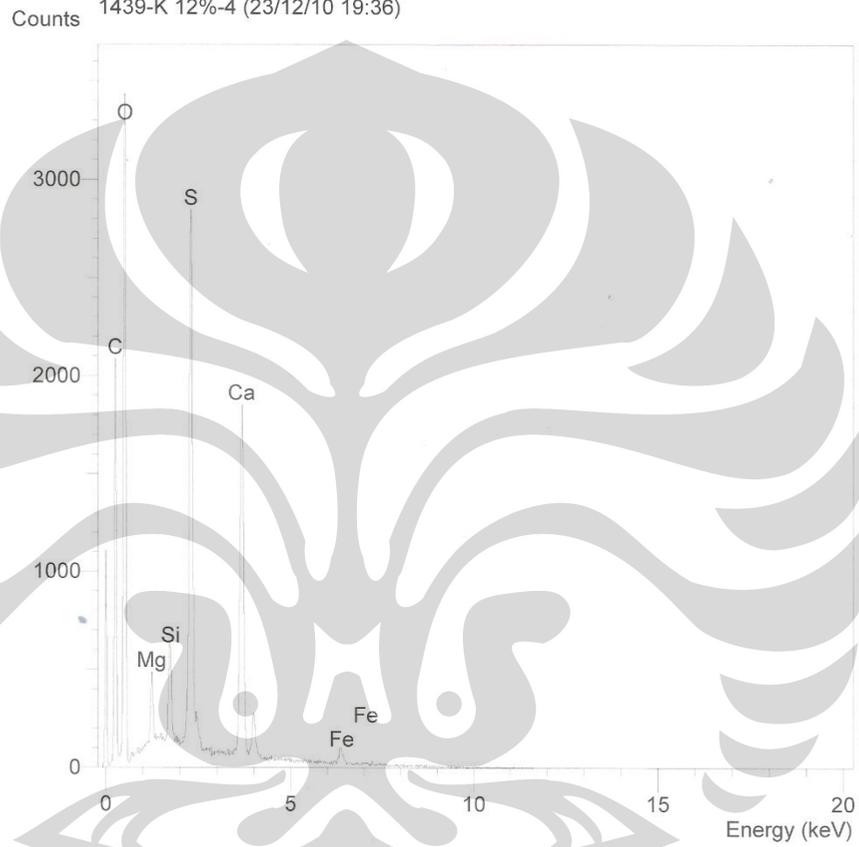
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-K 12%-1 (23/12/10 19:32)



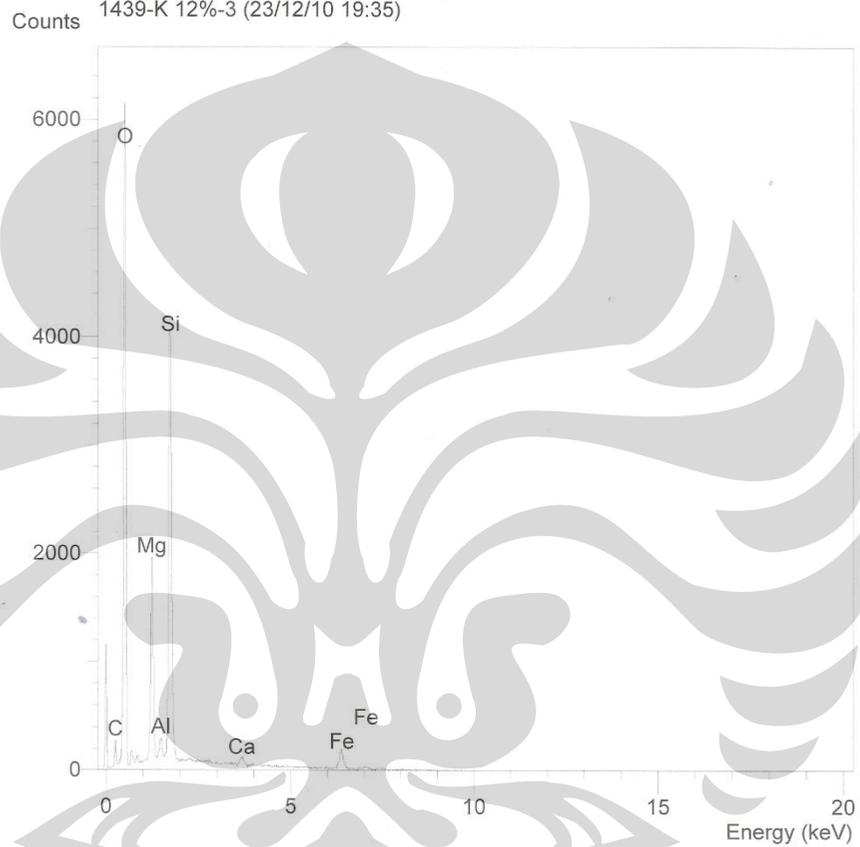
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-K 12%-2 (23/12/10 19:33)



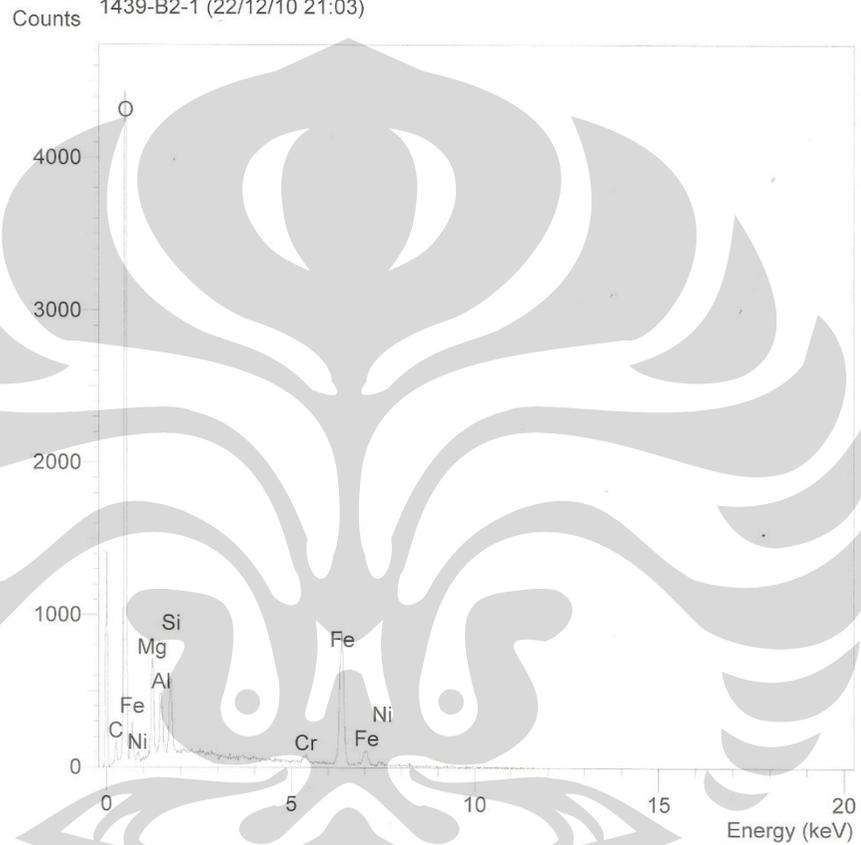
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-K 12%-4 (23/12/10 19:36)



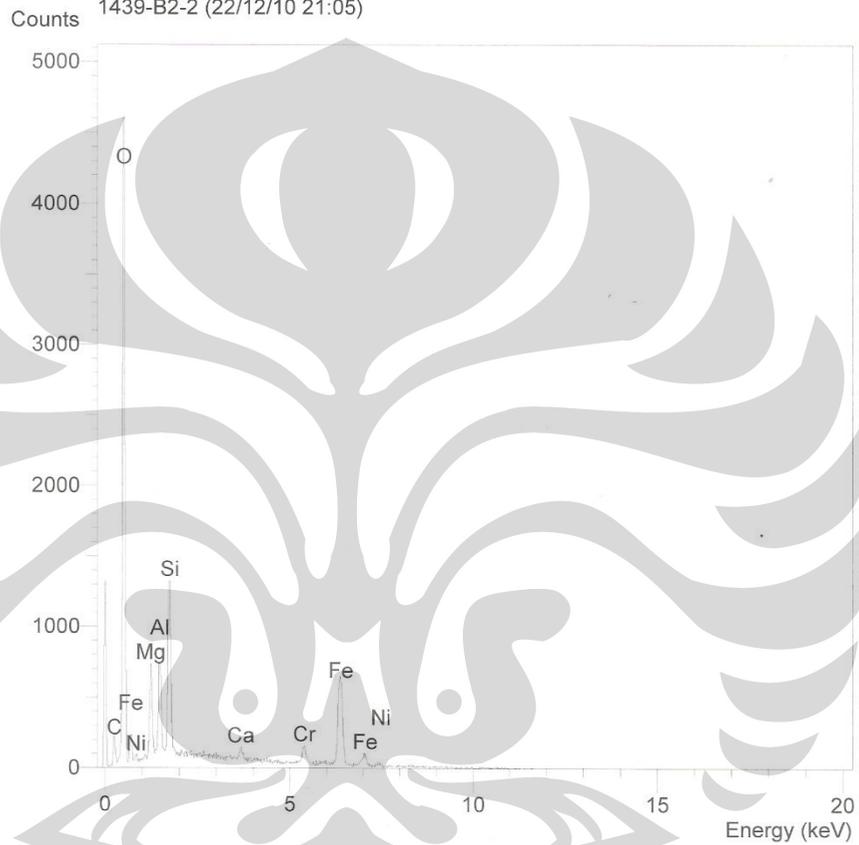
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-K 12%-3 (23/12/10 19:35)



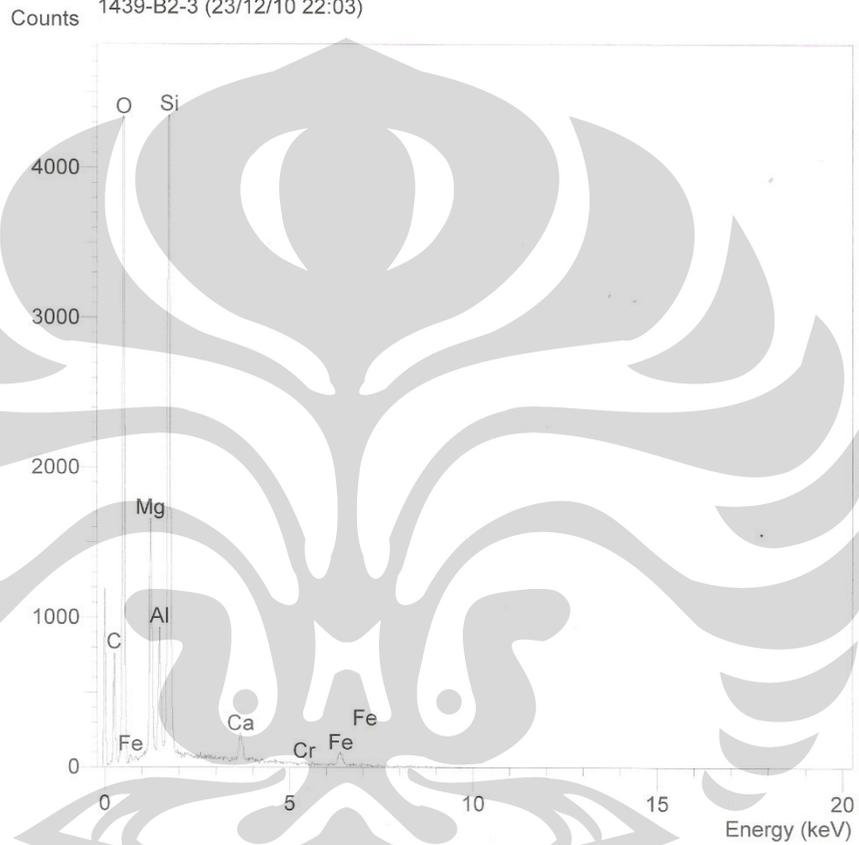
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-B2-1 (22/12/10 21:03)



