



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TL 141584

# **ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS BATUBARA DALAM PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LATERIT TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA MORFOLOGI AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN *MINI BLAST FURNACE***

Bima Prameswara  
(NRP. 2713 100 112)

Dosen Pembimbing  
Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T

Departemen Teknik Material  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS  
BATUBARA DALAM PROSES AGLOMERASI  
BIJIH NIKEL LATERIT TERHADAP KADAR  
Ni DAN Fe SERTA MORFOLOGI  
AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN  
*MINI BLAST FURNACE***

Bima Prameswara  
NRP 2713 100 112

Dosen Pembimbing :  
Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2017



FINAL PROJECT - TL141584

# **COAL VARIATION ANALYSIS IN AGGLOMERATION PROCESS TO Ni AND Fe CONTENT AND THE AGGLOMERATES MORPHOLOGY AS FEED MATERIALS FOR MINI BLAST FURNACE**

Bima Prameswara  
NRP 2713 100 112

Advisor :

Sungging Pintowantoro, Ph.D  
Fakhreza Abdul, S.T., M.T

Department of Materials Engineering  
Faculty Of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2017

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**STUDI PENGARUH VARIASI JENIS BATUBARA DALAM  
PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LATERIT  
TERHADAP KADAR Ni DAN Fe SERTA MORFOLOGI  
AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN *MINI BLAST  
FURNACE***

**TUGAS AKHIR**

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

Oleh :  
**BIMA PRAMESWARA**  
NRP. 2713 100 112

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

Sungging Pintowantoro, Ph.D ..... (Pembimbing I)

Fakhreza Abdul, S.T., M.T. .... (Pembimbing II)



*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

**ANALISIS PENGARUH VARIASI JENIS BATUBARA  
DALAM PROSES AGLOMERASI BIJIH NIKEL LATERIT  
TERHADAP KADAR NI DAN FE SERTA MORFOLOGI  
AGLOMERAT SEBAGAI BAHAN UMPAN *MINI BLAST  
FURNACE***

**Nama Mahasiswa** : Bima Prameswara  
**NRP** : 2713 100 112  
**Departemen** : Teknik Material  
**Dosen Pembimbing** : Sungging Pintowantoro, Ph.D  
**Co-Pembimbing** : Fakhreza Abdul, S.T., M.T

**ABSTRAK**

*Berdasarkan data dari Kementerian ESDM, jumlah batubara di Indonesia saat ini sangat berlimpah. Terlebih batubara jenis kelas menengah yang tersebar di Sumatera dan Kalimantan. Akan tetapi sangat sedikit industri, khususnya industri nikel di Indonesia yang menggunakan batubara kelas menengah tersebut. Oleh karena itu dilakukan penelitian pada proses pembuatan nikel dengan reduktor batubara. Penelitian dilakukan dengan melakukan proses aglomerasi briket bijih nikel laterit yang telah dicampur dengan batu bara, fluks, dan natrium sulfat. Proses aglomerasi dilakukan dengan temperatur 1200 °C yang kemudian di holding selama 3 jam. Setelah dilakukan proses aglomerasi, briket hasil aglomerasi dilakukan pengujian SEM-EDX dan XRD untuk mengetahui kadar unsur Fe dan Ni, fasa yang terbentuk, dan morfologi briket. Hasil penelitian ini dibandingkan dengan kondisi awalnya. Hasil penelitian ini diperoleh peningkatan kadar Ni yang paling tinggi pada penggunaan batubara B dengan peningkatan sebesar 1.8%. Dari segi permeabilitas yang paling tinggi pada penggunaan Batubara A.*

***Kata Kunci : Nikel Laterit, Aglomerasi, Volatile Matter, Permeabilitas***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**COAL VARIATION ANALYSIS IN  
AGGLOMERATION PROCESS TO Ni AND Fe  
CONTENT AND THE AGGLOMERATES  
MORPHOLOGY AS FEED MATERIALS FOR *MINI  
BLAST FURNACE***

**Name : Bima Prameswara**  
**NRP : 2713100112**  
**Department : Material Engineering**  
**Advisor : 1. Sungging Pintowantoro, Ph.D**  
**2. Fakhreza Abdul, S.T., M.T**

**Abstract**

*Data from Energy and Mineral Resources Ministry reveal that there were plentiful amount of coal in Indonesia these days. Moreover, the middle class coal which straggled all over Sumatera and Kalimantan. However, measly industrial sector, especially by nickel industry in Indonesia that were harnessing the middle class coals. Therefore, this nickel metal making with coal based reduction research conducted. The research conducted by lateritic nickel ore agglomeration being briquetted and mixed with coal, flux with sodium sulphate. The agglomeration process carried out with temperature at 1200°C afterward held for 3 hours. After the agglomeration process, the outcome of agglomerated briquetted was characterized with SEM-EDX and XRD test to understand the percentage of Fe and Ni, phases which formed, and briquette morphology. The output of this research compared with the initial conditions. Researchers obtained the highest increase in Ni content using coal B with an increase of 1.8%. In terms of the highest permeability on the use of Coal A.*

***Keywords: coals, nickel laterite, agglomeration, permeability***

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena berkat rahmat dan hidayah-Nya, tidak lupa shalawat serta salam penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis diberi kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir. Tugas Akhir ditujukan untuk memenuhi mata kuliah wajib yang harus diambil oleh mahasiswa Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), penulis telah menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Analisa Pengaruh Variasi Jenis Batubara Dalam Proses Aglomerasi Bijih Nikel Laterit Terhadap Kadar Ni dan Fe Serta Morfologi Aglomerat Sebagai Bahan Umpan Mini Blast Furnace”**. Penulis ingin berterima kasih juga kepada :

1. Allah SWT atas karunia, rahmat, dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan lancar.
2. Kedua Orang Tua, yang telah mendukung secara moril maupun materil serta doa yang selalu dipanjatkan demi kesehatan, keselamatan dan kelancaran anaknya dalam menempuh studi.
3. Saudara penulis Yoga Abiyasa, Dimas Ananda, dan Satria Dewabrata yang telah memberikan doa, perhatian, dukungan, dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T, M.Eng., selaku Ketua Departemen Teknik Material FTI-ITS.
5. Bapak Sungging Pintowantoro, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan banyak ilmu.

7. Ibu Dian Mughni Felicia, S.T., M.Sc selaku dosen wali yang sangat mengayomi.
8. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Material FTI-ITS.
9. Sahabat-sahabat terbaik saya Maulana, Rangga, Fiqhi, Ahlidin dan Igfar yang selalu memberikan canda dan tawa baik suka maupun duka.
10. Teman-teman Lab. Pengolahan Material yang telah membantu tugas akhir saya selama 1 semester khususnya kepada Kemplo, Hamzah, Rizki, Ridwan, Ahlidin, Anggiat, Orlando, Fiqri, Farid, Rahmania yang sudah banyak memberi saran serta ilmu untuk tugas akhir saya.
11. Keluarga MT 15 yang banyak memberikan saya pengalaman berharga selama di Departemen Teknik Material.
12. Dan seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan laporan ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik yang membangun dari pembaca demi perbaikan dan kemajuan bersama.

Surabaya, Juli 2017

Penulis,  
Bima Prameswara

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	5

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

2.1 Nikel Laterit .....	7
2.2 Ekstraksi Nikel Laterit .....	9
2.3 Aglomerasi Nikel Laterit .....	11
2.4 Nikel Saprolit .....	13
2.5 Nikel Limonit .....	14
2.6 Reduksi Laterit.....	15
2.7 Termodinamika Reduksi .....	22
2.8 Batubara.....	25
2.9 Sub Bituminous.....	27
2.10 Volatile Matter .....	27
2.11 Dolomit .....	28
2.12 Kajian Sebelumnya .....	30
2.13 Devolatilisasi .....	32
2.14 Mekanisme Penyalaan Batubara .....	35
2.15 Pembakaran Tidak Sempurna .....	37

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Diagram Alir Penelitian .....	39
3.2	Bahan Penelitian .....	40
3.3	Peralatan Penelitian .....	44
3.4	Pelaksanaan Penelitian .....	50
3.5	Rancangan Penelitian .....	56

### **BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakterisasi Bijih Nikel Laterit .....	59
4.2	Karakteristik Batu Bara .....	60
4.3	Karakteristik Batu Kapur (Dolomit) .....	62
4.4	Neraca Massa Briket Nikel Laterit.....	64
4.5	Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Proses Aglomerasi.....	67
4.6	Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Unsur Fe .... pada Briket Hasil Proses Aglomerasi.....	69
4.7	Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Komposisi Fasa pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	71
4.8	Analisa XRD Briket Batubara A.....	72
4.9	Analisa XRD Briket Batubara B.....	73
4.10	Analisa XRD Briket Batubara C.....	74
4.11	Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	75
4.12	Pengaruh Uji Tekan Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	77

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	81
5.2	Saran .....	81

### **DAFTAR PUSTAKA ..... xxi**

### **LAMPIRAN**

### **BIODATA PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Profil Nikel Laterit .....	8
<b>Gambar 2.2</b>	Diagram Ekstraksi Nikel dan <i>FerroNickel</i> ....	10
<b>Gambar 2.3</b>	Bentuk Briket .....	12
<b>Gambar 2.4</b>	Endapan Batuan Laterit .....	14
<b>Gambar 2.5</b>	Diagram Boudouard .....	15
<b>Gambar 2.6</b>	Garis Besar Mekanisme Reduksi untuk Mineral Berpori .....	20
<b>Gambar 2.7</b>	Diagram Ellingham.....	22
<b>Gambar 2.8</b>	Grafik Kesetimbangan Termodinamika Reduksi NiO dan Oksida Besi dengan karbon.....	24
<b>Gambar 2.9</b>	Batubara .....	26
<b>Gambar 2.10</b>	Batu Kapur.....	30
<b>Gambar 2.11</b>	Terbentuknya Lapisan Laminar Pada Permukaan Briket .....	35
<b>Gambar 2.12</b>	Awan Volatile Matter Pada Briket Batubara ..	36
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	39
<b>Gambar 3.2</b>	Batu Bara .....	41
<b>Gambar 3.3</b>	Batu Kapur .....	42
<b>Gambar 3.4</b>	Natrium Sulfat .....	42
<b>Gambar 3.5</b>	Kanji .....	43
<b>Gambar 3.6</b>	Gas LPG .....	44
<b>Gambar 3.7</b>	Alat Kompaksi .....	45
<b>Gambar 3.8</b>	Muffle Furnace .....	46
<b>Gambar 3.9</b>	Timbangan Digital .....	46
<b>Gambar 3.10</b>	Ayakan .....	47
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Thermocouple</i> .....	48
<b>Gambar 3.12</b>	Blower .....	48
<b>Gambar 3.13</b>	Oven .....	49
<b>Gambar 3.14</b>	Alat Tumbuk.....	49
<b>Gambar 3.15</b>	XRD <i>PAN Analytical</i> .....	51

<b>Gambar 3.16</b>	SEM-EDX.....	52
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Pengujian XRD Bijih Nikel Laterit .....	59
<b>Gambar 4.2</b>	Hasil Pengujian XRD Batu Kapur .....	63
<b>Gambar 4.3</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Ni dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi .....	68
<b>Gambar 4.4</b>	Pengaruh Variasi Jenis Fluks terhadap Kadar Fe dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi.....	69
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil Pengujian XRD Briket Hasil Proses Aglomerasi dengan Variasi Jenis Batubara.....	71
<b>Gambar 4.6</b>	Morfologi Briket Hasil Aglomerasi dengan Batubara A, B dan C.....	76

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Klasifikasi Batubara .....	25
<b>Tabel 2.2</b>	Pengaruh Penambahan Batubara Terhadap Kadar Nikel dan Besi Dalam Konsentrat .....	31
<b>Tabel 3.1</b>	Rancangan Penelitian .....	57
<b>Tabel 3.2</b>	Jadwal Penelitian .....	58
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit .....	60
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara Jenis A .....	60
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara Jenis B.....	61
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Pengujian Proximate Analysis Batubara Jenis C.....	62
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil EDX Flux Dolomit .....	64
<b>Tabel 4.6</b>	Target Aglomerasi Nikel Laterit.....	65
<b>Tabel 4.7</b>	Perbandingan Komposisi Briket .....	66
<b>Tabel 4.8</b>	Awan Volatile Matter Pada Briket Batubara .....	66
<b>Tabel 4.9</b>	Komposisi Unsur Pada Briket Batubara Setelah Reduksi .....	67
<b>Tabel 4.10</b>	Jenis Variabel Dalam Penelitian .....	67
<b>Tabel 4.11</b>	Identifikasi Fasa Pada Briket Hasil Aglomerasi .....	72
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil Pengujian Shatter Index .....	79

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Nikel adalah logam yang sangat penting dalam dunia industri. Jenis produk dari logam nikel ini ialah nikel yg sudah dimurnikan, bubuk dan sponge nikel. Industri terbesar yang memakau bahan nikel ini ialah industri *stainless steel*, yang menggunakan nikel sebesar 62% dari besar industrinya. Begitu juga dengan kebutuhan akan *super alloy* dan *nonferrous alloy* yang membutuhkan 13% nikel dari produksinya, karena kemampuannya akan tahan korosi dan ketahanannya pada temperatur tinggi (Tri Anriani, 2011).

Bijih nikel dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu bijih sulfida dan bijih laterit. Dewasa ini pengguna industri lebih banyak menggunakan bijih Laterit, karena jumlah bijih Laterit lebih banyak jumlahnya, sehingga harganya pun menjadi lebih murah. Walaupun cara untuk memprosesnya cukup sulit. Jumlah ketersediaan nikel di dunia terdiri atas 70% bijih laterit, dan sisanya nikel sulfid, namun 60% dari produksi primer nikel menggunakan bijih sulfid. Penggunaan bijih laterit akhir-akhir ini meningkat karena kenaikan harga nikel sulfid dan penurunan cadangan bijih sulfid. Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau daerah sub-tropis. Umumnya nikel laterit terbentuk dari pelapukan batuan basa yang mengandung zat besi dan magnesium dalam kadar tinggi (Barkas, 2010).

Cadangan magnesium yang tinggi menunjukkan lapisan yang berbeda karena terjadi pelapukan pada lapisan yg kaya silika dan lapisan limonit. Limonit ini sebagian besar terdiri atas *goethite* [FeO(OH)], *hematite* [Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>] dan *saprolite* [(Ni, Mg)SiO<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O)]. Terakhir, terdapat batuan dasar yang berubah dan yang tidak berubah. Diantara *saprolite* dan *limonite*, terdapat lapisan transisi yang kaya akan zat *magnesium* (10-20% Mg) dan lapisan yang disebut *serpentine* [Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>] (Barkas, 2010).



Teknologi pengolahan bijih nikel laterit terbagi menjadi 2 proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Proses pirometalurgi meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *electric furnace smelting*, dan pemurnian (*refining / converting*). Hasil dari proses pirometalurgi biasanya berupa ferronikel atau *Matte Smelting*. Pada proses hidrometalurgi terbagi lagi menjadi 2 proses yaitu *Caron Process* dan *HPAL Process*. *Caron Process* meliputi beberapa proses yaitu pengeringan (*drying*), kalsinasi / reduksi, *amonical leaching*, dan *purification & recovery*. Hasil dari *caron process* berupa Ni dan Co. Sedangkan pada *HPAL Process* meliputi beberapa proses yaitu *high pressure leaching*, *CCD & Neutralization*, presipitasi, *purification & recovery*. Hasil dari *HPAL Process* juga berupa Ni dan Co (Dalvi, Bacon, & Osborne, 2004).

Potensi nikel di Indonesia termasuk menjadi unggulan dunia karena tercatat sebagai negara ketiga yang mempunyai cadangan laterit setelah New Caledonia dan Filipina. Terindikasi cadangan sebanyak 1.576 juta ton laterit dari total sumber daya 3900 juta ton, yang terkonsentrasi di pulau Sulawesi, Maluku dan Papua. Dengan sumber daya dan cadangan nikel terutama di Sulawesi, Maluku dan Papua, yang begitu besar serta banyaknya KP eksplorasi dan IUP yang bergerak dalam penambangan nikel juga sangat menunjang untuk dibangunnya pabrik pemrosesan bijih nikel. Saat ini, ada dua perusahaan besar yang mengolah bijih nikel yaitu PT Antam dengan produk FeNi (kapasitas bijih 3 juta ton) dan PT Vale Indonesia dengan produk Ni mate (kapasitas bijih 6 juta ton). Selain itu, ada beberapa perusahaan telah memulai membangun *plant*, seperti PT Weda Bay (kapasitas 6 juta ton) dan PT Indofero produk *nickel pig iron* (NPI) (kapasitas 1 juta ton) dan PT Feni Haltim (dalam tahap konstruksi) dengan produk FeNi kapasitas input 3 juta ton bijih nikel laterit, yang akan selesai di tahun 2014-2016. Dilihat dari produksi tambang berjumlah sekitar 33 juta ton per tahun, masih ada 24 juta ton bijih yang harus diolah di dalam negeri, dan saat ini beberapa perusahaan sedang



mengajukan proposal pembangunan pemrosesan bijih nikel yang sedang dievaluasi oleh pemerintah (Rochani, 2013).

Perbedaan komposisi antara nikel limonit dan saprolit menjadi pilihan dalam industri. Untuk mendapatkan suatu proses yang optimal, proses pengolahan nikel laterit lebih baik menggunakan bijih yang memiliki kadar Fe lebih tinggi dari nikelnya sendiri, karena afinitas Fe lebih rendah, sehingga nikel lebih mudah untuk tereduksi, sehingga digunakanlah bijih nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit. Proses pengolahan yang optimal untuk nikel laterit khususnya limonit sangat penting dikarenakan hingga saat ini proses pengolahan dan pemurnian bijih nikel laterit di Indonesia lebih banyak dilakukan untuk bijih saprolit meskipun keberadaan lapisan bijih limonit yang berada di atas lapisan bijih saprolit. Sedangkan ketersediaan bijih berkadar tinggi yang semakin berkurang. Sehingga, bijih nikel laterit dengan kadar rendah yaitu limonit berpotensi menjadi sumber bahan baku utama untuk memperoleh logam nikel di masa mendatang (Fathoni & Mubarok, 2015).

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh perusahaan Atrium Coal, perusahaan penambang anthracite dari Amerika, produksi batubara jenis anthracite di Indonesia baru mencapai 1 – 4 Mega Ton per tahunnya. Oleh karena jumlahnya yang sangat sedikit dibandingkan dengan jumlah batubara jenis sub-bituminous, maka peneliti memilih untuk menggunakan batubara sub-bituminous sebagai variabel penelitian (Clerk, 2004)

Pada penelitian-penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian mengenai mekanisme reduksi *roasting* dari bijih nikel laterit dengan menggunakan batubara jenis sub-bituminous. Batubara sub-bituminous dengan komposisi perbandingan C/O 0,5, 0,6, 0,8, 1,0, 1,2. Pada komposisi perbandingan C/O 0,5, oksida besi tidak tereduksi dalam jumlah besar, walaupun dengan temperature tinggi setelah reduksi, slagnya tidak dapat dipisahkan. Pada komposisi perbandingan C/O 0,6 sampai 1,0, kadar dari hasil reduksi besi oksida meningkat dari 59,96%, 77,61% menjadi



95,91%, sedangkan kadar nikelnya berkurang dari 1,79%, 1,39% menjadi 1,34% (Chang Cao, 2016).

Dari penelitian diatas digunakan pemakaian batubara jenis anthracite, yang merupakan kelas terbaik dari jenis batubara lainnya. Maka dalam penelitian kali ini, peneliti berusaha meneliti kadar nikel menggunakan batubara jenis sub-bituminous dalam berbagai kelas.

### 1.2. **Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi jenis batubara pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan?
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis batubara pada proses aglomerasi bijih nikel laterit limonit terhadap morfologi produk aglomerasi?

### 1.3. **Batasan Masalah**

Untuk menganalisis masalah masalah pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Ore nikel yang digunakan adalah mineral laterit limonit dari Sulawesi Tenggara.
2. Jenis dan komposisi ore laterit limonit, batu bara (sub-bituminus) dan fluks yang digunakan diasumsikan homogen.
3. Tekanan kompaksi yang diberikan adalah homogen.
4. Kanji digunakan sebagai pengikat dan pengaruh dari reaksi kanji diabaikan.
5. Permeabilitas dan porositas diasumsikan homogen.
6. Energi panas yang digunakan pada proses roasting berasal dari *furnace*. Energi panas pembakaran batu bara tidak dipertimbangkan.
7. Temperatur operasi roasting diasumsikan sama.



---

#### 1.4. **Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menganalisa pengaruh variasi jenis batubara yang digunakan pada proses aglomerasi bijih nikel laterit terhadap kadar unsur Ni dan Fe yang dihasilkan.
2. Menganalisa pengaruh variasi jenis batubara yang digunakan pada proses aglomerasi bijih nikel laterit terhadap morfologi produk aglomerasi

#### 1.5. **Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki manfaat yaitu untuk memberikan informasi empiris dari parameter proses (variasi jenis batubara) yang optimal untuk proses aglomerasi mineral laterit yang berasal dari Sulawesi Tenggara pada proses *Mini Blast Furnace* (MBF).



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Nikel Laterit

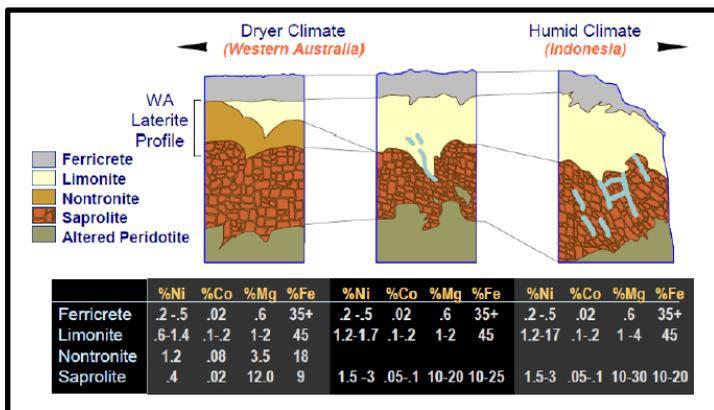
Nikel adalah salah satu logam yang paling penting dan memiliki banyak aplikasi dalam industri. Ada banyak jenis produk nikel seperti logam halus, bubuk, spons, dan lainlain. 62% dari logam nikel digunakan dalam baja tahan karat, 13% dikonsumsi sebagai superalloy dan paduan non logam karena sifatnya yang tahan korosi dan tahan tinggi suhu (Astuti, et al., 2012).

