



Tugas Akhir - TL141584

**STUDI PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATU BARA PADA
PROSES PEMBRIKETAN NIKEL LATERIT TERHADAP
DERAJAT REDUKSI DAN KEKUATAN TEKAN PADA *MINI
BLAST FURNACE***

**MUHAMMAD IQBAL RASYIDI
NRP 2712100024**

Pembimbing:

Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T.

Dr.-Ing. Victor Yuardi Risonarta, S.T., M.Sc.

**JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)



Final Project - TL141584

**STUDY ON THE EFFECTS OF COAL COMPOSITION
VARIATIONS AT LATERITIC NICKEL BRIQUETTING TO
DEGREE OF REDUCTION AND COMPRESSIVE STRENGTH IN
MINI BLAST FURNACE**

**MUHAMMAD IQBAL RASYIDI
NRP 2712100024**

Advisor:

Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T.

Dr.-Ing. Victor Yuardi Risonarta, S.T., M.Sc.

**DEPARTMENT OF MATERIALS DAN METALLURGICAL
ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATU BARA
PADA PROSES PEMBRIKETAN NIKEL LATERIT
TERHADAP DERAJAT REDUKSI DAN KEKUATAN
TEKAN PADA *MINI BLAST FURNACE***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Metalurgi Ekstraksi
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MUHAMMAD IQBAL RASYIDI
NRP. 2712 100 024

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

Dr. Sungging Pintowantoro, S.T., M.T. (Pembimbing I)

Dr.-Ing Victor Yuardi Risonarta, S.T., M.Sc. (Pembimbing II)



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDI PENGARUH VARIASI KOMPOSISI BATU BARA
PADA PROSES PEMBRIKETAN NIKEL LATERIT
TERHADAP DERAJAT REDUKSI DAN KEKUATAN
TEKAN PADA *MINI BLAST FURNACE***

Nama Mahasiswa : Muhammad Iqbal Rasyidi
NRP : 2712100024
Jurusan : Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Sungging Pintowantoro S.T, M.T.
Dr.-Ing. Victor Yuardi Risonarta, S.T., M.Sc.

Abstrak

Pembriketan bijih nikel laterit dilakukan untuk burden material yang sesuai mini blast furnace. Bahan utama yaitu bijih nikel laterit beserta bahan tambahan berupa batu bara sebagai reduktor, batu kapur, Natrium sulfat dan pengikat kanji dengan komposisi tertentu berdasarkan perhitungan teoritis Kemudian diroasting pada temperatur 1100 °C. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh variasi jumlah batu bara terhadap derajat reduksi, kadar unsur dan kekuatan tekan sehingga ditemukan komposisi batu bara yang optimal. Jumlah perhitungan teoritis yaitu perbandingan 7,5 batu bara setiap 100 ore laterit, kemudian divariasikan menjadi 2,5 dan 12,5. Hasil dari proses roasting briket diuji dengan XRD dan XRF untuk mengetahui kadar unsur Fe, Ni, dan senyawa yang terbentuk serta derajat reduksi yang terjadi pada briket. Dan diuji tekan untuk mengetahui kekuatan tekan briket. Dari beberapa variasi yang telah disebutkan, nilai yang optimal terdapat pada variasi jumlah batu bara 12,5 yaitu rasio komposisi ore : batu bara : Na₂SO₄ : kapur : kanji sebesar 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2, dimana derajat reduksi sebesar 49,9 %, kadar Fe 10,92 % dan Ni 1,863 %. Fasa dalam briket didominasi oleh Spinel (Mg,Ni)(Fe,Al,Cr)₂O₄ dan Forsterite (Mg,Fe)₂SiO₄ dengan kekuatan tekan sebesar 72,4905 kgf.

Kata kunci: batu bara; briket, derajat reduksi, kekuatan tekan; laterit.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

**STUDY ON THE EFFECTS OF COAL COMPOSITION
VARIATIONS AT LATERITIC NICKEL BRIQUETTING
TO DEGREE OF REDUCTION AND COMPRESSIVE
STRENGTH IN MINI BLAST FURNACE**

Name : Muhammad Iqbal Rasyidi
NRP : 2712100024
Departement : Materials and Metallurgical Engineering
Advisor : Dr. Sungging Pintowantoro S.T, M.T.
Dr.-Ing. Victor Yuardi Risonarta, S.T., M.Sc.

Abstract

Lateritic nickel ore briquetting is done to obtain the suitable burden material with mini blast furnace. The main ingredient is nickel laterite ore along with additional materials such as reductant coal, limestone, sodium sulfate and starch as binder with a specific composition is based on theoretical calculations. Then the briquette is roast at a temperature of 1100 °C. This study aimed to analyze the effect of variations in the amount of coal to the degree of reduction, the content of the element and the compressive strength thus found that the optimal composition of the coal. Number of theoretical calculation, namely coal ratio of 7,5 per 100 laterite ore, then varied to 2,5 and 12,5. Results of the roasting process briquettes were tested by XRD and XRF to determine content of the elements Fe, Ni, and compounds formed, and also the degree of reduction that occurs in briquettes. Compressive test are also conducted to determine the compressive strength of the briquettes. From some variations have been mentioned, there is an optimal value on the variation of the ratio of the amount of coal 12,5, that has composition ratio of ore : coal : Na₂SO₄: lime : kanji is 100 : 12.5 : 16.5 : 13 : 4.2, wherein the degree of reduction of 49.9%, 10.92% Fe content and Ni 1.863%. Phase in the briquettes is dominated by Spinel (Mg,Ni)(Fe,Al,Cr)₂O₄ and Forsterite (Mg,Fe)₂SiO₄ with the compressive strength of 72.4905 kgf.

Keyword: *briquette; coal; compressive strength; degree of reduction; laterite,.*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral	7
2.2 Ore Nikel Laterit	7
2.3 Pemrosesan Ore Nikel Laterit	11
2.4 Pengolahan Nikel Secara Pirometalurgi	12
2.5 Pembriketan Laterit	14
2.6 Batu Bara	17
2.7 Batu Kapur	19
2.8 Termodinamika Reduksi Laterit	21
2.9 Kinetika Reduksi Ore	26
2.10 Kajian Penelitian Briket Nikel Laterit Sebelumnya	28

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian	31
3.2 Bahan Penelitian	32
3.3 Peralatan Penelitian	34
3.4 Pelaksanaan Penelitian	39

3.4.1	Persiapan Material	39
3.4.2	Proses Roasting	40
3.4.3	X-Ray Fluorescence (XRF)	41
3.4.4	X-Ray Diffraction (XRD)	42
3.4.5	Proximate Analysis	43
3.4.6	Derajat Reduksi	46
3.4.7	Kekuatan Tekan	46
3.5	Rancangan Penelitian	46
3.6	Jadwal Penelitian	47

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1	Karakteristik Bahan	49
4.2	Neraca Massa Pembriketan Nikel Laterit	58
4.3	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Komposisi Unsur pada Briket Hasil Roasting	61
4.3.1	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Unsur Fe pada Briket Hasil Roasting	62
4.3.2	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Roasting	64
4.3.3	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Unsur Cr pada Briket Hasil Roasting	67
4.4	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Fasa dalam Briket Hasil Roasting	69
4.5	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Derajat Reduksi dalam Briket Hasil Roasting	74
4.6	Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Kekuatan Tekan dalam Briket Hasil Roasting	77

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	81
5.2	Saran	82

DAFTAR PUSTAKA 83

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Bijih Nikel Laterit	10
Tabel 2.2 Kategori Batu Bara dan Nilai Kalori	19
Tabel 3.1 Rancangan Penelitian	46
Tabel 3.2 Jadwal Penelitian	47
Tabel 4.1 Komposisi Unsur Ore Nikel Laterit.....	51
Tabel 4.2 Komposisi Senyawa Bijih Nikel Laterit	52
Tabel 4.3 Hasil Analisa Proksimat Batu Bara dan Uji Gross Calorific Value.....	55
Tabel 4.4 Komposisi <i>Mineral Matter</i> Batubara.....	56
Tabel 4.5 Komposisi Kapur	57
Tabel 4.6 Target Roasting Briket Laterit	58
Tabel 4.7 Prosentase Massa Komposisi Bahan Briket	60
Tabel 4.8 Kadar Fe dan Ni pada Briket Variasi Batu Bara.....	61
Tabel 4.9 Hasil Pengujian XRF pada Briket Hasil Roasting.....	62
Tabel 4.10 Penurunan dan Kenaikan Kadar Fe pada Briket.....	64
Tabel 4.11 Penurunan dan Kenaikan Kadar Ni pada Briket.....	66
Tabel 4.12 Identifikasi Fasa pada <i>Fired</i> Briket	71
Tabel 4.13 Nilai FWHM Puncak Fasa Spinel pada Briket Roasting.....	72
Tabel 4.14 Nilai FWHM Puncak Fasa Forsterite pada Briket Roasting.....	73
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Derajat Reduksi Briket.....	75
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Briket Roasting ...	77
Tabel 4.17 Data Kekerasan Fasa Mineral.....	79

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ore nikel laterit	9
Gambar 2.2 Profil lapisan nikel laterit beserta komposisi dan jalur pengolahannya	9
Gambar 2.3 <i>Flow chart</i> ekstraksi nikel	10
Gambar 2.4 Jalur Pengolahan bijih nikel laterit dan nikel sulfida	11
Gambar 2.5 Bentuk briket	16
Gambar 2.6 Batu bara	18
Gambar 2.7 Batu kapur	20
Gambar 2.8 Diagram Ellingham	22
Gambar 2.9 Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori	27
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.2 Ore nikel laterit	32
Gambar 3.3 Batu bara	32
Gambar 3.4 Batu kapur	33
Gambar 3.5 Serbuk Natrum sulfat	33
Gambar 3.6 Kanji	34
Gambar 3.7 LPG	34
Gambar 3.8 Alat kompaksi	35
Gambar 3.9 <i>Muffle furnace</i>	36
Gambar 3.10 Timbangan analitik	36
Gambar 3.11 Ayakan 30 mesh	37
Gambar 3.12 Termometer <i>infrared</i>	37
Gambar 3.13 <i>Jaw Crusher</i> dan <i>Dust mill</i>	38
Gambar 3.14 Blower	38
Gambar 3.15 Oven	39
Gambar 3.16 Green briket dalam <i>muffle furnace</i>	40
Gambar 3.17 Briket hasil roasting	41
Gambar 3.18 <i>Olympus Delta Premium Handheld XRF Analyzers</i>	42
Gambar 3.19 <i>XRD PAN Analytical</i>	43
Gambar 4.1 Batuan dan tanah ore nikel laterit	49

Gambar 4.2	Hasil XRD ore nikel laterit	50
Gambar 4.3	Grafik heatflow dan 1 st derivative heatflow ore nikel laterit	53
Gambar 4.4	Batu bara yang digunakan dalam penelitian	55
Gambar 4.5	Kapur yang digunakan dalam penelitian	57
Gambar 4.6	Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Fe dalam briket hasil roasting	62
Gambar 4.7	Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Ni dalam briket hasil roasting	65
Gambar 4.8	Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Cr dalam briket hasil roasting	67
Gambar 4.9	Hasil pengujian XRD <i>fired</i> briket hasil roasting dengan variasi komposisi batu bara	70
Gambar 4.10	Pengaruh komposisi batu bara terhadap derajat reduksi briket hasil roasting	76
Gambar 4.11	Pengaruh komposisi batu bara terhadap kekuatan tekan briket hasil roasting	78

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut tren beberapa tahun terakhir, permintaan akan baja tahan karat (*stainless steel*) semakin meningkat. Dan diprediksi akan terus meningkat hingga tahun-tahun ke depan (ISSF 2015). Kebutuhan negara-negara berkembang akan *stainless steel* dalam hal pembangunan infrastruktur masih sangat tinggi. Dalam industri *stainless steel*, kebutuhan akan nikel tak dapat terelakkan. Selama ini nikel diperoleh dari proses ekstraksi ore sulfida, dengan produksi nikel dunia dari ore sulfida sebesar 58 %. Hal ini dikarenakan kadar nikel dalam ore sulfida yang lebih tinggi hingga 0,5 – 8,0 %, jika dibandingkan dengan ore oksida (laterit) maksimal hanya sekitar 1,0 – 2,0 %. Kadar nikel pada ore sulfida yang relative tinggi inilah yang menyebabkan lebih mudahnya pengolahan ore nikel sulfida dari para ore nikel oksida (Crundwell 2011).

Namun dewasa ini terjadi penurunan suplai ore nikel sulfida. Hal ini terjadi karena jumlah deposit ore nikel sulfida dunia yang hanya sebesar 28 %. Hal ini sangat kontras dengan produksi nikel dari ore nikel sulfida di dunia sebesar 58 %. Diprediksi apabila kebutuhan akan nikel hanya mengandalkan ore nikel sulfida tidak akan seluruhnya terpenuhi. Pengolahan nikel dari deposit ore nikel laterit yang mencapai 72 % dunia adalah yang selanjutnya dilakukan (Anne dan Barcza 2013).

Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah dari Sabang sampai Merauke. Salah satu hasil sumber daya alam dari Indonesia adalah hasil tambang, dan salah satunya adalah ore nikel oksida atau yang biasa disebut dengan ore nikel laterit. Diprediksi bahwa 16 % cadangan ore laterit di dunia terdapat di Indonesia, berada di urutan ketiga setelah New Caledonia dan Phillipines (Dalvi dkk. 2004). Ore laterit tersebut sebagian besar sumbernya berada di wilayah timur Indonesia menyebar di berbagai tempat terutama di Sulawesi



Tenggara, Halmahera Maluku Utara, dan Pulau Gag Papua. Adapun laterit terdiri dari dua jenis, yaitu limonit berkadar Nikel rendah dan saprolit berkadar nikel tinggi.

Proses pengolahan ore laterit berkadar Ni tinggi jenis saprolit (HGSO) ($\text{Ni} > 1,8 \%$) di Indonesia diolah melalui jalur prose pirometalurgi untuk memproduksi FeNi (*ferronickel*) atau biasa disebut NPI (*Nickel Pig Iron*) seperti produk BUMN PT Aneka Tambang di Pomalaa, Sulawesi Utara, atau Ni matte seperti produk PT Vale Indonesia di Sorowako yang juga berada di Sultra. Ore laterit berkadar Ni rendah jenis saprolit (LGSO) ($\text{Ni} < 1,8 \%$) belum banyak diolah di tanah air. Laterit kadar Ni rendah yang cadangannya diperkirakan mencapai 2 milyar ton sangat potensial digunakan sebagai bahan baku NPI. NPI atau *ferronickel* untuk diproses lebih lanjut menjadi *stainless steel* yang banyak memiliki fungsi di kehidupan sehari-hari dan juga dimanfaatkan pada industri sebagai salah satu komponen industri serta yang tak kalah penting sebagai infrastruktur (Dalvi dkk. 2004).

Teknologi pengolahan ore nikel menggunakan dua metode yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Dan beberapa yang lainnya ada yang mengkombinasikan kedua proses (Yıldırım 2012). Pengolahan secara hidrometalurgi dari ore nikel laterit masih menjadi pilihan utama. Hal ini dapat dilihat dari hasil produksi menggunakan hidrometalurgi karena dengan proses ini ore nikel laterit yang memiliki kadar nikel lebih sedikit tidak akan terjadi *losses* yang banyak pada produk sasmpingnya. Namun proses hidrometalurgi ore nikel laterit membutuhkan proses yang cukup lama.

Kebanyakan proses pirometalurgi menggunakan *rotary dryer* untuk proses pengeringan ore, *rotary kiln* untuk proses kalsinasi, roasting dan reduksi, dan *electric arc furnace* atau *blast furnace* untuk proses *smelting* serta tahap akhir adalah proses *refining* atau pemurnian menggunakan *converting furnace*. *Mini Blast Furnace* (MBF) dipilih untuk digunakan rebagai reactor karena pada proses menggunakan MBF telah mencakup hampir



semua proses pada pirometalurgi, mulai dari proses pengeringan, proses kalsinasi dan reduksi, dan proses smelting. Dengan beberapa proses telah terintegrasi menjadi satu alat yaitu MBF akan lebih menghemat konsumsi energi dan juga waktu yang membuatnya lebih efisien dan ekonomis.

Namun proses reduksi ore nikel laterit menggunakan MBF untuk mengolah ore laterit dengan kadar nikel $< 1\%$ masih belum optimal. Diperlukan proses optimalisasi dari proses pirometalurgi pada MBF, salah satunya dengan *treatment* pada *feed material* yang akan masuk kedalamnya berupa peningkatan kadar dan sifat metalurgi dengan cara pembriketan.

Salah satu *feed material* pada reactor MBF serta pada proses pembriketan ore laterit adalah batu bara. Batu bara sebagai penyedia agen reduktor pada proses reduksi. Deposit batu bara yang ada di Indonesia merupakan salah satu dari deposit terbesar dunia. Sumber daya batu bara yang dimiliki Indonesia sebesar 65,4 miliar ton, sedangkan cadangannya sebesar 12 miliar ton (ESDM 2012). Hal ini lah yang menjadikan batu bara di Indonesia sangat potensial digunakan untuk mengolah mineral laterit.

Dari uraian di atas sangat menarik untuk dikembangkan pengolahan mineral laterit menjadi produk NPI (*ferronickel*) yang menggunakan bahan baku lokal karena ketersediaan cadangan bahan baku local yang sangat melimpah. Sehingga diharapkan dapat mencukupi kebutuhan bahan baku industri baja nasional. Dan diperlukan suatu kajian tentang seberapa besar rasio jumlah batu bara yang optimal pada proses pembriketan ore nikel laterit sehingga diperoleh *feed material* MBF yang sesuai untuk diperoleh hasil *Nickel Pig Iron* yang optimal. Sehingga memberikan nilai tambah lebih serta diharapkan meningkatkan perekonomian Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:



1. Bagaimana pengaruh variasi jumlah batu bara pada proses pembriketan bijih nikel laterit terhadap derajat reduksi briket?
2. Bagaimana pengaruh variasi jumlah batu bara pada proses pembriketan bijih nikel laterit terhadap kadar unsur logam yang dihasilkan?
3. Bagaimana pengaruh variasi jumlah batu bara pada proses pembriketan bijih nikel laterit terhadap kekuatan tekan briket?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menganalisis masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yaitu:

1. Ore nikel yang digunakan adalah mineral laterit dari Halmahera Timur, Maluku Utara.
2. Jenis dan komposisi ore laterit, batu bara dan batu kapur yang digunakan diasumsikan homogen.
3. Batu bara yang digunakan berupa jenis sub-bituminus dari Binuang, Kalimantan Selatan.
4. Tekanan kompaksi yang diberikan adalah homogen.
5. Kanji digunakan sebagai pengikat dan pengaruh reaksi kanji diabaikan.
6. Permeabilitas dan porositas diasumsikan homogen.
7. Energi panas yang digunakan pada proses roasting berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batu bara tidak dipertimbangkan.
8. Temperatur operasi roasting diasumsikan sama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui pengaruh variasi jumlah batu bara pada proses pembriketan bijih nikel laterit terhadap derajat reduksi briket.
2. Mengetahui pengaruh variasi jumlah batu bara pada proses pembriketan bijih nikel laterit terhadap kadar unsur logam yang dihasilkan.
3. Mengetahui pengaruh variasi jumlah batu bara pada proses pembriketan bijih nikel laterit terhadap kekuatan tekan briket.



1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empirik dari parameter proses (variasi jumlah batu bara) yang optimal untuk proses pembriketan mineral laterit yang diperoleh dari daerah Halmahera pada proses *Mini Blast Furnace* (MBF).

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika tugas akhir ini terbagi dalam lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan hasil penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dari literatur yang berhubungan dan menunjang analisa permasalahan dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi rancangan penelitian, prosedur pelaksanaan, spesifikasi peralatan dan material uji.

BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi data-data yang diperoleh selama penelitian, pembahasan dari data yang diperoleh sesuai dengan permasalahan yang ditetapkan pada penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari data-data yang diperoleh dan merupakan jawaban dari permasalahan penelitian. Disertai dengan hal-hal yang sebaiknya dilakukan pada penelitian yang akan datang atau masalah-masalah yang dialami pada saat proses penelitian.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Mineral

Mineral dapat didefinisikan sebagai zat anorganik yang terbentuk secara alami yang memiliki komposisi kimia dan struktur kristal tertentu, contoh dari mineral antara lain *galena* (PbS), *chalcopyrite* (CuFeS₂), dan lain sebagainya. Mineral dan bijih logam banyak ditemukan didalam kulit bumi. Kulit bumi merupakan lapisan terluar dari bumi yang memiliki ketebalan hingga mencapai 1200 km lapisan ini sering juga disebut lithosfir (*lithosphere*). Mineral terdapat pada batu-batuan (*rocks*) di kulit bumi yang dapat tersusun sebagai monomineral maupun gabungan dari beberapa jenis mineral lain. Sedangkan definisi dari bijih adalah deposit dari mineral yang mengandung satu atau lebih jenis logam yang dapat diekstrak diolah menjadi logam secara ekonomis.