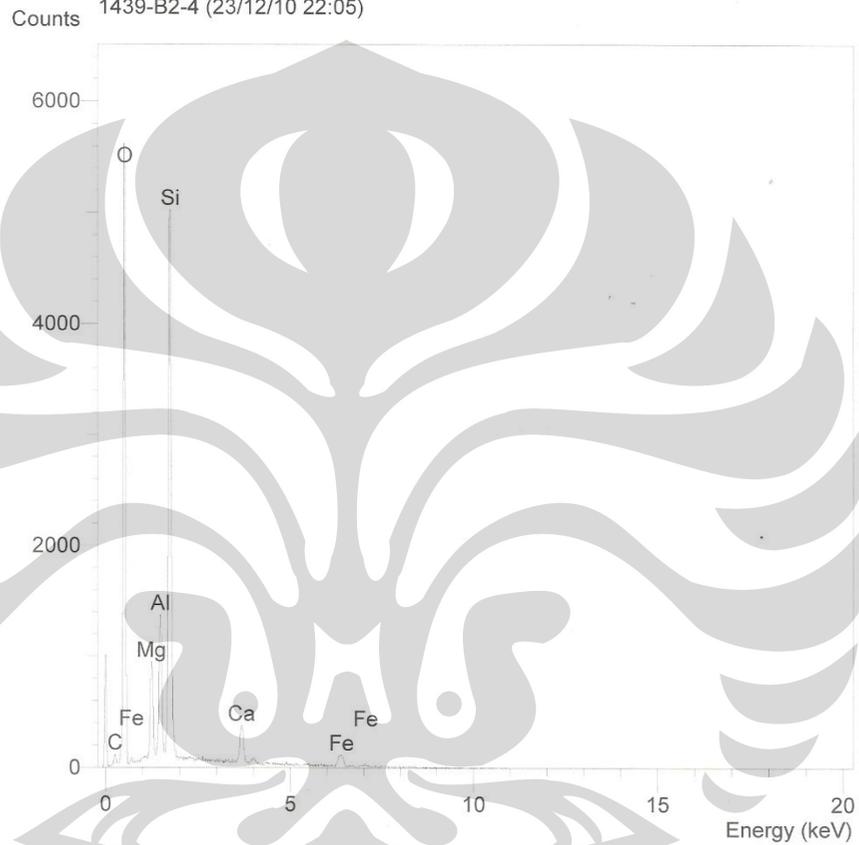
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-B2-2 (22/12/10 21:05)



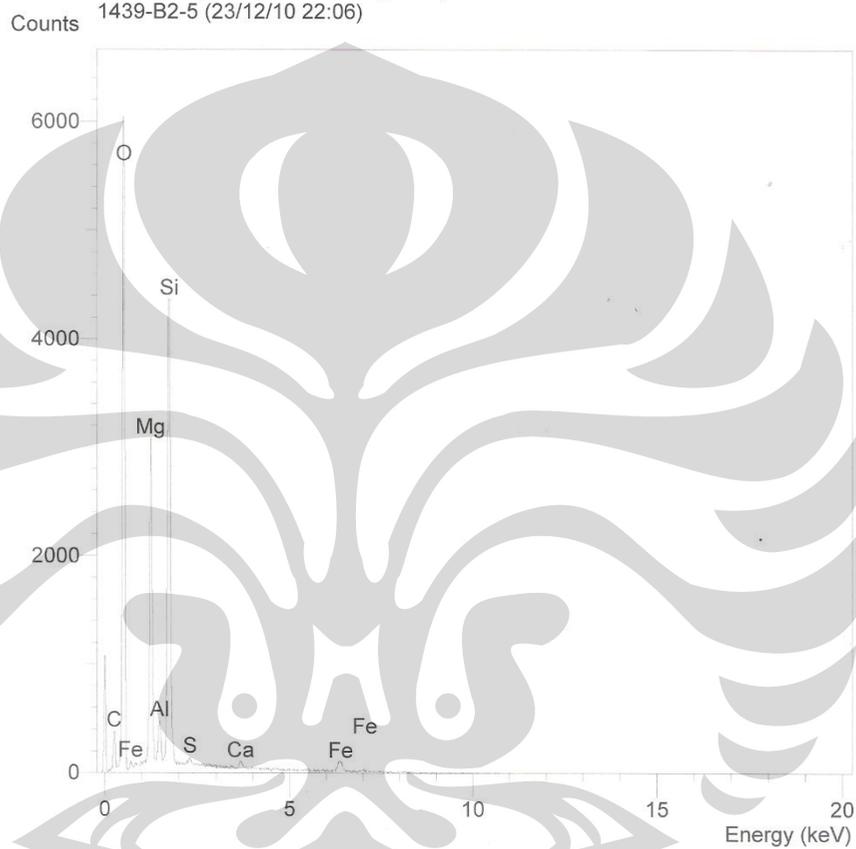
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-B2-3 (23/12/10 22:03)



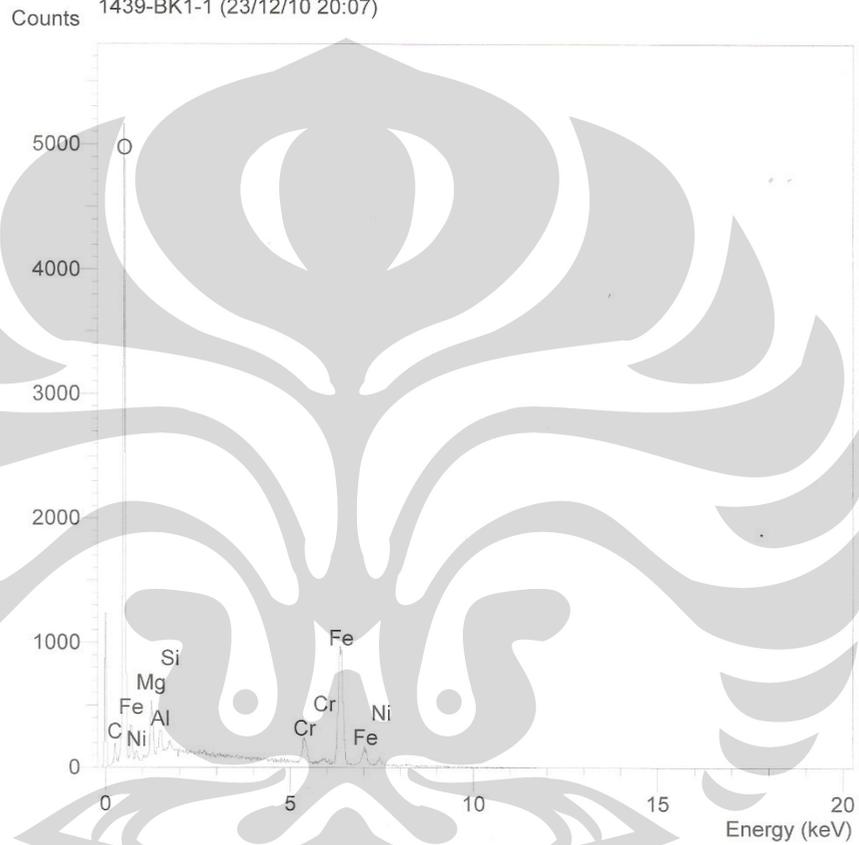
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-B2-4 (23/12/10 22:05)



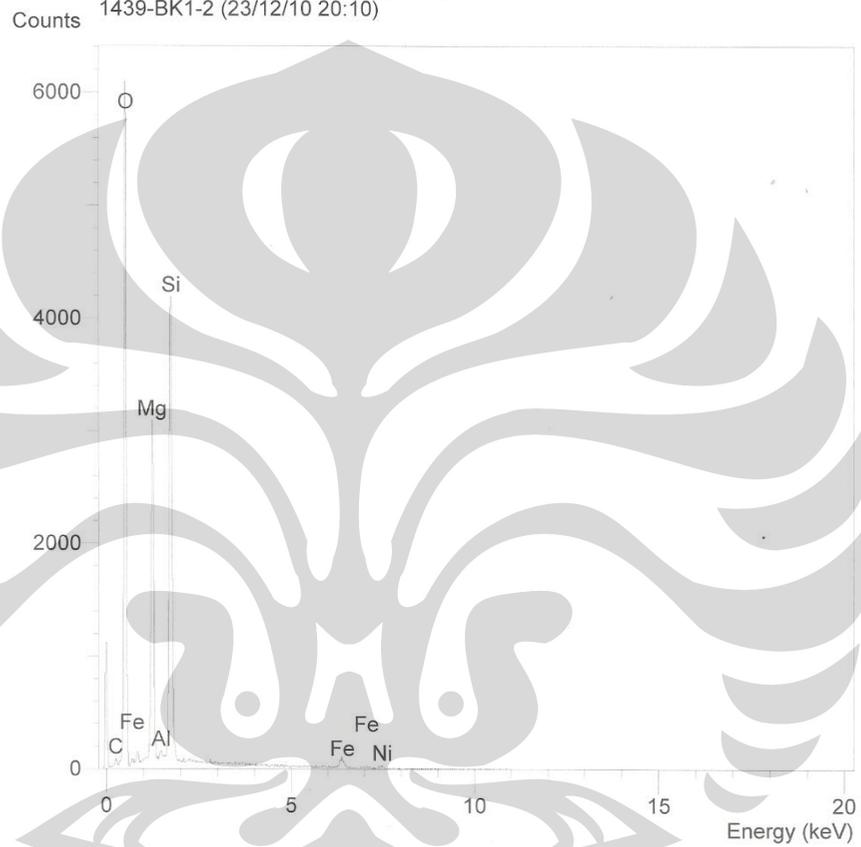
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-B2-5 (23/12/10 22:06)



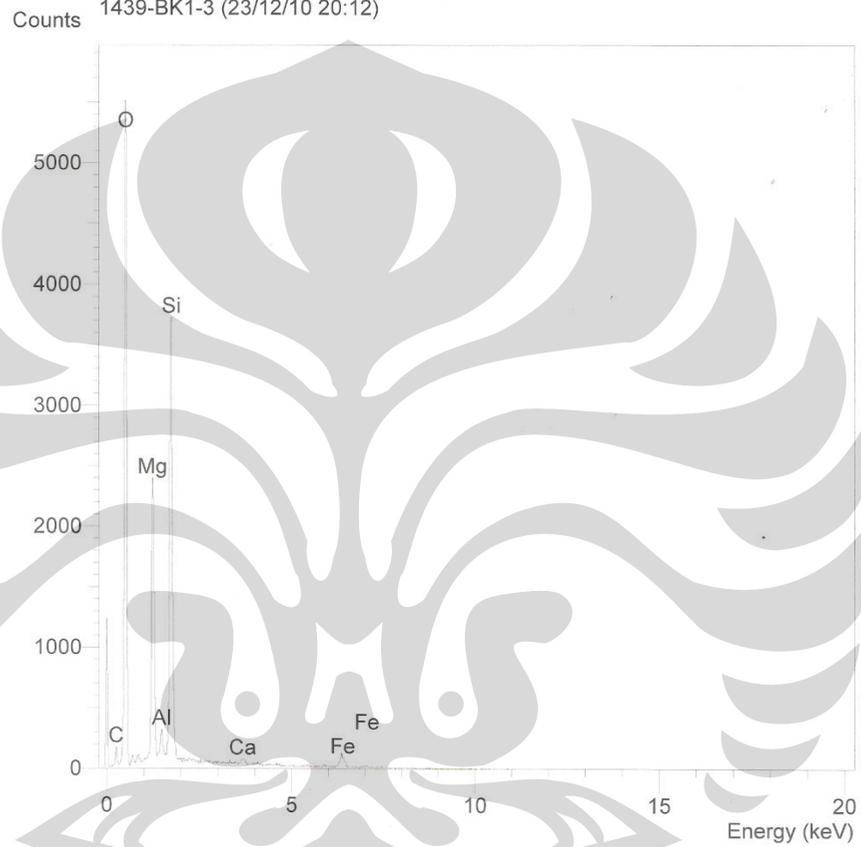
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK1-1 (23/12/10 20:07)