Bijih nikel dapat diklasifikasikan dalam dua kelompok yaitu bijih sulfida dan bijih laterit (oksida dan silikat). Meskipun 70% dari tambang nikel berbasis bijih laterit, tetapi 60% dari produksi primer nikel berasal dari bijih sulfida. Bijih nikel laterit biasanya terdapat di daerah tropis atau sub-tropis yang mengandung zat besi dan magnesium dalam tingkat tinggi. Deposit tersebut biasanya menunjukkan lapisan yang berbeda karena kondisi cuaca. Lapisan pertama adalah lapisan yang kaya silika dan yang kedua adalah lapisan limonit didominasi oleh gutit [FeO(OH)] dan hematit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). Lapisan berikutnya adalah saprolit [(Ni, Mg) SiO<sub>3</sub>.nH<sub>2</sub>O] yaitu lapisan yang kaya magnesium dan elemen basal. Lapisan terakhir adalah batuan dasar yang berubah dan tidak berubah. Antara lapisan saprolit dan limonit biasanya ada lapisan transisi yang kaya magnesium (10-20% Mg) dengan besi yang disebut serpentine [Mg<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)]. Untuk deposit laterit yang ideal, lapisan limonit sangat tidak cocok untuk ditingkatkan kadarnya, 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% (Yildirim, Morcali, Turan, & Yucel, 2013)

Dalam beberapa penelitian saat ini, dapat dikatakan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel dalam waktu dekat di masa yang akan datang. Ada banyak alasan yang menjadikan bahwa nikel laterit akan mendominasi produksi nikel, antara lain:



1. Ketersediaan : Cadangan nikel yang ada di dunia yaitu 36% berupa sulfida dan 64% berupa laterit. Jumlah bijih laterit lebih banyak daripada bijih sulfida.
2. Biaya Penambangan : Karena bijih sulfida terletak pada *hard rock*, sebagai eksplorasi lebih lanjut cadangan sulfida akan didapatkan pada bagian yang lebih dalam yang menyebabkan biaya penambangan lebih tinggi. Sedangkan penambangan bijih laterit pada dasarnya yaitu berpindah–pindah yang bagaimanapun juga menjadikan biaya penambangannya lebih rendah.
3. Efek terhadap lingkungan : Produksi nikel dari bijih sulfida menimbulkan masalah pada lingkungan yaitu terciptanya emisi sulfur oksida. Sedangkan produksi nikel berbasis bijih laterit memiliki masalah lingkungan lebih sedikit.
4. Faktor teknologi : Ada cara yang dapat membuat proses



**Gambar 2. 1** Profil Nikel Laterit (Dalvi, Bacon and Osborne 2004)

produksi nikel berbasis laterit lebih menguntungkan melalui pengurangan biaya produksi dan peningkatan pendapatan oleh produk. Sehingga membuat produksi nikel berbasis laterit lebih ekonomis dan kompetitif (Shoubao Li, 1999).



## 2.2. Ekstraksi Nikel Laterit

Pengolahan metalurgi dari nikel laterit dapat dibagi menjadi dua proses yaitu pirometalurgi dan hidrometalurgi. Pemilihan proses yang akan digunakan ini dipengaruhi oleh kandungan pada bijih, peningkatan kandungan yang terbatas, teknologi pengolahan yang kompleks, kondisi geografis, dan kebutuhan infrastruktur, seperti; pembangkit listrik, pelabuhan, infrastruktur jalan dan fasilitas pengolahan slag (Filipe Manuel R, 2013). Beberapa proses ekstraksi nikel berbasis laterit diantaranya:

### 1. *Matte Smelting Process*

Proses ini terdiri dari beberapa langkah utama. Pertama, bijih dimasukkan ke dalam rotary kiln atau *vertical shaft reduction furnace* dan mengalami pemanasan dengan temperatur tinggi. Selama proses ini, air kristal tereduksi diikuti dengan reduksi nikel dan sebagian besi ke dalam *metallic state*. Kemudian, mereduksi kalsin dengan cara direaksikan dengan sulfur dalam *electric furnace*. Sulphur dapat ditambahkan baik dalam bentuk unsur maupun dalam bentuk gypsum atau pirit. Akibatnya, terak yang mengandung komponen oksida dari bijih dan sulfida nikel terbentuk. Konsentrat yang berisi 30-35% nikel, kemudian dibawa ke converter, di mana udara ditiupkan ke dalam converter, sehingga mengoksidasi besi. Konsentrat akhir yang mengandung 75-78% Ni

### 2. *Reduction Roast – Amonia Leach Process*

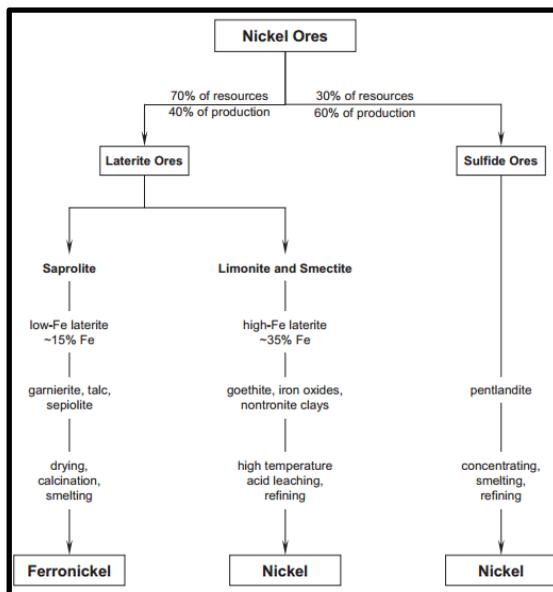
Proses ini juga disebut sebagai *Caron Process*. Ada 4 langkah yang utama, yaitu Pengeringan bijih dan *grinding*, *reduction roasting*, *leaching* dengan menggunakan larutan ammonium carbonate, dan *metal recovery*. Pada proses ini *Reduction roasting* merupakan proses yang sangat penting. Temperatur reduksi harus dikontrol dengan baik agar mendapatkan recovery nikel dan cobalt secara maksimal. *Caron Process* dapat me-recover 70 – 80% nikel dan hanya 40 – 50% kobalt. Proses ini diutamakan untuk bijih laterit jenis limonit. Ketika proses ini untuk bijih serpentin atau bijih laterit yang mengandung besi dengan



kadar rendah serta magnesium dengan kadar yang tinggi, maka recovery nikel akan menurun secara signifikan. Dikarenakan magnesium lebih dominan untuk bereaksi dengan silica dan NiO, hal ini membuat sebagian besar NiO akan tidak tereduksi ketika proses reduksi *roasting*.

### 3. *Electric Furnace Smelting to FerroNickel*

Pada proses ini, bijih pertama dipanaskan dan dikalsinasi untuk menghilangkan uap air dan air yang berikatan secara kimia, kemudian diproses langsung ke tanur listrik dan mengalami



**Gambar 2. 2** Diagram Ekstraksi Nikel dan *FerroNickel* (Crundwell, 2011).

reduksi dan mencair pada temperatur sekitar 1550°C. Hampir semua nikel dan sebagian besar besi tereduksi pada tahap ini dan paduan *FerroNickel* terbentuk, yang biasanya mengandung sekitar 25% Ni. Proses terakhir yaitu memurnikan *crude FerroNickel* menjadi produk yang dapat dijual. Proses pemurnian yang



dilakukan yaitu mengeluarkan *crude FeNi* dari tanur listrik ke dalam *Ladle*, dimana zat additive seperti soda ash, lime, dan *calcium carbide* ditambahkan ke dalam *crude FeNi* untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor (Li, 1999).

### 2.3. Aglomerasi Nikel Laterit

Pada penelitian ini, *Mini Blast Furnace (MBF)* nantinya akan dipilih untuk digunakan sebagai reaktor 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* sehingga akan lebih menghemat konsumsi energi dan juga waktu yang membuatnya lebih efisien dan ekonomis.

Salah satu feed material pada reaktor *Mini Blast Furnace* adalah fluks. Fluks berguna untuk menjaga tingkat basisitas slag agar proses pengolahan / *smelting* dapat berjalan dengan baik. Akan tetapi, jika fluks tersebut langsung dimasukkan dalam *mini blast furnace* maka akan membutuhkan banyak energi untuk menaikkan temperatur fluks tadi. Sehingga, fluks akan lebih baik ditambahkan saat proses persiapan material / *roasting* sebelum masuk ke dalam *mini blast furnace*. Oleh karena itu diperlukan suatu proses penggumpalan (aglomerasi) yang dilanjutkan dengan proses *roasting*.

Proses aglomerasi menjadikan ore laterit yang berupa tanah digumpalkan yang telah dicampur dengan batubara serta fluks dengan komposisi tertentu. Sehingga *burden material* hasil aglomerasi akan sesuai untuk proses pada *mini blast furnace*.

Proses aglomerasi yang digunakan berupa pembriketan. Campuran dari laterit, batu bara, dan fluks dikompresi dalam suatu cetakan dengan bentuk tertentu, dengan komposisi tambahan berupa kanji yang berfungsi sebagai zat pengikat.

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 negative pada proses roasting. Kanji dipilih sebagai binder karena kanji merupakan zat organic, yang



**Gambar 2. 3** Briket Pillow (wikipedia.org)

akan terbakar habis saat pemanasan.

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

1. Menghilangkan sisa kadar air pada ore (untuk menghindari terjadinya ledakan pada *mini blast furnace*)
2. Mereduksi sekitar seperempat nikel dalam ore menjadi nikel metal
3. Mereduksi mineral  $Fe^{3+}$  menjadi mineral  $Fe^{2+}$  dengan kadar tinggi dan sekitar 5 % dari besi menjadi besi metal

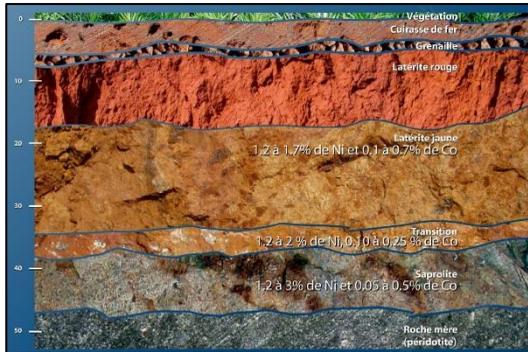


4. Menambah batu bara dengan cukup, sehingga kadar mineral yang tersisa untuk reduksi tahap akhir pada *mini blast furnace*.

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.

#### **2.4. Nikel Saprolit**

Nikel saprolit merupakan bagian dari lapisan batuan yang sudah lapuk, dan berupa bongkahan lunak berwarna coklat kekuningan sampai kehijauan. Pada beberapa endapan nikel laterit, zona ini memiliki ciri-ciri adanya batuan yang dilapisi oleh *boulder saprolite*. Zona saprolit mengalami perubahan geokimia yang termasuk sedikit, hanya penambahan kadar nikel dari awalnya 2% menjadi sekitar 4%, dan Magnesium serta Silikon larut secara alami. Berdasarkan kandungan fragmen batuan, zona saprolit dibagi menjadi 2 jenis yaitu:



**Gambar 2. 4** Endapan Batuan Laterit (PT Vale Indonesia, 2011)

a. Sub Soft-saprolit

Mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder kurang dari 25%

b. Sub Hard-saprolit

Mengandung fragmen-fragmen berukuran boulder kurang dari 50% (Freysenet et al, 2005).

Nikel laterit jenis limonit dapat dilihat dari kadar Fe yang tinggi dan nikel laterit jenis saprolit memiliki kadar MgO yang tinggi dimana kadar nikel dalam limonit berkisar antara 0,8% sampai dengan 1,5% dan kadar nikel dalam saprolite berkisar 1,8 sampai dengan 3%.

### 2.5. Nikel Limonit

Nikel limonit adalah bagian pada nikel laterit yang letaknya tidak terlalu dalam pada endapan batuan laterit, sehingga jumlahnya lebih banyak digali daripada nikel saprolit. Keberadaan nikel limonit banyak terjadi pada batuan endapan oksida, yang

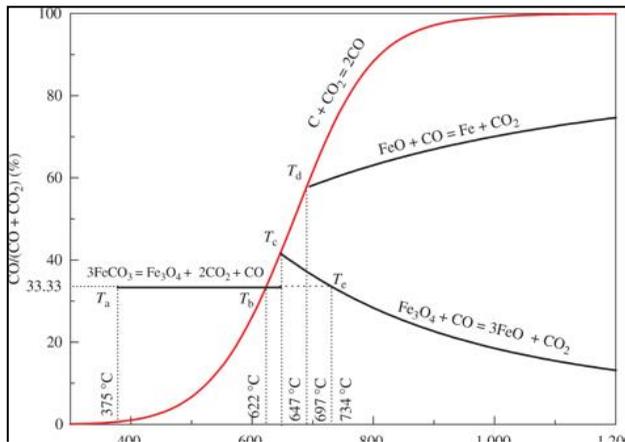


bercampur dengan mineral utama goethite. Kadar Ni pada endapan ini sekitar 1,2% lebih rendah daripada endapan batu yang lainnya, sehingga kurang ekonomis jika diproses. Namun karena letaknya pada permukaan bumi lebih mudah dijangkau, oleh karena itu para pelaku industri banyak yang menggunakannya.

Pada umumnya pengolahan bijih limonit menggunakan teknik hydrometallurgy, karena kandungan MgO yang rendah cukup dihilangkan dengan cara pelarutan, sedangkan bijih saprolit yang memiliki kadar MgO tinggi umumnya menggunakan pyrometallurgy.

## 2.6. Reduksi Laterit

Pada proses pembakaran batubara didalam furnace, batubara akan bereaksi dengan gas  $\text{CO}_2$  menjadi gas  $\text{CO}$ . Perubahan bentuk dari fixed karbon C menjadi  $\text{CO}$  ini dinamakan reaksi boudouard. Gaussner-Boudouard telah membuat suatu diagram yang menggambarkan kesetimbangan antara *hematite*, *magnetite*, *wustite*, fixed karbon, gas  $\text{CO}$ , serta gas  $\text{CO}_2$ . Diagram ini merupakan dasar untuk reduksi langsung dengan karbon padat. Selain itu kita juga mampu mengetahui kadar  $\text{CO}$  ketika terbentuk senyawa seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{FeO}$



Gambar 2. 5 Diagram Boudouard (de gruyter.com)



dan lainnya. Pada diagram boudouard terdapat kesetimbangan besi oksida dengan campuran gas CO/CO<sub>2</sub> seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:



Selain itu berikut adalah reaksi selective reduction dimana terjadi pengikatan Fe yang akan membentuk FeS



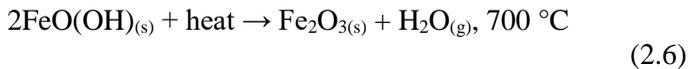
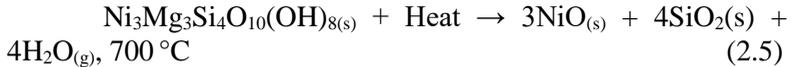
Pada daerah disebelah kanan garis kesetimbangan boudouard, gas CO lebih stabil, sehingga gas CO<sub>2</sub> akan mengalami reaksi Boudouard yang membentuk gas CO. Sedangkan pada daerah disebelah kiri garis kesetimbangan boudouard, gas CO<sub>2</sub> akan lebih stabil sehingga gas CO yang ada akan terurai menjadi CO<sub>2</sub>. Fenomena inilah yang merupakan reaksi boudouard adalah reaksi yang endotermik sehingga membutuhkan temperature tinggi untuk berjalan. Dari diagram tersebut terlihat bahwa pada keadaan standard, Fe baru dapat terbentuk dengan kadar CO sekitar 60%. Persentase CO itu sendiri dipengaruhi oleh kadar karbon pada sampel dan kadar oksigen pada lingkungan.

Diagram Boudouard digunakan sebagai alat untuk memprediksi pembentukan senyawa-senyawa saat terjadi proses reduksi. Misal contohnya, jika karbon yang digunakan sebesar 8%, 16%, 24% dan 32% yang berasal dari briket batubara dengan temperature reduksinya yaitu 1250 °C. Dari

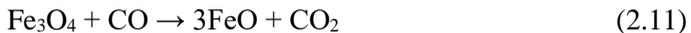
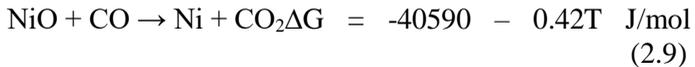
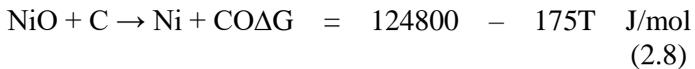
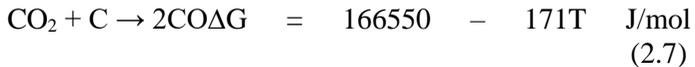


sini dapat diprediksi bahwa senyawa yang terbentuk pada daerah temperature seperti  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , dan  $\text{NiO}$ . Berikut adalah reaksi yang terjadi pada proses reduksi nikel laterit bijih limonit:

- Dekomposisi garnierite dan goethite (ore)



- Reduksi reduksi  $\text{NiO}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :



Gas CO juga perlu dipertimbangkan sebagai agen reduktor, karena 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 (Tyroler & Landolt, 1998).



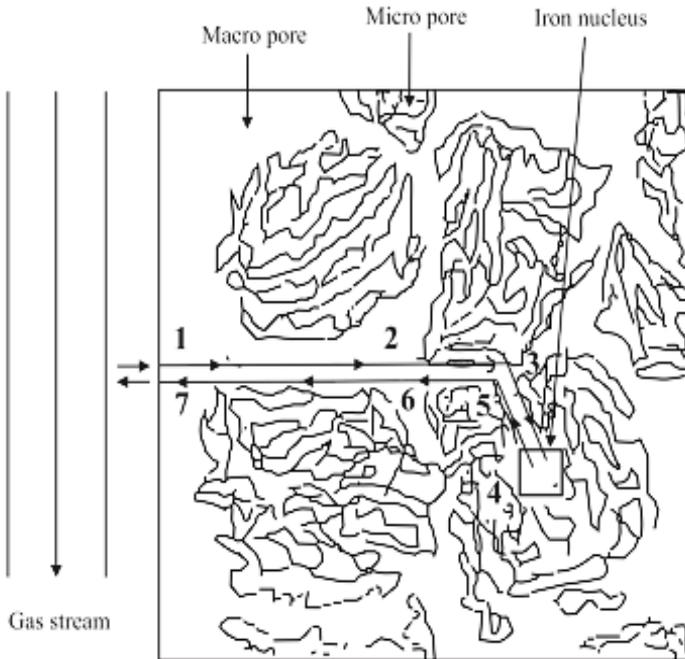
Selain termasuknya gas CO dalam proses reduksi, *burden material* harus memiliki standar yang baik dan sesuai dengan kebutuhan reduksi. Karakteristik *burden material* yang sesuai pada proses *Blast Furnace* diantaranya:

- Kandungan oksigen, semakin sedikit kandungan oksigen yang dihilangkan saat aglomerasi, akan semakin efisien proses di *Blast Furnace*
- Fasa yang terbentuk dari *burden material*. Standar fasa yang terbentuk pada *nickel ore sinter* umumnya berupa : Magnetit, *Calcium Ferrite*, *Fayalite*, *Olivines* (Gupta, 2010).
- Permeabilitas, kontak antara gas reduktor dengan *burden ore* sangat penting dalam proses di *Blast Furnace*. Untuk optimasi kontak antara gas reduktor dengan *burden material* perlu adanya permeabilitas dari *burden material*. Permeabilitas semakin tinggi akan semakin baik. Permeabilitas dipengaruhi oleh jumlah pori dari *burden ore*. Dimana semakin banyak pori pada *burden ore* maka akan semakin luas permukaan dari *burden ore* yang akan berinteraksi dengan gas reduktor.
- Ukuran *burden material*, ukuran minimal dari *burden material* pada *Blast Furnace* yaitu 5 mm. Ukuran minimal ini didapat dari *Shatter Index*. *Shatter Index* merupakan nilai ketahanan suatu *burden material* yang dijatuhkan dari ketinggian 2 meter (Bhavan & Marg, 1981).
- Komposisi kimia, meliputi Basisitas,  $Al_2O_3$  dan  $MgO$  yang berperan penting dalam proses.
- 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* (Geerdes, Toxopeus, & Vliet, 2009).



Untuk mengetahui bagaimana terbentuknya mineral ketika terjadi reaksi reduksi, kita perlu memahami mengenai kinetika reaksi bijih laterit. 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. (Bogdandy, Von, & Engell, 1971).



**Gambar 2. 6** Garis besar mekanisme reduksi untuk mineral berpori (Bogdandy, Von, & Engell, 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.



---

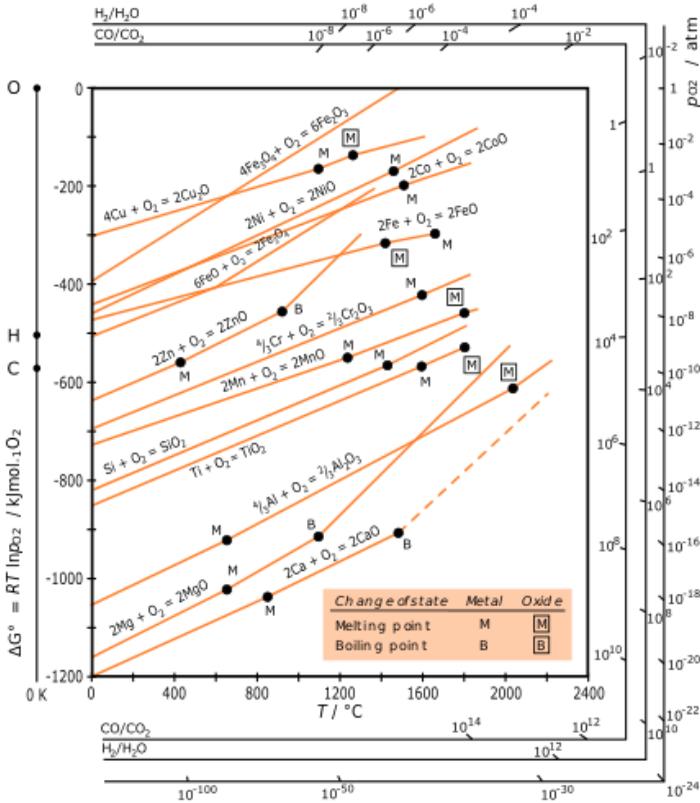
Dari semua mekanisme reduksi, langkah-langkah yang mendasar dalam reduksi bijih mineral, diantaranya (Takuda, Yoshikoshi, & Ohtano, 1973) :

- 1) Perpindahan panas dalam reaksi antarmuka
- 2) Perpindahan massa antara gas dan permukaan padat oksida, yang meliputi difusi gas reduktor ke dalam 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.