Mineral dapat dibagi kedalam beberapa kelas yang disusun berdasarkan komposisi kimia (anion) dari mineral, yaitu kelas *silikat*, *karbonat*, *sulfat*, *halide*, *oksida*, *phospat*, *native element*, *sulfida*, *borates*, *nitrites*, *molybdates*. Kebanyakan bijih yang diolah berasal dari kelas oksida dan sulfida (S. Handaru 2008).

2.2 Ore Nikel Laterit

Secara umum, ore nikel atau bijih nikel terbagi atas dua jenis mineral, yaitu laterit dan sulfide. Mineral laterit merupakan sumber mineral nikel oksida yang secara geografis ditemukan pada daerah tropis dan sub tropis, dimana terdapat curah hujan melimpah dan terdapat pembusukan vegetasi yang secara bersama-sama menyediakan air tanah dengan sifat asam yang efektif untuk pembentukan batuan kaya akan *olivine* (*peridotite*, *pyroxenite*, dan *dunite*) yang memiliki kandungan unsur utama nikel. Air tanah yang bersifat asam menyerang dan melarutkan magnesium, besi, cobalt, dan nikel, sementara silica menghambat di dalam larutan secara koloid. Karena air tanah tidak terlalu



bersifat asam, sebagian dari besi terlarut ke dalam air tanah dan teroksidasi menjadi *ferric iron* dan mengendap menjadi *ferric goethite*. Cobalt juga mengendap, sebesar jumlah besi. Karena besi yang tersapu air tanah disaring melalui batuan dan tanah, air tanah sebagian dinetralkan oleh magnesia yang terletak dalam batuan dan nikel, kira-kira sejauh jumlah besi dan cobalt, lalu di endapkan sebagai *hydrous nickel-magnesium silicates* (saprolite) (Golightly 1979, Burger 1996).

Faktor-faktor yang penting untuk pembentukan deposit laterit yang baik dengan konsentrasi nikel, cobalt, chromium, aluminium, dan besi yang relatif sama, antara lain:

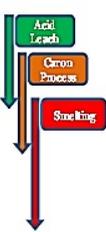
- Mineralogi dari peridotite dan bentukan tectonic
- Iklim
- Topografi
- Sejarah geomorphic

Jenis nikel laterit adalah yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Bijih nikel dari mineral oksida (laterit) ada dua jenis yang umumnya ditemui yaitu saprolit dan limonit dengan berbagai variasi kadar. Perbedaan menonjol dari 2 jenis bijih ini adalah kandungan Fe (Besi) dan Mg (Magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit sebaliknya. Bijih Saprolit dua dibagi dalam 2 jenis berdasarkan kadarnya yaitu HGSO (*High Grade Saprolit Ore*) dan LGSO (*Low Grade Saprolit Ore*), biasanya HGSO mempunyai kadar Ni ≥ 2 % sedangkan LGSO mempunyai kadar Ni < 2 %.



Gambar 2.1 Ore nikel laterit (images.google.com)

Klasifikasi yang dilakukan oleh beberapa sumber (Golightly 1979, Hallet 1997, O'connor 2006, Botsis 2008) menjelaskan bahwa profil lapisan nikel dapat dijelaskan pada Gambar 2.2.

	Layer name	Mineralogy	Approximate Analysis				Appropriate processing Technology
			Ni	Co	Fe	MgO	
	Red Limonite	Hematite Fe_2O_3	<0.8	<0.1	>50	<0.5	
	Yellow Limonite	Goethite $(Fe,Al,Ni)(OH)$	0.8 - 1.5	- - 0.2	40 - 50	0.5 - 5	
	Transition	Nontonite/Serpentine $Na_xFe_y(Si,Al)_z(OH)_n \cdot nH_2O$	1.5 - 2	- - 0.02	25 - 40	5 - 35	
	Saprolite	Garnetite/Serpentine $(Mg,Ni)_3Si_2O_8(OH)_4$	1.8 - 3	0.1 - -	10 - 25	15 - 35	
	Ultramafic Rock	Olivine $(Mg,Ni)Fe_2SiO_4$ Pyroxene $(Mg,Ni)FeSiO_3$	0.3	0.01	5	35 - 45	

Gambar 2.2 Profil lapisan nikel laterit beserta komposisi dan jalur pengolahannya (Dor dkk. 1979)

Lebih lanjut, berdasarkan kandungan Fe dan MgO, bijih nikel laterit yang telah diproses secara komersial dengan *rotary kiln-electric furnace* lebih lanjut diklasifikasikan ke dalam 5 kategori pada Tabel 2.1.

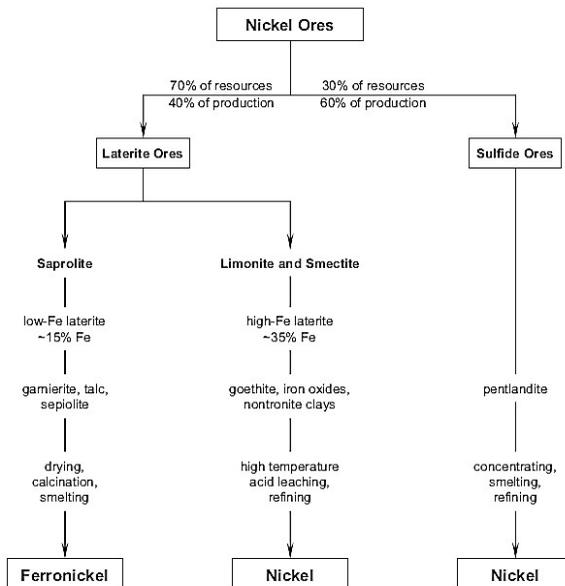


Tabel 2.1 Klasifikasi Bijih Nikel Laterit

Kategori	Kandungan	
	Fe (%)	MgO (%)
Bijih saprolit	<10 – 12, rendah	>25 – 40, tinggi
Bijih limonit Fe tinggi	>30 – 40, tinggi	> 25 – 40, tinggi
Bijih limonit Fe rendah	<30 – 40, rendah	>25 – 40, tinggi
Bijih transisi MgO tinggi	12 - 15	20 – 35
Bijih transisi MgO rendah	12 - 15	10 – 25

(Dor dan Skretting 1979, Diaz dkk. 1988, Utigard dkk. 1994, Zevgolis dkk. 2010).

Sedangkan *flow chart* ekstraksi nikel dijelaskan pada Gambar 2.3.

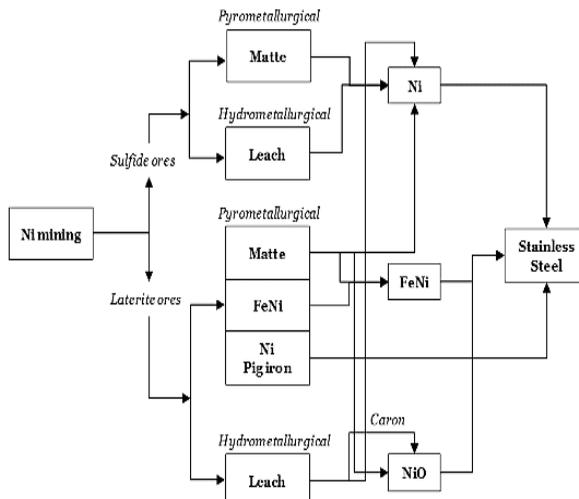


Gambar 2.3 *Flow chart* ekstraksi nikel (Crundwell 2011)



2.3 Pemrosesan Ore Nikel Laterit

Nikel diekstraksi dari ore laterit dengan rute *hydrometalurgi* atau *pyrometallurgy* (Gambar 2.4), tergantung pada sifat dari gangue tersebut. Secara umum, laterit silikat dengan kandungan magnesium yang tinggi dapat diekstrak dengan cara reduksi *roasting* lalu dilanjutkan dengan amonia *leaching* atau dengan proses *pyrometallurgy*, sedangkan bijih limonit dengan kandungan magnesium yang rendah dan besi yang tinggi biasanya diekstraksi dengan cara proses hidrometalurgi (Diaz dkk. 1988). Karena, lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadarnya. Sekitar sekitar 40 % dari bijih nikel laterit yang cocok untuk proses smelting diperkirakan dalam bentuk nikel-magnesium silikat hydrated (bijih saprolit). Sedangkan peningkatan kadar untuk lapisan saprolit juga terbatas untuk peningkatan konsentrasi nikel. Hal ini merupakan perbedaan utama antara bijih laterit dan bijih sulfida yang dapat dibenefisiasi dari 10 % menjadi 28 % (Taylor 1995).



Gambar 2.4 Jalur Pengolahan bijih nikel laterit dan nikel sulfida (Dor 1979)



Mineralogi yang kompleks, sifat heterogen, dan kandungan nikel yang rendah, menyebabkan nikel laterit tidak hanya menyebabkan benefisiasi secara fisik hampir mustahil tetapi juga menyebabkan ekstraksi nikel dari bijih laterit cukup sulit (Kerfoot 1991). Selain itu, temperatur tinggi yang diperlukan untuk proses pirometalurgi atau konsumsi bahan kimia tingkat tinggi untuk proses *leaching* bijih untuk proses hidrometalurgi menyebabkan pengolahan bijih laterit relatif kompleks (Eckelman 2010). Oleh karena itu, metode optimalisasi pengolahan laterit metalurgi merupakan tantangan besar bagi industri nikel, karena seiring bertambahnya permintaan akan nikel diharapkan dapat dipenuhi oleh pertambangan deposit laterit.

2.4 Pengolahan Nikel Secara Pirometalurgi

Fungsi utama dari proses *pyrometallurgy* (*ferronickel* dan *matte*) bertujuan untuk memisahkan unsur nikel dan cobalt dari besi, silicon, dan magnesium, yang merupakan unsur utama yang menyertai unsur nikel didalam bijih laterit.

Untuk bijih yang mengandung kadar nikel lebih besar sama dengan 1,5% dapat dilakukan ekstraksi dengan *pyrometallurgy*. Sedangkan untuk kadar dibawahnya dilakukan proses *hydrometallurgy* dengan direndam larutan asam.

Menurut Dominguez dkk (2013), rute umum pengolahan bijih nikel laterit secara *pyrometallurgy* terdiri dari 5 tahap proses yang saling berkaitan satu dengan yang lainnya yaitu penambangan bijih, *drying*, *roasting*, pelelehan, dan pemurnian.

1. Penambangan: Bijih nikel laterit terbentuk dekat dengan permukaan tanah, dengan begitu laterit dengan mudah diambil.
2. *Drying* dan *roasting*: Karena bijih nikel laterit kebanyakan ditemukan di daerah dengan iklim tropis yang berada disekitar garis ekuator, bijih nikel laterit mengandung kelembapan yang sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukakn proses untuk menghilangkan kelembapan dengan cara *drying* atau *calcining*. Sebelum proses peleburan (*smelting*) bijih biasanya dilakukan *roasting* di dalam *rotary kiln*. Dua langkah ini dan



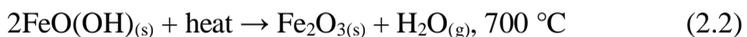
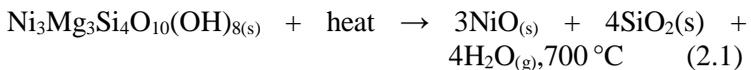
langkah selanjutnya merupakan langkah-langkah yang memerlukan energi paling besar seperti gas alam, karbon, dan listrik.

3. *Smelting: Electric arc furnace* biasanya digunakan untuk proses peleburan (*smelting*). Nikel matte didapatkan akibat adanya penambahan sulfur sehingga oksida nikel dapat berubah menjadi nikel sulfida matte. Nikel matte bisa diberikan perlakuan yang sama meskipun berasal dari bijih nikel sulfida.
4. Pemurnian (*refining*): Ada beberapa cara pemurnian yang dapat dilakukan bergantung dari hasil akhir yang ingin dicapai.

Hasil ekstraksi nikel ada beberapa jenis yaitu *ferronickel*, nikel *matte*, dan nikel logam. *Ferronickel* adalah paduan besi dan nikel dengan kadar Nikel dibawah 20 % dan diatas 1,5 %. Pada umumnya yang dapat dihasilkan langsung dari blast furnace adalah pig iron yang mengandung nikel antara 1,5 – 8 % Ni. Nikel matte dihasilkan dari ekstraksi senyawa nikel yang berupa sulfida. Sedangkan nikel berupa logam adalah pemurnian dari nikel yang berada di dalam matte maupun nikel yang berada di ore seperti pada proses Mond dimana nikel oksida dikenai karbon monoksida sehingga didapat nikel murni (Keyle, 2010).

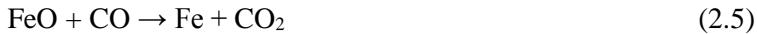
Persamaan reaksi ekstraksi nikel dari laterit pada proses roasting menurut buku “Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt” ditunjukkan pada reaksi (Tyroler 1998):

- Terjadi dekomposisi garnierite dan goethite (ore)



- Reaksi reduksi oleh gas CO





2.5 Pembriketan Laterit

Karakteristik yang diperlukan dari *burden material* pada *mini blast furnace* adalah meliputi dari komposisi kimia dan ketahanan fisiknya. Komposisi kimia yaitu bahwa setelah dilakukan proses reduksi dan peleburan, akan terproduksi berupa *ferronickel* dan komposisi kimia slag yang sesuai, ditentukan dari komposisi kimia dari seluruh material yang dimasukkan ke dalam *mini blast furnace (burden material)*. Aspek fisik dari kualitas yang diperlukan mencakup karakteristik dari kedua kondisi dingin (suhu kamar) dan panas (suhu tinggi) dari *burden material*. Sehingga diperlukan suatu proses penggumpalan (agglomerasi) yang dilanjutkan dengan proses *roasting*.

Proses agglomerasi menjadikan ore laterit yang berupa serbuk tanah digumpalkan dengan campuran batu bara dan batu kapur dengan komposisi tertentu, sehingga *burden material* hasil agglomerasi dapat sesuai dengan kebutuhan *mini blast furnace*.

Menurut Crundwell (2011), karakteristik dari *burden material* yang sesuai pada proses *blast furnace* diantaranya:

- Komposisi kimia
- Distribusi ukuran, sangat penting dalam permeabilitas dari layer *burden material*
- Sifat metalurgi, meliputi:
 - *Cold strength*, merupakan ketahanan *burden material* terhadap degradasi selama transportasi dan *handling*
 - Reduksi-disintegrasi, merupakan efek dari tahap reduksi awal dan kesesuaian pada zona stack dalam *blast furnace*
 - Sifat softening dan melting, penting pada pembentukan zona kohesif dan zona melting pada *blast furnace*.



Proses agglomerasi yang digunakan berupa pembriketan. Laterit yang berupa butiran serbuk tanah dikompresi dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu, dengan komposisi tambahan berupa batu bara, batu kapur dengan komposisi tertentu beserta zat pengikat pada umumnya berupa kanji.

Kanji digunakan sebagai pengikat (binder) briket untuk meningkatkan kekuatan green briket sebelum proses roasting, mengurangi tingkat degradasi briket saat transportasi dan handling. Karena hanya untuk keperluan sebelum proses roasting, binder tidak boleh memberikan efek negatif pada proses roasting. Pemilihan binder berupa kanji karena merupakan zat organik, yang akan terbakar habis saat pemanasan / pembakaran. Terlebih kanji akan sedikit menambah sumber karbon untuk proses reduksi. Berbeda bila digunakan binder lain anorganik seperti bentonit. Kandungan senyawa Aluminium silikat hidrat dalam bentonit akan menambahkan impuritas yang memberikan efek negative pada proses reduksi.

Menurut Li (2012) perlu ditambahkan bahan tambahan berupa Natrium Sulfat untuk mekanisme selective reduction pada Ni. Secara spesifik pemriketan dibagi menjadi briket dingin dan briket panas. Briket dingin hanya dilakukan pada temperatur kamar, sedangkan briket panas dilakukan proses kalsinasi hingga temperature diatas 1000 °C hingga di bawah temperature lelehnya. Proses kalsinasi sekaligus dilakukan dalam proses roasting.

Proses pembriketan yang dilakukan berupa briket panas, hal ini dilakukan untuk memperoleh komposisi kimia briket laterit yang sesuai dengan proses produksi NPI (Nickel Pig Iron) pada *mini blast furnace*. Proses pembriketan panas harus mencakup (Crundwell 2011):

- Menghilangkan sisa kadar air pada ore (untuk menghindari terjadinya ledakan pada *mini blast furnace*)
- Mereduksi sekitar seperempat nikel dalam ore menjadi nikel metal



- Mereduksi mineral Fe^{3+} menjadi mineral Fe^{2+} dengan kadar tinggi dan sekitar 5 % dari besi menjadi besi metal
- Menambah batu bara dengan cukup, sehingga kadar mineral yang tersisa untuk reduksi tahap akhir pada *mini blast furnace*.



Gambar 2.5 Bentuk briket (image.ec21.com)

Bentuk briket yang digunakan berupa bentuk bantal (*pillow*) dipilih dengan maksud tertentu. Jika dibandingkan dengan briket berbentuk bola yang memiliki keseragaman tegangan di seluruh permukaannya. Namun briket dengan bentuk bola akan sulit dibuat karena keterbatasan alat yang ada, proses pelepasan briket bola dari alat biket atau cetakan akan sulit dilakukan. Maka briket bebentuk bantal lebih mudah dibuat dengan menggunakan alat yang sudah komersial. Briket bentuk bantal dengan volume yang sama memiliki tebal penambang kecil dan luas permukaan yang lebih besar dibanding dengan bentuk bola. Hal tersebut akan meningkatkan *heat flux* saat proses pemanasan. *Heat flux* yang besar akan meningkatkan *heat transfer* sehingga tingkat reduksi yang terjadi juga akan semakin besar.

Pada proses pembriketan, proses reduksi yang terjadi haruslah secara optimal. Temperatur kalsinasi / roasting haruslah sesuai dengan temperature terjadinya reaksi reduksi dari mineral nikel dan besi dalam laterit. Ketika temperature tidak mencukupi



maka reaksi reduksi tidak optimal karena energi yang diperlukan tidak mencukupi.

Perlu juga dipertimbangkan kebutuhan gas CO sebagai agen reduktor. Gas CO berasal dari batu bara, sehingga diperlukan perhitungan kebutuhan komposisi batu bara yang sesuai. Apabila ketersediaan batu bara tidak memadai maka reaksi tidak berjalan optimal karena gas CO juga kurang untuk mereduksi mineral nikel dan besi yang ada.

Apabila batu bara dengan jumlah yang berlebihan akan sangat cukup, namun dengan semakin banyaknya jumlah batu bara memberikan gas CO yang sangat cukup, namun akan semakin menghasilkan rongga di dalam briket yang berlebih akibat batu bara habis terbakar menjadi gas. Rongga yang berlebih akan menurunkan *cold strength* dan *compressive strength* (kekuatan tekan). *Cold strength* yang rendah akan memperbesar tingkat degradasi berlebih dari *burden material* ketika transportasi dan handling. Kekuatan tekan yang rendah menyebabkan degradasi *burden material* saat menerima beban di atasnya saat berada di dalam *mini blast furnace*, menurunkan jumlah rongga antara, zona kohesif dan zona melting sulit terbentuk yang disebut dengan keadaan *bridging*.

2.6 Batu Bara

Batu bara adalah barang tambang yang berasal dari sedimen bahan organik dari berbagai macam tumbuhan yang telah membusuk dalam waktu yang sangat lama dan di area dengan karakteristik kandungan air cukup tinggi. Pembentukan batu bara dimulai dengan proses pembusukan timbunan tanaman dalam tanah dan membentuk lapisan gambut kadar karbon tinggi. Pembentukan batu bara dari gambut (coalification) dipengaruhi oleh faktor; material pembentuk, temperatur, tekanan, waktu proses, dan berbagai kondisi lokal seperti kandungan O₂, tingkat keasaman dan kehadiran mikroba. Proses coalification pada gambut terbagi menjadi 3 tahapan yaitu: pembusukan aerobik, pembusukan anaerobik, dan bituminisasi.



Gambar 2.6 Batu bara (id.wikipedia.org)

Karakteristik sumber batu bara (*source coal*) yang digunakan harus memenuhi persyaratan batubara dari suatu tipe tungku yang digunakan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan jenis batu bara, tetapi kualitas dan biaya batu bara merupakan pertimbangan kedua yang sangat penting. Sedangkan karakteristik sumber batubara bervariasi dengan adanya perbedaan daerah asal.

Unsur pembentuk batu bara terdiri dari : unsur utama (C, H, O, N, S, kadang-kadang Al, Si), unsur kedua (Fe, Ca, Mg, Fe, K, Na, P, Ti), dan unsur sangat kecil (trace) berupa logam-logam berat (heavy metals) dengan berat jenis di atas 5 g/cm^3 (melebihi Al) dan masing-masing berkadar sangat rendah yang dinyatakan dalam ppm (bagian per sejuta) serta jumlahnya ada sekitar 40 unsur yang dapat merusak lingkungan dan kesehatan manusia. Dari sejumlah logam berat tersebut, yang biasa dipertimbangkan hanya 10 unsur logam berat yaitu seperti As, Ba, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Se, Zn, Ag (Faris 2015).