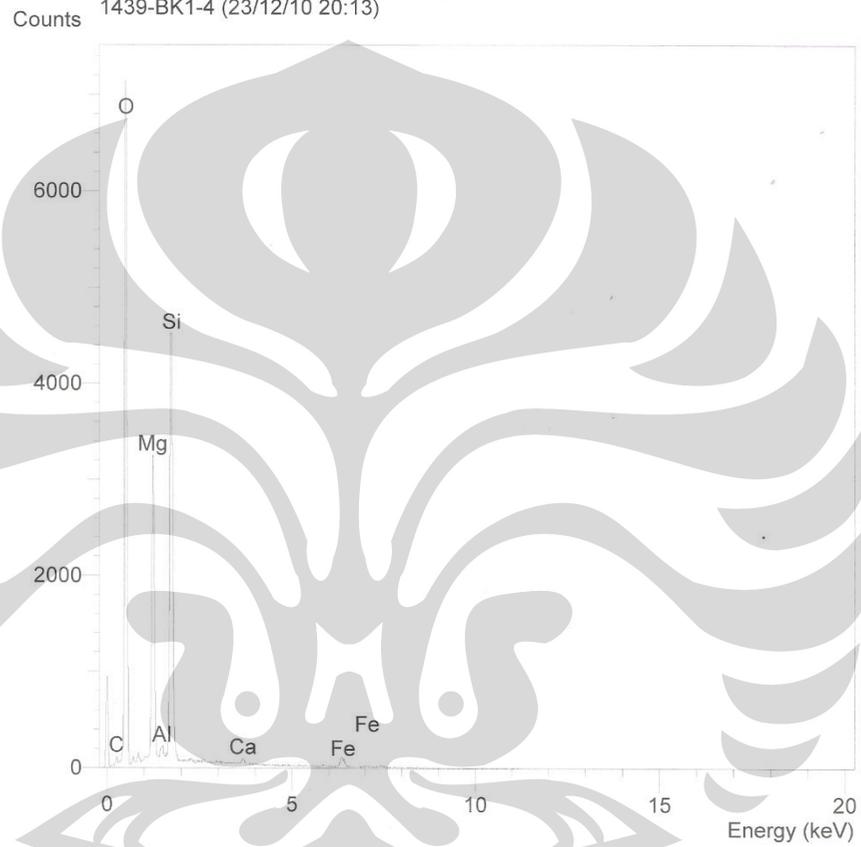
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK1-2 (23/12/10 20:10)



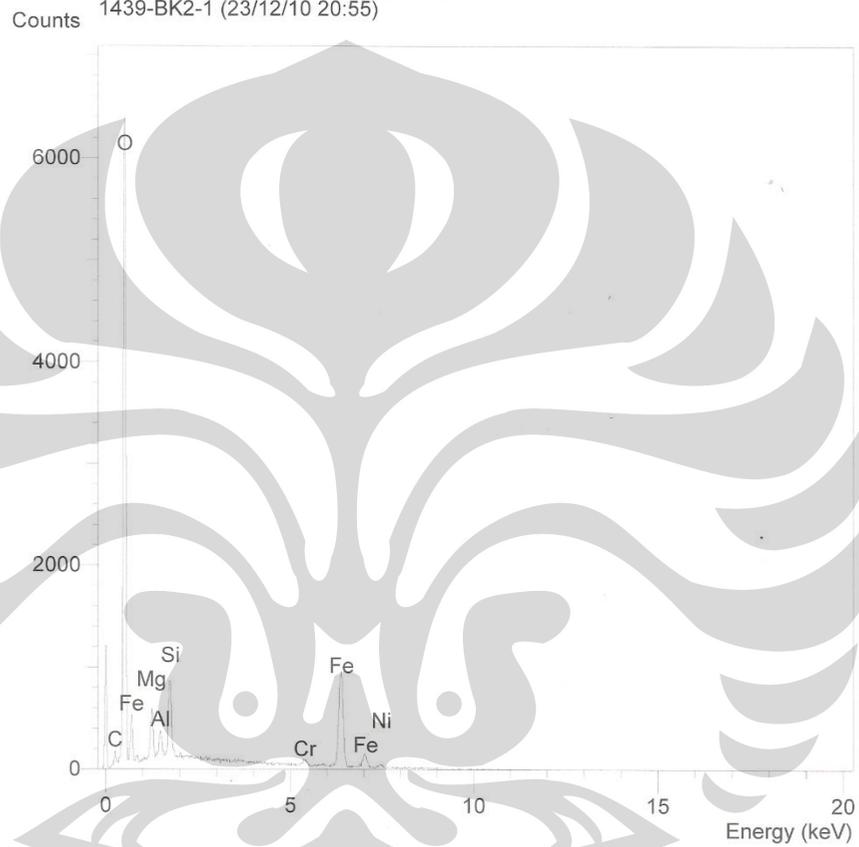
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK1-3 (23/12/10 20:12)



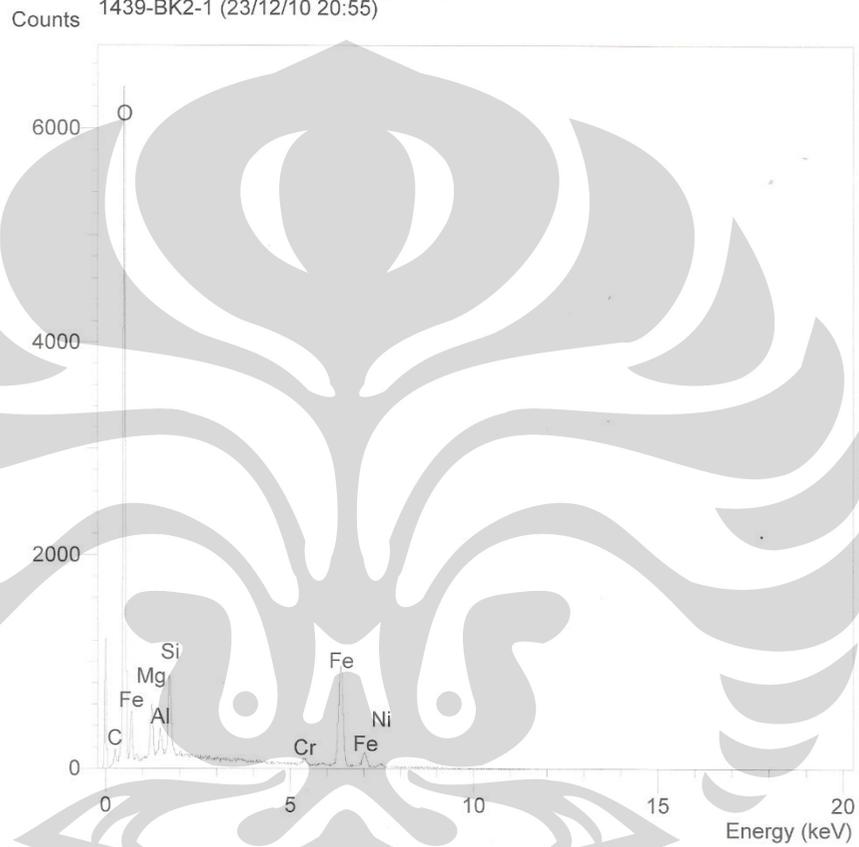
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK1-4 (23/12/10 20:13)



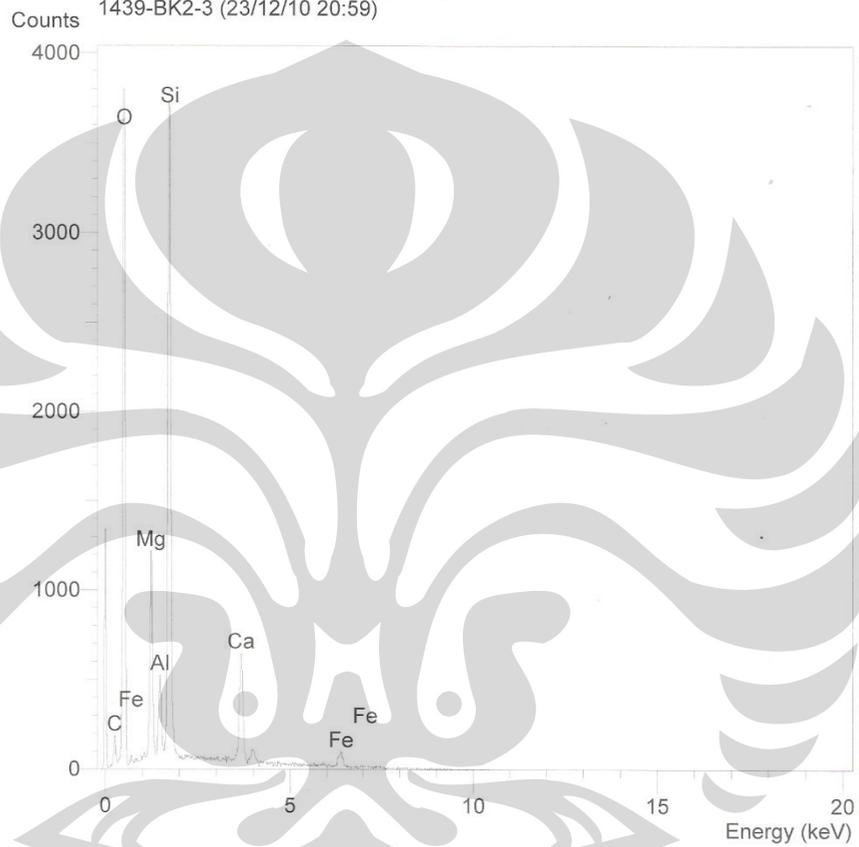
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK2-1 (23/12/10 20:55)



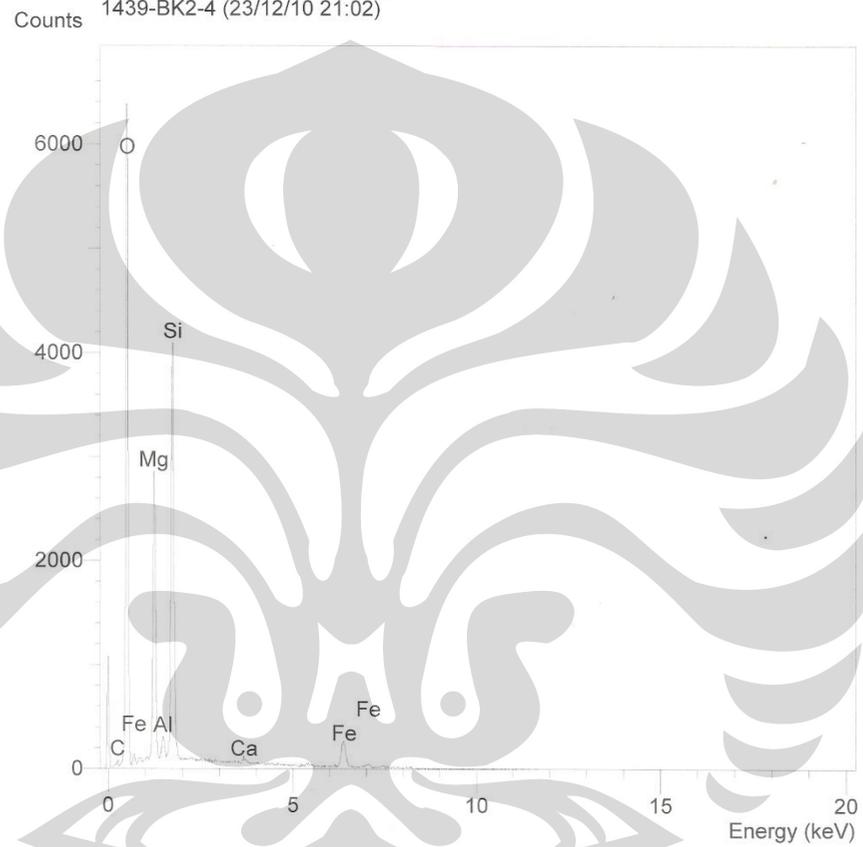
Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK2-1 (23/12/10 20:55)



Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK2-3 (23/12/10 20:59)

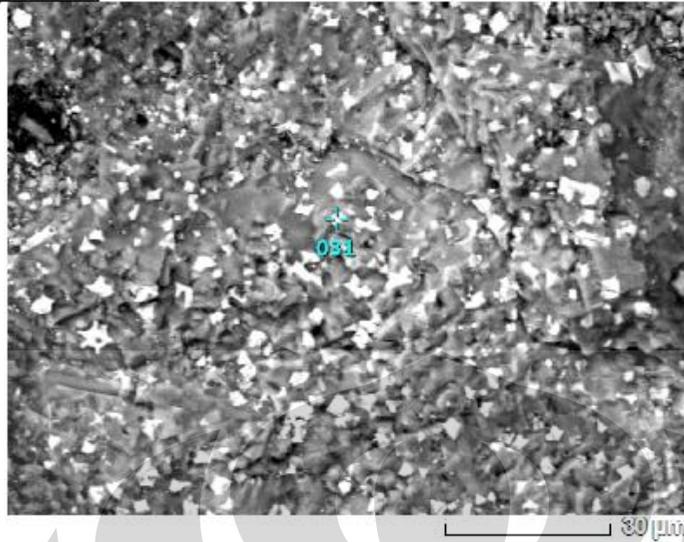


Operator : zakiyuddin
Client : Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
Job : Energy Dispersive X-Ray Analysis
1439-BK2-4 (23/12/10 21:02)

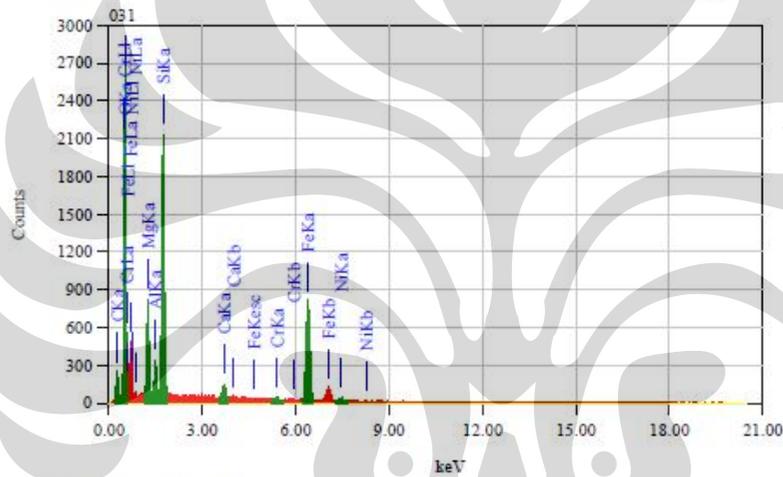


sampel 8 001

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



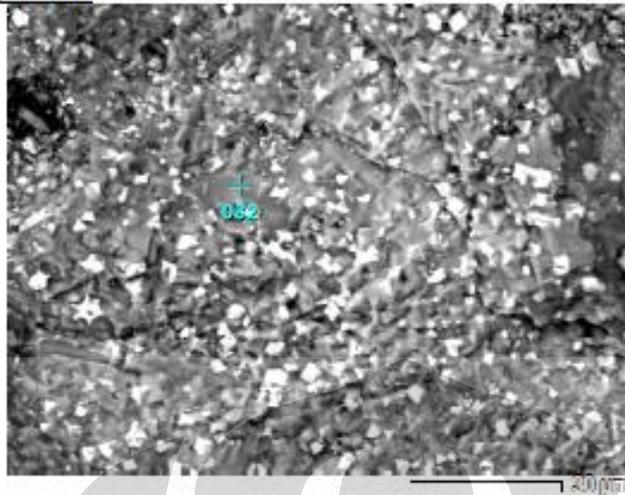
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.000000 nA
FRA mode	: T4
Real Time	: 42.19 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 28 %
Counting Rate	: 3260 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1292

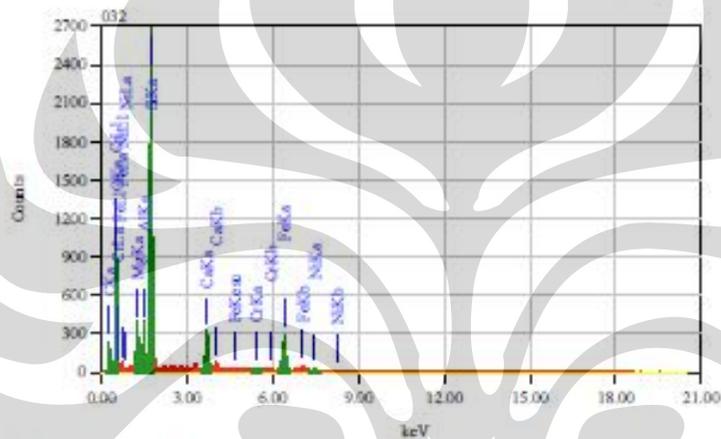
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C	0.277	10.91	0.07	18.67				2.2722
O	0.525	43.09	0.08	55.34				52.0989
Mg	1.253	6.72	0.06	5.68				4.0832
Al	1.486	1.38	0.06	1.48				1.3228
Si	1.739	18.74	0.05	10.05				12.0357
Ca	3.690	0.93	0.06	0.48				1.2919
Cr	5.411	0.26	0.11	0.10				0.3200
Fe	6.398	21.40	0.14	7.87				25.3228
Ni	7.471	1.07	0.23	0.38				1.2389
Total		100.00		100.00				

sampil 8 002

1/1



Title : IMG1
 Instrument : 6510 (LA)
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 1,000
 Date : 2010/12/23
 Pixel : 512 x 384



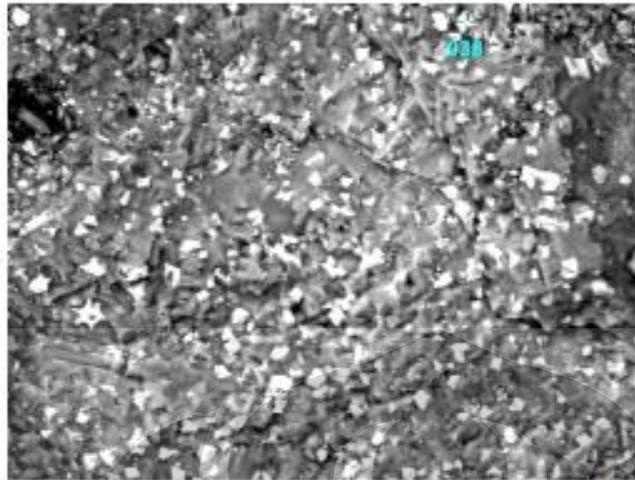
Acquisition Parameter
 Instrument : 6510 (LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current : 1.00000 nA
 SNA mode : 74
 Real Time : 38.20 sec
 Live Time : 30.00 sec
 Dead Time : 21 %
 Counting Rate : 2342 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

EDS Method Standardless Quantitative Analysis
 Fitting Coefficient : 0.1513

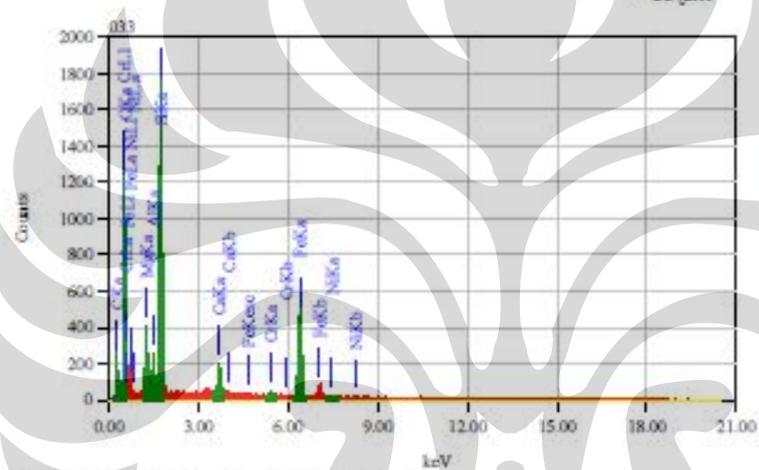
Element	[keV]	Mean%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	18.55	0.09	29.09				4.1914
O K	0.525	39.04	0.12	45.95				41.1260
Mg K	1.253	3.54	0.06	3.74				3.2218
Al K	1.486	3.37	0.06	2.21				3.3411
Si K	1.739	22.45	0.25	15.05				27.7696
Ca K	3.690	3.85	0.07	1.81				6.6034
Cr K								
Fe K	6.399	4.69	0.17	3.00				12.9853
Ni K	7.471	0.92	0.26	0.17				0.7414
Total		100.00		100.00				

sampil 8 003

1/1



Title : IMG1
 Instrument : 6510(LA)
 Volt : 20.00 kV
 Mag. : x 3,000
 Date : 2020/12/23
 Pixel : 512 x 304



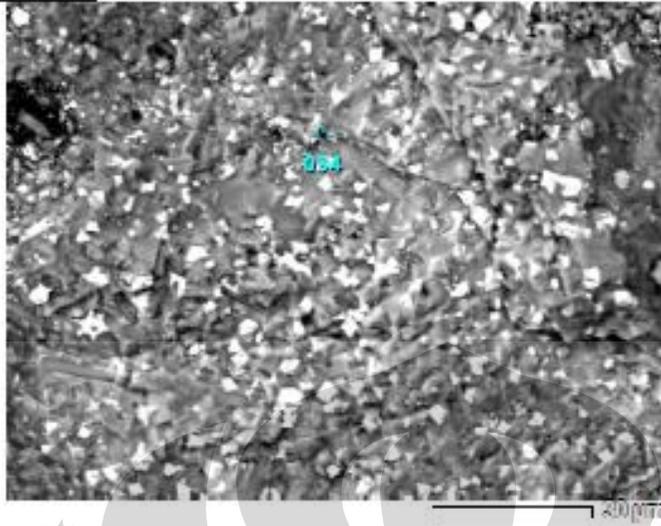
Acquisition Parameter
 Instrument : 6510(LA)
 Acc. Voltage : 20.0 kV
 Probe Current : 1.00000 nA
 PPK mode : 74
 Real Time : 28.01 sec
 Live Time : 30.00 sec
 Dead Time : 21 %
 Counting Rate : 2285 cps
 Energy Range : 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
 Fitting Coefficient : 0.1501