## 2.7. Termodinamika Reduksi

Aspek termodinamika diperlukan dalam sebuah penelitian agar kita dapat menjelaskan apakah suatu reaksi dapat terjadi atau tidak. Akan tetapi kita tidak dapat memprediksi kecepatan reaksi dengan termodinamika. Termodinamika berhubungan langsung dengan diagram *Ellingham*. Diagram *Ellingham* menunjukkan energy



Gambar 2. 7 Diagram Ellingham (Wikipedia.org)

bebas standar untuk suatu reaksi dengan temperature. Pada diagram ini, logam yang aktif memiliki senergi bebas paling tinggi atau paling negative, dalam membentuk oksida terletak dibagian



paling bawah. Sedangkan untuk logam yang memiliki energy bebas terkecil (positif) dalam membentuk oksida terletak di bagian paling atas. Persamaan dari energy bebas Gibbs ialah:

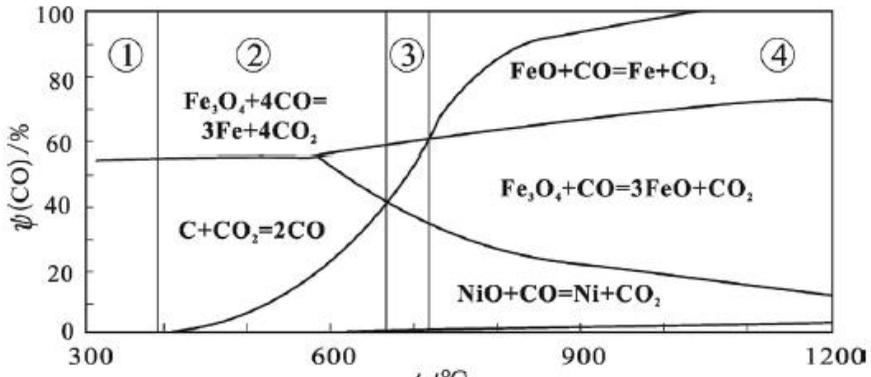
$$\Delta G = -T (\Delta S + \Delta H) \quad (2.12)$$

Dimana H merupakan entalpi, T merupakan temperature, dan S adalah entropi. Entalpi adalah besaran dari energy actual yang dilepaskan ketika reaksi berlangsung. Jika entalpi negative, berarti reaksi tersebut memberikan energy, sedangkan bila entalpinya positif, maka reaksi tersebut membutuhkan energy. Pemberian karbon sebagai reduktor merujuk pada diagram *Ellingham*. Pada diagram ini, garis-garis stabilitas oksida nikel dan besi berpotongan dengan garis stabilitas oksidasi karbon sehingga secara termodinamik reaksi reduksi kedua oksida logam oleh karbon dapat terjadi.

Fixed karbon yang berasal dari batubara bereaksi dengan gas  $\text{CO}_2$  untuk menghasilkan gas CO. Gas CO ini juga akan bereaksi secara tidak langsung dengan NiO dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , untuk menyerap panas. Dibawah ini merupakan grafik kesetimbangan termodinamika dari NiO dan oksida besi yang direduksi oleh karbon. Daerah 1 ( $t < 400^\circ\text{C}$ ) adalah daerah stabil untuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan NiO. Sementara daerah 2 ( $400^\circ\text{C} < t < 656^\circ\text{C}$ ) adalah daerah yang stabil untuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan Ni. Daerah 3 ( $656^\circ\text{C} < t < 710^\circ\text{C}$ ) adalah daerah yang stabil untuk FeO dan Ni. Dan yang terakhir, daerah keempat adalah ( $t > 710^\circ\text{C}$ ) daerah yang stabil untuk Fe and Ni (Chang Cao, 2016).



Secara teori, ketika temperature reduksi berada di sekitar  $656^{\circ}\text{C}$  -  $710^{\circ}\text{C}$ , zat Ni yang ada di dalam bijih laterit dapat direduksi menjadi nikel metalik, tetapi besi masih dalam fase FeO, sehingga diperlukan pemisahan secara magnetic untuk meningkatkan kadar nikelnya. Tetapi tetap saja hal ini sulit dilakukan karena hanya teori saja, dan apabila dapat tercapai maka



**Gambar 2. 8** Grafik Kesetimbangan Termodinamika Reduksi NiO dan Oksida Besi dengan karbon (Chang Cao, 2016)

hasilnya akan ideal. Hal yang membuat proses ini sulit dilakukan ialah karena:

- 1) Reduksi pada temperature  $656^{\circ}\text{C}$  -  $710^{\circ}\text{C}$  belum mencapai temperatur gasifikasi karbon yang pas, sehingga sulit untuk melihat pengurangan oksida nikel secara penuh, yang hanya mengandalkan pengurangan fase padat dari bijih nikel laterit dan batu bara.
- 2) Pemakaian temperatur daerah bukan merupakan tujuan penelitian, dimana jika ingin memakai temperature  $656^{\circ}\text{C}$  -  $710^{\circ}\text{C}$  tujuannya adalah meningkatkan temperature eksperimen yang digunakan untuk mempercepat proses reduksi dari nikel dan oksida besi, yang kemudian dipisahkan dari slag dengan temperature yang sangat tinggi (Chang Cao, 2016).



## 2.8. Batu Bara

**Tabel 2. 1** Klasifikasi Batubara

Klasifikasi	Fixed Carbon (%) <sup>a</sup>	Volatile Matter (%)	Heating Value (BTU/lb)
<b>Antrasit</b>			
Meta-antrasit	>98	<2	
Antrasit	92-98	02-Aug	
Semi-antrasit	86-92	Aug-14	
<b>Bituminous</b>			
Low Volatile	78-86	14-22	
Medium Volatile	69-78	22-31	
High Volatile A	<69	>31	>14,000
High Volatile B			13,000-14,000
High Volatile C			10,500-13,000
<b>Sub-Bituminous</b>			
Sub-Bituminous A			10,500-11,500
Sub-Bituminous B			9,500-10,500
Sub-Bituminous C			8,300-9,500
<b>Lignit</b>			
Lignit A			6,300-8,300
Lignit B			<6,300

Batubara adalah batuan organik jika dibandingkan dengan batuan lainnya di kerak bumi, seperti tanah liat dan batu pasir, yang termasuk batuan inorganik. Kandungan utama batubara terdiri atas karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen, serta beberapa unsur inorganik seperti mineral dan air (H<sub>2</sub>O). Batu bara adalah salah satu bahan bakar fosil, atau tidak dapat diperbaharui. Pengertian umumnya adalah batuan sedimen yang dapat terbakar, terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan.

Berdasarkan sifat bahannya, batu bara umumnya dibagi dalam 4 kelas : antrasit, bituminus, sub-bituminus, dan lignit.



1. Antrasit adalah batubara dengan kelas terbaik, berwarna hitam berkilau, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.
2. Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.
3. Sub-bituminus mengandung sedikit karbon dan banyak air, dan oleh karenanya menjadi sumber panas yang kurang efisien dibandingkan dengan bituminus.
4. Lignit atau batu bara coklat adalah batu bara yang sangat lunak yang mengandung air 35-75% dari beratnya.

Menurut Radovic (2010) batubara dibentuk dari tanaman zaman purba pada lingkungan rawa-rawa, kemudian terbentuk setelah puluhan atau ratusan juta bertahun-tahun kemudian. Keberadaan air dalam tanaman tersebut menahan jumlah oksigen dan memungkinkan panas serta dekomposisi bakteri bereaksi dengan tanaman. Dengan kondisi tersebut, pembusukan tanpa oksigen terjadi dalam tahap biokimia yang disebut pembentukan batubara.

Sedangkan menurut C. F. K. Diessel (1992) pembentukan batubara diawali dengan proses biokimia, kemudian diikuti oleh proses geokimia dan fisika, proses yang kedua ini sangat berpengaruh terhadap peringkat batubara, *coal rank* yaitu



**Gambar 2. 9** Batubara (Atrum Coal)



perubahan jenis mulai dari gambut ke lignit, bituminous, sampai antrasit. Faktor yang sangat berperan didalam proses kedua tersebut adalah temperatur, tekanan, dan waktu.

### 2.9. Sub-Bituminous

Batubara sub-bituminous ( $C_{75}OH_5O_{20}$ ) adalah salah satu jenis batubara yang banyak digunakan didalam industri, batubara subbituminous terbentuk terutama di negara yang memiliki pegunungan yang berbatu dan keras. Sub-bituminus juga digunakan secara eksklusif untuk pembangkit tenaga listrik pada negara negara tersebut seperti China, United States, dan lainnya. Batubara sub-bituminous adalah batubara penggunaan komersial terbesar di Amerika Serikat. Dua deposit utama batubara bituminous berada di negara pegunungan Appalachian timur Kentucky, Virginia Barat, Ohio, West Virginia, dan Pennsylvania. Batubara sub-bituminous digunakan untuk tenaga generator listrik, dan beberapa batubara bituminous khusus dikonversi ke kokas untuk digunakan dalam industri metalurgi.

Sub bituminous adalah lignit yang telah mengalami peningkatan metamorfosis organik. Metamorfosis ini telah mendorong sejumlah oksigen dan hidrogen menjadi batubara. Sub-bituminous memiliki nilai kalor antara 8,300 dan 13,000 British Thermal Unit per pon secara mineral-materi-bebas. Atas dasar nilai kalor dan volatile matter nya, maka batubara sub-bituminous dibagi menjadi sub-bituminous A, sub-bituminous B, dan sub-bituminous C.

### 2.10. Volatile Matter

Volatile Matter adalah produk yang dilepaskan oleh bahan-bahan gas atau uap, yang ditentukan oleh metode tertentu. Salah satu kegunaan utamanya dalam industry adalah penentuan sifat-sifat batubara.

Dalam batubara, volatile matter berarti selain kelembaban, juga zat yang dilepaskan sebagai gas dan uap selama pembakaran. Zat ini biasanya terdiri atas campuran rantai hidrokarbon/hidrokarbon aromatik. Volatile matter ini penting



untuk mengevaluasi proses pembakaran dan karakteristik batubara. Definisi lain dari volatile matter adalah zat yang menguap. Volatilitas zat ini diukur dengan tekanan uap, yang di titik mana zat berubah dari padat menjadi gas, atau sebaliknya.

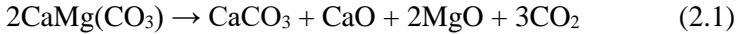
Zat dengan tekanan uap tinggi dapat menguap dengan mudah, sementara tekanan uap yang lebih rendah membutuhkan energi lebih banyak. Ketika diterapkan pada material, tekanan uap menentukan volatilitas. Sejak zat volatil memiliki kecenderungan untuk lebih mudah terbakar dari satu non-volatile, maka penting untuk mempelajari volatilitas di sumber bahan bakar untuk menentukan kegunaannya keseluruhan.

Volatile matter batubara dapat ditentukan dengan cara memanaskan batubara dengan 950 °C dalam kondisi yang terkendali dengan hati-hati, dan tidak termasuk berat air didorong pada 105°C). Tes ini biasanya dilakukan dalam ruang hampa. Analisis gas ini merupakan salah satu cara utama untuk menentukan penggunaan terbaik untuk batu bara dari daerah yang berbeda. Beberapa jenis memiliki konsentrasi yang lebih tinggi dari bahan-bahan tertentu, dan yang memungkinkan bahwa batubara tertentu untuk tampil lebih baik di fungsi-fungsi tertentu. Misalnya, lignit memiliki kandungan zat terbang sangat tinggi, bersama dengan kelembaban tinggi. Kelembaban dan volatilitas analisis menunjukkan bahwa luka bakar untuk waktu yang lama dengan api kecil dan banyak asap.

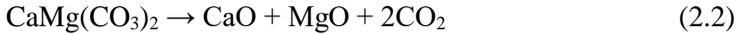
### 2.11. **Dolomit**

Dolomit merupakan bahan alam yang banyak terdapat di Indonesia. Dolomit merupakan salah satu batuan sedimen yang banyak ditemui (Noviyanti dkk, 2015). Senyawa yang ada pada dolomit yaitu gabungan antara kalsium karbonat dengan magnesium karbonat [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ].

Dolomit akan terdekomposisi termal secara langsung membentuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{CO}_2$  disertai dengan pembentukan  $\text{MgO}$  pada temperature antara 700 °C hingga 750 °C. Dimana reaksi yang terjadi yaitu:

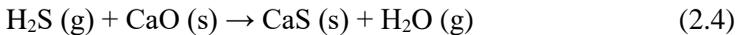


Pada temperature yang lebih tinggi,  $\text{CaCO}_3$  akan mulai terdekomposisi meskipun masih terdapat dolomit ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ). Reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$  akan berlangsung secara spontan yang terdiri dari 2 reaksi, yaitu:



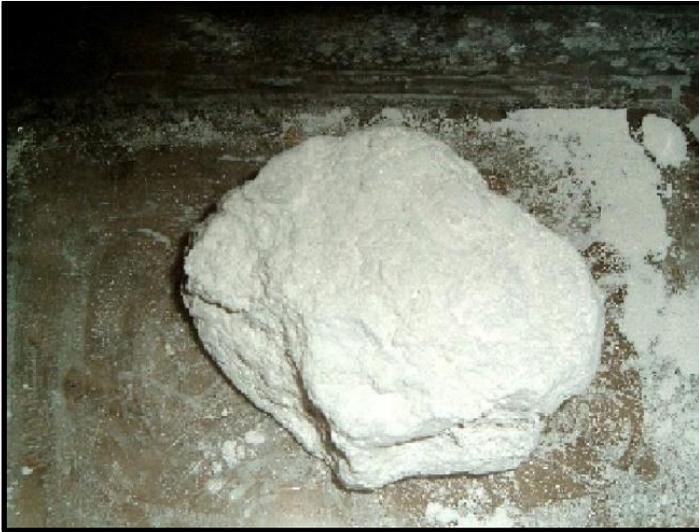
Reaksi tersebut akan berlangsung secara spontan pada temperature 780 – 785 °C serta terdekomposisi secara keseluruhan pada temperatur 950 – 960 °C (Philip Engler, dkk. 1988).

Dalam penelitian ini dolomit yang digunakan berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  dalam proses reduksi. Gas  $\text{CO}_2$  ini berguna untuk reaksi pembentukan gas CO (Reaksi Boduard). Gas  $\text{CO}_2$  diperoleh dari reaksi dekomposisi dolomit dan  $\text{CaCO}_3$ . Selain itu dolomit juga berperan sebagai flux agent atau pengikat pengotor. Dolomit dapat berperan dalam proses desulfurisasi batubara pada range temperatur 870 – 1037 °C (Spencer. 1985), dengan reaksi:



Peningkatan kadar Ni cenderung lebih rendah dari reduksi menggunakan flux jenis lain karena adanya MgO yang terbentuk dari dekomposisi termal pada dolomit.

Dimana MgO akan menyebabkan fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tidak dapat menjadi fasa liquid pada temperatur reduksi. Disisi lain, fasa *liquid* yang sedikit dapat meningkatkan *solid* difusi, *solid* difusi yang diharapkan yaitu Ni dapat bersubstitusi dengan atom Fe ke dalam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Karena itu dengan adanya MgO dapat menurunkan kadar Ni (Fan, Min, Tao, Li-shun, & Xu-Ling, 2010)



**Gambar 2. 10** Batu Kapur (batugamping.com)

### 2.12. **Kajian pada Penelitian Sebelumnya**

Pada tahun 2016, Rudi Subagja, Agus Budi dan Wahyu Mayangsari melakukan percobaan untuk mengamati pengaruh penambahan batubara terhadap kadar nikel dan besi dalam konsentrat, yang dipelajari dengan menggunakan pelet yang mengandung campuran bijih nikel laterit, batubara dan  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Komposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  sebesar 10%, reduksi dilakukan pada temperature 1000 °C dan waktu pemanggangan selama 1 jam ditetapkan sebagai variabel tetap.

Kandungan batubara dalam pelet divariasikan dari 5% sampai 20% (variabel berubah). Hasil percobaan diperlihatkan pada table dibawah ini. Dari data hasil percobaan, dapat dilihat bahwa kenaikan kandungan batubara dalam pelet nikel laterit dari 5% menjadi 15% tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap kenaikan kadar nikel dalam konsentrat. Akan tetapi apabila kandungan batubara dalam pelet dinaikkan menjadi 20% maka kadar nikel dalam konsentrat naik menjadi 5,20%, dan perolehan



nikel serta besi dalam konsentrat turun masing-masing menjadi 30,17% dan 26,14%.

**Tabel 2. 2** Pengaruh Penambahan Batubara Terhadap Kadar Nikel dan Besi Dalam Konsentrat

Batubara Dalam Pelet (%)	Kandungan Logam Dalam Hasil Reduksi (%)		Kandungan Logam Dalam Konsentrat (%)		% Perolehan Logam Dalam Konsentrat	
	Ni	Fe	Ni	Fe	Ni	Fe
5	1,72	52,15	1,92	58,20	98,90	98,72
10	1,62	52,79	2,26	63,51	96,14	83,29
15	1,62	51,07	1,97	59,01	96,32	91,16
20	1,67	23,16	5,20	62,40	30,17	26,14

Sementara pada tahun 2012, Suprayogi meneliti mengenai pengaruh penambahan batubara pada proses roasting reduksi bijih nikel laterit. Penelitian ini menggunakan jumlah batubara pada briket sebesar 8%, 16%, 24% dan 32%. Roasting dilakukan pada temperature 1250°C. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa senyawa senyawa yang terbentuk pada hasil roasting tersebut ialah NiO, SiO<sub>2</sub>, FeNi, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> secara berurutan. Jumlah kadar batubara mempengaruhi pembentukan senyawa pada roasting tersebut.

Sedangkan pada tahun 2011, Tri Anriani, Mukiat, dan Eko Handayani melakukan penelitian mengenai perbandingan kualitas batubara TE-67 di *Front* penambangan PT Bukit Asam, Sumatera Selatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini ialah analisa analisa proksimat untuk mengetahui kandungan nilai kalori, total moisture dan ash content dari batubara di *front* dan di *stockpile*. Kemudian sample dipanaskan selama 1 jam dengan temperature 500°C dan dinaikan sampai 815°C supaya didapat persentase abu.



Pada penelitian ini dilakukan analisis proksimat dan ultimat untuk mengetahui kualitas batubara pada *front* dan *stockpile*.

Batubara yang dianalisis kualitasnya yaitu batubara TE-67. Pengujian di laboratorium ada dua cara. Yang pertama *quick test* atau analisa cepat. Pengujian ini dilakukan pada sampel batubara yang berasal dari *front* dan *stockpile*. Lama proses pengujian ini berlangsung selama 4-6 jam. Hal ini dilakukan untuk memenuhi permintaan batubara yang akan dikirim atau dijual ke pasaran. Kedua *general analisis* (analisa normal), proses ini dilakukan selama 24 jam dan biasanya digunakan untuk menguji sampel yang berasal dari *front* penambangan.

### 2.13. Devolatilisasi

Pada saat proses pengeringan partikel bahan bakar padat (solid fuel) telah sempurna, temperature partikel akan meningkat dan bahan bakar mulai terurai melepas volatile matter. Karena aliran volatile matter yg keluar dari padatan melalui pori pori bahan bakar, partikel oksigen diluar partikel bahan bakar tidak dapat masuk ke dalam partikel bahan bakar, oleh karena itu proses devolatilisasi ini disebut tahap pirolisis.

Laju devolatilisasi dan hasil-hasil pirolisis bergantung pada temperature dan jenis bahan bakarnya. Hasil pirolisis yang mengandung  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ , gas hidrokarbon (C-H) serta tar yang bercampur dengan oksigen ini kemudian akan terbakar dan membentuk rentetan nyala api pada sekitar partikel selama oksigen berdifusi ke dalam hasil pirolisis. Nyala yang timbul pada dasarnya akan memanaskan partikel, menyebabkan meningkatnya proses devolatilisasi. Sebaliknya uap air akan mengalir keluar dari pori pori, temperature nyala api akan menjadi lebih rendah dan nyala mengalami penurunan.

Pada saat semua uap air telah keluar dari partikel, nyala akan maksimum. Proses Pirolisis menghasilkan pelepasan gas  $CO$ , Hidrokarbon dan jelaga yang terbakar sebagai api difusi (diffusion flame) di sekeliling partikel bahan bakar. Hasil pirolisis ini terbakar sebagai api difusi di sekeliling partikel bahan bakar jika  $O_2$  cukup tersedia. (Ragland and Borman, 1998).



Bahan bakar dengan kandungan volatile matter yang tinggi akan memiliki waktu pembakaran yang cepat, karena hampir semua karbon dilepaskan secara cepat selama proses devolatilisasi dan hanya sedikit yang tertinggal untuk terbakar secara lambat. Kandungan moisture yang tinggi dalam bahan bakar akan memperlambat proses pemanasan dan devolatilisasi, tetapi tidak mempunyai pengaruh signifikan pada pembakaran bahan bakar padat (Winter, et al, 1997).

Proses pirolisis partikel bahan bakar padat seperti kayu atau batubara dapat diilustrasikan dalam bentuk lingkaran. Sejumlah panas mengalir menuju bagian dalam partikel bahan bakar dengan cara konduksi, menaikkan temperature beberapa bagian partikel secara terus-menerus (Kanury, A Murty, 1988). Arsenault dkk dan Werther (2000) menyatakan bahwa meningkatnya temperature pirolisis dan menyebabkan menurunnya jumlah arang yang terbentuk dan meningkatkan pelepasan jumlah zat volatile.

Tahap akhir proses pembakaran bahan bakar padat adalah pembakaran arang. Pada saat proses devolatilisasi telah sempurna (pyrolysis process), maka akan tersisa massa bahan bakar berupa arang (fixed carbon) dan abu. Fixed carbon memiliki sifat berpori yang dapat diilustrasikan sebagai pohon yang memiliki batang dan cabang, cabangnya dapat memiliki ukuran yang bermacam-macam (Borman, 1998). Partikel fixed carbon mengandung kadar karbon yang tinggi serta sejumlah kecil atom hydrogen.

Pada saat tidak terdapat zat volatile yang keluar dari arang dan karena arang berpori, oksigen dapat berdifusi melewati bagian luar lapisan batas dan masuk menuju partikel fixed carbon tadi. Dan selanjutnya fixed carbon tersebut akan mengalami tahapan reaksi-reaksi kimia yaitu :

- Gas Reaktan berdifusi melalui lapisan batas luarnya yang berhubungan dengan permukaan partikel arang (*mass transfer external*).
- Molekul gas reaktan berdifusi ke dalam pori-pori partikel fixed carbon (*internal mass transfer*).