Secara umum batubara dapat dikategorikan berdasarkan nilai kalori, kandungan air, dan kandungan karbon seperti pada Tabel 2.2.



Tabel 2.2 Kategori Batu Bara dan Nilai Kalori (Pelletier. 1984)

No	Kategori	H ₂ O (%)	C (%)	Nilai Kalori (kcal/kg)
1.	Lignite	43,4	37,8	4,113
2.	Sub-bituminous	23,4	42,4	5,403
3.	Low Volatile Sub-bituminous	11,6	47	7,159
4.	Medium Volatile Sub-bituminous	5	54,2	7,715
5.	High Volatile Sub-Bituminous	3,2	64,6	8,427
6.	Sub-anthracite	6	83,8	8,271
7.	Anthracite	3,2	95,6	8,027

Komponen pembentuk batu bara berdasarkan analisis proksimat terdiri dari: kelembaban (Moisture = M), abu (Ash = A), materi mudah menguap (Volatile Matter = VM), karbon tertambat (Fixed Carbon = FC). Komponen volatile adalah kandungan yang mudah menguap kecuali moisture. Penguapan terjadi pada temperatur tinggi tanpa adanya udara (pyrolysis), umumnya adalah senyawa organik, gas CO₂, dan gas SO₂ yang terdapat pada batubara. Penentuan volatile content dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 900 – 950 °C selama 7 menit. Karbon tertambat adalah jumlah karbon yang terdapat di batubara. Penentuan karbon tertambat dengan cara mengurangi jumlah material mudah menguap dan kandungan air serta abu pada kondisi udara kering (Faris 2015).

2.7 Batu Kapur

Salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui adalah batu kapur. Limestone merupakan istilah yang digunakan untuk batuan karbonat atau fosil yang terbentuk secara pokok terdiri dari kalsium karbonat atau kombinasi dari kalsium dan



magnesium karbonat dengan variasi sejumlah impuritas seperti silica dan alumina. Sedangkan lime tidak terlalu bervariasi dibandingkan limestone, merupakan hasil kalsinasi atau pembakaran batuan limestone. Proses kalsinasi memaksa keluar karbon dioksida dari batuan, membentuk kalsium oksida (Bonyton 1980).



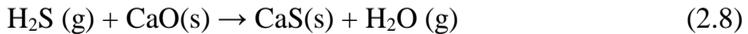
Gambar 2.7 Batu kapur (geology.com)

Batu kapur ditemukan secara alami dalam mineral dengan bentuk polimorf. Polimorf merupakan sebuah mineral dengan rumus kimia yang sama tetapi memiliki struktur Kristal yang berbeda. Kalsium karbonat (CaCO_3) memiliki tiga macam bentuk polimorf, yaitu kalsit, aragonit dan vaterit dengan struktur Kristal berturut-turut rombohedral, heksagonal, dan ortorombik. Ketiga struktur tersebut kalsit memiliki fasa paling stabil (Maciewsky 1993).

Beberapa contoh mineral batu kapur (Bonyton 1980): Kalsit (CaCO_3 , rombohedral), Aragonit (CaCO_3 , ortorombik), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, rombohedral), Magnesit (MgCO_3 , rombohedral). Dalam penelitian ini jenis batu kapur yang digunakan adalah dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), batu kapur dalam proses reduksi berperan dalam menyediakan gas CO_2 untuk reaksi pembentukan gas CO (reaksi Boudouard). Gas CO_2 diperoleh dengan reaksi dekomposisi dolomit pada persamaan reaksi (2.6).



Selain itu batu kapur berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Batu kapur dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara melalui reaksi (2.7) pada range temperatur 870 hingga 1037 °C (Spencer 1985).



2.8 Termodinamika Reduksi Laterit

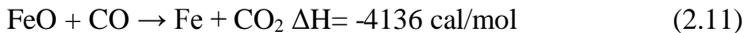
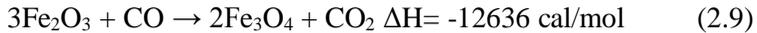
Diagram Ellingham merupakan diagram yang berisi energi bebas suatu reaksi yang diplot ke dalam suatu grafik dengan parameter energi bebas terhadap temperatur. Pada diagram diagram Ellingham, logam yang aktif secara kimia memiliki energi bebas yang paling tinggi (negatif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energi bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak pada diagram di bagian paling atas. Besar nilai energy bebas (ΔG°) untuk reaksi oksidasi merupakan ukuran afinitas kimia suatu logam terhadap oksigen. Semakin negatif nilai ΔG° suatu logam menunjukkan logam tersebut semakin stabil dalam bentuk oksida.

Dari diagram Ellingham pada Gambar 2.7 dapat diketahui temperatur minimal yang dibutuhkan agar terjadi reaksi tersebut terjadi. Hal tersebut dapat ditunjukkan oleh perpotongan antara kurva oksida dan garis pembentukan CO. Termodinamika hanya dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu reaksi dapat berjalan spontan atau tidak pada temperatur tertentu berdasarkan energi bebas yang dimiliki. Namun tidak dapat digunakan untuk menentukan laju reaksi. Perpotongan antara garis reaksi oksida dan reduksi secara termodinamika menunjukkan bahwa reaksi tersebut berjalan pada temperatur tertentu.

Klasifikasi reaksi reduksi suatu bijih mineral berdasarkan reducing agent dikemukakan oleh metallurgist Prancis bernama Jacques Assenfratz pada tahun 1812 (Andronov 2007). Dia



Dalam proses berdasar batu bara, gas reduktor utama adalah CO. Tiga reaksi reduksi dan entalpi reaksi pada 25 °C dari mineral besi dalam laterit dapat dituliskan sebagai berikut:



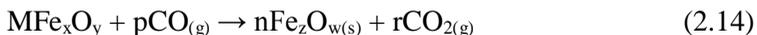
Ketika wustite bertemu dengan silikat akan membentuk fasa fayalite, seperti reaksi:



Entalpi reaksi pada 25 °C dapat diketahui dari entalpi pembentukan. Reaksi (2.9) dan (2.11), mempunyai entalpi negatif, yang berarti reaksi eksotermik dan reaksi (2.10) mempunyai entalpi positif, berarti reaksi endotermik dan membutuhkan energi. Karena wustit metastabil di bawah 570°C, Fe₃O₄ dapat direduksi dalam satu langkah menjadi besi metalik, tanpa melewati reaksi wustit.



Dalam sistem solid dan reduktor berfasa gas, seluruh reaksi selama reduksi bijih besi dapat terjadi dalam dua langkah (Chatterjee 1988): reduksi mineral besi (2.8) dan gasifikasi karbon (2.9).



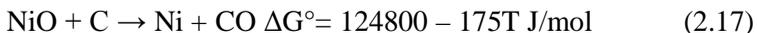
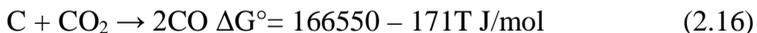


Dalam reaksi Boudouard, ketika karbon dioksida bereaksi dengan karbon membentuk karbon monoksida, 1 volume karbon dioksida menghasilkan 2 volume karbon monoksida pada tekanan konstan. Jika dalam volume konstan, reaksi Akan meningkatkan temperatur. Jika tekanan meningkatkan, maka kesetimbangan sistem karbon oksigen Akan bergeser untuk melepas tekanan. Oleh karena itu untuk menjaga rasio CO/CO₂ tetap sama pada tekanan tinggi, temperatur harus ditingkatkan.

Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi NiO oleh CO mulai terjadi pada temperatur 440 °C. Sedangkan reaksi reduksi Fe₂O₃ dengan gas CO mulai terjadi pada tempetarur 650 °C. Namun kedua reaksi reduksi ini belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO karena reaksi Boudouard baru terjadi pada temperature diatas 900 °C.

Menurut Li (2011), reaksi reduksi nikel dari laterit terjadi pada metode deoksidasi solid-state, reduktor gas dan padat keduanya digunakan. Proses reduksi nikel Ni dipengaruhi oleh temperatur, waktu reduksi, kadar CO, kadar karbon dan kadar CaO.

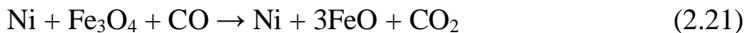
Reaksi utama dari nikel oksida menjadi nikel metalik adalah:



Dari diagram Ellingham (Gambar 2.7), temperature terendaj pada tekanan atmosfer terjadinya reduksi NiO oleh fixed carbon pada temperatur 440 °C. Kurva energu Gibbs standar dari pembentukan NiO adalah lebih dari CO₂, dan energi bebas Gibbs standar dari reaksi (2.17) bernilai negative pada tekanan atmosfer. Sehingga NiO dengan mudah tereduksi dengan CO (Li 2011).



Faktanya, ore nikel laterit merupakan ore yang kompleks, termasuk di dalamnya berupa senyawa NiO, Fe₂O₃, Fe₃O₄, dll, sehingga reaksi-reaksi lain pun secara simultan terjadi pada proses reduksi. Berdasarkan reduksi dari trevorite, NiO.Fe₂O₃, yang lebih mudah terjadi reduksi nikel oksida menjadi nikel metalik dimulai dengan:



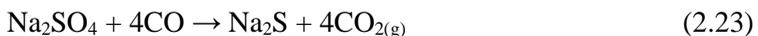
Reduksi selanjutnya dari wustite menjadi besi metalik terjadi:



Berdasarkan kondisi percobaan, proses reduksi dari (2.22) dan (2.22) akan sulit terjadi (Olli 1995).

Menurut Jiang (2013) mekanisme *selective reduction* dari nikel terjadi sesuai reaksi berikut:

- Terjadi dekomposisi termal dan reduksi Natrium sulfat



- Pengkitakan Fe membentuk FeS

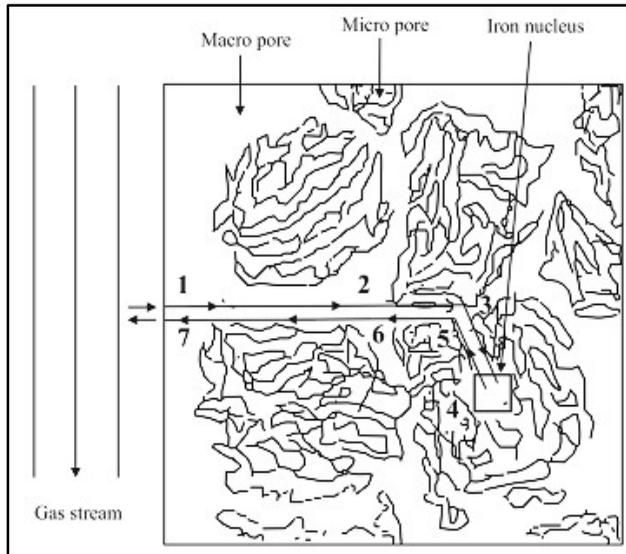




2.9 Kinetika Reduksi Ore

Kinetika reaksi reduksi bijih mineral adalah kecepatan mineral oksida untuk bertransformasi menjadi logam metalik dengan melepaskan oksigen. Kecepatan reaksi reduksi bijih mineral ditentukan oleh tinggi rendahnya kemampuan bijih mineral tersebut untuk direduksi yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu ukuran partikel, bentuk dan distribusi ukuran partikel, bobot jenis, porosity, struktur kristal, serta komposisi kimia (Ross 1980). Kinetika reduksi menggunakan reduktor batu bara dipengaruhi oleh kombinasi beberapa mekanisme, yaitu perpindahan panas, perpindahan massa oleh konveksi, difusi fase gas, serta reaksi kimia dengan gasifikasi karbon. El-Geassy (2007) menjelaskan bahwa ada banyak faktor yang mempengaruhi reduksi mineral oksida seperti komposisi bahan baku, basisitas, komposisi gas, dan temperatur reduksi. Pengaruh komposisi gas terjadi pada perubahan volume dari mineral oksida pada temperatur 800 – 1100 °C.

Bijih mineral dapat dianggap tersusun atas butiran-butiran. Celah diantara butiran-butiran dikenal sebagai pori makro dan pori yang lebih kecil dikenal sebagai pori mikro. Mekanisme reduksi ore mineral bertahap melalui langkah-langkah sebagai berikut dan diilustrasikan Gambar 2.8 (Bogdandy 1971).



Gambar 2.9 Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy dkk. 1971)

Dimana:

1. Difusi gas reduktor melewati lapisan batas butir.
2. Difusi gas reduktor melalui pori-pori makro pada bijih besi.
3. Difusi gas reduktor melalui pori-pori mikro menuju posisi reaksi.
4. Reaksi pada batas fasa.
5. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori mikro.
6. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui pori-pori makro.
7. Difusi gas hasil reaksi reduksi melalui lapisan batas butir.

Dari semua mekanisme reduksi, langkah-langkah yang mendasar dalam reduksi bijih mineral, diantaranya (Takuda dkk. 1973):

- 1) Perpindahan panas dalam reaksi antarmuka
- 2) Perpindahan massa antara gas dan permukaan padat oksida, yang meliputi difusi gas reduktor kedalam permukaan solid atau gas hasil reduksi keluar dari permukaan.



- 3) Perpindahan massa antara permukaan oksida dan reaksi antarmuka internal melalui lapisan hasil reduksi, yang dipengaruhi oleh:
 - Difusi solid melalui oksida rendah
 - Difusi solid melalui lapisan logam metal
 - Difusi antar partikel gas reduktor atau gas hasil reduksi.
- 4) Reaksi kimia penghilangan oksigen pada permukaan antarmuka.
- 5) Pengintian dan pertumbuhan fasa logam metalik.

2.10 Kajian Penelitian Briket Nikel Laterit Sebelumnya

Karakteristik ore nikel laterit Indonesia berupa one nikel oksida kadar Ni yang rendah belum maksimal untuk diolah dengan menggunakan teknologi *mini blast furnace*.

Dalam studi optimalisasi pembriketan ore nikel laterit, Eko Mulia Putra (2012) telah melaksanakan analisa pengaruh derajat reduksi Fe pada ore laterit *low grade*. Dimana ukuran partikel sangat mempengaruhi peningkatan kadar Fe, semakin kecil kuran partikel akan meningkatkan kadar Fe sebelum dan setelah direduksi. Kenaikan kadar Fe optimal sebelum reduksi sebesar 12,54 % dengan ukuran butir mesh 120. Sedangkan kenaikan kadar Fe optimal setelah reduksi diperoleh sebesar 46,7 % dengan ukuran partikel mesh 170.

Li Bo, Hua Wang dan Yonggang Wei (2011) mengkaji tentang proses reduksi ore nikel lateri kadar rendah menggunakan deoksidasi solid-state. Bahwa fasa α Ni diperoleh sebesar 90 % dari ore nikel laterit dengan gas reduktor berupa campuran CO dan CO₂. Sedangkan diperoleh fasa α Ni sebesar 80 % dengan reduktor solid berupa antrasit.

Man Jiang dkk. (2013) meneliti tentang mekanisme Natrium sulfat mendukung selective reduction dari ore nikel laerite dalam proses reduksi roasting. Menyebutkan bahwa ferronickel dengan kadar nikel tinggi dapat diproduksi dari ore laterit dengan proses selective reduction-wet magnetic separation, dengan penambahan Na₂SO₄. Ferronickel dengan konsentrasi



9,87 % Ni, dengan nikel recovery hingga 90,9 % dapat dicapai ketika ore laterit direduksi pada temperature 1200 °C selama 50 menit dengan penambahan 10 wt. % Na_2SO_4 dan 2 wt. % batu bara.

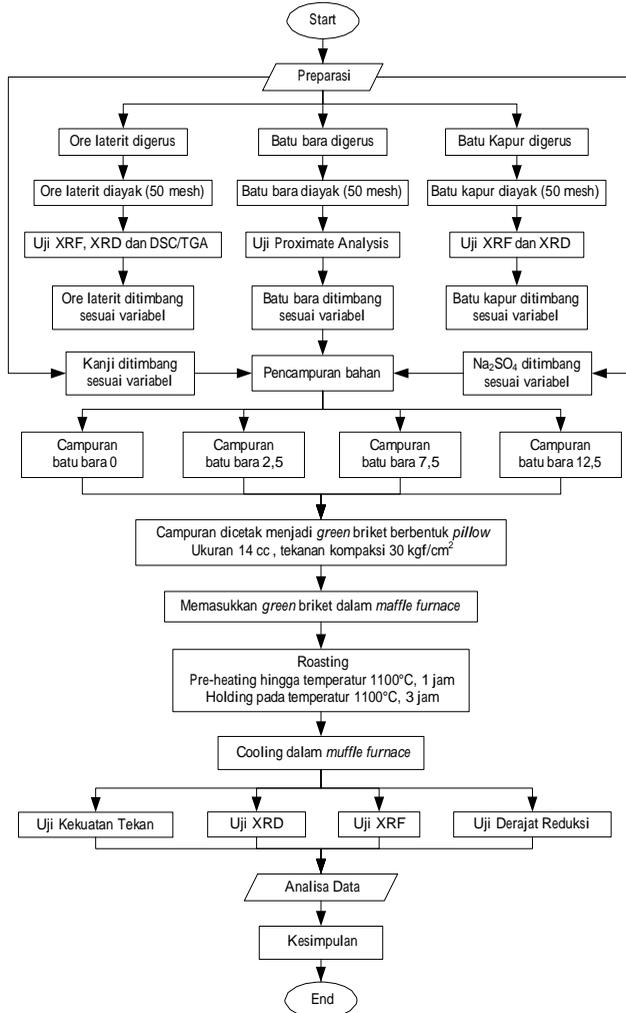
Guanghai Li dkk. (2013) meneliti tentang pengaruh basisitas terhadap perilaku sintering dari nikel laterit saprolit pada keadaan udara atmosfer. Menyatakan bahwa konstitusi mineral dari nikel laterit saprolit yang disinter dengan basisitas alami ($R = 0,5$) adalah berupa mineral refraktori yang memiliki temperatur lebur yang tinggi dengan nama spinel $((\text{Mg},\text{Ni})(\text{Fe},\text{Al},\text{Cr})_2\text{O}_4)$, forsterite $((\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4)$ dan enstatite $((\text{Mg},\text{Fe})\text{SiO}_3)$, yang sulit untuk membentuk fasa cair dalam proses penggabungan. Penambahan CaO adalah untuk memberikan formasi dari fasa cair dan memperbaiki penggabungan dari nikel laterit saprolit saat proses sintering. Dan basisitas optimal pada sintering adalah pada basisitas sebesar $R = 1,0$.



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

3.2.1 Ore Nikel

Ore nikel sebagai bahan dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah ore nikel laterit dari daerah Halmahera Timur. Ore nikel terlebih dahulu dihancurkan dan diayak halus hingga 30 mesh.



Gambar 3.2 Ore nikel laterit

3.2.2 Batu Bara

Batu bara merupakan penyedia gas reduktor, batu bara dalam penelitian ini dihancurkan hingga ukuran 30 mesh.



Gambar 3.3 Batu bara



3.2.3 Batu Kapur

Batu kapur (dolomite) yang digunakan berasal dari Gresik. Batu kapur terlebih dulu dihancurkan hingga ukuran 30 mesh.



Gambar 3.4 Batu kapur

3.2.4 Natrium Sulfat

Natrium sulfat (Na_2SO_4) digunakan sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit.



Gambar 3.5 Serbuk Natrum sulfat

3.2.5 Kanji

Kanji digunakan sebagai pengikat (binder) dalam membuat briket.



Gambar 3.6 Kanji

3.2.6 Air

Air digunakan dalam membuat briket nikel laterit. Air yang digunakan air ledeng.

3.2.7 LPG

LPG atau gas alam merupakan bahan bakar yang digunakan untuk pada *muffle furnace*.



Gambar 3.7 LPG

3.3 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada percobaan sebagai berikut:



3.4.1 Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket berbentuk bantak (*pillow*) dengan tekanan kompaksi 30 kgf/cm^2 . Briket yang dihasilkan dengan bahan baku ore : batu bara : kapur : Natrium Sulfat : kanji dengan perbandingan 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2 dibentuk dengan volume 14 cc dan dimensi:

panjang	: 4,3 cm
lebar	: 3,4 cm
tebal	: 1,65 cm.



Gambar 3.8 Alat kompaksi

3.4.2 Muffle Furnace

Proses roasting dilakukan dengan menggunakan *muffle furnace*. Dimensi *muffle furnace* yang digunakan adalah sebagai berikut:

diameter dalam	: 48 cm
diameter luar	: 85 cm
tinggi	: 64 cm
tebal batu tahan api	: 7 cm.



Gambar 3.9 Muffle furnace

3.4.3 Timbangan Digital

Timbangan digunakan untuk menimbang ore laterit, Natrium Sulfat, kanji, batubara, dan batu kapur sebagai bahan penelitian. Timbangan yang digunakan tipe MS204 merk *Mettler Toledo* dengan kapasitas 300 gram.