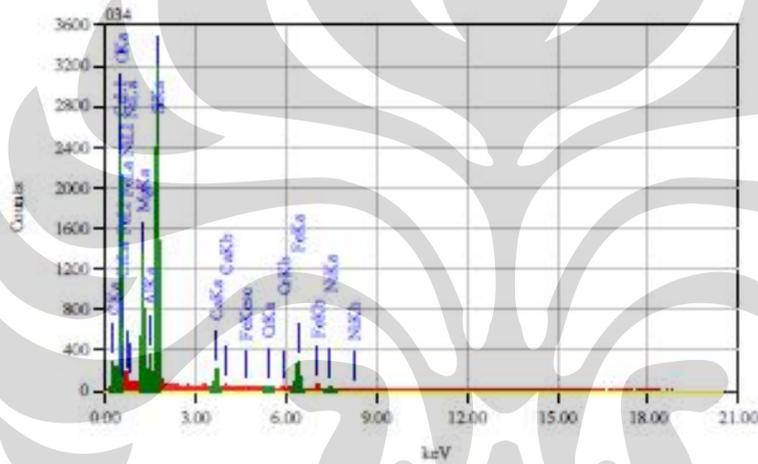
Element	[keV]	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	X
C K	0.277	16.42	0.06	26.67				3.8458
O K	0.525	40.69	0.09	49.62				46.6336
Mg K	1.253	4.44	0.05	3.97				3.2573
Al K	1.486	1.89	0.05	1.37				1.6338
Si K	1.739	16.66	0.05	11.57				17.8829
Ca K	3.690	1.57	0.06	0.91				2.9520
Cr K	5.431	0.39	0.10	0.07				0.2661
Fe K	6.390	17.55	0.13	6.08				23.2483
Ni K	7.471	0.48	0.21	0.15				0.5804
Total		100.00		100.00				

sampel S 004

1/1



Title	: IM51
Instrument	: 6510 (IA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter

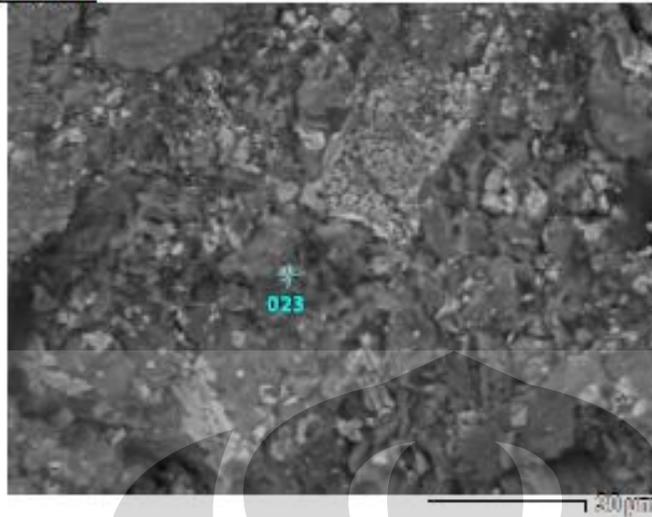
Instrument	: 6510 (IA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00600 nA
SWA mode	: T4
Real Time	: 42.53 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 29 %
Counting Rate	: 3375 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1298

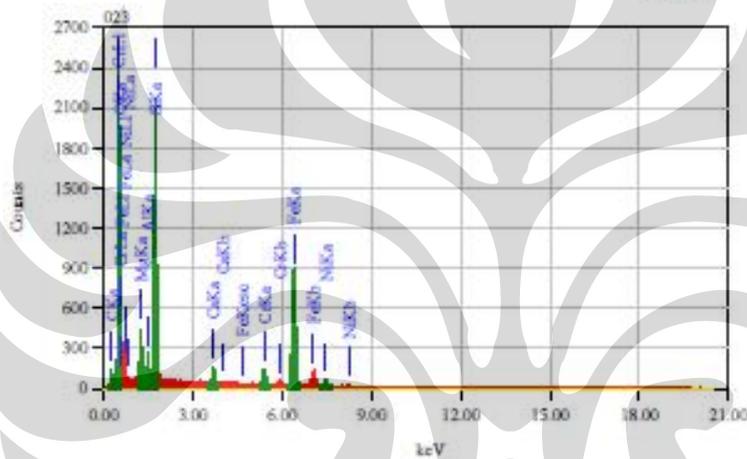
Element	[keV]	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mask	Cation	K
C K	0.277	12.77	0.08	19.73				2.6071
O K	0.525	48.91	0.09	56.75				57.6447
Mg K	1.253	8.65	0.06	6.60				6.9009
Al K	1.486	1.73	0.06	1.23				1.5170
Si K	1.739	13.93	0.05	12.51				19.1808
Ca K	3.690	1.28	0.07	0.73				2.3517
Cr K								
Fe K	6.398	4.96	0.18	2.26				3.6479
Ni K	7.471	0.57	0.24	0.18				0.7209
Total		100.00		100.00				

sampel 6 001

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



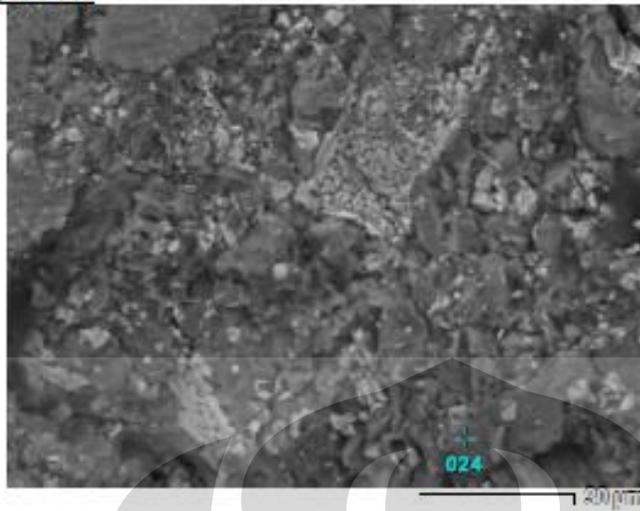
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
SNR mode	: 74
Real Time	: 42.47 sec
Live Time	: 20.00 sec
Dead Time	: 30 %
Counting Rate	: 3592 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

EDS Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1157

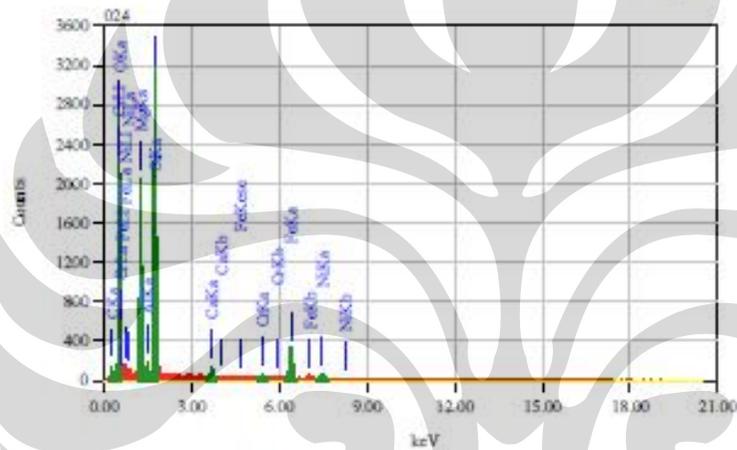
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	6.59	0.07	11.82				1.1685
O K	0.525	42.26	0.06	58.69				50.5344
Mg K	1.253	4.02	0.06	3.68				2.0908
Al K	1.486	1.62	0.05	1.36				1.0451
Si K	1.739	15.42	0.05	12.23				13.2466
Ca K	2.690	1.07	0.06	0.59				1.2519
Cr K	5.411	2.23	0.10	0.95				2.5734
Fe K	6.390	23.94	0.13	9.96				23.0234
Ni K	7.471	1.87	0.21	0.71				1.9659
Total		100.00		100.00				

sampel 6 002

1/1



Title	: IMGI
Instrument	: G510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter

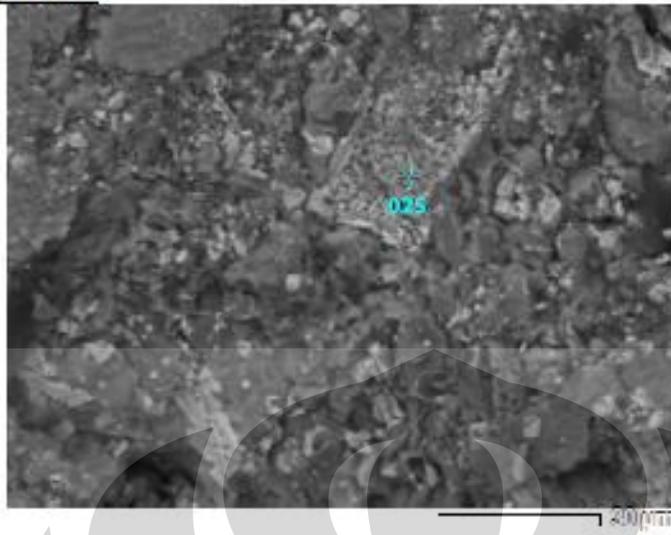
Instrument	: G510 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PKA mode	: 74
Real Time	: 43.00 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 21 %
Counting Rate	: 5601 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1324

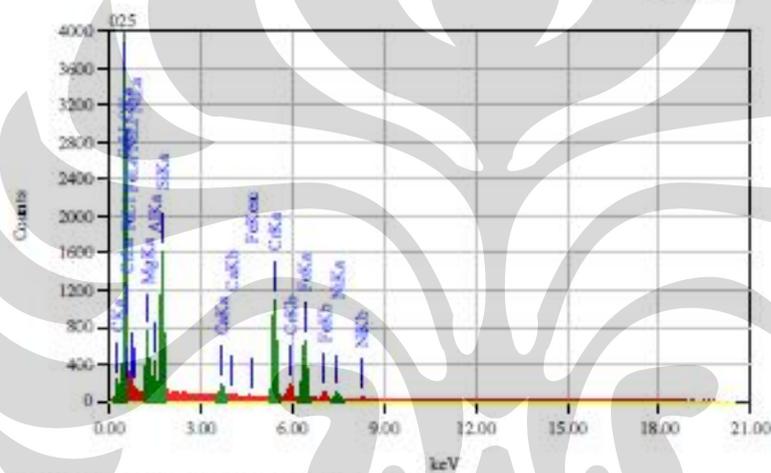
Element	[keV]	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mask	Carion	K
C K	0.277	7.30	0.12	12.05				1.1999
O K	0.525	46.12	0.10	57.11				55.8600
Mg K	1.253	14.28	0.07	11.64				10.4979
Al K	1.486	0.78	0.08	0.57				0.5662
Si K	1.739	20.94	0.07	14.77				19.3281
Ca K	2.690	0.93	0.09	0.46				1.2712
Cr K	5.411	0.42	2.35	0.16				0.5507
Fe K	6.398	7.52	0.19	2.67				8.9393
Ni K	7.471	1.72	0.30	0.58				2.0289
Total		100.00		100.00				

sampel 6 003

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 3,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



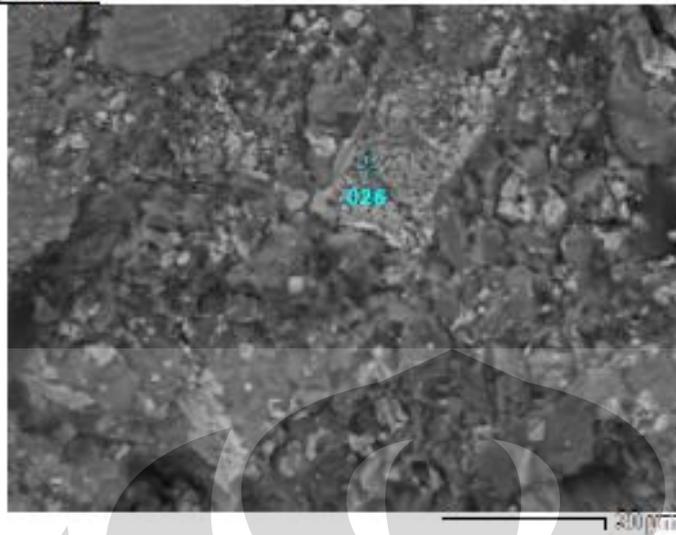
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 100000 nA
PHA mode	: 74
Real Time	: 44.70 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 35 %
Counting Rate	: 4286 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1145