- Molekul gas diserap pada permukaan dan terjadi reaksi kimia antara gas dan padatan (*adsorbtion*).
- Produk reaksi akan dilepaskan (*desorbtion*). Pembakaran fixed carbon melibatkan difusi oksigen menuju permukaan arang dan reaksi kimia pada permukaannya. Laju pembakaran arang bergantung pada laju reaksi kimia antara molekul C-H pada permukaan partikel, dan difusi oksigen internal (bagian dalam partikel).

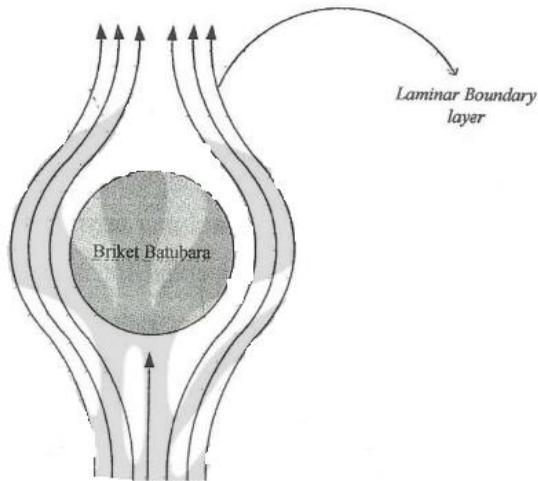
Secara keseluruhan, proses pembakaran batubara dapat dibagi menjadi berbagai tahapan, yaitu :

- a. Pengeringan, dalam proses ini bahan bakar mengalami proses kenaikan temperature yang akan mengakibatkan menguapnya kadar air yang berada pada permukaan bahan bakar tersebut, sedangkan untuk kadar air yang berada didalam akan menguap melalui pori-porinya.
- b. Devolatilisasi, yaitu proses bahan bakar mulai mengalami dekomposisi setelah pengeringan.
- c. Pembakaran, sisa dari pirolisis adalah arang (*fixed carbon*) dan sedikit abu, kemudian partikel bahan bakar mengalami tahapan oksidasi arang yang memerlukan 70 – 80% dari total waktu pembakaran. (Aswati, 2011)



#### 2.14. Mekanisme Penyalaan Batubara

Penyalaan batubara diawali dengan proses pemanasan yang bertujuan menguapkan kandungan air. Pada saat pertama briket batubara dipanaskan, akan terbentuk *boundary layer* pada permukaan briket batubara, lapisan ini terbentuk karena aliran udara pembakaran yang kontak dengan briket batubara, lapisan yang terbentuk dapat ditunjukkan seperti pada gambar dibawah :



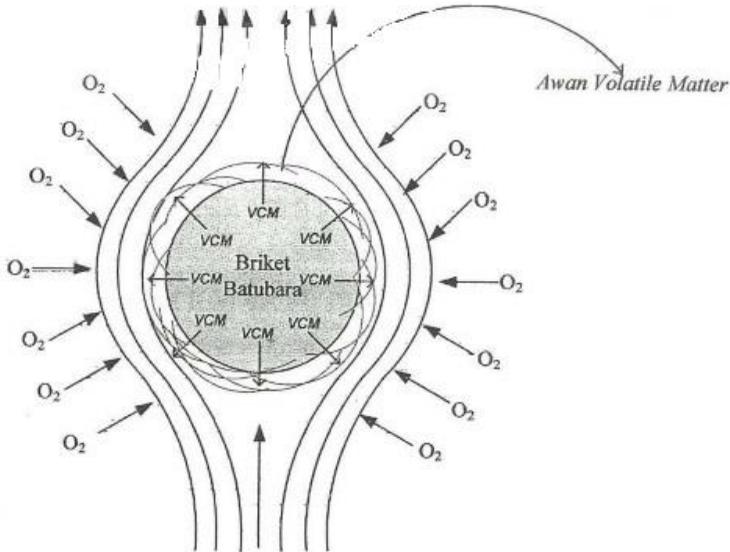
**Gambar 2. 11** Terbentuknya Lapisan Laminar Pada Permukaan Briket

Setelah uap air mengalir keluar dari pori-pori briket, proses selanjutnya adalah proses devolatilisasi yang melepaskan zat-zat *volatile* melalui pori-pori permukaan briket batubara menghasilkan gas-gas terbakar seperti  $H_2$ ,  $CO$ ,  $C-H$  dan  $C-O-H$ . Zat *volatile* yang lepas ini menghalangi penetrasi oksigen dari luar. Difusi oksigen ke dalam briket terhambat oleh adanya awan *volatile matter* pada permukaan briket, dimana awan ini ialah proses keluarnya zat-zat



volatile melalui pori-pori briket dengan kecepatan tertentu. Berikut adalah gambarnya :

Proses selanjutnya adalah proses pencampuran gas-gas yang



**Gambar 2. 12** Awan Volatile Matter Pada Briket Batubara

terbentuk dari hasil pemanasan dan devolatilisasi dengan oksigen internal yang memiliki temperature tinggi yang terjadi di permukaan batubara untuk melakukan proses pembakaran *volatile* yang menghasilkan panas untuk meningkatkan temperature batubara.

Setelah zat volatile terbakar ketika awal proses penyalaan, terjadi difusi oksigen eksternal, kemudian oksigen teradsorpsi dan bereaksi pada permukaan partikel. Lalu terjadi proses transfer panas secara konduksi dari permukaan briket ke bagian dalam briket. Pada umumnya penyalaan volatile akan terjadi lebih dulu, mengingat temperature penyalaan lebih rendah daripada temperature penyalaan karbon. Penyalaan karbon akan cepat



terjadi bila adanya radiasi yang cukup tinggi ke permukaan bahan bakar padat. (Aswati, 2011)

### 2.15. **Pembakaran Tidak Sempurna**

Pembakaran tidak sempurna terjadi akibat tidak adanya jumlah oksigen yang memadai untuk dapat terjadinya reaksi pembakaran sepenuhnya. Ketika hidrokarbon terbakar di oksigen, reaksi akan menghasilkan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}$  dan berbagai senyawa lain seperti oksida nitrogen. Pembakaran yang tidak sempurna terjadi umum dan akan menghasilkan sejumlah besar produk sampingan.

Pembakaran parsial (*incomplete combustion*) terjadi jika proses pembakaran bahan bakar menghasilkan “Intermediate Combustion Product” seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ , aldehid, disamping  $\text{CO}_2$  dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Jika oksidatornya udara, gas hasil pembakaran juga mengandung  $\text{N}_2$ . Pembakaran parsial dapat terjadi antara lain karena pasokan oksidator yang terbatas atau kurang dari jumlah yang diperlukan, atau pembakaran yang didinginkan dengan partikel yang dingin. (Aswati, 2011)

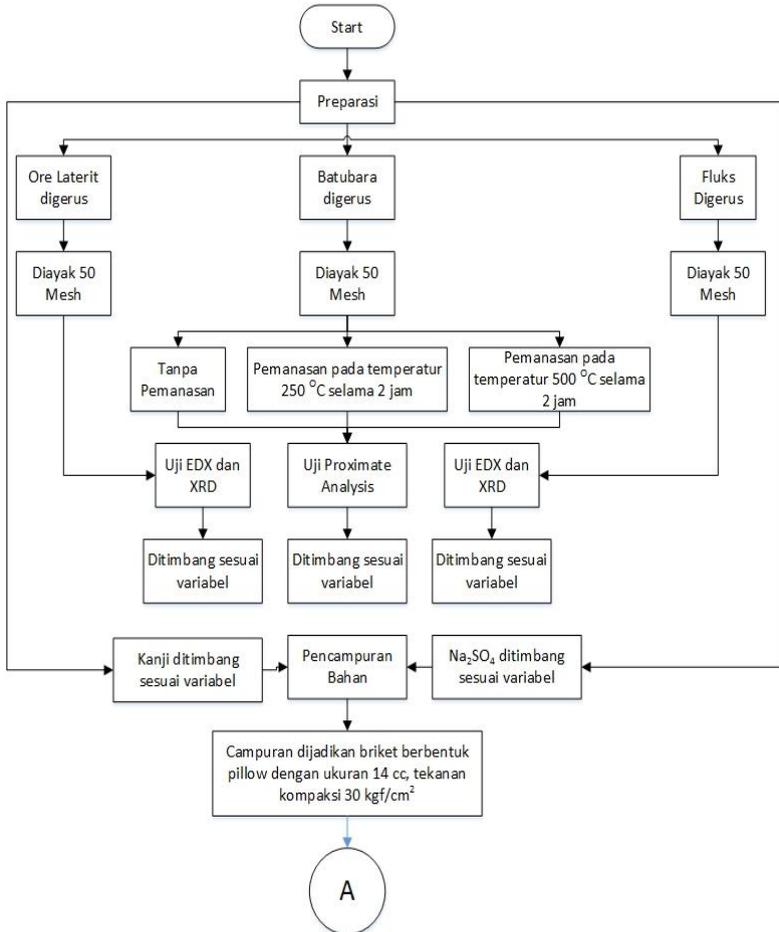


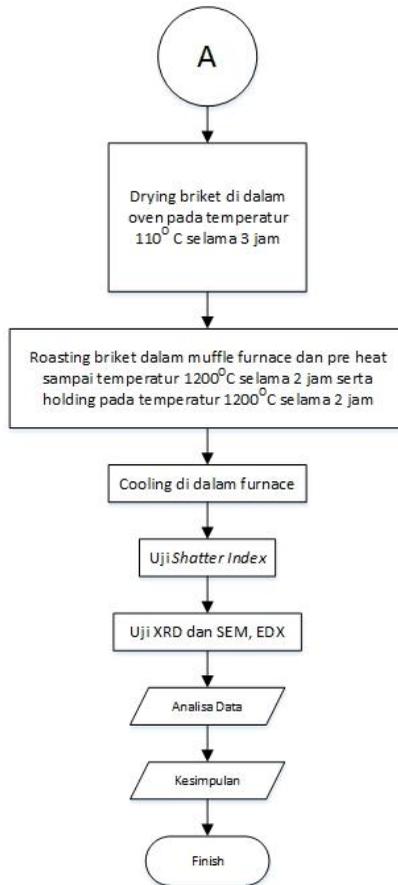
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian





**Gambar 3. 1** Diagram Alir Penelitian

### 3.2. Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:



### 3.2.1. Ore Nikel

Ore nikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah ore nikel laterit berupa limonit, yang berasal dari daerah Sulawesi Tenggara. Ore nikel dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh.

### 3.2.2. Batu Bara



**Gambar 3. 2** Batubara

Batu bara yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batu bara dengan jenis sub-bituminus dari Benuang, Kalimantan Selatan. Batu bara ini juga dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh



### 3.2.3. Batu Kapur

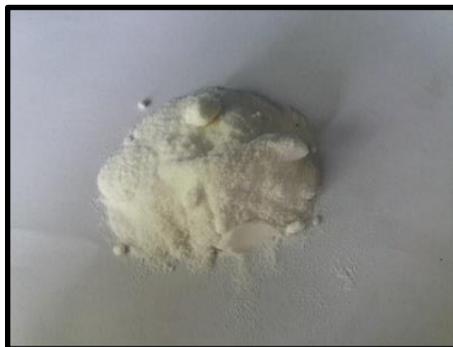


**Gambar 3. 3** Batu Kapur

Batu Kapur (Dolomite) yang digunakan dihancurkan terlebih dahulu kemudian diayak hingga berukuran 50 mesh.

### 3.2.4. Natrium Sulfat

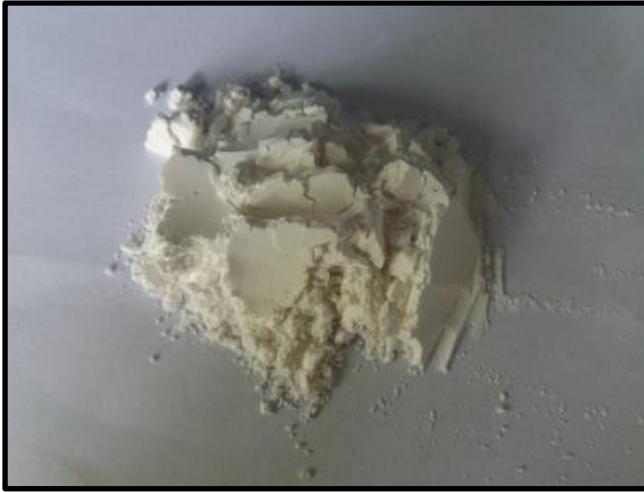
Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) digunakan dalam penelitian ini sebagai agen *selective reduction* pada nikel laterit.



**Gambar 3. 4** Serbuk Natrium Sulfat



### 3.2.5. Kanji



**Gambar 3. 5** Kanji

Kanji digunakan dalam penelitian ini sebagai pengikat (binder) dalam pembuatan briket.

### 3.2.6. Air

Air digunakan dalam pembuatan briket. Air yang digunakan yaitu air ledeng.



### 3.2.7. LPG

LPG digunakan dalam penelitian sebagai sumber bahan bakar yang digunakan dalam *Muffle Furnace*.



**Gambar 3. 6** Gas LPG

## 3.3. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

### 3.3.1. Alat Kompaksi

Alat kompaksi berfungsi untuk membentuk campuran bahan menjadi briket yang berbentuk bantal (*pillow*). Briket dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa ore, batubara, fluks, natrium sulfat, dan kanji. Volume hasil beriket yaitu  $14 \text{ cm}^3$  dan dimensi briket :

Panjang : 4,3 cm

Lebar : 3,4 cm



Tebal : 1,65 cm



**Gambar 3. 7** Alat Kompaksi

### 3.3.2. Muffle Furnace

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

Panjang : 48 cm

Lebar : 85 cm

Tinggi : 64 cm

Tebal batu tahan api : 7 cm



**Gambar 3. 8** Muffle Furnace

### 3.3.3. **Timbangan Digital**

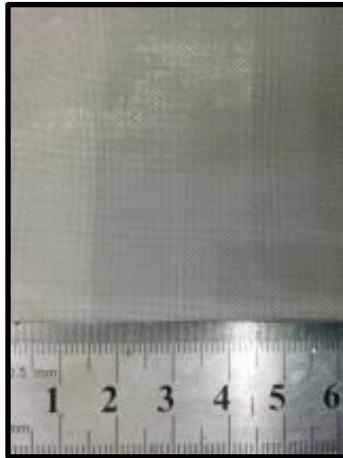


**Gambar 3. 9** Timbangan Digital



#### 3.3.4. Ayakan

Ayakan digunakan dalam penelitian ini untuk mendapatkan ukuran butir dari bahan baku yang digunakan sebagai bahan campuran pembuatan briket. Ayakan yang digunakan berukuran 50 mesh.



**Gambar 3. 10** Ayakan

#### 3.3.5. Thermocouple

*Thermocouple* digunakan untuk mengetahui temperatur di dalam *muffle furnace* saat proses aglomerasi.



**Gambar 3. 11**

### 3.3.6. Blower

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



**Gambar 3. 12 Blower**



### 3.3.7. Oven

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



**Gambar 3. 13** Oven

### 3.3.8. Alat Tumbuk

Alat tumbuk digunakan untuk menghancurkan bahan baku yang digunakan agar mendapatkan ukuran butir bahan baku yang sesuai, yaitu 50 mesh.



**Gambar 3. 14** Alat Tumbuk



### 3.4. Pelaksanaan Penelitian

#### 3.4.1. Persiapan Material

Langkah – langkah yang dilakukan pada proses preparasi material yaitu :

1. Ore laterit, batu bara, batu kapur, limestone, gypsum, dan cangkang kerang hijau ditumbuk dan dilakukan pengayakan dengan ukuran mesh sebesar 50 mesh.
2. Ore laterit, batu kapur, limestone, gypsum, dan cangkang kerang hijau diuji XRF dan XRD.
3. Batu bara diuji *proximate analysis*.
4. Pembuatan briket nikel laterit.

Ore nikel laterit hasil ayakan dicampur dengan batu bara, fluks (batu kapur / limestone / gypsum / cangkang kerang hijau), dan Natrium Sulfat. Kanji dicampur dengan air hingga 100 mL, dan dipanaskan dalam air mendidih hingga sedikit mengental. Campuran dari ore nikel laterit, batu bara, fluks, dan Natrium Sulfat ditambahkan kanji yang telah sedikit mengental dan diaduk hingga merata. Campuran dibentuk menjadi briket *pillow* dengan alat kompaksi dengan tekanan 30 kgf/cm<sup>2</sup>. Dalam satu kali proses aglomerasi dibutuhkan 4 buah briket.

5. Briket hasil kompaksi dikeringkan dengan menggunakan oven terlebih dahulu selama 3 jam pada temperatur 110 °C.

#### 3.4.2. Proses Aglomerasi

Langkah – langkah yang dilakukan dalam proses aglomerasi yaitu :

1. Briket yang telah dikeringkan dimasukkan ke dalam *muffle furnace* untuk dilakukan proses aglomerasi.
2. Pemanasan di *muffle furnace* dilakukan hingga temperatur 1200°C dengan *heat rate* 10°C / menit. Kemudian dilakukan *holding* pada temperatur 1200°C selama 3 jam.
3. Briket hasil aglomerasi didinginkan di dalam *muffle furnace*.



4. Setelah proses aglomerasi selesai, setiap sampel dikeluarkan dari *muffle furnace*.
5. Briket hasil aglomerasi selanjutnya akan dilakukan proses pengujian XRD dan EDX.

#### 3.4.3. X-Ray Diffraction (XRD)

Untuk mengetahui struktur kristal dan senyawa secara kualitatif yang terdapat pada bahan baku yang digunakan. Dalam pengujian XRD sampel yang akan diuji sebelumnya harus sudah dihancurkan terlebih dahulu hingga berukuran 200 mesh. Sinar X merupakan radiasi elektromagnetik yang memiliki energi tinggi sekitar 200 eV hingga 1 MeV. Sinar X dihasilkan oleh interaksi antara berkas elektron eksternal dengan elektron pada kulit atom. Spektrum sinar X memiliki panjang gelombang  $10^{-1} - 10$  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 sama.



**Gambar 3. 15** XRD PAN Analytical



#### 3.4.4. Scanning Electron Microscope (SEM)

*Scanning Electron Microscope (SEM)* adalah sebuah mikroskop elektron yang didesain untuk menyelidiki permukaan dari objek solid secara langsung. SEM memiliki kemampuan untuk mengetahui topografi, morfologi dari suatu sampel yang diuji.

#### 3.4.5. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX)



**Gambar 3. 16 SEM EDX**

Prinsip kerja dari alat ini adalah metode spektroskopi, dimana elektron ditembakkan pada permukaan sampel, yang kemudian akan memancarkan *X-Ray*. Energi tiap – tiap photon *X-Ray* menunjukkan karakteristik masing – masing unsur yang akan ditangkap oleh detektor EDX, kemudian secara otomatis akan menunjukkan puncak-puncak dalam distribusi energi sesuai dengan unsur yang terdeteksi. Hasil yang didapatkan dari pengujian EDX adalah berupa grafik *energy (KeV)* dengan *counts*. Dari data grafik tersebut kita bisa melihat unsur – unsur apa saja yang terkandung di dalam suatu sampel. Serta dengan pengujian EDX, didapatkan pula persentase dari suatu unsur yang terkandung di dalam suatu sampel.



### 3.4.6. Proximate Analysis

Untuk mengetahui kandungan batu bara seperti kadar moisture, volatile matter, ash, dan fixed carbon dapat dilakukan pengujian *proximate analysis*. Standar pengujian yang dilakukan yaitu ASTM D 3172-02 (Fixed Carbon), ASTM D 3173-02 (Moisture), ASTM D 3174-02 (Ash), dan ASTM D 3175-02 (Volatile matter).

#### 3.4.6.1. Moisture

Analisa kadar moisture dalam batu bara dilakukan dengan metode ASTM D 3173-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Bahan :

1. Udara kering
2. Pengering, 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 Pengering

Prosedur

1. Mengeringkan sampel dalam pengering selama 15 menit 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 ( $104^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ ). Tutup oven dan panaskan selama 1 jam. Buka oven dan dinginkan dengan pengering. Timbang segera kapsul bila telah mencapai temperatur 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)

### **1. Volatile Matter**

Analisa kadar volatile matter dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3175-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

Alat

1. Krusibel platina dengan tutup, untuk batu bara berkapasitas 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  $950 \pm 20^\circ\text{C}$ .
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 didinginkan.
4. Timbang ketika dingin
5. Presentasi weigh loss dikurangi presentasi moisture sama dengan volatile matter.

Perhitungan

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

Dimana,

A = berat sampel 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 (%)

## 2. Ash

Analisa kadar ash dalam batu bara dilakukan dengan standar ASTM D 3174-02. Sampel yang digunakan dihaluskan hingga 250  $\mu\text{m}$ .