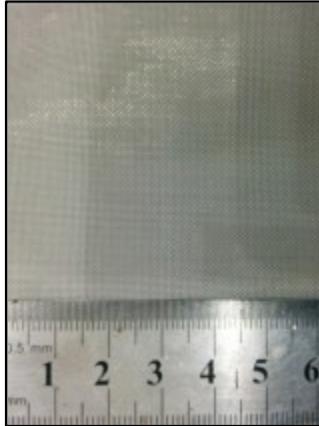


Gambar 3.10 Timbangan analitik



3.4.4 Ayakan

Ayakan digunakan untuk mendapatkan ukuran butir partikel ore laterit, batubara, dan batu kapur yang diinginkan. Ayakan yang digunakan berukuran 30 mesh.



Gambar 3.11 Ayakan 30 mesh

3.4.5 Termometer *Infrared*

Termometer *infrared* digunakan untuk mengetahui temperatur pada saat proses reduksi. *Thermometer* yang digunakan bermerk *Sanfix*.



Gambar 3.12 Termometer *infrared*



3.4.6 *Jaw Crusher* dan *Dust Mill*

Jaw crusher dan *dust mill* merupakan alat digunakan untuk menghancurkan batu bara dan batu kapur hingga berukuran 30 mesh.



Gambar 3.13 (a) *Jaw Crusher* (b) *Dust mill*

3.4.7 *Blower*

Blower digunakan untuk meniupkan udara luar ke dalam *muffle furnace*.



Gambar 3.14 *Blower*



3.4.8 Oven

Oven digunakan untuk mengeringkan briket hasil kompaksi untuk menghilangkan *moisture content*.



Gambar 3.15 Oven

3.4 Pelaksanaan Penelitian

3.4.1 Persiapan Material

Langkah-langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu:

- Ore laterit, batu bara dan batu kapur digerus dan dilakukan pengayakan dengan ukuran ayakan 50 mesh.
- Ore laterit diuji DSC/TGA, XRF dan XRD.
- Batu kapur diuji XRF dan XRD.
- Batu bara diuji *proximate analysis*.
- Pembuatan briket nikel laterit.

Ore nikel laterit. hasil ayakan ditimbang dengan berat 100 gram. Batu bara hasil ayakan ditimbang 7,5 gram. Natrium Sulfat ditimbang 16,5 gram. Kapur ditimbang 13 gram. Kanji ditimbang 4,2 gram dan ditambahkan air hingga 100 mL dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental. Ore, batu bara, Natrium Sulfat dan kapur dicampur kemudian ditambahkan kanji dan diaduk hingga merata. Perbandingan ore : batu bara : kapur : Natrium Sulfat : kanji dengan perbandingan 100 : 7,5 : 16,5 : 13 : 4,2. Campuran dibentuk



menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi seperti Gambar 3.8 dengan tekanan 30 kgf/cm². Dalam satu kali proses roasting diperlukan 4 buah briket yang harus dibuat.

- f) Briket hasil kompaksi kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperatur 95 °C selama 5 jam untuk menghilangkan *moisture content*.

3.4.2 Proses Roasting

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses roasting adalah:

- Briket hasil pengeringan dalam oven kemudian dimasukkan ke dalam *muffle furnace* untuk dilakukan proses roasting. Seperti Gambar 3.16.
- Pemanasan *muffle furnace* dilakukan hingga temperatur 1100 °C selama 1 jam dan dilakukan holding pada temperatur 1100 °C selama 3 jam.
- Sampel didinginkan didalam *muffle furnace*.
- Setelah proses roasting selesai, setiap sampel dikeluarkan dari *muffle furnace*. Diperoleh briket hasil sesuai Gambar 3.17.

Briket hasil roasting selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD, XRF, kekuatan tekan dan derajat reduksi.



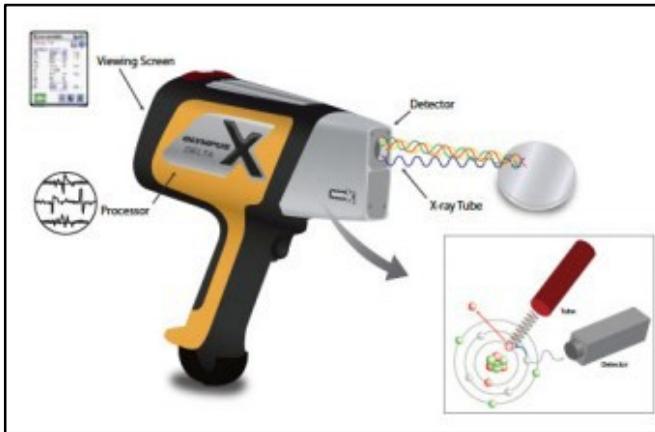
Gambar 3.16 Green briket dalam *muffle furnace*



Gambar 3.17 Briket hasil roasting

3.4.3 X-Ray Fluorescence (XRF)

Untuk mengetahui komposisi dan kandungan dari batu kapur, ore laterit dan briket hasil roasting maka dilakukan pengujian pada sampel menggunakan Olympus Delta Premium Handed XRF Analyzers. Pengujian XRF dapat mengidentifikasi kandungan unsur dari sampel. XRF adalah alat yang digunakan untuk menganalisa kandungan unsur dalam bahan yang menggunakan metode spektrometri. Alat ini mempunyai keunggulan analisa yaitu lebih sederhana dan lebih cepat dibanding analisa dengan alat lain. Alat XRF merupakan alat uji tak merusak yang mampu menentukan kandungan unsur dalam suatu bahan padat maupun serbuk secara kualitatif dan kuantitatif dalam waktu yang relatif singkat.



Gambar 3.18 *Olympus Delta Premium Handheld XRF Analyzers*

3.4.4 X-Ray Diffraction (XRD)

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif dilakukan pengujian XRD dari sampel ore laterit, batu kapur dan briket hasil roasting dengan menggunakan alat XRD *PAN Analytical*. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV sampai 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang $10^{-1} \sim 10$ nm, berfrekuensi 1017 ~ 1020 Hz dan memiliki energi 103 ~ 106 eV. Panjang gelombang sinar X memiliki orde yang sama dengan jarak antar atom sehingga dapat digunakan sebagai sumber difraksi kristal. XRD digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.



Gambar 3.19 XRD PAN Analytical

3.4.5 Proximate Analysis

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar moisture, volatile matter, ash, dan fixed carbon dilakukan pengujian proximate analysis. Standar pengujian dilakukan dengan ASTM D 3172-02 (Fixed carbon), ASTM D 3173-02 (Moisture), ASTM D3174-02 (Ash), dan ASTM D3175-02 (Volatile matter).

3.4.5.1 Moisture

Analisa kadar moisture dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Bahan

1. Udara kering
2. Pengerih, seperti kalsium sulfat anhidrat (0.004 mg/L), silika gel, magnesium perklorat (0.0005 mg/L), dan asam sulfat (0.003 mg/L).

Alat

1. Oven pengerih

Prosedur



1. Mengeringkan sampel dengan pengering selama 15 hingga 30 menit dan ditimbang. Mengambil sampel seberat 1 g. Dan diletakkan dalam kapsul, tutup kapsul dan timbang.
2. Meletakkan kapsul dalam oven yang telah dipanaskan (pada 104 – 110 °C). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven, dan dinginkan dalam pengering. Timbang segera kapsul ketika mencapai temperature ruangan.
3. Menghitung hasil analisa.

Perhitungan

$$\text{Moisture, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.1)$$

dimana,

A = berat sampel yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram).

3.4.5.2 Volatile Matter

Analisa kadar volatile matter dalam batubara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat

1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara kerkapasitas 10 – 20 mL, diameter 25 – 35 mm dan tinggi 30 – 35 mm.
2. Vertical electric tube furnace.

Prosedur

1. Menimbang sampel seberat 1 g dalam krusibel platina, tutup krusibel dan masukkan dalam furnace, temperatur dijaga 950 \pm 20 °C.
2. Setelah volatile matter lepas, yang ditunjukkan dengan hilangnya api luminous, periksa tutup krusibel masih tertutup.
3. Setelah pemanasan tepat 7 menit, pindahkan krusibel keluar furnace dan dinginkan.
4. Timbang ketika dingin.
5. Presentase weigh loss dikurangi presentase moisture sama dengan volatile matter.

Perhitungan



$$\text{Weight loss, \%} = [(A - B) / A] \times 100 \quad (3.2)$$

dimana,

A = berat sample yang digunakan (gram)

B = berat sampel setelah pemanasan (gram)

Kemudian persen volatile matter dihitung

$$\text{Volatile matter, \%} = C - D \quad (3.3)$$

dimana,

C = weight loss (%)

D = moisture (%)

3.4.5.3 Ash

Analisa kadar ash dalam batubara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250 μm .

Alat

1. Electric muffle furnace
2. Kapsul porselen atau krusibel platina
3. Tutup krusibel

Prosedur

1. Memasukkan 1 g sampel dalam kapsul dan ditimbang dan tutup. Letakkan kapsul dalam furnace dingin. Panaskan dengan hingga 450 – 500 °C selama 1 jam
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750 °C selama 1 jam kemudian. Lanjutkan pemanasan hingga 2 jam kemudian. Pindahkan kapsul keluar dari furnace, dinginkan dan timbang.

Perhitungan

$$\text{Ash, \%} = [(A - B)/C] \times 100 \quad (3.4)$$

dimana,

A = berat kapsul, tutup, dan ash (gram)

B = berat kapsul kosong dan tutup (gram)

C = berat sampel yang digunakan (gram)



3.4.5.4 Fixed Carbon

Analisa kadar fixed carbon dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3172-02 dengan perhitungan dari data kadar moisture, ash dan volatile matter.

$$\text{Fixed carbon, \%} = 100 \% - [\text{moisture (\%)} + \text{ash (\%)} + \text{volatile matter (\%)}] \quad (3.5)$$

3.4.6 Derajat Reduksi

Derajat reduksi merupakan jumlah oksigen yang hilang dari bijih awalnya, yang direpresentasikan sebagai persentase dari hilangnya oksigen dibagi dengan oksigen awal (Sarangi 2011).

$$\%R = \frac{O_2 \text{ Removed}}{O_{2\text{initial}}} \times 100\% \quad (3.8)$$

Dalam penelitian ini, perhitungan prosentase oksigen diperoleh dari penyusutan massa sebelum dan sesudah roasting.

3.4.7 Kekuatan Tekan

Kekuatan tekan merupakan kekuatan maksimal dari briket setelah dilakukan roasting untuk menerima beban tekan maksimal tanpa pecah ataupun berubah dari bentuknya. Pengujian kekuatan tekan briket dengan acuan standar IS 8604.

3.5 Rancangan Penelitian

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Perbandingan Komposisi Bahan*	Hasil Pengujian			
	Kekuatan Tekan (kgf)	XRD	XRF	Derajat Reduksi (%)
100 : 0 : 16,5 : 13 : 4,2.				
100 : 2,5 : 16,5 : 13 : 4,2.				
100 : 7,5 : 16,5 : 13 : 4,2.				
100 : 12,5 : 16,5 : 13 : 4,2				

*Komposisi bahan = ore : batu bara : Na₂SO₄ : kapur : kanji



3.6 Jadwal Penelitian

Jadwal penelitian ini disusun dengan tujuan agar penelitian dapat dilakukan tepat waktu dan terencana. Selain itu jadwal kegiatan berfungsi agar peneliti dapat melakukan evaluasi mengenai *time line* penelitian yang dilakukan.

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Oktober			November				Desember				Januari	
	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
Preparasi alat dan sampel	■	■	■										
Pengujian bahan				■	■								
Pembriketan dan roasting						■	■	■	■				
Pengujian hasil reduksi								■	■	■	■		
Analisa dan pembahasan										■	■	■	■



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Bahan

4.1.1 Ore Nikel Laterit

Penelitian ini menggunakan bijih nikel laterit yang berasal dari Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara. Informasi awal mengenai ore yang digunakan didapatkan melalui pengamatan visual dan beberapa pengujian. Mineral nikel yang digunakan adalah mineral yang berupa batuan dan tanah. Karakteristik visual ore ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.1 Batuan dan tanah ore nikel laterit

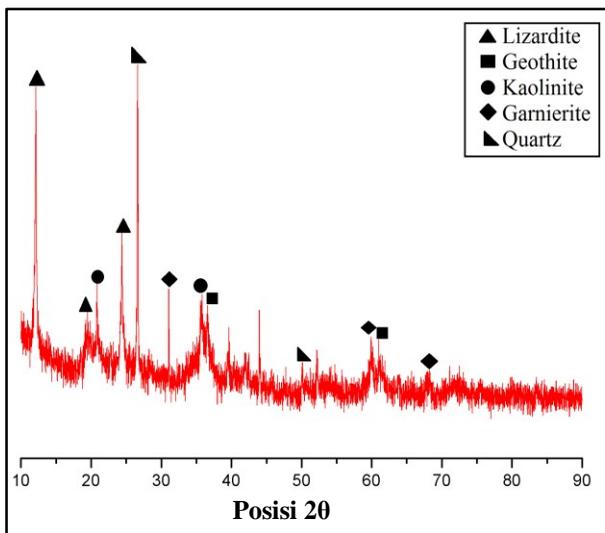
Dari Gambar 4.1 diatas tampak bahwa mineral nikel laterit didominasi oleh warna coklat yang merupakan warna dari lapisan tanah asal mineral nikel. Mineral nikel yang digunakan di atas terdiri dari batuan dan tanah, hal ini dikarenakan mineral nikel berasal dari golongan laterit dan berasal dari lapisan tanah saprolit yang memang banyak didominasi oleh tanah dan batu. Lapisan saprolit ini berada di bawah lapisan limonit pada profil tanah laterit. Tanah ini memiliki sedikit unsur besi (Fe) dan memiliki unsur magnesium oksida (MgO) yang cukup tinggi (Crundwell dkk. 2011).

Pengamatan visual dari mineral nikel saja tidak cukup memberikan informasi yang memadai untuk melakukan



penelitian ini. Salah satu informasi penting yang perlu didapatkandari mineral nikel ini adalah kandungan unsur-unsur dan senyawa-senyawa kimia yang membentuk mineral nikel yang digunakan. Oleh karena itu diperlukan pengujian untuk mengetahui unsur-unsur dan senyawa-senyawa kimia yang terkandung di dalamnya. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui dua hal tersebut adalah pengujian XRF untuk mengetahui unsur kimia dan XRD untuk mengetahui senyawa kimia. Sebelum dilakukan pengujian, perlu dilakukan sampling mineral ore yang tersedia. Goethite Teknik sampling dan preparasinya mengacu pada standar ASTM E 877-03.

Setelah didapatkan sampling ore yang homogen, dilakukan pengujian XRD untuk mengetahui senyawa yang terdapat dalam mineral nikel laterit yang digunakan. Analisis XRD menggunakan mesin XRD *PANalytical X'Pert*. Sinar X yang digunakan mempunyai range sudut panjang yaitu $10 - 90^\circ$ dan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54060 \AA , dengan hasil pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.2 Hasil XRD ore nikel laterit



Dari hasil ini diketahui terdapat berbagai jenis senyawa tembaga seperti yang dijelaskan sebelumnya dengan pengotor utama berupa Silika.

Selain mengetahui jenis senyawa, perlu diketahui pula kadar unsur yang terkandung di dalam ore dengan pengujian XRF. Analisis XRF menggunakan alat *Olympus Delta Premium Handheld XRF Analyzers*. Hasil pengujian XRF menunjukkan komposisi / kadar unsur pada ore nikel laterit sebagai berikut:

Tabel 4.1 Komposisi Unsur Ore Nikel Laterit

No.	Unsur	Konsentrasi (%)
1	Fe	10,8
2	Mg	7,285
3	Si	6,64
4	Ni	1,729
5	Ca	0,444
6	Al	0,981
7	S	0,04
8	Cr	0,315
9	Mn	0,231
10	Ti	0,053
11	Co	0,045
12	Sb	0,036
13	Sn	0,025
14	Cd	0,0213
15	Zn	0,0164
16	V	0,01
17	Zr	0,001

Hasil XRF seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dapat dikonversi dalam bentuk senyawa oksidanya dengan



menggunakan perbandingan nilai Mr-nya mengacu pada senyawa-senyawa hasil pengujian XRD. Perhitungan ini diperlukan untuk perhitungan neraca massa pembriketan roasting.

Tabel 4.2 Komposisi Senyawa Biji Nikel Laterit

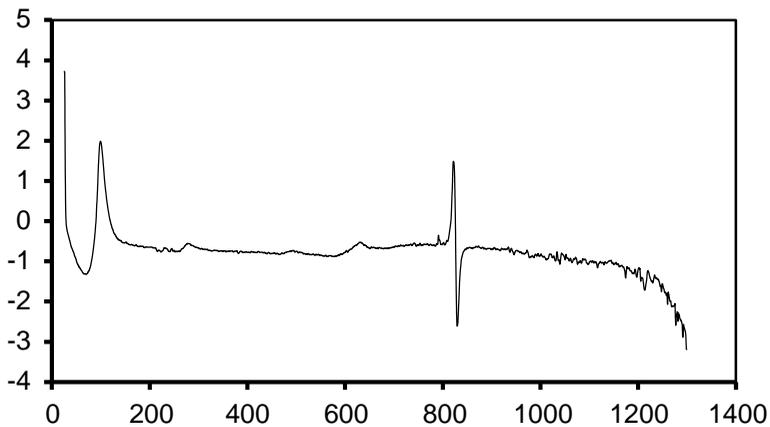
No.	Senyawa	Rumus Kimia	Konsentrasi (%)
1	Besi Oksida	Fe_2O_3	30,882
2	Silikon Oksida	SiO_2	14,205
3	Nikel Oksida	NiO	2,200
4	Magnesium Oksida	MgO	12,079
5	Kalsium Oksida	CaO	0,621
6	Alumunium Oksida	Al_2O_3	3,707
7	Mangan Oksida	MnO	0,298
8	Kromium Oksida	Cr_2O_3	0,92

Dari hasil uji XRF yang dilakukan dapat diketahui konsentrasi dari unsur-unsur dan senyawa yang ada di dalam ore nikel yang digunakan. Unsur-unsur dan senyawa yang ada belum dapat memberitahu senyawa kimia kompleks yang biasa terdapat di dalam ore. Hasil uji XRF berupa data kadar / konsentrasi unsur-unsur dan penggolongan jenis ore yang digunakan. Jenis ore yang digunakan adalah ore laterite. Laterite merupakan jenis tanah yang memiliki beberapa lapisan, ore yang digunakan berasal dari lapisan saprolite jenis *low grade* karena berdasarkan kadar nikel yang terkandung di dalamnya jumlahnya kecil.

Senyawa-senyawa dalam mineral laterit merupakan senyawa kompleks berupa Lizardite ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), Kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), Garnierite ($\text{Mg}[\text{Ni}, \text{Co}]_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$). Senyawa tersebut baru akan terdekomposisi menjadi senyawa-senyawa oksida pada temperatur tertentu, yang erat kaitannya dengan kebutuhan entalphy dekomposisi laterit tersebut.



Untuk mengetahui besarnya enthalpy untuk dekomposisi ore dilakukan uji DSC-TGA yang menghasilkan grafik seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.3 Grafik heatflow dan 1st derivative heatflow ore nikel laterit

Hasil uji DSC/TGA menunjukkan energi yang dibutuhkan untuk bijih nikel mengalami dekomposisi. Karena dekomposisi bijih nikel laterit terjadi pada temperatur $\pm 840\text{ }^{\circ}\text{C}$, maka diketahui enthalpinya adalah sebesar 13316.37 J/gram .

Grafik di atas menunjukkan adanya reaksi - reaksi dekomposisi senyawa-senyawa yang terdapat dalam ore nikel yang digunakan. Peak-peaknya menunjukkan reaksi yang terjadi baik secara eksotermik untuk peak berupa puncak dan endotermik untuk peak berupa lembah. Pada temperatur $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ terdapat peak endotermik yang cukup curam, hal ini disebabkan karena hilangnya kadar air bijih nikel yang diikuti dengan pengurangan berat sampel saat proses pemanasan. Kemudian pada temperatur $290\text{ }^{\circ}\text{C}$ terdapat peak eksotermik kecil. Hal menunjukkan adanya reaksi dehidrosilasi goethite menjadi hematite (Keskinilic dkk. 2012). Kemudian pada temperatur $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ juga terdapat peak. Dalam peak ini terjadi beberapa reaksi



yang terjadi. Salah satu reaksi yang terjadi adalah dekomposisi chrysotile dan mulainya pembentukan forstenite (Helena, 1979). Selain itu juga terdapat dekomposisi kaolinite pada temperatur ini. Kemudian garnierite akan terdekomposisi pula pada temperatur ini (Davenport dkk. 2011). Garnierite adalah senyawa utama yang mengandung unsur nikel di dalamnya berdasarkan hasil uji XRD yang telah dilakukan. Kemudian pada temperatur 800 °C terdapat peak eksotermik yang cukup tinggi, peak pada temperatur ini menunjukkan adanya perubahan fasa Al_2O_3 (amorph) menjadi $Al_2O_3(\gamma)$ yang mana Al_2O_3 ini merupakan hasil dekomposisi dari kaolinite (Herbert dkk. 1935)

Setelah senyawa - senyawa tersebut mengalami dekomposisi, reaksi senyawa berikutnya adalah reaksi reduksi oleh gas CO seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2.8), (2.9), dan (2.15) yaitu reduksi Fe_2O_3 dan reduksi NiO.