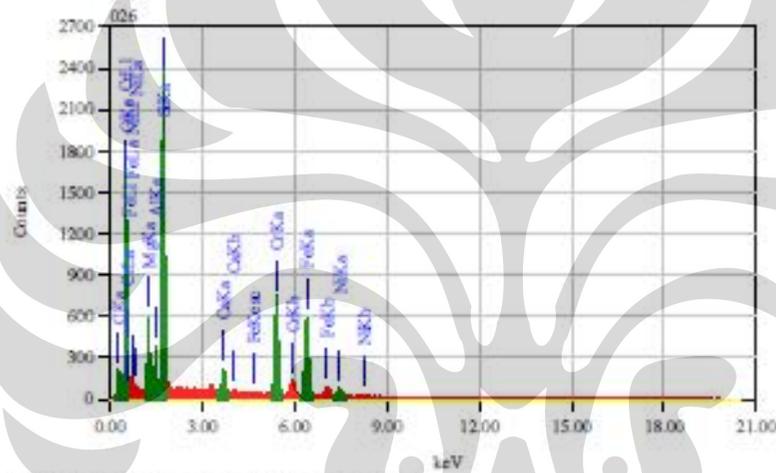
Element	[keV]	Max#k	Error%	Atom%	Compound	Max#k	Cation	K
C K	0.277	6.21	0.05	13.37				1.2692
O K	0.525	44.85	0.06	63.69				55.8627
Mg K	1.253	5.37	0.06	4.06				2.5709
Al K	1.486	2.93	0.05	1.74				1.2130
Si K	1.739	3.96	0.05	7.02				5.4231
Ca K	2.990	0.73	0.06	0.40				0.8752
Cr K	5.433	15.52	0.10	6.57				16.0226
Fe K	6.390	14.02	0.11	5.32				13.6543
Ni K	7.471	2.22	0.21	0.89				2.1525
Total		100.00		100.00				

sampel 6 004

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: G510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/10/23
Pixel	: 512 x 384



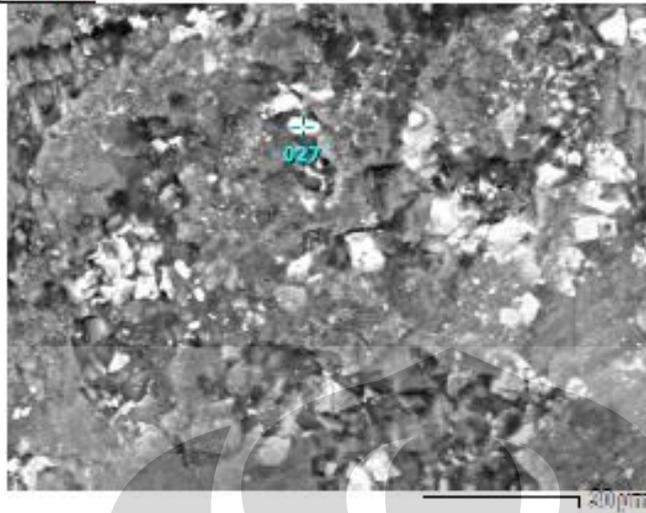
Acquisition Parameter	
Instrument	: G510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PPA mode	: 74
Real Time	: 43.47 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 31 %
Counting Rate	: 3604 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1549

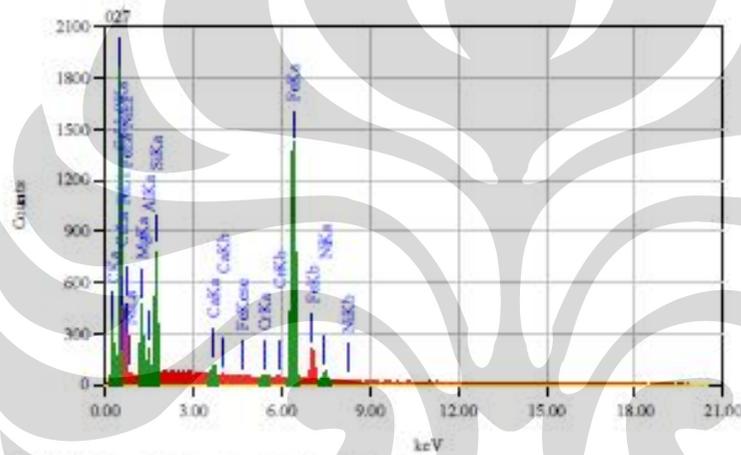
Element	[keV]	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass	Cation	K
C K	0.277	10.40	0.09	19.53				2.0497
O K	0.525	33.20	0.09	46.93				38.6193
Mg K	1.253	4.59	0.07	4.26				0.3513
Al K	1.486	2.26	0.07	1.89				1.6209
Si K	1.739	17.24	0.06	13.85				15.5590
Ca K	3.690	1.45	0.07	0.92				2.0549
Cr K	5.411	13.90	0.13	5.64				16.1540
Fe K	6.398	15.43	0.17	6.24				18.2408
Ni K	7.471	2.43	0.26	0.94				2.8601
Total		100.00		100.00				

sampel 7 001

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 3,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter

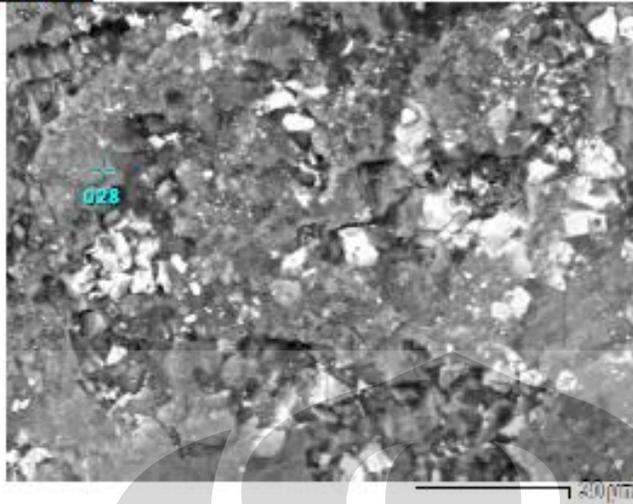
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PR mode	: 74
Real Time	: 41.36 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 27 %
Counting Rate	: 3124 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

XAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1352

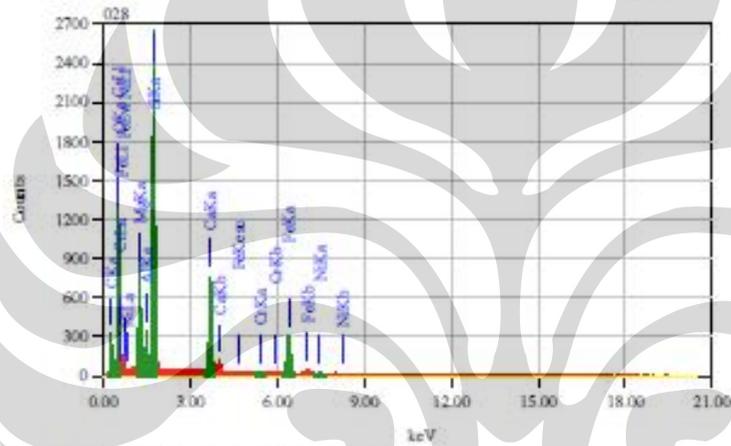
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	33.56	0.05	25.52				3.4360
O K	0.525	34.10	0.06	48.20				41.1011
Mg K	1.253	4.47	0.06	4.16				2.2127
Al K	1.486	1.18	0.05	0.99				0.7240
Si K	1.739	5.37	0.05	4.33				4.2397
Ca K	2.490	0.57	0.05	0.32				0.7833
Cr K	5.411	0.14	0.00	0.00				0.1072
Fe K	6.390	30.57	0.12	15.62				45.0413
Ni K	7.471	2.03	0.12	0.78				2.2539
Total		100.00		100.00				

sampel 7 002

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



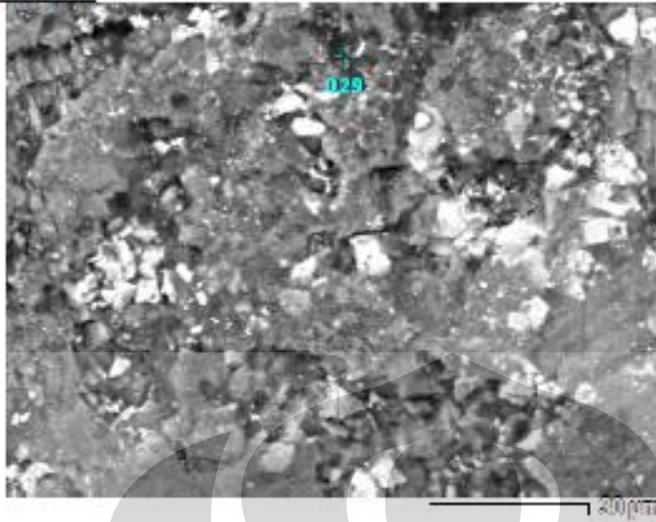
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PPA mode	: T4
Real Time	: 40.81 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 26.4
Counting Rate	: 2959 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

EDS Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1359

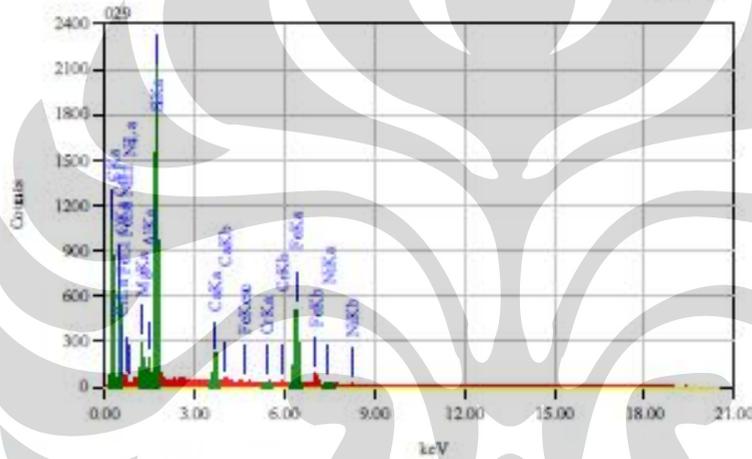
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mask	Carbide	K
C K	0.277	15.94	0.07	25.31				4.8530
O K	0.525	41.63	0.11	49.65				41.9633
Mg K	1.253	6.66	0.05	5.22				5.3398
Al K	1.486	1.87	0.05	1.39				1.8292
Si K	1.739	17.53	0.05	11.91				20.7438
Ca K	2.690	7.10	0.06	3.82				12.6601
Cr K	5.411	0.27	0.31	0.06				0.2544
Fe K	6.398	8.31	0.14	2.84				11.9425
Ni K	7.471	0.48	0.22	0.16				0.6939
Total		100.00		100.00				

sampel 7 003

1/1



Title	: IMG1
Instrument	: 6510(LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 1,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



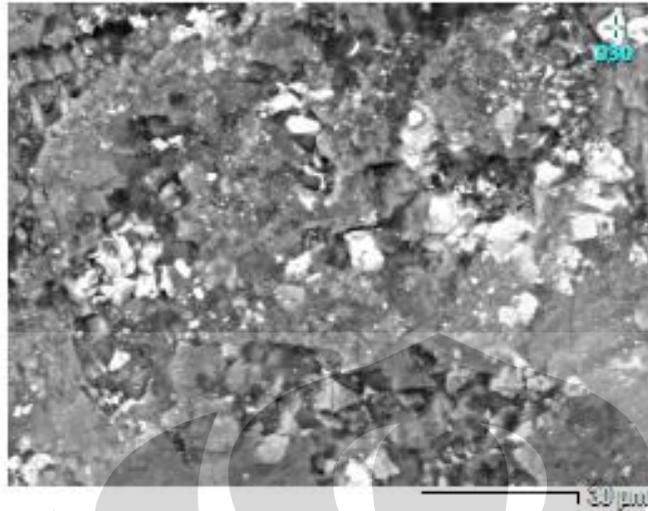
Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510(LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PHA mode	: T4
Real Time	: 28.33 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 31.4
Counting Rate	: 2439 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