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 temperatur 450 – 500°C selama 1 jam.
2. Memanaskan sampel hingga temperatur mencapai 700 – 750°C selama 1 jam. Kemudian lanjutkan pemanasan hingga 2 jam.
3. Pindahkan kapsul keluar dari furnace, didinginkan 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)

### 1. 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.

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

### b. Rancangan Penelitian

**Tabel 3. 1** Rancangan Penelitian

Perbandingan Komposisi Bahan dengan Jenis Batubara		Hasil Pengujian		
Jenis Batubara	Rasio Komposisi*	XRD	SEM	EDX
Sub-Bituminous 1	88.7 gr	√	√	√
Sub-Bituminous 2	88.7 gr	√	√	√
Sub-Bituminous 3	88.7 gr	√	√	√

### c. 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 *timeline* penelitian yang dilakukan



**Tabel 3. 2** Tabel Rancangan Penelitian

Kegiatan	Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Preparasi alat dan sample																
Pengujian Bahan																
Pembriketan dan Proses Reduksi																
Pengujian Hasil Reduksi																
Analisis data dan Pembahasan																



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

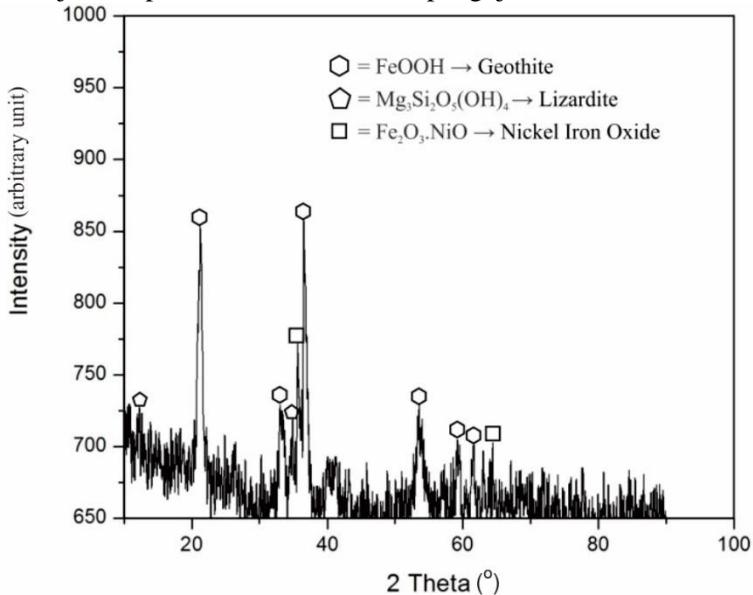


## BAB IV

### ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Karakterisasi Bijih Nikel Laterit

Identifikasi fasa dari bijih bikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Bijih nikel laterit yang digunakan berupa limonit yang berasal dari Binuang, Kalimantan Selatan. Bijih nikel laterit telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari bijih nikel laterit dapat dilihat pada Gambar 4.1. Pengujian XRD menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan



**Gambar 4. 1** Hasil Pengujian Bijih Nikel Laterit

menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada bijih nikel laterit. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa



yang terdapat pada bijih tersebut, maka dari analisa peak didapatkan fasa dominan pada bijih nikel laterit adalah *gothite* ( $\text{FeOOH}$ ). Selain itu juga terdapat fasa *lizardite* ( $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ) dan *Nickel Iron Oxide* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{NiO}$ ). Pengujian komposisi / kadar bijih nikel laterit dilakukan terhadap bijih nikel laterit hasil sampling yang sama seperti pengujian XRD. Pengujian tersebut menggunakan mesin SEM-EDX. Sehingga, didapatkan data komposisi bijih seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4. 1** Hasil Pengujian EDX Bijih Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Mn	Cr
% Wt	1,25	69,3	10,6	1,18	0,136	8,1	0,886	2,87

#### 4.2. Karakterisasi Batubara

Batubara berperan penting menyediakan karbon dalam bertindak sebagai reduktor (gas CO hasil gasifikasi batubara) yang mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi Fe dan NiO menjadi Ni.

**Tabel 4. 2** Hasil Pengujian Proximate Analisis Batubara A

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> ( <i>Moisture</i> )	3,14	%, ar	ASTM D3302-02
<b>Kadar Abu</b> ( <i>Ash</i> )	10,83	%, ar	ASTM D3174-02
<b>Kadar Karbon Tetap</b> ( <i>Fixed Carbon</i> )	47,91	%, adb	ASTM D3175-02
<b>Kadar Zat yang mudah menguap</b> ( <i>Volatile Matter</i> )	38,12	%, adb	ASTM D3172-02

\*ar: as received

\*adb: air dried basis



Pengujian *proximate analysis* merupakan pengujian sangat penting dalam menentukan kadar *moisture*, *ash*, *volatile matter*, dan *fixed carbon*. Pengujian *proximate* dilakukan berdasarkan standar ASTM D 3173-02. Hasil pengujian *proximate analysis* batubara yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.3** Hasil Pengujian Proximate Analisis Batubara B

Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> ( <i>Moisture</i> )	5,15	%, ar	ASTM D3302-02
<b>Kadar Abu</b> ( <i>Ash</i> )	8,26	%, ar	ASTM D3174-02
<b>Kadar Karbon Tetap</b> ( <i>Fixed Carbon</i> )	43,65	%, adb	ASTM D3175-02
<b>Kadar Zat yang mudah menguap</b> ( <i>Volatile Matter</i> )	42,94	%, adb	ASTM D3172-02

Batu bara ini memiliki nilai kadar karbon sebesar 42,35% ; 43.65% ; dan 47.91%. Sehingga dapat dikategorikan sebagai batu bara golongan Sub-bituminus. Hasil dari analisa proksimat di atas digunakan untuk perhitungan neraca massa yang digunakan untuk menghitung kebutuhan fluks, batu bara, Natrium Sulfat dan kanji untuk proses aglomerasi.



**Tabel 4.4** Hasil Pengujian Proximate Analisis Batubara C

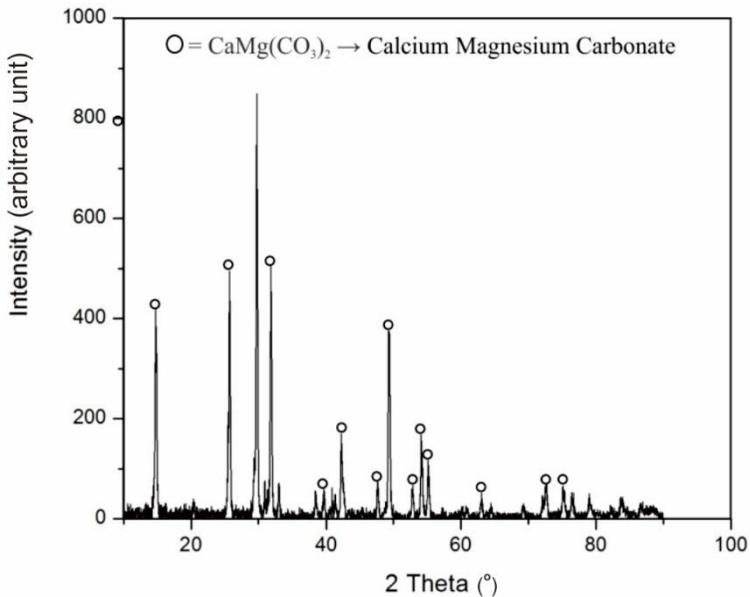
Parameter	Hasil	Unit	Standar Pengujian
<b>Kelembapan Total</b> ( <i>Moisture</i> )	1,8	%, ar	ASTM D3302-02
<b>Kadar Abu</b> ( <i>Ash</i> )	4,75	%, ar	ASTM D3174-02
<b>Kadar Karbon Tetap</b> ( <i>Fixed Carbon</i> )	42,35	%, adb	ASTM D3175-02
<b>Kadar Zat yang mudah menguap</b> ( <i>Volatile Matter</i> )	52,86	%, adb	ASTM D3172-02

#### 4.3. Karakteristik Batu Kapur (Dolomit)

Identifikasi fasa dari batu kapur dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar  $1,54056 \text{ \AA}$ . Batu kapur yang digunakan berupa dolomit yang berasal dari Gresik. Batu kapur telah diayak dengan ayakan 50 mesh atau  $300 \mu\text{m}$ . Hasil pengujian XRD dari batu kapur dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Pengujian XRD dari batu kapur menghasilkan *peak* senyawa yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 diatas. Hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Dari *peak* tersebut dapat diketahui fasa-fasa yang terdapat pada batu kapur. Semakin tinggi *peak* yang terbentuk menandakan semakin banyaknya juga fasa yang terdapat pada batu kapur tersebut, maka dari analisa *peak* didapatkan fasa dominan pada batu kapur adalah *Calcium*



**Gambar 4. 2** Hasil Pengujian XRD Batu Kapur

*Magnesium Carbonate* ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ).

Setelah mengetahui fasa dari batu kapur, selanjutnya batu kapur diuji EDX untuk mengetahui komposisi yang terdapat pada batu kapur. Sehingga, didapatkan data komposisi batu kapur seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.



**Tabel 4. 5** Hasil EDX Flux Dolomite

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (% berat)
1.	Kalsium	Ca	18,015
2.	Magnesium	Mg	14,30
3.	Karbon	C	12,6215
4.	Oksigen	O	55,0635

Dari pengujian EDX di atas tampak bahwa kapur memiliki kandungan Mg yang cukup tinggi, yaitu 14,30 %. Dari kandungan Mg tersebut dapat disimpulkan bahwa kapur yang digunakan ialah *dolostone* atau dolomit bukan *limestone*. Dari segi proses aglomerasi, baik Mg maupun Ca yang membentuk senyawa  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  akan membantu proses dengan cara menyediakan gas  $\text{CO}_2$  untuk penyediaan gas reduktor proses reduksi seperti yang ditunjukkan pada reaksi 2.8

#### 4.4. Neraca Massa Briket Nikel Laterit

Proses pembriketan yang akan dilakukan proses aglomerasi memerlukan perhitungan terhadap massa bahan yang akan dikomposisikan. Perhitungan ini berpengaruh pada keberhasilan proses aglomerasi dan komposisi yang dihasilkan. Adapun bahan yang dikomposisikan adalah bijih nikel laterit, batu bara, dan fluks dolomite, Natrium Sulfat, dan kanji. Perhitungan untuk masing-masing massa bahan tersebut dilakukan dengan memperhatikan perilaku termal senyawa penyusunnya pada temperatur 1200 °C.

Komposisi batu bara diperhitungkan berdasarkan kebutuhan gas CO, sesuai reaksi Boudouard (2.23), sebagai agen reduktor untuk mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan NiO. Batu bara juga diperlukan untuk kebutuhan gas CO sebagai agen reduksi dekomposisi  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Kebutuhan Natrium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) ditentukan dari 10% massa total briket setelah dihitung neraca massa yang didapat dari bijih nikel laterit, batubara, dan fluks (Jiang, et al., 2013). Diharapkan penambahan



Natrium sulfat dapat mengikat Fe yang akan membentuk FeS sesuai reaksi (2.33) dan (2.34), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat. Kebutuhan fluks ditentukan berdasarkan target basisitas briket. Dengan penambahan komposisi kapur akan menaikkan basisitas campuran briket. Sedangkan kebutuhan kanji sebagai pengikat briket.

**Tabel 4.6** Target Aglomerasi Nikel Laterit

Target	Keterangan	Nilai	Satuan
<b>Reaksi Reduksi</b>	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$	100	Persen (%)
	$\text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO}$	100	Persen (%)
<b>Reaksi</b>	$\text{NiO} \rightarrow \text{Ni}$	100	Persen (%)
	$\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$	100	Persen (%)
<b>Basicity</b>	-	0,0565 $\rightarrow$ 1,2	-
<b>Pengikat</b>	Kanji	3	Persen (%)

Berdasarkan target proses aglomerasi briket tersebut, maka dilakukan perhitungan komposisi dengan neraca massa dengan ditentukan sebagai basis adalah bijih nikel laterit dan batasan berupa nilai basisitas yaitu 1,2. Dan diperoleh perbandingan komposisi ore: batu bara: fluks : Natrium Sulfat : kanji untuk setiap variable seperti pada tabel berikut.

**Tabel 4. 7** Perbandingan Komposisi Briket

Variabel Fluks	Bijih Nikel (gram)	Batu Bara (gram)	Fluks (gram)	$\text{Na}_2\text{SO}_4$ (gram)	Kanji (gram)	Massa Total (gram)
<b>Batubara A</b>	100	88,66	87,85	27,65	9,41	313,57
<b>Batubara B</b>	100	88,66	87,85	27,65	9,41	313,57
<b>Batubara C</b>	100	88,66	87,85	27,65	9,41	313,57



Jika melalui perhitungan prosentase massa bijih tiap variasi briket dengan kadar Fe 69,3 % dan Ni 1,25 % dalam bijih, dapat diperoleh kadar Fe dan Ni pada masing-masing briket :

**Tabel 4. 8** Kadar Fe dan Ni Pada Briket Sebelum Reduksi

Variabel Fluks	Massa Campuran Briket	Fe		Ni	
		Massa (gram)	%	Massa (gram)	%
Batubara A	313,57	69,3	22,1	1,25	0,40
Batubara B	313,57	69,3	22,1	1,25	0,40
Batubara C	313,57	69,3	22,1	1,25	0,40

Kemudian didapatkan juga unsur unsur setelah briket dilakukan proses reduksi diantaranya :

**Tabel 4. 9** Komposisi Unsur Pada Briket Setelah Reduksi

Variabel	Unsur (% berat)							
	Fe	Ni	Mg	Ca	Al	Si	Na	S
Batubara A	10,29	2,02	13,72	10,00	2,81	12,11	12,63	4,7
Batubara B	5,45	2,24	15,97	24,98	2,11	17,72	2,76	0,24
Batubara C	30,03	0,81	0,74	17,91	7,21	23,93	7,59	0,20



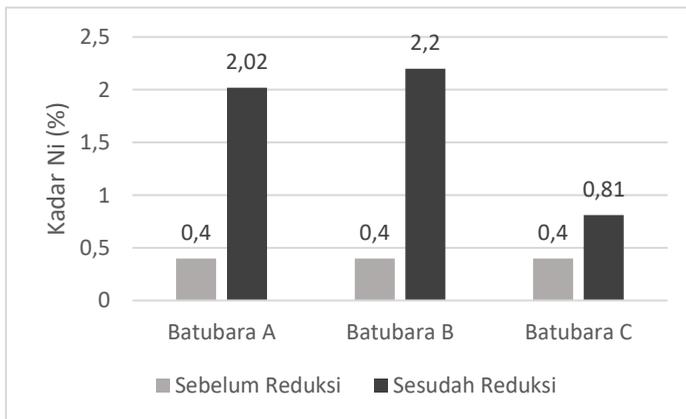
#### 4.5. Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Unsur Ni pada Briket Hasil Proses Aglomerasi

Variasi jenis batubara yang digunakan akan mempengaruhi pula kadar unsur Ni pada briket hasil proses aglomerasi. Sebelumnya berikut adalah tabel jenis variabel yang berisi kadar karbon dan Volatile Matter dari tiap variabel yang digunakan :

**Tabel 4. 10** Jenis Variabel dalam Penelitian

No.	Variabel	Kadar Karbon (%C)	Volatile Matter (%)
1	Batubara A	47,91	38,12
2	Batubara B	43,65	42,94
3	Batubara C	42,35	52,86

Kadar unsur Ni dari briket hasil aglomerasi pada setiap variabel dapat diketahui dengan pengujian EDX. Pengujian EDX dilakukan di Department Teknik Material dan Metalurgi ITS. Kadar



**Gambar 4. 3** Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Kadar Ni



Ni telah diketahui dari Tabel 4.9 sebelumnya. Berdasarkan data pada Tabel 4.9 dapat ditarik data pengaruh Jenis Batubara terhadap Kandungan Ni setelah aglomerasi, adapun hasilnya pada Gambar 4.3.

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat diketahui bahwa telah terjadi proses reduksi pada semua jenis briket. Hal ini dibuktikan dengan naiknya kadar Ni total. Pada Batubara A didapatkan kadar Nikel sebesar 2,02% dengan peningkatan sebesar 1,62% dari kadar Nikel awal sebelum reduksi. Kadar Nikel dapat meningkat karena adanya flux Dolomite seperti pada variable lainnya, yang menghasilkan gas CO<sub>2</sub> pada reaksi Boduard. Gas CO<sub>2</sub> disini berperan dalam menghasilkan gas CO sebagai agen reduktor untuk mereduksi Besi Hematit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, kadar Ni ini dapat meningkat karena kadungan *moisture* dan *volatile matter* dalam batu bara dan nikel laterit hilang.

*Volatile Matter* yang hilang pada nikel laterit umumnya disebut dengan *loss on ignition*, zat yang hilang yaitu berupa gugus OH pada reaksi dekomposisi *Goethite* menjadi Hematit yang terjadi pada temperature 700 °C (Tyroler & Landolt, 1998).

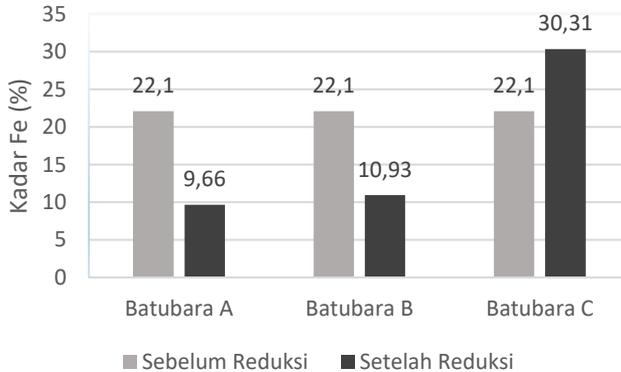
Kemudian pada Batubara B didapatkan nilai kadar Nikel tertinggi sebesar 2,2% dengan peningkatan sebesar 1,80% dari kadar Nikel awal sebelum reduksi. Berbeda dengan Batubara A, peningkatan kadar Nikel oleh Batubara B lebih besar, hal ini dikarenakan oleh nilai *volatile matter* yang lebih besar daripada Batubara A. *Volatile matter* akan mengalami devolatilisasi pada setiap proses reduksi, devolatilisasi ini ialah proses pelepasan zat-zat yang mudah menguap yang ada pada batubara, yaitu seperti H<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>). Dari devolatilisasi dihasilkan zat CO serta H<sub>2</sub>, dimana kedua zat ini berperan penting dalam reduksi sesuai pada Persamaan 2.4 ; Persamaan 2.5 ; dan Persamaan 2.6. (Aswati, 2011)

Devolatilisasi yang terjadi dimulai pada temperatur 300 °C dan pada 420 °C - 460 °C terjadi pelepasan zat tar dan terdapat pelepasan zat hidrokarbon seperti CH<sub>4</sub> pada temperatur lebih dari 460 °C. Proses ini diakhiri oleh pelepasan CO dan H<sub>2</sub> diatas 700°C. (Yan, Yong, Xin, & Peng, 2013)



Yang terakhir, pada Batubara C didapatkan kadar Nikel terkecil sebesar 0,81% dengan peningkatan sebesar 0,41% dari kadar Nikel awal sebelum reduksi.

#### 4.6. Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Unsur Fe pada Briket Hasil Proses Aglomerasi



**Gambar 4. 4** Pengaruh Jenis Batubara Terhadap Kadar Fe

Berdasarkan penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa pengaruh jenis batubara terhadap unsur Fe dipengaruhi oleh tingkat kadar karbon dan Volatile matter dari batubara tersebut (Wasik, 2016).

Kadar karbon yang digunakan dalam batubara di penelitian ini bervariasi pada bilangan yang tidak terlalu besar, dengan perbedaan sekitar 2 – 5%. Pada penelitian sebelumnya, Wasik menggunakan arang dengan kadar karbon mencapai 70,46% dan hanya mendapatkan recovery Fe sebesar 7,567%. Namun ketika memakai batubara dengan kadar karbon 42,35% yang didapat ialah recovery sebesar 36,481%.

Dari penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa kadar Fixed Carbon tidak berpengaruh besar terhadap recovery Fe terlebih lagi membuat penurunan tingkat recovery.



Dari Penelitian yang sama, pengaruh volatile matter berbanding terbalik dengan pengaruh oleh kadar karbon terhadap perubahan kadar Fe setelah aglomerasi.

Dengan Batubara C yang memiliki volatile matter terbesar, Gambar 4.4. menunjukkan bahwa Batubara C mengalami recovery Fe terbesar mencapai 30,31% dan lainnya hanya 9,66% dan 10,93% Fe. Sehingga kadar volatile matter sangat mempengaruhi kadar Fe. Semakin tinggi tingkat volatile matter akan meningkatkan kadar Fe hasil aglomerasi.

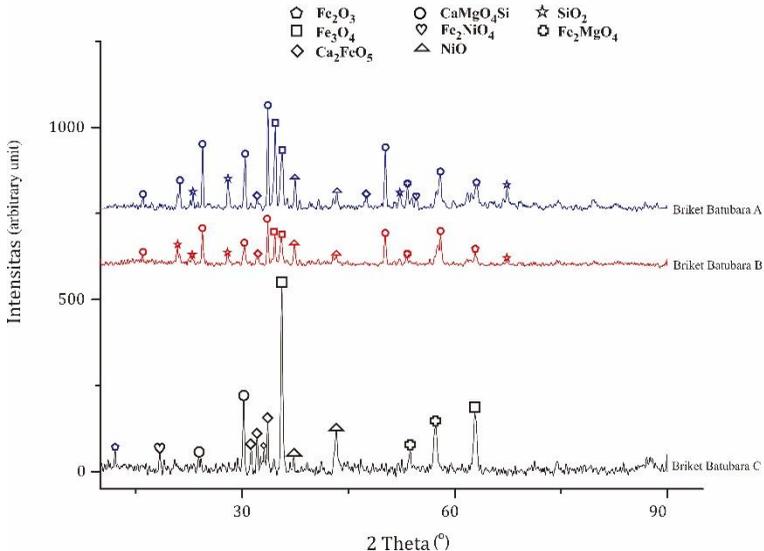
Dari data diatas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kadar Fe dalam suatu briket hasil reduksi, maka kadar Ni nya juga akan semakin rendah. Karena adanya Natrium sulfat sebagai *selective reduction*, sehingga Natrium Sulfat dapat mengikat Fe yang akan membentuk FeS sesuai reaksi (2.5) dan (2.6), sehingga kadar Fe akan turun menyebabkan kadar Ni meningkat (Jiang, et al. 2013).

Pada penelitian sebelumnya (Wasik, 2016) didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi nilai volatile matter, maka hasil reduksi Fe akan semakin tinggi dan pembentukan Ni menjadi semakin rendah dikarenakan proses devolatilisasi yang membantu adanya supply gas CO tambahan dan mendukung reduksi pembentukan Fe.

Namun pada penelitian kali ini didapatkan bahwa nilai Fe cukup rendah dan kadar Ni yang tinggi mencapai 2% pada reduksi dengan Batubara A dan Batubara B. Hal ini diakibatkan oleh rendahnya nilai volatile matter kedua jenis batubara dan tingginya kadar pengotor seperti Mg dan Si. Kedua jenis pengotor ini menghambat proses reduksi karena keduanya berada di permukaan briket. Akhirnya terbentuk senyawa monticellite yang baru dapat dilebur pada temperatur diatas 1200 °C. Akibatnya proses reduksi Fe terhambat pada hasil reduksi dengan kedua jenis batubara tersebut.



#### 4.7. Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Fasa dalam Briket Hasil Proses Aglomerasi



**Gambar 4.5** Hasil Pengujian XRD Briket Hasil Proses Aglomerasi dengan Variasi Jenis Batubara

Identifikasi fasa dari hasil aglomerasi briket nikel laterit dilakukan menggunakan mesin XRD *PAN Analytical*. Pengujian dilakukan dengan posisi  $2\theta$  20 – 90 ° dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar 1.54056 Å. Sampel hasil proses aglomerasi yang diuji XRD yaitu briket yang telah diaglomerasi dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi jenis batubara.

Selanjutnya hasil pengujian XRD dianalisa dengan menggunakan *PDF-2 Release 2011*. Gambar 4.4 merupakan identifikasi dari fasa briket yang telah dilakukan proses aglomerasi. Pada briket hasil proses aglomerasi dengan berbagai variasi jenis batubara seperti Gambar 4.4, menunjukkan fasa yang teridentifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.10.