4.1.2 Batu Bara

Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari daerah Benuang. Sebelum dicampurkan dalam pembriketan, batu bara terlebih dahulu dilakukan analisa visual, proksimat dan pengujian *Gross Calorific Value (GCV)*. Analisa proksimat ini dilakukan untuk mengetahui kadar zat yang mudah menguap, kandungan moisture, kadar abu serta kandungan karbon fiks nya. Di sisi lain, uji GCV dilakukan untuk mengetahui nilai kalori batu bara.

Pengujian proksimat dan GCV ini dilakukan berdasarkan standar ASTM. Karakteristik visual batu bara ditunjukkan oleh Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Batu bara yang digunakan dalam penelitian

Tabel 4.3 menunjukkan hasil analisa proksimat batu bara. Hasil-hasil dari analisa proksimat di bawah digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan kapur, batu bara, Natrium Sulfat dan kanji untuk proses pembriketan.

Tabel 4.3 Hasil Analisa Proksimat Batu Bara dan Uji Gross Calorific Value

No.	Parameter	Hasil	Unit	Metode Pengujian
1	Kelembaban Total (<i>Total Moisture</i>)	1,80	%, ar	ASTM D3302-02
2	Kadar Abu (<i>ash</i>)	4,75	%, ar	ASTM D3174-02
3	Kadar Zat yang mudah menguap (<i>Volatile Matter</i>)	52,86	%, adb	ASTM D3175-02
4	Kadar karbon tetap (<i>Fixed Carbon</i>)	42,35	%, adb	ASTM D3172-02
5	Nilai kalori	7204	Cal/gr, adb	ASTM D5865-03

Batu bara ini memiliki nilai kalori yang cukup tinggi, yaitu 7204 kal/gr dan kadar karbon 42,35 %. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan Sub-bituminus. Selain



kalori, batu bara memiliki kadar zat yang mudah menguap yang tinggi, yaitu mencapai 52,86 %. Artinya, dibutuhkan panas yang cukup banyak untuk menguapkan zat yang mudah menguap ini. Oleh karena itu, perlu ditinjau juga mengenai energi atau panas yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar zat mudah menguap dari batu bara.

Batu bara mengandung suatu kandungan yang disebut sebagai mineral matter. Mineral matter pada batu bara umumnya ialah SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , SO_3 . SiO_2 merupakan mineral matter yang paling dominan dalam batu bara (Pummil, 2012). Hasil Uji XRF pada batu bara dapat ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Komposisi *Mineral Matter* Batu Bara

No	Elemen	Rumus Kimia	Konsentrasi (%)
1	Aluminium Oksida	Al_2O_3	4,33
2	Silikon Oksida	SiO_2	20,96
3	Sulfur	S	2,10
4	Potassium oksida	K_2O	0,31
5	Kalsium Oksida	CaO	1,22
6	Titanium Oksida	TiO_2	2,37
7	Vanadium	V	0,03
8	Besi Oksida	Fe_2O_3	1,02
9	Tembaga	Cu	0,04
10	Seng	Zn	0,01
12	Zirconium	Zr	0,04
13	Timah	Sn	0,04

4.1.3 Batu Kapur

Kapur yang digunakan berasal dari daerah Gresik, Jawa Timur. Sebelum dilakukan proses pembriketan, kapur terlebih dahulu dikarakterisasi secara visual dan kimia. Karakteristik kimia kapur yang diteliti ialah komposisi kimianya. Gambar 4.5. menunjukkan foto dari kapur yang digunakan dalam penelitian.



Gambar 4.5 Kapur yang digunakan dalam penelitian

Komposisi kimia kapur diperoleh melalui pengujian XRF dengan menggunakan mesin XRF merek Bruker. Komposisi kimia kapur ditunjukkan oleh Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Komposisi Kapur

No	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)	Stddev (%)
1	Magnesium Oksida	MgO	18,47	2,77
2	Fosfor Oksida	P ₂ O ₅	0,49	0,08
3	Kalsium Oksida	CaO	42i,46	0,14
4	Titanium Oksida	TiO ₂	0,02	0,02
5	Mangan Oksida	MnO	0,06	0,04
6	Besi Oksida	Fe ₂ O ₃	0,46	0,05
7	Tembaga	Cu	0,02	0,01
8	Seng	Zn	0,01	0,00
9	Timah	Sn	0,06	0,04

Dari pengujian XRF di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan MgO yang cukup tinggi, yaitu 18,47 %. Dari kandungan MgO tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah dolostone atau dolomit bukan limestone. Dari segi proses roasting, baik MgO maupun CaO akan membantu



proses dengan cara menyediakan gas CO_2 untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi.

4.2 Neraca Massa Pembriketan Nikel Laterit

Proses pembriketan yang akan dilakukan proses roasting memerlukan perhitungan terhadap massa bahan yang akan dikomposisikan. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses pembriketan dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah ore nikel laterit, batu bara, dan bahan tambahan berupa kapur, Natrium Sulfat, kanji. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku thermal senyawa penyusunnya pada temperature $1100\text{ }^\circ\text{C}$.

Komposisi batu bara diperhitungkan berdasarkan kebutuhan gas CO , sesuai reaksi Boudouard (2.15), sebagai agen reduktor untuk mereduksi Fe_2O_3 dan NiO . Batu bara juga diperlukan untuk kebutuhan gas CO sebagai agen reduksi dekomposisi Na_2SO_4 . Kebutuhan Natrium Sulfat (Na_2SO_4) berdasarkan target Fe yang akan diikat oleh membentuk FeS sesuai reaksi (2.24) dan (2.25), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat. Kebutuhan kapur ditentukan berdasarkan target basicity briket. Dengan penambahan komposisi kapur akan menaikkan basicity campuran briket. Sedangkan kebutuhan kanji sebagai pengikat briket.

Desain target roasting briket ditentukan pada Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4.6 Target Roasting Briket Laterit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
Reaksi Reduksi	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	85	Persen (%)
	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	60	Persen (%)
Reaksi	$\text{FeO} \rightarrow \text{FeS}$	30	Persen (%)
Basicity	-	$0,39384 \rightarrow 0,6$	-
Pengikat	Kanji	3,3	Persen (%)



Berdasarkan target roasting briket tersebut, perhitungan dilakukan dengan neraca massa dengan ditentukan sebagai basis adalah ore laterit. Dan diperoleh perbandingan komposisi ore : batu bara: kapur : Natrium Sulfat : kanji sebesar 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2.

Dengan variasi penambahan dan pengurangan komposisi batu bara pada briket sebesar 66,67 % serta tanpa komposisi batu bara sebagai control variabel. Prosentase berat masing-masing komposisi dapat dihitung sesuai Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Presentase Massa Komposisi Bahan Briket

Komposisi	Ore		Na ₂ SO ₄		Kapur		Batu Bara		Kanji		Total massa, gram
	massa, gram	%	massa, gram	%	massa, gram	%	massa, gram	%	massa, gram	%	
Batu Bara 0	100	75,36	15,50	11,68	13,00	9,8	0,00	0,00	4,20	3,17	132,70
Batu Bara 2,5	100	73,96	15,50	11,46	13,00	9,62	2,50	1,85	4,20	3,11	135,20
Batu Bara 7,5	100	71,33	15,50	11,06	13,00	9,27	7,50	5,35	4,20	3,00	140,20
Batu Bara 12,5	100	68,87	15,50	10,67	13,00	8,95	12,50	8,61	4,20	2,89	145,20



Jika melalui perhitungan prosentase massa ore tiap variasi briket dengan kadar Fe 10,8 % dan Ni 1,73 % dalam ore, dapat diperoleh kadar Fe dan Ni pada masing-masing briket variasi baru, ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kadar Fe dan Ni pada Briket Variasi Batu Bara

Komposisi	Massa Campuran Briket	Fe		Ni	
		massa (gram)	%	massa (gram)	%
Batu Bara 0	133,70	10,8	8,078	1,73	1,294
Batu Bara 2,5	136,20	10,8	7,930	1,73	1,270
Batu Bara 7,5	141,20	10,8	7,649	1,73	1,225
Batu Bara 12,5	146,20	10,8	7,387	1,73	1,183

4.3 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Komposisi Unsur pada Briket Hasil Roasting

Batu bara berperan dalam menyediakan gas reduktor. Konsentrasi gas reduktor sangat berpengaruh terhadap hasil reduksi. Dalam penelitian ini untuk mencari komposisi batu bara yang optimal dilakukan dengan penambahan dan pengurangan berat batubara sebanyak 66,67 % dari berat perhitungan neraca massa. Variasi komposisi batu bara akan mempengaruhi peningkatan kadar unsur pada briket hasil roasting.

Data komposisi unsur dalam briket hasil roasting dengan pengujian XRF diperoleh sesuai Tabel 4.9.

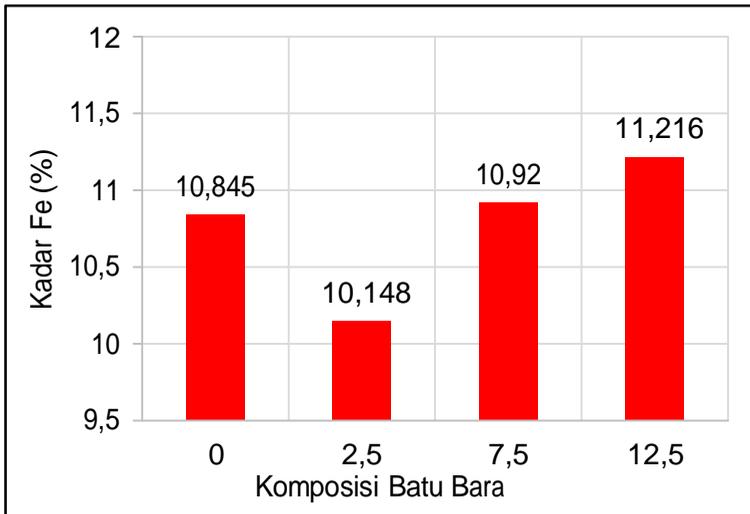


Tabel 4.9 Hasil Pengujian XRF pada Briket Hasil Roasting

Variasi Batu Bara	Unsur (%)						
	Si	Fe	Mg	Ca	Ni	Al	Cr
0	15,462	10,845	6,971	3,735	1,826	1,168	0,384
2,5	11,855	10,148	5,077	3,098	1,715	0,808	0,376
7,5	15,755	10,92	6,552	3,584	1,777	1,296	0,358
12,5	16,036	11,216	5,771	4,154	1,863	1,315	0,418

4.3.1 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Unsur Fe pada Briket Hasil Roasting

Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Fe dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Fe dalam briket hasil roasting

Dari Gambar 4.6 kadar Fe briket hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 0 : 15,5 : 13 : 4,2 atau tanpa batu bara, diperoleh kadar Fe



sebesar 10,845 % dengan kenaikan sebesar 0,045 % dari kadar awal dalam ore. Meskipun tanpa adanya batu bara penyedia gas CO sesuai Reaksi Boudourd (2.15) sebagai agen reduktor untuk mereduksi Besi Hematit Fe_2O_3 , kadar Fe ini meningkat karena kandungan *moisture* dan *volatile matter* dalam ore nikel laterit. Volatile matter yang hilang pada ore umumnya disebut dengan *loss on ignition*, merupakan zat yang hilang berupa gugus OH pada reaksi dehidroksilasi Goethite menjadi Hematite, yang terjadi pada temperatur 290 °C sesuai grafik hasil pengujian DSC/TGA pada Gambar 4.2.

Briket hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2 atau sesuai neraca massa, diperoleh kadar Fe sebesar 10,92 % dengan kenaikan sebesar 0,12 % dari kadar awal dalam ore. Pada hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2 atau penambahan batu bara 66,67 %, diperoleh kadar Fe sebesar 11,216 % dengan kenaikan sebesar 0,416 % dari kadar awal dalam ore.

Pada briket hasil roasting dengan pengurangan batu bara 66,67 % dari neraca massa atau dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 2,5 : 15,5 : 13 : 4,2, diperoleh kadar Fe sebesar 10,148 % dengan penurunan sebesar 0,652 % dari kadar awal dalam ore. Menunjukkan bahwa dengan penambahan batu bara sebesar perbandingan 2,5 pada briket tanpa batu bara akan menurunkan kadar Fe pada briket hasil roasting. Hal ini erat kaitannya pada penurunan prosentase berat ore seiring penambahan batu bara yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Prosentase berat ore yang menurun sebanding dengan penurunan kadar Fe dalam campuran briket, yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Jika ditampilkan dalam Tabel 4.8 dapat diperoleh data penurunan kadar Fe saat pencampuran komposisi briket dan kenaikan kadar Fe setelah proses roasting.



Tabel 4.10 Penurunan dan Kenaikan Kadar Fe pada Briket

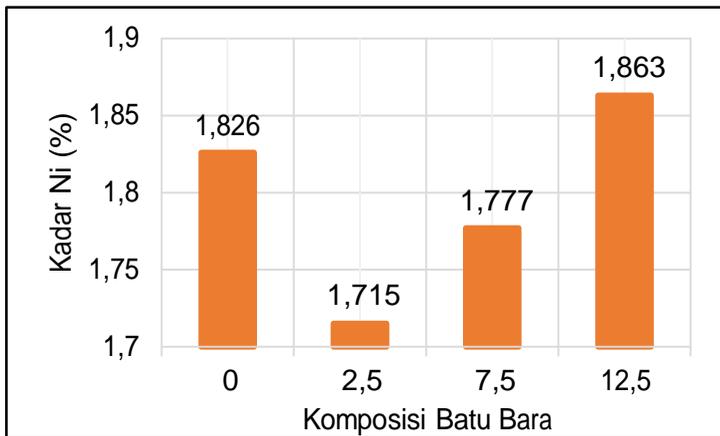
Komposisi	Kadar Fe Ore (%)	Δ Kadar Fe Campuran (%)	Δ Kadar Fe Roasting (%)	Δ Kadar Fe Roasting terhadap Ore (%)
Batu Bara 0	10,8	-2,722	2,767	0,045
Batu Bara 2,5		-2,870	2,218	-0,652
Batu Bara 7,5		-3,151	3,271	0,12
Batu Bara 12,5		-3,413	3,829	0,416

Dalam penambahan batu bara pada campuran briket akan menurunkan kadar Fe. Namun seiring penambahan batu bara semakin menyediakan gas CO sesuai Reaksi Boudouard (2.15) sebagai agen reduktor untuk mereduksi Besi Hematite Fe_2O_3 menjadi Besi Magnetite Fe_3O_4 ataupun Besi Wustite FeO , sesuai reaksi (2.3), (2.4) dan (2.5). Sehingga kadar Fe dalam briket setelah proses roasting akan semakin meningkat.

Reduksi Fe akan meningkatkan kadar Fe yang menurun karena penurunan prosentase massa ore. Kenaikan kadar Fe saat penambahan batu bara 2,5 tidak mampu mengkompensasi penurunan kadar Fe. Kenaikan kadar Fe saat penambahan batu bara 7,5 dan 12,5 semakin banyak mengkompensasi penurunan kadar Fe yang semakin menurun seiring penurunan prosentase massa ore akibat penambahan batu bara. Dan titik balik kenaikan kadar Fe mulai terjadi pada penambahan batu bara 7,5.

4.3.2 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Roasting

Variasi komposisi batu bara akan mempengaruhi peningkatan kadar Fe dan Ni pada briket hasil roasting. Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Ni dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Ni dalam briket hasil roasting

Dari Gambar 4.7 kadar Ni briket hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 0 : 15,5 : 13 : 4,2 atau tanpa batu bara, diperoleh kadar Ni sebesar 1,826 % dengan kenaikan sebesar 0,096 % dari kadar awal dalam ore. Seperti halnya pada kadar Fe, kadar Ni meningkat tanpa pengaruh reduksi dari NiO. Peningkatan kadar Ni karena hilangnya kandungan *moisture* dan *loss on ignition* berupa gugus hidroksil OH dari Garnierite.

Briket hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2 atau sesuai neraca massa, diperoleh kadar Ni sebesar 1,715 % dengan kenaikan sebesar 0,047 % dari kadar awal dalam ore. Kadar Ni lebih rendah dari pada kadar Ni tanpa batu bara.

Pada hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2 atau penambahan batu bara 66,67 %, diperoleh kadar Ni sebesar 1,863 % dengan kenaikan sebesar 0,133% dari kadar awal dalam ore.

Pada briket hasil roasting dengan pengurangan batu bara 66,67 % dari neraca massa atau dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 2,5 : 15,5 : 13 : 4,2,



diperoleh kadar Ni sebesar 1,715 % dengan penurunan sebesar 0,015 % dari kadar awal dalam ore. Seperti halnya pada kadar Fe, hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan batu bara sebesar perbandingan 2,5 pada briket tanpa batu bara akan menurunkan kadar Ni pada briket hasil roasting. Penurunan prosentase berat ore seiring penambahan batu bara yang menurunkan prosentase massa ore yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. juga menurunkan kadar Ni dalam campuran briket, yang ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Jika ditampilkan dalam Tabel 4.8 dapat diperoleh data penurunan kadar Fe saat pencampuran komposisi briket dan kenaikan kadar Fe setelah proses roasting.

Tabel 4.11 Penurunan dan Kenaikan Kadar Ni pada Briket

Komposisi	Kadar Ni Ore (%)	Δ Kadar Ni Campuran (%)	Δ Kadar Ni Roasting (%)	Δ Kadar Ni Roasting terhadap Ore (%)
Batu Bara 0	1,73	-0,436	0,532	0,096
Batu Bara 2,5		-0,460	0,445	-0,015
Batu Bara 7,5		-0,505	0,552	0,047
Batu Bara 12,5		-0,547	0,680	0,133

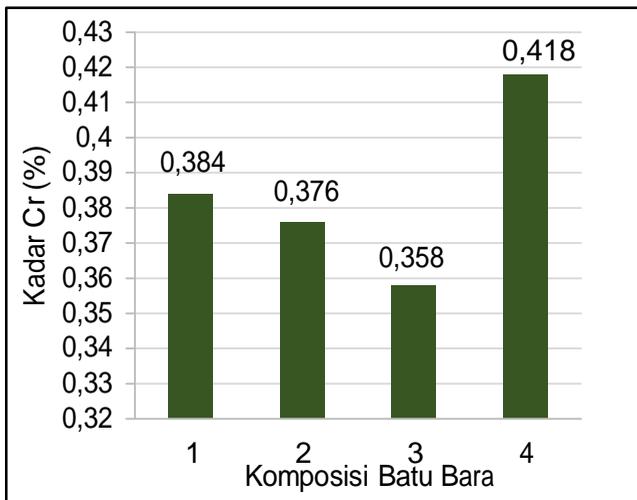
Dalam penambahan batu bara pada campuran briket juga menurunkan kadar Ni. Namun seiring penambahan batu bara semakin menyediakan gas CO sebagai agen reduktor untuk mereduksi NiO menjadi Ni, sesuai reaksi (2.15). Sehingga kadar Ni dalam briket setelah proses roasting akan semakin meningkat.



Reduksi Ni akan meningkatkan kadar Ni yang menurun karena penurunan prosentase massa ore. Kenaikan kadar Ni saat penambahan batu bara 2,5 tidak mampu mengkompensasi penurunan kadar Ni. Kenaikan kadar Ni saat penambahan batu bara 7,5 dan 12,5 semakin banyak mengkompensasi penurunan kadar Ni yang semakin menurun seiring penurunan prosentase massa ore akibat penambahan batu bara. Namun kadar Ni pada penambahan batu bara 7,5 lebih rendah dari pada briket tanpa batu bara. Maka titik balik kenaikan kadar Ni mulai terjadi pada penambahan batu bara 12,5.

4.3.3 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Unsur Cr pada Briket Hasil Roasting

Variasi komposisi batu bara juga mempengaruhi peningkatan kadar logam lain. Kadar logam yang juga mengalami perubahan diantaranya Cr pada briket hasil roasting. Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Cr dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Pengaruh komposisi batu bara terhadap kadar Cr dalam briket hasil roasting



Dari Gambar 4.8 kadar Cr briket hasil roasting dengan perbandingan ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 0 : 15,5 : 13 : 4,2 atau tanpa batu bara, diperoleh kadar Cr sebesar 0,384 %. Seperti halnya pada kadar Fe dan Ni meningkat tanpa pengaruh reduksi dari senyawa oksidanya. Peningkatan kadar Cr karena hilangnya kandungan *moisture* dan *loss on ignition* dari senyawa dalam ore.

Briket hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2 atau sesuai neraca massa, diperoleh kadar Al sebesar 1,296 %. Pada hasil roasting dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2 atau penambahan batu bara 66,67 %, diperoleh kadar Cr sebesar 0,418 %.