ZAF Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1967

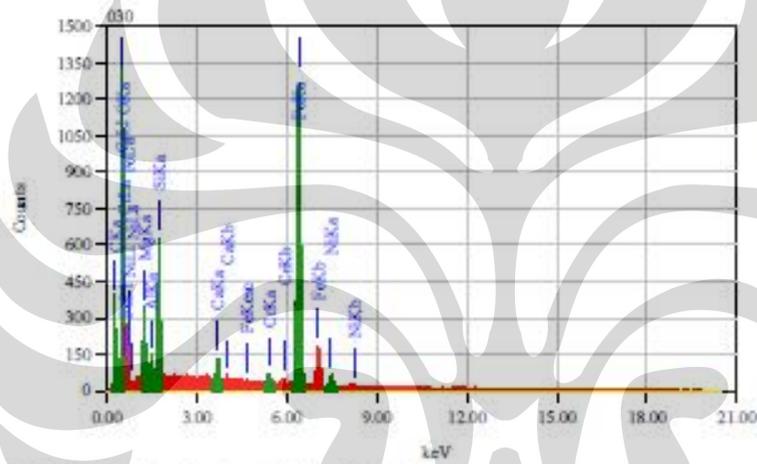
Element	[keV]	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass	Cation	K
C K	0.277	43.23	0.08	59.91				13.9986
O K	0.525	24.21	0.24	28.18				24.2516
Mg K	1.253	2.03	0.09	1.39				2.2577
Al K	1.484	0.29	0.08	0.54				1.1747
Si K	1.739	15.50	0.97	8.00				22.3276
Ca K	3.690	1.48	0.10	0.40				3.3850
Cr K	5.411	0.08	0.17	0.03				0.1459
Fe K	6.390	13.72	0.23	4.12				26.1690
Ni K	7.471	0.17	0.16	0.22				1.4300
Total		100.00		100.00				

sampel 7 004

1/1



Title	: TMGI
Instrument	: 6510 (LA)
Volt	: 20.00 kV
Mag.	: x 3,000
Date	: 2010/12/23
Pixel	: 512 x 384



Acquisition Parameter	
Instrument	: 6510 (LA)
Acc. Voltage	: 20.0 kV
Probe Current	: 1.00000 nA
PSA mode	: 74
Real Time	: 39.23 sec
Live Time	: 30.00 sec
Dead Time	: 23 %
Counting Rate	: 2601 cps
Energy Range	: 0 - 20 keV

EDS Method Standardless Quantitative Analysis
Fitting Coefficient : 0.1527

Element	[keV]	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	17.06	0.05	31.75				4.7424
O K	0.525	30.63	0.08	42.80				35.7444
Mg K	1.253	3.83	0.07	3.56				2.0243
Al K	1.486	0.93	0.06	0.75				0.5866
Si K	1.739	5.05	0.06	4.02				4.2578
Ca K	3.690	0.82	0.06	0.50				1.3075
Cr K	5.411	0.66	0.10	0.28				0.9185
Fe K	6.390	32.93	0.94	15.58				48.0619
Ni K	7.471	2.01	0.23	0.76				2.3543
Total		100.00		100.00				

SEMQuant results. Listed at 22:16:02 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-K 124-1

System resolution = 61 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Ni K Nickel 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.13	0.36
O K	ED	29.02	51.34
Mg K	ED	5.09	6.88
Al K	ED	0.44	0.54
Si K	ED	0.53	0.62
Fe K	ED	62.64	36.83
Ni K	ED	6.15	3.44
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:16:22 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-K 124-2

System resolution = 61 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 S K FeS2 22/03/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.47	0.90
O K	ED	42.21	60.78
Mg K	ED	9.42	8.22
Al K	ED	3.77	3.22
Si K	ED	15.02	12.32
S K	ED	2.42	1.74
Ca K	ED	6.81	3.52
Fe K	ED	19.87	8.20
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:16:38 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-K 12*-3

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.88	1.41
O K	ED	50.81	67.16
Mg K	ED	11.48	9.99
Al K	ED	1.17	0.92
Si K	ED	17.84	13.41
Ca K	ED	2.12	1.12
Fe K	ED	15.77	5.97
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:17:23 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-K 12*-4

System resolution = 61 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 S K FeS2 22/03/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	3.13	5.92
O K	ED	42.98	61.01
Mg K	ED	1.32	1.24
Si K	ED	1.29	1.04
S K	ED	17.35	12.29
Ca K	ED	29.42	16.67
Fe K	ED	4.50	1.83
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:19:03 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK2-1

System resolution = 61 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Cr K Chromium 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06
 Ni K Nickel 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.23	0.58
O K	ED	29.64	56.96
Mg K	ED	2.64	3.33
Al K	ED	1.26	1.44
Si K	ED	2.39	2.61
Cr K	ED	1.50	0.89
Fe K	ED	57.26	31.52
Ni K	ED	5.08	2.66
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:19:24 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK2-2

System resolution = 60 eV

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

1 peak possibly omitted: 2.26 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Cr K Chromium 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.40	0.74
O K	ED	46.64	64.52
Mg K	ED	9.97	8.99
Al K	ED	6.78	5.56
Si K	ED	13.05	10.29
Ca K	ED	2.94	1.62
Cr K	ED	7.95	3.39
Fe K	ED	12.36	4.90
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:19:39 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK2-3

System resolution = 60 eV

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

Standards :
 C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.54	0.96
O K	ED	49.72	66.65
Mg K	ED	7.38	6.52
Al K	ED	2.70	2.15
Si K	ED	16.06	12.27
Ca K	ED	15.82	8.47
Fe K	ED	7.78	2.99
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:19:48 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK2-4

System resolution = 60 eV

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

Standards :
 C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.23	0.43
O K	ED	44.95	62.63
Mg K	ED	15.43	14.15
Al K	ED	1.26	1.04
Si K	ED	16.13	12.80
Ca K	ED	1.09	0.61
Fe K	ED	20.91	8.34
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:17:51 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK1-1

System resolution = 61 eV

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

Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL2O3 17/11/09
Mg K	MagOxide 22/03/06
Al K	AL2O3 17/11/09
Si K	Low Carbon Steel 13/09/06
Cr K	Chromium 22/03/06
Fe K	FeS2 22/03/06
Ni K	Nickel 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.25	0.70
O K	ED	23.51	50.09
Mg K	ED	2.36	3.30
Al K	ED	1.04	1.32
Si K	ED	0.22	0.26
Cr K	ED	5.52	3.62
Fe K	ED	58.85	35.91
Ni K	ED	8.26	4.80
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:18:10 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK1-2

System resolution = 61 eV

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

Standards :

C K	Carbon Low 13/09/06
O K	AL2O3 17/11/09
Mg K	MagOxide 22/03/06
Al K	AL2O3 17/11/09
Si K	Low Carbon Steel 13/09/06
Fe K	FeS2 22/03/06
Ni K	Nickel 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.42	0.73
O K	ED	45.71	64.77
Mg K	ED	18.16	15.57
Al K	ED	0.44	0.34
Si K	ED	18.98	14.05
Fe K	ED	7.34	2.74
Ni K	ED	4.95	1.76
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:18:25 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK1-3

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.63	1.09
O K	ED	51.19	65.97
Mg K	ED	15.77	13.37
Al K	ED	1.65	1.26
Si K	ED	18.57	13.63
Ca K	ED	1.18	0.61
Fe K	ED	11.01	4.06
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:18:38 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-BK1-4

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.37	0.63
O K	ED	53.26	67.40
Mg K	ED	17.11	14.28
Al K	ED	0.69	0.52
Si K	ED	18.63	13.43
Ca K	ED	1.18	0.60
Fe K	ED	8.75	3.17
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:13:19 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-B2-1

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Cr K Chromium 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.33	0.87
O K	ED	25.88	51.21
Mg K	ED	4.49	5.84
Al K	ED	2.68	3.15
Si K	ED	1.97	2.22
Cr K	ED	1.40	0.85
Fe K	ED	63.24	35.85
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:13:39 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-B2-2

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Cr K Chromium 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.47	1.14
O K	ED	29.23	53.59
Mg K	ED	4.15	5.00
Al K	ED	4.40	4.79
Si K	ED	5.04	5.26
Ca K	ED	1.34	0.98
Cr K	ED	4.01	2.25
Fe K	ED	51.35	26.96
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:21:42 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-B2-3

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Cr K Chromium 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	2.33	4.06
O K	ED	47.49	61.98
Mg K	ED	9.55	8.20
Al K	ED	5.59	4.33
Si K	ED	20.57	15.29
Ca K	ED	4.86	2.53
Cr K	ED	0.30	0.32
Fe K	ED	8.80	3.29
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

SEMQuant results. Listed at 22:21:51 on 23/12/10
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1439-B2-4

System resolution = 60 eV

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

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06
 O K AL2O3 17/11/09
 Mg K MagOxide 22/03/06
 Al K AL2O3 17/11/09
 Si K Low Carbon Steel 13/09/06
 Ca K Orthoclase 22/03/06
 Fe K FeS2 22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.36	0.63
O K	ED	51.19	67.56
Mg K	ED	4.56	3.96
Al K	ED	7.37	5.77
Si K	ED	19.06	14.33
Ca K	ED	7.75	4.09
Fe K	ED	9.72	3.68
Total		100.00	100.00

* = <2 Sigma

Foto pengujian XRD, percobaan sintering, dan sapolit sinter



Percobaan sintering



Sinter bed



Rotating disk



Pengujian XRD



Perkiraan senyawa dari data EDX

Data di bawah ini adalah hasil pengujian EDX pada sampel kokas 12%.

Elmt	Spect.	Element	Atomic	Atomic
	Type	%	%	
C	K	ED	0.13	0.36
O	K	ED	25.02	51.34
Mg	K	ED	5.09	6.88
Al	K	ED	0.44	0.54
Si	K	ED	0.53	0.62
Fe	K	ED	62.64	36.83
Ni	K	ED	6.15	3.44
Total			100.00	100.00

Untuk memperkirakan senyawa yang mungkin terbentuk, sebaiknya dilihat terlebih dahulu hasil pengujian XRD untuk sampel yang sama (kokas 12%) sebagai bahan rujukan dan pembanding. Namun demikian hasil XRD tidak mesti sama dengan EDX, karena prinsip dan cakupannya juga berbeda. Prinsip dari perkiraan pembentukan senyawa adalah dengan mengolah data % atom hasil EDX. Di bawah ini adalah data XRD untuk sampel kokas 12%.

<Entry Card>						
No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I R
		Chemical Name (Mineral Name)	DX	WT%	S.G.	
1	17-0464	MgFe ₂ +3O ₄	0.621	0.538(7/22)	0.714	0.679 0.261
		Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	4.52			Pd-3m
2	10-0351	MgCr ₂ O ₄	0.363	0.438(7/28)	0.552	0.592 0.143
		Magnesium Chromium Oxide (Magnesiochromit	4.41			Pd-3m
3	31-0634	(Fe,Mg)SiO ₃	0.907	0.302(16/63)	0.606	0.680 0.124
		Iron Magnesium Silicate (Ferrosilite, mag	4.11			Pcab
4	34-0140	Fe+2Cr ₂ O ₄	0.571	0.438(7/27)	0.732	0.642 0.206
		Iron Chromium Oxide (Chromite, syn)	5.05			Pd-3m
5	38-0448	SiO ₂ .XH ₂ O	0.632	0.875(7/ 8)	0.515	0.256 0.116
		Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	-----			-----

Dengan merujuk hasil XRD, maka kemungkinan pada daerah yang diuji dengan EDX tersebut terdapat senyawa MgFe₂O₄. Hal ini berdasar pada unsur-unsur yang terdeteksi pada data EDX kemudian dicocokkan dengan hasil XRD yang mungkin. Dengan melihat perbandingan % atomnya, maka kemungkinannya adalah senyawa (Mg,Ni)Fe₂O₄, yang merupakan senyawa dominan pada titik yang di uji. Dimana perbandingan atom (Mg+Ni):Fe:O adalah 1:2:4. Pada data di atas perbandingannya adalah 1:3,5:5. Jadi kemungkinan terdapat senyawa lain yang melibatkan unsur Fe dan O namun tidak dominan, seperti Fe₂O₃.