**Tabel 4. 11** Identifikasi Fasa Pada Briket Hasil Aglomerasi

Fasa	Rumus Kimia	PDF Number
<i>Hematite</i>	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	00-025-1402
<i>Magnetite</i>	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	01-071-6337
<i>Brownmillerite</i>	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	00-011-0675
<i>Monticellite</i>	$\text{CaMgO}_4\text{Si}$	00-035-0590
<i>Trevorite</i>	$\text{Fe}_2\text{NiO}_4$	00-010-0325
<i>Nickel Oxide</i>	$\text{NiO}$	00-004-0835
<i>Quartz</i>	$\text{SiO}_2$	00-001-0649
<i>Magnesioferrite</i>	$\text{Fe}_2\text{MgO}_4$	01-076-2852

#### 4.8. Analisa Hasil XRD Briket Batubara A

Pada briket Batubara A, menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa Monticellite ( $\text{CaMgSiO}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  16.14, 21.34, 24.56, 30.54, 33.74, 50.29, 59.95. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-035-0590. Kemudian dilanjutkan dengan senyawa Quartz ( $\text{SiO}_2$ ) pada puncak  $2\theta$  23.21, 28.11, 52.39, dan 74.79. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-001-0649 ( $\text{SiO}_2$ ).

Fasa Brownmillerite ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) terbentuk pada puncak  $2\theta$  32.20, dan 47.67. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-011-0675.

Lalu terdapat fasa Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  34.84 dan 35.83. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 01-071-6337. dan 62.80 ( $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  18.38.

Senyawa NiO pada puncak  $2\theta$  pada 37.28 dan 43.31. Fasa yang terakhir yaitu Magnesioferrit pada puncak 53.71, dan 57.37.

Fasa dengan intensitas tertinggi ialah monticellite ( $\text{CaMgSiO}_4$ ) dimana senyawa ini dapat terbentuk akibat banyaknya



unsur pengotor seperti Ca dan Mg serta Si. Pembentukan senyawa monticellite didapat dari reaksi :



Senyawa  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  didapatkan dari batubara, dimana setiap batubara memiliki kadar Mg dan Si yang tinggi, kemudian  $\text{CaCO}_3$  berasal dari fluks dolomite dan  $\text{SiO}_2$  didapat dari hasil slag sebagai pengotor. Reaksi 4.1 bisa berhasil terjadi pada temperatur  $600^\circ\text{C}$  (Deer and Andrew 1982). Kemudian monticellite memiliki temperatur lebur  $1440^\circ\text{C}$ . Karena temperatur sinter yang digunakan hanya mencapai  $1200^\circ\text{C}$  maka monticellite belum dapat mencair, sehingga keberadaannya di permukaan briket menghambat reduksi Fe dan mengakibatkan meningkatnya kadar Ni. Selain itu diperoleh juga senyawa NiO yang berarti terdapat reduksi Ni yang hampir sempurna walaupun dalam jumlah yang cukup kecil.

Dilihat dari diagram Ellingham, reaksi reduksi NiO oleh CO mulai terjadi pada temperatur  $440^\circ\text{C}$ . Sedangkan reaksi reduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan gas CO terjadi pada temperatur  $650^\circ\text{C}$ . Namun kedua reaksi reduksi ini belum akan terjadi pada temperatur tersebut oleh gas CO karena reaksi Boudouard baru terjadi pada temperatur diatas  $900^\circ\text{C}$ . Menurut Li (2011), reaksi reduksi nikel dari laterit terjadi pada metode deoksidasi *solid-state*, reduktor gas dan padat keduanya digunakan

#### **4.9. Analisa Hasil XRD Briket Batubara B**

Pada briket Batubara B, menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pada puncak  $2\theta$  12.08 *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-025-1402 (Hematit). Kemudian dilanjutkan dengan senyawa Trevorite ( $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  18.38. Terdapat fasa Monticellite ( $\text{CaMgSiO}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  20.93, 24.49, 30.46, 33.73, 50.26 dan 58.11. *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-035-0590. Senyawa Brownmillerite ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) pada puncak  $2\theta$  31.29, 32.11, 33.13, 33.61.

Lalu terdapat fasa Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  35.54, 35.66, dan 62.80. Senyawa NiO pada puncak  $2\theta$  pada 37.28 dan 43.31.



Fasa yang terakhir yaitu Magnesioferrit pada puncak 53.71, dan 57.37.

Seperti pada analisa hasil XRD pada batubara A, pada hasil XRD batubara B fasa tertinggi didominasi oleh monticellite ( $\text{CaMgSiO}_4$ ) dan magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Tingginya kadar magnetite dapat terjadi karena kurangnya gas CO ketika reduksi. Gas CO tidak cukup untuk mereduksi Fe dan Ni karena kadar volatile matter yang rendah mengakibatkan devolatilisasi yang rendah pula. Akibatnya supply gas CO yang penting dalam reduksi tidak memadai. Ketika kadar gas CO cukup, maka yang terjadi adalah terdapatnya unsur Fe ataupun  $\text{FeO}$ .

Selain itu monticellite juga terbentuk akibat banyaknya zat zat pengotor dari batubara. Zat pengotor ini tidak mengalami reduksi karena volatile matter yang rendah tadi. Akibatnya zat pengotor seperti Si yang berasal dari batubara dan Ca, Mg dari dolomit membentuk suatu senyawa bernama monticellite. Senyawa ini tersebar merata pada permukaan briket.

#### **4.10. Analisa hasil XRD Briket Batubara C**

Pada briket Batubara C, menunjukkan fasa yang terbentuk adalah fasa Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pada puncak  $2\theta$  12.08 *JCPDS card* yang digunakan untuk mengidentifikasi fasa adalah 00-025-1402 (Hematit). Kemudian dilanjutkan dengan senyawa Trevorite ( $\text{Fe}_2\text{NiO}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  18.38. Terdapat fasa Monticellite ( $\text{CaMgSiO}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  24.02 dan 30.23. Senyawa Brownmillerite ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ ) pada puncak  $2\theta$  31.29, 32.11, 33.13, 33.61.

Lalu terdapat fasa Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada puncak  $2\theta$  35.54, 35.66, dan 62.80. Senyawa NiO pada puncak  $2\theta$  pada 37.28 dan 43.31. Fasa yang terakhir yaitu Magnesioferrit pada puncak 53.71, dan 57.37.

Pada hasil pengujian XRD briket dengan Batubara C, puncak tertingginya maupun puncak yang lainnya adalah fasa Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), yang menunjukkan bahwa sudah terjadinya proses reduksi dikarenakan kadar volatile matter yang tinggi menyebabkan proses devolatilisasi yang menghasilkan gas CO dan  $\text{H}_2$  yang besar.



Gas CO yang mendukung inilah yang menyebabkan proses reduksi berjalan lebih baik dibandingkan dengan batubara lainnya. Gas CO berperan dalam reaksi boduard untuk menghasilkan reduktor gas CO yang dapat mereduksi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  menjadi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Kadar monticellite sangat sedikit jika dibandingkan dengan kedua jenis batubara lainnya, hal ini disebabkan oleh fasa CaO dan MgO yang sudah menurun.

#### 4.11. Pengaruh Variasi Jenis Batubara Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi

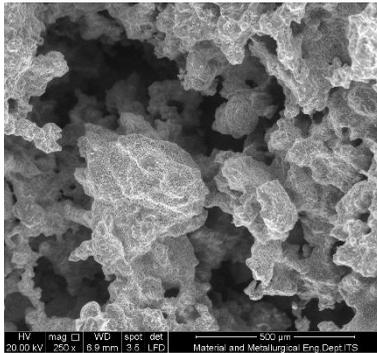
Penggunaan jenis batubara yang bervariasi dalam proses Aglomerasi bijih nikel laterit tentunya akan mempengaruhi morfologi dari briket hasil produk proses aglomerasi. Untuk mengetahui morfologi dari produk hasil proses aglomerasi perlu dilakukan pengujian. Sampel hasil proses aglomerasi diuji menggunakan SEM dengan perbesaran 100x - 250x, sampel yang diuji yaitu briket yang telah diaglomerasi dengan menggunakan *muffle furnace* dengan variasi jenis Batubara A, Batubara B dan Batubara C.

Jika dilihat dari hasil pengujian SEM untuk melihat morfologi pada briket hasil proses aglomerasi. Terlihat perbedaan morfologi antara briket dengan Batubara A, Batubara B dan Batubara C. Pada briket dengan jenis Batubara A terlihat cukup banyaknya pori. Sedangkan pada briket Batubara B jumlah pori semakin sedikit. Dan pada briket dengan Batubara C hamper tidak ada pori yang cukup untuk dapat terlihat. Di sisi lain, pori ini berperan penting dalam proses *smelting* menggunakan *Mini Blast Furnace*. Pori ini dapat menaikkan sifat permeabilitas suatu ore.

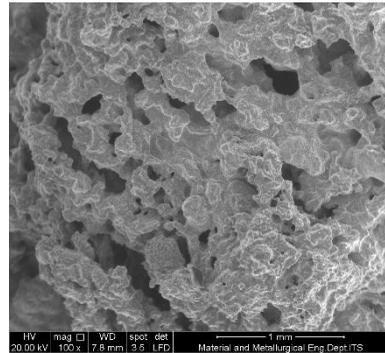
Umumnya ketika menggunakan flux dolomit, fasa yang dominan adalah Magnetit. Sedangkan fasa *calcium ferrite* yang terbentuk sedikit. Hal ini dikarenakan semakin meningkatnya MgO, maka *calcium ferrite* yang terbentuk akan semakin sedikit. Selain fasa magnetit, terbentuk juga fasa *Calcium Ferrite*. Fasa ini merupakan fasa dominan kedua setelah fasa magnetit. Fasa ini mulai terbentuk pada basisitas 1,2. Fasa ini merupakan fasa yang baik untuk hasil aglomerasi. Fasa *Calcium Ferrite* ini memiliki kemampuan reduksi yang lebih tinggi daripada hematit, dimana kemampuan reduksi dari



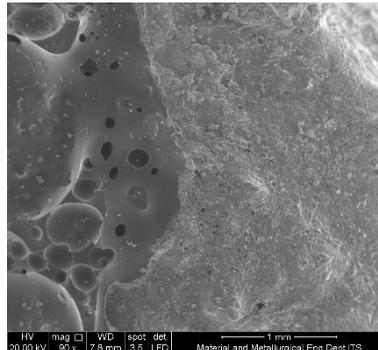
fasa *calcium ferrite* ini sebesar 80,3 %. Lebih besar bila dibandingkan dengan kemampuan reduksi dari Magnetit yang hanya sebesar 53,5 %. Dan juga fasa *calcium ferrite* ini memiliki *crushing strength* yang sedikit lebih tinggi bila dibandingkan dengan magnetit, dimana nilai *crushing strength* dari fasa *calcium ferrite* ini sebesar 37 kg / mm<sup>2</sup> sedangkan nilai *crushing strength* dari fasa magnetit sebesar 36,9 kg / mm<sup>2</sup> (Gupta 2010).



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4. 6** Morfologi Briket Hasil Aglomerasi dengan : (a) Batubara A, (b) Batubara B, (c) Batubara C



Pada batubara C terdapat pori yang cukup banyak karena memiliki unsur Ca, Mg dan Si yang tinggi. Keberadaan mereka dikarenakan tingkat reduksi yang rendah dibandingkan dengan jenis batubara yang lain. Unsur Ca, Mg dan Si ini tersebar merata pada bagian permukaan briket sehingga reduksi Fe dan Ni menjadi terhambat. Karena reduksi Fe dan Ni terhambat, maka fase-fase oksida seperti  $Fe_2MgO_4$  akan tereduksi di permukaan dan mengakibatkan banyaknya pori.

Jika dilihat dari referensi jurnal, semakin banyak fasa magnetit yang terbentuk, maka pori yang terbentuk pada aglomerat akan semakin kecil (Gan, Fan, & Chen, 2015). Sehingga briket dengan batubara C dengan kadar  $Fe_3O_4$  tertinggi akan memiliki permeabilitas paling rendah.

Selain itu, hasil pengujian SEM pada briket dengan batubara jenis C yang paling tinggi kadar volatile matter nya memiliki sedikit sekali pori. Hal ini dikarenakan sudah terbentuknya fasa magnetite dan *calcium ferrite*. Kadar Fe yang tinggi membuat terlihatnya fase yang sudah menjadi logam dan kadar pori pun mengecil.

Sehingga dari hasil pengujian SEM untuk melihat morfologi pada briket hasil proses aglomerasi, dapat dilihat bahwa pori terbesar dan terbanyak diperoleh saat menggunakan Batubara jenis A. Maka dari segi permeabilitas, briket dengan Batubara C yang memiliki permeabilitas paling tinggi. Sedangkan briket dengan Batubara A yang memiliki sifat permeabilitas paling rendah.

#### **4.12. Pengaruh Uji Shatter Index Terhadap Morfologi pada Briket Hasil Proses Aglomerasi**

Pengujian untuk melihat kelayakan ketika pada mini blast furnace menggunakan metode *shatter index*. *Shatter index* adalah pengujian daya tahan briket terhadap benturan yang dijatuhkan pada ketinggian 2 meter. Pengujian ini dilakukan untuk menguji seberapa kuatnya briket nikel yang telah dilakukan proses aglomerasi terhadap benturan yang disebabkan ketinggian.



Dalam pengujian shatter indek menggunakan rumus :

$$\text{Partikel yang hilang (\%)} = \frac{a-b}{b} \times 100\%$$

Dimana : a = Berat briket sebelum dijatuhkan (gram)

b = Berat briket setelah dijatuhkan (gram)

Hasil pengujian shutter index

**Tabel 4. 12** Hasil Pengujian Shatter Index

<b>Jenis Briket</b>	<b>Berat awal (gram)</b>	<b>Berat akhir (gram)</b>	<b>Partikel yang hilang (%)</b>
Batubara A	7	4.4	59.09
Batubara B	7.5	5.2	44.23
Batubara C	9	7	28,57

Apabila partikel yang hilang terlalu banyak, berarti briket yang dibuat tidak tahan terhadap benturan. (Aquinho Gandhi,2009) jadi dari hasil praktek uji menggunakan metode *Shatter Index* maka Batubara A memiliki nilai kehilangan partikel terbesar sebesar 59.09% kemudian Batubara B kehilangan berat sebesar 44.23% dan Batubara C hanya kehilangan 28.57%, sehingga kekuatan Batubara C lebih baik daripada batubara yang lainnya.

Dengan semakin tingginya jumlah massa briket yang terbuang akibat uji shatter index, maka semakin kurang baik kekuatan tahan dari briket tersebut. Apabila dijadikan sebagai bahan sample pada blast furnace, maka kehilangan massa yang akan terjadi dapat lebih besar daripada ketika dilakukan uji shatter index. Maka dengan



kehilangan massa yang cukup kecil, tidak sampai 30%, briket Batubara C paling layak menjadi sample didalam blast furnace.

Kekuatan tekan suatu briket berkaitan erat dengan fasa yang terbentuk setelah proses reduksi. 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.

Briket Batubara C dapat bertahan dalam uji index ini dikarenakan terdapat fasa  $Fe_3O_4$  dengan intensitas yang tinggi, sehingga sifat metalik Fe membuat briket ini lebih keras dan tahan daripada briket batubara lainnya.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



---

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Penggunaan berbagai jenis batubara mempengaruhi kadar Fe dalam briket hasil proses aglomerasi. Peningkatan kadar Fe tertinggi didapatkan saat briket menggunakan Batubara C, dengan peningkatan kadar Fe sebesar 8,21 %.
2. Penggunaan berbagai jenis batubara mempengaruhi kadar Ni dalam briket hasil proses aglomerasi. Peningkatan kadar Ni tertinggi didapatkan saat briket menggunakan Batubara B, dengan peningkatan kadar Ni sebesar 1,8 %.
3. Penggunaan berbagai jenis batubara juga mempengaruhi dari morfologi yang terbentuk pada briket hasil proses aglomerasi. Dari segi permeabilitas Batubara C memiliki permeabilitas yang paling baik bila dibandingkan dengan batubara yang lain
4. Dilihat dari segi peningkatan kadar Ni yang paling tinggi dan segi permeabilitas yang paling baik, maka batubara yang paling optimal adalah Batubara B

#### 5.2 Saran

1. Melakukan penelitian lebih lanjut pada berbagai jenis batubara lain sebagai zat reduktor.
2. Melakukan penelitian dengan menggunakan additives selain Natrium Sulfat.
3. Melakukan penelitian tentang pembentukan pori pada produk aglomerat.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, W., Zulhan, Z., Shofi, A., Isnugroho, K., Nurjaman, F., dan Prasetyo, E. (2012). **Pembuatan Nickel Pig Iron (NPI) dari Bijih Nikel Laterit Indonesia Menggunakan Mini Blast Furnace**. Prosiding InSINas, 70.
- Aswati, N. (2011). **Peningkatan Mutu Batubara Peringkat Rendah Indonesia Melalui Teknik Slurry Dewatering**. Jakarta: Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Bhavan, M., and Marg, B. S. (1981). **Method of Determination of Shatter Index of Iron Ore Lumps, Sinters and Pellets**. New Delhi: Indian Standards Institution.
- Bogdandy, Von, L., and Engell, H. (1971). **The Reduction of Iron Ore**. Springer-Verlag.
- Chang Cao, Z. X. (2016). **Making Ferronickel From Laterite Nickel Ore by Coal-Based Self Reduction and High Temperature Melting**. International Journal of Nonferrous Metallurgy, 9-15.
- Choi, U. K., Lee, O. H., and Kim, Y. (2011). **Effect of Calcinated Oyster Shell Powder on Growth, Yield, Spawn Run, and Primordial Formation of King Oyster Mushroom**. Molecules, 2314-2315.
- Clerk, I. d. (2004). **Anthracite Largest Deposit**. New York: Atrum Coal.
- Dalvi, A. D., Bacon, W. G., and Osborne, R. C. (2004). **The Past and The Future of Nickel Laterites**. International Convention , 1-7.
- El-Hussiny, N., Nafeaa, I., Khalifa, M., Abdel-Rahim, S., and Shalabi, M. (2016). **Sintering and Reduction of Pellets of El-Baharia Iron Ore with Dolomite by Hydrogen**. International Journal of Scientific & Engineering Research, 66-74.
- Engler, P., Santana, M. W., Mittleman, M. L., and Balazs, D. (1988). Non-Isothermal. **In Situ XRD Analysis of Dolomite Decomposition**. The Rigaku Journal, 7-8.

- Fan, X.-H., Min, G., Tao, J., Li-shun, Y., and Xu-Ling, C. (2010). **Influence of Flux Additives on Iron Ore Oxidized Pellets**. *Natural Science*, 733-737.
- Fathoni, M. W., and Mubarak, M. Z. (2015). **Studi Perilaku Pelindian Bijih Besi Nikel Limonit dari Pulau Halmahera dalam Larutan Asam Nitrat**. *Majalah Metalurgi*, 115-116.
- Gan, M., Fan, X., and Chen, X. (2015). **Calcium Ferrit Generation During Iron Ore Sintering — Crystallization Behavior and Influencing Factors**. *Natural Science*, 50-62.
- Geerdes, M., Toxopeus, H., and Vliet, C. v. (2009). **Modern Blast Furnace Ironmaking an Introduction**. Amsterdam: IOS Press BV.
- Gupta, R. (2010). **Theory And Laboratory Experiments In Ferrous Metallurgy**. New Delhi: PHI Learning Private Ltd.
- Jiang, M., Sun, T., Liu, Z., Kou, J., Liu, N., and Zhang, S. (2013). **Mechanism of sodium sulfate in promoting selective reduction of nickel laterite ore during reduction roasting process**. *International Journal of Mineral Processing*, 32-38.
- Kato, T., Murakami, k., and Sugawara, K. (2012). **Carbon Reduction of Gypsum Produced from Flue Gas Desulfurization**. *Chemical Engineering Transactions* , 807-808.
- Li, S. (1999). **Study of Nickeliferrous Laterite Reduction**. 1-8.
- Noviyanti, Jasruddin, dan Sujiono, H. (2015). **Karakterisasi Kalsium Karbonat (CaCO<sub>3</sub>) dari Batu Kapur Kelurahan Tellu Limpoe Kecamatan Suppa**. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 169.
- Radovic. (2016, November 3). *www.ems.psu.edu*. Diambil kembali dari *www.ems.psu.edu*: *www.ems.psu.edu*
- Rodrigues, F. (2013). **Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferrous Laterite Ore**. *Material Science*, 34.

- Rodrigues, F. M. (2013). **Investigation Into The Thermal Upgrading of Nickeliferous Laterite Ore**. 10.
- Spencer, J. (1985). **Sulfidation of Half-Calcined Dolomite in Hydrogen-Sulfide/Deuterium/Water/Nitrogen**. *Structur and Mechanisms*, 2.
- Takuda, M., Yoshikoshi, H., and Ohtano, M. (1973). *Trans. ISIJ*, 350.
- Tri Anriani, M. H. (2011). **Analisis Perbandingan Kualitas Batubara TE-67 di Front Penambangan dan Stockpile Tambang air Laya**. Palembang.
- Tyroler, G, and Landolt, C. (1998). **Extractive Metallurgy of Nickel and Cobalt**. New York: The Metallurgical Society.
- Ulfah, U. (2016). **Preparasi dan Karakterisasi Limbah Biomaterial Cangkang Kerang Hijau (Perna Viridis) dari Pantai Labuhan Maringgai sebagai Bahan Dasar Biokeramik**. 2.
- Sungging, P. dan Wasik, H. (2016). **Studi Variasi Jenis Arang Pada Briket Pasir Besi Terhadap Kandungan Fe Total dan Derajat Metalisasi Pada Pembuatan Sponge Iron**, 57-78.
- Weber, F. (2006). **Limestone Missouri's Billion Dollar Industry**. *The Geologic Column*, 2.
- Yan, J. L., Yong, S. S., Xin, H., and Peng, G. (2013). **Coal-based reduction mechanism of low-grade laterite ore**. *Transactions of Non Ferrous Metals Society of China*, 1-6.
- Yildirim, H., Morcali, H., Turan, A., and Yucel, O. (2013). **Nickel Pig Iron Production from Lateritic Nickel Ores** . *Ferronickel Production and Operation*, 237.
- Yu, Q. L., and Brouwers, H. J. (2011). **Thermal Properties and Microstructures of Gypsum Board and Its Dehydration Products : A Theoretical and Experimental Investigation**. *Fire and Materials*, 576-577.