Pada briket hasil roasting dengan pengurangan batu bara 66,67 % dari neraca massa atau dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 2,5 : 15,5 : 13 : 4,2, diperoleh kadar Al sebesar 0,808 % dan Cr sebesar 0,376 %. Terjadi penurunan kadar Cr pada penambahan batu bara 2,5. Dan penurunan kadar Cr akan terus meningkat hingga penambahan batu bara pada 7,5 (perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2). Seperti halnya pada kadar Fe dan Ni, hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan batu bara sebesar perbandingan 2,5 pada briket tanpa batu bara akan menurunkan kadar Ni pada briket hasil roasting. Penurunan prosentase berat ore seiring penambahan batu bara yang menurunkan prosentase massa ore yang ditunjukkan pada Tabel 4.7.

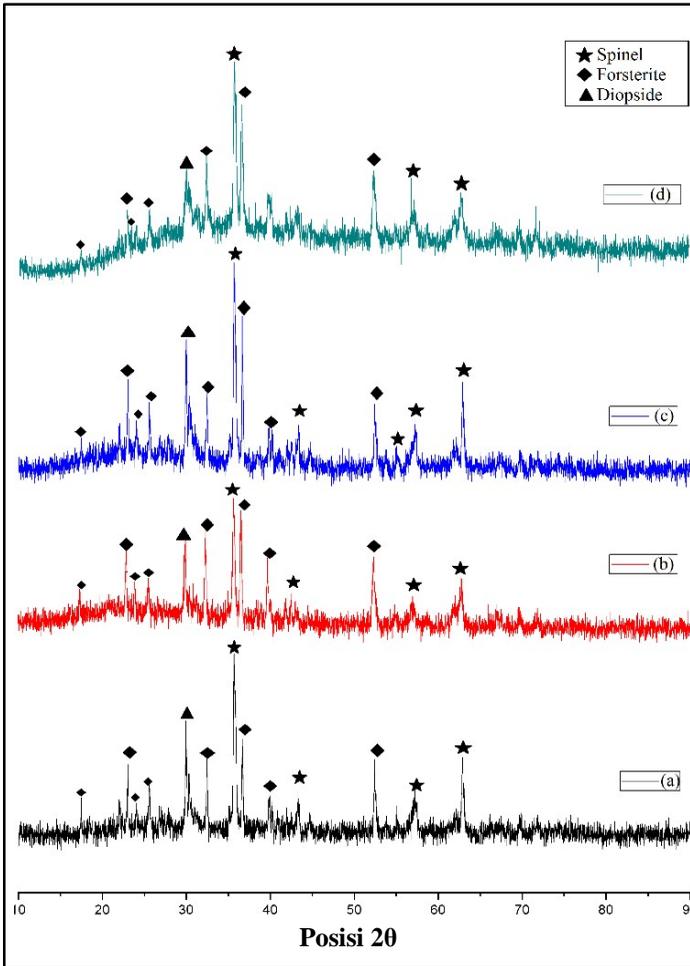
Reduksi Cr yang terjadi bukan atas pertimbangan, karena kebutuhan batu bara sebagai sumber karbon gas reduksi CO tidak diperhitungkan pada reaksi reduksi Cr. Namun yang terjadi bahwa senyawa oksida krom juga ikut bereaksi dengan gas CO untuk proses reduksi yang ditunjukkan dengan kenaikan kadar meskipun prosentase massa ore menurun seiring penambahan batu bara.



Kenaikan kadar Cr karena reduksi saat penambahan batu bara 2,5 tidak mampu mengkompensasi penurunan kadar Cr. Kenaikan Cr saat penambahan batu bara 7,5 masih belum mampu mengkompensasi penurunan kadar Cr yang semakin menurun seiring penurunan prosentase massa ore akibat penambahan batu bara. Dan titik balik kenaikan Cr pada penambahan 12,5.

4.4 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Fasa dalam Briket Hasil Roasting

Identifikasi fasa dari hasil roasting briket (*fired briket*) nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical X'Pert*. Pengujian dilakukan dengan posisi 2θ 10 - 90 ° dan menggunakan panjang gelombang $\text{CuK}\alpha$ sebesar 1.54056 Å. Sampel hasil roasting yang diuji XRD yaitu briket yang telah diroasting dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji yaitu 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2 (penambahan batu bara 66,67 %); 100 : 7,5 : 15,5 : 13 : 4,2 (awal, batu bara sesuai neraca massa); 100:2,5 : 15,5 : 13 : 4,2 (pengurangan batu bara 66,67 %) dan 100 : 0 : 15,5 : 13 : 4,2 (tanpa batu bara) sebagai variasi control tanpa batu bara. Selanjutnya hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *software Match 2*. Gambar 4.8 merupakan identifikasi dari fasa *fired briket* yang telah diroasting.



Gambar 4.9 Hasil pengujian XRD *fired* briquet hasil roasting dengan variasi komposisi batu bara yaitu: (a) tanpa batu bara; (b) dikurangi 66,67 %; (c) awal; dan (d) ditambah 66,67 %

Pada sampel *fired* briquet hasil roasting dengan berbagai variasi batu bara seperti Gambar 4.9., menunjukkan fasa yang teridentifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.11.



Tabel 4.12 Identifikasi Fasa pada *Fired Briket*

Fasa	Rumus Kimia	PDF Number
Spinel	$(\text{Mg,Ni})(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{O}_4$	96-900-3786
Forsterite	$(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$	96-900-0321
Diopside	$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	96-900-0798

Pada setiap hasil pengujian XRD yang ditunjukkan Gambar 4.9, puncak tertinggi pada setiap variasi komposisi bahan merupakan puncak dari fasa Spinel kemudian fasa Forsterite.

Munculnya fasa $(\text{Mg,Ni})(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{O}_4$ sebagai fasa paling dominan didukung dengan hasil pengujian XRF pada Tabel 4.9 yang menunjukkan kadar Fe merupakan unsur dengan kadar yang cukup tinggi diatas Mg.

Fasa Forsterit $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ merupakan fasa yang muncul pada setiap hasil pengujian XRD. Berdasarkan penelitian Lu dkk (2013) dan Li dkk (2013), Mg_2SiO_4 dapat terbentuk dari reaksi dehidroksilasi lizardite $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ yang ditunjukkan dengan reaksi (4.1).



Ditinjau dari hasil XRF briket hasil roasting pada Tabel 4.9, kadar unsur dari yang paling tinggi secara berurutan merupakan unsur Si, Fe, Mg, Ca, Ni, Al dan Cr. Kadar Si yang tinggi terepresentasi pada fasa Forsterite dan Diopside. Kadar Fe terepresentasi pada fasa Spinel. Kadar Mg terepresentasi pada fasa Forsterite. Dan kadar Ca terepresentasi pada fasa Diopside.

Menurut Li (2013), keberadaan Spinel dalam bentuk larutan padat melalui substitusi ion antara Ni dengan Mg, begitu pula pada Al, Cr dengan Fe. Maka Spinel yang terbentuk berupa fasa $(\text{Mg,Ni})(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{O}_4$ dari fasa awal MgFe_2O_4 . Sehingga kadar Ni, Al dan Cr terepresentasi pada fasa Spinel. Sedangkan menurut penelitian yang dilakukan Li (2012) dan Lu (2013) Fasa



Forsterite yang terbentuk berupa larutan padat melalui substitusi antara Fe dengan Mg dalam fasa Mg_2SiO_4 , dan terbentuk fasa Forsterite yang kaya dengan Fe yaitu $(Mg,Fe)_2SiO_4$.

Tabel 4.13 menunjukkan perubahan Lebar penuh pada setengah maksimum dari puncak (FWHM) dari puncak-puncak fasa Spinel.

Tabel 4.13 Nilai FWHM Puncak Fasa Spinel pada Briket Roasting

Briket 0		Briket 2,5		Briket 7,5		Briket 12,5	
2θ	FWHM	2θ	FWHM	2θ	FWHM	2θ	FWHM
30,320	0,1004	35,628	0,2342	30,289	0,1338	-	-
35,652	0,1004	42,472	0,1004	35,626	0,2676	35,676	0,1673
43,353	0,2676	54,747	0,4015	43,343	0,1673	43,147	0,5353
57,284	0,2676	56,781	0,2676	57,259	0,2342	56,823	0,0612
62,916	0,1004	62,727	0,4015	62,848	0,0836	62,812	0,2676

Tabel 4.14 menunjukkan perubahan Lebar Penuh pada Setengah Maksimum dari puncak (FWHM) dari puncak-puncak fasa Forsterite.



Tabel 4.14 Nilai FWHM Puncak Fasa Forsterite pada Briket Roasting

Briket 0		Briket 2,5		Briket 7,5		Briket 12,5	
2 θ	FWHM	2 θ	FWHM	2 θ	FWHM	2 θ	FWHM
17,490	0,1338	17,359	0,1338	17,484	0,2007	17,361	0,2007
23,035	0,1004	22,919	0,0836	23,003	0,0669	22,895	0,1338
24,067	0,1338	23,926	0,1338	24,029	0,1004	23,961	0,2007
25,631	0,1004	25,530	0,2007	25,573	0,1004	25,533	0,2007
32,466	0,0669	32,321	0,2007	32,427	0,1673	32,350	0,1004
36,683	0,0669	36,577	0,1004	36,600	0,0669	36,506	0,1171
39,856	0,2007	39,658	0,0669	39,795	0,1673	39,729	0,2007
52,408	0,0669	52,265	0,1338	52,355	0,1004	52,222	0,1338

Menurut Puguh dan Hariyati (2013) perubahan nilai FWHM menyatakan adanya pelebaran puncak kurva yang menunjukkan adanya tegangan dalam (*microstrain*). Adanya tegangan dalam mengindikasikan terbentuknya *solid solution* menunjukkan tingkat tegangan yang terjadi pada kristal suatu fasa. Pada fasa Spinel terjadi perubahan nilai FWHM yang menunjukkan adanya pelarutan padat Ni pada Mg. Dan perubahan nilai FWHM pada fasa Forsterite menunjukkan adanya pelarutan padat Fe pada Mg. Ni yang terlarut dalam fasa Spinel tidak dapat diketahui berasal dari senyawa NiO maupun Ni. Hal ini berlaku



pula pada Fe, Fe yang larut pada fasa Forsterite tidak dapat diketahui berasal dari senyawa Fe_2O_3 , Fe_3O_4 maupun FeO. Karena dari hasil identifikasi fasa menunjukkan Ni ataupun Fe sebagai senyawa hasil reduksi tidak teridentifikasi.

Ditinjau dari Gambar 4.8, terjadi penurunan intensitas fasa Spinel $(\text{Mg,Ni})(\text{Fe,Al,Cr})_2\text{O}_4$, Forsterite $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ dan Diopside $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ pada variasi batu bara sebesar 2,5,. Hal ini sesuai dengan grafik pada Gambar 4.6 dan 4.7 tentang kadar Fe dan Ni pada briket hasil roasting. Penurunan intensitas fasa Spinel menunjukkan penurunan kadar Fe dan Ni, sedangkan penurunan intensitas fasa Forsterite menunjukkan penurunan kadar Fe pada briket hasil roasting. Pada variasi batu bara 7,5 ketiga fasa mulai meningkat intensitasnya, dan pada variasi penambahan batu bara hingga 12,5 terjadi penurunan intensitas Diopside dan Spinel pada puncak tertinggi namun terdapat puncak Spinel lain yang intensitasnya naik. Sedangkan pada fasa Forsterite intensitasnya mengalami kenaikan.

Namun menurut Faris (2015) unsur Ni yang terlarut ke dalam matriks fasa Spinel akan mengakibatkan semakin sulitnya untuk mereduksi Ni, begitu pula semakin sulit untuk mereduksi Fe yang larut ke dalam matriks fasa Forsterite. Didukung dengan penelitian Asshid (2015) bahwa ketika energi untuk Reaksi Boudouard (2.15) masih tersisa sedangkan batu bara berkurang, sisa energi yang ada akan digunakan untuk reaksi pembentukan Forsterite Mg_2SiO_4 . Kebutuhan batu bara yang berkurang akan meningkatkan pembentukan Forsterite, unsur Fe semakin larut dan semakin sulit untuk direduksi.

4.5 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Derajat Reduksi dalam Briket Hasil Roasting

Derajat reduksi merupakan banyaknya oksigen yang diambil atau hilang dari metal oksida oleh reduktor pada saat proses reduksi. Besi oksida yang ada pada briket hasil reduksi tidak dapat teridentifikasi pada pengujian XRD, sehingga perhitungan banyaknya oksigen yang hilang diperoleh dari



penyusutan massa briket sebelum dan sesudah proses roasting dengan penyusutan massa briket tanpa batu bara sebagai acuan., Penyusutan massa yang terjadi pada briket tanpa batu bara adalah hilangnya massa kanji karena terbakar, gas CO_2 dekomposisi kapur, *volatile matter* dan *lost on ignition* dari ore. Dengan mengasumsikan bahwa kandungan yang ada pada briket tanpa batu bara setelah diroasting adalah ore tanpa *moisture*, Natrium sulfat penuh karena belum terdekomposisi dan tereduksi oleh batu bara, batu kapur hasil dekomposisi (dikurangi zat *lost on ignition*-gas CO_2).

Sedangkan penyusutan massa yang terjadi pada briket dengan batu bara ditambahkan dengan kandungan *fixed carbon*, *moisture* dan *volatile matter* dari batu bara. Dengan asumsi maka kandungan yang ada pada briket dengan batu bara setelah diroasting adalah ditambahkannya kandungan *ash* dari batu bara ke dalam kandungan briket tanpa batu bara. Dan kandungan Natrium sulfat dalam briket masih diasumsikan sebagai kandungan penuh karena tidak teridentifikasi fasa terkait pada analisa XRD.

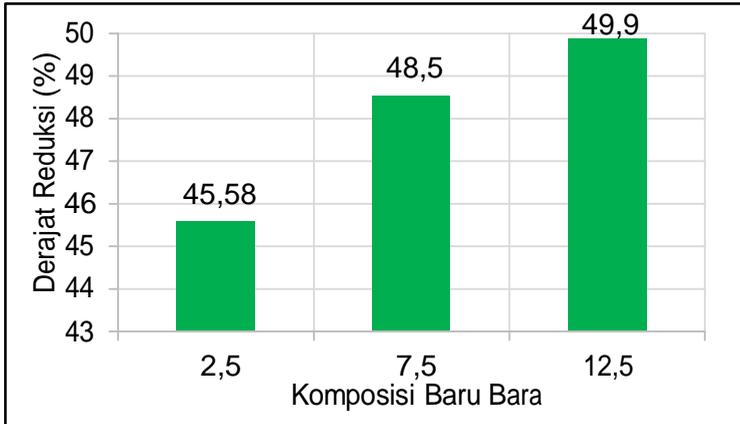
Besarnya prosentase *volatile matter* dan *lost on ignition* dari ore pada briket tanpa batu bara, dibandingkan dengan prosentase massa ore di setiap briket dengan variasi batu bara berbeda, dijadikan acuan untuk menghitung penyusutan massa ore pada briket. Dengan perhitungan penyusutan massa dari ore diperoleh besar derajat reduksi pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Penyusutan Massa dan Derajat Reduksi Briket

Komposisi Briket	Massa Ore Awal (gram)	Massa Ore Akhir (gram)	Derajat Reduksi (%)
Batu Bara 2,5	65,34508	35,56246	45,58
Batu Bara 7,5	59,46884	30,61024	48,5
Batu Bara 12,5	58,13953	29,14042	49,9



Dari data pada Tabel 4.15 diplot ke dalam grafik akan diperoleh grafik pengaruh komposisi batu bara terhadap derajat reduksi briket hasil roasting pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Pengaruh komposisi batu bara terhadap derajat reduksi briket hasil roasting

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa dengan penambahan komposisi batu bara sebesar 2,5 atau pengurangan 66,67 % dari perhitungan mengalami reduksi paling rendah jika dibanding dengan variasi komposisi batu bara yang lain dengan penambahan batu meningkatkan reduksi ore laterit pada proses roasting. Batu bara berperan dalam menyediakan karbon C yang akan bereaksi dengan gas CO_2 dari hasil dekomposisi kapur pada temperature 750°C dan gas hasil pembakaran elpiji yang digunakan dalam *muffle furnace*. Reaksi Boudouard (2.15) antara C dan CO_2 akan membentuk gas CO sebagai agen reduktor untuk mereduksi besi oksida Fe_2O_3 dan nikel oksida NiO. Semakin banyak C yang tersedia akan meningkatkan gas CO dan reduksi yang terjadi akan semakin tinggi.

Hasil derajat reduksi yang diperoleh masih belum maksimal meskipun penambahan batu bara telah sesuai dengan kebutuhan batu bara dari neraca massa, serta dengan penambahan



sebesar 66,67 %. Hal ini dikarenakan batu kapu yang digunakan merupakan jenis dolomit yang memiliki kandungan MgO sebesar 18,47 %. Menurut Kheidr (1996), keberadaan MgO pada proses reduksi akan menaikkan temperatur liquidus dari fasa cair. Hanya akan terbentuk sedikit fasa cair dipermukaan butir partikel. Sedangkan kinetika reduksi akan semakin baik dengan semakin banyaknya fasa cair yang terbentuk dipermukaan. Gas reduktor akan semakin mudah untuk penetrasi mereduksi partikel di bagian dalam di bawah permukaan.

4.6 Pengaruh Komposisi Batu Bara Terhadap Kekuatan Tekan dalam Briket Hasil Roasting

Data hasil pengujian kekuatan tekan dari briket hasil roasting dengan berbagai variasi komposisi batu bara pada Tabel 4.15.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Kekuatan Tekan Briket Roasting

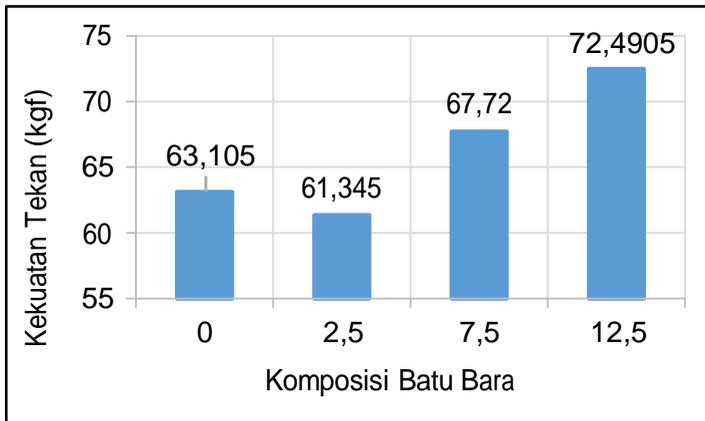
Komposisi Briket	Kekuatan tekan (kgf)	Stddev
Batu Bara 0	63,105	18,23628
Batu Bara 2,5	61,345	14,63004
Batu Bara 7,5	67,72	23,64565
Batu Bara 12,5	72,4905	21,4119

Nilai Stddev merupakan nilai standar deviasi yang diperoleh dari data hasil uji tekan dengan 2 sampel briket setiap variasi. Stddev bernilai cukup tinggi karena terjadi keadaan yang tidak ideal saat pengujian yang dilakukan. Keadaan ideal yang terjadi adalah terjadi penurunan nilai beban terukur ketika briket mulai mengalami degradasi (pecah), dan dapat diperoleh nilai beban maksimal yang merupakan nilai kekuatan tekan dari briket. Sedangkan yang terjadi adalah pembebanan terus meningkat meskipun briket telah pecah. Sehingga pengujian dilakukan dengan menghentikan pembebanan saat briket mulai



pecah dengan pengamatan visual. Dengan laju pembebanan sebesar 5 mm/menit, secara pasti kapan briket mulai pecah akan sulit diketahui. Sehingga diperoleh ragam hasil pengujian yang cukup tinggi. Hal inilah yang menjadikan nilai Stdev cukup tinggi.

Dari data pada Tabel 4.16 diplot ke dalam grafik akan diperoleh grafik pengaruh komposisi batu bara terhadap kekuatan tekan briket pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Pengaruh komposisi batu bara terhadap kekuatan tekan briket hasil roasting

Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa dengan penambahan komposisi batu bara sebesar 2,5 atau pengurangan 66,67 % dari perhitungan mengalami kekuatan tekan sebesar 61,345 kgf, paling rendah jika dibanding dengan variasi komposisi batu bara yang lain. Pada briket tanpa batu bara memiliki kekuatan tekan sebesar 63,105 kgf, kemudian pada penambahan komposisi batu bara sebesar 7,5 (sesuai perhitungan) dan 12,5 (penambahan 66,67 %) semakin meningkatkan kekuatan tekan senilai 67,72 kgf dan 72,4905 kgf.

Kekuatan tekan suatu briket erat kaitannya dengan fasa yang terbentuk setelah proses roasting. Briket yang didominasi



dengan fasa yang memiliki kekuatan rendah akan diperoleh kekuatan tekan briket yang rendah. Sebaliknya briket yang didominasi dengan fasa yang memiliki kekuatan tinggi akan diperoleh briket dengan kekuatan tekan yang tinggi. Menurut Wahid (1987), pada umumnya kekuatan suatu material sebanding dengan kekerasannya, kekuatan akan naik dengan naiknya kekerasan (bersamaan dengan itu keuletan akan menurun). Sehingga kekuatan tekan suatu fasa berhubungan dengan kekerasan fasa tersebut.