Tambahan hasil pengujian XRD
sampel kokas 12%

```

Group Name : FTUI
Data Name : S-12
File Name : S-12.PKR
Sample Name : S-12
Comment :
<Entry Card>

```

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	17-0464	MgFe ₂ 3O ₄	0.621	0.538(7/22)	0.714	0.679	0.261
		Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	4.52		Fd-3m		
2	10-0351	MgCr ₂ O ₄	0.363	0.438(7/28)	0.552	0.592	0.143
		Magnesium Chromium Oxide (Magnesiochromit	4.41		Fd-3m		
3	31-0634	(Fe,Mg)SiO ₃	0.907	0.302(16/63)	0.606	0.680	0.124
		Iron Magnesium Silicate (Ferrosillite, mag	4.11		Pcab		
4	34-0140	Fe+2Cr ₂ O ₄	0.571	0.438(7/27)	0.732	0.642	0.206
		Iron Chromium Oxide (Chromite, syn)	5.05		Fd-3m		
5	38-0448	SiO ₂ .xH ₂ O	0.632	0.875(7/ 8)	0.515	0.256	0.116
		Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	-----		-----		

sampel briket kokas 12%

```

Group Name : FTUI
Data Name : S-08
File Name : S-08.PKR
Sample Name : S-08
Comment :
<Entry Card>

```

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	6-0532	Cr-O	0.763	0.857(6/ 9)	0.923	0.751	0.594
		Chromium Oxide	6.18		F		
2	17-0464	MgFe ₂ 3O ₄	0.927	0.538(7/22)	0.811	0.886	0.387
		Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	4.52		Fd-3m		
3	25-0283	CuFe ₂ O ₄	0.739	0.667(6/11)	0.735	0.771	0.378
		Copper Iron Oxide (Cuprospinal)	5.46		F		
4	34-0140	Fe+2Cr ₂ O ₄	0.883	0.438(7/27)	0.778	0.856	0.291
		Iron Chromium Oxide (Chromite, syn)	5.05		Fd-3m		
5	19-0629	Fe+2Fe ₂ 3O ₄	0.954	0.467(7/26)	0.573	0.878	0.235
		Iron Oxide (Magnetite, syn)	5.20		Fd-3m		
6	65-3107	Fe ₃ O ₄	0.965	0.389(7/34)	0.649	0.864	0.218
			5.21		Fd-3m		
7	39-1346	Fe ₂ O ₃	0.978	0.179(7/41)	0.918	0.879	0.145
		Iron Oxide (Magnetite-\ITC\RG, syn)	4.86		P4132		
8	38-0448	SiO ₂ .xH ₂ O	0.812	0.500(4/ 8)	0.439	0.706	0.155
		Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	-----		-----		

Sampel briket kokas 14%

Group Name : FTUI
 Data Nama : S-09
 File Nama : S-09.PKR
 Sample Name : S-09
 Comment :

<Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx Wt%		S.G.		
1	6-0532	Cr-O Chromium Oxide	0.781	1.000(7/ 9)	0.792	0.834	0.661
2	10-0325	NiFe2O4 Nickel Iron Oxide (Trevorite, syn)	0.979	0.438(7/23)	0.880	0.920	0.354
3	17-0464	MgFe2+3O4 Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	0.968	0.538(7/22)	0.646	0.924	0.321
4	23-1271	NiCr2O4 Nickel Chromium Oxide (Nichromite, syn)	0.834	0.583(7/12)	0.688	0.800	0.321
5	38-0448	SiO2.xH2O Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	0.791	0.625(5/ 8)	0.715	0.518	0.232
6	39-1346	Fe2O3 Iron Oxide (Maghemite-\ITC\RG, syn)	0.987	0.231(9/41)	0.958	0.792	0.175
7	19-0629	Fe+2Fe2+3O4 Iron Oxide (Magnetite, syn)	0.979	0.467(7/26)	0.403	0.885	0.166
8	65-3107	Fe3O4	0.991	0.444(8/34)	0.427	0.819	0.156

Sampel BK6% - K6% (BK2)

Group Name : FTUI
 Data Nama : S-10
 File Nama : S-10.PKR
 Sample Name : S-10
 Comment :

<Entry Card>

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx Wt%		S.G.		
1	6-0532	Cr-O Chromium Oxide	0.813	0.857(6/ 9)	0.830	0.774	0.551
2	23-1271	NiCr2O4 Nickel Chromium Oxide (Nichromite, syn)	0.854	0.500(6/12)	0.749	0.815	0.305
3	10-0325	NiFe2O4 Nickel Iron Oxide (Trevorite, syn)	0.966	0.375(6/23)	0.920	0.874	0.302
4	17-0464	MgFe2+3O4 Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	0.947	0.462(6/22)	0.646	0.876	0.261
5	34-0140	Fe+2Cr2O4 Iron Chromium Oxide (Chromite, syn)	0.945	0.375(6/27)	0.605	0.902	0.205
6	38-0448	SiO2.xH2O Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	0.893	0.500(4/ 8)	0.635	0.521	0.165
7	25-1402	Fe2O3 Iron Oxide (Maghemite-\ITQ\RG, syn)	0.991	0.267(8/35)	0.704	0.766	0.144
8	19-0629	Fe+2Fe2+3O4 Iron Oxide (Magnetite, syn)	0.987	0.400(6/26)	0.383	0.909	0.139

Sampel briket kokas 10%

```

Group Name : FTUI
Data Name : S-11
File Name : S-11.PKR
Sample Name : S-11
Comment :
<Entry Card>

```

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	6-0532	Cr-O	0.844	1.000(7/ 9)	0.640	0.832	0.533
		Chromium Oxide	6.18		F		
2	23-1271	NiCr2O4	0.913	0.667(8/12)	0.767	0.872	0.446
		Nickel Chromium Oxide (Nichromite, syn)	5.24		Fd-3m		
3	10-0325	NiFe2O4	0.980	0.500(8/23)	0.894	0.839	0.375
		Nickel Iron Oxide (Trevorite, syn)	5.37		Fd-3m		
4	17-0464	MgFe2+3O4	0.961	0.615(8/22)	0.464	0.834	0.238
		Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	4.52		Fd-3m		
5	25-1402	Fe2O3	1.000	0.333(10/35)	0.831	0.742	0.205
		Iron Oxide (Maghemite-\ITQ\RG, syn)	4.88		P		
6	34-0140	Fe+2Cr2O4	0.985	0.500(8/27)	0.411	0.912	0.187
		Iron Chromium Oxide (Chromite, syn)	5.05		Fd-3m		
7	38-0448	SiO2.xH2O	0.785	0.500(4/ 8)	0.757	0.492	0.186
		Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	-----		-----		

Sampel BK 4% - K 8% (BK1)

```

Group Name : FTUI
Data Name : S-13
File Name : S-13.PKR
Sample Name : S-13
Comment :
<Entry Card>

```

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	17-0464	MgFe2+3O4	0.951	0.462(6/22)	0.609	0.870	0.245
		Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	4.52		Fd-3m		
2	25-1402	Fe2O3	0.964	0.267(8/35)	0.830	0.668	0.148
		Iron Oxide (Maghemite-\ITQ\RG, syn)	4.88		P		
3	19-0629	Fe+2Fe2+3O4	0.965	0.400(6/26)	0.346	0.830	0.115
		Iron Oxide (Magnetite, syn)	5.20		Fd-3m		
4	6-0532	Cr-O	0.807	0.857(6/ 9)	0.793	0.732	0.497
		Chromium Oxide	6.18		F		
5	23-1271	NiCr2O4	0.843	0.500(6/12)	0.790	0.763	0.302
		Nickel Chromium Oxide (Nichromite, syn)	5.24		Fd-3m		
6	10-0325	NiFe2O4	0.948	0.375(6/23)	0.941	0.812	0.287
		Nickel Iron Oxide (Trevorite, syn)	5.37		Fd-3m		
7	38-0448	SiO2.xH2O	0.815	0.750(6/ 8)	0.599	0.436	0.196
		Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	-----		-----		

Sampel BK 8% - K 4% (BK3)

```

Group Name : FTUI
Data Name : S-14
File Name : S-14.PKR
Sample Name : S-14
Comment :
<Entry Card>

```

No.	Card	Chemical Formula	S	L	d	I	R
		Chemical Name (Mineral Name)	Dx		WT%	S.G.	
1	6-0532	Cr-O	0.631	1.000(7/ 9)	0.659	0.725	0.478
		Chromium Oxide	6.18		F		
2	17-0464	MgFe2+3O4	0.767	0.769(10/22)	0.659	0.726	0.368
		Magnesium Iron Oxide (Magnesioferrite, or	4.52		Fd-3m		
3	38-0448	SiO2.xH2O	0.802	0.875(7/ 8)	0.577	0.324	0.164
		Silicate Hydrate (Opal-\ITA\RG)	-----		-----		

Lampiran analisis proksimat briket kokas



Laboratorium Pengujian tekMIRA
 PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MINERAL DAN BATUBARA
 Jl. Jenderal Sudirman 623 Bandung - 40211
 Telepon : (022) 6030483 Faksimile : (022) 6003373 e-mail : lab_uji@tekmira.esdm.go.id

F-413.3



SERTIFIKAT ANALISIS (CERTIFICATE OF ANALYSIS)

Terakreditasi No. LP-051-IDN tgl. 19 Juni 2009

Nomor / Number : 1728/LBB/XII/2010 Tanggal / Date : 23 Desember 2010

Dibuat untuk /
 Certified for : Sdr. Hikmat Surya Himanda
 Mahasiswa Metalurgi UI / 0806369013
 Departemen Metalurgi Dan Material FTUI
 Jl. Kampus Baru, UI Depok 16424

Jenis contoh /
 Type of Sample : Antrasit & Briket Kokas
 Sifat / Kondisi Barang yang diuji /
 Description of sample : Halus
 Asal contoh : -
 Origin of sample : -
 Jumlah contoh /
 Amount of sample : 2 (dua)
 Nomor Laboratorium /
 Laboratory Number : 7037 & 7038 / 2010
 Contoh diterima tanggal /
 Sample received on : 20 Desember 2010
 Waktu pelaksanaan pengujian /
 Date of testing : 20 Desember 2010

HASIL ANALISIS / ANALYSIS RESULTS :

ANALYSIS PARAMETER	SAMPLE MARKS		UNIT	BASIS	STANDARD ACUAN :
	No. Lab. 7037/10 Antrasit	No. Lab. 7038/10 Briket Kokas			
PROKSIMATE :					
MOISTURE IN AIR DRIED SAMPLE	14.82	1.36	%	adb	ASTM D.3173
ASH	2.68	2.18	%	adb	ASTM D.3174
VOLATILE MATTER	43.67	1.50	%	adb	ISO 562
FIXED CARBON	38.83	94.96	%	adb	ASTM D 3172

An. Manajer Teknis
 Lab. Batubara,
 Penyelia

Taty Hernawati
 NIP 19550706 197803 2 001

1 dari 1

Catatan : 1. Hasil pengujian/analisis ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji

Notes These analysis result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak (digandakan) tanpa izin dari Manajer Teknis

These Certificate shall not be reproduced (copied) without written permission of the Technical Manager