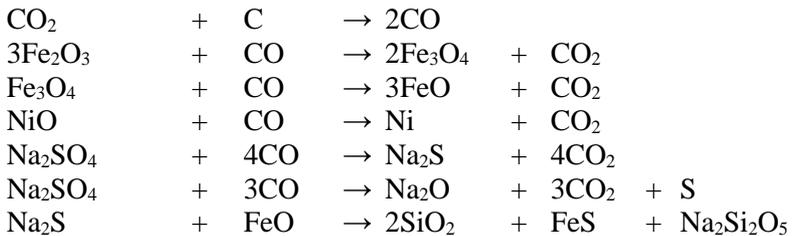
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LAMPIRAN

### A. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Tanpa Fluks

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. Bijih Nikel Laterit

Dari data pengujian EDX, diperoleh presentase berat elemen-elemen yang terkandung didalam bijih nikel laterit.

Hasil EDX Nikel Laterit

Unsur	Ni	Fe	Si	Mg	Ca	Al	Mn	Cr
% Wt	1.25	69.3	10.6	1.18	0.136	8.1	0.886	2.87

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

- Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )
- Nikel oksida ( $\text{NiO}$ )

#### 2. Batu bara

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



Dari kadar unsur dalam laterit, maka jumlah  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  diketahui dengan cara sebagai berikut :

- Berat  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam lateri  
$$\% \text{Wt } \text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}{2 \text{ Ar Fe}} \times \% \text{Wt Fe}$$
$$= \frac{159,69}{55,847} \times 69,3\% = 99,080 \%$$
- Berat  $\text{NiO}$  dalam laterit  
$$\% \text{Wt NiO} = \frac{\text{Mr NiO}}{\text{Ar Ni}} \times \% \text{Wt Ni}$$
$$= \frac{74,7094}{58,71} \times 1,25$$
$$= 1,59 \%$$

Dari perhitungan diperoleh presentase  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{NiO}$  dalam laterit. Jika diasumsikan dalam 1000 gram ore maka terdapat

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = 990,8025 \text{ gram}$$

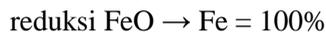
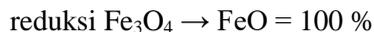
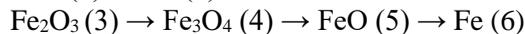
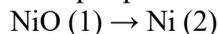
$$\text{NiO} = 15,906 \text{ gram}$$

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

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 = \frac{\text{massa } \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Mr } \text{Fe}_2\text{O}_3}$$
$$= \frac{990,8025}{159,69}$$
$$= 6,2045 \text{ mol}$$

$$\text{NiO} = \frac{\text{massa NiO}}{\text{Mr NiO}}$$
$$= \frac{15,906}{74,7094}$$
$$= 0,2129 \text{ mol}$$

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

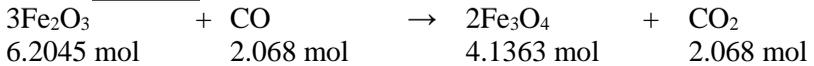


Natrium sulfat ditambahkan sebesar 10% dari massa total briket untuk meningkatkan agregasi dari Fe-Ni.

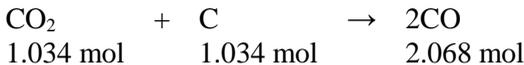


Dari skema reaksi di atas dapat diketahui berapa mol gas CO yang dibutuhkan untuk reaksi dan berapa mol C untuk membentuk bereaksi dengan CO<sub>2</sub> membentuk gas CO yang harus bereaksi dengan C batu bara.

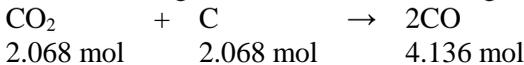
**a. Reaksi 1**



Reaksi Boduard



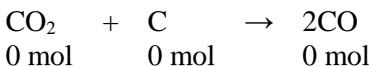
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 1 dengan C batu bara



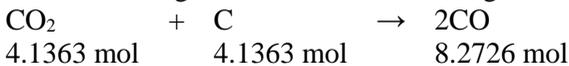
**b. Reaksi 2**



Reaksi Boduard



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 2 dengan C batu bara



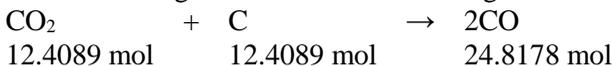
**c. Reaksi 3**



Reaksi Boduard



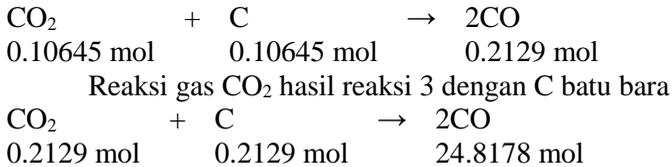
Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 3 dengan C batu bara



**d. Reaksi 4**

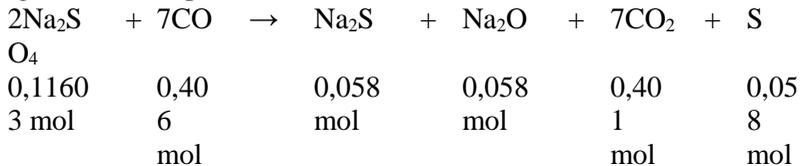


Reaksi Boduard

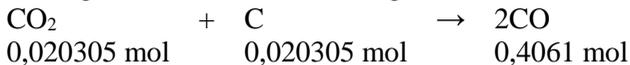


e. **Reaksi 5**

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



Reaksi gas CO<sub>2</sub> hasil reaksi 4 dengan C batubara



Perhitungan Kebutuhan Batubara

$$\begin{aligned} \text{Total mol C} &= 1.034 + 2.068 + 0 + 4.1363 + 2.06815 + 12.4089 \\ &+ 0.10645 + 0.2129 = 22.0347 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 22.0347 \text{ mol} \times \\ &12,01115 = 264.63675 \\ &\text{gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 263.63675 \\ &= 624.88 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pembulatan jumlah batu bara dijadikan sebesar 625 gram.

Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total briket.

$$\begin{aligned} \text{Massa total briket tanpa fluks} &= \text{massa ore} + \text{massa batu bara} \\ &= 1000 \text{ gram} + 625 \text{ gram} \\ &= 1625 \text{ gram} \end{aligned}$$



Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 162.5 gram

#### Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai pengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 1000 gram, batu bara 625 gram, natrium sulfat 162,5 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 55,3 gram

*Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara :  $Na_2SO_4$  : kanji yaitu 1000 : 625 : 162,5 : 55,3.*

### **B. Perhitungan Stoikiometri Briket Variasi Fluks Dolomit**

#### Batu Kapur

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

#### Hasil EDX Batu Kapur

No.	Elemen	Rumus Kimia	Komposisi (%)
1.	Kalsium Oksida	CaO	25.21
2.	Magnesium Oksida	MgO	24.23

Dari data pengujian XRD, terdapat mineral – mineral lain yang terkandung dalam batu kapur adalah dolomite ( $CaMg(CO_3)_2$ )

#### Perhitungan Kebutuhan Fluks Dolomit

Mempertimbangkan nilai basisitas dari campuran

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

Menghitung basisitas ore



$$\text{Basisitas} = \frac{(0,19+1,957)}{(22,677 +15,30)} = 0,056523$$

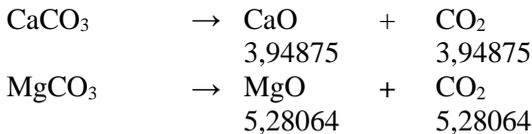
Sedangkan target basisitas briket adalah sebesar 1,2, sehingga diperlukan penambahan kapur sebesar 878,5232 gram untuk setiap 1000 gram ore, dengan factor safety maka menjadi 878,5.

Reaksi dekomposisi termal yang terjadi pada dolomit yaitu :

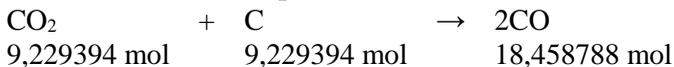


Batu kapur berperan sebagai penyedia gas  $\text{CO}_2$  untuk reaksi Boduard yang akan menghasilkan gas reduktor  $\text{CO}$ , maka  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan dari dekomposisi termal pada dolomit perlu direaksikan dengan  $\text{C}$  pada batu bara, sehingga akan diberi penambahan batu bara pada briket variasi fluks dolomit.

#### Perhitungan jumlah gas $\text{CO}_2$



Reaksi  $\text{CO}_2$  hasil dekomposisi termal dolomit



#### Perhitungan Kebutuhan Batubara

Total mol C = 22.0347 mol (Jumlah Batu bara briket tanpa fluks) + 9,229394 mol = 31,26404

$$\begin{aligned} \text{Massa C yang dibutuhkan} &= \text{total mol C} \times \text{Ar C} \\ &= 31,26404 \text{ mol} \times 12,01115 \\ &= 375,481 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa batu bara yang dibutuhkan} &= \frac{100}{42,35\%} \times \text{massa C} \\ &= \frac{100}{42,35\%} \times 375,481 \\ &= 886,6142 \text{ gram} \end{aligned}$$



Karena safety factor batu bara dijadikan sebesar 887 gram.

#### Perhitungan Kebutuhan Natrium Sulfat

Natrium sulfat yang ditambahkan yaitu sebesar 10% dari massa total briket.

$$\begin{aligned}\text{Massa total briket tanpa fluks} &= \text{massa ore} + \text{massa batu bara} + \\ &\quad \text{massa dolomit} \\ &= 1000 \text{ gr} + 887 \text{ gr} + 878,5 \text{ gr} \\ &= 2765,5 \text{ gram}\end{aligned}$$

Maka, massa natrium sulfat yang ditambahkan sebesar 276,55 gram

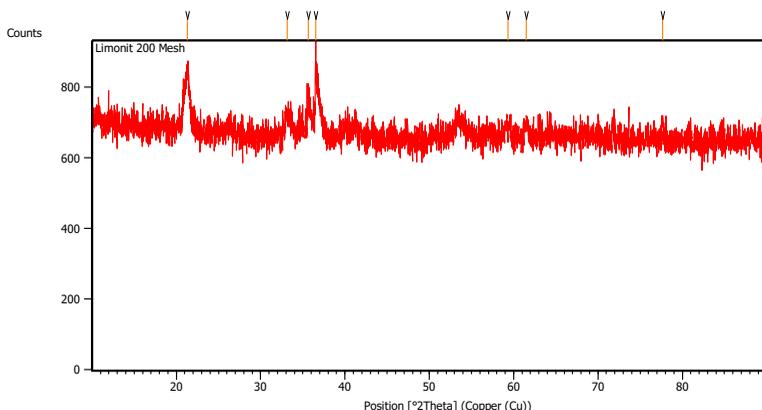
#### Perhitungan Kebutuhan Kanji

Kanji yang ditambahkan sebagai oengikat sebesar 3 % dari massa campuran briket. Dengan komposisi ore 1000 gram, batu bara 887 gram, batu kapur 878,5 gram, natrium sulfat 276,5 gram, maka kanji yang ditambahkan sebesar 94,1 gram

*Sehingga rasio perbandingan komposisi ore : batu bara : batu kapur :  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  : kanji yaitu 1000 : 887 : 878,5 : 276,5 : 94,1.*

### **D. Hasil Pengujian**

#### Hasil Uji XRD Bijih Nikel Limonit

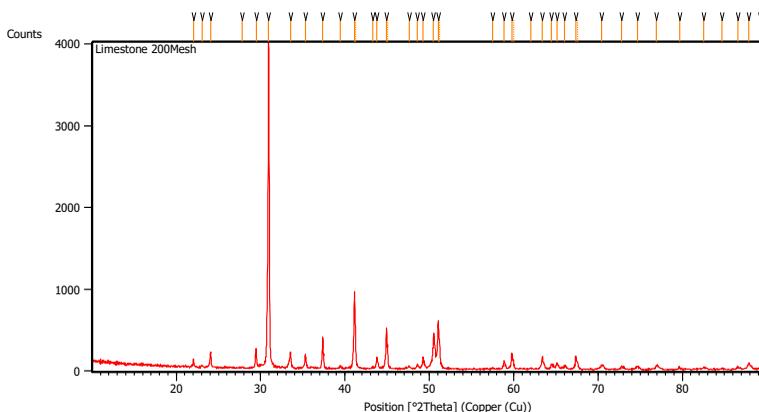


**Peak List :**



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
21.3319	162.50	0.4684	4.16536	59.17
33.1447	60.69	0.5353	2.70290	22.10
35.6694	105.51	0.2007	2.51717	38.42
36.5204	274.63	0.0502	2.46044	100.00
59.3184	30.95	0.5353	1.55795	11.27
61.4627	34.32	0.5353	1.50864	12.50
77.6681	39.86	0.4015	1.22943	14.51

### Hasil Uji XRD Batu Kapur Dolomit



#### **Peak List :**

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
22.0253	96.98	0.0836	4.03577	2.41
23.0640	20.57	0.2007	3.85633	0.51
24.0750	194.18	0.0669	3.69663	4.82
27.8354	10.58	0.2007	3.20519	0.26
29.4675	241.94	0.1171	3.03127	6.01
30.9404	4025.23	0.1004	2.89025	100.00
33.5214	198.52	0.0836	2.67338	4.93
35.2988	170.14	0.1004	2.54274	4.23
37.3602	380.36	0.0836	2.40704	9.45

*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*



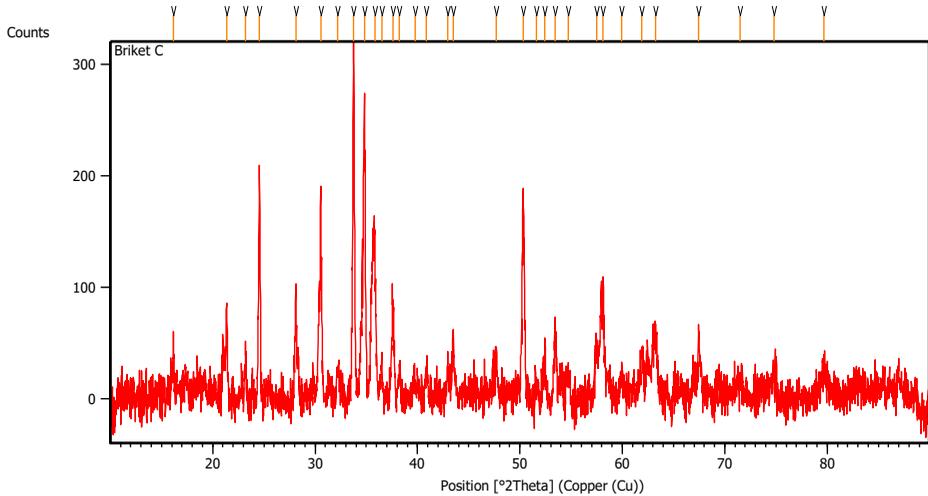
---

39.4620	31.78	0.1338	2.28355	0.79
41.1198	943.84	0.1224	2.19342	23.45
41.2406	491.06	0.0612	2.19271	12.20
43.2661	21.03	0.1632	2.08945	0.52
43.7884	142.23	0.0816	2.06573	3.53
44.9227	494.58	0.1020	2.01617	12.29
45.0616	260.36	0.0612	2.01528	6.47
47.5962	35.20	0.1632	1.90897	0.87
48.5714	49.76	0.1224	1.87290	1.24
49.2485	133.08	0.0816	1.84872	3.31
50.4901	387.48	0.1428	1.80613	9.63
51.0620	566.64	0.1224	1.78724	14.08
51.2255	338.04	0.0612	1.78634	8.40
57.5178	15.27	0.2448	1.60104	0.38
58.8791	102.10	0.1224	1.56723	2.54
59.8041	196.15	0.1428	1.54518	4.87
59.9851	116.90	0.0612	1.54477	2.90
62.0630	12.17	0.4896	1.49425	0.30
63.4062	153.55	0.1020	1.46579	3.81
64.4703	62.17	0.1632	1.44414	1.54
65.1337	66.92	0.2448	1.43103	1.66
66.0429	53.28	0.1632	1.41351	1.32
67.3645	172.51	0.1428	1.38896	4.29
67.6030	82.52	0.1224	1.38808	2.05
70.4225	45.24	0.2448	1.33595	1.12
72.8225	38.38	0.1224	1.29772	0.95
74.6692	43.69	0.2856	1.27014	1.09
76.9099	47.27	0.2040	1.23862	1.17
79.6817	30.40	0.1632	1.20236	0.76
82.5618	31.60	0.3264	1.16756	0.79
84.6788	9.42	0.9792	1.14369	0.23
86.5982	28.35	0.1632	1.12320	0.70
87.8726	83.43	0.2856	1.11017	2.07
89.2212	28.87	0.4080	1.09685	0.72

---



## Hasil Uji XRD Hasil Reduksi Batubara A



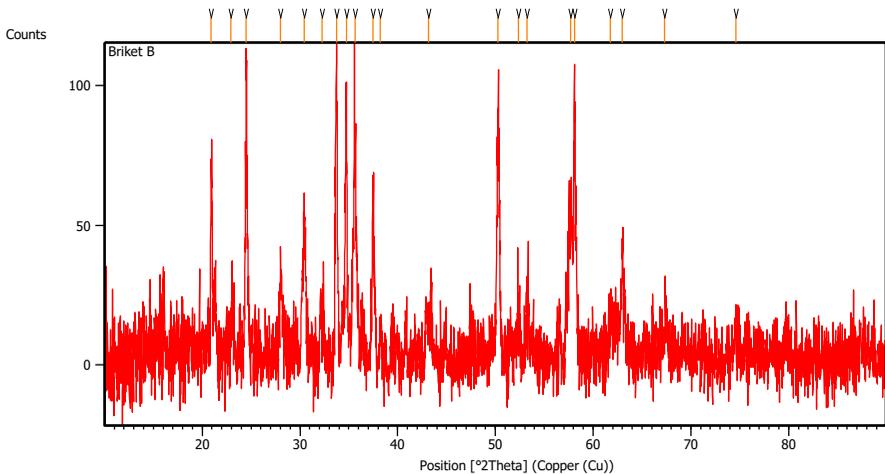
Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
16.1480	33.81	0.1004	5.48897	10.36
21.3455	82.47	0.1004	4.16274	25.26
23.2193	51.30	0.1673	3.83087	15.72
24.5655	214.01	0.0669	3.62392	65.56
28.1185	96.04	0.2007	3.17356	29.42
30.5445	190.94	0.0669	2.92680	58.49
32.2090	28.70	0.2007	2.77925	8.79
33.7465	326.43	0.0836	2.65606	100.00
34.8458	236.44	0.1673	2.57475	72.43
35.8378	151.85	0.1338	2.50572	46.52
36.4928	33.61	0.2007	2.46224	10.30
37.5964	88.16	0.2007	2.39246	27.01
38.2327	22.52	0.2007	2.35410	6.90
39.7627	9.91	0.4015	2.26697	3.04
40.8841	26.39	0.2676	2.20735	8.08
42.9694	27.98	0.2007	2.10493	8.57
43.4705	45.33	0.2007	2.08182	13.89



*Laporan Tugas Akhir*  
*Departemen Teknik Material FTI-ITS*

47.6729	32.26	0.2676	1.90766	9.88
50.2917	173.03	0.2007	1.81429	53.01
51.5978	15.83	0.3346	1.77140	4.85
52.3944	45.85	0.3346	1.74633	14.04
53.4342	67.48	0.1673	1.71477	20.67
54.7247	29.78	0.2676	1.67735	9.12
57.4964	54.33	0.2342	1.60291	16.64
58.1283	107.90	0.1004	1.58698	33.05
59.9521	20.04	0.4015	1.54299	6.14
61.9183	45.81	0.2676	1.49863	14.03
63.2415	57.57	0.4015	1.47043	17.64
67.4641	62.61	0.1338	1.38830	19.18
71.4813	11.63	0.6691	1.31983	3.56
74.7942	17.25	0.5353	1.26938	5.28
79.7110	23.44	0.5353	1.20298	7.18

### Hasil Uji XRD Hasil Reduksi Batubara B



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
20.9327	65.12	0.1338	4.24390	61.36

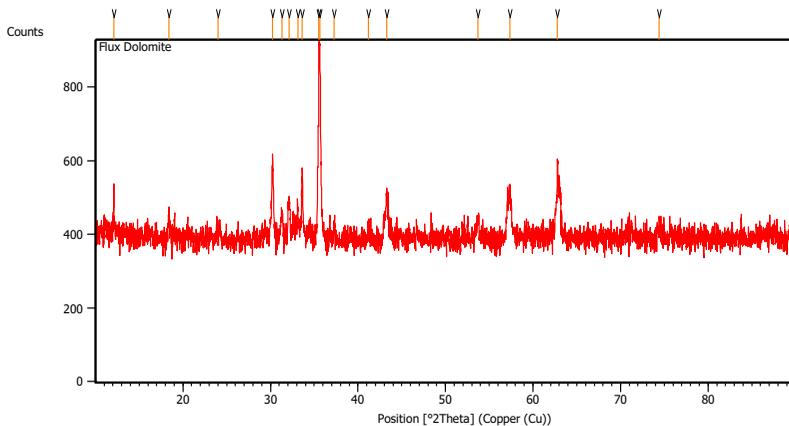


---

22.9158	8.87	0.8029	3.88093	8.36
24.4985	101.94	0.1338	3.63367	96.07
28.0108	33.10	0.1673	3.18551	31.19
30.4664	47.81	0.3346	2.93413	45.06
32.2505	17.61	0.4015	2.77577	16.59
33.7393	106.12	0.2007	2.65661	100.00
34.7387	102.42	0.1338	2.58244	96.52
35.6452	81.90	0.3346	2.51882	77.18
37.4717	60.27	0.1673	2.40014	56.80
38.2446	16.19	0.2007	2.35339	15.26
43.1526	10.06	0.8029	2.09642	9.48
50.2605	84.70	0.3011	1.81535	79.81
52.3608	12.44	0.3346	1.74737	11.72
53.2617	19.41	0.4015	1.71992	18.29
57.6723	49.55	0.2007	1.59844	46.69
58.1159	104.43	0.0816	1.58598	98.41
61.7432	13.95	0.6691	1.50246	13.15
62.9644	36.49	0.2007	1.47623	34.39
67.3212	10.48	0.8029	1.39090	9.87
74.6277	9.02	0.8029	1.27179	8.50