Tabel 4.17 Data Kekerasan Fasa Mineral (mindat.org)

Fasa	Kekerasan (Mohs)
Spinel	7,5 – 8
Forsterite	6 – 6,5
Diopside	5,5 – 6,5

Seperti yang telah dibahas pada hasil analisa XRD, penurunan intensitas ketiga fasa hasil roasting terjadi pada komposisi batu bara 2,5. Hal ini menunjukkan dominasi kedua fasa Spinel dan Forsterite yang memiliki kekerasan tinggi menurun. Menyebabkan penurunan kekerasan briket. Kenaikan signifikan dari intensitas fasa Spinel dan Forsterite pada briket komposisi batu bara 7,5 semakin meningkatkan kekerasan briket.

Pada briket komposisi batu bara 12,5, terjadi sedikit penurunan intensitas pada puncak utama fasa Spinel, namun terdapat kenaikan intensitas pada puncak yang lain. Intensitas fasa Forsterite mengalami kenaikan, sedangkan intensitas fasa Diopside mengalami penurunan yang signifikan menyebabkan semakin meningkatnya kekuatan tekan dari briket hasil roasting.

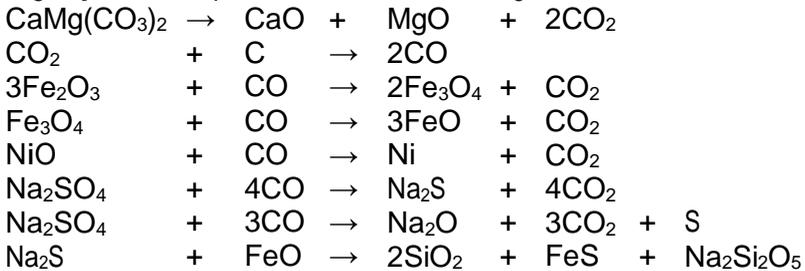


(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

Lampiran A (Perhitungan Teoritis Berat)

Perhitungan stoikiometri perbandingan ore : batu bara: kapur : Natrium Sulfat : kanji

Pada setiap reaksi kimia diperlukan kesetimbangan rumus molekul untuk senyawa kimia dengan persamaan stoikiometri. Pada proses reduksi laterit terdapat beberapa reaksi kimia yang terlibat, seperti reduksi, dekomposisi, reaksi Boudouard. Persamaan reaksi yang terjadi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Data yang dibutuhkan dalam perhitungan komposisi material

1. Laterit

Dari data pengujian XRF, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam laterit.

Hasil XRF Laterit

Parameter	Fe	Ni	Si	Mg	Ca	Al	Cr
%	10,8	1,729	6,64	7,285	0,444	0,981	0,315

Dari data pengujian XRD, mineral – mineral kompleks yang terkandung dalam laterit diolah menjadi senyawa oksida, antara lain:

- Hematite (Fe_2O_3)
- Nikel oksida (NiO)

2. Batu bara

Dari data pengujian *proximate analysis (fixed carbon)* diperoleh konsentrasi 42,35 %.

3. Batu Kapur

Dari data pengujian XRF, diperoleh persentase berat elemen-elemen yang terkandung di dalam batu kapur yang diperoleh dari Gresik, Jawa Timur.

Hasil XRF Batu Kapur

Parameter	MgO	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃
%	18.082	0.546	0.004	0.001

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite (CaMg(CO₃)₂)

Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah Fe₂O₃ dan NiO diketahui dengan cara sebagai berikut:

- Berat Fe₂O₃ dalam laterit

$$\begin{aligned} \%Wt \text{ Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{Mr \text{ Fe}_2\text{O}_3}{2 Ar \text{ Fe}} \times \%Wt \text{ Fe} \\ &= \frac{159,69}{55,847} \times 10,8\% = 15,441 \% \end{aligned}$$

- Berat NiO dalam laterit

$$\begin{aligned} \%Wt \text{ NiO} &= \frac{Mr \text{ NiO}}{Ar \text{ Ni}} \times \%Wt \text{ Ni} \\ &= \frac{74,7094}{58,71} \times 1,729 \\ &= 2,2 \% \end{aligned}$$

Dari perhitungan diperoleh presentase Fe₂O₃ dan NiO dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 100 gram ore maka terdapat

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 15,441 \text{ gram}$$

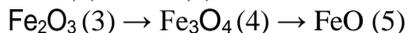
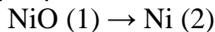
$$\text{NiO} = 2,2 \text{ gram}$$

Dari massa kedua senyawa maka diperoleh jumlah mol yang terkandung dalam laterit

$$\begin{aligned} \text{Fe}_2\text{O}_3 &= \frac{\text{massa Fe}_2\text{O}_3}{Mr \text{ Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{15,441}{159,69} \\ &= 0,09669 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{NiO} &= \frac{\text{massa NiO}}{Mr \text{ NiO}} \\ &= \frac{2,2}{74,7094} \\ &= 0,02945 \text{ mol} \end{aligned}$$

Dalam penelitian ini reduksi nikel oksida dan besi oksida pada laterit bertahap seperti berikut.

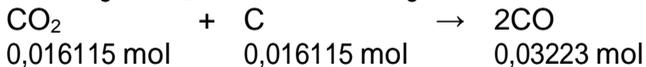
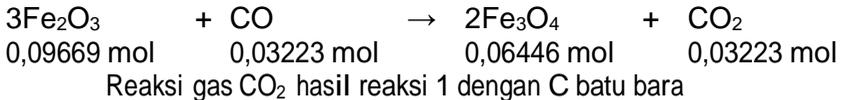


Dengan target reduksi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 = 100\%$
 reduksi $\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} = 85\%$
 reduksi $\text{NiO} \rightarrow \text{Ni} = 60\%$

Natrium sulfat ditambahkan untuk selective reduction mengikat FeO mejadi FeS dengan target Fe awal dari ore sebesar 30 % membentuk FeS

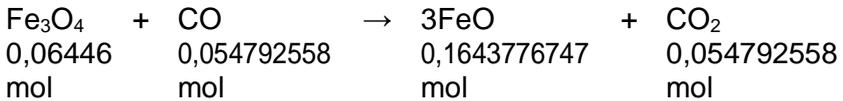
Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk membentuk bereaksi dengan CO_2 membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C batu bara.

a. Reaksi 1



b. Reaksi 2

85% dari 0,06446 mol $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 0,054792558$ mol

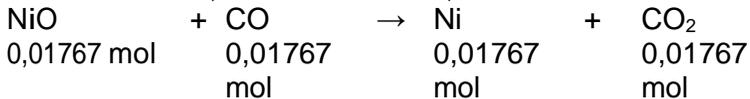


Reaksi gas CO_2 hasil reaksi 2 dengan C batu bara



c. Reaksi 3

60% dari 0,06446 mol $\text{NiO} = 0,01767$ mol

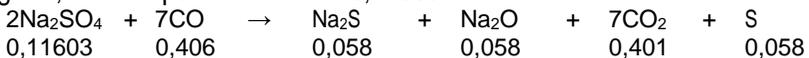


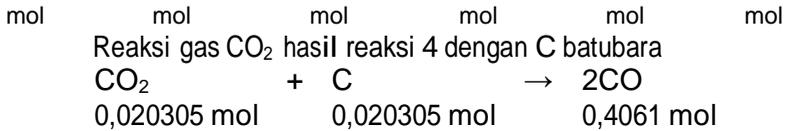
Reaksi gas CO_2 hasil reaksi 3 dengan C batubara



d. Reaksi 4

Semisal diketahui kebutuhan Natrium sulfat sebesar 16,581225 gram, maka diperoleh sebesar 0,116031 mol.





Perhitungan Kebutuhan Batubara

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 0,016115 + 0,0273963 + 0,00883 + 0,020305 \\ &= 0,25540146 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 0,25540146 \times 12,01115 = \\ &7,2436016 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 7,2436016 \\ &= 7,2436 \text{ gram} \end{aligned}$$

Karena safety factor batu bara dijadikan sebesar 7,5 gram.

Perhitungan Kebutuhan Kapur

Mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran

$$\text{Basicity} = \frac{(\text{CaO} + \text{MgO})}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)}$$

Menghitung basisitas ore

$$\text{Basisitas} = \frac{(0,62123886 + 12,079)}{(30,394 + 1,85356517)} = 0,39384$$

Sedangkan target basisitas briket adalah sebesar 0,6, sehingga dengan juga mempertimbangkan kandungan SiO₂ sebesar 20,96 % dalam ash dalam batu bara. Maka diperlukan penambahan kapur sebesar 12,5 gram, dengan factor safety maka menjadi 13

Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

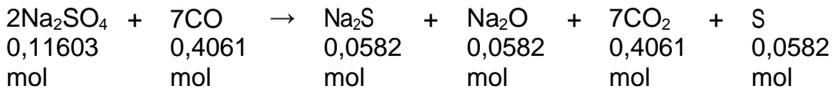
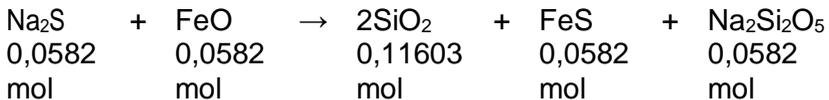
Sesuai target untuk mengikat FeO menjadi FeS sebesar 30 % dari Fe awal

Jika di dalam ore terdapat 10,8 gram Fe, maka akan terikat Fe dalam FeS sebesar

$$\begin{aligned} \text{Fe dalam FeS} &= \frac{30\%}{\text{Ar Fe}} \times \text{massa Fe} \\ &= \frac{30\%}{55,847} \times 10,8 \\ &= 0,05802 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\text{Mol FeS} = \text{mol Fe} = 0,0582 \text{ mol}$$

Reaksi 5



$$\begin{aligned} \text{Massa Na}_2\text{SO}_4 \text{ yang dibutuhkan} &= \text{mol Na}_2\text{SO}_4 \times \text{Mr Na}_2\text{SO}_4 \\ &= 0,11603 \text{ mol} \times 142,0412 \\ &= 16,48122506 \text{ gram} \end{aligned}$$

Untuk factor safety dijadikan 16,5 gram

Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3,3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 100 gram, batu bara 7,5 gram, kapur 13 gram yang dengan massa 137 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 4,2 gram

Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara : Na₂SO₄ : kapur : kanji yaitu 100 : 12,5 : 16,5 : 13 : 4,2.

Lampiran B (Perhitungan Teoritis Prosentase Bahan dalam Briket)

Data Massa 4 Briket dengan Komposisi Tertentu

Komposisi	Ore		Na ₂ SO ₄		Kapur		Batu Bara		Kanji		Total massa, gram
	massa, gram	%	massa, gram	%	massa, gram	%	massa, gram	%	massa, gram	%	
Batu Bara 0	100	74,79	16,50	12,34	13,00	9,72	0,00	0,00	4,20	3,14	133,70
Batu Bara 2,5	100	73,42	16,50	12,11	13,00	9,54	2,50	1,84	4,20	3,08	136,20
Batu Bara 7,5	100	70,82	16,50	11,69	13,00	9,21	7,50	5,31	4,20	2,97	141,20
Batu Bara 12,5	100	68,40	16,50	11,29	13,00	8,89	12,50	8,55	4,20	2,87	146,20

Data Massa 4 Briket Sebelum Roasting, Setelah Roasting dan Derajat Reduksi Briket

Komposisi	Massa Briket (gram)		Massa Kapur (gram)			Massa Batu Bara (gram)		Massa Kanji (gram)	Massa Na ₂ SO ₄ (gram)	Moisture, LOI Ore (gram)	Massa Ore (gram)		Derajat Reduksi (%)
	Awal	Akhir	Awal	LOI	Sisa	Awal	Ash				Awal	Akhir	
Batu Bara 0	79,43	58,79	7,72	4,13	3,59	0	0	2,5	9,8	14,014	59,40912	45,39516	-
Batu Bara 2,5	89	64,13	8,49	4,54	3,95	1,63	0,0776	2,74	10,8	13.757	65,34508	35,56246	45.58
Batu Bara 7,5	83,97	57,5	7,73	4,14	3,6	4,46	0,21186	2,5	9,81	13.2696	59,46884	30,61024	48.5
Batu Bara 12,5	85	55,41	7,56	4,04	3,52	7,27	0,3452	2,44	9,59	12.816	58,13953	29,14042	49.9

Lampiran C (Perhitungan Tekanan Kompaksi)

Tekanan yang diberikan pada briket adalah sebesar 30 kgf/cm²

Ukuran briket bentuk bantal:

Panjang : 4,3 cm
Lebar : 3,4 cm
Tebal : 1,65 cm

Diameter piston dongkrak pada alat kompaksi 2,8 cm.

$$\begin{aligned}\text{Luas penampang piston} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 2,8 \text{ cm} \\ &= 6,16 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Luas penampang lintang dari panjang dan lebar

$$\begin{aligned}\text{Luas} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 4,3 \text{ cm} \times 3,4 \text{ cm} \\ &= 14,62 \text{ cm}^2\end{aligned}$$

Gaya yang diberikan pada briket

$$\begin{aligned}F &= P \times A \\ &= 30 \text{ kgf/cm}^2 \times 14,62 \text{ cm}^2 \\ &= 438,6 \text{ kgf}\end{aligned}$$

Karena diatas briket sudah terdapat bagian dari alat kompaksi yang memiliki massa dan memiliki gaya berat, gaya yang diberikan oleh dongkrak oleh gaya hidrolis lebih rendah dari gaya yang dibutuhkan briket.

Gaya berat cetakan bagian atas : 0,322 kgf

Gaya berat punch : 0,912 kgf

Gaya berat dongkrak : 3,512 kgf

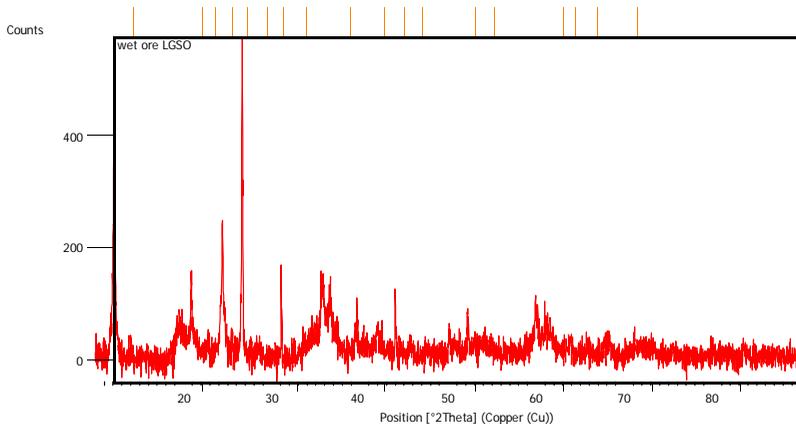
Gaya yang diperlukan briket dikurangi dengan ketika gaya berat, diperoleh gaya hidrolis dongkrak sebesar 433,854 kgf.

Untuk mencari nilai tekanan hidrolis pada dongkrak dengan membagi gaya hidrolis dongkrak dengan luas penampang poros dongkrak.

$$\begin{aligned}P &= \frac{F}{A} \\ &= \frac{433,854 \text{ kgf}}{6,16 \text{ cm}^2} \\ &= 70,43084 \text{ kgf/cm}^2\end{aligned}$$

Lampiran D (Hasil Pengujian)

Hasil Uji XRD Ore Laterit

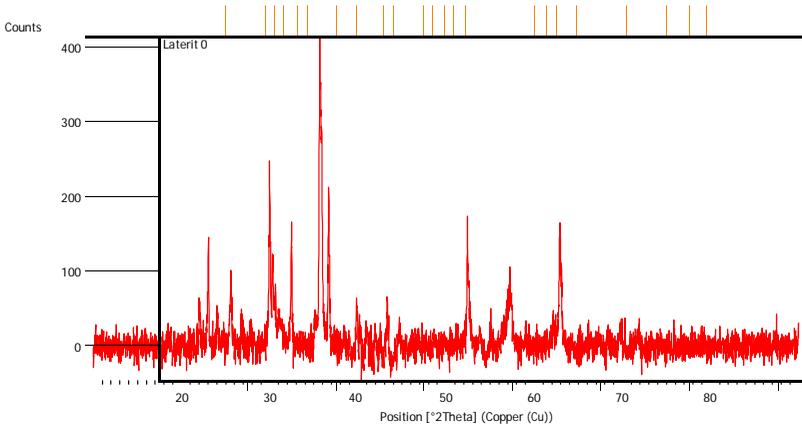


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
12.1545	411.37	0.1338	7.28195	71.21
19.3282	59.67	0.6691	4.59242	10.33
20.8632	139.49	0.1004	4.25787	24.15
22.7269	36.45	0.4015	3.91275	6.31
24.4060	243.11	0.1171	3.64724	42.08
26.6467	577.71	0.1171	3.34541	100.00
28.4785	20.03	0.8029	3.13426	3.47
31.0868	80.48	0.1004	2.87697	13.93
35.7786	109.43	0.3346	2.50973	18.94
36.5961	98.85	0.2676	2.45552	17.11
39.7125	44.28	0.4015	2.26972	7.67
41.9292	40.93	0.5353	2.15471	7.08
43.9891	116.87	0.0669	2.05847	20.23
50.0766	39.88	0.1673	1.82158	6.90
52.2022	73.17	0.0836	1.75230	12.67
59.9012	91.11	0.1004	1.54418	15.77
61.3646	39.37	0.5353	1.51082	6.81

63.8586	21.17	0.4015	1.45770	3.66
68.3376	26.14	0.4015	1.37267	4.52

Hasil Uji XRD Briket 0

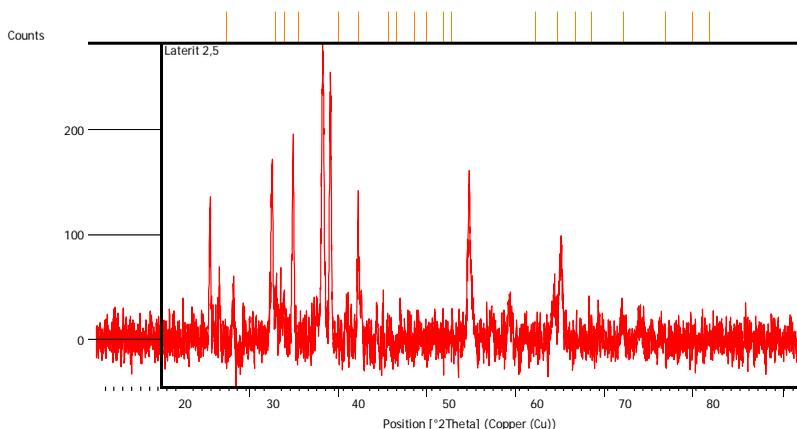


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.4907	61.83	0.1338	5.07051	16.39
22.0671	49.97	0.1338	4.02823	13.25
23.0359	126.97	0.1004	3.86096	33.66
24.0678	45.26	0.1338	3.69771	12.00
25.6317	99.77	0.1004	3.47554	26.44
26.7741	35.68	0.1004	3.32977	9.46
29.9755	228.64	0.0669	2.98105	60.61
30.3203	116.76	0.1004	2.94793	30.95
32.4661	165.71	0.0669	2.75783	43.93
35.0984	38.75	0.1673	2.55680	10.27
35.6523	377.26	0.1004	2.51833	100.00
35.9061	258.65	0.1004	2.50111	68.56
36.6837	213.96	0.0669	2.44986	56.71
39.8564	71.46	0.2007	2.26186	18.94

40.9412	20.77	0.2007	2.20440	5.51
41.9841	32.08	0.2007	2.15202	8.50
42.5623	20.81	0.2342	2.12412	5.52
43.3533	68.64	0.2676	2.08718	18.19
44.6449	27.41	0.2676	2.02975	7.27
52.4083	175.41	0.0669	1.74590	46.50
53.8944	17.38	0.4015	1.70121	4.61
55.0737	32.09	0.2007	1.66754	8.50
57.2842	86.32	0.2676	1.60834	22.88
62.9169	166.61	0.1004	1.47723	44.16
67.4597	12.32	0.6691	1.38838	3.27
69.8216	23.97	0.3346	1.34708	6.35
71.8323	24.97	0.5353	1.31425	6.62