---

### Hasil Uji XRD Hasil Reduksi Batubara C

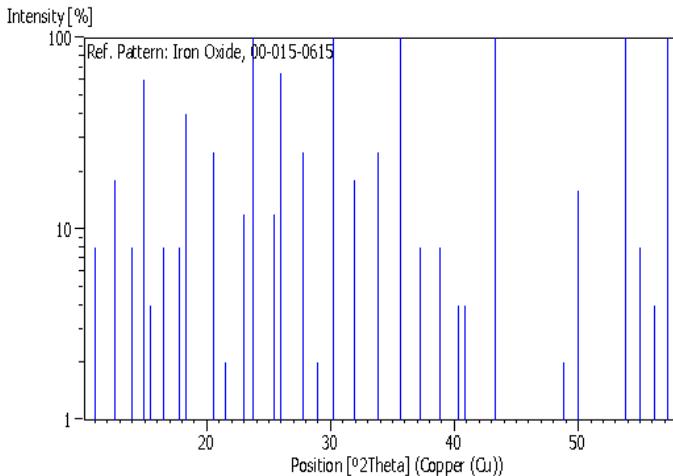




Pos. [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	Height [cts]	FWHM Left [ $^{\circ}2\text{Th.}$ ]	d-spacing [ $\text{\AA}$ ]	Rel. Int. [%]
12.0857	54.71	0.2007	7.32324	10.10
18.3872	65.16	0.2007	4.82526	12.03
24.0273	19.89	0.5353	3.70386	3.67
30.2325	233.18	0.1506	2.95629	43.06
31.2957	79.03	0.2007	2.85825	14.59
32.1173	104.32	0.2007	2.78698	19.26
33.1346	82.19	0.2007	2.70370	15.17
33.6139	173.28	0.1004	2.66624	32.00
35.5442	541.59	0.1020	2.52366	100.00
35.6614	524.87	0.1004	2.51771	96.91
37.2887	49.66	0.2007	2.41149	9.17
41.2162	23.85	0.8029	2.19032	4.40
43.3121	105.94	0.2676	2.08907	19.56
53.7123	55.33	0.3346	1.70655	10.22
57.3770	116.99	0.4684	1.60596	21.60
62.8030	202.46	0.0836	1.47964	37.38
74.3760	28.76	0.4015	1.27547	5.31

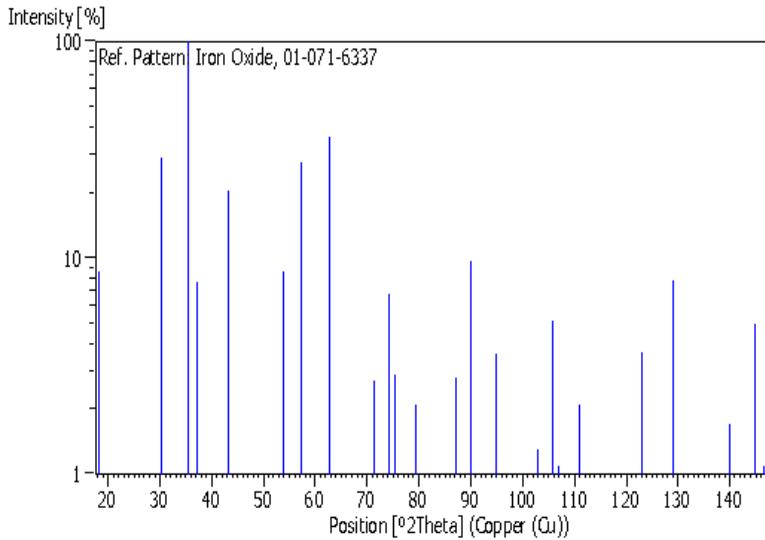
## E. JCPDS Card

### A. 00-015-0615 (Hematit)

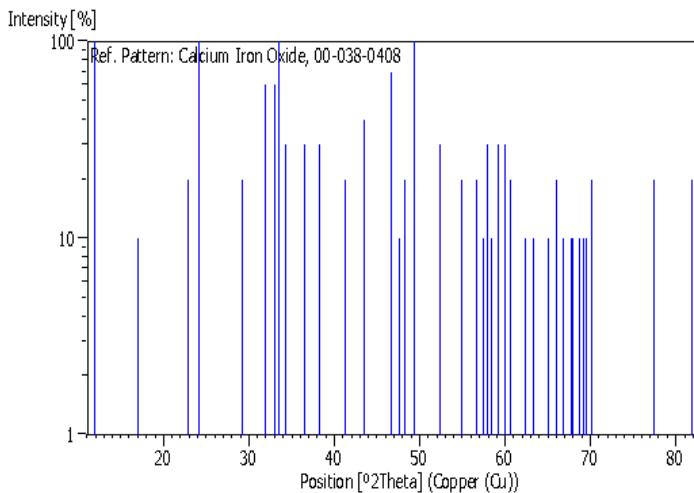




### B. 01-071-6337 (Magnetit)

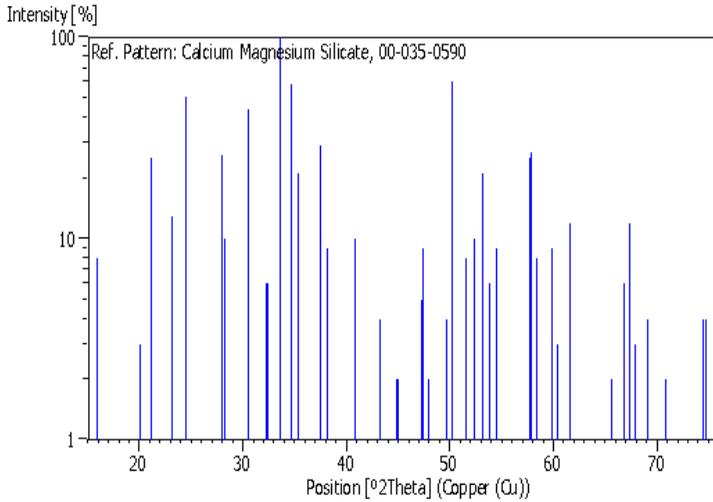


### C. 00-038-0408 (Calcium Ferrite)

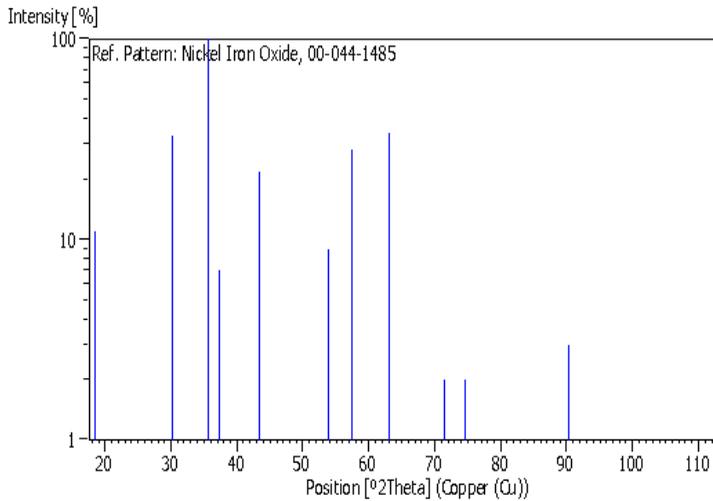




#### D. 00-035-0590 (Monticellite)

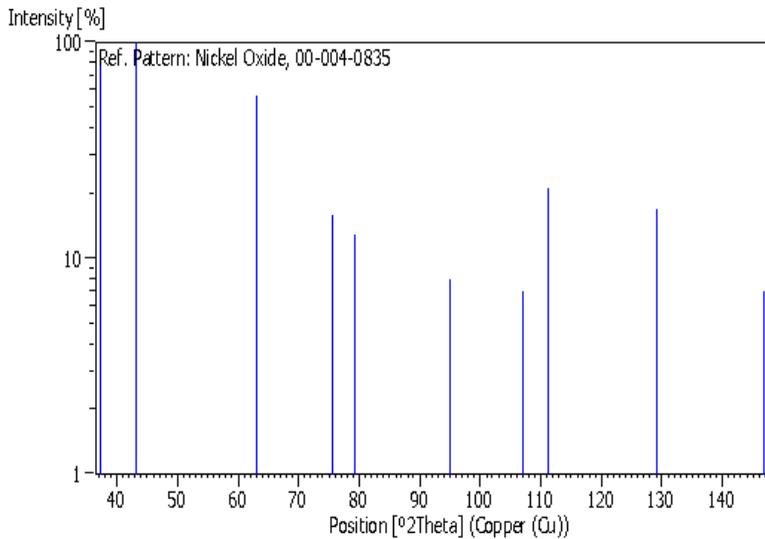


#### E. 00-044-1485 (Trevorite)

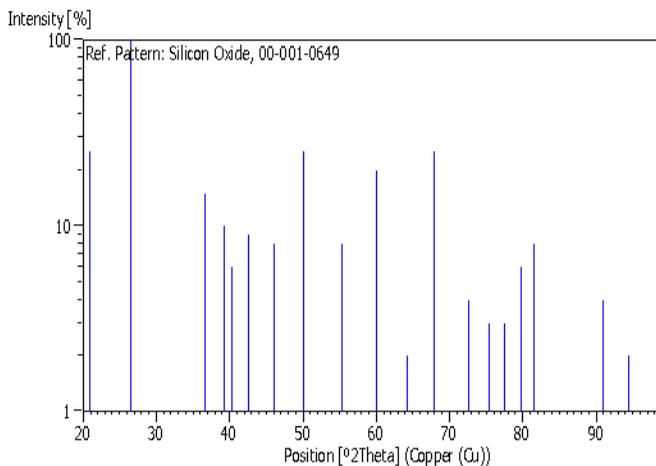




### F. 00-004-0835 (Nickel Oxide)

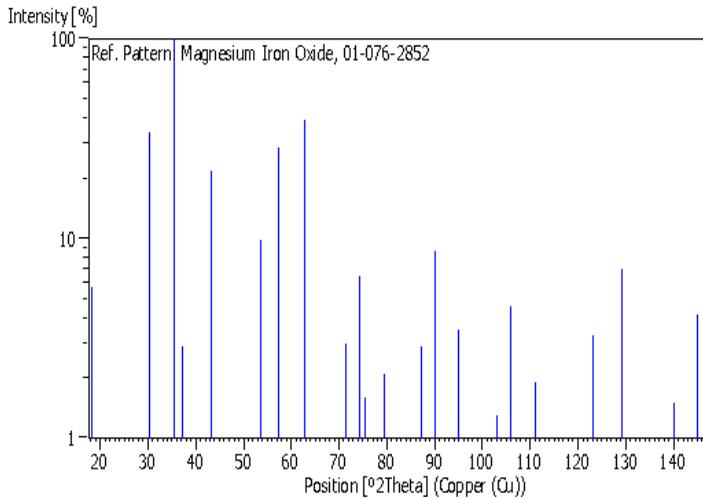


### G. 00-001-0649 (Quartz)



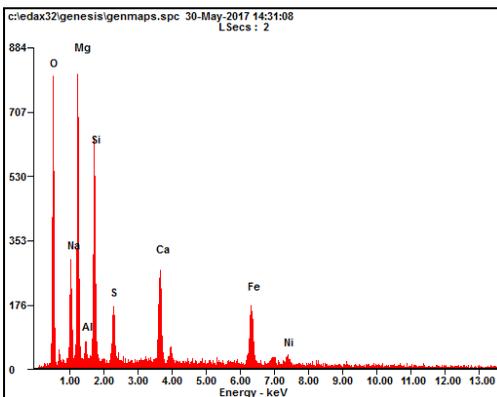


## H. 01-076-2852 (Magnesioferrite)



## I. Hasil Pengujian EDX

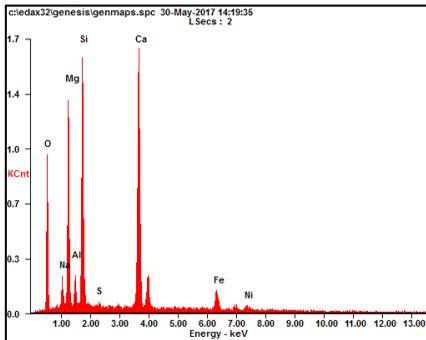
### a. Hasil EDX Briket Batubara A



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	32.35	47.30
<i>NaK</i>	12.63	12.85
<i>MgK</i>	13.72	13.20
<i>AlK</i>	02.81	02.44
<i>SiK</i>	12.11	10.08
<i>SK</i>	04.70	03.43
<i>CaK</i>	10.00	05.84
<i>FeK</i>	09.66	04.05
<i>NiK</i>	02.02	00.80
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

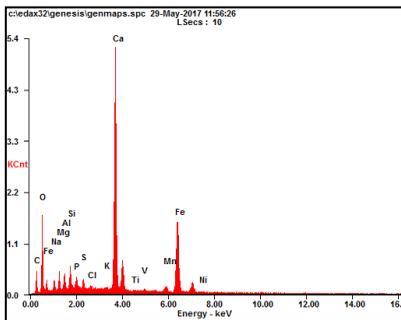


## b. Hasil EDX Briket Batubara B



<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>OK</i>	30.64	48.14
<i>NaK</i>	06.72	07.35
<i>MgK</i>	12.24	12.65
<i>AlK</i>	01.80	01.67
<i>SiK</i>	09.99	08.94
<i>SK</i>	00.46	00.36
<i>CaK</i>	21.64	13.57
<i>FeK</i>	10.93	04.92
<i>NiK</i>	05.58	02.39
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

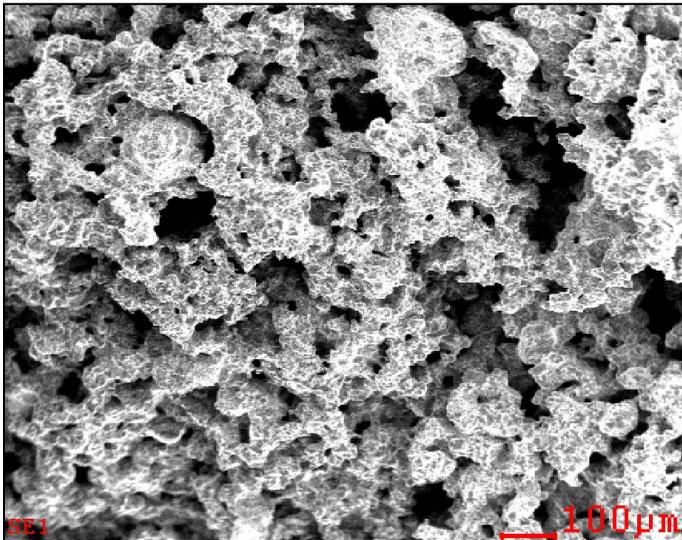
## c. Hasil EDX Briket Batubara C



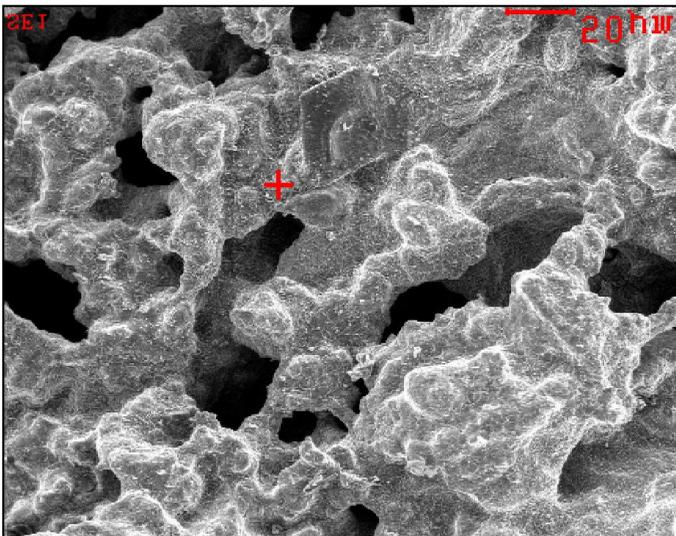
<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	03.47	08.64
<i>OK</i>	20.02	37.36
<i>NaK</i>	02.10	02.72
<i>MgK</i>	02.15	02.65
<i>AlK</i>	01.83	02.02
<i>SiK</i>	02.25	02.39
<i>PK</i>	01.14	01.10
<i>SK</i>	00.80	00.74
<i>ClK</i>	00.35	00.29
<i>KK</i>	00.26	00.20
<i>CaK</i>	32.19	23.98
<i>TiK</i>	00.00	00.00
<i>VK</i>	00.40	00.24
<i>MnK</i>	02.17	01.18
<i>FeK</i>	30.06	16.07
<i>NiK</i>	00.81	00.41
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF



**d. Hasil Uji SEM Batubara A**

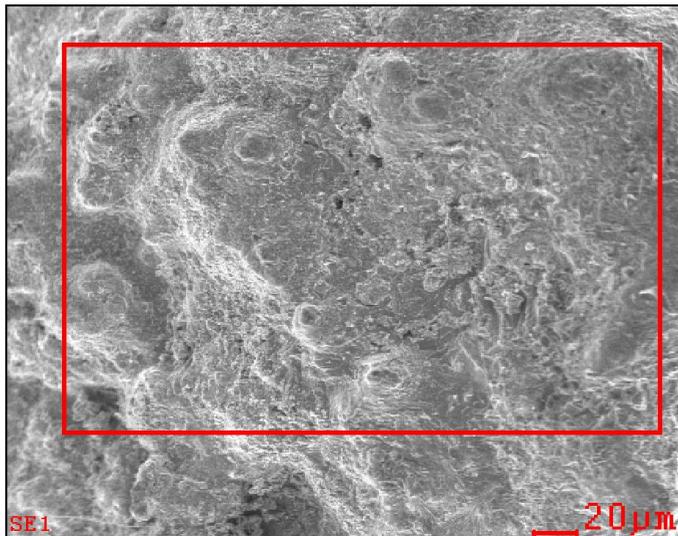


**e. Hasil Uji SEM Batubara B**





**f. Hasil Uji SEM Batubara C**





## Hasil Uji Proximate Analysis Batubara Jenis A

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Bima Prameswara  
Alamat Pemilik : Teknik Material ITS  
Nama Contoh : **Batubara**  
Deskripsi : Bentuk : -Padat/Cair/Gas  
Contoh Volume : -  
Kemasan : plastik  
Kode Contoh : **EI-320**  
Tanggal Terima : 19 Mei 2017  
Tanggal Pengujian : 26 Mei 2017  
Tanggal Selesai Pengujian : 31 Mei 2017  
Jumlah Contoh : 1

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	Batubara	Moisture In Sampel	3,14	%,Adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	10,83	%,Adb	ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	38,12	%,Adb	ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	47,91	%,Adb	ASTM D 3172-13

Suhu : 23 °C  
Humidity : 44 %  
Analisis : MBB

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak  
Laboratorium Energi dan Lingkungan

Manajer Teknis

Dr. Ir. Susianto, DEA  
NIP. 19620820 198903 1 004

Vita Yuliana, S.Si  
NIPH. 914014001



## Hasil Uji Proximate Analysis Batubara Jenis B



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN MASYARAKAT  
Gedung LPPM, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111  
Telp : 031 - 5953759, 5936940, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405  
<http://www.lppm.its.ac.id>

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Bima Prameswara  
Alamat Pemilik : Teknik Material ITS  
Nama Contoh : **Batubara sub-bituminus** Tanggal Terima : 27 Apr 2017  
Deskripsi : Bentuk :-Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 08 Mei 2017  
Contoh Volume :- Tanggal Selesai Pengujian : 15 Mei 2017  
Kemasan : Plastik Jumlah Contoh : 1  
Kode Contoh : EI-244

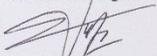
Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
	Batubara sub-bituminus	Moisture in Sample	5,15	%, Adb	ASTM D 3173-11
		Ash Content	8,26		ASTM D 3174-12
		Volatile Matter	42,94		ASTM D 3175-11
		Fixed Carbon	43,65		ASTM D 3172-13

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak  
Laboratorium Energi dan Lingkungan

  
Dr. Ir. Susanto, DEA  
NIP. 19620820 198903 1 004

Manajer Teknis

  
Vita Yuliana, S.Si  
NIP. 914014001



## Hasil Uji Proximate Analysis Batubara Jenis C

### LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Fakhreza Abdul  
Alamat Pemilik : Teknik Material & Metalurgi ITS  
Nama Contoh : **Batubara** Tanggal Terima : 3 September 2015  
Deskripsi : Bentuk : Padat/Caie/Gas Tanggal Pengujian : 4 September 2015  
Contoh Volume : 200 gram Tanggal Selesai : 10 September 2015  
Kemasan : Plastik Pengujian :  
Kode Contoh : **C-0003** Jumlah Contoh : 1 (satu)

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi - LPPM ITS.

#### Hasil Pengujian

No.	Parameter	Hasil	Unit	Metode Pengujian
1.	Kelembaban Total	1,80	%, <i>ar</i>	ASTM D3302-02
2.	Kadar Abu	4,75	%, <i>adb</i>	ASTM D3174-02
3.	Kadar Zat yang Mudah Menguap	52,86	%, <i>adb</i>	ASTM D3175-02
4.	Kadar Karbon Tetap	42,35	%, <i>adb</i>	ASTM D3172-02
5.	Nilai Kalori	7204	Cal/gr, <i>adb</i>	ASTM D5865-03

#### Catatan:

1. Laporan Hasil Pengujian tidak boleh digandakan tanpa persetujuan tertulis dari Laboratorium Energi.
2. Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji.
3. Hasil pengujian ini tidak dapat digunakan sebagai alat bukti hukum.

Surabaya,  
Kepala Laboratorium Energi



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta 6 April 1995, merupakan anak pertama dari 4 bersaudara dari pasangan Rizal Bastian dan Nawang Wulan. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TKK Ricci II, SDK RICCI II Tangerang, SMPN 11 Jakarta dan SMAK PENABUR Bintaro Jaya. Saat ini penulis melanjutkan studinya melalui jalur SBMPTN di Departemen Teknik Material, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2013 dan terdaftar dengan NRP 2713100112.

Di Departemen Teknik Material penulis melakukan penelitian Tugas Akhir bidang studi Ekstraksi, pada Laboratorium Pengolahan Material dengan judul tugas akhir “**Analisis Pengaruh Variasi Jenis Batubara Dalam Proses Aglomerasi Bijih Nikel Laterit Terhadap Kadar Ni dan Fe Serta Morfologi Aglomerat Sebagai Bahan Umpan *Mini Blast Furnace***”. Selama berkuliah, penulis aktif mengikuti organisasi BEM FTI-ITS sebagai Kepala Biro Media Informasi dan di Organisasi Intra Kampus INDOCOR SC ITS sebagai Head of External Department. Nomor telepon penulis yang dapat dihubungi 081315651395 dengan alamat email [bimaits112@gmail.com](mailto:bimaits112@gmail.com).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*