Hasil Uji XRD Briket 2,5

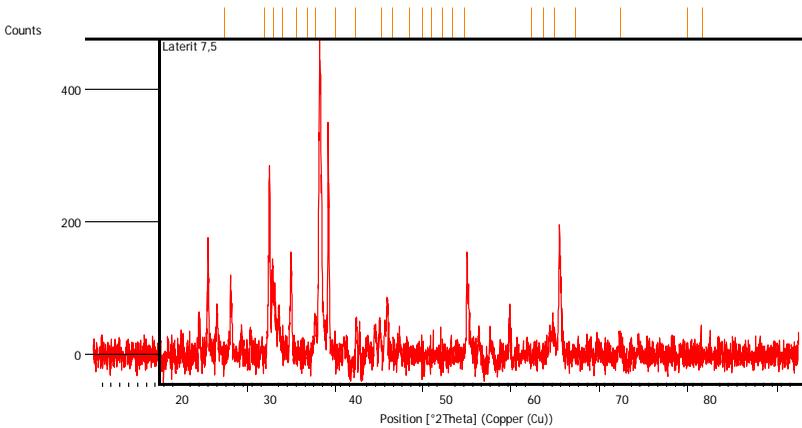


Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.3594	53.06	0.1338	5.10856	20.70
22.9194	131.85	0.0836	3.88032	51.44
23.9268	61.52	0.1338	3.71917	24.00
25.5306	62.17	0.2007	3.48907	24.25
29.9361	165.76	0.2007	2.98488	64.66

32.3211	174.53	0.2007	2.76987	68.09
35.6282	256.34	0.2342	2.51998	100.00
36.5775	234.59	0.1004	2.45673	91.52
38.2997	26.55	0.2007	2.35013	10.36
38.8756	29.07	0.2007	2.31664	11.34
39.6587	101.56	0.0669	2.27268	39.62
40.0519	47.35	0.1673	2.25127	18.47
41.8138	47.42	0.2676	2.16039	18.50
42.4728	50.98	0.1004	2.12839	19.89
42.9550	19.66	0.5353	2.10560	7.67
52.2657	144.18	0.1338	1.75032	56.25
54.7478	22.34	0.4015	1.67670	8.71
56.7818	51.32	0.2676	1.62137	20.02
58.6735	18.19	0.4015	1.57353	7.10
61.8023	40.19	0.2676	1.50117	15.68
62.7275	86.46	0.4015	1.48123	33.73
66.9082	26.20	0.6691	1.39848	10.22
69.6506	26.15	0.5353	1.34997	10.20
71.6157	19.78	0.5353	1.31769	7.72

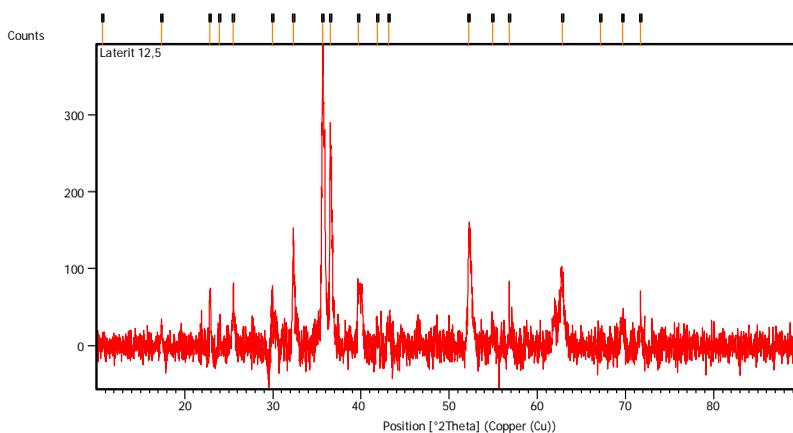
Hasil Uji XRD Briket 7,5



Peak List:

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
17.4841	41.57	0.2007	5.07242	10.20
21.9472	42.23	0.2007	4.04996	10.36
23.0039	180.34	0.0669	3.86626	44.25
24.0295	75.67	0.1004	3.70351	18.57
25.5731	107.14	0.1004	3.48337	26.29
26.8595	39.56	0.2007	3.31938	9.71
27.8257	54.60	0.1338	3.20629	13.40
29.9539	289.50	0.1171	2.98315	71.03
30.2892	128.47	0.1338	2.95088	31.52
32.4277	147.76	0.1673	2.76100	36.25
35.1543	56.35	0.2007	2.55286	13.83
35.6266	407.57	0.2676	2.52009	100.00
36.6007	245.63	0.0669	2.45523	60.27
38.5655	18.47	0.4015	2.33454	4.53
39.7950	76.49	0.1673	2.26520	18.77
40.1483	63.74	0.1338	2.24608	15.64
41.0136	22.03	0.4015	2.20067	5.40
41.9557	36.77	0.2007	2.15341	9.02
42.4855	43.49	0.2007	2.12778	10.67
43.3435	82.91	0.1673	2.08763	20.34
44.7150	35.12	0.3346	2.02673	8.62
52.3557	129.67	0.1004	1.74753	31.82
53.7179	35.02	0.2007	1.70638	8.59
55.0184	37.32	0.2676	1.66909	9.16
57.2595	93.54	0.2342	1.60898	22.95
62.0211	38.98	0.6691	1.49640	9.57
62.8480	188.58	0.0836	1.47868	46.27
69.7592	27.33	0.4015	1.34814	6.71
71.4732	12.12	0.8029	1.31996	2.97

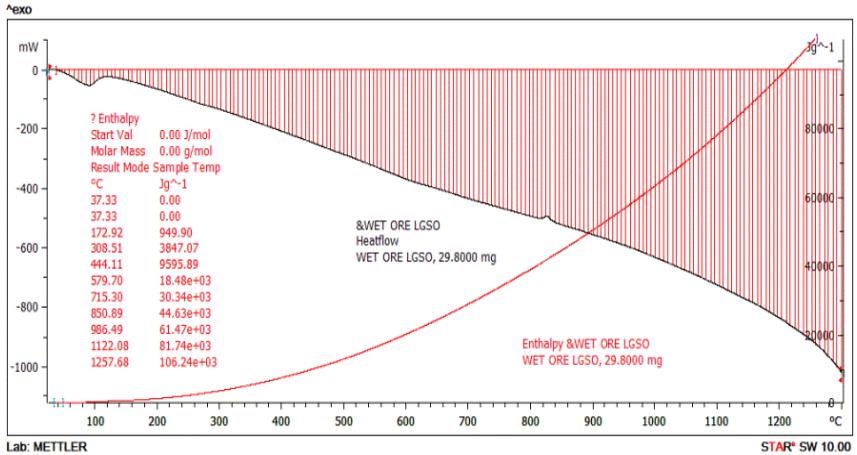
Hasil Uji XRD Briket 12,5



Peak List:

Pos. [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
10.6623	13.67	0.8029	8.29751	3.79
17.3612	33.06	0.2007	5.10805	9.18
22.8956	86.06	0.1338	3.88430	23.89
23.9611	30.91	0.2007	3.71393	8.58
25.5336	66.42	0.2007	3.48867	18.44
29.9366	123.28	0.2342	2.98484	34.22
32.3501	138.61	0.1004	2.76745	38.48
35.6763	360.21	0.1673	2.51670	100.00
36.5062	252.65	0.1171	2.46137	70.14
39.7293	77.07	0.2007	2.26880	21.40
41.8370	35.31	0.2007	2.15925	9.80
43.1479	40.34	0.5353	2.09664	11.20
52.2227	136.07	0.1338	1.75166	37.77
54.9376	26.38	0.4015	1.67135	7.32
56.8238	125.88	0.0612	1.61893	34.95
62.8128	96.80	0.2676	1.47943	26.87
67.1660	17.82	0.8029	1.39374	4.95
69.6423	31.40	0.4015	1.35011	8.72
71.7054	39.27	0.4015	1.31626	10.90

UJI DSC/TGA Ore Laterit



UJI Kekuatan Tekan Briket

Briket	Kekuatan Tekan (kgf)	Rerata Kekuatan Tekan (kgf)	Stddev
0	50,21	63,105	18,23628
0	76		
2,5	71,69	61,345	14,63004
2,5	51		
7,5	51	67,72	23,64565
7,5	84,44		
12,5	87,631	72,4905	21,4119
12,5	57,35		



Gambar Pengujian Tekan

UJI XRF BATU BARA BINUANG

..

PT Agro(atm) Nusa Raya
 . Ponorogo-Madun KM 4 (J. Industri)

 Jawa Timur



51 Report

Name: Batubara Kaltim No. 71 On: 1/31/24 Time: 23:08:11
 Duration: 70.0 s
 Application: GeoChem General
 Method: **DuaiMiniog**
 Alloys: Bi(0.0)

Element		Concentration [%]	Stddev. [%]
Aluminium Oxide	Al2O3	4.33	0.36
Silicon Oxide	SiO2	20.96	0.43
Sulfur	S	2.10	0.06
Potassium Oxide	K2O	0.31	0.02
Calcium Oxide	CaO	1.22	0.03
Titanium Oxide	TiO2	2.37	0.03
Vanadium	V	0.03	0.01
Iron Oxide	Fe2O3	1.02	0.05
Copper	Cu	0.04	0.01
Zinc	Zn	0.01	0.00
Rubidium	Rb	0.00	0.00
Zirconium	Zr	0.04	0.01
Tin	Sn	0.04	0.03
Lead	Pb	0.00	0.00

This analysis was performed with a Bruker handheld XRF analyzer.

THIS REPORT WAS CREATED WITH A SOFTWARE VERSION THAT IS INTENDED FOR
 BRUKER REPRESENTATIVES AND DISTRIBUTORS ONLY!

Operator

UJI XRF KAPUR GRESIK

..

PT. AgroRrm Nuu
 Jl. FoliOr g U... KM 4 (...Indut:iri)
 J on ogo



51 Report

Name: KapurGresik No.: 60 Date: 1/31/2014 Time: 2:54: 00 PM
 Duration: 70.0 s
 Application: GeoChem GeneraJ
 Method: QaaJMining
 Alloys: S; (Q.O)

Element		Concentra-%]	Stddev. (%)
Magnesium Oxide	MgO	18.47	2.77
Phosphorus Oxide	P2O5	0.49	0.08
Sulfur	S	0.00	0.00
Calcium Oxide	CaO	42.46	0.14
Titanium Oxide	TiO2	0.02	
Manganese Oxide	MnO	0.06	0.04
Iron Oxide	Fe2	0.46	0.05
		0.02	0.01
		0.01	0.00
Zinc	Zn	0.06	0.04
Tin	Sn	0.00	0.00
Lead	Pb		

This analysis was peffonned with a Bruker handhekt XRFAnalyzer .

THIS REPORT WAS CREATED WITH A SOFTWARE VERSION THAT IS INTENDED FOR
 BRUKER REPRESENTATIVES AND DISTRIBUTORS ONLY!

Operator

11/31/2014

S1 Data Tool, (C) by ROFA Laboratory & Process Analyzers

P-o- 1 of 1

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan batu bara dapat mempengaruhi derajat reduksi briket hasil roasting. Semakin banyak batu bara, maka semakin tinggi derajat reduksi yang terjadi. Dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji sebesar 100 : 12,5 : 16,5 : 13 : 4,2 dapat meningkatkan derajat reduksi hingga 49,9 %.
2. Penambahan batu bara dapat mempengaruhi kadar Fe, Ni dan Cr dalam briket hasil roasting. Penambahan batu bara pada perbandingan ore : batu bara 100 : 7,5 mulai meningkatkan kadar Fe menjadi 10,92 %. Dan dengan penambahan batu bara pada perbandingan ore : batu bara 100 : 12,5 mulai meningkatkan kadar Ni menjadi 1,863 % dan Cr menjadi 0,418 %.
3. Penambahan batu bara dapat mempengaruhi kekuatan tekani briket hasil roasting. Semakin banyak batu bara, maka semakin tinggi nilai kekuatan tekan. Dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji sebesar 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2 menghasilkan kekuatan tekan sebesar 72,4905 kgf.
4. Penambahan batu bara dapat mempengaruhi kandungan fasa dalam briket hasil roasting. Semakin banyak batu bara, maka semakin meningkatkan dominasi fasa Spinel $(\text{Mg},\text{Ni})(\text{Fe},\text{Al},\text{Cr})_2\text{O}_4$ dan Forsterite $(\text{Mg},\text{Fe})_2\text{SiO}_4$.
5. Dalam penelitian yang dilakukan, derajat reduksi, kadar Fe Ni Cr dan kekuatan tekan tertinggi pada briket hasil roasting dicapai dengan perbandingan komposisi Dengan perbandingan komposisi ore : batu bara : Na_2SO_4 : kapur : kanji sebesar 100 : 12,5 : 15,5 : 13 : 4,2.



5.2 Saran

Untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya terdapat beberapa saran yang dapat diperhatikan dan dilakukan:

1. Dilakukan pengujian Swelling Index dan Tumbler Index untuk diperoleh data sifat fisik dari briket yang sesuai dengan *Mini Blast Furnace*.
2. Dilakukan pengukuran temperatur operasi *maffle furnace* yang lebih akurat seperti dengan *thermocouple* sehingga diperoleh temperatur yang sesuai.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada komposisi batu bara. Komposisi batu bara dapat ditambah untuk mencapai komposisi optimal penggunaan batu bara. Dilakukan juga penelitian dengan sumber karbon reduktor berupa arang dan *petroleum coke*.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada komposisi batu kapur. Dilakukan penambahan dan pengurangan untuk mencapai hasil yang optimal pada biket hasil roasting akibat kandungan MgO dalam batu kapur.
5. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada komposisi Natrium sulfat. Dilakukan penambahan dan pengurangan untuk mencapai hasil yang optimal pada biket hasil roasting akibat mekanisme *selective reduction* dari Ni.

DAFTAR PUSTAKA

- Anhar, Asshid Bahtiar. 2015. "Analisa Pengaruh Komposisi Batubara terhadap Kadar Fe dan Derajat Metalisasi pada Proses Reduksi Besi Oksida dalam Pasir Besi". *Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS*.
- Anne, Oxley dan Nic Barcza. 2013. "Hydro-pyro integration in the processing of nickel laterites". *Minerals Engineering*. 54: 2-13.
- Bogdandy, L. Von dan Engell, H.J. 1971. *The reduction of iron ore*. Springer-Verlag. 47-48.
- Bonyton, Robert S. 1980. *Chemistry and Technology of Lime and Limestone, 2nd edition*. John Wiley & Sons, Inc. Toronto.
- Chatterjee, Amit. 1988. *Proceedings of XV Symposium of SIDOR*. Puerto Ordaz, Venezuela.
- Dalvi, Ashok D., W Gordon Bacon dan Robert C. Osborne. 2004. PDAC 2004 Internatinal Convention, Tradeshow & Investors Exchange March 7-10, *The Past and the Future of Nickel Laterites*.
- Diagram Ellingham. <http://patent.images.storage.googleapis.com/EP1218556B1/00420001.png>.
- Diaz, C. M., C. A. Landolt, A.Vahed, Warner A. E. M. dan J. C. Taylor. 1988. "A review of nickel pyrometallurgical operations". In *proceedings Extractive metallurgy of Nickel & Cobalt symposium*.
- Dominguez, Adriana, Valero Aicia dan Valero Antonio. 2013. "Energy accounting applied to metallurgical system: The case of nickel processing". *Energy* 62: 37-34.
- Dor, A. A., dan Skretting, H. 1979. "The production of Ferronickel by the rotary kiln-electric furnace process". *International laterite symposium*.
- El-Geassy, A. H. A., Nasr, M. I., Omar, A. A., & Mousa, E. S. A. 2007. "Reduction kinetics and catastrophic swelling of MnO₂-doped Fe₂O₃ compacts with CO at 1073-1373 K". *ISI International*, 47(3), 377-385.

- ESDM. 2015. *Cadangan Batubara Indonesia Sebesar 12 Miliar Ton*. (<http://www.esdm.go.id/berita/44-batubara/805-cadangan-batubara-indonesia-sebesar-12-miliar-ton.html>)
- Jiang, Man, Tichang Sun, Zhiguo Liu, Jue Kou, Na Liu dan Shiyuan Zhang. 2013. "Mechanism of sodium sulfate in promoting selective reduction of nickel laterite ore during reduction roasting process". *International Journal of Mineral Processing*. 123 (5): 32–38.
- Kerfoot, D. G. E. (1991). "Nickel". *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, A17(5), 158-219 (publisher: VCH Verlag), Weinheim, Germany.
- Kheidr, M. H. dan M. H. Abdel-Khalik. 1996. "Study on Dolomite instead of Limestone as Fluxing Material during Sintering Process and its Effect on the Reduction and Mechanisms". *Fizykochemiczne Problemy Mineralurgii*. Vol. 30: 135 – 144.
- Li, Bo. Hua Wang dan Yonggang Wei. 2011. "The reduction of nickel from low-grade nickel laterite ore using a solid-state deoxidation method". *Minerals Engineering*. Volume 24 (9): 1556 – 1562.
- Li, Guanghui, Qian Zhi, Mingjun Rao, Yuanbo Zhang, Wen Cai dan Tao Jiang. 2013. "Effect of basicity on sintering behavior of saprolitic nickel laterite in air". *Powder Technology*. 249 (8): 212–219.
- Li, Guanghui, Tangming Shi, Mingjun Rao, Tao Jiang dan Yuanbo Zhang. 2012. "Beneficiation of nickeliferous laterite by reduction roasting in the presence of sodium sulfate". *Minerals Engineering*. 32 (4): 19–26.
- Maciewsky, Marek & Rudolf, Hens dkk. 1993. *Thermal Transformation of Laterite and Calcite*, Departmen of Chemical and Engineering and Industrial Chemistry, Swiss.
- McKewan, W.M. 1958. Trans., IMM-AIME, 212, 791.
- Miqdad, Faris Qaumi Z. 2015. "Study of Coal Amount Variation in Continue Extraction Process of Lateritic Nickel Ore

- Using Mini Blast Furnace”. *Tugas Akhir Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS*.
- Pelletier, Bernard. 1984. *Localisation du nickel dans les mineraux "garnidritiques" d e Nouvelle-Caledonie*. In D. Nahon, Ed., International Congress on Alteration Petrology, CNRS, Paris. Sciences Geologiques 73: 173-183.
- Pickles, C.A., J. Forster dan R. Elliott. 2014. “Thermodynamic analysis of the carbothermic reduction roasting of a nickeliferous limonitic laterite ore”. *Minerals Engineering*. 65 (6): 33–40.
- Putra, Eko Mulia. 2012. *Pengaruh ukuran partikel terhadap Optimalisasi Derajat Reduksi Fe pada Bijih Laterit Low Grade*. Depok: Universitas Indonesia.
- Ross HU. 1980. “Physical Chemistry: Part I Thermodynamics”. *Direct Reduced Iron Technology and Economics of Productions and Use*. Warrendale: The Iron and Steel Society.
- S. Handaru, Suganda. 2008. *Recovery Bijih Nikel Laterit*. Depok: Universitas Indonesia.
- Spencer, J. 1985. *Sulfidation of Half-Calcined Dolomite in Hydrogen-Sulfide/Deuterium/Water/Nitrogen-2 -- Kinetics. Structure and Mechanisms*. Carnegie-Hellon University. PH.O.
- Suherman, Wahid. 1987. *Pengetahuan Bahan*. Surabaya: ITS Press.
- Takuda, M., H. Yoshikoshi, dan M.Ohtano, *Trans. ISIJ*, Vol.13, No. 5, September 1973, p. 350.
- Taylor, A. 1995. “Laterites – has the time finally come?”, *Mining Magazine*, March, 167- 170.
- Tyroler, G.P, dan Landolt, C.A., editor, 1998. *Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt*. New York: The Metallurgical Society.
- Utigard, T., M. Wu, dan G. Plascencia. 2005. “Reduction kinetics of Goro nickel oxides using hydrogen”. *Chemical Engineering Science*, 60(7), 3879-3888

- V.N. Andronov. 2007. *Extraction of Ferrous Metals from Natural and Secondary Resources*. St. Petersburg., SPbGTU, 72.
- Yıldırım, H., Turan A. dan Yücel O. 2012, *Nickel Pig Iron (NPI) Production From Domestic La Teritic Nickel Ores Using Induction Furnace*, International Iron & Steel Symposium.
- Zevgolis, E. N., C. Zografidis, I. Halikia, dan E. Devlin. (2009). "Roasting Reduction Study of Greek Nickeliferous Laterites". In *Proceedings of EPD Congress* (ed: Howard, S. M.) pp 493-500 (TMS:San Francisco).
- _____. 2001. *Iron Ore Pellet For Direct Reduction Processes – Specification*. New Delhi: Bureau of Indian Standard.
- _____. 2003. *Iron Ore Briquetting*. World Intellectual Property Organization, International Bureau.

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Muhammad Iqbal Rasyidi lahir di kota Blitar pada tanggal 16 September 1994 dari seorang ayah bernama Sudibydo dan ibu bernama Umi Kaltum. Penulis adalah putra keenam dari enam bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Islam Kota Blitar, lalu SMP Negeri 1 Blitar, dan SMA Negeri 1 Blitar. Setelah lulus dari SMA tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.

Semasa kuliah, penulis tidak hanya mengikuti kegiatan akademik di kampus namun juga aktif sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Material (HMMT) sebagai staff Badan Semi Otonom Material Techno Club periode 2013-2014 dan sebagai staff ahli Badan Semi Otonom Material Techno Club periode 2014-2015. Penulis memiliki pengalaman kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada Juni 2015 dan ditempatkan pada divisi Inspeksi Teknik. Sebagai tugas akhir, penulis mengambil bidang Metalurgi Ekstraksi pada tahun 2015.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan